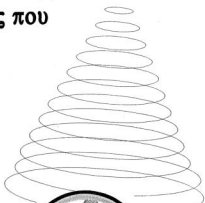


**Το ηχοανακλαστικό  
δυναμικό της σαρδέλας  
(*Sardina pilchardus*),  
και οι παράγοντες που  
το επηρεάζουν.**



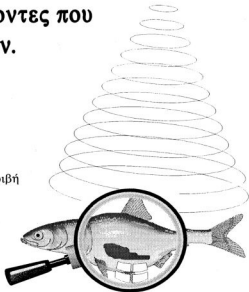
Διδακτορική Διατριβή  
ΑΘ. ΜΑΧΙΑΣ



**Το ηχοανακλαστικό  
δυναμικό της σαρδέλας  
(*Sardina pilchardus*),  
και οι παράγοντες που  
το επηρεάζουν.**



Διδακτορική Διατριβή  
ΑΘ. ΜΑΧΙΑΣ



ΣΤΗΝ ΠΟΛΥΞΕΝΗ

#### ΜΕΛΗ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ

ΑΙΚ. ΔΕΡΜΟΝ, Επικ. Καθηγήτρια Παν. Κρήτης  
Α. ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΥ, Καθηγητής Παν. Κρήτης  
Ε. ΖΟΥΡΟΣ, Καθηγητής Παν. Κρήτης  
Μ. ΚΕΝΤΟΥΡΗ, Αν. Καθηγήτρια Παν. Κρήτης  
Χ. ΚΟΥΡΟΥΝΙΩΤΗΣ, Λέκτορας Παν. Κρήτης  
Β. ΝΑΥΠΑΚΤΙΤΗΣ, Καθηγητής Παν. Κρήτης  
Ν. ΤΣΙΜΕΝΙΔΗΣ, Καθηγητής Παν. Κρήτης (Επιβλέπων)

#### ΜΕΛΗ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ

Ν. ΤΣΙΜΕΝΙΔΗΣ, Καθηγητής Παν. Κρήτης (Επιβλέπων)  
Β. ΝΑΥΠΑΚΤΙΤΗΣ, Καθηγητής Παν. Κρήτης  
Α. ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΥ, Καθηγητής Παν. Κρήτης

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εργασία αυτή έγινε εζ' ολοκλήρου στο Παν/μιο Χρήτης καιά την περίοδο από τον Ιανουάριο του 1989 έως το τέλος του 1990 και από τον Απρίλιο του 1992 έως τον Ιανουάριο του 1994, αφού μεσολάβησε η εκκλήρωση των στρατιωτικών μου υποχρεώσεων.

Οι πχολοβιοτικές τεχνικές στην αλιευτική έρευνα είναι ένα σχετικά σύγχρονο αντικείμενο. Αποτελούν ένα πολύ σημαντικό εργαλείο για την μελέτη των φαινοών στο φυσικό τους περιβάλλον, δίνοντας ταυτόχρονα την δυνατότητα μιας αντικειμενικής εκτίμησης και παρακολούθησης των ιχθυοαποθεμάτων.

Με τις πχολοβιοτικές έρευνες σχηματίζεται ένα ελκυστικό διεπιστημονικό πεδίο. Η μεγαλύτερη πρόκληση για ένα βιολόγο που θα ασχοληθεί με αυτό είναι ότι καλείται να συνθέσει και να συμπληρώσει γνώσεις που προέρχονται από διαφορετικούς τομείς της Βιολογίας, των Μαθηματικών και της Φυσικής. Καλείται δηλαδή να 'επιστρέψει' σε γνώσεις που συνήθως έχει εγκαταλείψει για αρκετό καιρό. Αυτό είναι ιδιαίτερα ελκυστικό σε με εσοχή που οι ερευνητικές περιοχές αναγκαστικά διαχωρίζονται σε όλο και στενότερες ενότητες. Η μελέτη των πχολοβιοτικών δυναμικών είναι ένα θέμα που εκτός από την αναζήτηση της καρένας (;) ενότητας των διαφόρων βιολογικών αντικειμένων, διερευνά και την καρένα (?) ενότητα των φυσικομαθηματικών επιστημών.

Για όλους αυτούς τους λόγους θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή Ν. Τσιμενίδη και τον καθηγητή Β. Χανσακίτη που με ενθάρρυναν και με βοήθησαν να ασχοληθώ με την μελέτη ενός τέτοιου αντικειμένου.

Συνήθως ένα διδακτορικό θεωρείται η περίπτωση μιας ατομικής προσπάθειας. Ας μου επιτραπεί να μην συμφωνώσω ασόλυτα με αυτή την άποψη. Ένα διδακτορικό εξακολουθεί να παραμένει μια συλλογική προσπάθεια, την οποία αναλαμβάνει να διεκπεραιώσει και τελικά να καρπωθεί ένα άτομο.

Θα ήθελα λοιπόν, πρώτα απ' όλους να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή Ν. Τσιμενίδη, που μου εμπιστεύθηκε το θέμα, αναλαμβάνοντας το 'ρίσκο' που εμπεριείχε, για την πολύτερη και πολότευερη βοήθειά του πηκιά, πλική και επιστημονική σε όλες τις καρένες αυτές της εργασίας.

- Τον καθηγητή Β. Χανσακίτη που συνέβαλε καθοριστικά με τις πάντα οξυδερκείς παρατηρήσεις του, αποδεικνύοντας ότι η απόσταση ΗΠΑ-Ελλάδας είναι πολύ μικρή. Θα ήθελα να τον ευχαριστήσω επίσης για τις ώρες που ζόδεψε στις δυσνόητες επιστολές μου, αλλά και για πολύτεμες μακροκαλέες δικές του επιστολές.
- Τον καθηγητή Ε. Ελευθερίου, διευθυντή του Ι.Θ.Α.Β.Χ., για την υποστήριξη και την συμπαράσταση τόσο την δικιά του όσο και τον Ινστιτούτο στην εκπόνηση αυτής της εργασίας.

Εκτός από τους παραπάνω που αποτελούσαν την τριμελή επιτροπή θα ήθελα να ευχαριστήσω και τα υπόλοιπα μέλη της εζετιαστικής επιτροπής: τους καθηγητές/τριες Τ. Ζούρο, Μ. Κεντούρη, Αικ. Βερμύνη και Χ. Χουρουνιάτη που είχαν την οσάνια ιδιαιτερότητα να με έχουν βοηθήσει αποφασιστικά σε διάφορες φάσεις και στάδια αυτής της εργασίας:

- Η κ. Χεντιούρη στο δύσκολο εγχείρημα της διατήρησης ζωντανών φαρμών και στην παραχώρηση του εργαστηριακού εξοπλισμού κάθε φορά που χρειάστηκε.
  - Η κ. Βερρών στο σπύσιμο των ιστολογικών τεχνικών, καθώς και στην αντιμετώπιση των ποικίλων προβλημάτων που ήταν απόρροια αυτών.
  - Ο κ. Χουροσυνιώτης στην αντιμετώπιση, κατανόηση και επίλυση των γεωμετρικών προβλημάτων, καθώς και προβλημάτων κατά την κατασκευή του λογισμικού προγράμματος που χρησιμοποιούθηκε.
- Επίσης από τους παραπάνω καθορισική ήταν η βοήθεια του Δρ. Γ. Μπαζίγου στο σχεδιασμό των πειραμάτων και την στατιστική αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτά της εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω όσους με βοήθησαν στις δύσκολες ημέρες της δειγματοληψίας στην Χαβάλλα: τον Α. Χαλλιανιώτη, τον Α. Φόσοι, τον Γ. Τσιρτέ και τον Χ. Φιδάλη. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω:

- τον Α. Χαλλιανιώτη για την βοήθειά του στο σπύσιμο της δειγματοληψίας και στην αντιμετώπιση όλων των τεχνικών δυσκολιών της.
- τον Γ. Τσιρτέ που εκτός από την δειγματοληψία συνέβαλε πολύπλευρα σε όλη την πορεία της εργασίας, σε όλα εκείνα τα καθημερινά προβλήματα που συνήθως ξεχνιούνται στο τέλος της προσπάθειας.
- τον Σ. Γεωργακαράκο και τους Γ. Πατεράκη και Ι. Χαράλαμους για την πολύτιμη βοήθειά τους στο τελευταίο και καθοριστικό πηλοβιοτικό σκέλος της εργασίας.

Θα ήταν μεγάλη παράλειψη να ξεχάσω τους Α. Μαγουλά, Ι. Χαράλαμους, Π. Πήτα, Γ. Χαράλαμους, Σ. Σωφράκη και όλους τους φίλους και συναδέλφους της στήριξης Τ' και τον Ι.Θ.Α.ΒΙ.Χ. για την βοήθειά τους και τις ώρες που δίδεσαν καθημερινά συνεισφέροντας στην μείωση του χρόνου εκτέλεσης αυτής της εργασίας.

- Τον Χ. Τσατοαράκη ο οποίος κατασκεύασε το λογισμικό πρόγραμμα SLICEX, για την πολύ καλή συνεργασία μας
- Την μαθητριάδα Π. Τσίτσα που εκτός από την ιδιαίτερη συμπαράσταση και ανοχή της, μου ξαναδίδαξε μαθηρικά, συμβάλλοντας στην ενσωμάτωσή τους στις βιολογικές μου γνώσεις.
- Τον γραφίστα Γ. Μαχιά που εμπλέθηκε το εξώφυλλο και την εμφάνιση αυτής της εργασίας.

Τέλος αλλά όχι τελευταίο θα ήθελα να ευχαριστήσω την κ. Χ. Τσιρτενίδου για την καθημερινή βοήθειά της στο εργαστηριακό σκέλος της εργασίας, το καπετάνιο Μ. Κοκκό και το πλήρωμα του Έ/Σ F131A, τον Μ. Σουβλά για την βοήθειά του σε όλα τα τεχνικά θέματα και την ιθυσμό Χ. Χυρίμη.

Όλους τους παραπάνω θα ήθελα να τους ευχαριστήσω που με ανέχθηκαν από τα τόσα χρόνια και μοιράστηκαν τις καθημερινές αγωνίες και άγχη μου.

Θανάσιος Μαχιάς  
 Ηράκλειο Μάιος 1994.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

**1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

1.1	Η ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΗΧΟΒΟΛΙΣΜΟΥ ΣΤΗΝ ΑΛΙΕΥΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	1
1.2	Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΗΧΟ-ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΣΤΗΝ ΑΛΙΕΥΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ .....	3
1.3	ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ - ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΙΔΟΥΣ ΓΙΑ ΜΕΛΕΤΗ .....	4
1.4	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΙ ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΣΑΡΔΕΛΑΣ .....	5
1.5	ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ .....	7

**2 ΛΗΨΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΣΑΡΔΕΛΩΝ ΣΕ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ**

2.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	11
2.1.1	ΒΙΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΗΣ ΣΑΡΔΕΛΑΣ .....	11
2.1.1.1	Α. ΣΧΟΛΕΙΑ ΚΑΙ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΟ ΦΩΣ .....	11
2.1.1.2	Β. ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΣΑΡΔΕΛΑΣ .....	12
2.1.1.2.1	Β1. Οριζόντιες μετακινήσεις .....	12
2.1.1.2.2	Β2. Κάθετες μετακινήσεις .....	13
2.1.2	ΤΡΟΦΗ ΚΑΙ ΘΡΕΠΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΕΣΕΙΣ ΤΗΣ ΣΑΡΔΕΛΑΣ .....	15
2.1.3	ΕΠΟΧΙΑΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ .....	16
2.1.3.1	Α. ΣΤΟΜΑΧΙΚΟ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ .....	16
2.1.3.2	Β. ΟΣΤΟΚΙΑ - ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΓΟΝΑΔΩΝ .....	17
2.1.3.3	Γ. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΛΙΠΟΥΣ .....	17
2.1.4	ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΙΧΜΑΛΩΣΙΑΣ .....	18
2.1.4.1	Α. ΣΥΛΛΗΨΗ, ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΚΑΙ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ .....	18
2.1.4.2	Β. ΔΙΑΤΡΟΦΗ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΙΧΜΑΛΩΣΙΑΣ .....	19
2.1.4.3	Γ. ΧΡΗΣΗ ΑΝΑΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΨΑΡΙΩΝ .....	19
2.2	ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΙ .....	21
2.2.1	ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ .....	21
2.2.2	ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ .....	22
2.2.3	ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΖΩΝΤΑΝΩΝ ΣΑΡΔΕΛΩΝ .....	24
2.2.4	ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ .....	25
2.2.5	ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ .....	25
2.3	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....	26
2.3.1	ΑΜΕΣΗ ΘΝΗΣΙΜΟΤΗΤΑ .....	27
2.3.2	ΕΠΙΒΙΩΣΗ .....	29
2.3.3	ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΘΝΗΣΙΜΟΤΗΤΑ .....	30
2.3.4	ΧΡΗΣΗ ΑΝΤΙΒΙΟΤΙΚΟΥ .....	31
2.3.5	ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΟΤΗΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ .....	31
2.4	ΣΥΖΗΤΗΣΗ .....	33
2.5	ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	36

**3 ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΤΗΣ ΝΗΚΤΙΚΗΣ ΚΥΣΤΗΣ**

3.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	39
3.1.1	ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΗΣ ΝΗΚΤΙΚΗΣ ΚΥΣΤΗΣ .....	39
3.1.2	ΕΞΕΛΙΚΤΙΚΗ ΠΟΡΕΙΑ ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΝΗΚΤΙΚΗΣ ΚΥΣΤΗΣ .....	43
3.1.3	ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙΕΣ ΤΗΣ ΝΗΚΤΙΚΗΣ ΚΥΣΤΗΣ .....	47

3.1.3.1	A. ΠΛΕΥΣΤΟΤΗΤΑ	47
3.1.3.2	B. ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΟ ΠΙΕΣΗΣ-ΑΚΟΗΣ	49
3.1.3.3	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΧΩΝ	50
3.1.3.4	ΑΝΑΠΝΗ	51
3.1.4	ΜΕΓΕΘΟΣ ΣΧΗΜΑ ΚΑΙ ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΝΗΚΤΙΚΗΣ ΚΥΣΤΗΣ	51
<b>3.2</b>	<b>ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ</b>	<b>53</b>
3.2.1	ΛΗΨΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	53
3.2.2	ΦΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ	54
3.2.3	ΑΝΑΠΛΑΣΗ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ	54
3.2.4	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΟΓΚΟΥ	56
3.2.5	ΑΝΑΛΥΣΗ ΛΙΠΟΥΣ	57
3.2.6	ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΙΞΕΡΓΑΣΙΑ	58
<b>3.3</b>	<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>	<b>59</b>
3.3.1	ΠΟΛΥΠΑΡΑΓΟΝΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ-ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΟΧΩΝ	63
3.3.2	ΕΠΟΧΙΑΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ	65
3.3.3	ΔΙΕΠΟΧΙΑΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ	72
3.3.4	ΕΤΗΣΙΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ	76
3.3.5	ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΕ ΤΟΝ ΜΑΡΤΥΡΑ	80
<b>3.4</b>	<b>ΣΥΖΗΤΗΣΗ</b>	<b>83</b>
<b>3.5</b>	<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b>	<b>90</b>

#### **4 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΗΧΟ-ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΤΗΣ ΣΑΡΔΕΛΑΣ**

<b>4.1</b>	<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	<b>95</b>
4.1.1	ΗΧΟ-ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ	95
4.1.2	ΗΧΟ-ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΤΩΝ ΦΑΡΙΩΝ	97
4.1.3	ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΗΧΟ-ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ	98
4.1.3.1	A. ΑΚΙΝΗΤΑ ΦΑΡΙΑ	99
4.1.3.2	B. ΖΩΝΤΑΝΑ ΦΑΡΙΑ ΣΕ ΚΛΩΒΟΥΣ	100
4.1.3.3	Γ. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΕ ΦΥΣΙΚΟ ΠΛΗΘΥΣΜΟ	102
4.1.4	ΤΑ ΦΑΡΙΑ ΩΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ	103
4.1.5	ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΚΑΙ ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ Η.Δ.	104
<b>4.2</b>	<b>ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ</b>	<b>106</b>
4.2.1	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΡΟΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΝΗΚΤΙΚΗΣ ΚΥΣΤΗΣ	106
4.2.2	ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΣΤΟ ΣΧΗΜΑ ΤΗΣ ΝΗΚΤΙΚΗΣ ΚΥΣΤΗΣ	110
4.2.3	ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΙΞΕΡΓΑΣΙΑ	112
<b>4.3</b>	<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>	<b>112</b>
4.3.1	ΕΠΟΧΙΑΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ	116
4.3.2	ΔΙΕΠΟΧΙΑΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ	122
4.3.3	ΕΤΗΣΙΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ	125
4.3.4	ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΟΥ ΣΧΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΝΗΚΤΙΚΗΣ ΚΥΣΤΗΣ	128
4.3.5	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΓΩΝΙΑ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ	129
<b>4.4</b>	<b>ΣΥΖΗΤΗΣΗ</b>	<b>133</b>
<b>4.5</b>	<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b>	<b>139</b>

#### **5 ΠΡΟΚΑΤΑΡΤΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ Η.Δ. ΤΗΣ ΣΑΡΔΕΛΑΣ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ**

<b>5.1</b>	<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	<b>143</b>
------------	-----------------	------------



5.1.1	ΗΧΗΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ: ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ .....	143
5.1.2	ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ .....	144
5.1.3	ΗΧΟΒΟΛΙΣΤΙΚΑ: ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ .....	145
5.1.4	ΜΕΤΡΗΣΗ Η.Δ. ΜΕ ΗΧΟΒΟΛΙΣΤΙΚΑ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ .....	146
5.1.4.1	Α. ΗΧΟΒΟΛΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΗΣ ΔΕΣΜΗΣ (ΕΜΜΕΣΗ ΜΕΘΟΔΟΣ) ....	147
5.1.4.2	Β. ΗΧΟΒΟΛΙΣΤΙΚΑ ΔΙΤΤΗΣ ΔΕΣΜΗΣ (ΑΜΕΣΗ ΜΕΘΟΔΟΣ) ....	148
5.1.4.3	Γ. ΗΧΟΒΟΛΙΣΤΙΚΑ ΣΧΙΣΤΗΣ ΔΕΣΜΗΣ (ΑΜΕΣΗ ΜΕΘΟΔΟΣ) ...	149
5.1.5	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ Η.Δ. ΜΕ ΤΗΝ ΑΜΕΣΗ ΜΕΘΟΔΟ .....	149
5.2	<b>ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ</b> .....	151
5.2.1	ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ Η.Δ. ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ .....	151
5.2.2	ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΗΧΟΒΟΛΙΖΟΜΕΝΩΝ ΨΑΡΙΩΝ .....	152
5.2.3	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟΥ Η.Δ. ....	153
5.2.3.1	ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΒΛΑΧΤΕΡ .....	153
5.2.3.2	ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ .....	154
5.2.4	ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ .....	157
5.3	<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b> .....	157
5.3.1	ΜΕΤΡΗΣΗ Η.Δ. ΜΕ ΗΧΟΒΟΛΙΣΤΙΚΟ ΔΙΤΤΗΣ ΔΕΣΜΗΣ .....	158
5.3.2	ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΜΕ ΤΗΝ ΕΞΙΣΤΩΣΗ ΤΩΝ ΦΥΣΙΟΤΟΜΩΝ .....	163
5.3.3	ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ....	164
5.3.4	ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΒΛΑΧΤΕΡ .....	166
5.3.5	ΑΝΑΔΡΟΜΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ .....	168
5.4	<b>ΣΥΖΗΤΗΣΗ</b> .....	169
5.5	<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	173
6	<b>ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ-ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ</b> .....	175
7.	<b>SUMMARY</b> .....	177
8	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	179



## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1. Η ΧΡΗΣΗ ΗΧΟΒΟΛΙΣΜΟΥ ΣΤΗΝ ΑΛΙΕΥΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Ηχοβολισμός είναι ένας γενικός όρος, ο οποίος συνήθως αναφέρεται στην χρήση ήχων (συνήθως υπερήχων), για την ανίχνευση στόχων, αξιοποιώντας την κυματική ιδιότητα του ήχου να σκεδάζεται, όταν συναντά σωματια διαφορετικής πυκνότητας από το μέσον στο οποίο διαδίδεται. Η δυνατότητα αυτή και ειδικότερα η αξιοποίησή της στην θάλασσα, είχε περιγραφεί από τον Leonardo da Vinci ήδη από το 1490. Όμως οι ουσιαστικές έρευνες άρχισαν το 1918, στον 1ο παγκόσμιο πόλεμο, με σκοπό την ανίχνευση υποβρυχίων. Ο πρώτος ερευνητής, ο οποίος περιέγραψε ένα επιτυχημένο πείραμα για την ηχητική ανίχνευση ψαριών, ήταν ο Kimura το 1929 (MacLennan & Simmonds 1992).

Στο τέλος της δεκαετίας του 1930, αναγνωρίστηκε πλήρως η ικανότητα των ψαριών να ανακλούν ήχο, λόγω του αερίου της νηκτικής τους κύστης. Η ανακάλυψη αυτή ήταν μάλλον τυχαία και προκλήθηκε από την περιέργεια μιας Νορβηγικής αποστολής, η οποία χαρτογραφούσε ηχητικά τα βαθιά στρώματα της αναπαγωγικής περιοχής του βακαλάου στο Lofoten, στο βόρειο τμήμα της Νορβηγίας. Το 1935 δημοσιεύθηκαν από τον Sund τα πρώτα ηχογράμματα του είδους *Gadus morhua*. Στην ανακάλυψη αυτή δεν δόθηκε ιδιαίτερη σημασία, καθώς το ενδιαφέρον στράφηκε προς άλλες μελέτες που εθεωρούντο εκείνη την εποχή περισσότερο ωφελιμιστικές (Mathisen 1992).

Κατά τη διάρκεια του 2ου παγκοσμίου πολέμου, τα υδρακουστικά έκαναν αλματώδη βήματα. Υπήρξε η πίεση της αναγκαιότητας των συμμαχικών στρατευμάτων να ανιχνεύουν τα γερμανικά υποβρύχια στον Β. Ατλαντικό, ώστε να προστατευτούν οι ζωτικής σημασίας βρετανικές νηοπομπές. Όπως περιγράφει με μία δόση υπερβολής ο Mathisen: "Μεγάλος αριθμός ανδρών σπατάλησε άπειρο χρόνο ακούγοντας και βομβαρδίζοντας κοπάδια ψαριών και πλαγκτόν, μέχρι να αποκτήσει την εμπειρία να ξεχωρίζει τα κοπάδια ψαριών από τα υποβρύχια ... Η εμπειρία όμως αυτή γρήγορα αξιοποιήθηκε για ειρηνικότερους σκοπούς".

Μια χρονολογία-σταθμός στην ιστορία της ηχοβολιστικής έρευνας θεωρείται το 1951, όταν ένα Νορβηγικό ερευνητικό πλοίο εντόπισε τα τροφικά πεδία του ατλαντο-σκανδιναβικού αποθέματος της γρέγγας, στο ψυχρό μέτωπο βορείως της Ισλανδίας. Ήταν η πρώτη αλιευτική χρήση ηχοβολιστικών. Η αναγκαιότητα της έρευνας προέκυψε μετά την κατάρρευση του αποθέματος της γρέγγας στο τέλος της δεκαετίας του 1960. Τότε "αρχδόν και το τελευταίο ψάρι του αποθέματος είχε αλιευθεί" (Mathisen 1992).

Την ίδια περίοδο η εμπορική αλιεία αυξανόταν σταθερά χωρίς στις νέες αλιευτικές τεχνικές, και τα νέα αλιευτικά μηχανήματα, μεταξύ των οποίων ήταν και τα ηχοβολιστικά. Στο τέλος της δεκαετίας του '60, το συνολικό παγκόσμιο αλίευμα σταθεροποιήθηκε και πολλά αποθέματα ψαριών άρχισαν να δείχνουν σημάδια υπερ-αλίευσης και κατάρρευσης. Το παράδειγμα της γρέγγας έκρουσε το σήμα κινδύνου και η αλιευτική έρευνα έστρεψε εντατικά την προσοχή της στην εκτίμηση και παρακολούθηση των αποθεμάτων.

Μετά το 1950 τα ηχοβολιστικά αναπτύχθηκαν ταχύτατα και αποτέλεσαν τμήμα του τυπικού εξοπλισμού στα αλιευτικά σκάφη. Τα ηχητικά εργαλεία, παρότι εχρησιμοποιούντο ευρύτατα στην αλιεία, δεν είχαν τελειοποιηθεί ώστε να είναι αξιοποιήσιμα για έρευνα. Ο βασικός λόγος ήταν ότι δεν έδιναν ποσοτικά αποτελέσματα. Την ίδια χρονική περίοδο, ιδιαίτερα στην Β. Ευρώπη, οι ιχθυολόγοι ασχολήθηκαν με την αναζήτηση μεθόδων χρήσης των ηχοβολιστικών για την ανίχνευση των ψαριών και την εκτίμηση της ποσότητας των ψαριών σε μια περιοχή, με βάση τον ήχο που ανακλούσαν. Η ανάπτυξη ήταν ταχύτατη κατά την δεκαετία του '60, ώστε μέχρι το 1968, τα ηχοβολιστικά ταξίδια που ποσοτικοποιούσαν ήχους από ψάρια έγιναν μια ευρύτατα διαδεδομένη μέθοδος εκτίμησης της αφθονίας των ψαριών (Margetts 1977). Την ίδια

περίοδο, κατασκευάστηκαν και οι πρώτοι αναλογικοί ολοκληρωτές -ηολοκληρωτές- που χρησιμοποιούνται για την ποσοτικοποίηση των αποτελεσμάτων. Ο πρώτος ψηφιακός ολοκληρωτής κυκλοφόρησε στην αγορά το 1971. Αυτό υπήρξε και το τελικό έναυσμα για μια όλο και μεγαλύτερη αξιοποίηση των ηχοβολιστικών στην αλιευτική έρευνα.

Με την πάροδο του χρόνου τα μηχανήματα γίνονται τελειότερα, φθηνότερα και μικρότερα. Οι μέθοδοι βαθμονόμησης τους (calibration) τυποποιούνται και οι πηγές λάθους από τα μηχανήματα, φθάνουν σε αποδεκτά επίπεδα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την ευρύτερη χρήση τους στην εκτίμηση της διαθεσιμότητας τροφής από την θάλασσα. Κεντρικός στόχος αυτών των μελετών ήταν ο έλεγχος του μεγέθους και της κατανομής των ιχθυοαποθεμάτων, ώστε να επιτυγχάνεται η καλύτερη δυνατή διαχείριση τους (Mitsun & Holliday 1987).

Τα κύρια προβλήματα που είχε να αντιμετωπίσει η νέα τεχνολογία ήταν τρεις βασικές πηγές λάθους:

(Α) Η βαθμονόμηση των εργαλείων.

(Β) Η εκτίμηση του Ηχο-ανακλαστικού Δυναμικού (Target strength)<sup>1</sup> των ψαριών και

(Γ) Ο σχεδιασμός των ερευνητικών ταξιδιών.

Στην δεκαετία του '70, οι προσπάθειες των ερευνητών επικεντρώθηκαν σε πρώτες προσεγγίσεις και για τα τρία προβλήματα. Ο σχεδιασμός αντιμετωπίστηκε γρήγορα από τους στατιστικούς σύμφωνα με τα εμπειρικά, παραδοσιακά ζιγκ-ζαγκ που είχαν εφαρμοστεί στο πόλεμο για την ανίχνευση υποβρυχίων. Γρήγορα αυτά τελειοποιήθηκαν με την μέθοδο των παράλληλων πορειών, μια μέθοδος που συνεχίζει να εξελίσσεται δίνοντας όλο και καλύτερα αποτελέσματα.

Όμως το κύριο έργο στην δεκαετία του '70 ήταν η εκτίμηση και ο προσδιορισμός του Ηχο-ανακλαστικού Δυναμικού (Η.Δ.) σε διάφορα είδη ψαριών, είτε με απόλυτους όρους, είτε με συγκριτικά αποτελέσματα. Τότε κατασκευάστηκαν οι περισσότερες εξισώσεις οι οποίες συνέδεαν το Η.Δ. με το μέγεθος του ψαριού (Love 1977). Κατά την ίδια περίοδο μετρήθηκε το Η.Δ. των περισσότερων ψαριών που είχαν άμεσο αλιευτικό ενδιαφέρον. Δυστυχώς όμως όχι και των ψαριών που ενδιαφέρονει άμεσα την Ελλάδα και την Μεσόγειο, όπως η σαρδέλα (*Sardina pilchardus*). Με τις μετρήσεις αυτές έγινε προσπάθεια να αντιμετωπιστεί *ad hoc* το πρόβλημα της βαθμονόμησης των εργαλείων. Τα αποτελέσματα αυτής της βαθμονόμησης όμως είναι παροδικά και ασταθή (Craig 1984).

Όπως ήταν φυσικό η έρευνα της επόμενης δεκαετίας έστρεψε την προσοχή της περισσότερο σ' αυτά τα προβλήματα. Η σκέψη που κυριάρχησε ήταν ότι τα προβλήματα θα λυθούν κυρίως μέσω της τεχνολογίας και με την ανάπτυξη μεθόδων για την αντικειμενική βαθμονόμηση. Πράγματι σ' αυτό το χρονικό διάστημα επιτελέστηκε μεγάλο έργο. Υπήρξε τυποποίηση της βαθμονόμησης των εργαλείων, ώστε αυτά να αποκτήσουν ικανοποιητική ακρίβεια. Η εξέλιξη της τεχνολογίας και η κατασκευή ηχοβολιστικών διττής δέσμης (dual beam) και στη συνέχεια σχιστής δέσμης (split beam), δημιούργησε ένα αίσθημα ευφορίας ότι η τεχνολογία θα λύσει όλα τα προβλήματα (όπως αυτά του Η.Δ.). Τα αποτελέσματα αυτής της δεκαετίας οδήγησαν τον Craig (1984) να διατυπώσει δύο χαρακτηριστικές απόψεις που συνοψίζουν με το καλύτερο τρόπο το έργο που έχει επιτελεστεί: "Μπορούμε πλέον να πούμε ότι τα ηχοβολιστικά γίνονται ένα δυναμικό εργαλείο της μελέτης των ιχθυοπληθυσμών. Τα ηχοβολιστικά είναι ένα εργαλείο για την εξερεύνηση των ιχθυοαποθεμάτων αντίστοιχο με το μικροσκόπιο στην εξερεύνηση του κυττάρου". Και ακόμη: "Σε όσους ρωτούν τι ακρίβεια έχει ένα ηχοβολιστικό ταξίδι μπορούμε πλέον να απαντούμε, όση ακρίβεια έχει η μέτρηση του μήκους σε ένα κομμάτι σπάγγο".

<sup>1</sup> Γενικά ηχο-ανακλαστικό δυναμικό είναι η ποσότητα του ήχου που ανακλά ένας διακριτός στόχος. Η πληρέστερη αντιμετώπιση του θέματος γίνεται στην Ενότητα 4.1.

Στα τέλη της δεκαετίας του '80 αυτή η ερευνητική κατεύθυνση είχε πλέον αναγνωρίσει τα όρια της. Έτσι ο Karp (1990) δίνοντας το στίγμα της δεκαετίας μας θα τονίσει: "Τα αλειτουργικά ηχοβολιστικά είναι ένα πεδίο που φέρνει μαζί επιστήμονες με διαφορετικά ενδιαφέροντα από διαφορετικούς τομείς. Οι βιολόγοι της αλειτουργικής έρευνας συνειδητοποιούν ότι πρέπει να μάθουν την δουλειά μηχανικών και φυσικών. Οσοι ασχολούνται με τεχνικά και θεωρητικά προβλήματα ακουστικών, συνειδητοποιούν ότι είναι αδύνατο να εργασθούν χωρίς τους βιολόγους. Αυτή η αμοιβαία αλληλεξάρτηση θεμελιώνει τα υδροκουστικά, σχηματίζοντας ένα ερευνητικό πεδίο, στο οποίο βιολόγοι, φυσικοί, μηχανικοί και στατιστικοί διασχίζουν τα παραδοσιακά σύνορα της επιστήμης".

Στη δεκαετία του '90 γίνεται ξανά στροφή προς την βιολογική προσέγγιση των υδροκουστικών και ιδιαίτερα στο αρχικό πρόβλημα του ηχο-ανακλαστικού δυναμικού των στόχων (Η.Δ.). Έχει διαπιστωθεί ότι οι *in situ* μετρήσεις του Η.Δ. μπορεί να είναι εύκολα προσίτες, αλλά είναι δύσκολο να έχουμε αμερόληπτα δεδομένα, πράγμα που διακρίβει την ακρίβεια των υδροκουστικών μετρήσεων (Karp 1990).

Αναζητούνται πλέον τρόποι για μια περισσότερο βιολογική προσέγγιση του Η.Δ. των ψαριών. Έχει πια διαπιστωθεί ότι το κύριο πρόβλημα είναι η επίδραση της βιολογίας στην ανακλαστικότητα. Υπάρχει η ανάγκη να μελετηθούν η συμπεριφορά, η φυσιολογία και ο προσανατολισμός της πορείας κίνησης των ψαριών, που είναι παράγοντες που επηρεάζουν καθοριστικά του Η.Δ. Ταυτόχρονα επισημαίνεται η δυνατότητα να ηχοβολιστικά να χρησιμοποιηθούν σαν εργαλεία μελέτης της ηθολογίας των ψαριών στο πεδίο. Ιδιαίτερα σημαντική είναι η δυνατότητα άμεσης μελέτης και παρατήρησης των κατακορύφων και οριζοντίων μετακινήσεων των ψαριών και η μελέτη των αντιδράσεων των ψαριών στα πλοία και στην αλιεία με τράτα (Karp 1990). Το βασικό όμως πρόβλημα που έχει αναδειχθεί, είναι η αναγκαιότητα να αντιμετωπιστεί η δυσκολία που προκύπτει από το γεγονός, ότι η σχέση του ηχητικού μεγέθους και του σωματικού μεγέθους του ψαριού δεν είναι σταθερή.

## **1.2. Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΗΧΟ-ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΣΤΗΝ ΑΛΙΕΥΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.**

Ο αλειτουργικός ηχοβολισμός είναι ένας γενικός όρος ο οποίος αφορά δύο αντικείμενα: (α) Την εφαρμογή των ηχοβολιστικών στην αλειτουργική έρευνα και (β) την ανάπτυξη επιστημονικών εργαίων και μεθόδων που βελτιώνουν την εφαρμογή των ηχοβολιστικών.

Η έλξη που ασκούν τα ηχοβολιστικά στην αλειτουργική έρευνα έχει πολλές πτυχές: (α) προσφέρει ένα μέσον για την απόκτηση συνοπτικής πληροφορίας για την κατάσταση των ιχθυοσποθιμάτων, (β) επιτρέπει μια εκτίμηση του ιχθυοσποθιματος που είναι ανεξάρτητη από τις κλασικές αλειτουργικές στατιστικές, (γ) βοηθά αποτελεσματικά τη μελέτη ορισμένων χαρακτηριστικών της βιολογίας των ψαριών, που είναι πολύ δύσκολο αν όχι αδύνατο να μελετηθούν διαφορετικά (π.χ. η συμπεριφορά των ψαριών στο πεδίο) (Foote 1989).

Όταν τα ψάρια καταγράφονται από ένα ηχοβολιστικό μηχανήμα, τρία είναι τα βασικά ερωτήματα που γεννιούνται: (α) Ποιά είναι το είδος των ψαριών, (β) Ποιά είναι το μέγεθος των ψαριών και (γ) Ποιά είναι η πυκνότητά τους. Το βασικό μέγεθος που απαιτείται για την απάντηση των τριών αυτών ερωτημάτων είναι το Ηχο-ανακλαστικό Δυναμικό των στόχων (Midtun & Nakken 1971).

Για να μετατραπεί η ηχητική κατανομή ενός είδους ψαριού σε πυκνότητα ψαριών, είναι απαραίτητη η γνώση της ηχητικής οπισθανακλώσεως διατομής του ψαριού, η οποία είναι ένα μέγεθος άμεσα συνδεδεμένο με το ηχο-ανακλαστικό δυναμικό στόχου. Έτσι το ηχο-ανακλαστικό δυναμικό ενός στόχου είναι το μέγεθος-κλειδί για τον προσδιορισμό της απόλυτης πυκνότητας

των ψαριών με την μέθοδο της ηχο-ολοκλήρωσης και την μέθοδο της ηχο-απαρίθμησης<sup>2</sup>. Η κατανοήση των ψαριών, τόσο σαν ηχητικών στόχων, όσο και σαν ζωντανών οργανισμών, είναι καθοριστική για τον προσδιορισμό, την κατάταξη, την εκτίμηση του μεγέθους και της αφθονίας τους. Η σύνδεση των βιολογικών με τα ηχητικά μεγέθη γίνεται μέσω του ηχο-ανακλαστικού δυναμικού των στόχων. (Ehrenberg 1983a, Robinson 1983, Midttun 1984, Foote & Traynor 1988).

Ένα λάθος στην εκτίμηση του μεγέθους του Η.Δ. προκαλεί σφάλμα της τάξεως στην εκτίμηση της πυκνότητας των ψαριών. Έτσι η ορθότητα και η ακρίβεια των εκτιμήσεων του Η.Δ. των ψαριών επιδρά άμεσα και καθοριστικά στην εκτίμηση της αφθονίας των υψοειδημάτων (Dickie & Boudreau 1987).

Ο κύριος παράγοντας ανάκλασης ήχου σε ένα ψάρι είναι το αέριο της νηκτικής του κύστης. Από τους άλλους ιστούς ανακλούν ήχο κυρίως τα οστά. Στην νηκτική κύστη πάντως οφείλεται πάνω από το 95% της ανάκλασης (Foote 1980b, Blaxter & Batty 1990). Με άλλα λόγια η νηκτική κύστη του ψαριού αποτελεί το βιολογικό υπόβαθρο στο οποίο στηρίζεται η εφαρμογή των ηχοβιολογικών και ο κύριος παράγοντας που διαμορφώνει την τιμή του ηχο-ανακλαστικού δυναμικού του στόχου. Το γεγονός αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, κάθε βιολογικός, φυσιολογικός ή φυσικός παράγοντας που επιδρά στην διαμόρφωση ή την μεταβολή του σχήματος και του μεγέθους της νηκτικής κύστης, να έχει άμεση επίδραση στο βασικό ηχητικό μέγεθος του Η.Δ. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο το ηχητικό μέγεθος εξαρτάται από τις διακυμάνσεις της συμπεριφοράς, των αναπαραγωγικών και τροφικών συνθηκών και του βάθους. Οι διακυμάνσεις αυτές οδηγούν σε λανθασμένες ή μεροληπτικές εκτιμήσεις των *in situ* μεθόδων, όταν αυτές δεν είναι δυνατόν να "βαθμονομηθούν" από άλλες μεθόδους. Για να λυθούν αυτά τα προβλήματα είναι αναγκαίο να αντιμετωπιστεί το Η.Δ. σαν άμεσο παράγωγο ενός βιολογικού μεγέθους. Το θέμα αυτό αντιμετωπίζεται αναλυτικά στην 4η ενότητα της εργασίας αυτής.

### 1.3 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ-ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥ ΕΙΔΟΥΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΛΕΤΗ

Σκοπός αυτής της εργασίας ήταν να προσπαθήσει να παραμείνει μέσα στις σύγχρονες τάσεις της έρευνας, διανύοντας ταυτόχρονα μια σημαντική απόσταση που υπάρχει λόγω της έλλειψης δεδομένων και έρευνας για τα ψάρια που ενδιαφέρουν άμεσα την ελληνική αλιεία. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, σήμερα παραμένει κεντρικό πρόβλημα η εκτίμηση του Η.Δ. και των μεταβολών του, επειδή είναι η βασική παράμετρος για τους υπολογισμούς, εξαρτώμενη άμεσα από το σχήμα της νηκτικής κύστης (Foote, 1985).

Το είδος που επιλέχθηκε για να μελετηθεί ήταν η σαρδέλα (*Sardina pilchardus*). Βασικοί στόχοι ήταν να μελετηθούν:

- Η μεταβολή του Η.Δ. της νηκτικής κύστης της σαρδέλας ως συνάρτηση των μεταβολών των βιολογικών παραμέτρων που επιδρούν στο σχήμα της, και
- Να διερευνηθεί η δυνατότητα πρόβλεψης του Η.Δ. από αυτές τις μεταβολές.

Η σαρδέλα αποτελεί 9,2%-10,4% (Anonymous 1991,1992) των ελληνικών αλιευμάτων. Οι πληθυσμοί της βρίσκονται σε στενή συνάφεια με το επίσης σημαντικό πελαγικό αλιευμα στην Ελλάδα, τον γαύρο (*Engraulis encrasicolus*). Πολύ λίγα είναι γνωστά για το Η.Δ. της σαρδέλας. Προσπάθειες υπολογισμού του Η.Δ. της έχουν ξεκινήσει και στην Αδριατική (Buczyński & Azzalli 1977, Azzalli *et al.* 1977). Όμως δεν έχουν ληφθεί υπόψη οι διακυμάνσεις της νηκτικής κύστης λόγω των μεταβολών των βιολογικών παραμέτρων.

Η σαρδέλα επιλέχθηκε ως το είδος για τη μελέτη αυτή γιατί, εκτός της αλιευτικής της

<sup>2</sup> Η ηχο-ολοκλήρωση είναι μέθοδος υπολογισμού του συνολικού ήχου που ανακλούν τα ψάρια. Η ηχο-απαρίθμηση είναι μέθοδος απαρίθμησης των διακριτών στόχων που ανακλούν ήχο.

σημασίας, παρουσιάζει και ορισμένα βασικά πλεονεκτήματα, λαμβανομένου υπόψη ότι δεν υπήρχε προηγουμένη εμπειρία στην προσέγγιση του συγκεκριμένου θέματος:

- α) Παρουσιάζει έντονη εποχιακή και τοπογραφική ποικιλότητα ως προς τις παραμέτρους της εσωτερικής της φυσιολογίας: γονάδες, στομαχική πληρότητα, ποσοστό λίπους.
- β) Είναι φυσόστομο ψάρι με απλή δομή νηκτικής κύστης, πράγμα που επιτρέπει χρήση τεχνολογίας μεθόδων και ευκολία διαχείρισης, που καθιστούν ευκολότερη την εφαρμογή σειράς τυποποιημένων τεχνικών. (Blaxter & Batty 1984).
- γ) Είναι ανθεκτικότερη στις πειραματικές συνθήκες (Buczynski & Azzalli 1977) από τον γαύρο, που παρουσιάζει κατά τα άλλα τα παραπάνω πλεονεκτήματα.
- δ) Αποτελεί αντικείμενο μελέτης του Π.Κ. και του Ι.Θ.Α.Β.Κ.

#### 1.4. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΙ ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΣΑΡΔΕΛΛΑΣ

Η Ευρωπαϊκή σαρδέλα (*Sardina pilchardus*) είναι το αθρόνότερο από τα πέντε βασικά πελαγικά είδη του Αιγαίου και του Ιονίου πελάγους και ένα από τα συνηθέστερα είδη πελαγικών ψαριών στη Μεσόγειο. Ανήκει σε ένα μικρό άθροισμα ειδών που κυριαρχεί στην υποτροπική πελαγική και επιπελαγική πανίδα ψαριών. Το άθροισμα αυτό περιλαμβάνει τα γένη *Sardina*, *Sardinops*, *Engraulis*, *Scomber*, και *Trachurus*. Τα γένη αυτά αποτελούν περίπου το 30% της παγκόσμιας αλιείας.

Η σαρδέλα του Β. Ατλαντικού και της Μεσογείου η *Sardina pilchardus* (Walbaum 1793), ήταν η πρώτη σαρδέλα που περιγράφηκε. Πρώτες αναφορές για αυτήν υπάρχουν στον Αριστοτέλη (σαρδίνος, 347 π.Χ.<sup>3</sup>) στον οποίο οφείλεται και το όνομα του γένους και στον Γαλήνο (σαρδίνη, 163 π.Χ.<sup>4</sup>). Αρχικά είχε συμπεριληφθεί στο γένος *Clupea* και για μερικά χρόνια στο γένος *Sardinella*. Ο Regan και η ανθεώρησή του για τα Clupeidae το 1917, χωρήσε τις σαρδέλες σε ένα υποτροπικό γένος το *Sardina* και σε ένα τροπικό το *Sardinella*. Ο ίδιος ερευνητής κατέληξε στην ύπαρξη τριών ειδών του γένους *Sardina* ανά τον κόσμο (Parrish et al. 1989):

- 1) *Sardina pilchardus* με δύο υποείδη: 1) την *Sardina pilchardus pilchardus* που συναντάται στην ευρωπαϊκή ακτή του Ατλαντικού, από την Πορτογαλία μέχρι τα Βρετανικά νησιά, έως νότια της Νορβηγίας 59°N, και 2) την *Sardina pilchardus sardina* που κατανέμεται σε όλη την Μεσόγειο και την βορειο-αφρικανική ακτή του Ατλαντικού και στις Αζόρες. Η κατανομή της φτάνει μέχρι τα βρετανικά νησιά κατά τις ζεστές περιόδους.
- 2) *Sardina sagax* που κατανέμεται στον Ειρηνικό ωκεανό από την Ν. Αμερική μέχρι την Ιαπωνία και την Ν.Αφρική.
- 3) *Sardina neopilchardus* που συναντάται στην Αυστραλία και Ν. Ζηλανδία και είναι συγγενική της *S. sagax*.

Στην Μεσόγειο η *Sardina pilchardus sardina* αθρόνει στις δυτικές περιοχές και την Αδριατική, ενώ λιγότερο κοινή είναι στο Αιγαίο και σπανίζει στις ανατολικές περιοχές, στη θάλασσα του Μαμαρά και τον Εύξεινο Πόντο (Culley 1970).

Ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά της σαρδέλας είναι η εκτεταμένη αντιτροπική της κατανομή. Οι πληθυσμοί της κυριαρχούν σε ολόκληρη τη νηκτική ζώνη. Όταν τα πληθυσμιακά της επίπεδα πέφτουν, η κατανομή της μειώνεται πολύ και χάνεται τελείως από τις περιοχές που είναι συνήθως οι παραγωγικότερες σε περιόδους αφθονίας. Το γένος *Sardina* συνπάσχει με την τροπική *Sardinella* στην Μεσόγειο και την Β.Α. Αφρική.

<sup>3</sup> Αριστοτέλης: αποσπασμα Εισαίειν, παρά Αθήναιου 7, 329 Α

<sup>4</sup> Γαλήνης 6, 746.

Η αναλυτική συστηματική κατάταξη της Ευρωπαϊκής σαρδέλας είναι:

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΛΑΤΙΝΙΚΗ ΟΝΟΜΑΣΙΑ <sup>5</sup>	ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΟΝΟΜΑΣΙΑ
ΦΥΛΟ	Chordata	Χορδωτά
Υποφύλο	Vertebrata	Σπονδυλωτά
Υπερομοταξία	Gnathostomata	Γναθόστομα
ΟΜΟΤΑΞΙΑ	Osteichthyes	Οστεϊχθύες
Υποομοταξία	Actinopterygii	Ακτινοπτερύγιοι
Ανθομοταξία	Neopterygii	Νεοπτερύγιοι
Διαίρεση I	Teleostei	Τελεόστειοι
Υπερ-ταξή	Clupeomorpha	Κλουπεόμορφα
ΤΑΞΗ	Clupeiformes (Isospondili)	Κλουπεόμορφα (Ισοσπόνδυλοι)
Υπόταξη	Clupeoidei	Κλουπεΐδες <sup>6</sup>
ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑ	Clupeidae (Clupidae)	
ΓΕΝΟΣ	<i>Sardina</i>	
ΕΙΔΟΣ	<i>Sardina pilchardus</i> (Walbaum) 1793.	

Τα χαρακτηριστικά με τα οποία ένα ψάρι κατατάσσεται στις κλουπεΐδες είναι (Culley 1970)

1. Αργυρόχρσο, συμπίεσμένο ψάρι, συνήθως θαλάσσιο, με εφήμερα λέπια.
2. Οι βραγχιστεγείς άκανθες αριθμούν το πολύ μέχρι 15, αλλά συνήθως είναι λιγότερες.
3. Υπάρχει ενδοκρανιακή διχοτόμηση της νηκτικής κύστης, που σχηματίζει δύο ακουστικά κυστίδια το προ-ωτικό και το πτερωτικό.
4. Ενδοκρανιακό τόξο είναι πάντοτε παρόν.
5. Τα ουροραία επί 1 έως 3 κέντρων.
6. Οι κεφαλικές αυλακές της πλευρικής γραμμής εκτείνονται πάνω στο βραγχιακό επικάλυμμα. Συνήθως δεν υπάρχουν πόροι πάνω στις αυλακώσεις.
7. Υπάρχει πλευρικό κοίλωμα.

Ο Stetsonidon έδειξε πολύ καλά την συγγένεια μεταξύ των γενών *Sardinops*, *Sardina*, και *Sardinella*. Τα κύρια χαρακτηριστικά που ξεχωρίζουν τα 3 γένη είναι (Parrish *et al.* 1989).

- 1) Στην *Sardina* τα σωματικά λέπια είναι μεταβλητού μεγέθους, με τα μικρότερα λέπια κρυμμένα κάτω από τα μεγαλύτερα.
- 2) Στον *Sardinops* οι βραγχιακές άκανθες του κάτω τμήματος του βραγχιακού τόξου μικραίνουν προς τη γωνία του τόξου και οι άκανθες του άνω τμήματος του τόξου επικαλύπτουν τις άκανθες του κάτω τμήματος.
- 3) Στη *Sardinella* υπάρχει διλόβο δερματικό εξόγκωμα στο κάτω τμήμα του κλειθρου και δεν υπάρχουν αυλακώσεις στο βραγχιακό επικάλυμμα.

Πρόσφατες έρευνες επιβεβαιώνουν ότι η ομοιότητα μεταξύ αυτών των τάξεων είναι αποτέλεσμα γενετικής ομοιότητας και όχι συγκλίνουσας εξέλιξης. Υπάρχει μεγάλη γενετική απόσταση του γένους *Sardina*, από τα υπόλοιπα τάξη, η οποία δείχνει ένα καλά διαχωρισμένο γένος. Ο διαχωρισμός της έγινε προς το τέλος του Ολιγοκαίνου, με το κλείσιμο της Τηθίας

<sup>5</sup> Τα λατινικά ονόματα στις παρενθέσεις είναι κοινά συνώνυμα.

<sup>6</sup> Ορισμός-Κατανομοσία Εβόδιδων Αλιευμάτων. Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, προεδρικό διάταγμα της 1/11/78, υπ' αριθμ. 786, Τεύχος Ια, Νο 182, σελίδες 1717-1720.



θαλάσσης, που λειτουργήσει σαν Βικαριανός παράγοντας. Με τον τρόπο αυτόν το προγονικό τάξο χωρίστηκε σε δύο απομονωμένους πληθυσμούς. Από τον πληθυσμό του Β. Ατλαντικού, προέκυψε το γένος *Sardina* (Parrish *et al.* 1989).

Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των μεγαλύτερων αποθεμάτων κλουπείδων είναι η σύνδεσή τους με συστήματα ανοδικών ρευμάτων (upwelling) ή με περιοχές ρηχών παραγωγικών ηπειρωτικών κρηπίδων και παραγωγικών κόλπων ή εκβολών (Blaxter & Hunter 1982).

### 1.5. ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι να μελετηθεί ο τρόπος επίδρασης του μεγέθους του ψαριού και των αλλαγών στην εσωτερική του φυσιολογία (γονάδες, λίπος, στομάχι), στο σχημα και το μέγεθος της νηκτικής κύστης, δηλαδή τελικά στο ηχο-ανακαστικό δυναμικό (H.A.) της *Sardina pilchardus*. Διερευνάται επίσης η δυνατότητα πρόβλεψης του Η.Δ. και των μεταβολών του, με βάση την μεταβολή των παραπάνω παραγόντων.

Ένα βασικό πρόβλημα στην διάρθωση της δομής αυτής της εργασίας είναι αυτό ακριβώς που έχει ήδη αναφερθεί (Katr 1990): ότι δηλαδή ασχολείται με "ένα διεπιστημονικό πεδίο όπου βιολόγοι, φυσικοί και μηχανικοί διασχίζουν τα παραδοσιακά σύνορα της επιστήμης". Το πρόβλημα εντείνεται ακόμη περισσότερο, δεδομένου ότι η βιολογική προσέγγιση, το τοποθετεί σε ένα σημείο που συναντώνται διαφορετικές περιοχές της βιολογίας. Αξιοποιούνται γνώσεις της βιολογίας, οικολογίας και συμπεριφοράς για να διατηρηθούν ζωντανά τα ψάρια και να γίνει η δειγματοληψία. Η ανατομία και φυσιολογία είναι απαραίτητες για τη μελέτη του μεγέθους και του σχήματος της νηκτικής κύστης. Τέλος ο συγκερασμός και η καλή κατανόηση όλων αυτών των πεδίων είναι αναγκαίο στοιχείο για να μετατραπούν τα βιολογικά δεδομένα σε Η.Δ. Η κάθε ξεχωριστή ενότητα έχει τις ιδιαιτερότητές της, ως προς τα εργαλεία και τις μεθόδους που χρησιμοποιεί. Αν στα παραπάνω προστεθούν η ιστολογία και η αναλυτική γεωμετρία που ήταν απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν στα υλικά και στις μεθόδους, γίνεται φανερό ότι υπήρχε μεγάλη ανάγκη να διαχωριστούν όλα αυτά τα "ετερογενή" πεδία.

Η δομή της εργασίας που επιλέχθηκε στοχεύει στον διαχωρισμό των παραπάνω σε κατά το δυνατόν "αυτοτελείς" ενότητες. Ακολούθησε μια διάρθωση, τέτοια ώστε κάθε ενότητα να οδηγεί πρακτικά και νοηματικά στην επόμενη. Ταυτόχρονα έγινε προσπάθεια ώστε κάθε ενότητα να χρησιμοποιεί τα αποτελέσματα και το θεωρητικό υπόβαθρο της προηγούμενης. Έτσι στο κείμενο την γενική βιολογία και ηθολογία της σαρδέλας διαδέχεται η εξέλιξη, ανατομία και φυσιολογία της νηκτικής κύστης. Τα αποτελέσματα από την τελευταία χρησιμοποιούνται για να "διασχιστούν" τα όρια φυσικής και βιολογίας και να γίνει η αντιστοίχιση και η "μετάφραση" των βιολογικών δεδομένων σε μέγεθος της φυσικής και των υδροακουστικών. Τα αποτελέσματα από την τελευταία αυτή ενότητα αξιοποιούνται για να συγκριθούν με τα αποτελέσματα που έδωσαν άμεσες μετρήσεις των ηχοβολιστικών μηχανημάτων. Συγκεκριμένα:

Στην 2η ενότητα που ακολουθεί αντιμετωπίστηκε το πρόβλημα της δειγματοληψίας, ο έλεγχος της ποιότητας και της αντιπροσωπευτικότητας του δείγματος, που προϋποθέτει διατήρηση ζωντανών ψαριών σε συνθήκες αιχμαλωσίας. Σ' αυτή την ενότητα αντιμετωπίζονται πλείρες της βιολογίας και της συμπεριφοράς της σαρδέλας, γνώσεις που διαπερνούν σαν συνεκτική κλωστή όλες τις υπόλοιπες ενότητες της εργασίας.

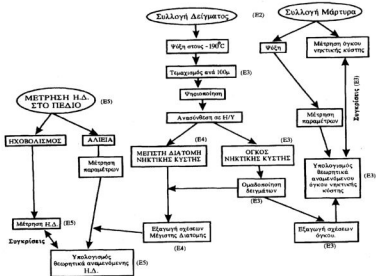
Η 3η ενότητα αναφέρεται στην αξιοποίηση της δειγματοληψίας για τη μελέτη της νηκτικής κύστης και την συστηματικοποίηση των εποχιακών μεταβολών της, λόγω μεταβολών σε ανατομικούς και φυσιολογικούς παράγοντες (γονάδες, πληρότητα στομαχίου, λίπος). Στην ενότητα αυτή αντιμετωπίζεται η εξέλιξη, μορφολογία και φυσιολογία της νηκτικής κύστης, καθώς και ο εργαστηριακός χειρισμός του δείγματος. Διερευνάται τέλος ο τρόπος με τον οποίο μελετήθηκε η επίδραση των διαφόρων παραγόντων στο απόλυτο μέγεθος της νηκτικής

κώστης σαν σύνολο.

Στην 4η ενότητα αξιοποιούνται τα δεδομένα και τα αποτελέσματα της προηγούμενης ενότητας. Αναφέρεται ο τρόπος μετατροπής των βιολογικών δεδομένων, σε μεγάλη αξιοποιήσιμα από την ηχητική θεωρία. Η ενότητα αυτή αναφέρεται στις έννοιες του ηχο-ανακλαστικού δυναμικού στόχου (Η.Δ.), στους τρόπους προσδιορισμού του και στα προβλήματα που παρουσιάζει. Αντιμετωπίζεται η σχέση του Η.Δ. και της μέγιστης διατομής της νηκτικής κώστης. Δεδομένου ότι τα δύο αυτά μεγέθη είναι άμεσα συνδεδεμένα και προκύπτουν το ένα από το άλλο, η μελέτη της επίδρασης των διαφόρων παραμέτρων στο Η.Δ., γίνεται με την μελέτη της επίδρασής τους στην μέγιστη διατομή της νηκτικής κώστης.

Στην τελευταία 5η ενότητα, γίνονται αφενός πραγματικές μετρήσεις του Η.Δ., και αφετέρου με βάση τους νόμους της φυσικής μετατρέπονται οι βιολογικές μετρήσεις σε φυσικές μεταβλητές. Η σύγκριση των δύο ομάδων τιμών χρησιμοποιείται σαν ένα μέτρο της δυνατότητας ακριβούς και αξιόπιστης πρόβλεψης του Η.Δ.

Στο σχήμα που ακολουθεί απεικονίζονται διαγραμματικά τα διάφορα βήματα της εργασίας και η σύνδεσή τους. Επίσης στην αρχή κάθε ενότητας υπάρχει το αντίστοιχο τμήμα του διαγράμματος που αντιμετωπίζεται σ' αυτήν.



**Διάγραμμα 1:** Τα διαδικασικά βήματα της εργασίας και η σύνδεσή τους.  $E_2$  - θέματα που αντιμετωπίζονται στην Ενότητα 2,  $E_3$  - θέματα που αντιμετωπίζονται στην Ενότητα 3,  $E_4$  - θέματα που αντιμετωπίζονται στην Ενότητα 4,  $E_5$  - θέματα που αντιμετωπίζονται στην Ενότητα 5.

**2. ΛΗΨΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΣΑΡΔΕΛΩΝ ΣΕ  
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ**





## 2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ενότητα αυτή περιλαμβάνει βασικές πλευρές της βιολογίας, της συμπεριφοράς και της οικολογίας της σαρδέλας καθώς και μια ανακεφαλαίωση των μέχρι σήμερα γνώσεων γύρω από την διατήρηση και την διαχείριση της σε συνθήκες αιχμαλωσίας. Στο σχεδιασμό της δειγματοληψίας για την μελέτη των μεταβολών του σχήματος της νηκτικής κύστης, έπρεπε να διερευνηθεί η εποχιακή μεταβολή των παραμέτρων που είναι πιθανόν ότι την επηρεάζουν (μέγεθος σώματος, λίπος, πληρότητα στομαχίου, γονάδες). Οι ανάγκες της δειγματοληψίας απαιτούσαν την διατήρηση ζωντανών σαρδελιών, για τουλάχιστον τρεις ημέρες μετά την σύλληψή τους. Οι περιορισμένες γνώσεις γύρω από το θέμα αυτό απαιτούν μια σφαιρικότερη και πληρέστερη γνώση της βιολογίας και της συμπεριφοράς του είδους. Ενσωματώθηκε, επίσης εδώ, και το θέμα των μετακινήσεων της σαρδέλας που έχει άμεση επίδραση, τόσο στα προβλήματα που θίγονται στην ενότητα αυτή, όσο και στις ανακλαστικές ιδιότητες του ψαριού.

Στην ενότητα αυτή περιλαμβάνονται τα υλικά και οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για να αντιμετωπιστούν τα παραπάνω προβλήματα, και που αποτελούν διακριτή ενότητα και ως προς το αντικείμενο και την φιλοσοφία τους, καθώς και ο τρόπος δειγματοληψίας των ατόμων στα οποία έγινε η εργαστηριακή επεξεργασία.

Για τις ανάγκες αυτής της μελέτης ήταν αναγκαίος ο έλεγχος: (α) Της επίδρασης της διαχείρισης των ψαριών κατά την σύλληψη και την διατήρησή τους ζωντανών σε δεξαμενές (η επίδραση αυτή έχει άμεση σχέση με την κατάσταση των ατόμων του δείγματος). (β) Της αντιπροσωπευτικότητας των ατόμων που επιβίωσαν (και από τα οποία έγινε δειγματοληψία), σε σχέση με τα αλιευθέντα ψάρια. (γ) Της αντιπροσωπευτικότητας του δείγματος σε σχέση με τον αρχικά αλιευθέντα πληθυσμό. Οι έλεγχοι αυτοί ήταν απαραίτητοι επειδή υπάρχουν ελάχιστες γνώσεις και εμπειρίες γύρω από την διατήρηση ζωντανής της σαρδέλας για πειραματισμούς. Η εξέταση αυτή επέτρεψε την εξαγωγή ορισμένων βασικών συμπερασμάτων που επιτρέπουν την μελλοντικά ευκολότερη αντιμετώπιση του προβλήματος.

### 2.1.1. ΒΙΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΗΣ ΣΑΡΔΕΛΛΑΣ

#### A. ΣΧΟΛΕΙΑ ΚΑΙ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΟ ΦΩΣ.

Η σαρδέλα παρουσιάζει μια συνηθισμένη κοινωνική συμπεριφορά των πελαγικών ψαριών: ζει και κινείται σε χαρακτηριστικού τύπου κοπάδια τα σχολεία<sup>7</sup>, που αποτελούν συνηθισμένη αντιθρευτική προσαρμογή στο γινύδι, χωρίς καταφύγιο πελαγικό οικοσύστημα.

Το φως αποτελεί το μήνυμα για την μετακίνηση ή τον σχηματισμό των σχολείων. Η όραση είναι η πρωταρχική αίσθηση για την διατήρηση της δομής του σχολείου και η δυναμική του εξαρτάται από τα ερεθίσματα της πλευρικής γραμμής. Με την όραση διατηρείται η θέση ενός ψαριού, ενώ η πλευρική γραμμή είναι σημαντική για τον έλεγχο και την διατήρηση της κολληβητικής ταχύτητας καθώς και για την αντίληψη της καταευθυντικής πορείας των γειτονικών ψαριών. Στα Clupeidae ο σχηματισμός σχολείων γίνεται πάνω από έναν ουδό φωτός

<sup>7</sup> Ο όρος **κοπάδι** ή **σχολή** (shoal) αναφέρεται σε μια ομάδα ψαριών, που περιμένουν μαζί για κοινωνικούς λόγους, χωρίς να δίνεται κοινή σημασία στην δομή και στην λειτουργία του.

Ο όρος **σχολείο** αναφέρεται σε κοπάδια που εκτελούν συγχρονισμένη και πολυμερή κολύμβηση. Η σχολαία συμπεριφορά είναι **μία** από τις συμπεριφορές που εμφανίζονται στις αγέλες των ψαριών. Έχει δομή μετρήσιμη ως προς την πολυπλοκότητα και τον συγχρονισμό της. Οποιαδήποτε άλλη δραστηριότητα εκτός από την μετακίνηση, οδηγεί **συνήθως** στην **διάσπαση** της εστιακής δομής του σχολείου. Έτσι η δομή του σχολείου διασπάται λιγότερο ή περισσότερο κατά την διατροφή, την αναπαραγωγή, την υστική και την εκτέλεση αντιθρευτικών ελιγμών. Η σχολαία συμπεριφορά μειώνει την πιθανότητα θήρασης, ενισχύει την εγκαθίδρυση αντιθρευτικών ελιγμών και διευκολύνει την είσοδο τροφής. Μια καλή προσέγγιση για τον μέσο όγκο διαθέσιμης του ένα ψάρι μέσα στο σχολείο είναι IBL<sup>2</sup> (BL: Σωματικό μήκος ψαριού) (Pitcher 1986). **Σχολείο - Σχολή** = Συγκέντρωση κατά τις ώρες που δεν υπάρχει απειλή. (Στην συγκεκριμένη περίπτωση όταν δεν συμβαίνει θήραση, αναπαραγωγή και την εκτέλεση αντιθρευτικών ελιγμών είναι οι κύριες "απειλές" των ψαριών).

από  $5 \times 10^{-1}$  έως  $3 \times 10^{-3}$  mc (Blaxter & Hunter 1982). Τα σχολεία της σαρδέλας διασπώνται στο σκοτάδι. Ο Muzinić (1963) αναφέρει τα 0.5 mc σαν την χαμηλότερη ένταση φωτός στην οποία κατέγραψε τον σχηματισμό σχολείου *Sardina pilchardus* σε δεξαμενές. Η ένταση αυτή αντιστοιχεί στα συννεφιασμένα χειμωιάτικα πρωινά. Ξαφνική αλλαγή της έντασης του λευκού φωτός από χαμηλές τιμές σε 100 mc, ακολουθείται από άμεση βόθση των σαρδέλας κοντά στον πάτο της δεξαμενής και στην συνέχεια από μερική ανάδυσή τους. Σύμφωνα πάντα με τον ίδιο ερευνητή, μέσα στις δεξαμενές οι σαρδέλες έχουν την τάση να κολιμπούν δεξιόστροφα. Το σχολείο διασπάται με την έναρξη της διατροφής και ξανασχηματίζεται λίγα λεπτά μετά το τέλος της. Ο σχηματισμός του σχολείου φαίνεται να είναι ανεξάρτητος της θερμοκρασίας, αφού παρατηρήθηκε σε ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών, από 9.5°C έως 26.6°C. Πειράματα σε διάφορα Clupeidae έχουν δείξει ότι αυτά τρέφονται ενεργητικά και επιλεκτικά με μεγάλου μεγέθους ζωοπλαγκτόν σε φωτεινές εντάσεις 0.1 mc, ενώ σε μεγαλύτερες εντάσεις (0.93 mc) τρέφονται και με μικρότερους οργανισμούς (π.χ. ναύπλιους *Artemia*). Αυτές οι φωτεινές εντάσεις επιτρέπουν την ενεργητική θρέψη στο φεγγαρόφως. Πάντως, τα μέγιστα της θρέψης παρατηρούνται την αυγή και το απόγευμα αλλά όχι το βράδυ (Batty *et al.* 1990). Στις σαρδέλες η διατροφή μπορεί να λάβει χώρα σε εντάσεις φωτός χαμηλότερες των 0.2 mc. Η διατροφή είναι λιγότερο έντονη σε μεγάλες φωτεινές εντάσεις 10 ή 100 mc. (Muzinić 1964a,b).

Η τάση για τον σχηματισμό σχολείων αυξάνει σταθερά με την ηλικία και είναι μια βαθμιαία διεργασία που ξεκινά προς το τέλος της νυκτικής ζωής. Στα ενήλικα ψάρια η διακίμανση στα μεγέθη των ψαριών σε ένα σχολείο δεν ξεπερνά το 30%. Συχνά όμως στα αλιεύματα της σαρδέλας έχουμε διαφορική κατανομή μεγεθών, λόγω καθέτων και οριζόντιων διαστρωματώσεων ανάλογα με το μέγεθος των ψαριών. Αρρωστα, πληγωμένα ή ψάρια με παράσιτα αφήνουν τα συνθή κοπαδία και ακολουθούν σχολεία μικρότερων ατόμων, που κολιμπούν βραδύτερα. Το γεγονός αυτό συνδέει την δυνατότητα ένταξης σε ένα σχολείο, με τις κολιμβητικές - κινητικές δυνατότητες του ψαριού. Τα Clupeidae τέλος σχηματίζουν μερικές φορές μικτά σχολεία, αποτελούμενα από δύο είδη, εκ των οποίων το ένα είναι αθρόνότερο. Αυτό συμβαίνει συνήθως μεταξύ γαύρου και σαρδέλας όταν ο πληθυσμός του ενός από τα δύο είδη μειωθεί έντονα, και θεωρείται σαν μια αντισταθμιστική προσαρμογή στην δραματική πτώση του πληθυσμού (Muzinić 1958, Blaxter & Hunter 1982).

Τέλος μια χαρακτηριστική αντιθρευτική συμπεριφορά των Clupeidae που έχει ιδιαίτερη σημασία για την μελέτη της νυκτικής κύστης, είναι η συμπεριφορά της "σύγχισης του εχθρού", μέσω της αποβολής φυσαλίδων αέρα της νυκτικής κύστης από την αμάρα, όταν τα ψάρια φοβηθούν ή επικρατήσει πανικός. Η συμπεριφορά αυτή αφενός μεν αυξάνει την κολιμβητική δυνατότητα, αφετέρου δημιουργεί πολλούς νέους "στόχους" στον θηρευτή, διευκολύνοντας το ψάρι να διαφύγει.

## B. ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΣΑΡΔΕΛΑΣ.

Η κατανομή και οι μετακινήσεις της σαρδέλας σχετίζονται με τέσσερις περιβαλλοντικούς παράγοντες που επηρεάζουν τις κινήσεις των κοπαδιών:

1. Θερμοκρασία του νερού
2. Η κατανομή του πλαγκτού
3. Τα ρεύματα
4. Το φως

Από αυτούς οι τρεις πρώτοι φαίνεται ότι είναι άμεσα συνδεδεμένοι με τις οριζόντιες μετακινήσεις ενώ ο τέταρτος είναι ισχυρά συνδεδεμένος με τις κάθετες μετακινήσεις (Culley 1970, Skrivanić & Zavodnik 1973).

### B.1. Οριζόντιες μετακινήσεις.

Η σαρδέλα είναι προσαρμοσμένη σε ένα δυναμικό ισοζύγιο περιβαλλοντικών παραγόντων, και πάντα επιλέγει περιοχές με ενδιάμεσες τιμές αυτών των παραγόντων, αποφεύγοντας τις

ακραίες συνθήκες. Σύμφωνα με τους Skrivanic και Zavadnik (1973), οι μετακινήσεις των σαρδέλων ακολουθούν την ισόθερμο των 15°C, και οι μεταναστεύσεις σχετίζονται με την θερμοκρασία, την αλατότητα, τα τροφικά ενδιαιτήματα και την διαθεσιμότητα της τροφής. Οι οριζόντιες μετακινήσεις σχετίζονται με την ωοτοκία. Την εποχή ωοτοκίας μετακινείται προς συγκεκριμένες εντοπισμένες περιοχές. Βασικό κριτήριο επιλογής αυτών των περιοχών φαίνεται ότι είναι η θερμοκρασία στα βάθη αναπαραγωγής, που δεν πρέπει να πέφτει κάτω από 10°C (Culley 1970).

Ανάλογα με την θερμοκρασία έχουμε μετατόπιση της εποχής, του τόπου και της διάρκειας της ωοτοκίας. Ετσι ενώ στη Μάγχη η ωοτοκία λαμβάνει χώρα κατά το καλοκαίρι, όταν υπάρχουν περιοχές που η θερμοκρασία ανεβαίνει πάνω από τους 10°C (Hickling 1945, Culley 1970), σε μικρότερα γεωγραφικά πλάτη έχουμε μετατόπιση της αναπαραγωγικής περιόδου. Στην Β. Αδριατική έχουμε έναρξη της αναπαραγωγικής περιόδου το Φθινόπωρο όταν η θερμοκρασία πέφτει κάτω από 20°C στα βάθη αναπαραγωγής και σταματά τον Φεβρουάριο όταν η θερμοκρασία κατέβει χαμηλότερα από 10°C. Σε νοτιότερα γεωγραφικά πλάτη (Ν. Αδριατική, Μαριμαράς, Ισπανία) εμφανίζεται ένα δεύτερο μέγιστο αναπαραγωγής την Άνοιξη όταν η θερμοκρασία ανεβεί στους 10°C μέχρι να ξεπεράσει τους 20°C. Το δεύτερο αυτό μέγιστο ενισχύεται όσο μειώνεται το γεωγραφικό πλάτος (Altı & Erman 1961, Demir & Demir 1961, Gamulin & Zavadnic 1961, Muzinic 1963, Daoulas & Economou 1986).

Έχει δείχθει ότι ο κύριος όγκος της αναπαραγωγής συμβαίνει σε περιοχές με θερμοκρασίες μεταξύ 10°C και 15°C, και αλατότητας 37-38,5‰/ω. Εξω απ' αυτό το εύρος η ωοτοκία είναι περιορισμένη και αποσπασματική. Ετσι οι οριζόντιες μετακινήσεις της σαρδέλας συνδέονται με την αναζήτηση προσηφορέτερης θερμοκρασίας τουλάχιστον κατά την αναπαραγωγική περίοδο. Παραγωγικότερες θαλάσσιες περιοχές εγκαταλείπονται κατά την αναπαραγωγική περίοδο, προκειμένου τα ψάρια να βρεθούν σε περιοχές με κατάλληλες θερμοκρασίες. Αυτό συμβαίνει παρόλο που η σαρδέλα εξακολουθεί να τρέφεται κατά την περίοδο της αναπαραγωγής. Μέσα στο εύρος 10°C-15°C οι προτιμώμενες θερμοκρασίες είναι 11°C-14°C. Η αλατότητα είναι σημαντική κυρίως για τα νεαρότερα στάδια. Οι νύμφες και τα νεαρά άτομα παρασπύρονται προς τις ακτές, όπου οι περιβαλλοντικοί παράγοντες είναι ευνοϊκότεροι και η τροφή (Skrivanic & Zavadnik 1973, Regner *et al.* 1987, Regner *et al.* 1988). Στην περιοχή του Αιγαίου μια βασική μετακίνηση που έχει καταγραφεί είναι η μετακίνηση από το Αιγαίο στη θάλασσα του Μαριμαρά στο τέλος της αναπαραγωγικής περιόδου και στη συνέχεια μια αντίθετη μετακίνηση στις αρχές του Φθινοπώρου, πριν την έναρξη της αναπαραγωγικής περιόδου (Altı & Erman 1961).

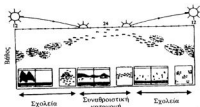
Ενας δεύτερος παράγοντας που επηρεάζει την οριζόντια κατανομή της σαρδέλας είναι η κατανομή της τροφής της (ζωοπλακτόν - φυτοπλακτόν). Αν και το φυτοπλακτόν δεν αποτελεί την κύρια τροφή της σαρδέλας, υπάρχουν θετικές στατιστικές συσχετίσεις συγκεντρώσεων φυτοπλακτού και πληθυσμών σαρδέλας. Αυτό παρατηρείται κυρίως σε πληθυσμούς οι οποίοι αποτελούνται από ψάρια που δεν θα γεννήσουν ή που μόλις γέννησαν. Το φαινόμενο αυτό συμβαίνει κυρίως κατά τους μήνες που η ποσότητα του ζωοπλακτού είναι μικρή και δεν επαρκεί για την θρέψη. Αντίθετα υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις θετικής συσχέτισης της κατανομής και των μετακινήσεων της σαρδέλας, με την κατανομή μεγάλων ζωοπλακτονικών ειδών. Ετσι στη Μάγχη οι σαρδέλες φαίνεται ότι ακολουθούν τις διαδρομές των *Calanus* και *Pseudocalanus* (Culley 1970), ενώ στην Αδριατική υπάρχουν ανάλογες παρατηρήσεις συγκεντρώσεων σαρδέλας που συγκεντρώνονται μεγάλα κωπήτοδα *Calanus helgolandicus* και *Euchaeta hebes* (Skrivanic & Zavadnik 1973). Τέλος είναι συνηθισμένη μια δευτερεύουσα μετακίνηση προς τις ακτές πριν ακολουθήσουν τα μεταναστευτικά τους μονοπάτια.

## **B.2. Κάθετες μετακινήσεις**

Οι κάθετες μετακινήσεις είναι έντονα συνδεδεμένες με το φως. Η προσαρμοστική αιτία για την

οποία αυτές εκτελούνται, δεν είναι επακριβώς γνωστή. Πιστεύεται ότι η εξελικτική αποτύπωση τους έγινε για τρεις λόγους (Levy 1987). Ο πρώτος αφορά μια αντιθρευτική στρατηγική: να αποφεύγουν τα βάθη όπου τα ψάρια γίνονται εύκολα ανιληπτά από τους θηρευτές τους, σχηματίζοντας ταυτόχρονα σχολεία τα οποία αποτελούν επίσης αντιθρευτική προσαρμογή (αντιθρευτική υπόθεση), (Pitcher 1986). Ο δεύτερος πιθανός λόγος αφορά την βρέψη: ακολουθούν την κάθετη μεταβολή της κατανομής των πλαγκτονικών οργανισμών με τους οποίους τρέφονται<sup>8</sup> (τροφονομική υπόθεση). Ο τρίτος λόγος αφορά τα ενεργειακά πλεονεκτήματα που αποκτούν μειώνοντας το ημερήσιο μεταβολικό κόστος στα βαθύτερα ψυχρότερα νερά (βιοενεργειακή υπόθεση).

Οι σαρδέλες παρουσιάζουν νυχθήμερες μεταβολές στην δομή των συναθροισμών τους. Οι μετακινήσεις αυτές έχουν μεγάλη επίδραση στο ηχο-ανακλαστικό δυναμικό (H.A.) της *Sardina richardsoni* γιατί μεταβάλλουν τον προσανατολισμό των ψαριών. Για παράδειγμα στις βρέγγες έχει μετρηθεί μικρότερη ανακλαστικότητα την νύχτα από την ημέρα (MacLennan *et al.* 1989, 1990). Οι συνθησμένες κλίσεις κατά τις κάθετες μεταναστεύσεις σε μια σειρά από ψάρια είναι της τάξης των 5° (Harden Jones & Scholes 1981).



Εικόνα 2.1. Ημερήσιος κύκλος της σαρδέλας (Azzali *et al.* 1980)

δισεπαρμένη ή μωσαϊκή (άτομα ή ομάδες λίγων ψαριών χωρίς ομοιόμορφη συμπεριφορά). Στη συνέχεια τα μικρά σχολεία ενώνονται μεταξύ τους και συθίζονται καθώς η ένταση του φωτός αφάνει (Εικόνα 2.1). Δισεπαρμένη κατανομή δείχνουν επίσης τα ψάρια αμέσως μετά την ωστοκία. (Dragesund 1964, Cullley 1970, Blaxter & Hunter 1982, Azzali *et al.* 1985, Zakharía 1990). Γενικά, η μέγιστη δραστηριότητα των σαρδελιών παρατηρείται αμέσως μετά το ηλιοβασίλεμα και πριν την ανατολή, ενώ η ελάχιστη παρατηρείται τα μεσάνυχτα και το μεσημέρι. Η δραστηριότητα δηλαδή, είναι χαμηλή στο σκοτάδι και στο έντονο φως, ενώ είναι υψηλή στις ενδιάμεσες εντάσεις του φωτός μεταξύ ημέρας και νύχτας. Η κίνηση προς την επιφάνεια γίνεται όταν το φως μειωθεί στα 0.5 έως 10 mc. (Blaxter & Hunter 1982, Azzali *et al.* 1985).

Το βάθος και ο τύπος κάθετων μετακινήσεων όπως αυτός μελετήθηκε με ηχοβολιστικά στο στενό της Μάγχης δίνεται στην Εικόνα 2.2. Το σχήμα της κάθετης μετακίνησης της σαρδέλας διαφέρει ανάλογα με την φωτεινότητα της ημέρας, στους διάφορους μήνες.

Η μη ύπαρξη πληροφοριών για την φωτιστική ένταση στη θάλασσα, προκαλεί σύγχυση, γιατί πολλές φορές το φεγγαρόφως, ο βιοφωτισμός ή το φως των άστρων φαίνεται να επαρκεί για τον σχηματισμό σχολείων (Blaxter & Hunter 1982). Πάντως οι πληροφορίες από την αλιεία με τεχνητό φως το βράδυ, υποστηρίζουν τα πειραματικά δεδομένα. Η τυπική αντίδραση της σαρδέλας στο φως είναι να παραμείνει σε νερά τα οποία έχουν συγκεκριμένη φωτεινή ένταση.

<sup>8</sup> Το πλαγκτόν κινείται προς το φως μέχρι μια ορισμένη ένταση και στη συνέχεια το αποφεύγει, εκπλώνοντας νυχθήμερες κόλφες μετακινήσεις. Το βελύδι το επιφανειακό πλαγκτόν τείνει να είναι αβιόντοτρο. Αυτό θεωρείται ότι αποτελεί αντιθρευτική προσαρμογή του πλαγκτού στην επίλεκτική θήρευση



Ετσι όταν η ένταση είναι μεγάλη τα ψάρια αντιδρούν βυθίζόμενα απότομα και απομακρυνόμενα από την εστία του φωτός. Στη συνέχεια έχουμε μια σταδιακή προσέγγιση της εστίας. Τα ψάρια παραμένουν γύρω από αυτή σε σταθερή απόσταση. Όταν μειώνεται η ένταση, προκαλείται μια προσέγγιση στην εστία του φωτός, ενώ η αύξηση της φωτεινής έντασης προκαλεί εκ νέου απομάκρυνση (Dragesund 1964).

Δύο δευτερεύοντες παράγοντες που επιδρούν στην κάθετη μετανάστευση είναι η πίεση και η θερμοκρασία. Η σαρδέλα είναι φυσόστομος μπορεί να ελευθερώνει αέρα της νηκτικής κίστης σε περιπτώσεις απότομης αλλαγής της πίεσης.

Πάντως οι μέγιστες ταχύτητες ανόδου και καθόδου των ψαριών απέχουν πολύ από το να δημιουργήσουν πρόβλημα στα ψάρια. Η θερμοκρασία φαίνεται ότι επιδρά στο βάθος της κάθετης μετανάστευσης κατά τους θερινούς μήνες. Τα ψάρια έχουν την τάση να παραμένουν στο επίπεδο του θερμοκλινούς κατά την ημέρα, ενώ κατά τους ψυχρούς μήνες, όταν η θερμοκρασία των νερών αποκτά μεγαλύτερη ομοιογένεια, το θερμοκλινές δεν φαίνεται να έχει κάποιο σημαντικό ρόλο (Dragesund 1964, Zupanovic 1965).

Η συνεχής αυτή κοιλμβητική δραστηριότητα των Clupeidae υποστηρίζεται από την ύπαρξη άφθονων κόκκινων μυών, που στην *Sardina pilchardus* θάβει στο 28,9% (για ένα άτομο 15cm), ξεπερνώντας πολλά σκουμβροειδή.

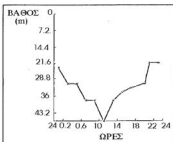
## 2.1.2. ΤΡΟΦΗ ΚΑΙ ΘΡΕΠΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΕΣΕΙΣ ΤΗΣ ΣΑΡΔΕΛΑΣ.

Σύμφωνα με τους Blaxter & Hunter (1982) και Batty *et al.* (1990), η πλειονότητα των Clupeidae είναι πλαγκτονοφάγα, τρέφόμενα με φυτοπλαγκτόν, ζωπλαγκτόν και άλλα μικρά καρκινοειδή. Υπάρχουν ωστόσο Clupeidae τα οποία είναι μακροφάγα και μικροφάγα. Τα πλαγκτονοφάγα ψάρια φτιάχνουν τα μεγαλύτερα και πυκνότερα σχολεία. Η σημαντική αλευτική τους σημασία οφείλεται στο γεγονός ότι τρέφονται κοντά στην πρωτογενή παραγωγή. Τροφοληπτικά η σαρδέλα είναι διήθηματοφάγος: η διήθηση είναι ο κύριος τρόπος θρέψης τους. Στην διαίτα των ενήλικων κυριαρχεί το ζωπλαγκτόν αν και το φυτοπλαγκτόν υπάρχει πάντα σε μεγάλες ποσότητες. Η διήθηση συνδέεται με συγκεκριμένη ενεργό τροφοληψία, κάτι που έχει παρατηρηθεί σε ενυδρεία και δεξαμενές. Συνήθως τα ψάρια καταφέρνουν στην ενεργό τροφοληψία παρουσία φωτός και όταν η πυκνότητα της λείας είναι πολύ χαμηλή για διήθηση.

Από τροφοληπτική άποψη το πλαγκτόν που καταναλώνει η σαρδέλα χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες.

- 1) Αυτό που ποτέ δεν χρησιμοποιείται. Υπάρχουν ζώα που αποφεύγονται για διάφορους λόγους όπως, για παράδειγμα, τα κνιδώζα.
- 2) Αυτό που αποτελεί δευτερεύουσα τροφή για την σαρδέλα. Εδώ περιλαμβάνονται πολλά φυτοπλαγκτοκινικά είδη και μερικά Μετάζωα που συνδέονται με το φυτοπλαγκτόν.
- 3) Η προτιμώμενη τροφή, που είναι το υψηλής θρεπτικότητας ζωπλαγκτόν. Τα σημαντικότερα ζώα, που αποτελούν την διατροφή της κρίνονται από τα στομαχικά περιεχόμενα είναι τα *Calanus finmarchicus*, *Pseudocalanus elongatus* και *Centrotopages typicus* στον Ατλαντικό (Culley 1970), ενώ στην Μεσόγειο τα *Calanus helgolandius*, *Paracalanus parvus*, *Pseudocalanus elongatus*, *Onca sp.* και *Euchaeta hebes* (Skrivanic & Zavodnik 1973).

Στην τρίτη κατηγορία ο όρος "προτιμώμενη" σημαίνει ότι η σαρδέλα είναι ικανή για



Εικόνα 2.2. Κοίτη κατενοσύρ της *S. pilchardus* 24ωρη βόθη (Culley 1970)

ενεργό τροφοληψία και επιλογή της τροφής της. Οι τροφές αυτές βρίσκονται μέσα στο στομάχι σε υψηλότερο ποσοστό απ' ό,τι στο περιβάλλον. Αν και το ζωοπλακτόν προτιμάται έναντι του φυτοπλακτόν, το βάρος των διατόμων στα στομάχια δείχνει ότι αυτά ίσως είναι σημαντικότερα τροφή κατά την ακμή του φυτοπλακτόν (bloom) την Άνοιξη και το Φθινόπωρο, κρίνοντας από το βάρος τους στα στομάχια. Οι λοιπές προτιμώμενες τροφές αφορούν (1) Κωπήποδα, (2) άλλα Καρκινοειδή όπως Αμφίποδα, Ευφασωδή και διαφόρους τύπους νυμφών, (3) Διάτομα, (4) Περιδινία, (5) Μαλάκια -ιδιαίτερα νύμφες Ελασματοβοραχίων και Γαστεροπόδων, (6) αυγά -κυρίως Κωπήπόδων- τα οποία μπορεί να λαμβάνονται ενεργά ή να βρίσκονται μέσα σε θηλυκά άτομα της λείας (Hickling 1945, Muzinic 1957a, Demirhindi 1961). Η σαρδέλα έχει μακριά λεπτά δαηθητικά βραγχιακά εξαρτήματα, που κατακρατούν τους πλακτονικούς οργανισμούς με τους οποίους τρέφεται. Η τροφή που συγκρατείται εκεί μεταφέρεται στη συνέχεια με ένα ρεύμα νερού μέσω του οισοφάγου στο στομάχι.

Κατά την τροφοληψία κολιμπιούν για λίγο αργά, ανοίγουν το στόμα τους, αυξάνουν την ένταση της κολίμβησης με λίγα δυνατά χτυπήματα της ουράς. Το στόμα κλείνει λίγο πριν το τελευταίο χτύπημα και μια σύντομη ολιόθηρη προηγείται της επόμενης διήθησης. Η τροφοληψία γίνεται επίσης μέσω συνεχούς κολίμβησης με ανοιχτό το στόμα. Η μεταπήδηση από τον ένα τύπο συμπεριφοράς στον άλλο εξαρτάται από την συγκέντρωση τροφής (Blaxter & Hunter 1982).

Οι ημερήσιες τροφοληπτικές συνήθειες της σαρδέλας συσχετίζονται με την θέση του πλακτόν στη θάλασσα. Διάφορες μελέτες δείχνουν ότι κατά την νύχτα συμβαίνει μια γρήγορη μετακίνηση από τις ακτές προς τα βαθύτερα νερά, ενώ έχουμε επάνοδο προς τις ακτές, μέσω της κάθετης μεταναστεύσης κατά την ημέρα (Culley 1970). Συνήθως γίνεται η υπόθεση ότι οι μετακινήσεις αυτές σχετίζονται τουλάχιστον εν μέρει σε μια εγγενή τάση των ψαριών να κινούνται προς πλουσιότερα τροφικά πεδία. Τα μέγιστα της διατροφής συνδέονται με την κάθετη μεταναστεύση, συμβαίνουν κατά τις ώρες της ημέρας που επικρατεί ημίφως: την αυγή και το λυκαυγές. Είναι όμως πιθανό η τροφοληψία να συνεχίζεται και κατά τις ώρες του φωτός όταν βυθίζονται βαθύτερα ακολουθώντας τις κάθετες μετακινήσεις του πλακτόν (Muzinic 1964b, Culley 1970). Η διατροφή περιορίζεται στο ελάχιστο κατά την νύχτα εκτός και αν υπάρξει τεχνητό φως (Muzinic 1957b, Demirhindi 1961, Andreu 1965).

### 2.13. ΕΠΟΧΙΑΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ

Με βάση και τα παραπάνω είναι φανερό, ότι το μέγεθος των γονάδων, η πληρότητα του στομαχίου και η συνολική ποσότητα λίπους, παρουσιάζουν έντονες εποχιακές διακυμάνσεις. Οι παραμέτροι αυτές έχουν στενή συνάφεια με την νηκτική κύστη: είτε ανατομικά ή/και λειτουργικά. Στόχος αυτής της μελέτης ήταν να διερευνηθεί η πιθανή επίδρασή τους στις μεταβολές του μεγέθους και του σχήματος της νηκτικής κύστης και κατ'επέκταση στις μεταβολές στο ηχο-ανακλαστικό δυναμικό (Η.Δ.) της σαρδέλας. Για τον σκοπό αυτό η δειγματοληψία έπρεπε να σχεδιαστεί έτσι ώστε να συμπεριλάβει τις βασικές ετήσιες διακυμάνσεις αυτών των παραμέτρων.

#### **A. ΣΤΟΜΑΧΙΚΟ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ.**

Από τρίχρονης μελέτης του στομαχικού περιεχομένου των σαρδελιών στην Μάγχη, βρέθηκε ότι η σαρδέλα έχει ένα τροφικό κύκλο που επαναλαμβάνεται κάθε χρόνο (Hickling 1945, Culley 1970). Ο κύκλος δείχνει ότι υπάρχουν τρεις κορυφές. Η πρώτη συμβαίνει τον Ιούνιο και η θρέψη έχει υψηλός ρυθμός μεταξύ Απριλίου και τέλους Ιουλίου. Από το τέλος Ιουλίου μέχρι τα μέσα Σεπτεμβρίου, υπάρχει μια γρήγορη πτώση στην στομαχική ποσότητα τροφής, αλλά ένα δεύτερο μέγιστο συμβαίνει κατά τον Οκτώβριο. Μετά απ' αυτό η ποσότητα της τροφής πέφτει και παραμένει σε χαμηλά επίπεδα (μέση ποσότητα τροφής 0.1g) από τον Νοέμβριο μέχρι τον Φεβρουάριο. Η πτώση που παρατηρείται κατά τον Αύγουστο δεν σχετίζεται με κάποια μείωση

της ποσότητας του πλαγκτού, που παραμένει άθρονο. Είναι πιθανότερο ότι σχετίζεται με την φυσιολογία και την συμπεριφορά του ψαριού μετά την αναπαραγωγή. Δυστυχώς δεν υπάρχουν συστηματικές ποσοτικές μελέτες στην περιοχή της Μεσογείου, για τον εποχιακό ρυθμό διατροφής της σαρδέλας. Οι αναφορές που υπάρχουν διαπιστώνουν γενικά, εντονότερη θρέψη κατά την διάρκεια των θερινών μηνών και μείωση κατά τους φθινοπωρινούς και χειμερινούς μήνες (Muzinic 1957a,b, Vucetic 1961).

## Β. ΩΣΤΟΚΙΑ - ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΓΟΝΑΔΩΝ.

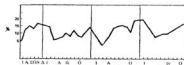
Η σαρδέλα έχει παρατεταμένη εποχή ωστοκίας. Οι μελέτες στο στενό της Μάγχης έχουν δείξει ότι το μέγιστο της ωστοκίας είναι τον Ιούνιο, όταν και η θερμοκρασία των νερών ανεβαίνει πάνω από τους 10°C (Culley 1970). Σε μικρότερα γεωγραφικά πλάτη η αναπαραγωγή μετατοπίζεται εποχιακά προς το Φθινόπωρο και τον Χειμώνα. Ταυτόχρονα η διάρκεια της αυξάνει εκτεινόμενη μέχρι την Άνοιξη, όπου εμφανίζει και μια δεύτερη έξαρση, η οποία γίνεται εντονότερη όσο το γεωγραφικό πλάτος μειώνεται.

Στη Β. Αδριατική η αναπαραγωγή αρχίζει από τα μέσα Φθινοπώρου τέλη Οκτωβρίου-Νοέμβριο, φθάνει στο μέγιστο τον Δεκέμβριο και πέφτει σταδιακά μέχρι τέλη Απριλίου. Τον Ιανουάριο και Φεβρουάριο όταν η θερμοκρασία πέφτει κάτω από 10°C δεν υπάρχουν ενδείξεις ωστοκίας. Η ωστοκία επανεμφανίζεται Μάρτιο-Απρίλιο όταν η θερμοκρασία ανεβαίνει πάνω από 10°C (Gamulin & Zavodnic 1961). Στη κεντρική Αδριατική η αναπαραγωγή εκτείνεται από Νοέμβριο μέχρι αρχές Μαΐου, παρουσιάζοντας δύο μέγιστα ένα τον Δεκέμβριο και ένα άλλο σαφώς μικρότερο τον Μάρτιο (Gamulin 1948, Casvola *et al.* 1988). Νοτιότερα (κόλπος Νάπολης, θάλασσα του Μαρμαρά) η ωρίμανση αρχίζει τέλη Οκτωβρίου-αρχές Νοεμβρίου ενώ η κύρια αναπαραγωγή συμβαίνει τέλη Δεκεμβρίου-αρχές Ιανουαρίου. Η αναπαραγωγή της σαρδέλας συνεχίζεται μειωμένη και κατά τους επόμενους μήνες μέχρι τα τέλη Μαΐου εμφανίζοντας ένα δεύτερο έντονο μέγιστο κατά την περίοδο Μαρτίου-Απριλίου. Η αναπαραγωγή σταματά οριστικά κατά τον Μάιο (Demir & Demir 1961, Altı & Erman 1961, Dragesund 1964).

Στην Ελλάδα δεν υπάρχουν αναλυτικές μελέτες, τα υπάρχοντα όμως στοιχεία συμφωνούν με τα προαναφερθέντα δεδομένα τοποθετώντας την κύρια αναπαραγωγική έξαρση στις αρχές Ιανουαρίου και την αναπαραγωγική περίοδο να εκτείνεται από Νοέμβριο έως τα τέλη Απριλίου (Τσιμενίδης προσωπική επικοινωνία, Dioulas & Economidou 1986).

## Γ. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΛΙΠΟΥΣ.

Το λίπος παρουσιάζει και αυτό έντονη εποχιακή διακύμανση (Εικόνα 2.2). Η εποχικότητα της ποσότητας του λίπους στο ξηρό βάρος της σαρδέλας, φαίνεται ότι επηρεάζει την εποχιακή αλλαγή του συνολικού βάρους. Είναι πιθανόν ότι οι αλλαγές στο λιπαδικό περιεχόμενο του πλαγκτού είναι μεγάλης σημασίας για το ψάρι. Οι αναλυτικές μελέτες στη σαρδέλα της Μάγχης, δείχνουν ότι η ποσότητα λίπους στο ξηρό βάρος της τροφής που βρίσκεται στο στομάχι μειώνεται κατά τον Ιούλιο και τον Αύγουστο. Το λίπος συσσωρεύεται στην σάρκα, το μεσεντέριο και το σκώδι. Η μέγιστη ποσότητα μεσεντερίου λίπους παρατηρείται τον Αύγουστο ή τον Σεπτέμβριο. Φαίνεται ότι το μεσεντέριο λίπος είναι σημαντικότερο και απορροφάται εντονότερα από το σωματικό, αν και αναγεννάται δυσκολότερα. Οι αλλαγές στην ποσότητα του αποθηκευμένου λίπους σχετίζονται με την θρέψη και τον κύκλο αναπαραγωγής. Δυστυχώς τα λιπτομερή δεδομένα για την εποχιακή διακύμανση του λίπους υπάρχουν μόνο για την Μάγχη, όπου η εποχή έντονης θρέψης και αναπαραγωγής συμπίπτουν (Hickling 1945, Culley



Εικόνα 2.3. Μέσο μηνιαίο % λίπους σε σαρδέλας (Culley 1970)

1970).

Σε κάθε περίπτωση το λίπος συσχετίζεται με τα γεγονότα της φυσικής ιστορίας του ψαριού και όχι με το ημερολογιακό έτος. Στην εικόνα 2.3 παρατηρούμε πτώση του λίπους μετά την ωστοκία και έντονη συσώρευση λίπους κατά το δεύτερο μέγιστο της θρέψης μετά την ωστοκία. Η πτώση του λίπους είναι έντονη τον χειμώνα, ενώ έχουμε συνεχή παρουσία υψηλού ποσοστού λίπους κατά τις περιόδους θρέψης. Γενικότερες μελέτες στα διάφορα Clupeidae έχουν δείξει ότι το ποσοστό των λιπιδίων είναι χαμηλό στα νεαρά άτομα. Το ποσοστό λίπους αυξάνεται με την αύξηση του μεγέθους του ψαριού (Hickling 1945). Η γενική τάση του ποσοστού λίπους είναι να αυξάνεται κατά την διάρκεια των θερινών μηνών και του φθινοπώρου (οπότε φθάνει το μέγιστο) και να μειώνεται κατά τον χειμώνα. Οι ποσοστιαίες διακυμάνσεις των πρωτεϊνών, της στάχτης και της υγρασίας οφείλονται κυρίως στην έντονη εποχιακή διακύμανση του λίπους. Πάντως ένα τμήμα της αύξησης του ποσοστού της πρωτεΐνης είναι ανεξάρτητο των διακυμάνσεων του λίπους και συνδέεται με την γενετική ωρίμανση (Strange & Pelton 1987).

## 2.14. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΙΧΜΑΛΩΣΙΑΣ

### A. ΣΥΛΛΗΨΗ, ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΚΑΙ ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ

Παρά την μεγάλη εμπορική σημασία της *Sardina pilchardus*, υπάρχουν ελάχιστες εργαστηριακές εργασίες λόγω της δυσκολίας να διατηρηθεί σε συνθήκες αιχμαλωσίας. Επει τα εργαστηριακά δεξαμενά για την φυσιολογία και την συμπεριφορά της σαρδέλλας είναι πολύ περιορισμένα. Ο κυριότερος λόγος των δυσκολιών είναι ότι όλες οι μέθοδοι σύλληψης που έχουν χρησιμοποιηθεί, προκαλούν σοβαρούς τραυματισμούς στο ψάρι λόγω της εύκολης απολέπισης του. Οι τραυματισμοί αυτοί οδηγούν συνήθως σε υψηλά ποσοστά θανάτων (πάνω από 80%) μέσα σε λίγες ώρες, ή στις καλύτερες περιπτώσεις μέσα σε λίγες ημέρες. Οι τραυματισμοί αυτοί είναι συνήθως αποτέλεσμα της τριβής τους με αδρές επιφάνειες, ιδίως όταν τα ψάρια είναι έξω από το νερό (Verheizen 1955).

Ο καλύτερος τρόπος για να συλληφθούν τα Clupeidae είναι με κυκλικά δίχτυα που τα κρατούν συνεχώς μέσα στο νερό, τα καταπονούν όσο το δυνατόν λιγότερο και τα υποβάλλουν σε ελάχιστη επιδερμική τριβή. Σαν τυπική τους αντίδραση τα Clupeidae τείνουν να κρατούνται σε απόσταση από το δίχτυ - φράγμα. Αυτό εμποδίζει τον τραυματισμό τους μέχρι να επικρατήσει πανικός, οπότε αρχίζει η απολέπιση. Η σύλληψή τους πρέπει να γίνει όταν πεκνώσουν αρκετά και μόλις αρχίσουν να φαίνονται τα πρώτα επιπλέοντα λέπια (Muzinic 1964a, Blaxter & Hunter 1982). Η μεταφορά τους στον τόπο συντήρησής τους γίνεται είτε με δεξαμενές, είτε με καλάθια βυθισμένα στο νερό. Η μεταφορά των σαρδελλών από το δίχτυ σύλληψης στα δοχεία μεταφοράς γίνεται συνήθως με απόχη. Αυτό είναι μια βασική αιτία τραυματισμού τους. Οι τραυματισμοί αυτοί μειώνονται σε μεγάλο βαθμό όταν χρησιμοποιηθεί μεταφορικό μέσον με λεία πλαστικά τοιχώματα (Verheizen 1955).

Αφού βγούν από την θάλασσα, τοποθετούνται σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερες δεξαμενές, για να προκαλείται η μικρότερη δυνατή ένταση (stress) και οι λιγότεροι δυνατοί τραυματισμοί από πανικό. Για την μεταφορά και την διατήρηση αιχμαλωτισμένων ψαριών, οι κυλινδρικές δεξαμενές είναι αποτελεσματικότερες από τις παραλληλεπίπεδες, λόγω της τάσης των ψαριών να συγκεντρώνονται στις γωνίες, κάτι που προκαλεί τραυματισμό των κεφαλιών τους καθώς κολιμούν συνεχώς αντίθετα στα τοιχώματα των γωνιών. Ένας άλλος παράγοντας που μειώνει σημαντικά τους τραυματισμούς, είναι τα τοιχώματα της δεξαμενής να είναι λεία, απολύτως αδιαφανή και μαύρα, ώστε να εξουδεθερώνονται όλοι οι παράγοντες που θα ενεργοποιούσαν τον φωτοστακτικό των ψαριών. Οποιοδήποτε φωτεινό σημείο της δεξαμενής δημιουργεί εστία έλξης που προκαλεί βίαιη κίνηση και πρόσκρουση με τα τοιχώματα (Verheizen 1955).

Ο Muzinic (1964a, 1966, 1968) είναι ο βασικός ερευνητής που διατήρησε ζωντανές σαρδέλες σε πειραματικές συνθήκες. Για την μεταφορά των σαρδελλών χρησιμοποίησε είτε

αναισθητικό, είτε σε μικρές δεξαμενές με συνεχή παροχή νερού. Για την διατήρησή τους ο Muzinic χρησιμοποίησε τετράγωνες δεξαμενές διαφόρων διαστάσεων (μικρός 295cm, 119cm πλάτος, 120cm ύψος η μεγαλύτερη και 64cm x 48cm x 18cm η μικρότερη) με αρχικές ιχθυοφορτίσεις κλεινομέμενες από 0.04 ψάρια ανά λίτρο μέχρι 1 ψάρι ανά λίτρο. Το νερό ανανεωνόταν συνεχώς με μη διηθημένο θαλασσινό νερό, και ο αερισμός των δεξαμενών γινόταν με πεπιεσμένο αέρα.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του παραπάνω πειράματός, η θνησιμότητα της πρώτης εβδομάδας κινήθηκε από 22.7% έως 100%. Το σύνολο σχεδόν της θνησιμότητας συνέβαινε κατά τις τρεις πρώτες ημέρες. Στα 2/3 των πειραμάτων η θνησιμότητα ήταν πάνω από 70%. Ο Muzinic απέδωσε την θνησιμότητα αυτή σε τραυματισμούς κατά την αλιεία, την μεταφορά και την διαχείριση των ψαριών, ενώ υπήρξαν ενδείξεις ότι η θερμοκρασία επηρέαζε την θνησιμότητα. Χαμηλότερες θνησιμότητες παρατηρήθηκαν όταν χρησιμοποιήσε αναισθητικό για την μεταφορά των ψαριών. Γενικά τα μικρότερα ψάρια έδειξαν μια τάση για μεγαλύτερη αντοχή στους τραυματισμούς.

Στις παραπάνω έρευνες δεν έγινε δυνατόν να αποδοθούν σε κάποιες συγκεκριμένες αιτίες οι θνησιμότητες που παρατηρήθηκαν μετά την πρώτη εβδομάδα, οι οποίες μετά την τρίτη ημέρα αιχμαλωσίας ήταν σχεδόν μηδενικές. Αρνητικά επιδρούσε η συνπαρέχ με άλλα ψάρια που είχαν αιχμαλωτισθεί, ειδικά με σκουμβροειδή και γόπες, λόγω των εκδορών που προκαλούντο στις σαρδέλες από την επαφή μαζί τους.

## **B. ΔΙΑΤΡΟΦΗ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΙΧΜΑΛΩΣΙΑΣ.**

Για την διατροφή των Clupeidae σε συνθήκες αιχμαλωσίας έχουν χρησιμοποιηθεί pellets, κρέας από *Mytilus* sp. και *Loligo* sp., κρέας ψαριού, φυσικό και αποξηραμένο ζωοπλαγκτόν. Ο μέσος τροφικός ρυθμός τους είναι 10% του υγρού σωματικού βάρους/ημέρα. Την συντήρηση των ψαριών βοηθά η προσθήκη βιταμίνης B<sub>6</sub> με ρυθμό 0.6mg/kg υγρού βάρους/ημέρα. Ενώ συνήθως χρησιμοποιείται Terramycin με ρυθμό 50mg/kg υγρού βάρους ψαριού/ημέρα, για τον έλεγχο βακτηριακών ασθενειών (Muzinic 1964a, 1966).

Ο Muzinic (1964b, 1966) για την διατροφή της σαρδέλας σε δεξαμενές χρησιμοποίησε κρέας ψαριού, σικώτι βοδινού, και λευκό σιμιγδάλι. Η περίοδος εντατικής διατροφής συνέπιπτε με την φάση ελαχιστοποίησης της θνησιμότητας. Σε όλες τις περιπτώσεις προστίθεντο βιταμίνες στην τροφή (A, C, D, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>6</sub>, νικοτινιμίδη). Οι σαρδέλες τρεφόταν εντατικά και σε μικρές και σε μεγάλες δεξαμενές. Οι σαρδέλες ελάμβαναν τροφή σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών από 9.5-26.6°C. Υπό την επίδραση διαταραχών, ο ρυθμός διατροφής έπεφτε, οι σαρδέλες βυθίζοντο στο βαθύτονο σημείο της δεξαμενής και ανέβαιναν μόνο για να πιάνουν την τροφή. Διαφορετικοί ρυθμοί παροχής τροφής δεν οδήγησαν σε ανταγωνισμό. Οι σαρδέλες διατρέφοντο επίσης κανονικά και με την παρουσία ψαριών από άλλα είδη όπως γαύρος, σκομπρι και γόπα.

## **Γ. ΧΡΗΣΗ ΑΝΑΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΨΑΡΙΩΝ.**

Γενικά οι γνώσεις μας για την χρήση αναισθητικών στα ψάρια είναι περιορισμένες. Αναλυτικότερη μελέτη της επίδρασης διαφόρων αναισθητικών στα ψάρια έγινε από τον McFarland (1959, 1960, βλ. επίσης Schnick *et al.* 1986), ενώ διάφορα αναισθητικά χρησιμοποιήθηκαν με επιτυχία στην μεταφορά και διαχείριση της σαρδέλας από τον Muzinic (1968, 1970).

Με την χρήση διαφόρων αναισθητικών και διαφορετικών δόσεων επιτυγχάνουμε διαφόρους βαθμούς αδρανοποίησης συγκεκριμένων νευρικών κέντρων. Οι αλλαγές που προκαλούνται μπορούν να παρατηρηθούν με αλλαγές στο ρυθμό διαφόρων λειτουργιών του ψαριού, όπως του ρυθμού κίνησης του βραγχιακού επικαλύμματος, των κινήσεων των θωρακικών πτερυγίων, του καρδιακού ρυθμού, του μεταβολικού ρυθμού. Το δυναμικό νάρκωσης, ή η σχετική ένταση της επίδρασης ενός αναισθητικού, αυξάνεται όσο αυξάνεται το Μοριακό του Βάρους (MB). Η αντοχή

των φαρμάκων στα αναισθητικά είναι μάλλον μικρή, γι' αυτό απαιτείται μεγάλη προσοχή στην διαχείρισή, αφού η παραμικρότερη αύξηση πάνω από κάποια επίπεδα προκαλεί θάνατο.

Ο βαθμός αναισθησίας και άρα η συγκέντρωση του αναισθητικού που θέλουμε να χορηγήσουμε εξαρτάται από το γιατί το χρησιμοποιούμε. Έτσι για μαρκάρισμα, ζύγισμα και γενικά βιαιότερη μεταχείρισή, απαιτείται πλήρης ακινησία, ενώ για την μεταφορά του αρκεί *Βαθιά Αναισθησία*, που μειώνει την ένταση και την κατανάλωση οξυγόνου (στάδιο I-2 βλ. ΠΙΝΑΚΑ 2.1.). Ανάλογα με την χρήση τους τα ναρκωτικά χωρίζονται σε αυτά που χρησιμοποιούνται συνθέστερα σε (α) διαχειριστικές διαδικασίες και (β) σ' αυτά που χρησιμοποιούνται για την μεταφορά.

Τα συνθέστερα αναισθητικά είναι η αιθυλική αλκοόλη, Τριτοταγής βουτύλ-αλκοόλη, Ουριθάνη, Διένυδρος χλωράλη, Τριτοταγής αμιλική αλκοόλη, Μεθόλ-παραφινόλη, αμυταλικό Νάτριο, Χλωροβοτανόλη, Methane trichloinesulfonate: MS<sub>222</sub>, Τριβρωμοαιθανόλη. Για την επίτευξη αναισθησίας χρησιμοποιείται επίσης η ψύξη και η παράλυση με ηλεκτροσόκ. Σύμφωνα με τον McFarland (1959, 1960) τα διάφορα στάδια αναισθησίας των φαρμάκων είναι (Πίνακας 2.1):

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΑΝΑΙΣΘΗΣΙΑΣ. Επίπεδα αναισθησίας και οι φυσιολογικές αποκρίσεις τους.**

ΣΤΑΔΙΟ	ΕΠΙΠΕΔΟ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΗΘΟΛΟΓΙΚΕΣ ΑΠΟΚΡΙΣΕΙΣ
0		Συνήθης κατάσταση	Αντίδραση στα εξωτερικά ερεθίσματα, ισορροπία, κανονικός μυϊκός τόνος.
I	1	Ελαφρά Νάρκωση	Ελαφρά απώλεια της αντίδρασης στα εξωτερικά ερεθίσματα (όραση, αφή)
I	2	Βαθιά Νάρκωση	Ολική απώλεια της αντίδρασης στα εξωτερικά ερεθίσματα, εκτός της ισχυρής πίεσης, ελαφρά μείωση του επικαλιμματικού ρυθμού.
II	1	Μερική απώλεια της ισορροπίας	Μερική απώλεια του μυϊκού τόνου, αντίδραση μόνο σε πολύ ισχυρά απτικά ερεθίσματα, απώλεια της κολιμβητικής ικανότητας, αύξηση του επικαλιμματικού ρυθμού.
II	2	Ολική απώλεια της ισορροπίας	Ολική απώλεια του μυϊκού τόνου. Μείωση του επικαλιμματικού ρυθμού κάτω του φυσιολογικού. Αντίδραση μόνο σε πολύ έντονα ερεθίσματα πίεσης.
III		Απώλεια ανακλαστικής αντίδρασης	Ολική απώλεια των αντιδράσεων, ο αναπνευστικός ρυθμός πολύ αργός, ο καρδιακός ρυθμός επίσης αργός.
IV		Μυελώδης κατάρρευση	Οι αναπνευστικές κινήσεις σταματούν, συνοδευόμενες μερικά λεπτά αργότερα από τις καρδιακές.

Αυξάνοντας την δόση του αναισθητικού μειώνουμε την διάρκεια κάθε σταδίου και συνακόλουθα

αιχάνουμε το βάθος της αναισθησίας. Από όσα είναι γνωστά για τα ψάρια, τα μεγαλύτερα άτομα είναι πιο ευαίσθητα στα αναισθητικά: υπάρχει μια τάση να επάγονται βαθύτερα στάδια αναισθησίας σε μεγαλύτερα ψάρια, για την ίδια ποσότητα αναισθητικού. Επίσης υπάρχει μια τάση για ταχύτερη και βαθύτερη επαγωγή αναισθησίας στις μεγαλύτερες απ' ό,τι σε μικρότερες θερμοκρασίες.

Όταν θέλουμε να αναλάβουν τα ψάρια από την αναισθησία, βγάζουμε τα ψάρια από το διάλυμα του αναισθητικού ή αραιώνουμε το διάλυμα με ανανέωση του νερού. Το ίδιο κάνουμε μόλις τα ψάρια φτάσουν στον επιθυμητό βαθμό αναισθησίας και δεν θέλουμε να προχωρήσουν σε άλλο.

Κατά την μεταφορά ζωντανών ψαριών, τα ψάρια που διεγείρονται και βρίσκονται σε κατάσταση έντασης και πανικού, φοβούν ευκολότερα και ταχύτερα, από τα μη διεγερόμενα. Οι μικρότερες θνησιμότητες κατά την μεταφορά με χρήση αναισθητικού πιστεύεται ότι οφείλονται: (α) στην μείωση του μεταβολισμού, την κατανάλωση λιγότερου οξυγόνου (επιτρέποντας τον τετραπλάσιασμό ή και τον πενταπλάσιασμό των ιχθυοφορτίσεων), και (β) στην μείωση της έντασης (stress). Αντίθετα έχει παρατηρηθεί ότι η υπερδραστηριότητα και υπερκίνητικότητα των ψαριών οδηγεί συχνά σε θανάτους ακόμη και αν τα ψάρια δεν βρίσκονται σε μεγάλη πυκνότητα. Αυτό οφείλεται στην υπερβολική παραγωγή γαλακτικού οξέος κατά τα πρώτα στάδια της διαχείρισης και της μεταφοράς, το οποίο παρεμείνει στον οργανισμό για πολλές ώρες και είναι δύσκολο να αποβληθεί. Τα ψάρια δείχνουν υπερδραστηριότητα λόγω της έντασης, και αυτό τα καταπονεί και τους προκαλεί φυσικές βλάβες, επειδή τείνουν να συγκεντρώνονται στις γωνίες, τον πυθμένα και να τριβονται με τα τοιχώματα. Η νάρκωση τείνει να μειώσει όλους αυτούς τους παράγοντες.

Μεταξύ των διαφόρων τύπων ναρκωτικών ο McFarland (1960) προτείνει το MS<sub>222</sub> γιατί έχει το πλεονέκτημα της γρήγορης επαγωγής βαθιάς αναισθησίας, δεν δείχνει μακροχρόνιες επιδράσεις στα αναλαμβάνοντα ψάρια, και έχει ταχύτερο ρυθμό ανάληψης. Θεωρεί επίσης, ότι αυτό είναι το καταλληλότερο για την μεταφορά ψαριών. Επίσης ο Muzinic το κρίνει αποτελεσματικότερο για την σαρδέλα, σε σχέση με την βενζοκαϊνη.

Ο Muzinic (1968, 1970) πειραματίστηκε στην επίδραση διαφόρων συγκεντρώσεων του MS<sub>222</sub> στην μεταφορά, την διαχείριση και το μαρκάρισμα των σαρδελών. Σύμφωνα με τον ίδιο ερευνητή, η αναισθησία μειώνει την θνησιμότητα (ιδίως κατά τα πρώτα στάδια της σύλληψης) και τον απολειπισμό σε κάθε περίπτωση διαχείρισης (π.χ. μαρκάρισμα). Η νάρκωση γινόταν με εισοδο των ψαριών σε δεξαμενή που περιείχε πρόσφατο διάλυμα αναισθητικού. Η συγκέντρωση 1:15.000 βρέθηκε ότι ήταν προσφορότερη για το μαρκάρισμα των ψαριών και την επαγωγή της αναπνευστικής κατάρρευσης (Στάδιο III, ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1.). Αραιότερες συγκεντρώσεις (1:20.000) έχουν βραδύτερη και ασταθέστερη επίδραση. Ο χρόνος ανάληψης από την νάρκωση σ' αυτές τις συγκεντρώσεις ήταν 11' έως 15'. Για την μεταφορά η συγκέντρωση 1:100.000 βρέθηκε χρήσιμη, αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ακόμη ασθενέστερες συγκεντρώσεις. Ο ίδιος προτείνει την συγκέντρωση 1:150.000 για την μεταφορά σαρδελών σε θερμοκρασίες 18,5°C - 19,0°C.

## **2.2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ**

### **2.2.1. ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ**

Για τον αριθμό των ατόμων που έπρεπε να αναλυθούν εργαστηριακά κάθε φορά.

συνολογοίσθηκαν οι παρακάτω παράγοντες

- 1) Ο αριθμός των παραμέτρων ερευνήθηκαν, ως προς την επίδρασή τους στην νηκτική κύστη (πέντε τον αριθμό: μέγεθος ψαριού, στομάχι, γονάδες, φύλο, λίπος).
- 2) Η εποχικότητα της μεταβολής των παραμέτρων.
- 3) Το χρηματικό κόστος του κάθε ατόμου του δείγματος

4) Το κόστος σε χρόνο της επεξεργασίας του κάθε δείγματος δεδομένου ότι μετά την λήψη των ατόμων, απαιτούνται 15 ημέρες εργαστηριακής εργασίας ανά άτομο, για την εξαγωγή δεδομένων προς επεξεργασία.

Με βάση τα παραπάνω η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στο μέσον των τεσσάρων εποχών του χρόνου (Απρίλιος, Ιούλιος, Οκτώβριος, τέλη Δεκεμβρίου). Την Άνοιξη (Απρίλιος) η ανάπτυξη των γονάδων και το συσσωρευμένο λίπος παρουσίασαν τις ελάχιστες τιμές, ενώ η ένταση της θρέψης ήταν μικρή. Το Καλοκαίρι (Ιούλιος) έχουμε αύξηση του αποθηκευμένου λίπους, κανονική διατροφή (στομάχι με πληρότητα διαφόρων βαθμών), ανάπτυξη γονάδων πολύ μικρή (στάδιο I ή II). Το Φθινόπωρο (Οκτώβριος) η συσσώρευση του λίπους είναι αυξημένη, η γονάδες αυξάνονται, η ένταση της διατροφής μειώνεται. Το Χειμώνα (Δεκέμβριος - Ιανουάριος), έχουμε την μέγιστη ανάπτυξη των γονάδων, ελαχιστοποίηση του λίπους, ελαχιστοποίηση της διατροφής. Οι τέσσερις δειγματοληψίες συμπληρώθηκαν με μια πέμπτη το Καλοκαίρι του 1990, αφενός μεν για να υπάρξει εποχιακή επικάλυψη στην δειγματοληψία, αφετέρου γιατί κατά την πρώτη δειγματοληψία είχαν συλλεχθεί κυρίως μικρά άτομα.

Επειδή οι παράμετροι που εξετάστηκαν σ' αυτή την εργασία ήταν πέντε, οι βαθμοί ελευθερίας κατά την στατιστική επεξεργασία υπολογίζονται από την σχέση  $BE = n - k - 1$ , όπου  $n = 0$  αριθμός των ατόμων του δείγματος,  $k = 0$  οι παράμετροι και  $BE$  οι βαθμοί ελευθερίας. Οι βαθμοί ελευθερίας που απαιτούνται είναι τουλάχιστον 3. Άρα αντικαθιστώντας και εξισώνοντας την σχέση με 3, βρίσκουμε ελάχιστο μέγεθος δείγματος  $n = 9$ . Σε κάθε δείγμα συλλέγονταν τουλάχιστον 17 άτομα. Ενώ σε πρώτη φάση γίνονταν επεξεργασία στο εργαστήριο τουλάχιστον 10 ατόμων.

Συνολικά έγινε η επεξεργασία σε 50 ψάρια που συλλέχθηκαν στις 4 εποχές του χρόνου.

## 2.2.2. ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

Η δειγματοληψία έγινε στην περιοχή της Καβάλας για τρεις λόγους:

- 1) Λόγω της αφθονίας της σαρδέλας στο βόρειο Αιγαίο (αφθονία που σταδιακά μειώνεται προς Νότον και ελαχιστοποιείται στο Κρητικό πέλαγος, ώστε να γίνεται απαγορευτική για τις ανάγκες της δειγματοληψίας).
- 2) Επειδή στην μεγάλη ποικιλία των αλιευτικών εργαλείων που λειτουργούν στην περιοχή υπάρχει και το "σαρδελιό" που κρίθηκε σαν το καταλληλότερο για την δειγματοληψία της εργασίας αυτής.
- 3) Λόγω της επάρκειας στην τεχνική υποδομή και υποστήριξη που παρείχε η πόλη, το λιμάνι και η ιχθυόσκαλα της Καβάλας, όπου τοποθετήθηκαν οι δεξαμενές διατήρησης της σαρδέλας.

Η ευαισθησία της σαρδέλας έκανε την διατήρηση ζωντανών ατόμων δύσκολη. Για τις συνθήκες του πειραματισμού μας ήταν αναγκαία η διατήρηση ζωντανών ατόμων για τουλάχιστον 3 ημέρες (72 ώρες). Η βιβλιογραφία για την σύλληψη και την διατήρηση της σαρδέλας σε συνθήκες αιχμαλωσίας είναι πολύ περιορισμένη με μία εξαίρεση σε συνθήκες αρκετά διαφορετικές από τις δικές μας (Muzinic 1963, 1966, 1968). Η τεχνική αυτή ακολουθήθηκε και στην παρούσα εργασία με τροποποιήσεις που αύξησαν την επιβίωση. Ειδικότερα αντ'ι για το ψάριμα με Γρι-Γρι που είχε χρησιμοποιηθεί από τον Muzinic (1964a,b), επιλέχθηκε το "Σαρδελιό", που έχει τα παρακάτω πλεονεκτήματα: α) Είναι εύρηστο εργαλείο β) Δεν πιάνει μεγάλες ποσότητες ψαριών γ) Διατηρεί τα ψάρια σε καλή κατάσταση χωρίς να τα ταλαιπωρεί. Τα ψάρια αλιευμένα ευκολότερα ζωντανά, ενώ ένα μεγάλο ποσοστό δεν τραυματίζεται κατά το ψάριμα.

Το "σαρδελιό" είναι κυκλικό δίχτυ, με μάτι 10 mm από κόμβο σε κόμβο. Το μικρό μάτι του δίχτυο αντιμετωπίζεται από το ψάρι σαν "αδιαπέραστο τοίχος" και μειώνει τους τραυματισμούς. Το ύψος (ώθος) του δίχτυο είναι γύρω στα 30 μέτρα, ενώ το μήκος του είναι 250 μέτρα. Στο πάνω μέρος υπάρχουν φελοί, ώστε να επιπλέει, ενώ στο κάτω μέρος φέρει



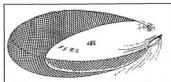
μεταλλικούς κρίκους, μέσα από τους οποίους περνά σχοινί (η στίγγα). Οι φλοιοί στο πάνω μέρος και το βάρος στο κάτω μέρος, έχουν σαν αποτέλεσμα το δίχτυ επιπλέει και να παραμένει κάθετο προς την επιφάνεια της θάλασσας. Το σχοινί στο κάτω μέρος χρησιμοποιείται για να κλείνει το δίχτυ και να μετατρέπει τα σε σάκκο (Εικόνα 2.4).

**Περιγραφή του τρόπου αλιείας.** Η αλιεία γίνεται το απόγευμα. Αρχίζει από τις 14:00 - 16:00 (ανάλογα την εποχή και την δύση του ήλιου), και μπορεί να συνεχίζεται μέχρι να σκοτεινιάσει εντελώς (δηλαδή κατά την διάρκεια της ανοδικής κίνησης των σχολείων της σαρδέλας μέχρι αυτά να διασπαρούν). Το σκάφος εκτελεί ανιχνευτικές διαδρομές στις περιοχές που συχνάζουν οι σαρδέλες. Μόλις εντοπιστεί κάποιο σχολείο ψαριών (με ηχοβολιστικό μηχανήμα ή οπτικά), εκτελείει δοκιμαστική διαδρομή πάνω από το μέσον του σχολείου ώστε να εκτιμηθεί το μέγεθος και να επιβεβαιωθεί η θέση του. Η κίνηση πάνω από το κοπάδι και η απομάκρυνση απ' αυτό γίνεται κατά το δυνατόν βραδύτερη, με ορθή μηχανή για να μη τρομάζουν τα ψάρια. Η οπτική επαφή με το κέντρο του κοπαδιού διατηρείται με σημαδούρα. Στη συνέχεια, αφού το σκάφος απομακρυνθεί σε ικανή απόσταση, κυκλώνει ταχύτατα το κοπάδι με το δίχτυ. Τέλος η στίγγα μαζεύεται και έτσι το δίχτυ κλείνει από κάτω. Από την στιγμή αυτή, όσα ψάρια δεν διέφυγαν, είναι εγκλωβισμένα και αρχίζει το μάζεμα του δικτύου (των πανιών). Η διαδικασία αυτή είναι αργή και έχει σαν αποτέλεσμα να πυκνώνει τα διάσπαρτα ψάρια, να τα φέρει κοντά στην βάρκα και στην επιφάνεια, χωρίς να τους προκαλέσει πανικό. Όταν τα ψάρια έχουν έρθει κοντά στην βάρκα και έχουν πυκνώσει αρκετά γίνεται η δειγματοληψία.

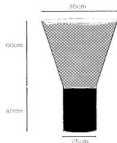
Ο εύκολος τραυματισμός της σαρδέλας κατά την αλιεία προκαλεί μεγάλες θνησιμότητες. Ο κύριος λόγος τραυματισμού είναι ο απολειπισμός τους όταν έρχονται σε επαφή με αδρές επιφάνειες και στη συνέχεια η μόλυνση των πληγών τους. Η χρησιμοποίηση λείων πλαστικών επιφανειών ελαχιστοποιούν τους τραυματισμούς (Verheijen 1955). Οι τρόποι μεταφοράς που χρησιμοποιήθηκαν από προηγούμενους ερευνητές ήταν: α) απόχη, β) μεταλλικά δοχεία με τρύπες και γ) πλαστικό δοχείο με δύτη. Όμως κανένας από τους τρεις τρόπους δεν μπορούσε να εφαρμοστεί ή δεν είχε ικανοποιητικά αποτελέσματα στην περίπτωση μας.

Για τον λόγο αυτό η μεταφορά τους από το δίχτυ στις δεξαμενές του σκάφους έγινε με την χρήση ειδικής επινόησης όργανου συλλέκτη (Εικόνα 2.5.). Με τον συλλέκτη αυτόν αξιοποιήθηκαν τα πλεονεκτήματα του πλαστικού δοχείου και της απόχης, χωρίς να προκληθούν σοβαροί τραυματισμοί στα ψάρια. Με τον τρόπο αυτό τα ψάρια μεταφέρθηκαν στις δεξαμενές μαζί με νερό χωρίς να έρθουν καθόλου σε επαφή με αδρές επιφάνειες. Επίσης ο συλλέκτης έδινε τη δυνατότητα συλλογής πολλών ψαριών κάθε φορά, ώστε να περιοριστεί ο χρόνος δειγματοληψίας και ο πανικός στα ψάρια.

Για την μεταφορά των σαρδελάων στο τόπο μόνιμης εγκατάστασής τους έχουν χρησιμοποιηθεί από διάφορους ερευνητές δύο μέθοδοι α) Νάρκωση κατά την μεταφορά τους, β) Συνεχής παροχή νερού. Η πρώτη περίπτωση δεν ήταν δυνατόν να χρησιμοποιηθεί παρά μόνο εάν η θερμοκρασία ήταν πολύ χαμηλή (κάτω των 18°C) ενώ στην δεύτερη είχαμε μεγάλο ποσοστό άμεσης θνησιμότητας και τραυματισμού λόγω του αρχικού πανικού των ζώων και του μεγάλου χρόνου προσαρμογής στις νέες συνθήκες. Ο συνδυασμός των δύο έδωσε καλύτερα αποτελέσματα.



Εικόνα 2.4. Αλιεία με σαρδέλιω.



Εικόνα 2.5. Σχηματική απεικόνιση του συλλέκτη.

Τα ψάρια μεταφερόντουσαν με συλλέκτη σε κυλινδρικές δεξαμενές των 221 λίτ (Επιφάνεια = 0,201m<sup>2</sup>, Ακτίνα = 25cm, Ύψος = 1m), με μαύρα τοιχώματα, όπου υπήρχε διάλυμα MS<sub>222</sub> (συγκέντρωσης 1:70000). Μόλις τα ψάρια ηρεμούσαν (στάδιο I-1 προς I-2, Πίνακας 2.1.1.) άρχιζε η συνεχής παροχή νερού. Η συνεχής παροχή νερού αραίωσε το ναρκωτικό και επανέφερε τα ψάρια σε κανονική κατάσταση (Στάδιο 0, ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1.). Έτσι σύντομα τα ψάρια αναλάμβαναν πλήρως τις αισθήσεις τους στο νέο τους πλέον περιβάλλον. Με αυτό τον τρόπο οι βίαιες αντιδράσεις μειώθηκαν και η προσαρμογή στο νέο περιβάλλον επιταχυνόταν. Η παροχή αναισθητικού κρίθηκε απαραίτητη λόγω του μικρότερου όγκου και των υψηλότερων ιχθυοπορτοίων στις δεξαμενές μεταφοράς σε σχέση με τις δεξαμενές διατήρησης. Η συνεχής παροχή νερού διατηρήθηκε καθ' όλη την διάρκεια της διαδρομής από τον τόπο αλιείας μέχρι τον τόπο μόνιμης εγκατάστασής τους. Επίσης καθ' όλη την διάρκεια της διαδρομής οι δεξαμενές παρέμειναν σκεπασμένες. Η διάρκεια μεταφοράς των ψαριών από στην σύλληψή τους μέχρι τον τόπο μόνιμης εγκατάστασής τους φαίνεται παρακάτω στον ΠΙΝΑΚΑ 2.2.

### 2.2.3. ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΖΩΝΤΑΝΩΝ ΨΑΡΙΑΣΤΩΝ

Αμέσως μετά την άφιξη στην ιχθυοσκάλα τα ψάρια ετοποθετούντο στις δεξαμενές μόνιμης εγκατάστασης, που ήταν κυκλικές δεξαμενές από PVC των 417 Lit, διατάσεων (Επιφάνεια = 0,385m<sup>2</sup>, Ακτίνα = 70cm, Ύψος = 1m) με μαύρα τοιχώματα (ώστε να μην δημιουργούνται φωτεινές εστίες). Για την μεταφορά χρησιμοποιείται και πάλι ναρκωτικό για ηρεμία, χωρίς τα ψάρια να αφήνονται να φτάσουν σε ολική νάρκωση (αραίωση του ναρκωτικού με παροχή νερού κατά τακτά χρονικά διαστήματα). Για την μεταφορά τους στις δεξαμενές μόνιμης εγκατάστασης χρησιμοποιήθηκε άσπιχη από πλαστικό με τρύπες ώστε να αποφεύγεται η τριβή με ανώμαλες επιφάνειες και να μεταφέρονται τα ζώα μαζί με νερό.

Τα ψάρια παρέμειναν ζωντανά στην δεξαμενή, περισσότερο από τις απαιτούμενες 72 ώρες (Ona 1987a), για τουλάχιστον 96 ώρες. Η περίοδος αυτή είναι απαραίτητη ώστε τα ψάρια να προσαρμοστούν πλήρως στο νέο τους περιβάλλον και να γαμίσουν εκ νέου την νηκτική κύστη που συχνά αδειάζει κατά το ψάρεμα και την μεταφορά τους.

Κατά την διάρκεια της διατήρησής τους οι δεξαμενές είχαν διαρκή παροχή νερού. Οι δεξαμενές καθαρίζονταν από τα νεκρά ψάρια, τα περιττώματα και τα λείψα κάθε 12 ώρες με σωλήνα αναρρόφησης. Μία φορά κάθε 24 ώρες υποβάλλοντο, είτε (στην πρώτη δειγματοληψία) σε λουτρό φορμόλης (200 ppm) επί 1 ώρα με διακοπή της παροχής νερού, είτε (στις υπόλοιπες δειγματοληψίες) σε λουτρό αντιβιοτικού επί 1 ώρα (ILLEGANIN-100, Furaltadine HCL 100%, υδατοδιαλυτή σκόνη σε συγκέντρωση 35ppm/100gr).

Η συνεχής παροχή νερού εξασφαλιζόταν με αντλία (KSB-FILTRA, 4W, 4-12m<sup>3</sup>/h, IP54) που ανανέωσε το νερό τουλάχιστον 3 φορές την ώρα. Στην παροχή νερού δινόταν κατευθύνση ελασπιδόμηση προς τα τοιχώματα της δεξαμενής, έτσι ώστε το νερό να κινείται διαρκώς κυκλικά. Τα ψάρια σχημάτιζαν σχολεία μέσα στην δεξαμενή και κολιμπούσαν με φορά αντίθετη του ρεύματος. Τα ψάρια αντιδρούσαν σε οποιαδήποτε ενόχληση με σύσφιξη και βύθιση του σχολείου. Η αποχέτευση του νερού γινόταν μέσω τυφλού κυλινδρικού σωλήνα από PVC με τρύπες, ώστε να μην δημιουργούνται εστίες έντονης υποπίεσης που καταπονούν τις ζωντανές σαρδέλες, και να μην σταματά η εκροή του νερού με απόφραξη από νεκρές σαρδέλες που επέπλεαν, ή τις ημιθανείς που δεν είχαν την δύναμη να απομακρυνθούν, ή από τα λείψα. (Οι σαρδέλες που πριν το θάνατό τους έχουν ικανή ποσότητα αέρα στην νηκτική κύστη επιπλέουν για αρκετή ώρα, έως ότου ο ελαστικός σφικτήρας χαλαρώσει και αδειάσει η κύστη). Αντίθετα όσα ψάρια έχουν την νηκτική κύστη άδεια βυθίζονται στον πυθμένα της δεξαμενής, δεδομένου ότι το ειδικό τους βάρος είναι μεγαλύτερο από το νερό (Harder 1975).

Από την επομένη ημέρα της σύλληψης παρέχονταν τροφή στα ψάρια μία φορά την ημέρα. Η τροφή ήταν λεπτό σιμιγδάλι, pelets και Aqualine (46% πρωτεΐνη, 11% υγρασία, 13% λίπη, 11% στάχτη). Δεν παρατηρήθηκε ενεργός θρέψη των ψαριών με καμμά απ' αυτές τις τροφές.

Κατά την διάρκεια των δειγματοληψιών είχαμε ολοκληρωτικούς θανάτους ή καταστροφή του δείγματος τρεις φορές και απώλεια του δείγματος για τεχνικούς λόγους.

## 2.2.4. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ

Μετά την πάροδο τουλάχιστον 94 ωρών γινόταν η λήψη του δείγματος. Τα ψάρια ναρκωνόταν με MS<sub>222</sub> συγκέντρωσης [1:20000]. Τα ναρκωμένα ψάρια στεραίωνονταν με λαβίδες, που εμπόδιζαν τις αναλαστικές κινήσεις, σε οριζόντια θέση σε δοχείο με υγρό άζωτο (-190°C). Με την μέθοδο αυτή η ψύξη είναι ακαριαία ( $\approx 30''$ ) και δεν επιτρέπει παραμορφώσεις στα κύρια όργανα του ψαριού. Κατ' αυτόν τον τρόπο η νηκτική κύστη του ψαριού "στερεοποιείται και παραμένει αναλλοίωτη ως προς το σχήμα και τον όγκο της" (Foote & Ona 1985). Η απότομη ψύξη δεν επιτρέπει την διαστολή του νερού και την διάρρηξη των ιστών και των κυτταρικών μεμβρανών διατηρώντας τις δομές αναλλοίωτες. Για τον ίδιο λόγο παρόλο που ο όγκος του αέρα της νηκτικής κύστης συστέλλεται, τα τοιχώματά της και η μεμβράνη της διατηρούν το σχήμα και το μέγεθος μιας αναλλοίωτης γεμάτης νηκτικής κύστης (Farrant *et al.* 1977, Foote & Traynor 1988, Ona 1990).

Σε μια δεύτερη ομάδα ψαριών εμετρείτο επί τόπου ο όγκος του αερίου της νηκτικής κύστης. Αφού τα ψάρια έρχονταν σε πλήρη αναισθησία με MS<sub>222</sub> συγκέντρωσης [1:20000], άδειάζε τελείως η νηκτική κύστη με έντονη πίεση της κοιλιακής χώρας από το ύψος της κοιλιάς προς τον πρωκτό, κάτω από ανεστραμμένο γυαλινο χωνί που καταλήγει σε ανεστραμμένο βαθμολογημένο ογκομετρικό κύλινδρο (Ona 1987a, 1990). Και αυτά τα δείγματα αυτή επιλέχθηκε από τις διάφορες που έχουν χρησιμοποιηθεί κατά καιρούς (ανασκόπηση Jay 1993), γιατί είναι η μόνη που εξασφαλίζει την άμεση μέτρηση του όγκου της νηκτικής κύστης.

Για να διατηρηθούν τα δείγματα χωρίς παραμορφώσεις, πρέπει να διατηρούνται σε θερμοκρασίες κάτω των -20°C. Για τον σκοπό αυτό ετοποθετούντο σε φορητό ψυγείο με Ξηρό πάγο και μεταφέρονταν αεροπορικώς στο Ηράκλειο.

## 2.2.5. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ.

Οι στατιστικές μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν αναλύσεις απλής και βαθμωτής παλινδρόμησης. Με τις μεθόδους αυτές εξετάστηκαν οι επιδράσεις των διαφόρων παραγόντων στην επιβίωση και στην κατάσταση των ατόμων του δείγματος. Η άμεση και ημερήσια επίδραση των παραγόντων εξετάστηκε ως προς το ποσοστό θνησιμότητας. Η τελική συνολική επίδραση τους εξετάστηκε ως προς το ποσοστό επιβίωσης (ποσοστό επιβίωσης = 100 - ποσοστό θνησιμότητας). Για τις συγκρίσεις μεταξύ των διαφόρων δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε ο έλεγχος-t και ο έλεγχος  $\chi^2$ .

Η μέθοδος της ανάλυσης απλής και βαθμωτής πολλαπλής παλινδρόμησης, χρησιμοποιήθηκε εκτεταμένα τόσο σε αυτήν όσο και στις επόμενες ενότητες, για την εύρεση σχέσεων του όγκου και της διατομής της νηκτικής κύστης με τις διάφορες παραμέτρους των ψαριών. Κατά την ανάλυση της βαθμωτής παλινδρόμησης, οι παλινδρομητές<sup>9</sup> επιλέγονται ένας-ένας, ανάλογα με το ποσοστό της διασποράς των τιμών της εξηρημένης μεταβλητής που ερμηνεύουν. Επιλέγεται κατ' αρχήν ο παλινδρομητής ο οποίος εξηγεί το μεγαλύτερο ποσοστό της διασποράς των τιμών. Στην συνέχεια επιλέγεται ο παλινδρομητής που ερμηνεύει το μεγαλύτερο ποσοστό της υπολειπόμενης διασποράς κ.ο.κ. Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να

<sup>9</sup> Μεταβλητή θεωρείται η παράμετρος που χρησιμοποιείται στην παλινδρόμηση, π.χ. μήκος (M). Ο Παλινδρομητής είναι η μαθηματική έκφραση με την οποία η μεταβλητή εισέρχεται στον προφίτιος στην παλινδρόμηση. Έτσι αν M είναι η μεταβλητή, οι όροι  $\log M$ ,  $M^2$ ,  $e^M$ ... είναι παλινδρομητές. Για παράδειγμα στην σχέση  $Y = a \cdot M^b + b \cdot M + \gamma$ , έχουμε μία μεταβλητή το M, δύο παλινδρομητές τους  $M^b$  και M και έναν σταθερό όρο.

μην υπάρχουν παλινδρομητές που να εξηγούν διασπορά των τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής, ή να μειώνουν το προσρμοσμένο- $R^2$  ( $\bar{R}^2$ ). Το ποσοστό της διασποράς που ερμηνεύει κάθε παλινδρομητής εκφράζεται από την μεταβολή του  $R^2$ , το οποίο αυξάνεται καθώς προστίθενται παλινδρομητές.

Στην συνέχεια γίνεται ένας δεύτερος έλεγχος. Ελέγχουμε την πιθανότητα ο συντελεστής του παλινδρομητή να είναι μηδέν (τιμή-Ρ, επίπεδο σημαντικότητας). Αν η πιθανότητα, ο συντελεστής του παλινδρομητή να ισούται με 0, είναι μεγαλύτερη ή ίση του 10% ( $P \geq 0.1$ ), τότε ο παλινδρομητής πρέπει σχεδόν πάντα να εκπέσει από την σχέση. Αν η πιθανότητα είναι μεταξύ 10% και 5% ( $0.1 > P > 0.05$ ), τότε είναι συνήθως στην διακριτική μας ευχέρεια να ενσωματωθεί ή να φύγει από την σχέση. Αν η πιθανότητα είναι μικρότερη του 5% ( $P < 0.05$ ), τότε ο παλινδρομητής συνήθως παραμένει στην εξίσωση. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η απόφαση να ενσωματωθεί ή να φύγει ένας παλινδρομητής από μία σχέση, δεν αποφασίζεται μηχανικά από τα στατιστικά αποτελέσματα. Αν υπάρχουν ισχυροί θεωρητικοί λόγοι για τους οποίους πιστεύουμε ότι ένας παλινδρομητής πρέπει να ενσωματωθεί ή να φύγει από την σχέση, τότε αυτό θα πρέπει να γίνει ανεξάρτητα από το στατιστικό αποτέλεσμα. Η απόφαση για μια τέτοια ενέργεια είναι συνήθως ένας συμβιβασμός μεταξύ των στατιστικών αποτελεσμάτων και του θεωρητικού υποβάθρου που υπάρχει (Wonnacott & Wonnacott 1981).

Υπολογίζονται επίσης οι τυπικοί (standardized) συντελεστές, οι οποίοι προκύπτουν με την παλινδρόμηση των τυποποιημένων τιμών των μεταβλητών ( $Z = \frac{\bar{X} - x_i}{\sqrt{s^2}}$ ), όπου  $\bar{X}$  είναι ο μέσος όρος

των τιμών του δείγματος,  $x_i$  είναι η τιμή  $i$  της μεταβλητής και  $s^2$  είναι η διασπορά των τιμών του δείγματος). Οι τυπικοί συντελεστές έχουν την ιδιότητα να είναι ανεξάρτητοι των μονάδων μέτρησης των μεταβλητών. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, οι τυπικοί συντελεστές να είναι συγκρίσιμοι μεταξύ τους. Με σύγκριση των τυπικών συντελεστών μπορούμε να δούμε:

- 1) Σε τι ποσοστά ο κάθε συντελεστής διαμορφώνει την τελική τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής, δηλαδή το βάρος του στην διαμόρφωση της τιμής του.
- 2) Πώς και πόσο αυτό το βάρος μεταβάλλεται από την μια σχέση στην άλλη.

Οι τυπικοί συντελεστές είναι πάρα πολύ χρήσιμοι για να μελετήσουμε μεταβολή της επίδρασης των παραμέτρων, όταν έχουμε μεταβολή των πειραματικών συνθηκών και μεταβολές από την μια εποχή στην άλλη (Wonnacott & Wonnacott 1981 και Zar 1984).

Η στατιστική επεξεργασία και τα διαγράμματα έγιναν σε Ηλεκτρονικό Υπολογιστή (PC, συμβατό IBM 486). Χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πακέτο STATGRAPHICS-PLUS (1991).

### **2.3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

Σε κάθε δειγματοληψία μετρήθηκαν (Πίνακας 2.2.)

- 1) Η **Αμση θερμομότητα** από την στιγμή που τοποθετήθηκαν στις δεξαμενές μεταφοράς μέχρι την στιγμή της εγκατάστασής τους στις δεξαμενές μόνιμης εγκατάστασης στην Ξηρά.
- 2) Η **αρχική ιχθυοφόρτιση** των δεξαμενών.
- 3) Η **θερμομότητα** σε 12ώρη βάση. Νωρίς το πρωί (07:00) και πριν την δύση του ηλίου (19:00).
- 4) Η **θερμοκρασία** του νερού.
- 5) Η **τελική Επιβίωση**.
- 6) Η **Παροχή** του νερού.
- 7) Η **επιβίωση** με και χωρίς αντιβιοτικό.
- 8) Η **επιβίωση κατά την μεταφορά** με ναρκωτικό και με συνεχή παροχή νερού.
- 9) Η **σχέση της Κατά Μήκος Σύσχεσης** των ατόμων που συλλέχθηκαν από το "σαρδελιό" και των ατόμων που ελήφθησαν για ανάλυση της νηκτικής κόστους.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2** Αναλυτικά δεδομένα από την διατήρηση των σαρκωδών σε δεξαμενές, α/α= αίζων αριθμός δεξαμενής, Σ.Νο. = Συνολικός αριθμός αλιποθέντων ψαριών που τοποθετήθηκαν σε δεξαμενές μεταφοράς, ΙΧΘ. = Ιχθυοφόρτιση δεξαμενών διατήρησης, ο αρχικός αριθμός των ψαριών που τοποθετήθηκαν, %Α.Θ. = η επί τους εκατό άμεση θνησιμότητα (η θνησιμότητα κατά την μεταφορά των ψαριών από τον τόπο αλίευσης στις δεξαμενές διατήρησης σαν ποσοστό των ψαριών που τοποθετήθηκαν στις δεξαμενές μεταφοράς), Τ°C = η μέση θερμοκρασία του νερού κατά την διάρκεια της διατήρησής τους σε °C, %S= ποσοστό τελικής επιβίωσης των ψαριών που τοποθετήθηκαν στις δεξαμενές διατήρησης, ΟΡΑ = ώρα αλίευσης, Π= παροχή νερού η ανανέωση του νερού σε δεξαμενές ανά ώρα Ι.Μ.= Ιχθυοφόρτιση Μεταφοράς: το ποσοστό ιχθυοφόρτισης κατά την μεταφορά σε φάριμα/lit, Ι.Α. = Ιχθυοφόρτιση Διατήρησης: το ποσοστό ιχθυοφόρτισης κατά την τοποθέτηση των ψαριών στις δεξαμενές διατήρησης σε φάριμα/lit, t= ο χρόνος μεταφοράς των ψαριών από την ώρα αλίευσης έως την ώρα τοποθέτησής τους στις δεξαμενές διατήρησης σε min.

ΜΗΝΑΣ	ΕΤΟΣ	α/α	Σ.Νο	ΙΧΘ.	%Α.Θ.	Ι.Μ.	Τ°C	Ι.Α.	%S	ΟΡΑ	t	Π
4	1989	1	160	147	7.9	0.36	16	0.35	16.3	17:40	80	4
7	1989	1	188	108	42.5	0.43	26.7	0.26	3.7	18:30	60	4.5
7	1989	2	204	114	44.2	0.46	27	0.27	11.4	20:00	60	5
7	1989	3	122	69	43	0.28	27	0.31	4.3	20:00	30	5
10	1989	1	263	200	23.9	0.59	17.5	0.48	4.5	16:00	90	5
10	1989	2	268	262	22.3	0.61	17.5	0.63	6.5	17:30	60	4
12	1989	1	11	8	0	0.05	11.7	0.04	62.5	15:00	60	4.5
12	1989	2	160	158	1.25	0.36	11.7	0.38	28.5	16:00	60	4.5
12	1989	3	66	66	0	0.30	12	0.30	25.2	16:00	45	5
4	1990	1	118	110	7	0.43	16.5	0.26	-	16:00	55	-
4	1990	2	173	165	5.1	0.39	16.5	0.40	61.2	18:30	45	4
7	1990	1	312	175	43.9	0.71	25.7	0.42	6.3	18:30	45	4
7	1990	2	299	113	62.2	0.68	25.7	0.27	11.5	20:30	45	5

### 2.3.1. ΑΜΕΣΗ ΘΝΗΣΙΜΟΤΗΤΑ

Εξετάστηκε εξάρτηση της **Άμεσης Θνησιμότητας** (το ποσοστό της θνησιμότητας από την στιγμή της τοποθέτησης στις δεξαμενές μεταφοράς μέχρι την τοποθέτησή τους στις δεξαμενές διατήρησης), σε σχέση με την **θερμοκρασία**, την **ιχθυοφόρτιση** και τον **χρόνο μεταφοράς**. Ο έλεγχος έγινε με την μέθοδο της παλινδρόμησης.

Η άμεση θνησιμότητα παρουσίασε έντονη αυξητική συσχέτιση τόσο με την **θερμοκρασία** όσο και με την **ιχθυοφόρτιση**. Και στις δύο περιπτώσεις την καλύτερη προσαρμογή στα δεδομένα είχε το πολλαπλασιαστικό πρότυπο.

$$M=0.00245 \cdot T^9$$

$$M=99.961 \cdot I^2$$

όπου M είναι το ποσοστό της Άμεσης Θνησιμότητας, T είναι η θερμοκρασία σε °C και I η ιχθυοφόρτιση σε άτομα/lit. Τα στατιστικά αποτελέσματα φαίνονται παρακάτω.

Παλιν/της	Συν/οστής	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σημαν/τας	R <sup>2</sup>	r
T <sup>3</sup>	0.00245	0.00016	0.0000	0.952	0.976
P	99.961	17.6165	0.0001	0.729	0.854

Ο χρόνος μεταφοράς παρουσίαζε χαμηλή αρνητική συσχέτιση ( $r = -0.17$ ,  $P = 0.2$ ). Το αποτέλεσμα αυτό σε συνδυασμό με το γεγονός ότι ο χρόνος μεταφοράς ήταν περίπου ο ίδιος σε όλες τις περιπτώσεις και οι συνθήκες μεταφοράς καλές, δείχνουν ότι δεν επεδράσε στην Αμεση Θνησιμότητα.

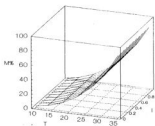
Η **συνδυασμένη επίδραση** των παραγόντων εξετάστηκε με βαθμωτή παλινδρόμηση, όπου επιβεβαιώθηκε η θετική επίδραση τόσο της θερμοκρασίας όσο και της ιχθυοφόρτισης. Η συνδυασμένη επίδραση των παραγόντων έδωσε τα καλύτερα μοντέλα προσαρμογής και ερμηνείας των δεδομένων μας.

Το καλύτερο μοντέλο προσαρμογής ήταν το

$$M = 22.455 \cdot I^2 + 0.00204 \cdot T^3 \quad \text{Εικόνα 2.6.}$$

όπου M είναι το ποσοστό της Αμεσης Θνησιμότητας, T είναι η θερμοκρασία σε °C και I η ιχθυοφόρτιση σε άτομα/lit. Τα αποτελέσματα αυτά ήταν τα καλύτερα από τα μοντέλα απλής παλινδρόμησης και παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Παλιν/της	Συν/οστής	Τυπικός Συν/οστής	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σημαν/τας	R <sup>2</sup>	$\bar{R}^2$
T <sup>3</sup>	0.00204	0.8285	0.00022	0.0000	0.952	0.973
P	22.4552	0.2715	2.3534	0.0038	0.975	



**Εικόνα 2.6.** Δεικνύση της συνάρτησης  $M = R(I, T)$ .

Η Αμεση Θνησιμότητα φαίνεται ότι είναι γραμμικός συνδυασμός των επιδράσεων της θερμοκρασίας και της ιχθυοφόρτισης, όπως αυτές προβλέπονται από τα μοντέλα της απλής παλινδρόμησης. Οι επιδράσεις τους δρουν αθροιστικά. Όπως φαίνεται από τους τυπικούς συντελεστές η επίδραση της θερμοκρασίας είναι τριπλάσια της επίδρασης της ιχθυοφόρτισης.

Σε όλες τις περιπτώσεις ερευνήθηκε η περίπτωση της ύπαρξης σιγμοειδούς σχέσης. Στις περιπτώσεις της απλής παλινδρόμησης τα αποτελέσματα ήταν παραπλήσια με συντελεστή γραμμικής παλινδρόμησης λίγο μικρότερο των προαναφερομένων, ενώ στην πολλαπλή παλινδρόμηση ήταν το προσαρμοσμένο-R<sup>2</sup> ( $\bar{R}^2$ )<sup>10</sup> αισθητά μικρότερο (=0.89), γι' αυτό προτιμήθηκαν οι παραπάνω σχέσεις για να εκφράσουν το μοντέλο.

<sup>10</sup> Προσαρμοσμένο-R<sup>2</sup> ή  $\bar{R}^2 = 1 - \frac{n-1}{n-p} (1-R^2)$ , όπου n=ο αριθμός των παρατηρήσεων, p=ο αριθμός των μεταβλητών και R<sup>2</sup>=ο συντελεστής συσχέτισης.

### 2.3.2 ΕΠΙΒΙΩΣΗ

Εξετάστηκε η σχέση της τελικής επιβίωσης σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία και την αρχική ιχθυοφόρτιση, με την μέθοδο της παλινδρόμησης. Η άμεση συσχέτιση επιβίωσης και θερμοκρασίας δεν έδωσε καλά αποτελέσματα, (καλύτερη προσαρμογή για την θερμοκρασία με  $r = -0.73$  και  $r^2 = 0.529$  ενώ για την ιχθυοφόρτιση ήταν πολύ χαμηλότερο)

Επειδή η επιβίωση εκφράζεται σαν ποσοστό και άρα έχει ανώτατο όριο, αναμένεται η σχέση να είναι σιγμοειδής (Wonnacott & Wonnacott 1981). Για τον σκοπό αυτό εξετάστηκαν οι σχέσεις του παλινδρομητή  $S' = \ln\left(\frac{S}{100-S}\right)$ . Τα καλύτερα αποτελέσματα για την θερμοκρασία και την ιχθυοφόρτιση έδωσαν οι σχέσεις:

$$S' = -0.00396 \cdot T^2 \rightarrow S = \frac{100}{1 + e^{-0.004 T^2}} \quad \text{και} \quad S' = -5.0497 \cdot I - S = \frac{100}{1 + e^{-5.05 I}}$$

όπου S: το ποσοστό επιβίωσης του αρχικού δείγματος που τοποθετήθηκε στις δεξαμενές διατήρησης και T: η θερμοκρασία σε °C, και I: η αρχική ιχθυοφόρτιση σε άτομα/lit.

Παράμ./της	Συν/σπής	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σημαν/της	R <sup>2</sup>	r
T <sup>2</sup>	-0.00396	0.0006	0.0000	0.813	-0.902
I	-5.0497	0.9416	0.0002	0.723	-0.850

Η συνδυασμένη επίδραση θερμοκρασίας και ιχθυοφόρτισης εξετάστηκε με βαθμωτή πολλαπλή παλινδρόμηση. Το μοντέλο το οποίο προκύπτει βελτιώνει ελάχιστα την σχέση και είναι πολύπλοκο.

$$S = \frac{1}{1 + e^{-T \cdot (0.0068 \cdot T + 0.13) - I \cdot (1.61 \cdot I + 3.5)}}$$

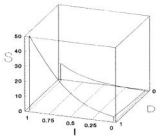
με  $\bar{R}^2 = 0.850$  και  $R^2 = 0.888$ .

Αυτό φανερώνει ότι πιθανώς υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που επιβαρύνουν την επιβίωση.

Παρατηρήθηκε ότι κατά τους μήνες με χαμηλή θερμοκρασία η επιβίωση ήταν εμφανώς μεγαλύτερη. Ο παράγοντας αυτός εξετάστηκε με την είσοδο μιας ποιοτικής (Dummy) μεταβλητής (D) της οποίας οι τιμές ήταν 1 στις αυξημένες θερμοκρασίες (Καλοκαίρι-Φθινόπωρο) και 0 στις χαμηλές (Χειμώνα-Ανοιξη). Η είσοδος αυτής της μεταβλητής βελτίωσε θεαματικά τα αποτελέσματά του μοντέλου και ταυτόχρονα το απλοποίησε. Χρησιμοποιώντας βαθμωτή παλινδρόμηση για το σύνολο των πέντε παλινδρομητών βρέθηκε ότι η καλύτερη σχέση εκφράζεται από μόνο δύο παλινδρομητές και είναι:

$S' = -1.76 \cdot I - 2.031 \cdot D$  και άρα η εξίσωση είναι:

$$S = \frac{100}{1 + e^{-(1.76 \cdot I + 2.031 \cdot D)}} \quad (\text{Εικόνα 2.7})$$



Εικόνα 2.7: Ιχθυοφόρτιση, S: Επιβίωση για D=1 και D=0

Παράν/της	Συν/σπής	Τυπικός Συν/σπής	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σημαν/της	R <sup>2</sup>	$\bar{R}^2$
D	-2.0313	0.8230	0.4130	0.00605	0.885	0.911
I	-1.7031	0.0988	0.7556	0.0066	0.919	

Η επίδραση της θερμοκρασίας "απορροφάται" και εκφράζεται καλύτερα μέσω μιας ποσοτικής μεταβλητής. Όταν δηλαδή θεωρηθεί ότι υπάρχει ένας ουδός πάνω από τον οποίο "απελευθερώνονται" οι δυσμενείς επιδράσεις της θερμοκρασίας.

Σε όλες τις περιπτώσεις η παροχή του νερού θεωρείται ικανοποιητική αφού δεν δείχνει καμιά επίδραση.

### 2.3.3. ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΘΝΗΣΙΜΟΤΗΤΑ.

Το μεγαλύτερο μέρος της θνησιμότητας παρατηρήθηκε τις δύο πρώτες ημέρες. Θνησιμότητα εξακολούθησε να υπάρχει σε χαμηλά επίπεδα και τη τρίτη ημέρα, ενώ στη συνέχεια μηδενίσθηκε. Σε μια προσπάθεια να διερευνηθεί το ημερήσιο πρότυπο θνησιμότητας, εξετάστηκαν οι σχέσεις της θνησιμότητας κάθε ημέρας σε σχέση με τους παρακάτω παράγοντες:

- 1) Θερμοκρασία
- 2) Θνησιμότητα προηγούμενων ημερών
- 3) Αρχική Ιχθυοφόρτιση

Οι συνδυασμένες επιδράσεις των διαφόρων αυτών παραγόντων εξετάστηκαν με την μέθοδο της βαθμωτής παλινδρόμησης. Τα αποτελέσματα τόσο της απλής όσο και της πολλαπλής παλινδρόμησης φαίνονται παρακάτω.

#### **A. ΘΗΝΗΣΙΜΟΤΗΤΑ 1ης ΗΜΕΡΑΣ**

Οι σχέσεις που έδωσαν τις καλύτερες συσχετίσεις του ποσοστού θνησιμότητας κατά την πρώτη ημέρα ( $M_1$ ) με την θερμοκρασία ( $T$  σε °C) και την αρχική Ιχθυοφόρτιση ( $I$  σε άτομα/lit), καθώς και η συνδυασμένη επίδρασή τους φαίνεται στις παρακάτω σχέσεις:

$$M_1 = 0.1188 \cdot T^2 \quad (\mu\epsilon \ r = 0.962 \ \text{και} \ R^2 = 0.925)$$

$$M_1 = 18.889 \cdot I \quad (\mu\epsilon \ r = 0.927 \ \text{και} \ R^2 = 0.937)$$

$$M_1 = 6.684 \cdot I - 58.024 \cdot D \quad (\mu\epsilon \ R^2 = 0.969 \ \text{και} \ \bar{R}^2 = 0.926)$$

Το μοντέλο της θνησιμότητας της 1ης ημέρας είναι ανάλογο μ' αυτό της τελικής επιβίωσης.

#### **B. ΘΗΝΗΣΙΜΟΤΗΤΑ 2ης ΗΜΕΡΑΣ**

Οι σχέσεις που έδωσαν τις καλύτερες συσχετίσεις του ποσοστού θνησιμότητας κατά την δεύτερη ημέρα ( $M_2$ ) με την θερμοκρασία ( $T$  σε °C) και την θνησιμότητα της 1ης ημέρας ( $M_1$ ) ήταν:

$$M_2 = -0.003 \cdot T^2 \quad (\mu\epsilon \ r = -0.902 \ \text{και} \ R^2 = 0.813)$$

$$M_2 = -0.0329 \cdot M_1 \quad (\mu\epsilon \ r = -0.916 \ \text{και} \ R^2 = 0.838)$$

$$\text{όπου} \ M_2 = \ln \frac{M_2}{100 - M_2}$$

Η θνησιμότητα της 2ης ημέρας εμφανίζει αρνητική συσχέτιση με την θερμοκρασία και την θνησιμότητα της 1ης ημέρας. Οι σχέσεις είναι σιγμοειδείς. Η συνδυασμένη εξέταση όλων των παραμέτρων με βαθμωτή πολλαπλή παλινδρόμηση, έδειξε ότι η θνησιμότητα της 1ης ημέρας απορροφά την επίδραση των άλλων παραγόντων, εκφράζοντας συνδυασμένα την επίδρασή τους,



δεδωμένου ότι είναι συνάρτηση τόσο της θερμοκρασίας όσο και της ιχθυοφόρτισης.

### Γ. ΘΝΗΣΙΜΟΤΗΤΑ 3ης ΗΜΕΡΑΣ

Οι σχέσεις που έδωσαν τις καλύτερες συσχετίσεις κατά την τρίτη ημέρα ( $M_3$ ) με την θερμοκρασία ( $T$  σε  $^{\circ}\text{C}$ ) και την θνησιμότητα της 1ης ημέρας ( $M_1$ ), έδωσαν τα καλύτερα αποτελέσματα και ήταν:

$$M_3' = -0.148 \cdot T \quad (\text{με } r = -0.958 \text{ και } R^2 = 0.918)$$

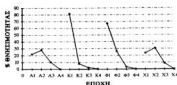
$$M_3' = -0.005 \cdot M_1 \quad (\text{με } r = -0.972 \text{ και } R^2 = 0.944)$$

$$\text{όπου } M_3' = \ln \frac{M_3}{100 - M_3}$$

Η θνησιμότητα της 3ης ημέρας εμφανίζει αρνητική συσχέτιση με την θερμοκρασία και την θνησιμότητα της 1ης ημέρας. Οι σχέσεις είναι σιγμοειδείς. Η συνδυασμένη εξέταση όλων των παραμέτρων με βαθμιαία πολλαπλή παλινδρόμηση, έδειξε ότι η θνησιμότητα της 1ης ημέρας απορροφά την επίδραση όλων των άλλων παραμέτρων εκφράζοντας συνδυασμένα την επίδρασή τους.

### Δ. ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΘΝΗΣΙΜΟΤΗΤΑ - ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Μια οπτική ανακεφαλαίωση των παραπάνω αποτελεσμάτων δίνεται στην Εικόνα 2.8., όπου απεικονίζεται ο μέσος όρος του ποσοστού της ημερησίας θνησιμότητας σε κάθε εποχή. Στο διάγραμμα περιλαμβάνεται και η θνησιμότητα της 4ης ημέρας, που δεν αναφέρεται παραπάνω, επειδή η θνησιμότητα από την 4η ημέρα και μετά μηδενίζεται. Α1-Α4 = Άνοιξη, Κ1-Κ4 = Καλοκαίρι, Φ1-Φ4 = Φθινόπωρο και Χ1-Χ4 = Χειμώνας.



Εικόνα 2.8 Μέσος ημερησίως θνησιμότητα ανά εποχή

### 2.3.4. ΧΡΗΣΗ ΑΝΤΙΒΙΟΤΙΚΟΥ.

Έγινε έλεγχος της διαφοράς θνησιμότητας μεταξύ τριών δεξαμενών που χορηγήθηκε αντιβιοτικό και τριών που δεν χρησιμοποιήθηκε. Ο έλεγχος έγινε το καλοκαίρι όταν η θνησιμότητα ήταν εντονότερη. Για τον έλεγχο της διαφοράς θνησιμότητας χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές θνησιμότητας σε 12ώρη βάση των τριών πρώτων ημερών που εμφανίζεται η θνησιμότητα.

Χρησιμοποιήθηκε ο στατιστικός έλεγχος  $\chi^2$ . Το αποτέλεσμα που έδωσε ο έλεγχος ήταν  $\chi^2 = 2058.85$  με 9 βαθμούς Ελευθερίας και επίπεδο σημαντικότητας  $P = 0$ .

Όπως αναμένονταν τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η χρήση αντιβιοτικού βελτίωσε σημαντικά την επιβίωση.

### 2.3.5. ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ.

Με σκοπό να εξεταστεί η αντιπροσωπευτικότητα του δείγματος, που τελικά αναλύθηκε στο εργαστήριο, ως προς τον αλιευθέντα πληθυσμό εξετάστηκαν:

- Η κατανομή μηκών στα αλιευθέντα ψάρια σε σχέση με την κατανομή μηκών στα ψάρια που τελικά επιβίωσαν.
- Η κατανομή μηκών στα αλιευθέντα ψάρια σε σχέση με την κατανομή μηκών στα ψάρια που

αναλύθηκαν στο εργαστήριο.

Σε όλες τις περιπτώσεις είχαμε κανονική κατανομή και τα αποτελέσματα του ελέγχου-t, για την διαφορά στους μέσους όρους, σε διάστημα εμπιστοσύνης 95% ήταν (ΠΙΝΑΚΕΣ 2.3 και 2.4):

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2.3. Ελεγχος-t:** της διαφοράς των μέσων όρων μεταξύ, κατανομής μηκών στον αλειυθέντα πληθυσμό και της κατανομής των μηκών στα άτομα που επιβίωσαν, σε όριο εμπιστοσύνης 95%, για  $\alpha=0.05$ .

ΕΠΟΧΗ	ΤΙΜΗ-t	Επιπεδο σημαν/τας	ΥΠΟΘΕΣΗ ΠΟΥ ΓΙΝΕΤΑΙ ΑΠΟΔΕΚΤΗ
ΑΝΟΞΗ	1.97	0.03	Μ.Ο. ΠΑΘΟΥΣΜΟΥ > Μ.Ο. ΑΤΟΜΩΝ ΠΟΥ ΕΠΙΒΙΩΣΑΝ
ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ	1.72	0.04	Μ.Ο. ΠΑΘΟΥΣΜΟΥ > Μ.Ο. ΑΤΟΜΩΝ ΠΟΥ ΕΠΙΒΙΩΣΑΝ
ΦΘΙΝΟΠΟΡΟ	-0.03	0.98	Μ.Ο. ΠΑΘΟΥΣΜΟΥ = Μ.Ο. ΑΤΟΜΩΝ ΠΟΥ ΕΠΙΒΙΩΣΑΝ
ΧΕΙΜΩΝΑΣ	2.49	0.007	Μ.Ο. ΠΑΘΟΥΣΜΟΥ > Μ.Ο. ΑΤΟΜΩΝ ΠΟΥ ΕΠΙΒΙΩΣΑΝ
ΣΥΝΟΛΟ	2.02	0.04	Μ.Ο. ΠΑΘΟΥΣΜΟΥ > Μ.Ο. ΑΤΟΜΩΝ ΠΟΥ ΕΠΙΒΙΩΣΑΝ

Για να διορθωθεί η μεροληψία που συμβαίνει λόγω της μεγαλύτερης επιβίωσης των μικρότερων ατόμων, στο δείγμα που τελικά αναλύθηκε, υπήρξε μέριμνα ώστε να μην υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στην κατανομή των μεγεθών από τον αρχικό πληθυσμό και να καλύπτει όλο το εύρος των μεγεθών. Τα τελικά αποτελέσματα έδειξαν ότι το δείγμα που αναλύθηκε ήταν αντιπροσωπευτικό του αρχικά αλειυθέντος πληθυσμού:

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2.5. Ελεγχος-t:** της διαφοράς των μέσων όρων μεταξύ, κατανομής μηκών στον αλειυθέντα πληθυσμό και της κατανομής των μηκών στο δείγμα, σε όριο εμπιστοσύνης 95%, για  $\alpha=0.05$ .

ΕΠΟΧΗ	ΤΙΜΗ-t	Επιπεδο σημαν/τας	ΥΠΟΘΕΣΗ ΠΟΥ ΓΙΝΕΤΑΙ ΑΠΟΔΕΚΤΗ
ΑΝΟΞΗ	-1.47	0.08	Μ.Ο. ΠΑΘΟΥΣΜΟΥ = Μ.Ο. ΑΤΟΜΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ
ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ	-0.769	0.45	Μ.Ο. ΠΑΘΟΥΣΜΟΥ = Μ.Ο. ΑΤΟΜΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ
ΦΘΙΝΟΠΟΡΟ	-0.03	0.98	Μ.Ο. ΠΑΘΟΥΣΜΟΥ = Μ.Ο. ΑΤΟΜΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ
ΧΕΙΜΩΝΑΣ	-1.50	0.13	Μ.Ο. ΠΑΘΟΥΣΜΟΥ = Μ.Ο. ΑΤΟΜΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ
ΣΥΝΟΛΟ	1.40	0.18	Μ.Ο. ΠΑΘΟΥΣΜΟΥ = Μ.Ο. ΑΤΟΜΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

## 24. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η δυσκολία της διατήρησης ενός αποθέματος ζωντανών ατόμων *Sardina pilchardus*, σε ελεγχόμενες συνθήκες, αποτελεί ένα εμπόδιο για την εκτέλεση πειραμάτων που θα έδιναν πολύτιμες πληροφορίες για την μελέτη του ηχο-ανακλαστικού δυναμικού (H.A.) της σαρδέλας, την βιολογία, την συμπεριφορά και την φυσική της ιστορία. Οι γνώσεις αυτές είναι ιδιαίτερα σημαντικές για την εκτίμηση και παρακολούθηση των αποθεμάτων σαρδέλας. Αν και η *Sardina pilchardus* αποτελεί ένα από τα κυριότερα αλιεύματα του μεσογειακού πελαγικού οικοσυστήματος, οι γνώσεις μας γι' αυτήν βασίζονται σχεδόν αποκλειστικά σε δεδομένα πεδίου.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ορθή διαχείριση των πειραματοζώων, όπως φαίνεται από την χαμηλή θνησιμότητα (σε σχέση με άλλες προσπάθειες -Muzinic 1966), αλλά και από την χαμηλή επίδραση των πειραματικών παραγόντων, όπως η ιχθυοφόρτιση. Ταυτόχρονα αποκαλύπτουν ορισμένα "στρατηγικά" σημεία που επιτρέπουν παρέμβαση για βελτίωση της επιβίωσης σε συνθήκες αιχμαλωσίας.

*Η διαχείριση στην φάση της σύλληψης και μεταφοράς* είναι καθοριστική, διότι κατά την διάρκεια αυτής προκαλούνται οι επιβαρυντικοί παράγοντες που οδηγούν σε θνησιμότητα (τραυματισμοί, απολεπισίες, ένταση) (Verheijen 1955). Η χρήση μικρών αλιευτικών εργαλείων όπως το "σαρδέλιο", καθώς και η σύλληψή τους από την θάλασσα μέσα σε νερό ήταν καθοριστική για την κατάσταση της ποιότητας των ψαριών και άρα για την μελλοντική τους επιβίωση. Οι τραυματισμοί που προκαλούνται μετά την σύλληψή τους, και ο αρχικός πανικός, μπορεί να ξεπεραστούν με άμεση μερική αναισθητοποίησή τους (Στάδιο II, ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1). Η μερική αναισθητοποίηση βοηθά τα ψάρια να ξεπεραστούν το πρώτο σοκ και να ηρεμήσουν, προσαρμόζομενα γρηγορότερα στις νέες συνθήκες.

Η έντονη θνησιμότητα που παρατηρείται κατά την μεταφορά τους στις δεξαμενές διατήρησης οφείλεται άμεσα με την θερμοκρασία. Μικρές αυξήσεις της θερμοκρασίας προκαλούν πολλαπλάσιες αυξήσεις θνησιμότητας. Έτσι οι μήνες με χαμηλή θερμοκρασία στη θάλασσα (Χειμώνας-Ανοιξη) είναι προσηφορότεροι για δειγματοληψία.

Ένας δεύτερος παράγοντας που επιδρά είναι η ιχθυοφόρτιση. Οι τιμές ιχθυοφόρτισης που χρησιμοποιήθηκαν, αξιοποιώντας την προηγούμενη εμπειρία του Muzinic (1964a,b), ήταν σε σωστά όρια, με αποτέλεσμα να έχουν μικρή επίδραση στην θνησιμότητα και να βελτιώνεται πολύ η ποιότητα της δειγματοληψίας. Στο συμπέρασμα αυτό καταλήγουμε με βάση την βαθμωτή πολλαπλή παλινδρόμηση, που επιβεβαιώνει σαν καθοριστικό παράγοντα θνησιμότητας, την θερμοκρασία (η επίδρασή της είναι τριπλάσια της ιχθυοφόρτισης) και δείχνει ότι η ιχθυοφόρτιση επιδρά συμπληρωματικά και προσθετικά. Το αποτέλεσμα βεβαιώνει ότι οι ιχθυοφορτίσεις ήταν μέσα σε "όρια ασφαλείας".

*Η θνησιμότητα στις δεξαμενές διατήρησης* εντοπίζεται κατά τις τρεις πρώτες ημέρες, κάτι που έχει ήδη δείχνει από τον Muzinic (1964a). Ο ίδιος ερευνητής επισημαίνει ότι θα πρέπει να υπάρχει σχέση επιβίωσης και θερμοκρασίας, χωρίς να καταλήγει οριστικά σε συμπεράσματα. Η επίδραση αυτή επιβεβαιώνεται με κατηγορηματικό τρόπο από τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής.

Η επίδραση των παραγόντων που δρουν κατά την μεταφορά συνεχίζει και κατά τις επόμενες ημέρες. Είναι όμως κανονικότερη και ηπιότερη όπως δείχνει η ύπαρξη σιγμοειδών σχέσεων, και η μείωση των εκθετών στις σχέσεις.

Το πρότυπο των επιδράσεων είναι ανάλογο με αυτό που βρέθηκε για την άμεση θνησιμότητα κατά την μεταφορά. Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα της βαθμωτής πολλαπλής παλινδρόμησης η θερμοκρασία εξακολουθεί να είναι η καθοριστικότερη

παράμετρος. Η επίδραση της ιχθυοφόρτισης γίνεται ακόμη μικρότερη, ενώ σύμφωνα με τους τυπικούς συντελεστές η θερμοκρασία έχει υπερκοιταλάσια επίδραση. Η μείωση της επίδρασης της ιχθυοφόρτισης πρέπει να οφείλεται αφενός στην μείωση της ιχθυοφόρτισης στις δεξαμενές διατήρησης και αφετέρου στην μείωση της έντασης στα ψάρια (McFarland 1959, 1960).

Από την εξέταση της συνδυασμένης επίδρασης θερμοκρασίας και ιχθυοφόρτισης με άμεση συσχέτιση των παραμέτρων προέκυψε ένα μοντέλο πολύπλοκο και μάλλον αναξιόπιστο. Κατά τους μήνες αυξημένης θερμοκρασίας παρατηρήθηκε απότομη και ποιοτικά διαφορετική ταχύτητα διάδοσης και ένταση των μολύνσεων. Η επιβίωση ήταν εμφανώς μικρότερη, πιθανότατα λόγω της ταχύτερης ανάπτυξης βακτηρίων και μυκήτων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μεγαλύτερη εξασθένιση και τον θάνατο των ψαριών πριν επισυμβούν οι πηλγές. Το γεγονός αυτό εξετάστηκε με την είσοδο ποιοτικής μεταβλητής, η οποία όπως αποδείχθηκε εκθράζει σωστότερα και αποτελεσματικότερα τον τρόπο επίδρασης της θερμοκρασίας, με παρεμβαλλόμενη μεταβλητή την ιχθυοφόρτιση. Η είσοδος ποιοτικής (Dummy) μεταβλητής βελτίωσε θεαματικά και απλοποίησε το μοντέλο.

Όπως επιστημαίνουν οι Skrivanić και Zavodnik (1973), (αλλά και όπως φαίνεται και από τα αποτελέσματα άλλων ερευνών -βλέπε 2.1.1-B1), οι μετακινήσεις της σαρδέλας ακολουθούν την ισόθερμη των 15°C, και έχουν την τάση να αποφεύγουν τις πολύ υψηλές και πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Όλοι σχεδόν οι ερευνητές επιστημαίνουν μια μέγιστη κρίσιμη θερμοκρασία γύρω στους 15°C, και μια ελάχιστη γύρω στους 10°C, όσον αφορά την αναπαραγωγή (Regner *et al.* 1987, 1988). Το γεγονός αυτό φαίνεται να επιβεβαιώνεται και πειραματικά από τα προαναφερθέντα αποτελέσματα. Όπως φαίνεται στον ΠΙΝΑΚΑ 2.2, η θερμοκρασία 15°-16°C είναι η διαχωριστική τιμή με βάση την οποία καθορίστηκε η ποιοτική μεταβλητή. Οι 15°C φαίνεται να λειτουργούν σαν ένας οδός με τον οποίο "απελευθερώνονται" έντονα αρνητικές επιδράσεις της θερμοκρασίας. Πιθανόν στο φυσικό τους περιβάλλον οι σαρδέλες να αποφεύγουν τις δυσμενείς θερμοκρασίες είτε με οριζόντιες μετακινήσεις, είτε με τις καθετες νυχήμερες μεταναστεύσεις (Levy 1987).

*Η θνησιμότητα δεν πρέπει να οφείλεται σε συνεχή ύπαρξη ανοξικών συνθηκών, που πιθανά θα είχαν επιπτώσεις και στο αέριο της νηκτικής κύστης (Harden Jones & Marshall 1953), για τους παρακάτω λόγους:*

- 1) Ο αερισμός ήταν πολύ καλός, λόγω της συνεχούς ροής και της αυξημένης ανανέωσης του νερού. Αυτό αποτυπώθηκε και από την ανυπαρξία επίδρασης της παροχής νερού, στην επιβίωση ή στις ημερήσιες θνησιμότητες.
- 2) Υπήρξαν ισχυρές ενδείξεις ότι η κύρια επίδραση της θερμοκρασίας και της ιχθυοφόρτισης σχετίζεται με την ταχύτητα ανάπτυξης και μετάδοσης των μολύνσεων, την ικανότητα επιμόλωσης των πηλών και την γενικότερη ανθεκτικότητα των οργανισμών. Τούτο ενισχύεται με το γεγονός ότι το αναβιοτικό βελτίωσε σημαντικά την επιβίωση.
- 3) Δεν καταγράφηκε αλληλεπίδραση θερμοκρασίας-ιχθυοφόρτισης, όπως θα αναμενόταν στην περίπτωση που το επίπεδο του οξυγόνου ήταν χαμηλό και επιδρούσε στην επιβίωση, όπως συνέβαινε στην περίπτωση του Muzinic (1964a).

Ωστόσο η διαλυτότητα του O<sub>2</sub> μειώνεται με την άνοδο της θερμοκρασίας, ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται ο μεταβολισμός των ψαριών. Αυτό θα πρέπει να δρα σαν ένας επιβαρυντικός παράγοντας σε συνδυασμό με την ιχθυοφόρτιση. Για παράδειγμα, ίσως προκαλεί τοπικά ή περιοδικά ελλείματα O<sub>2</sub>. Στο γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με την συνεπακόλουθη αύξηση ασθενειών και μολύνσεων, θα πρέπει να αποδωθεί ο διαφορετικός ρυθμός αύξησης της θνησιμότητας αυξανόμενης της ιχθυοφόρτισης, στις υψηλές και χαμηλές θερμοκρασίες.

*Το πρότυπο της ημερήσιας θνησιμότητας παρουσιάζει μεταβολές ανά εποχή ανάλογα με την θερμοκρασία. Η θνησιμότητα στις υψηλές θερμοκρασίες είναι απότομη και συγκεντρώνεται κυρίως κατά την πρώτη ημέρα. Στις χαμηλές θερμοκρασίες ο κύριος όγκος της θνησιμότητας*

μετατοπίζεται στην 2η ημέρα. Η θνησιμότητα της 3ης ημέρας παραμένει πάντα χαμηλή: είναι δε τόσο χαμηλότερη όσο υψηλότερη είναι η θνησιμότητα της 1ης ημέρας. Μετά την 4η ημέρα η θνησιμότητα μηδενίζεται (Εικόνα 2.10). Το πρότυπο αυτό εκφράζεται με θετική συσχέτιση θνησιμότητας-θερμοκρασίας την 1η ημέρα, αρνητική συσχέτιση τις επόμενες, καθώς και με θετική συσχέτιση του ποσοστού θνησιμότητας της 2η και 3ης ημέρας με αυτό της 1ης.

Η θνησιμότητα της 1ης ημέρας αποτελεί έναν οδηγό για το τι θα συμβεί τις επόμενες ημέρες, δεδομένου ότι "εμπεριέχει" την επίδραση των παραμέτρων της θερμοκρασίας και ιχθυοφόρτισης. Η θνησιμότητα της 3ης ημέρας δείχνει να είναι κάτι σαν υπολειπόμενη θνησιμότητα: πεθαίνουν τα ψάρια με ανεπαρκώς βλάβες που επέζησαν, για λόγους ανθεκτικότητας τις δύο πρώτες ημέρες. Ενδεικτικό αυτής της επίδρασης είναι ότι η αρνητική δράση της θερμοκρασίας μειώνεται κάθε μέρα που περνά. Αυτό αποτυπώνεται στις σχέσεις της θνησιμότητας θνησιμότητας με την συνεχή μείωση του συντελεστού και του εκθέτη της θερμοκρασίας. Το διεποχιακό αυτό πρότυπο μάλλον σχετίζεται με την γενικότερη φυσιολογία, την ανθεκτικότητα των ψαριών και την ικανότητα ταχείας επισύλωσης των πληγών. Τα παραπάνω αποτελέσματα δείχνουν ένα πρότυπο ομαλής προσαρμογής των ψαριών στις συνθήκες αιχμαλωσίας, μετά την ολοκλήρωση της οποίας πραγματοποιήθηκε η δειγματοληψία. Εξάλλου οι σχετικά χαμηλές θνησιμότητες αποτελούν ένδειξη της καλής κατάστασης των ψαριών που αναλύθηκαν στο εργαστήριο.

Όπως είχε επισημάνει και ο Muzinic (1964a, b, 1968), *παρατηρήθηκε μεγαλύτερη επιβίωση των μικρότερων ψαριών*. Η πιθανότερη εξήγηση είναι η ακόλουθη: Είναι γνωστό φαινόμενο (Blaxter & Hunter 1982), ότι άρρωστα, πληγωμένα και γενικά μειωμένης ανθεκτικότητας ψάρια (και άρα μειωμένης κολιμβητικής ικανότητας), εγκαταλείπουν τα κοπάδια τους και εντάσσονται σε σχολεία ψαριών μικρότερου μεγέθους (και άρα μικρότερης κολιμβητικής ικανότητας). Είναι αναμενόμενο, αυτά τα ψάρια να υποκύπτουν ευκολότερα, στην βίαιη-τεχνητή επιλογή που τους επιβάλλεται κατά την σύλληψη και μεταφορά, λόγω των τραυματισμών και των μολύνσεων που προκαλούνται. Κατά την διάρκεια των πειραμάτων τα ψάρια σε κάθε δεξαμενή προσέρχονται από το ίδιο σχολείο, με αποτέλεσμα κάθε φορά να υποκύπτουν τα ήδη εξασθενημένα σχετικά μεγαλύτερα άτομα του σχολείου. Για να αντιμετωπιστεί η συστηματική αυτή μεροληψία τα άτομα που αναλύθηκαν, επιλέχθηκαν έτσι ώστε (α) να μην υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεγεθών σε σχέση με τον αλιευθέντα πληθυσμό και (β) να αντιπροσωπεύεται όσο το δυνατόν μεγαλύτερο εύρος μεγεθών. Η δειγματοληψία έγινε έτσι ώστε το δείγμα να έχει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη διασπορά και στατιστικά τον ίδιο μέσο όρο με τον αλιευθέντα πληθυσμό. Το μέτρο αυτό ήταν αναγκαίο αφενός μεν για να εξασφαλιστεί η αντιπροσωπευτικότητα του αρχικού πληθυσμού, και αφετέρου για να εξασφαλιστεί η κατά το δυνατόν μεγαλύτερη διασπορά των μεγεθών που θα χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή σχέσεων της νηκτικής κύστης (να αποφευχθούν προβλήματα ετεροσκεδαστικότητας<sup>11</sup>) (Foote 1979b, Wonnacott & Wonnacott 1981).

Τέλος δεν παρατηρήθηκε ενεργός θρέψη των ψαριών από την παρεχόμενη τροφή. Αυτό αναμενόταν δεδομένου ότι αυτή παρατηρείται το ωριότερο μετά την δέκατη ημέρα αιχμαλωσίας (Muzinic 1964a, 1966). Η εξέταση των στομαχιών έδειξε ότι η θρέψη εξασφαλιζόταν από το πλαγκτόν, που συνήθως ήταν άφθονο μέσα στις δεξαμενές, λόγω της συνεχούς παροχής νερού. Ο βιοβίος πληρότητας των στομαχιών ποίκιλε από ψάρι σε ψάρι και από εποχή σε εποχή.

*Συνολικά τα αποτελέσματα συγκλίνουν στην καλή διαχείριση του δείγματος και σε ένα ομαλό μοντέλο προσαρμογής των ψαριών στις συνθήκες αιχμαλωσίας. Αυτό επέτρεψε στα*

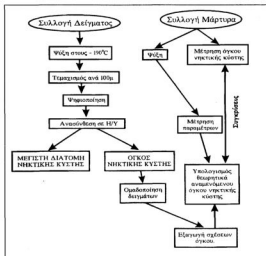
<sup>11</sup> Ετεροσκεδαστικότητα: όταν οι τιμές δεν είναι ομοιόμορφα κατανομημένες και τείνουν να συγκεντρώνονται σε μία μόνο περιοχή του εύρους που καλύπτει το σύνολο των τιμών.

υγιή ψάρια να αποκτήσουν γρήγορα τον φυσιολογικό τους ρυθμό και να έχουν μια καλή περίοδο προσαρμογής για να γεμίσουν την νηκτική τους κύστη. Η συστηματική μεροληψία που προκαλείται από τον θάνατο μεγαλύτερων ατόμων ελήφθη υπόψη ώστε να υπάρξει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη αντιπροσωπευση μεγεθών του δείγματος και του πληθυσμού που αλιεύθηκε.

## **2.5. ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Στην ενότητα αυτή αναφέρθηκαν τα βασικά στοιχεία της βιολογίας και της συμπεριφοράς της *Sardinia pilchardus*, καθώς και όλα όσα αφορούν την συλλογή του δείγματος. Από την μελέτη της επιβίωσης προκύπτει η καλή ποιότητα του δείγματος που παρήχθη για περαιτέρω επεξεργασία. Προέκυψαν επίσης στοιχεία που επιτρέπουν την περαιτέρω βελτίωση της επιβίωσης ζωντανών ψαριών σε αιχμαλωσία. Αντιμετωπίστηκαν, κατά το δυνατόν, προβλήματα μεροληψίας που προκύπτουν από φυσικά αίτια, έτσι ώστε το δείγμα που αναλύθηκε στο εργαστήριο να είναι κατά το δυνατόν αντιπροσωπευτικό του δείγματος που αλιεύθηκε, και να περιέχει όλο το εύρος μεγεθών. Στην επόμενη ενότητα αντιμετωπίζονται τα θέματα της εργαστηριακής επεξεργασίας των ψαριών και ερευνάται η δυνατότητα υπολογισμού και πρόβλεψης του όγκου της νηκτικής κύστης.

### 3. ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΤΗΣ ΝΗΚΤΙΚΗΣ ΚΥΣΤΗΣ







### 3.1. ΕΞΕΛΙΞΗ

Η ενότητα αυτή αναφέρεται στην επίδραση της μεταβολής του μεγέθους του φαριού (μήκος), των διαφόρων οργάνων του (στομάχι, γονάδες) και των ιστών (λιπώδης), στις μεταβολές του μεγέθους της νηκτικής κύστης. Συμπεριελήφθησαν εδώ βασικές πλευρές της εξέλιξης, των ακτινωτών προσαρμογών, των λειτουργιών και της μορφολογίας της νηκτικής κύστης. Δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην νηκτική κύστη των Clupeidae και ειδικότερα της *Sardina pilchardus*. Η νηκτική κύστη της *Sardina pilchardus* είναι από τις προγονικότερες και άρα η μορφή της θιμάζει τις πιο πρώιμες που συναντώνται στην εξέλιξη. Ωστόσο θα επικριθεί εν συντομία μια επέκταση και στις υπόλοιπες παραώσεις καταστάσεις της νηκτικής κύστης: (α) για να εξυπηρετηθεί η σφαιρική παράωση του θέματος, (β) γιατί είναι αναγκαίο για άμεσες ή έμμεσες συγκρίσεις με την νηκτική κύστη και τις ακουστικές ιδιότητες άλλων φαριών και τέλος (γ) για το γεγονός ότι στην νηκτική κύστη οφείλεται πάνω από το 95% του ηχο-ανακλαστικού δυναμικού (Η.Δ.) των φαριών (Foote 1980b). Εξάλλου λαμβάνοντας υπόψη ότι είναι συνήθης πρακτική η νηκτική κύστη να αντιμετωπίζεται όχι σαν όργανο ενός εμβίου οργανισμού, αλλά σαν μια απλή φυσαλίδα αέρα, είναι φανερό ότι η κατανόησή της σαν ένα δυναμικά εξελισσόμενο και προσαρμοζόμενο όργανο, βοηθά στην καλύτερη κατανόηση του Η.Δ.

Στα υλικά και τις μεθόδους αυτής της ενότητας περιλαμβάνεται ο τρόπος ψηφιοποίησης του σχήματος των φαριών και η μαθηματική "ανάπλαση" τους με την εισαγωγή τους σε Ηλεκτρονικό Υπολογιστή (Η/Υ). Περιλαμβάνονται επίσης οι τρόποι υπολογισμού των τιμών των διαφόρων παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν.

Στόχος αυτής της ενότητας είναι να εξεταστεί ο τρόπος με τον οποίο επιδρά η εσωτερική μορφολογία και φυσιολογία των φαριών στο απόλυτο μέγεθος της νηκτικής κύστης. Η εξέταση αυτή αποδεικνύεται ιδιαίτερα επίπονη, δεδομένου ότι η νηκτική κύστη σαν όργανο πλευστότητας, σχετίζεται με το σύνολο των χαρακτηριστικών του φαριού, ενώ οι μεταβολές των επιμέρους παραμέτρων έχουν καθοριστικότερη επίδραση στις διάφορες "παραμορφώσεις" του σχήματός της. Αυτή η εξέταση κρίθηκε αναγκαία ώστε να γίνει κατά το δυνατόν κατανόηση η επίδραση της μεταβολής των διαφόρων παραμέτρων στο τριδιάστατο σύνολο της νηκτικής κύστης και να είναι δυνατές οι συγκρίσεις για τις διαδιάστατες μεταβολές της ακουστικής επιφάνειας (βλ. Ενότητα 4.4). Η εξέταση αυτή είναι δυνατή στην σαρδέλα, λόγω των εντόνων εποχιακών διακυμάνσεων που παρουσιάζουν οι παράμετροι που μελετήθηκαν.

#### 3.1.1 Η ΠΡΟΔΕΥΞΗ ΤΗΣ ΝΗΚΤΙΚΗΣ ΚΥΣΤΗΣ

Η άποψη που επικρατεί σήμερα είναι ότι η νηκτική κύστη αποτελεί παράγωγο εξειδικευμένη δομή, προγονικών "πνευμόνων". Αντίθετα με την αρχική πεποίθηση, η πλευστότητα δεν θεωρείται σήμερα σαν πιθανός ισχυρός εξελικτικός παράγοντας μιας αρχικής ή ανεξάρτητης προέλευσης της νηκτικής κύστης (Smith 1960), αφού τα προβλήματα της πλευστότητας θα μπορούσαν να αντιμετωπιστούν απλούστερα με άλλες προσρμογές όπως μαρτυρεί:

- 1) Η παντελής απουσία της από τα Ελασματοβράγχια (Χονδριχθίες), που σε όλη την διάρκεια της εξέλιξής τους ήταν θαλάσσια είδη.
- 2) Ο επανειλημμένος σχηματισμός κύστεων στους Οστεϊχθίες.

Στις συνθήκες που επικρατούσαν κατά το Δεβόνιο, συναντάμε ισχυρή επιλεκτική πίεση για σχηματισμό αερόφωρων κύστεων με αναπνευστική λειτουργία. Σημειούδα υπέρ αυτής της άποψης αποτελεί:

- 1) Οι ισχυρές ενδείξεις για καθολική παρουσία τέτοιων κύστεων στους προγονικούς Οστεϊχθίες του Δεβονίου.
- 2) Η ύπαρξη λειτουργικών πνευμόνων σε δύο τουλάχιστον αποκλινόντες τύπους προγονικών φαριών.

- 3) Η καθολικότητα<sup>1</sup> της νηκτικής κώπης στους Οστεϊχθύες.  
 4) Η δευτερογενής επιστροφή της νηκτικής κώπης σε αναπνευστικές λειτουργίες.

Τα πρώτα ψάρια με οστά εμφανίζονται κατά το Δεβόνιο (Αιώνας των Ιχθύων) και σχεδόν αμέσως αυξάνονται στα γλυκά νερά, τα οποία φαίνεται ότι αποτελούσαν γι' αυτά προνομακά ενδιαιτήματα. Όπως περιγράφει ο Romer (1964), ο Αιώνας των Ιχθύων πιστεύεται ότι ήταν περιόδους βίαιων μεταβολών. Τα ρυάκια και οι νερόλακκοι, όπου αναπτύχθηκαν τα πρώτα ψάρια, έτειναν περιοδικά να γίνον στασιμα και ρυπαρά, χάνοντας για μεγάλα χρονικά διαστήματα το οξυγόνο τους. Σε τέτοιες συνθήκες, μεμβρανώδεις σχηματισμοί με δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν επικουρικά για την αναπνοή, έδιναν ισχυρό πλεονέκτημα στα ψάρια που τους ανέπτυξαν. Ψάρια με παρόμοιους σχηματισμούς, όταν το οξυγόνο μειωνόταν στο νερό, μπορούσαν να ανεβαίνουν και να καταπίνουν αέρα από την επιφάνεια.

Οι αεροφόροι κύστες δεν υπήρχαν άγνωστες στους Κυκλοστόμους. Οι προγονικές ζυγές αεροφόροι κύστες φαίνεται ότι έχουν την προέλευσή τους από τα Πλακόδερμα (Hildebrand 1974, Kent 1983). Τα βράγγια των Κυκλοστόμων βρίσκονται μέσα σε Εχωριστούς θύλακες (*Μαρσιποβράγγια*), με δύο εξόδους: μία εξωτερική και μία εσωτερική στον φάρυγγα (*Eptatretus*). Ενδείξεις που παρέχονται από απολιθώματα, ζωντα απολιθώματα και από εμβρυολογικά δεδομένα οδηγούν, σύμφωνα με τον Smith (1960) αλλά και άλλους ερευνητές (Lugler *et al.* 1962), στο εντελώς ασφαλές συμπέρασμα ότι οι κύστες προήλθαν από ένα οπίσθιο, πιθανώς το τελευταίο, ζεύγος των βραγγιακών θύλακων (μαρσιποβραγγίων), (Εικόνα 3.2.). Αυτό μάλλον συνέβη λόγω της μείωσης του αριθμού των μαρσιποβραγγίων, κατά την οποία αυτά έχασαν τις εξωτερικές τους σχισμές και έγιναν χρήσιμα σαν αποθηκευτικοί σάκκοι αέρα. Εμβρυϊκοί σχηματισμοί εγκλιτώσεων σε ορισμένους Χονδρικήθες ενισχύουν την άποψη ότι η εξέλιξη αυτού του σχηματισμού προς έναν αεροφόρο σάκκο πιθανώς να ξεκίνησε, αλλά δεν είχε συνέχεια σε αυτή την ομάδα.

Ο προγονικός "πνεύμονας" μάλλον αποτελείτο από ένα ζυγό σάκκο στο κοιλιακό τμήμα του φάρυγγα. Αυτός ο τύπος διατηρήθηκε και αναπτύχθηκε στα χερσαία ζώα. Σήμερα συναντάται μεταξύ λίγων ζώντων απογόνων των προγονικών ψαριών (Δίπνοιοι), τα οποία ζουν σε τροπικές περιοχές που υπόκεινται σε εποχιακές ξηρασίες, ανάλογες με αυτές του Δεβονίου (Hildebrand 1974).

Δεν υπάρχουν ενδείξεις που συνηγορούν υπέρ μιας κοινής καταγωγής των κύστεων. Ο σχηματισμός Αεροφόρων Κύστεων, με πτυχώσεις και αρχικά αναπνευστική λειτουργία, *θα πρέπει να συνέβη επανειλημμένα, και όχι σε κάποιο κοινό πρόγονο των Οστεϊχθύων*. Οι αεροφόροι κύστες αναπτύσσονται σαν εγκλιτώσεις του πεπτικού σωλήνα πλευρικά ή στο μέσον του (νωτιαία ή κοιλιακά). Η εγκλιτώση αυτή επενδύεται με μεσόδερμα όπως και ο πεπτικός σωλήνας. Θεωρείται ότι πιθανόν όλες οι αεροφόροι κύστες είχαν αρχική κοιλιακή έκφυση από τον πεπτικό σωλήνα (Harden Jones & Marshal 1953, Hildebrand 1974).

Στους χρόνους μετά το Δεβόνιο, οι κλιματολογικές συνθήκες έγιναν λιγότερο αδρές, λιγότερο βίαιες, λιγότερο μεταβλητές και περασσότερο κανονικές. Η αναπνευστική χρήση των κύστεων αποκτούσε συγκριτικά όλο και μικρότερη σημασία για την επιβίωση μέσα στο νερό. Η αναπνευστική λειτουργία των αεροφόρων κύστεων εκφυλίστηκε, οι δομές έχασαν τις πτυχώσεις τους και μετασχηματίστηκαν σε νηκτικές κύστες που εξυπηρετούν νέες χρήσεις, (κυρίως την πλεύστικότητα). Παράλληλα με τον εξελικτικό σχηματισμό των νηκτικών κύστεων έχουμε και τον εξελικτικό σχηματισμό των πνευμόνων από προγονικές αεροφόρους κύστες (Romer 1964).

Ο επανειλημμένος ανεξάρτητος σχηματισμός των αεροφόρων κύστεων δεν αποκλείει τον εφ' αρχής ανεξάρτητο καθορισμό της θέσης έκφυσης (νωτιαία, πλευρικά ή κοιλιακά του τροφικού σωλήνα). Υπήρχον όμως ισχυρές ανατομικές και εμβρυολογικές ενδείξεις για μετατόπιση της έκφυσης σε νωτιαία θέση από μια κοιλιακή θέση, κατά την εξελικτική πορεία

<sup>1</sup> Όπου αποσιωπάζον, πρόκειται για δευτερογενή εξαφάνιση.

μετασχηματισμού τους σε όργανα πλευστότητας (Harden Jones & Marshall 1953).

Από τον προγονικό ζυγό σάκκο προήλθε ο μονός αεροφόρος σάκκος είτε

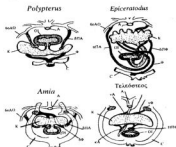
- 1) με σταδιακή μείωση και ατροφία της αριστερής κύστης (της οποίας η ανάπτυξη εμποδίζεται από τα σπλάγχνα). Τέτοιες ενδείξεις υπάρχουν σε πολλά ψάρια, όπου συναντώνται υπολεμιατικοί εμβρυϊκοί σχηματισμοί του αριστερού σάκκου, είτε
- 2) με σύντηξη των δύο κύστων σε μια μοναδική κύστη.

Κατά την νωτιαία μετατόπιση, της μονής πλέον κύστης, η έκφυση εξακολουθεί κατ' αρχάς να είναι κοιλιακή. Στην συνέχεια (ή ταυτόχρονα) συνέβη δεξιόστροφη μετατόπιση της έκφυσης. Ενδείξεις για αυτή την μετατόπιση δίνονται από εμβρυολογικές παρατηρήσεις, σύμφωνα με τις οποίες, ενώ η αρχική έκφυση της νηκτικής κύστης είναι πλευρική, στη συνέχεια έχουμε νωτιαία μετακίνησή της. Η δεξιόστροφη μετατόπιση θεωρείται πιθανότερη ή τουλάχιστον συνηθέστερη και γιατί παρατηρείται συχνότερα αλλά και γιατί η αριστερόστροφη μετακίνηση εμποδίζεται από τα σπλάγχνα. Ωστόσο σε ορισμένους Τελεόστεους (π.χ. το γένος *Erythrinus*) η έκφυση της νηκτικής κύστης είναι αριστερή. Είναι λοιπόν πιθανό είτε η μετατόπιση να έγινε και από τις δύο πλευρές, είτε όπως στην περίπτωση του *Erythrinus*, να έχει συμβεί μια περαιτέρω μετατόπιση από την νωτιαία θέση (Harden Jones & Marshall 1953, Goodrich 1958, Schmalhanssen 1968).

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.1, η αρχική αιμάτωση της κοιλιακής κύστης (*Polypterus*), γίνεται από τις ζυγές

προσαγωγούς αρτηρίες του τελευταίου αρτηριακού τόξου (6ο της εμβρυϊκής σειράς). Το αίμα επιστρέφει στην καρδιά με τις ζυγές φλέβες του αγωγού Cuvieri (Κυρία Φλέβα). Στο *Epiceratodus* η αριστερή πνευμονική αρτηρία ακολούθησε την πορεία μετακίνησης της κύστης στην νωτιαία θέση. Επιμυκώθηκε και περνώντας κάτω από τον οισοφαγό ακολούθησε την πορεία του πνευματικού αγωγού. Ομοια διαδρομή ακολούθησε και η απαγωγός δεξιά πνευμονική φλέβα. Μετά την οριστικοποίηση της νωτιαίας θέσης (*Amia*, Τελεόστεοι), η διαδρομή της αιμάτωσης συντομεύεται. Κατ' αρχήν έχουμε συντόμηση της διαδρομής στο Αορτικό τόξο και στην απαγωγό φλέβα προς τον αγωγό Cuvieri (*Amia*). Στη συνέχεια με συνδυασμό αιμάτωσης από το αορτικό τόξο και απ' ευθείας από την νωτιαία αορτή (εμβρυϊκά στάδια *Gymnarchus*). Τέλος η αιμάτωση γίνεται αποκλειστικά από την νωτιαία αορτή, μέσω της κοιλιακής αρτηρίας, ενώ το αίμα απάγεται πλέον από την Ηπατική Πυλαία Φλέβα (Goodrich 1958, Schmalhanssen 1968, Young 1991).

Οι δύο συστηματικές ομάδες που απέκτησαν αεροφόρους κύστες, οι Ακτινοπτερύγιοι (πτερύγια από ακτίνες) και οι Χοανοχθούς ή Σαρκοπτερύγιοι (με σαρκώδη πτερύγια και αρθρωτό σκελετό πτερυγίων) ακολούθησαν εξελικτικά διαφορετικούς δρόμους. Τα τελευταία δεν είχαν επιτυχία σαν ψάρια, αλλά είχαν τεράστια εξελικτικά σπασία σαν απόθεμα από το οποίο προήλθαν τα χερσαία σπονδυλωτά. Από τους Σαρκοπτερύγιους προέχονται επίσης οι Δίπνοοι και οι Κροσοπτερύγιοι (ή όπως φανερώνει το όνομά τους λοβο-πτερύγια ψάρια). Οι Κροσοπτερύγιοι βρίσκονται πλησιέστερα στην γενεαλογική γραμμή που οδήγησε στην έξοδο



Εικόνα 3.1 Διατομή της αιμάτωσης της Αέρας κύστης των Οισιοχθών. *Polypterus*: Χοανοχθούς. *Epiceratodus*: Δίπνοος. *Amia*: Ολοστέος 60ΑΟ-60 Αορτικό τόξο, ΟΙ-οισοφάγος, ΔΠΑ- δεξιά Πνευμονική Αρτηρία, ΔΠΑ- αριστερή Πνευμονική αρτηρία, Κ- Κύστη, Φ- πνευμονική Φλέβα, C- αγωγός Cuvieri, A- νωτιαία Αορτή, ΔΦ- δεξιά πνευμονική Φλέβα, vA- νωτιαία Αρτηρία, κA- κοιλιακή Αρτηρία, vΦ- νωτιαία Φλέβα, ΗΠΦ- Ηπατική Πυλαία Φλέβα (Goodrich 1958).



5. Λειτουργία της σαν ένας μετασχηματιστής του ειδικού βάρους<sup>3</sup>  
Τα αντίθετα χαρακτηριστικά αποτελούν τα γνωρίσματα ενός πραγματικού πνεύμα που έχει σαν κύρια λειτουργία την αναπνοή.

Ωστόσο οι παραπάνω απόψεις για την προέλευση της νηκτικής κύστης δεν είναι καθολικής αποδοχής. Ένα σημείο συζήτησης είναι αν η νηκτική κύστη και οι πνεύμονες είναι ομόλογα όργανα. Τα μέχρι σήμερα δεδομένα για επανειλημμένους και ανεξάρτητους σχηματισμούς των αερίων κύστεων, συγκλίνουν προς την άποψη ότι ούτως ή άλλως τα δύο αυτά όργανα δεν είναι ομόλογα. Αποτελεί ωστόσο αντικείμενο συζήτησης το αν *όλες* οι αέριοι κύστες σχηματίσθηκαν για να εξυπηρετήσουν την αναπνευστική λειτουργία. Το γεγονός ότι η έλλειψη οξυγόνου, αποτελεί πιθανόν ισχυρότερο εξελικτικό παράγοντα, δεν δικαιολογεί την βεβαιότητα ότι αυτός είναι και ο μοναδικός εξελικτικός παράγοντας. Το γεγονός ότι τα προβλήματα πλευστότητας θα μπορούσαν να αντιμετωπιστούν και με άλλες προσαρμογές, δεν σημαίνει ότι δεν θα μπορούσαν να αντιμετωπιστούν **και** με τον σχηματισμό αερίων κύστεων. Το τελευταίο εξηγεί γιατί δεν έχουν **όλα** τα ψάρια νηκτική κύστη και όχι ότι αυτή είναι αδύνατον να σχηματισθεί σαν όργανο πλευστότητας.

Οι αέριοι κύστες ήταν μια πολύ καλή προσαρμογή σε περιβάλλοντα περιορισμένου οξυγόνου, όπου ζούσαν πρώιμοι Οστεϊχθύες. Είναι όμως πολύ πιθανό ότι πολλά ψάρια κινήθηκαν σε καλύτερα οξυγονομένα νερά, όπου η κοιλιακή έμφυση κύστη ήταν άχρηστη και επιβλαβής για τον οργανισμό, ενώ η νηκτική έμφυση κύστη θα είχε υψηλή αρμοστικότητα. Έτσι οι αέριοι κύστες σχηματίσθηκαν για εντελώς διαφορετικούς λόγους στις διάφορες κατηγορίες των Οστεϊχθύων. Κατά την διάρκεια των ακτινωτών προσαρμογών και εξηλάσεων, ορισμένοι Ακτινοπεριόγιοι με νηκτική κύστη, αποίκησαν περιοχές με περιοδικά ελαττωμένο οξυγόνο. Έτσι το υδροστατικό όργανο απέκτησε δευτερευόντως αναπνευστική λειτουργία, παρόντας ένα ακόμα ενδιαίτημα στα ψάρια αυτά. Με τον τρόπο αυτό εξηγούνται όλες οι ιστολογικές και αναπτυξιακές διαφορές μεταξύ των Τελεόστων, Διπνών και Τετραπόδων (Webster and Webster 1974).

Αυτή η εξελικτική άποψη ερμηνεύει όλα όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως σαν εξελικτικές ανατομικές μετατροπές. Συγκεκριμένα (Webster & Webster 1974):

- 1) Οι πρόδρομοι πνεύμονες αιματώνονται από την πνευμονική αρτηρία, ενώ στους Τελεόστους η νηκτική κύστη αιματώνεται από κλάδο της νηκτικής αορτής.
- 2) Η φλεβική απαγωγή αίματος στους Διπνούς και τα Τετράποδα γίνεται από την πνευμονική φλέβα. Στα άλλα ψάρια που αναπνέουν αέρα υπάρχει ένα μάλλον χαοτικό δίκτυο φλεβών χωρίς να σχηματίζεται πραγματική πνευμονική φλέβα.
- 3) Πνεύμονες και νηκτική κύστη διαφέρουν στην μικροσκοπική δομή.
- 4) Εμβρυολογικά, οι πρόδρομοι πνεύμονες αναπτύσσονται σαν κοιλιακή εγκόλιωση στην φaryngo-οισοφαγική θέση του πεπτικού σωλήνα. Αντίθετα στους Τελεόστους η νηκτική κύστη εκφύεται καθαρά σαν μια πιο οπίσθια εγκόλιωση στον οισοφάγο ή και στην υποθετική στομαχική περιοχή. Έτσι στους βακαλάους η κύστη έχει ακόμη και πεπτικούς αδένες.

### 3.1.2. ΕΞΕΛΙΚΤΙΚΗ ΠΟΡΕΙΑ ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΝΗΚΤΙΚΗΣ ΚΥΣΤΗΣ

Η νηκτική σύνδεση της νηκτικής κύστης με τον τροφικό σωλήνα (πνευματικός αγωγός) διατηρείται σε πολλούς σημερινούς Τελεόστους, και σίγουρα υπήρχε σε όλα τα προγονικά ψάρια με νηκτική κύστη. Υπάρχει μια βαθμιαία αποσύνδεση της νηκτικής κύστης από τον τροφικό σωλήνα. Η σύνδεση της νηκτικής κύστης με τον οισοφάγο (**Φυσόστομα** ψάρια) διατηρείται σήμερα στα περισσότερα Μαλακοπεριόγιοι και χάνεται (**Φυσόκλειστα** ψάρια) στα

<sup>3</sup> Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να μην είναι η κύρια λειτουργία της.

περισσότερα Ακανθοπτερύγια. Η διαίρεση σε φυσόστομους και φυσόκλειστους έχει μια καλά καθορισμένη λειτουργική και μορφολογική βάση. Οι όροι αυτοί αντιστοιχούν περισσότερο σε προγονικούς και παράγωγους καταστάσεις της δομής και της οργάνωσης της νηκτικής κύστης και δεν υποδηλώνουν προγονικούς ή παράγωγους οργανισμούς. Δεν έχουν συστηματική αξία, δεδομένου ότι μέσα στην ίδια συστηματική κατηγορία μπορούμε να συναντήσουμε και φυσόστομους και φυσόκλειστους και είδη που έχουν χάσει δευτερογενώς την κύστη τους. Ωστόσο στους φυσόστομους συμπεριλαμβάνονται προγονικότερα ψάρια (Μαλακοπτερύγια-Ισοσπόνδυλοι), ενώ στους φυσόκλειστους εξελικτικά παράγωγα ψάρια.

Ο τρόπος με τον οποίο γεμίζει η νηκτική κύστη στους φυσόστομους παρουσιάζει μια διαβάθμιση που ξεκινά από την αποκλειστική κατάποση ατμοσφαιρικού αέρα και φτάνει μέχρι τον σχηματισμό δομών που είναι εθμίλλες με αυτές των φυσόκλειστων. Ομοίως στους φυσόκλειστους υπάρχει μια διαβάθμιση μορφών που ξεκινά από την διατήρηση της φυσόστομης δομής στα πρώτα στάδια της ζωής τους και φτάνει μέχρι τους πλέον εξειδικευμένους *ειψοσόκλειστους* (Harden Jones & Marshall 1953, Harder 1975):

**1) Αποκλειστική πλήρωση με επιφανειακό αέρα μέσω του πνευματικού αγωγού** που αποτελεί βασικό όργανο. Ο πνευματικός αγωγός συνδέεται με τον οισοφάγο ή κοντά στον ταλλό σάκκο του στομαχίου όπως στα Clupeidae. Είναι ένας σχετικά μακρός και παχύτοιχος σωλήνας. Αποτελείται από ένα στρώμα λείων μυϊκών ινών και ισχυρό μηχανισμό σφικτήρα στο άκρο που συνδέεται με τον πεπτικό σωλήνα. Ο μηχανισμός αυτός κάνει δυνατή την κατάποση και την απελευθέρωση αέρα. Ο πνευματικός σφικτήρας νεωρύνεται τόσο από το συμπαθητικό όσο και από το παρασυμπαθητικό σύστημα. Το γαστρικό κλαδί του πνευμονογαστρικού νεύρου (X) απολήγει με δύο τύπους κινητικών νευρώνων στους μύες του οισοφάγου και του πνευματικού σφικτήρα. Το συμπαθητικό σύστημα είναι υπεύθυνο για την διατήρηση του μυϊκού τόνου στον σφικτήρα. Ο σφικτήρας δεν λειτουργεί σαν βαλβίδα ασφαλείας, που ανοίγει αυτόματα όταν η πίεση ξεπεράσει ένα κρίσιμο σημείο, αλλά με εντολές από το πνευμονογαστρικό νεύρο που χαλαρώνουν τον μυϊκό τόνο. Αν το πνευμονογαστρικό (X) νεύρο αποκοπεί, δεν είναι δυνατή η άντληση αέρα και η νηκτική κύστη δεν γεμίζει. Η αιμάτωση εξασφαλίζεται από την κοιλιακομεσεντερική αρτηρία, ενώ η απαγωγή του αίματος γίνεται με την ηπατική πύλαια φλέβα (Harden Jones & Marshall 1953).

Στα Clupeidae και στην *Sardina pilchardus* ειδικότερα υπάρχει σύνδεση της νηκτικής κύστης με την περιοχή κοντά στην αμάρα, μέσω *εδρικού αγωγού*. Η αμάρα, το άνοιγμα της ουρήθρας και το άκρο του εδρικού αγωγού της νηκτικής κύστης, περιβάλλονται από ένα ισχυρό σφικτήρα με. Όταν πειραματικά αφηθεί απότομα η πίεση, η αν το ψάρι αναισθητοποιηθεί, το αέριο της νηκτικής κύστης αποβάλλεται από τον εδρικό αγωγό (Goodrich 1958, Alen *et al.* 1976, Blaxter & Batty 1990). Τα τοιχώματα της νηκτικής κύστης είναι παχιά και στιλινά. Αποτελούνται από 3 μέρη: από τον *εξωτερικό ελαστικό χιτώνα*, τον *υπομυϊκό χιτώνα* (στρώμα συνδετικού ιστού) και τον *εσωτερικό χιτώνα*. Ο *Εσωτερικός Χιτώνας* αποτελείται από 3 στρώματα: ένα *Μυώδες*, το *Λιποθητήριο Ελασμά* (συνδετικός ιστός), και το *Εσωτερικό Επιθήλιο*. Τα τοιχώματα είναι στιλινά λόγω κρυστάλλων γουανίνης και υποξανθίνης, που εμποδίζουν ή επιβραδύνουν την διάχυση του αερίου (Blaxter & Batty 1984). Επίσης η συσσώρευση λίπους γύρω από τη νηκτική κύστη όπως συμβαίνει και στην *Sardina pilchardus* εμποδίζει την διάχυση αερίου στους ιστούς (Wittenberg *et al.* 1980). Στους κατώτερους φυσόστομους, στα Clupeidae και στην *Sardina pilchardus* η εσωτερική επένδυση της νηκτικής κύστης συνίσταται από πλάκωδες επιθήλιο το οποίο παχύνεται σε κυλινδρικό επιθήλιο στο πάνω πρόσθιο μέρος της κύστης (εκεί που εξελικτικά σχηματίζεται το ερυθρό σώμα). Στο σημείο αυτό υπάρχει συγκέντρωση τριχοειδών, αλλά δεν σχηματίζεται θαυμαστό πλέγμα, ούτε παρατηρείται οποιαδήποτε

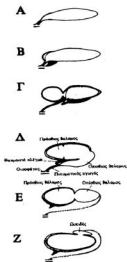
άλλη εκκριτική δραστηριότητα (Εικόνα 3.3B) (Harden Jones & Marshall 1953, Blaxter & Batty 1984).

2) Μερική αργή συμπλήρωση του αερίου που χάνεται με αέρια βακτηριακών δράσεων του πεπτικού σωλήνα (Harden Jones & Marshall 1953).

3) Μικρότερη ή μεγαλύτερη επιθηλιακή έκκριση αερίου. Αυτό συμβαίνει με συγκέντρωση αιμοφόρων αγγείων στην πρόσθια περιοχή κοντά στον πνευματικό αγωγό και πάχυνση του επιθηλίου που αποκτά αδενώδη δραστηριότητα (π.χ. Εικόνα 3.3Γ.) (Harden Jones & Marshall 1953).

4) Η επιθηλιακή δραστηριότητα συγκεντρώνεται στο **ερυθρό σώμα** όπως στα Anguillidae (Εικόνα 3.3Δ.). Τα τριχοειδή σχηματίζουν **θαιμιαστό πλέγμα**<sup>4</sup>, ενώ το πρόσθιο μονόστοιβο επιθήλιο σχηματίζει τον αερίο αδένα<sup>5</sup>. Το θαιμιαστό πλέγμα μαζί με τον αερίο αδένα αποτελούν το **ερυθρό σώμα**. Τα ψάρια εξακολουθούν να είναι φυσιόστομοι, καταπίνουν αέρα, αλλά μπορούν και να ρυθμίζουν τον όγκο της νηκτικής κύστης με επιθηλιακή έκκριση αερίου.

5) Ατροφία και τελική εξασφάλιση του πνευματικού αγωγού. Διατηρείται μόνο στα νηφικά στάδια και μερικές φορές στα αρχικά στάδια του νεαρού ατόμου. Αυτή η απώλεια του αγωγού συνδέεται με τον μεμβρανώδη εσωτερικό διαχωρισμό της νηκτικής κύστης, σε **πρόσθιο εκκριτικό θάλαμο** και **οπίσθιο απορροφητικό θάλαμο** που θεωρείται ότι προέρχεται από τον πνευματικό αγωγό. Οι δύο θάλαμοι επικοινωνούν μεταξύ τους με ένα ρυθμιζόμενο τρήμα της μεμβράνης. Τα ψάρια αυτής της δομής, με εξελικτικά πρώιμη φυσιολογία νηκτική κύστη, ονομάζονται **παραφυσιόκλειστοι**. Η απώλεια της φυσιόστομης κατάστασης συνδέεται επίσης με πληρέστερη ανάπτυξη του θαιμιαστού πλέγματος (αύξηση των τριχοειδών και της



Εικόνα 3.3. Η εξέλιξη της νηκτικής κύστης και του πνευματικού αγωγού (Harder 1975). (A) προγονική νηκτική κύστη, (B) νηκτική κύστη Clupeidae, (Γ) νηκτική κύστη φυσιόστομου σολομοειδούς, (Δ) τυπικό σχεδιάγραμμα φυσιόστομης νηκτικής κύστης, (E) νηκτική κύστη παραφυσιόκλειστου, (Z) νηκτική κύστη εφοφοκλειστου (Goodrich 1958).

<sup>4</sup> Το **θαιμιαστό πλέγμα** (*rete mirabile*) είναι πικνό δίκτυο αρτηριακών και φλεβικών τριχοειδών που βρέχονται σε επαφή μεταξύ τους και στα οποία το αίμα είναι αντάθροτο ροής. Αυτό επιτρέπει τον σχηματισμό διαβάθμισης της μικρής πίεσης των αερίων κατά μήκος των τριχοειδών, και την διέχυση των αερίων από τα φλεβικά στα αρτηριακά τριχοειδή. Λόγω της αντάθροτο ροής η μερική πίεση στις αρτηριακά τριχοειδή αυξάνει καθώς πλησιάζουν τον αερίο αδένα, ενώ στα φλεβικά μειώνεται καθώς απομακρύνονται από αυτόν. Έτσι η πίεση και η ποσότητα του αερίου μέσα στην νηκτική κύστη διατηρείται και ταυτίζονται με την δραστηριότητα του αερίου αδένα έχοντας έκκριση αερίου μέσα στην νηκτική κύστη. Το μέρος και ο αριθμός των τριχοειδών αγγείων αυξάνεται, όσο αυξάνεται το βάθος που ζει το ψάρι, δηλαδή όσο αυξάνεται η πίεση που πρέπει να υπαρύνεται μέσα στην νηκτική κύστη (Steen 1970, Harder 1975).

<sup>5</sup> Ο όρος **αερίος αδένος** αν και έχει επικριθεί δεν αντιστοικρίζεται στην πραγματικότητα, δεδομένου ότι δεν εκκρίνει αέριο. Ορθότερο θα ήταν να ονομάζεται όργανο παραγωγής αερίου.

επιφάνειας), καθώς και με πληρέστερη ανάπτυξη τους αερίου αδένων. Λόγω αυτής της πληρέστερης οργάνωσης του θαυμαστού πλέγματος και του αερίου αδένων αντί του όρου "ερυθρό σωμα" χρησιμοποιείται για τους φυσιολογικούς ο όρος "ερυθρός αδένων". Ο αερίος αδένων<sup>6</sup> από μονότοβος που είναι ακόμη σε ορισμένους φυσιολογικούς (π.χ. *Trigla*) γίνεται πολύτοβος με πτυχές και κρύπτες, που αξιοποιούνται στην ρύθμιση της εκκριτικής έντασης (Goodrich 1958, Marshall 1971, Harder 1975).

**6) Σχηματισμός του ωσειδούς σωματίου.** Στους ευφυσόκλειστους ο πνευματικός αγωγός υπάρχει μόνο στα πρώιμα νηφικά στάδια εξιζητημάτων την αρχική πλήρωση και ενεργοποίηση της νηκτικής κύστης, η δεν εμφανίζεται καθόλου. Ο οπίσθιος απορροφητικός θάλαμος μετασχηματίζεται σε **ωσειδός σωματίο**, απομονωμένος από την υπόλοιπη νηκτική κύστη, με σύσφιξη των τοιχωμάτων. Αυτή η σύσφιξη της νηκτικής κύστης διαθέτει εγκάρσιους και ακτινωτούς μύες που της επιτρέπουν να προβάλλει μέσα στο χώρο της νηκτικής κύστης, αυξάνοντας την επιφάνειά της όταν υπάρχει ανάγκη απορρόφησης του αερίου. Στο ωσειδός σωματίο το τοίχωμα είναι λεπτότοιχο και έντονα αγγειώδες. Οι μύες του ωσειδούς νευρώνονται από το συμπαθητικό και παρασυμπαθητικό σύστημα. Το πνευμογαστρικό νεύρο (X) δίνει τα ερεθίσματα για χαλάρωση των μύων και την αποκοπή του ωσειδίου από την υπόλοιπη νηκτική κύστη (λειτουργία ανάλογη με αυτή που έχει στον πνευματικό σφιγκτήρα). Εξ' άλλου εμβρυολογικές ενδείξεις σημειώνουν μια ομολογία μεταξύ πνευματικού αγωγού και ωσειδούς σωματίου (Goodrich 1958, Ballard 1964, Marshall 1971, Harder 1975).

Η μεγάλη ποικιλία τύπων και προσαρμογών της νηκτικής κύστης σχετίζεται με την ποικιλία των ενδιατημάτων στα οποία έπρεπε να προσαρμοστούν τα ψάρια κατά την εξελικτική τους πορεία. Ο τύπος της νηκτικής κύστης κάθε ομάδας ψαριών, είναι άμεσα συνδεδεμένος με τον βασικό οικολογικό προσανατολισμό της ομάδας ή είδους. Οι φυσιότομοι κυριαρχούν στα γλυκά νερά, όπου η πρόσβαση στην επιφάνεια είναι εύκολη και καθημερινή. Η νηκτική κύστη λειτουργεί από τα βιολογικά ψάρια των γλυκών νερών και από τα ψάρια που ζουν σε ρεύματα, γιατί αποτελεί εμπόδιο στην πλευστότητά τους (Ballard 1964, Marshall 1966).

Οι φυσιότομοι ουσιαστικά αποστάζουν από τα θαλάσσια είδη περιοριζόμενοι σε ελάχιστα πελαγικά είδη, κυρίως στα Clupeidae που εκτελούν καθημερινές κάθεται μετακινήσεις στην στήλη του νερού. Οι παραφυσιόκλειστοι κυριαρχούν στα μεσοπελαγικά είδη (Mystrophiidae), σε βάθη από 200m μέχρι 800m. Στα βάθη από 1000m μέχρι 3000m παρατηρείται απουσία ψαριών με νηκτική κύστη ή η νηκτική κύστη των ψαριών γεμίζει με λίπη και έλαια. Αυτό συνδέεται με λεπτότητα του σκελετού και μείωση του ειδικού βάρους των άλλων σωματικών ιστών. Τα μεγαλύτερα βάθη από 2500m μέχρι 3000m κυριαρχούνται από ευφυσόκλειστα βενθοπελαγικά ψάρια (πάνω από το 50% των ειδών) που ουδέποτε προσεγγίζουν την επιφάνεια και κινούνται στην στήλη του νερού πάνω από τον πυθμένα (Ballard 1964).

Σε μικρότερα βάθη ευφυσόκλειστοι συναντώνται συχνά και μεταξύ βενθοπελαγικών ψαριών

<sup>6</sup> Ο **αερίος αδένων** δεν εκκρίνει αέριο, αλλά παίζει ρόλο πολλαπλασιαστή της αντίθετου ροής. Τα υπερηφικά τριχοειδή σχηματίζουν μόνο στον αδένων αγκύλας (φομακέτες), μετατρέπονται σε φλεβικά τριχοειδή που υπάρχουν στο αίμα. Η εκκριτική δραστηριότητα του αερίου αδένων συνίσταται στην έκκριση γλυκόλυτου οξέος στην αγκύλα αυτή. Το οξύ προκρίει στη φλεβίδια **φαινόμενο Root** (μείωση της συγκέντρωσης  $\text{Hb-O}_2$ ), **φαινόμενο Bohr** (μείωση του σημείου κορεσμού της  $\text{Hb}$  με  $\text{O}_2$ ) και το **φαινόμενο της ελάσης δι' ενταξίωσης** (τα ιόντα του πλάσματος του αίματος μετώνουν την διαλυτότητα των αερίων, και απορμένως αυξάνουν την μερική πίεση όλων των αερίων). Το φαινόμενο του πλάσματος μείωνται όσο αποκαρβονώνονται από τον αδένων. Το φαινόμενο αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την διαρκή ύπαρξη υψηλής μερικής πίεσης στα φλεβίδια, και έτσι την διακίνηση των αερίων από τα αρτηρίδια. Έτσι τα αρτηρίδια εμπλοκάζονται διαρκώς σε  $\text{O}_2$  και αέριο από τα φλεβίδια, καθώς πληθαίνουν τον αδένων. Αυτό επιτρέπει σχηματισμό μερικών πιέσεων υψηλότερων από την πίεση της νηκτικής κύστης και την έκκριση αερίου στο ύστερο της (Marshall 1966, Steen 1970, Harder 1975).



που σχεδόν ποτέ δεν προσεγγίζουν την επιφάνεια. Όπως και στα γλυκά νερά έτσι και στην θάλασσα η νηκτική κύστη χάνεται εντελώς σε πολλούς μόνιμους κατοίκους του βαθού (όπως οι γλώσσες) ή ψάρια που κινούνται διαρκώς και αναπτύσσουν μεγάλες ταχύτητες.

### 3.1.3. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΗΣ ΝΗΚΤΙΚΗΣ ΚΥΣΤΗΣ

#### A. ΠΛΕΥΣΤΟΠΗΤΑ

Η συνθλιβότερη χρήση της νηκτικής κύστης αφορά στην μείωση του ειδικού βάρους του ψαριού. Η νηκτική κύστη δεν παίζει ενεργό ρόλο στην άνοδο ή την κάθοδο του ψαριού, αλλά εξομοιώνει το ειδικό του βάρος με το ειδικό βάρος του νερού<sup>7</sup>. Με αυτή την εξομοίωση το ψάρι δεν καταναλώνει ενέργεια για να αντισταθμίσει την βύθση που προκαλεί το βάρος του, με αποτέλεσμα να κινείται με την ελάχιστη δυνατή προσπάθεια. Για να συμβεί αυτό θα πρέπει το βάρος του νερού που εκτοπίζει το ψάρι να ισούται με το βάρος του ψαριού. Λεξιμομένου ότι η πυκνότητα του ψαριού είναι  $\rho_p = 1.076$ , του γλυκού νερού  $\rho = 1$  και της θάλασσας  $\rho_b = 1.026$ , αν ένα ψάρι εκτοπίζει 100ml νερού θα πρέπει να ισχύει:

Για γλυκό νερό  $100 \cdot 1 = 1.076 \cdot V = V \cdot 93$ , άρα ο όγκος της νηκτικής κύστης θα πρέπει να είναι  $100 \cdot 93 = 7\%$  του όγκου του ψαριού.

Για το θαλάσσιο νερό  $100 \cdot 1.026 = 1.076 \cdot V = V \cdot 95$ , άρα ο όγκος της νηκτικής κύστης θα πρέπει να είναι  $100 \cdot 95 = 5\%$  του όγκου του ψαριού (Ballard 1964, Marshal 1966).

Το γενικά σωστό αυτό ισοζύγιο μπορεί να μεταβάλλεται ανάλογα με την ύπαρξη βαρύτερων ή ελαφρότερων ιστών. Βαρύτεροι ιστοί είναι οι μύες και τα κόκκαλα. Ελαφρότεροι ιστοί είναι το λίπος και για τα θαλάσσια είδη τα σωματικά υγρά (επειδή έχουν ελαφρώς μικρότερη συγκέντρωση αλάτων). Ένα ψάρι χωρίς νηκτική κύστη για να έχει ουδέτερη πλειυστότητα θα έπρεπε το  $1/3$  του βάρους των ιστών να αποτελείται από λίπος. Η παρουσία ελαφρότερων ιστών συνδέεται με μειωμένο ποσοστό όγκου της νηκτικής κύστης. Η περιεκτικότητα λίπους των ιστών στα Clupeidae μπορεί να φθάσει πάνω από 20%. Στα βαθύβια ψάρια χωρίς αέρα στην νηκτική κύστη έχουμε αυξημένη αποθήκευση λίπους, μείωση των πρωτεϊνών στους μύες και λέπτυνση των οστών (Ballard 1964).

Σύμφωνα με τον Alexander (Blaxter 1979) το μεταβολικό κόστος της διατήρησης της ουδέτερης πλειυστότητας στην επιφάνεια, με διάφορους εναλλακτικούς τρόπους είναι:

ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗ	25 ml O <sub>2</sub> /Kg/h
ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΛΙΠΟΥΣ	10-17 ml O <sub>2</sub> /Kg/h
ΝΗΚΤΙΚΗ ΚΥΣΤΗ	2 ml O <sub>2</sub> /Kg/h <sup>8</sup>

Επομένως κοντά στην επιφάνεια, μεταβολικά φθινοτέρα είναι η διατήρηση της πλειυστότητας με την νηκτική κύστη.

Η ουδέτερη πλειυστότητα εξοικονομεί ενέργεια επειδή:

- 1) Το ψάρι δεν καταναλώνει ενέργεια για να μείνει ακίνητο.
- 2) Μειώνεται η απαιτούμενη ενέργεια για οριζόντια κίνηση. Η οικονομία που επιτυγχάνεται σε οριζόντια πορεία είναι το 20% της ενέργειας που καταναλώνει για να κινηθεί.

Ένας φυσόστομος που γεμίζει την νηκτική κύστη στην επιφάνεια, ώστε να αποκτήσει ουδέτερη πλειυστότητα, εξοικονομεί την πίεση μέσα στην νηκτική κύστη με την εξωτερική πίεση  $P = 1 \text{ atm}$ . Η πίεση μέσα στο νερό αυξάνει κατά 1 atm για κάθε 10m. Η νηκτική κύστη είναι ελαστικό συμφορημένη με την πίεση. Έτσι για έναν προγονικό φυσόστομο, όπως ο *Sardinia pilchardus* ή τα Clupeidae γενικότερα, στα οποία δεν έχουμε καθόλου έκκριση αερίου, οι μεταβολές της πίεσης συνδέονται με μεταβολές του όγκου, σύμφωνα με τον νόμο του Boyle:

<sup>7</sup> Γε' αυτό πολλοί πρωτεΐνουν σεν σωστότερο τον όρο πλειυστική κύστη

<sup>8</sup> Αυξανόμενο κάθε φορά κατά ποσότητα που εξαρτάται από το βάθος.

$P_1 V_1 = P_2 V_2$ . Άρα σε βάθος 10m ο όγκος της νηκτικής κύστης θα είναι το  $1/2$  του αρχικού (επιφανειακού) όγκου, σε βάθος 20m το  $1/3$ , σε βάθος 30m το  $1/4$  κ.ο.κ.

Τα καταδυόμενα ψάρια συμπιέζουν τον όγκο της νηκτικής κύστης λόγω της αύξησης της πίεσης και γίνονται βαρύτερα του νερού. Το αντίστροφο συμβαίνει κατά την ανόδου. Ο ρυθμός μεταβολής του όγκου είναι μικρότερος όσο απομακρυνόμαστε από την επιφάνεια. Έτσι αν V είναι ο όγκος στην επιφάνεια τότε σύμφωνα με τον Blaxter (1979):

στα 10m θα είναι  $V/2$

στα 20m θα είναι  $V/(2 \times 1.5)$

στα 30m θα είναι  $V/(2 \times 1.5 \times 1.33)$  κ.ο.κ.

Τα Clupeidae συνήθως γεμίζουν την νηκτική κύστη έτσι ώστε να έχουν θετική πλευστότητα στην επιφάνεια και να διατηρούν ουδέτερη πλευστότητα μέχρι και 30 μέτρα κάτω από την επιφάνεια. Πάντως οι φυσόστομοι ποτέ δεν καταπίνουν αρκετό αέρα ώστε να έχουν ουδέτερη πλευστότητα κάτω από μερικές δεκάδες μέτρα από την επιφάνεια. Στην περίπτωση που καταπνιναν αρκετό αέρα, για να έχουν ουδέτερη πλευστότητα σε μεγάλη βάθος, θα παρεμποδιζόταν η κατάδυση τους. Βασικό όργανο για να καταπιεί ένας φυσόστομος αρκετό αέρα, είναι η δυνατή αντλία του πνευματικού αγωγού. Αυτό αφορά ιδιαίτερα τα Clupeidae που είναι οι μόνοι καταδυόμενοι, θαλάσσιοι φυσόστομοι Τελειότετοι, και οι οποίοι δεν παράγουν καθόλου αέριο. Έχουν επίσης την ικανότητα να διατηρούν το αέριο στην νηκτική κύστη για αρκετές ημέρες. Για παράδειγμα, μετρήσεις στην βόγγα έδειξαν ότι διατηρεί το αέριο στην νηκτική κύστη για 53 ημέρες στα 90 μέτρα, 128 ημέρες στα 30 μέτρα, 238 ημέρες στα 10 μέτρα (Blaxter & Hunter 1982).

Τα ψάρια που έχουν την δυνατότητα έκκρισης αερίου αποκτούν ουδέτερη πλευστότητα σε οποιοδήποτε βάθος επιτρέπει το μέγεθος και η ισχύς του θαλαμίστου πλέγματός τους. Όταν τα ψάρια αναδύονται το αέριο απορροφάται εκ νέου, ώστε η πλευστότητα να γίνει και πάλι ουδέτερη. Στους φυσόκλειστους αυτό γίνεται με διάχυση του αερίου στο αίμα μέσω του ωοαίσιου. Στους φυσόστομους όταν η εξωτερική πίεση μειώνεται απότομα, το αέριο βγαίνει από τον πνευματικό αγωγό, την βραγχιακή κοιλότητα, ή τον εδρικό αγωγό όπως στα Clupeidae.

Είναι φανερό ότι στους φυσόκλειστους υπάρχουν όρια στην αλλαγή της κάθετης θέσης του ψαριού. Απότομη μείωση της πίεσης προκαλεί έκρηξη της νηκτικής κύστης ή εμετό. Τα όρια μέσα στα οποία μπορούν οι φυσόστομοι να μετακινήθουν άνετα και γρήγορα (προς τα πάνω ή κάτω) είναι συνήθως το 20% του βάθους που βρίσκονται (Ballard 1964). Οι ρυθμοί έκκρισης των αερίων είναι αργοί για τα περισσότερα ψάρια. Απαιτούνται 4-8 ώρες για να γεμίσει η νηκτική κύστη σε πίεση 1atm (Bone & Marshall 1982). Έτσι η παρουσία της νηκτικής κύστης περιορίζει την ελευθερία δράσης του ψαριού σε κάθετο επίπεδο. Αυτός είναι ο λόγος που ο όγκος της νηκτικής κύστης ελαχιστοποιείται στους πολύ καλούς κολυμβητές. Το *Scomber scomber* είναι ένα από τα λίγα ελεύθερα κολυμβήσαντα ψάρια της νηκτικής ζώνης χωρίς νηκτική κύστη, που διατηρεί το επίπεδο του μέσα στο νερό με την αεικίνηση και σφίγγηλη δραστηριότητά του. Η διαρκής κίνηση είναι το τίμημα για εύκολη μετακίνηση πάνω-κάτω (Denton & Marshall 1979).

Αυτός ο περιορισμός της κάθετης κίνησης, σημαίνει ότι οι φυσόκλειστοι θηρευτές (π.χ. διάφορα βακαλοειδή) δεν μπορούν να ακολουθήσουν τα Clupeidae στην ταχεία ανόδου τους πάνω από ένα ορισμένο βάθος (π.χ. μέχρι τα 37m αν βρίσκονται στα 50m). Αντίθετα τα Clupeidae μπορούν να φτάσουν γρήγορα στην επιφάνεια χωρίς προσωρινά διαλείμματα και ενδιάμεσους σταθμούς για την έκκριση αερίου. Έτσι μπορούν να ανέβουν μέχρι την επιφάνεια από κάθε βάθος έχοντας θετικό πλεονέκτημα απέναντι στους φυσόκλειστους θηρευτές (Bone & Marshall 1982).

Αν και στα Clupeidae η νηκτική κύστη είναι πολύ καλά εξειδικευμένη στην υποδοχή ήχου, φαίνεται ότι αυτό το λειτουργικό στάδιο της νηκτικής κύστης είναι ταυτόχρονα και μια πολύ επιτυχής εξελικτικά λύση για τα ψάρια που εκτελούν ημερήσιες κάθετες μετακινήσεις (Thorne & Thomas 1990).

## Β. ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΟ ΠΙΕΣΗΣ - ΑΚΟΗΣ

Επειδή η πυκνότητα του σώματος των ψαριών είναι σχεδόν ίση με την πυκνότητα του νερού, αυτά θα ήταν πλήρως διαπερατά στον ήχο, αν δεν υπήρχαν τα κόκκαλα και η νηκτική κύστη, που εξασφαλίζουν την ασυνέχεια λόγω της διαφορετικότης τους πυκνότητας. Η ένωση της νηκτικής κύστης με το λαβύρινθο οξύνει την ικανότητα αντίληψης ακόμη και πολύ μικρών διαφορών πίεσης. Αυτό μπορεί να γίνει μόνο αν η νηκτική κύστη είναι πλήρης. Υπάρχουν δύο διαφορετικά πρότυπα, σε διακριτές ομάδες Τελεοστέων, με τα οποία επιτυγχάνεται η επαφή της νηκτικής κύστης με το στατοακουστικό όργανο.

Το πρώτο πρότυπο αφορά τους Μαλακοπτερυγίους. Η νηκτική κύστη συνεχίζεται προς το κρανίο μέσω κοιλωματικού αγωγού ο οποίος είναι άκαμπτος, λεπτός (ακτίνα 4-10μm) και περιβάλλεται από χόνδρο. Ο σωλήνας αυτός διχάζεται, διαπερνά το κρανίο και έρχεται σε ενεργό επαφή με το μεμβρανώδες τμήμα του αυτιού. Διάφορες παραλλαγές υπάρχουν σε πολλά μέλη των Μαλακοπτερυγίων.

Στα Clupeidae (*Clupea*, *Sardina*, *Sardinops*, *Engraulis*) η συσκευή αυτή είναι τελειοποιημένη. Οι διακλαδώσεις οδηγούν σε μικρά κυστιδία τα Ακουστικά ή *Οτικά κυστιδία*: το προωτικό και το πτερωτικό (Εικόνα 3.4.), που είναι σε στενή επαφή με το σακκίδιο (*sacculus*) και το ελλειπτικό κυστιδίο (ή απλώς κυστιδίο - *utricullus*)<sup>9</sup>.



Εικόνα 3.4. Ακουστικά κυστιδία (Blaxter & Hunter 1982).

Με βάση τα παραπάνω το κάτω μέρος των κυστιδίων συνδέεται με την νηκτική κύστη και χωρίζεται από την περιλήφο με μια μεμβράνη συνδετικού ιστού. Οι μεταβολές της πίεσης μεταφέρονται από την νηκτική κύστη στην μεμβράνη και από εκεί στην περιλήφο. Η τελευταία σπρώχνει μέσα-έξω ένα μικρό παράθυρο, το οποίο βρίσκεται κάτω ακριβώς από τα κύτταρα της κηλίδας (*maculae*), (Εικόνας 3.5 και 3.6.). Τα Clupeidae είναι τα μόνα σπονδυλωτά των οποίων ο ωτόλιθος ο ωτόλιθου κυστιδίου είναι έντονα μετασχηματισμένος, ώστε τα κύτταρα της κηλίδας του να ερεθίζονται με κινήσεις του περιληφτικού υγρού. Ο όγκος του κάθε κυστιδίου είναι της τάξης των 10mm<sup>3</sup>, ενώ οι αγωγοί έχουν διάμετρο = 10μm (Blaxter & Hunter 1982).

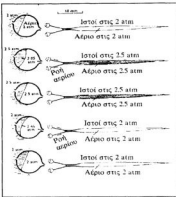


Εικόνα 3.5. Μικρογραφία ακουστικού κυστιδίου (Allen et al. 1976)

Επίσης τα Clupeidae έχουν ένα κεφαλικό σύστημα πλευρικής γραμμής, ακτινωτά με μια γραμμική εσοχή του κεφαλιού. Η επικοινωνία με την περιλήφο εξασφαλίζεται μέσω μεμβράνης. Τα ερεθίσματα αυτής της κεφαλικής πλευρικής γραμμής μεταφέρονται μέσω της περιλήφου στο κυστιδίο. Η σύνδεση αυτή, φαίνεται ότι είναι μοναδική στα Clupeidae (Blaxter 1979).

Ανακεφαλαιώνοντας, το όλο σύστημα λειτουργεί με μια δίσκαμπτη μεμβράνη και μια συμμορφούμενη νηκτική κύστη, που έχει σχετικά άκαμπτο το πρόσθιο και οπίσθιο τμήμα της. Η νηκτική κύστη έχει μια κλίση προς τα επάνω (ως προς τον οβελιαίο άξονα) και ρυθμίζεται ανάλογα με την διαφορά της εξωτερικής πίεσης (Blaxter et al. 1971, Allen et al. 1976, Denton & Blaxter 1976, Blaxter & Hunter 1982). Ο χρόνος προσαρμογής είναι = 5'' και έτσι η θραύση αποφεύγεται ακόμη και στις ταχύτερες κάθετες μετακινήσεις. Η νηκτική κύστη δρα σαν παρακαταθήκη (ρεζερβουάρ) αερίου για τα κυστιδία. Καθώς το ψάρι

<sup>9</sup> Στα Μεσομορσοειδή τα ακουστικά κυστιδία είναι εφοδιασμένα με μια δομή που έχει το δικό της πάχος, για να τα κρατά γεμάτα με αέρα. Η σύνδεση με την νηκτική κύστη διατηρείται μόνο στις νύφες (Blaxter 1979).



Εικόνα 3.6. Μηχανισμός ακοής στα Clupeidae (Denton & Blaxter 1976).

και του στατοακουστικού οργάνου εξασφαλίζεται με τα οστάρια του Weber. Είναι ζυγές σειρές οσταρίων που προέρχονται από τις αποφύσεις των προσθίων σπονδυλίων. Η νηκτική κύστη είναι τοποθετημένη κοιλιακά στις σπονδυλικής στήλης και το στατοακουστικό όργανο νωτιαία. Τα οστάρια παρακάμπτουν την σπονδυλική στήλη σχηματίζοντας γωνία με τον οβελιαίο άξονα. Ο τρίπους ακουμπά στο προσθίο τοίχωμα της νηκτικής κύστης. Ακολουθούν κατά σειρά το εμβόλιμο, το σκάφιον, και τέλος το ταινιώδες που ακουμπά στο μεμβρινώδες παράθυρο του βασιλινιακού οστού. Τα οστάρια αυτά θεωρούνται ανάλογα με τα οστάρια του μέσου ωτός. Ο τρίπους υπάρχει πάντα, ενώ είναι δυνατόν να λείπει ένα οστάριο από τα ζεύγη εμβόλιμο-σκάφιον ή σκάφιον-ταινιώδες. Το σύστημα του Weber εξασφαλίζει την οξύτερη ακοή που συναντάται στα ψάρια. Το σύστημα των Clupeidae πάντως προσεγγίζει σε οξύτητα το σύστημα του Weber (Goodrich 1958, Harder 1975).

### Γ. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΧΩΝ

Η νηκτική κύστη, όταν υπάρχει, συμμετέχει πάντα, άμεσα ή έμμεσα, στην παραγωγή ήχων. Έμμεσα λειτουργώντας σαν αντηχείο άλλων ηχοπαραγωγών δομών όπως είναι τα σκελετικά στοιχεία (φαρυγγικά δόντια, θωρακικά κόκκαλα) ή οι μύες. Άμεσα, όπως στα Macrouridae, Sciaenidae και Triglidae, στα οποία γραμμωτοί μύες προερχόμενοι από το νωτιαίο σωματικό τοίχωμα συνδέονται πάνω στην νηκτική κύστη και κάνουν τα τοιχώματά της να δονούνται. Στα Harpodontei γραμμωτοί μύες μέσα στην νηκτική κύστη παράγουν γρήγορες αλλαγές όγκου προκαλώντας ακουστικά σήματα. Πολλοί ψυόστομοι παράγουν άμεσα ήχους αφήνοντας ψευαλίδες, ενεργοποιώντας μύες μέσα και έξω από την νηκτική κύστη (Ballard 1964, Harder 1975, Demski 1973).

Οι ήχοι της νηκτικής κύστης είναι συνήθως χαμηλής συχνότητας, ενώ τα σκελετικά στοιχεία παράγουν ήχους υψηλότερης συχνότητας. Οι ήχοι ελκίων θηρευτές, γι' αυτό είναι συνήθως χαμηλοί, ώστε να χρησιμοποιούνται μόνο σαν σήματα επικοινωνίας. Οι ήχοι αυτοί είναι σημαντικοί για την συμπεριφορά της σύζευξης, την υπεράσπιση περιοχών και σαν σήματα κινδύνου. Στα βαθύβια είδη οι ήχοι είναι χαρακτηριστικοί για το κάθε είδος και έχουν ιδιαίτερη σημασία λόγω της απουσίας φωτός.

Οι ήχοι που παράγονται αποκλειστικά σε κατάσταση έντασης, σαν σήματα κινδύνου,

κινείται πάνω-κάτω στο νερό, το αέριο περνά από ή προς την νηκτική κύστη διατηρώντας την μεμβράνη σε μία άριστη επίπεδη θέση (Εικόνα 3.6.), κάνοντας την πολύ ευαίσθητη στον ήχο και στις μικρές διαφορές πίεσης.

Σύμφωνα με τον Blaxter (Blaxter *et al.* 1971, Blaxter & Hunter 1982) η σημασία της νηκτικής κύστης για την πλειυστότητα έχει υπερτονιστεί. Σύμφωνα με τον ίδιο εξίσου σημαντικές είναι και οι άλλες λειτουργίες της, όπως η αντίληψη μικρών διαφορών πίεσης, η ακοή, η παραγωγή ήχων και ίσως πηγή οξυγόνου. Ο λόγος για τον οποίο έχουμε υποβάθμιση της νηκτικής κύστης σαν πλευστικό όργανο μπορεί να συνδέεται με το γεγονός ότι τα Clupeidae είναι πολύ λιπώδη ψάρια (12% περιεχόμενο σε λίπος, αντιταθμίζει το  $1/2$  της νηκτικής κύστης). Έτσι μπορούν να κινούνται γρηγορά προς τα επάνω.

Το δεύτερο πρόσωπο συναντάται στους Οστατιόφισσους. Η επαφή της νηκτικής κύστης

όπως συμβαίνει στους φοξίνους, τα Gobidae ή τα χέλια. Σε αυτές τις περιπτώσεις παράγονται ήχοι υψηλής συχνότητας από αέρα που ελευθερώνεται από τον πνευματικό αγωγό. Για παράδειγμα, οι ρέγγες, οι σαρδέλλες και τα περισσότερα Clupeidae αφήνουν αέρα από τον εδρικό αγωγό όταν πνάνονται στα δίχτυα. Αν και η σημασία αυτού του ανακταστικού δεν έχει πλήρως διερευνηθεί, φαίνεται ότι συνδέεται με καταστάσεις έντασης. Πιθανόν είναι ένα σήμα κινδύνου, ενώ ταυτόχρονα οι φεσιαλίδες αξιοποιούνται προκαλώντας το φαινόμενο της "σπύγγισης του θρηυτή" (Ballard 1964, Harder 1975).

#### Δ. ΑΝΑΠΝΟΗ

Η σύσταση των αερίων της νηκτικής κύστης αποκλίνει από την μερική πίεση των αερίων μέσα στο νερό. Η απόκλιση αυτή ποικίλει ανάλογα με τον τρόπο πλήρωσης της νηκτικής κύστης και το βάθος στο οποίο ζούν τα ψάρια. Στους προγονικούς φυσιότομους όπως στα Clupeidae, η σύσταση των αερίων είναι όμοια με αυτή του ατμοσφαιρικού αέρα. Όμως σε όλους τους φυσιότομους παρατηρείται αύξηση της μερικής πίεσης του αζώτου σε ψάρια που έχουν μείνει αρκετές εβδομάδες στο ίδιο βάθος χωρίς επαφή με την επιφάνεια, επειδή το οξυγόνο διαχέεται ταχύτερα μέσα στους ιστούς. Οι αναλογίες των αερίων στα ρηχά νερά είναι: 30-70% O<sub>2</sub>, 10-55% N<sub>2</sub> και 5-15% CO<sub>2</sub>. Σε έναν τυπικό βαθύβιο φυσιόκλειστο οι αναλογίες είναι: 75.1% O<sub>2</sub>, 20.5% N<sub>2</sub> και 3.1% CO<sub>2</sub> και 0.4% αθρανή αέρια. Το κύριο αέριο της νηκτικής κύστης, τόσο στους φυσιότομους, όσο και στους περισσότερους φυσιόκλειστους είναι το O<sub>2</sub> (Steen 1970).

Η νηκτική κύστη μετασχηματίστηκε σε αναπνευστικό όργανο πολλές φορές και σε διαφορετικούς χρόνους. Η αξιοποίηση της νηκτικής κύστης σαν αναπνευστικό όργανο ατμοσφαιρικού αέρα συναντάται και στους Τελεόστεους όπως στα Caracinaidae (π.χ. *Erythrinus* sp.), Osteoglossidae (π.χ. *Anapaima gigas*) Gymnarchidae (π.χ. *Gymnarchus niloticus*) Umbridae (π.χ. *Umbrina* sp.). Ειδικότερα, τα είδη του γένους *Erythrinus* αναπνέουν τα βράγυια σε καλά οξυγονωμένα νερά, αλλά σε νερά όπου το διαλυμένο οξυγόνο μειώνεται δραματικά αναπνέουν αέρα (Harder 1975).

Από παλλούς συγγραφείς πιθανολογείται η αξιοποίηση της νηκτικής κύστης και σαν αποθηκευτικός χώρος οξυγόνου, που χρησιμοποιείται σε έκτακτες περιπτώσεις. Το γεγονός αυτό δεν είναι πλήρως τεκμηριωμένο. Βασίζεται σε παρατηρήσεις υπό συνθήκες ασφυξίας, όπου το οξυγόνο μειώνεται κατά 50-100% στους φυσιόκλειστους και 13-20% στους φυσιότομους. Το οξυγόνο αυτό στην καλύτερη περίπτωση μόλις επαρκεί για 15' σε μικρά βάθη. Πιθανολογείται όμως ότι η σημασία του μπορεί να αυξάνεται στα βαθύβια ψάρια, όπου η ενεργός διαθέσιμη ποσότητα του οξυγόνου είναι μεγαλύτερη (τα αέρια είναι υπό πίεση) και οι συνθήκες μεγάλης πίεσης του διαλυμένου οξυγόνου συχνότερες. Αντίθετα στους φυσιότομους το πιθανότερο είναι ότι η μείωση οφείλεται απλά στην ταχύτερη διάχυση του οξυγόνου από την νηκτική κύστη (Harden Jones & Marshall 1953).

#### 3.14. ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ, ΣΧΗΜΑ ΚΑΙ ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΝΗΚΤΙΚΗΣ ΚΥΣΤΗΣ

Η νηκτική κύστη είναι τοποθετημένη πάνω από το κέντρο βάρους του ψαριού, σχηματίζοντας γωνία προς τα πάνω ως προς τον οριζόντιο άξονα (Blaxter *et al.* 1971, Allen *et al.* 1976, Blaxter & Hunter 1982). Η θέση αυτή προκαλεί μια μόνιμη ροπή, που τείνει να στρέψει το ψάρι κοιλιακά και αντισταθμίζεται με τις κινήσεις των πτερυγίων. Η ροπή αυτή φαίνεται ότι είναι αναγκαία στα περισσότερα ψάρια για την διατήρηση του μωικού τους τόνου (Harder 1975).

Μέχρι σήμερα το κύριο ενδιαφέρον των μελετών για την νηκτική κύστη έχει επικεντρωθεί στα ιστολογικά και ανατομικο-φυσιολογικά της χαρακτηριστικά. Η μελέτη τους μεγέθους της νηκτικής κύστης γίνεται κυρίως μέσω του όγκου της, ενώ για τις μορφές της πολύ λίγα είναι γνωστά. Απ' όσα μέχρι σήμερα γνωρίζουμε (κυρίως μέσω συντηρημένων δειγμάτων ή ακτινογραφιών), οι νηκτικές κύστες παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία σχημάτων (Εικόνα 3.7). Τα σχήματα αυτά δικαιολογούν το γενικό πρότυπο μιας ελλειψοειδούς δομής που συνήθως



Εικόνα 3.7. Νοτιοαία όψη νηκτικών κύστεων (Steen 1970).

μελέτες αυτές έχουν θέσει και το πρόβλημα της συσχέτισης των απόλυτων διαστάσεων της νηκτικής κύστης με το μέγεθος του ψαριού. Ταυτόχρονα, τίθεται και το πρόβλημα των μεταβολών στις διαστάσεις της νηκτικής κύστης λόγω των μεταβολών στα εσωτερικά όργανα και στους ιστούς του ψαριού. Εμφανείς μετρήσεις από ηχοβολιστικά δεδομένα (βλ. ενότητα 4) δείχνουν ότι σαν γενικός κανόνας υπάρχει συσχέτιση της νηκτικής κύστης με το μήκος του ψαριού, ενώ αυτό φαίνεται να επιβεβαιώνεται και από άλλα δεδομένα (Neighbors 1992). Η *Sardinia pilchardus* έχει το πλεονέκτημα της προγονικής, πλήρως συμμορφωμένης νηκτικής κύστης που δεν εκκρίνει καθόλου αέριο. Ταυτόχρονα σε μια σειρά από όργανα (γονάδες, στομάχι) και ιστούς (λιπώδης) παρουσιάζονται μεγάλες εποχιακές αυξομειώσεις. Τα στοιχεία αυτά κάνουν την σαρδέλα άριστο για την μελέτη της επίδρασης των μεταβολών της εσωτερικής φυσιολογίας, στο σχήμα και το μέγεθος της νηκτικής κύστης.

Οι βασικότεροι παράγοντες που σήμερα πιστεύεται ότι αλλοιώνουν το σχήμα και το μέγεθος της νηκτικής κύστης, αναφέρονται αμέσως παρακάτω:

**A. ΓΟΝΑΔΕΣ:** Ερευνες τόσο στον βακαλάο όσο και στην ρέγγα έχουν δείξει ότι οι γονάδες προκαλούν σταδιακή πλευρο-κοιλιακή παραμόρφωση της νηκτικής κύστης. Ιδίως στα τελευταία στάδια η νηκτική κύστη επηρεάζεται έντονα και εμφανώς από την πίεση των εσωτερικών τοιχωμάτων. Η παραμόρφωση επικεντρώνεται στο πίσω μέρος, με αποτέλεσμα να έχουμε μείωση του μήκους και του οπισθίου πλάτους της νηκτικής κύστης. Αυτό οδηγεί σε μικρότερο ηχο-ανακλαστικό δυναμικό στόχου (Ona 1990).

Στο βακαλάο ο κανονικός όγκος της νηκτικής κύστης είναι 3,6% του συνολικού του όγκου, ενώ στο στάδιο V της ωριμότητας είναι 2,2% (35% μικρότερος του κανονικού όγκου της νηκτικής κύστης), και μπορεί να φτάσει μέχρι το 1,3% (Ona 1990). Στην ρέγγα ο όγκος της νηκτικής κύστης κατά τα τελευταία στάδια σχεδόν μηδενίζεται (Blaxter & Hunter 1982).

**B. ΣΤΟΜΑΧΙ:** Σύμφωνα με παρατηρήσεις στο βακαλάο, το γεμάτο στομάχι είναι δυνατόν να παραμορφώνει την νηκτική κύστη, ιδιαίτερα στο μπροστινό μέρος της. Ειδικότερα η μείωση του μήκους της κύστης μπορεί να φτάσει μέχρι 30% και του όγκου της μέχρι 50% (Ona 1990).

**Γ. ΛΙΠΟΣ:** Ο όγκος της νηκτικής κύστης και το περιεχόμενο σε λίπος έχει βρεθεί ότι είναι στενά συνδεδεμένα. Οι μεγάλες διακυμάνσεις του όγκου της νηκτικής κύστης εξηγούνται συνήθως με τις αντίστοιχες διακυμάνσεις του λιπώδους περιεχομένου (Saenger 1989, Blaxter & Batty 1990, Neighbors 1992, Jay 1993). Στην ρέγγα όλες σχεδόν οι διακυμάνσεις της νηκτικής κύστης μπορούν να εξηγηθούν μ' αυτή την σχέση (Ona 1987a,c, 1990). Στην σαρδέλα και γενικότερα στα Clupeidae ένα σημαντικό ποσοστό της πλευστότητας εξασφαλίζεται από το αποθηκευμένο λίπος, το οποίο όμως παρουσιάζει έντονες εποχιακές διακυμάνσεις (Hickling 1945, Culley 1970).

χρησιμοποιείται. Ταυτόχρονα όμως αυτό το πρότυπο απέχει πολύ από την πραγματικότητα, δεδομένου ότι οι νηκτικές κύστες παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία πτυχών, εγκολλημάτων ή προεξοχών (Ballard 1964, Steen 1970, Denton & Marshall 1979).

Η δυσκολία της λεπτομερούς εξέτασης της έγκειται αφενός μεν στην ακανόνιστη μορφή της, αφετέρου (και κυρίως) στο ότι δεν έχει σταθερή και αναλλοίωτη δομή, αφού ουσιαστικά αποτελείται από αέριο. Οι υδροακουστικές μελέτες έχουν δώσει στο πρόβλημα της μελέτης του σχήματος νέα ιδιαίτερη βαρύτητα, γιατί αυτό είναι άμεσα συσχετισμένο με το ηχο-ανακλαστικό δυναμικό των ψαριών (H.Δ.). Οι

## 3.2 ΨΑΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΩΔΟΣ

Για την μελέτη του όγκου και του σχήματος της νηκτικής κύστης εφαρμόστηκε η τεχνική -της απότομης ψύξης με υγρό άζωτο (-190°C -βλέπε 2.2.4.). Η τεχνική αυτή έχει το πλεονέκτημα ότι δεν αλλοιώνει ούτε καταστρέφει το σχήμα και τα κύτταρα των ιστών, δεδομένου ότι η ταχύτητα της ψύξης δεν επιτρέπει στο νερό να διασταλεί και να διαρρηξεί τα κύτταρα των ιστών (Farrant *et al.* 1977). Ταυτόχρονα μετατρέπει ένα εύπλαστο όργανο όπως είναι η νηκτική κύστη σε άκαμπτη δομή, η οποία μπορεί να μελετηθεί ως προς τις λεπτομέρειες του σχηματός της. Η τεχνική αυτή εφαρμόστηκε για την μορφολογική μελέτη της νηκτικής κύστης από τους Foote και Ona (Foote & Ona 1985, Foote & Traynor 1988, Ona 1990). Οι ίδιοι ερευνητές έδειξαν ότι η πιθανή αλλαγή που προκαλείται στον όγκο της νηκτικής κύστης είναι μικρότερη του 1%. Οι Foote και Ona εφαρμόσαν την τεχνική αυτή σε μεγάλα ψάρια (βακαλάους -Cod) και μελέτησαν τον όγκο και το σχήμα της νηκτικής κύστης με τομές σε κρουτόμο, χρησιμοποιώντας κυρίως εκμιαγεία παραφίνης της νηκτικής κύστης. Η μέθοδος αυτή έχει ορισμένα βασικότερα πλεονεκτήματα:

- 1) Η ανάπλαση της νηκτικής κύστης σε ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω ψηφιοποίησης των τομών επιτρέπει την ταυτόχρονη μελέτη του όγκου και του σχηματός της.
- 2) Επιτρέπει ταυτόχρονα, με τον ίδιο τρόπο, την μελέτη του μεγέθους και των μεταβολών των εσωτερικών οργάνων που πιθανά επηρεάζουν το σχήμα και τον όγκο της.
- 3) Δίνει την δυνατότητα ταυτόχρονης μελέτης της παραμέτρου του λίπους.

Η *Sardina pilchardus* είναι ψάρι γενικά μικρού μεγέθους. Αυτό προσθέτει ορισμένα επιπλέον πλεονεκτήματα:

- 1) Επιτρέπει τομές σε ολόκληρο το ψάρι ταυτόχρονα. Έτσι είναι δυνατή η ανάπλαση όχι μόνο της νηκτικής κύστης αλλά και των εσωτερικών του οργάνων, και ολόκληρου του ψαριού. Ταυτόχρονα αποφεύγεται η κατασκευή εκμιαγείου, και οι αλλοιώσεις που πιθανώς προκαλεί.
- 2) Επιτρέπει τον ακριβέστερο και ορθότερο προσανατολισμό της νηκτικής κύστης, δεδομένου ότι αυτό γίνεται άμεσα από ολόκληρο το ψάρι και όχι σε ένα όργανο που έχει αφαιρεθεί από αυτό.
- 3) Επιτρέπει την ακριβέστερη επεξεργασία του ψαριού για τις ανάγκες της μελέτης της ακουστικής διατομής του ψαριού (Ενότητα 4.2.)

### 3.2.1 ΔΗΨΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Μετά την κατάψυξη τους σε υγρό άζωτο και την μεταφορά τους στο εργαστήριο (Ενότητα 2.2.4), τα δείγματα διατηρήθηκαν παγωμένα σε ψυγείο στους -40°C. Για κάθε άτομο μετρήθηκε το βάρος και το μήκος του. Το κάθε ψάρι εγκλεισθηκε σε πακέτο C.M.C. 3% (CarboxyMethyl Cellulose, Sodium salt, No-G5013, SIGMA Chemical company) με την ακόλουθη διαδικασία:

- 1) Το διάλυμα C.M.C. παρασκευάζεται με θέρμανση και ανάδευση.
- 2) Στην συνέχεια το διάλυμα ψύχεται στους 0°C, στους οποίους παραμένει παχύρευστο.
- 3) Η θερμοκρασία του ψαριού μειώνεται κάτω από τους -40°C, μεμβάνιστη σε υγρό N<sub>2</sub>.
- 4) Μέσα σε παραλληλεπίπεδους σκελετούς από plexi-glass (διαστάσεων 20cm x 5cm x 4cm) τοποθετείται κατ' αρχήν το κρέυ C.M.C., στην συνέχεια μέσα σε αυτό το ψάρι, και το όλο πακέτο ψύχεται απότομα σε υγρό N<sub>2</sub> (ώστε να μην έχουμε απόψυξη του ψαριού).
- 5) Το ψάρι τοποθετείται κάθεται προς την μικρότερη επιφάνεια του σκελετού, έτσι ώστε το αβελιαίο επίπεδο του να είναι παράλληλο προς την μεγαλύτερη επιφάνεια του σκελετού.
- 6) Η όλη διαδικασία λαμβάνει χώρα μέσα σε ψυγείο σε θερμοκρασία -20°C.
- 7) Μετά την ψύξη, αφαιρείται ο σκελετός του παρασκευάσματος, και λαμβάνεται το πακέτο C.M.C και ψαριού. Το παρασκευάσμα χρησιμοποιείται για τομές του ψαριού σε μικρότομο.

Το παρασκευάσμα αυτό στερεώνεται στο τραπέζι κρουτόμου (Reichert - Jung HN40), με ψυχοφύλιε στερεωτική κόλλα (Reichrt-Jung Hinweise Kat.-Nr 0201-08926) και διατηρείται σε

θερμοκρασία κάτω των  $-20^{\circ}\text{C}$  ψύχοντας το τραπέζι της μικροτόμου με  $\text{CO}_2$  και με ψύξη του περιβάλλοντα αέρα του μηχανοκίνητου και του παρασκευάσματος.

Ολόκληρο το πακέτο τεμαχίσθηκε με την μικροτόμο ανά 50μ (μέγιστο βήμα της μικροτόμου). Κάθε δύο τομές (100μ) φωτογραφίζονταν το υπόλοιπο του παρασκευάσματος. Οι τομές γίνονταν από την πλευρική όψη του ψαριού (Εικόνα 3.9), διότι με αυτό τον τρόπο ελαχιστοποιείται ο αριθμός των τομών και των φωτογραφιών, (ένα ψάρι 16cm μήκους, έχει μέγιστο πλευρικό πάχος  $\approx 3\text{cm}$  και μέγιστη απόσταση ράχης - κοιλιάς  $\approx 4\text{cm}$ ).

Στο τραπέζι της μικροτόμου στερεώθηκε σε σταθερό σημείο παραλληλεπίπεδο από πlexi-glass, που άφησε εικόνα παραλληλόγραμμο σταθερής θέσης και διαστάσεων στην φωτογραφία στο ύψος των τομών. Το παραλληλόγραμμο αυτό στο εξής θα αναφέρεται σαν *παραλληλόγραμμο ευθυγράμμισης*. Το παραλληλόγραμμο ευθυγράμμισης χρησιμοποιήθηκε για την ανασύνθεση της εικόνας του ψαριού, αλλά και για την αποδέσμευση της διαχείρισης του ψαριού από τυχόν αλλαγές στη μεγέθυνση της λήψης των εικόνων (Εικόνα 3.8).

Για την απόδοση των πραγματικών διαστάσεων του ψαριού στις αρχικές φωτογραφίες των τομών, φωτογραφίσθηκαν σταθερές μετρημένες διαστάσεις αναφοράς. Αυτό επιτυγχάνεται με επικόλληση χιλιοστομετρικού χαρτιού στην επιφάνεια του παρασκευάσματος, πάνω στο οποίο ήταν αποτυπωμένο ορθογώνιο παραλληλόγραμμο 3cm x 1cm, το οποίο στο εξής θα αναφέρεται σαν *παραλληλόγραμμο ρύθμισης*. Οι τομές στέλγονται και διατηρούνται σε ψυγείο στους  $-40^{\circ}\text{C}$  για να γίνει η μέτρηση του λίπους.

### 3.2.2. ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΕΙΚΟΝΑΣ

Η κάθε φωτογραφία μεταφέρθηκε μέσω κάμερας (PANASONIC, CCTV Camera, model WV-CD201/B) συνδεδεμένης με υπολογιστή (συνβατό IBM, 3.86), σε οθόνη (CONRAC -7250) με κάρτα MATROX-PIP 512 (ανάλυση 512x512). Η επεξεργασία της εικόνας έγινε με το λογισμικό πρόγραμμα "Ανάλυση Εικόνας O.P.R.S." (Biosonic 1987).

Με αξιοποίηση του προγράμματος λαμβάνονται ψηφιοποιημένα:

- 1) Τα 4 σημεία των κορυφών του ορθογωνίου παραλληλογραμμού βαθμονόμησης.
- 2) Τα 4 σημεία των κορυφών του ορθογωνίου παραλληλογραμμού ευθυγράμμισης.
- 3) Τα σημεία του περιγράμματος του ψαριού.
- 4) Τα σημεία των περιγραμμάτων των οργάνων του ψαριού: στομάχου και γονάδων.
- 5) Το περίγραμμα της κοιλότητας της νηκτικής κύστης.
- 6) Το εσωτερικό περίγραμμα των ακουστικών κυστιδίων.

Το πρόγραμμα ψηφιοποιεί τα περιγράμματα, μετατρέποντάς τα σε γεωμετρικά σημεία, δίνοντάς τους ένα ζεύγος τιμών (x,y). Κάθε ζεύγος σημείων αντιστοιχεί στην "διεύθυνση" ενός εικονοστοιχείου (pixel) της οθόνης.

Κατά την μεταφορά της εικόνας στην οθόνη του υπολογιστή η εικόνα υπερτετραπλασιάζεται. Με τον τρόπο αυτό κάθε τυχόν σφάλμα κατά την ψηφιοποίηση βρίσκεται τουλάχιστον 2 δεκαδικά σημεία πίσω από οποιοδήποτε άλλο σφάλμα και ως εκ τούτου θεωρείται ότι ουσιαστικά δεν επηρεάζει τα αποτελέσματα.

### 3.2.3. ΑΝΑΠΛΑΣΗ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, για την ψηφιοποίηση της εικόνας χρησιμοποιήθηκαν οι συντεταγμένες των εικονοστοιχείων (pixel) της οθόνης. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα, οι ψηφιακές συντεταγμένες να μην δίνουν εικόνας τοποθετημένες τη μία πάνω στην άλλη. Επίσης συχνά ήταν αναγκαία η διαφορετική μεγέθυνση σε εικόνες του ίδιου ψαριού. Τέλος επειδή τα εικονοστοιχεία (pixel) είναι ορθογώνια παραλληλόγραμμοι οι συντεταγμένες τους δεν αντιστοιχούν σε Καρτεσιανές συντεταγμένες. Απαιτείται λοιπόν η μετατροπή των συντεταγμένων της εικόνας σε σημεία Καρτεσιανών συντεταγμένων. Επιπλέον οι τομές πρέπει



να τοποθετηθούν στην πραγματική τους θέση ακριβώς η μία πάνω στην άλλη. Τέλος απαιτείται οι υπολογισμοί να γίνουν στις πραγματικές διαστάσεις του φαριού.

Οι εργασίες αυτές αυτοματοποιήθηκαν με ειδικό υπολογιστικό πρόγραμμα (SLICER-5 1993), που κατασκευάσθηκε από το εργαστήριο Αλιευτικής Βιολογίας. Οι συντεταγμένες των σημείων μετασχηματίζονται έτσι, ώστε οι εικόνες να τοποθετούνται η μία πάνω στην άλλη με βάση το ορθογώνιο ευθυγράμμισης και οι πραγματικές διαστάσεις να αποδίδονται με βάση το ορθογώνιο ρυθμίσης. Οι αλγόριθμοι της επίλυσης αυτών των προβλημάτων που χρησιμοποιήθηκαν στο πρόγραμμα αναφέρονται παρακάτω.

#### Α. ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΣΗ ΤΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ

Η ευθυγράμμιση γίνεται με ένα από τα ορθογώνια ευθυγράμμισης που αντιστοιχούν στο ορθογώνιο βαθμονόμησης. Το ορθογώνιο αυτό θα αναφέρεται σαν ορθογώνιο αναφοράς.

Το ορθογώνιο αναφοράς τοποθετείται έτσι ώστε να έχει τις πλευρές του παράλληλες προς τους άξονες  $Ox$  και  $Oy$ . Οι συντεταγμένες όλων των ορθογωνίων ευθυγράμμισης δίνονται με την ίδια φορά (Εικόνα 3.8.).

Εστω το ορθογώνιο αναφοράς  $A_1A_2A_3A_4$  με συντεταγμένες  $(x_1, y_1)$ ,  $(x_2, y_2)$ ,  $(x_3, y_3)$ ,  $(x_4, y_4)$ , και με κέντρο  $K_r$ , που έχει συντεταγμένες  $(x_c, y_c)$ , όπου

$$x_c = \frac{x_1 - x_2}{2}, \quad y_c = \frac{y_2 - y_1}{2}.$$

Θεωρούμε τυχαία άλλη εικόνα που το ορθογώνιο ευθυγράμμισης της είναι  $A_{r1}A_{r2}A_{r3}A_{r4}$ , με συντεταγμένες  $(x'_{r1}, y'_{r1})$ ,  $(x'_{r2}, y'_{r2})$ ,  $(x'_{r3}, y'_{r3})$ ,  $(x'_{r4}, y'_{r4})$  και κέντρο  $K_r$  συντεταγμένων  $(x_r, y_r)$ , του οποίου η πλευρά  $A_{r1}A_{r2}$  σχηματίζει γωνία  $\theta^0$  με τον άξονα  $Ox$ . Το ορθογώνιο αυτό πρέπει να στραφεί κατά αρχήν κατά γωνία  $(\theta^0 - \phi^0)$ . Στη συνέχεια το νέο στραμμένο ορθογώνιο πρέπει να μεταφερθεί ώστε να συμπίσει με το ορθογώνιο αναφοράς. Υπολογίζουμε τους μετασχηματισμούς που πρέπει να γίνουν ώστε το κέντρο του τυχαίου παραλληλογράμμου  $K_r$  να στραφεί κατά γωνία  $\theta^0$  και στη συνέχεια να μεταφερθεί ώστε να συμπίσει με το κέντρο του ορθογωνίου αναφοράς. Τα σχήματα θα συμπίσουν όταν όλα τα σημεία ακολουθήσουν τους ίδιους μετασχηματισμούς (Χρυσάκης 1992). Ισχύει:

$$\epsilon\phi\phi = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} \Rightarrow \theta = -\text{τοξ}(\epsilon\phi\phi \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2})$$

Μετά την στρόφη η νέα θέση του  $K_r$ , η  $K''_r$ , δίνεται από τα σημεία

$$x''_r = x_r \cos\theta - y_r \sin\theta$$

$$y''_r = x_r \sin\theta + y_r \cos\theta$$

Στη συνέχεια το  $K''_r$  πρέπει να μεταφερθεί κατά διάνυσμα  $\vec{u} = (x_c - x''_r, y_c - y''_r)$

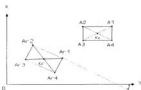
Άρα ο μετασχηματισμός για να συμπίσουν οι εικόνες μετά από στρόφη και μεταφορά, είναι για κάθε τυχαίο σημείο  $(x, y)$ :

$$x_c = (x \cos\theta - y \sin\theta) + [x_c - (x_r \cos\theta - y_r \sin\theta)]$$

$$y_c = (x \sin\theta + y \cos\theta) + [y_c - (x_r \sin\theta + y_r \cos\theta)], \quad \text{ή απλοώστερα:}$$

$$x_c = (x \cos\theta - y \sin\theta) + (x_c - x''_r)$$

$$y_c = (x \sin\theta + y \cos\theta) + (y_c - y''_r)$$

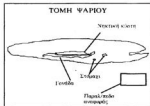


Εικόνα 3.8. Παράλληλο αναφοράς ( $K_r$ ), τυχαίο παράλληλο ( $K_r'$ ).

## B. ΕΞΙΣΩΣΗ ΤΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ.

Εκτός από την μεταφορά είναι αναγκαία και η μεγέθυνση ή η σμίκρυνση των εικόνων που έχουν μεταφερθεί και περιστραφεί ώστε να συμπίψουν και ως προς το μέγεθος. Αν το μήκος του ορθογωνίου αναφοράς είναι  $L_c = x_1 - x_2$ , και το πλάτος του είναι  $W_c = y_2 - y_3$ , και αν το μήκος του

τυχαίου ορθογωνίου  $A_{r1}, A_{r2}, A_{r3}, A_{r4}$  είναι



Εικόνα 3.9. Η εικόνα μιας τομής ψαριού, από τον Η/Υ.

$$L_r = \frac{x_1 - x_2}{|\sin\theta|}, \quad W_r = \frac{y_2 - y_3}{|\sin\theta|}$$

τότε οι εξισώσεις γίνονται (Χρυστάκης 1992)

$$x_i = \frac{L_c}{L_r} (x \cos\theta - y \sin\theta) + [x_c - \frac{L_c}{L_r} x_c']$$

$$y_i = \frac{W_c}{W_r} (x \sin\theta + y \cos\theta) + [y_c - \frac{W_c}{W_r} y_c']$$

## Γ. ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ.

Χρησιμοποιώντας το ορθογώνιο βαθμονόμησης, του οποίου το μήκος  $L_b$  και το πλάτος  $W_b$  είναι γνωστά σε πραγματικές διαστάσεις (π.χ.  $L_b = 3\text{cm} = 30.000\mu$  και  $W_b = 1\text{cm} = 10.000\mu$ ), υπολογίζουμε τους παρακάτω συντελεστές  $F_x$  και  $F_y$  με τους οποίους όταν πολλαπλασιάζεται κάθε σημείο  $(x, y)$  μετατρέπεται σε πραγματικές συντεταγμένες (Χρυστάκης 1992).

Έτσι αν  $L'_b$  και  $W'_b$  είναι το μήκος και το πλάτος του ορθογωνίου βαθμονόμησης, όπως υπολογίζεται από τις συντεταγμένες των εικονοστοιχείων, έχουμε για την μετατροπή του  $P(x', y', z') \rightarrow P(x, y, z)$  και

$$x = \frac{L'_b}{L_b} x' - F_x x', \quad y = \frac{W'_b}{W_b} F_y y'$$

Μέχρι στιγμής οι τομές έχουν μόνο διαστάσεις  $x, y$ , που σημαίνει ότι βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο και δεν έχουν τοποθετηθεί ως προς τον άξονα  $Oz$  ώστε να αποκτήσουν τρεις διαστάσεις. Στα σημεία δίνεται μια τιμή  $z$ . Η τιμή αυτή είναι ο αόζων αριθμός της τομής και στη συνέχεια αυτή μετατρέπεται σε πραγματικές συντεταγμένες, χρησιμοποιώντας την σταθερή απόσταση  $d$  μεταξύ δύο τομών (π.χ.  $d = F_z = 100\mu$ ). Έτσι  $z = d + z' = F_z + z'$

Κατ' αυτόν τον τρόπο κάθε σημείο με συντεταγμένες εικονοστοιχείων  $P(x', y')$  μετατρέπεται σε πραγματικές συντεταγμένες  $P(x, y, z) = P(x \cdot F_x, y \cdot F_y, z \cdot F_z)$ .<sup>10</sup>

### 3.2.4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΟΓΚΟΥ

#### A. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ.

Για τον υπολογισμό του όγκου, πρέπει κατ' αρχήν να υπολογιστεί σε κάθε εικόνα το εμβαδόν της τομής του σχήματος. Ο υπολογισμός έγινε με την μέθοδο των πολυγώνων (Χρυστάκης 1992):

<sup>10</sup> Όλες οι περιγραφές, όπως αυτές λαμβάνονται από το σύστημα ψηφιοποίησης έχουν ακέραιες συντεταγμένες. Μετά την ευθυγράμμιση εξακολουθούν να έχουν ακέραιες συντεταγμένες. Η μετατροπή σε πραγματικές συντεταγμένες γίνεται μόνο κατά την διάρκεια των διαφόρων υπολογισμών (εμβαδά, προβολές, όγκοι) με χρήση των τριών συντελεστών βαθμονόμησης ( $F_x, F_y, F_z$ ).

Το εμβαδόν ενός τριγώνου  $M_1M_2M_3$  με σημεία

$$(M_1, M_2, M_3) \in \mathbb{R}^2$$

$$\text{είναι: } E = \frac{1}{2} [x_1(y_2 - y_3) + x_2(y_3 - y_1) + x_3(y_1 - y_2)] \quad (1)$$

Ο τύπος (1) γενικεύεται για μη κυρτά πολύγωνα  $n$  κορυφών με  $(M_1, M_2, \dots, M_n) \in \mathbb{R}^2$  και ισχύει:

$$E = \frac{1}{2} [x_1(y_2 - y_n) + x_2(y_3 - y_1) + \dots + x_n(y_1 - y_{n-1})] =$$

$$= \frac{1}{2} [x_1(y_2 - y_n) + \sum_{i=2}^{n-1} x_i(y_{i+1} - y_{i-1}) + x_n(y_1 - y_{n-1})]$$

Το εμβαδόν είναι προσημισμένο. Το πρόσημο δείχνει τη φορά αρίθμησης των κορυφών με φορά αντίθετη αυτής των δεικτών του ρολογιού.

Επειδή τα περιγράμματα όπως δίνονται από το σύστημα ψηφιοποίησης δεν είναι ακριβώς πολύγωνα, αλλά υπάρχουν πολλά συνευθειακά σημεία, η μετατροπή των περιγραμμάτων σε πολύγωνα γίνεται με απάλειψη των ενδιάμεσων συνευθειακών σημείων  $(N_1, N_2, N_3, \dots) \in \mathbb{R}$  (Εικόνα 3.10.).

## Β. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΟΓΚΟΥ.

Ο υπολογισμός του όγκου ενός τριεδιάστατου σχήματος βρίσκεται με ολοκλήρωση του όγκου μεταξύ όλων των διαδοχικών τομών. Οι αποστάσεις των διαδοχικών τομών είναι απειροελάχιστα μικρές (100 $\mu$ ). Για τον όγκο μεταξύ δύο διαδοχικών τομών ισχύει (Culling *et al.* 1985):

$$V_i = \lim_{h \rightarrow 0} \left[ \frac{1}{3} h (E_i + \sqrt{E_i E_{i+1}} + E_{i+1}) \right] = \frac{1}{3} h (E_i + \sqrt{E_i E_{i+1}} + E_{i+1})$$

όπου  $V_i$  όγκος μεταξύ  $i$  και  $i+1$  τομής,  $E_i$  το εμβαδόν του σχήματος της  $i$  τομής και  $E_{i+1}$  το εμβαδόν του σχήματος της επόμενης τομής και  $h$  είναι η απόσταση μεταξύ δύο τομών ( $h = d = 100\mu$ ). Για τον όγκο ολοκλήρου του σχήματος ισχύει:

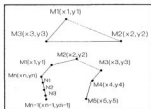
$$V = \int_{i=1}^{i=k} \frac{1}{3} (E_i + \sqrt{E_i E_{i+1}} + E_{i+1}) dh =$$

$$= \frac{1}{3} h (E_1 + E_k + \sum_{i=1}^{i=k-1} (E_i + \sqrt{E_i E_{i+1}} + E_{i+1}))$$

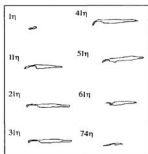
όπου  $k$  είναι ο αριθμός των τομών από τις οποίες αποτελείται το σχήμα του οποίου θέλουμε να υπολογίσουμε τον όγκο. Όπως αποδεικνύεται, επιτυγχάνουμε την μέγιστη ακρίβεια αν ο αριθμός των τομών είναι  $\geq 50$ . Αυτό ισχύει για όλα τα ψάρια και για όλα τα όργανα (Culling *et al.* 1985).

## 3.2.5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΛΙΠΟΥΣ.

Η μέτρηση που χρησιμοποιήθηκε για την παράμετρο του λίπους ήταν το βάρος του ολικού λίπους του ψαριού. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ήταν η αφεύδωση και η εξαγωγή του λίπους με πετρελαικό αιθέρα. Η εξαγωγή έγινε με συσκευή Buchi 810, (Soxhlet Fat Extraction



Εικόνα 3.10. Εμβαδόν τριγώνου και  $n$ -γώνου.



Εικόνα 3.11. Περιγράμματα της  $\chi$ ύσης ανά 10 τομές.

Apparatus-6 extraction places) (Hickling 1949), σύμφωνα με την παρακάτω διαδικασία εξαγωγής:

### Προετοιμασία δείγματος

- 1) Το δείγμα ομογενοποιείται (WARING, Commercial Blender), εφόσον το ψάμι είναι αλόκληρο ή χρησιμοποιούνται απ' ευθείας οι τομές της μικροτόμου.
- 2) Στη συνέχεια το ομογενοποιημένο δείγμα αφοδεύονται σε Ψυκτοξηραντή (Freeze-dryer Sb4, Chemlb, Refrigerand R502) απλωμένο μέσα σε μεγάλα τρυβλία Petri για 48 ώρες (Henderson & Almatar 1989).
- 3) Το δείγμα τοποθετείται σε καθαρό *διηθητικό δάκτυλο εξαγωγής* και τοποθετείται μέσα σε Ξηραντήρα.
- 4) Ζυγίζονται τα κύπελλα συλλογής.

### Διαδικασία εξαγωγής

Η εξαγωγή του λίπους έγινε με επανειλημμένες εκδόσεις του δείγματος με διαλύτη πετρελαιϊκό αιθέρα 30°-40°. Ο διηθητικός δάκτυλος εξαγωγής που περιέχει το δείγμα φράσσεται με καθαρό βαμβάκι και τοποθετείται μέσα στο *δοχείο συλλογής* (Εικόνα 3.11-4), το οποίο γεμίζει κατ' επανάληψη με τον διαλύτη. Η θέρμανση (στους 50°-70°C) αρχίζει 10' πριν από την έναρξη της διαδικασίας. Ο διαλύτης τοποθετείται στο *κύπελλο εξαγωγής* (Εικόνα 3.9-1) του δείγματος, το οποίο θερμαίνεται. Ο διαλύτης εξατμίζεται από το *δοχείο συλλογής*, υγροποιείται στο σύστημα ψύξης (Εικόνα 3.9-5) και ξαναγεμίζει το *δοχείο εξαγωγής*, διαλύοντας κάθε φορά ένα τμήμα του λίπους που περιέχεται στο δείγμα. Όταν το *δοχείο εξαγωγής* γεμίζει μέχρι το επίπεδο του *σιφονιού* (Εικόνα 3.9-6), προκαλείται σιφονισμός που οδηγεί το διαλύμα λίπους-διαλύτη μέσα στο *δοχείο συλλογής*, και ο κύκλος επαναλαμβάνεται.

Η κύρια ποσότητα λίπους από κάθε δείγμα εξάγεται στους αρχικούς σιφονισμούς. Κάθε επόμενος κύκλος συνεχίζει να διαλύει το εναπομένον λίπος και καθαρίζει τα υπολείμματα λίπους από το δοχείο. Μια πλήρης εξαγωγή λίπους γίνεται μετά από 30 πλήρεις κύκλους. Η διάρκειά τους είναι περίπου 2 ώρες.

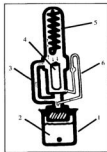
### Τελικοί χειρισμοί.

Μετά την τελευταία έκπλυση ο διαλύτης απομακρύνεται μέσω *αποχετευτικού συστήματος* και συλλέγεται για να χρησιμοποιηθεί εκ νέου. Η θέρμανση συνεχίζεται για 10' για να εξατμιστεί όλος ο διαλύτης από τα κύπελα συλλογής.

Το κύπελλο δείγματος Ξηραίνεται για 10' σε φούρνο μικροκυμάτων. Στη συνέχεια το κύπελο του δείγματος ψύχεται σε θερμοκρασία δωματίου μέσα σε Ξηραντήρα. Ζυγίζεται το μικτό βάρος κυπέλλου συλλογής και του λίπους. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι σταθερού βάρους. Η διαφορά καθαρού και μικτού βάρους του κυπέλου συλλογής μας δίνει το ολικό λίπος του ψαριού.

### 3.2.7. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ.

Οι στατιστικές μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν αναλύσεις απλής και βαθμωτής πολλαπλής παλινδρόμησης. Με τις μεθόδους αυτές εξετάστηκε ο τρόπος επίδρασης (συσχέτισης) του μεγέθους, των γονάδων, του στομαχίου, του λίπους και του φέλλου, στον όγκο



Εικόνα 3.12 Απεικόνιση του συστήματος Soxhlet, για εξαγωγή του λίπους. 1: Δοχείο συλλογής. 2: Πετρελαιϊκός αιθέρας. Το δοχείο θερμαίνεται, ο πετρελαιϊκός αιθέρας εξατμίζεται και οι ατμοί του συσφαιρούνται από τον σωλήνα (3) στο ψυκτικό σύστημα (5). Υγρός ο αιθέρας πέφτει στο δοχείο που βρίσκεται ο διηθητικός δάκτυλος με το δείγμα (4). Όταν το δοχείο γεμίσει, το διάλυμα λίπους-αιθέρα σιφονίζεται (6) και επιστρέφει στο δοχείο συλλογής.

της νηκτικής κώστης. Οι συσχετίσεις μεταξύ των διαφόρων εκφράσεων των παραμέτρων εξετάστηκαν προκαταρκτικά με ανάλυση γραμμικής συσχέτισης.

Για την έκφραση του μεγέθους χρησιμοποιήθηκε το μήκος. Για την έκφραση των γονάδων χρησιμοποιήθηκε το ποσοστό όγκου των γονάδων ως προς τον όγκο του ψαριού. Το ίδιο ποσοστό χρησιμοποιήθηκε και για την έκφραση του στομαχιού. Για την έκφραση του λίπους χρησιμοποιήθηκε το ποσοστό βάρους του λίπους ως προς το ξηρό βάρος του ψαριού. Τα ποσοστά χρησιμοποιήθηκαν για να αποδωσμευτεί η ιδιαίτερη επίδρασή τους από το μέγεθος, δεδομένου ότι οι απόλυτες τιμές αυτών των παραμέτρων είναι άμεσα συχρητισμένες (αποτελούν έκφραση) με το μέγεθος του ψαριού. Για την διερεύνηση της επίδρασης του φύλου χρησιμοποιήθηκε ποιοτική (dummy) μεταβλητή, με τιμές 1 για το αρσενικό και 0 για το θηλυκό. Το στομάχι εξετάστηκε και σαν ποιοτική μεταβλητή, με τιμές 1 για τα γεμάτα στομάχια και 0 για τα άδεια στομάχια.

Η συνεισφορά κάθε παλινδρομητή στην ερμηνεία της διασποράς των τιμών εξετάστηκε με την μεταβολή του συντελεστή συσχέτισης ( $R^2$ ). Η σημαντικότητα (βαρύτητα) κάθε μεταβλητής εξετάστηκε μέσω των τυπικών συντελεστών παλινδρόμησης (Wonnacott & Wonnacott 1981).

Η ομοιότητα μεταξύ των εποχών δειγματοληψίας μελετήθηκε με πολυπαραγοντική ανάλυση και υπολογίσθηκαν οι πολυπαραγοντικές αποστάσεις:

$$1) \text{ Pentose } \hat{\rho} = \sum_{j=1}^p \frac{(\bar{x}_j - \bar{x}_j)^2}{p \cdot \hat{\rho}_j}$$

$$2) \text{ Mahalanobis } D^2 = (\bar{x}_i - \bar{x}_k)' \cdot V^{-1} (\bar{x}_i - \bar{x}_k)$$

όπου j: μεταβλητή, i,k: δείγματα, p = ο αριθμός των μεταβλητών,  $\bar{x}_j$ : ο μέσος όρος της μεταβλητής j στο δείγμα i,  $\bar{x}_k$ : το διάλυμα στήλης των μέσων όρων των μεταβλητών στο δείγμα i,  $(\bar{x}_i - \bar{x}_k)'$ : το διάλυμα σειράς της διαφοράς των μέσων όρων,  $V^{-1}$ : η αντίστροφη μήτρα της κοινής μήτρας διασποράς των δειγμάτων i και k,  $\hat{\rho}_j$ : το διαγώνιο στοιχείο της κοινής μήτρας διασποράς που αντιστοιχεί στην μεταβλητή j.

Οι αποστάσεις αυτές χρησιμοποιήθηκαν για να γίνει ανάλυση ομαδοποίησης, η οποία αξιοποιήθηκε κατά την διερεύνηση διεποχιακών σχέσεων. Οι διεποχιακές σχέσεις μελετήθηκαν με την ένωση δειγμάτων, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης ομαδοποίησης. Ο έλεγχος της διαφοράς των δειγμάτων έγινε με το πολυπαραγοντικό κριτήριο ελέγχου  $T^2$ . Hotelling (Giri 1977, Μπαζίγος 1993).

Όπως έχει αναφερθεί στην ενότητα 3.2 σε μια σειρά ψαριών μετρήθηκε ο όγκος του αερίου της νηκτικής κώστης με εκκένωση σε ανεστραμμένο ογκομετρικό κύλινδρο. Στα ψάρια αυτά μετρήθηκαν οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται στις εξισώσεις. Με βάση τις παραμέτρους του μαρτυρα και τις εξισώσεις υπολογίστηκε ο όγκος που αναμένουμε θεωρητικά με βάση τα αποτελέσματά μας. Οι θεωρητικά αναμενόμενες τιμές και οι τιμές που είχαν μετρηθεί συγκρίθηκαν με τον έλεγχο  $\chi^2$ . Σκοπός της σύγκρισης ήταν να εκτιμηθεί η ακρίβεια της μεθόδου των τιμών-πρηφιοποίησης.

Για τις παραπάνω στατιστικές επεξεργασίες χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πρόγραμμα STATGRAPHICS-PLUS (1991). Οι υπολογισμοί της πολυπαραγοντικής ανάλυσης έγιναν με το υπολογιστικό πρόγραμμα LOTUS 123 (1985).

### 3.3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Για να αποφευχθούν προβλήματα πολυσυγγραμμικότητας (multicollinearity), αλλά κυρίως για να επιλεγούν οι παράμετροι που συσχετίζονται καλύτερα με την νηκτική κώστη, έγινε προκαταρκτικά ανάλυση γραμμικής συσχέτισης, της οποίας τα αποτελέσματα για το σύνολο των δειγμάτων φαίνονται στον ΠΙΝΑΚΑ 3.1. Στον ίδιο πίνακα αναγράφονται και οι πιθανότερες ο

συντελεστής γραμμικής συσχέτισης να είναι μηδέν.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1. Ανάλυση συσχέτισης.** Α= βάρος λίπους, %ΕΛΑ= ποσοστό βάρους λίπους ως προς το ξηρό βάρος του ψαριού, %ΥΑ= ποσοστό βάρους λίπους ως προς το υγρό βάρος του ψαριού, Β= βάρος ψαριού σε gr, Σ= όγκος στομαχιού, %Σ= επί τους εκατό όγκος του στομαχιού ως προς τον όγκο του ψαριού, Ν.Κ.= όγκος της νηκτικής κύστης σε cm<sup>3</sup>, Γ= όγκος γονάδας, %Γ= ποσοστό όγκου γονάδας ως προς τον όγκο του ψαριού, Μ= τυπικό μήκος ψαριού. Ο πρώτος αριθμός κάθε φαινόμο είναι ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης και ο δεύτερος αριθμός είναι η τιμή Ρ (το επίπεδο σημαντικότητας). Τιμές Ρ μικρότερες από 0.05 δείχνουν στατιστικά σημαντική μη μηδενική συσχέτιση.

	Α	%ΕΛΑ	Β	%ΥΑ	Γ	Σ	%Σ	Ν.Κ.	%Γ	Μ
<b>Α</b>	1.00 0.00	0.92 0.00	0.53 0.00	0.93 0.00	0.16 0.28	0.05 0.75	-0.59 0.00	-0.17 0.26	0.14 0.33	0.41 0.00
<b>%ΕΛΑ</b>	0.92 0.00	1.00 0.00	0.32 0.03	0.96 0.00	0.06 0.67	-0.12 0.41	-0.58 0.00	-0.30 0.04	0.06 0.70	0.17 0.24
<b>Β</b>	0.53 0.00	0.32 0.03	1.00 0.00	0.27 0.06	0.50 0.00	0.59 0.00	-0.30 0.04	0.45 0.00	0.46 0.00	0.93 0.00
<b>%ΥΑ</b>	0.93 0.00	0.96 0.00	0.27 0.06	1.00 0.00	0.00 0.98	-0.20 0.18	-0.56 0.00	-0.27 0.06	0.00 0.99	0.21 0.15
<b>Γ</b>	0.16 0.28	0.06 0.67	0.50 0.00	0.00 0.98	1.00 0.00	0.59 0.00	-0.05 0.75	0.52 0.00	0.98 0.00	0.56 0.00
<b>Σ</b>	0.05 0.75	-0.12 0.41	0.59 0.00	-0.20 0.18	0.59 0.00	1.00 0.00	0.08 0.60	0.52 0.00	0.58 0.00	0.65 0.00
<b>%Σ</b>	-0.59 0.00	-0.58 0.00	-0.30 0.004	-0.56 0.00	-0.05 0.75	0.08 0.60	1.00 0.00	0.38 0.01	-0.04 0.79	-0.27 0.06
<b>Ν.Κ.</b>	-0.17 0.26	-0.30 0.04	0.45 0.00	-0.27 0.06	0.52 0.00	0.52 0.00	0.38 0.01	1.00 0.00	0.56 0.00	0.56 0.00
<b>%Γ</b>	0.14 0.33	0.06 0.70	0.46 0.00	0.00 0.99	0.98 0.00	0.58 0.00	-0.04 0.79	0.56 0.00	1.00 0.00	0.55 0.00
<b>Μ</b>	0.41 0.00	0.17 0.24	0.93 0.00	0.21 0.15	0.56 0.00	0.65 0.00	-0.27 0.06	0.56 0.00	0.55 0.00	1.00 0.00

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η μέθοδος της βαθμωτής πολλαπλής παλινδρόμησης, που χρησιμοποιήθηκε, έχει ούτως ή άλλως την ιδιότητα να ελαχιστοποιεί τα φαινόμενα συγγραμμικότητας (Wonnacott & Wonnacott 1981). Με βάση την ανάλυση γραμμικής συσχέτισης, για την εξέταση του όγκου της νηκτικής κύστης χρησιμοποιήθηκαν οι παράμετροι:

- 1) Το τυπικό μήκος του ψαριού.
  - 2) Ο επί τους εκατό όγκος της γονάδας σε σχέση με τον όγκο του ψαριού.
  - 3) Ο επί τους εκατό όγκος του στομαχιού σε σχέση με τον όγκο του ψαριού.
  - 4) Το επί τους εκατό βάρος του λίπους σε σχέση με το ξηρό βάρος του ψαριού.
- Οι παράμετροι αυτές συνήθως δεν δείχνουν καλή συσχέτιση μεταξύ τους, οπότε ελαχιστοποιούνται τα φαινόμενα πολυσυγγραμμικότητας. Οι άλλες μεταβλητές που επίσης εξετάστηκαν: απόλυτο βάρος λίπους, % λίπους ως προς το υγρό βάρος, απόλυτος όγκος γονάδας και απόλυτος όγκος στομαχιού, συνήθως δείχνουν καλύτερες συσχέτισεις. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι απόλυτες τιμές αποτελούν ταυτόχρονα και έκφραση του μεγέθους του ψαριού: παρουσιάζουν έντονη συγγραμμικότητα με το μήκος (ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1). Η μετατροπή αυτών των παραμέτρων σε ποσοστά μεγέθους αποδεδειγμένα την ιδιαίτερη επίδρασή τους στην νηκτική κύστη.

Οι τιμές των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν αναφέρονται στον ΠΙΝΑΚΑ 3.2. Στον ίδιο πίνακα αναγράφονται και

5) Ο επί τοις εκατό όγκος της νηκτικής κιάτης σε σχέση με τον όγκο του φαριού.

6) Το φύλο του φαριού με τιμές 1 για το αρσενικό και 0 για το θηλυκό.

7) Η πληρότητα του στομαχίου με τιμές 1 για τα στομάχια που περιείχαν τροφή και 0 για τα στομάχια που ήταν άδεια.

Οι δύο τελευταίες μεταβλητές χρησιμοποιήθηκαν επίσης στην ανάλυση παλινδρόμησης, σαν ποσοτικές μεταβλητές.

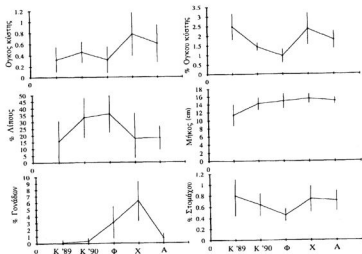
**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2** Μετρήσεις παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν στις παλινδρομήσεις. Μήνας - εποχή διεγρητοειδής, Α% - ποσοστό βάρους λίπους ως προς το ξηρό βάρος του φαριού, Σ% - επί τοις εκατό όγκος του στομαχίου ως προς τον όγκο του φαριού, V - όγκος της νηκτικής κιάτης σε  $cm^3$ , V% - ποσοστό όγκου νηκτικής κιάτης ως προς τον όγκο του φαριού, Γ% - ποσοστό όγκου γονιδίου, ως προς τον όγκο του φαριού, Μ - τυπικό μήκος φαριού, Φ = φύλο φαριού: 1 για τα αρσενικά, 0 για τα θηλυκά, ΣΤ = πληρότητα στομαχίου: 1 για τα φάρια με τροφή στο στομάχι, 0 για τα φάρια με κενό στομάχι.

ΜΗΝΑΣ	Α%	Σ%	V	V%	Γ%	Μ	Φ	ΣΤ
7ος '89	14.83	0.68	0.36	2.96	0.29	11.1	0	0
7ος '89	19.02	0.43	0.26	2.24	0.01	11.4	0	0
7ου '89	8.31	0.81	0.21	2.23	0.01	10.2	0	1
7ου '89	13.99	0.80	0.16	1.42	0.01	10.4	0	1
7ου '89	16.25	0.67	0.21	1.71	0.29	10.5	1	1
7ος '89	12.65	0.87	0.38	3.20	0.14	10.8	0	1
7ος '89	10.54	1.17	0.36	2.99	0.14	11.4	0	1
7ος '89	11.55	0.94	0.33	3.20	0.01	10.4	0	1
7ος '89	13.55	0.82	0.43	3.16	0.14	11.8	0	1
7ος '89	37.02	0.77	0.55	1.62	0.61	15.1	0	1
7ος '90	31.01	0.54	0.27	0.95	0.12	12.9	0	1
7ος '90	25.81	0.73	0.45	1.47	0.22	14.3	0	0
7ος '90	36.96	0.51	0.46	1.60	0.24	14	0	0
7ος '90	46.23	0.74	0.38	1.87	0.12	12.5	0	1
7ος '90	44.31	0.66	0.45	1.45	0.79	14.4	1	1
7ος '90	37.38	0.65	0.42	1.66	0.04	13.5	0	1
7ος '90	36.97	0.55	0.65	1.61	0.27	16	1	1
7ος '90	39.31	0.65	0.53	1.46	0.29	14	1	1
7ος '90	17.38	0.85	0.43	1.36	0.37	14.3	0	1
7ος '90	31.12	0.59	0.44	1.34	0.58	14.5	1	1
4ος	15.02	0.58	0.52	1.57	0.52	15	0	1
4ος	16.02	0.82	0.82	2.54	0.60	15.1	1	1
4ος	20.19	0.72	0.78	2.11	0.66	15.7	0	1

ΜΗΝΑΣ	Λ%	Σ%	Υ	Υ%	Γ%	Μ	Φ	ΣΤ
4ος	21.94	0.77	0.44	1.24	0.96	14.4	1	0
4ος	13.38	0.78	0.88	2.43	1.66	15	0	1
4ος	22.51	0.65	0.41	1.33	0.84	14.6	1	1
4ος	18.96	0.79	0.68	2.11	0.57	15	0	0
4ος	13.04	0.80	0.55	1.46	0.88	15	1	0
4ος	22.18	0.63	0.56	1.64	0.91	15.1	1	0
4ος	26.20	0.74	0.38	1.19	0.48	14	0	0
4ος	12.86	0.57	0.44	1.47	0.60	14.6	0	1
10ος	40.36	0.44	0.20	0.65	5.04	14	0	0
10ος	29.71	0.53	0.49	1.57	2.53	15.2	0	0
10ος	47.79	0.46	0.18	0.60	2.01	13.5	1	1
10ος	25.13	0.46	0.44	1.28	1.40	16.6	1	1
10ος	36.67	0.32	0.21	0.65	2.00	13.8	1	0
10ος	43.81	0.45	0.19	0.61	2.76	14.5	1	1
10ος	32.92	0.40	0.47	1.37	2.05	16.2	0	0
10ος	30.17	0.51	0.37	1.06	4.76	15.4	0	0
10ος	31.46	0.45	0.46	1.37	4.06	15.7	0	0
10ος	38.25	0.49	0.33	0.86	3.39	15.1	0	0
12ος	28.74	1.03	1.28	4.44	9.37	15.3	1	0
12ος	25.15	0.64	0.70	2.30	5.03	14.7	1	0
12ος	12.00	0.78	0.59	1.79	5.30	15.9	0	1
12ος	17.96	0.70	0.71	2.07	5.08	15.3	0	1
12ος	10.37	0.67	0.91	2.81	6.41	14.6	1	0
12ος	22.06	0.60	0.62	2.08	5.62	15.5	0	0
12ος	36.62	0.64	0.69	1.53	8.69	16.4	0	1
12ος	11.23	0.75	0.89	2.75	6.64	15.6	0	0
12ος	8.86	0.83	0.62	1.51	6.55	16.4	0	1
12ος	4.28	0.75	0.71	2.20	4.32	15.1	0	0

Στην Εικόνα 3.13 απεικονίζονται οι μέσοι όροι και οι διακυμάνσεις των τιμών των παραμέτρων κάθε δείγματος, καθώς και ο μέσος όρος του όγκου της νηκτικής κύστης και του ποσοστού όγκου της νηκτικής κύστης. Ακολουθεί η αναλυτική στατιστική εξέταση της επίδρασης των παραμέτρων μέσα σε κάθε δείγμα (εποχιακές σχέσεις) και μεταξύ των διαφορετικών δειγμάτων (διεποχιακές σχέσεις).





Εικόνα 3.13. Απεικόνιση της μέσης τιμής των παραμέτρων κάθε δείγματος. L: το ποσοστό του λίπους, S: το ποσοστό του όγκου του στομαχιού, G: το ποσοστό του όγκου των γονάδων, M: το τυπικό μήκος σε cm, V: ο όγκος της νηκτικής κίστης σε cm<sup>3</sup>, V%: το ποσοστό όγκου της νηκτικής κίστης.

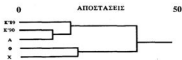
Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε στην Εικόνα 3.13, οι μεταβολές του όγκου της νηκτικής κίστης είναι γενικά σύμφωνες με τις μεταβολές του ποσοστού όγκου της νηκτικής κίστης. Εξαιρεση αποτελεί η περίπτωση των δύο δειγμάτων του Καλοκαιριού, όπου οι μεταβολές είναι αντιστρόφως ανάλογες. Οι ίδιες παρατηρήσεις ισχύουν και για την μεταβολή των γονάδων. Η μεταβολή του ποσοστού λίπους είναι σταθερά αντιστρόφως ανάλογη με την μεταβολή του ποσοστού όγκου της νηκτικής κίστης. Το ίδιο ισχύει και για τον απόλυτο όγκο της νηκτικής κίστης με εξαίρεση τα δύο καλοκαιρινά δείγματα.

### 3.3.1. ΠΟΛΥΠΑΡΑΓΟΝΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ - ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΟΧΩΝ.

Τα αποτελέσματα των πολυπαραγοντικών αποστάσεων Mahalanobis και Penrose φαίνονται στον ΠΙΝΑΚΑ 3.3. Οι αποστάσεις Penrose λαμβάνουν υπόψη τους τα κέντρα βάρους (μέσους όρους) και την μεταβλητικότητα των παραμέτρων. Οι αποστάσεις Mahalanobis εκτός από τα κέντρα βάρους και την μεταβλητικότητα, λαμβάνουν υπόψη τους και την αλληλεξάρτηση των μεταβλητών.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.** Δείκτες ομοιότητας πολυπαραγοντικής ανάλυσης. Φ= Φθινόπωρο, Κ89= Καλοκαίρι 1989, Κ90= Καλοκαίρι 1990, Α= Άνοιξη, Χ= Χειμώνας. Για την είσοδο των δεικτών ομοιότητας χρησιμοποιήθηκαν: το ποσοστό βήματος λίπους ως προς το Ήρθό βήμας του φαινού, ο επί της εκατό όγκος του ιστοχαιτού ως προς τον όγκο του φαινού, ο όγκος της νηκτικής κούτης σε cm<sup>3</sup>, το ποσοστό όγκου γονάδων ως προς τον όγκο του φαινού και το τυπικό μέγεος φαινού σε cm.

ΜΑΗΑΛΑΝΟΒΙΣ						ΡΕΝΓΟΣΕ				
	Φ	Κ89	Κ90	Α	Χ	Φ	Κ89	Κ90	Α	Χ
Φ	0.00	37.33	27.75	49.73	18.70	0.00	6.29	3.23	5.81	5.00
Κ89	37.33	0.00	10.78	26.89	85.94	6.29	0.00	2.56	4.07	9.88
Κ90	27.75	10.78	0.00	7.98	67.82	3.23	2.56	0.00	2.24	7.52
Α	49.73	26.89	7.98	0.00	47.96	5.81	4.07	2.24	0.00	5.09
Χ	18.70	85.94	67.82	47.96	0.00	5.00	9.88	7.52	5.09	0.00



Εικόνα 3.14. Ομαδοποίηση με βάση τις αποστάσεις Mahalanobis.

την σταδιακή ποσοτική μεταβολή τους. Η σύγκριση των ομαδοποιήσεων από τις δύο αποστάσεις δείχνει αν υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ των μεταβλητών (Μησιζιός 1993).

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4.** Αποτελέσματα της ανάλυσης ομαδοποίησης με τους δείκτες Mahalanobis και Ρεנגόσε. Φ= Φθινόπωρο, Κ89= Καλοκαίρι 1989, Κ90= Καλοκαίρι 1990, Α= Άνοιξη, Χ= Χειμώνας. Ομάδα 1= σχηματισμός 4 ομάδων, Ομάδα 2= σχηματισμός 3 ομάδων, Ομάδα 3= σχηματισμός 2 ομάδων. Τα αποτελέσματα ομαδοποίησης είναι με τις μεθόδους (α) Μέσου όρου, (β) Κέντρου βάρους, (γ) Διάμεσου

	ΡΕΝΓΟΣΕ			ΜΑΗΑΛΑΝΟΒΙΣ		
	ΟΜΑΔΑ 1	ΟΜΑΔΑ 2	ΟΜΑΔΑ 3	ΟΜΑΔΑ 1	ΟΜΑΔΑ 2	ΟΜΑΔΑ 3
Φ	1	1	1	1	1	1
Κ89	2	2	2	2	2	2
Κ90	3	2	2	3	3	2
Α	3	2	2	3	3	2
Χ	4	3	1	4	1	1

Η σταδιακή αύξηση του μεγέθους των μεταβλητών (κυρίως του λίπους, των γονάδων και της νηκτικής κούτης), παίζει τον καθοριστικό ρόλο στην ομαδοποίηση με βάση τις αποστάσεις Ρεנגόσε. Στην ομαδοποίηση με βάση τις αποστάσεις Mahalanobis, ξεχωρίζουν αμέσως δύο κύριες ομάδες, ανεξάρτητα από την σταδιακή μεταβολή των παραμέτρων. Οι δύο αυτές ομάδες

είναι: (α) η περίοδος που το ψάρι έχει εισέλθει στην περίοδο αναπαραγωγής και (β) η περίοδος εκτός αναπαραγωγής. Το δείγμα του Καλοκαιριού 1989, αποτελείται κυρίως από πολύ μικρά ψάρια, και αυτός είναι ο λόγος που δείχνει μια ελαφρώς ιδιότυπη συμπεριφορά κατά τις ομαδοποιήσεις.

Όλα τα δείγματα συγκρίθηκαν μεταξύ τους, ανά δύο, με πολυπαραγοντικό έλεγχο  $T^2$ . Hotelling, ο οποίος έδειξε ότι όλα τα δείγματα διέφεραν έντονα μεταξύ τους σε επίπεδο σημαντικότητας πολύ μικρότερο από  $P=0.001$ .

Όλες οι ομαδοποιήσεις που προέκυψαν στους παραπάνω πίνακες αξιοποιήθηκαν για την ένωση διαφορετικών δειγμάτων και την εύρεση διεποχιακών σχέσεων. Επιπλέον όλα τα δείγματα ενώθηκαν για την διερεύνηση σχέσεων της ετήσιας μεταβολής της νηκτικής κώστης.

Στις σχέσεις που ακολουθούν οι συμβολισμοί που χρησιμοποιούνται είναι:  $V$  = όγκος της νηκτικής κώστης σε  $cm^3$ ,  $M$  = το τυπικό μήκος του ψαριού σε  $cm$ ,  $L$  = το ποσοστό βάρους του λίπους ως προς το ξηρό βάρος του ψαριού,  $G$  = το ποσοστό όγκου των γονάδων ως προς τον όγκο του ψαριού,  $S$  = το ποσοστό όγκου του στομαχιού ως προς τον όγκο του ψαριού  $D$  = ποιοτική μεταβλητή με τιμές 1 για τα αρσενικά και 0 για τα θηλυκά και  $D_2$  = ποιοτική μεταβλητή με τιμές 1 για την αναπαραγωγική περίοδο και 0 για την εκτός αναπαραγωγής περίοδο.

### 3.3.2 ΕΠΟΧΙΑΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των σχέσεων που προέκυψαν μέσα σε κάθε δείγμα (εποχή). Εκτός από την συνδυασμένη επίδραση των παραμέτρων σε πολλαπλή παλινδρόμηση αναφέρονται και οι απλές παλινδρομήσεις του όγκου της νηκτικής κώστης και του μήκους που συνήθως χρησιμοποιείται στις σχέσεις ηχο-αναστακτικού δυναμικού, καθώς και το αποτέλεσμα της πολλαπλασιαστικής παλινδρόμησης του όγκου της νηκτικής κώστης επί του μήκους. Οι πολλαπλασιαστικές σχέσεις διερεύνηθηκαν ώστε να πάρουμε μια αρχική εικόνα για την μεταβολή του τρισδιάστατου σχήματος της νηκτικής κώστης στις διάφορες εποχές.

Τέλος υπολογισθηκαν οι σχέσεις που προκύπτουν από την ένωση των δύο δειγμάτων του Καλοκαιριού, αν και η ένωση αυτή δεν προκύπτει από την ανάλυση ομαδοποίησης. Αυτό έγινε αφενός γιατί τα δύο δείγματα προέρχονται από την ίδια εποχή, αφετέρου για να διερευνηθεί η ιδιότυπη του δείγματος του Καλοκαιριού 1989.

#### **A. ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ 1989.**

Κύριο χαρακτηριστικό του δείγματος είναι η ύπαρξη μικρών ψαριών από (10-12cm), οι πολύ μικρές αδιαφοροποιητές γονάδες και το μικρό ποσοστό λίπους. Ορατή εμφάνιση λιπώδους ιστού έχουμε στα σχετικά μεγαλύτερα ψάρια (πάνω από 11cm).

#### Απλές παλινδρομήσεις

$$V=1.98 \cdot \log M - 1.76 \quad \mu\epsilon \quad r=0.83$$

$$\ln V = 2.46 \cdot \ln M - 7.86 \quad \mu\epsilon \quad r=0.73$$

Τα στατιστικά αποτελέσματα των παλινδρομήσεων ήταν:

Παλιν/τής	Συν/στής	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σημεριν/τος	R <sup>2</sup>	r
logM	1.98203	0.48	0.0083	0.681	0.825
Τετραγώνη	-1.75849	0.50	0.0033		
lnM	2.45674	0.814	0.0166	0.532	0.730
Τετραγώνη	-7.13475	1.97	0.007		

#### Πολλαπλές παλινδρομήσεις

$$V=3.61 \cdot \log M - 0.011 \cdot L - 3.29 \quad \text{με } \bar{R}^2=0.73$$

$$V=0.014 \cdot M^{2.46} - 0.0014 \cdot L \quad \text{με } \bar{R}^2=0.74$$

Τα στατιστικά αποτελέσματα των παλινδρομήσεων ήταν:

Παλιν/τής	Συν/στής	Τυπικός Συν/στής	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σημεριν/τος	R <sup>2</sup>	$\bar{R}^2$
logM	3.61268	1.5037	0.94	0.006	0.680	0.732
L	-0.01122	-0.7561	0.0058	0.050	0.792	
Σταθερά	-3.29485		0.91	0.008		
M <sup>2.457</sup>	0.00137	1.68445	0.45	0.005	0.652	0.739
L	-0.01394	-0.96271	0.45	0.04	0.767	

Στην εξίσωση χωρίς σταθερά το τυπικό σφάλμα αναφέρεται στους τυπικούς συντελεστές. Η νηκτική κύστη αυξάνεται με το μήκος (μέγεθος) του ψαριού ενώ μειώνεται καθώς το ποσοστό λίπους αυξάνει.

Το κύριο μέρος της διασποράς ερμηνεύεται από το μήκος, ενώ το λίπος έχει συμπληρωματικό ρόλο. Σύμφωνα με τους τυπικούς συντελεστές, και οι δύο παλινδρομητές έχουν σημαντική συμμετοχή στην διαμόρφωση της τιμής του όγκου της νηκτικής κύστης. Ισχυρότερο ρόλο, πάντως, έχει το μήκος. Συγκεκριμένα η επίδραση του μήκους είναι περίπου διπλάσια του λίπους.

#### B. ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ 1990.

##### Απλές παλινδρομήσεις

$$V=2.74 \cdot \log M - 2.69 \quad \text{με } r=0.84$$

$$\ln V=2.67 \cdot \ln M - 7.86 \quad \text{με } r=0.81$$

$$V=0.0015 \cdot L + 0.40 \quad \text{με } r=0.13$$

Τα στατιστικά αποτελέσματα των παλινδρομήσεων ήταν:

Παλιν/τής	Συν/στής	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σημεριν/τος	R <sup>2</sup>	r
logM	2.73803	0.64	0.0026	0.711	0.843
Τετραγώνη	-2.73803	0.73	0.006		

<b>lnM</b>	2.663	0.69	0.0049	0.650	0.806
<b>Τεταγμένη</b>	-7.8616	1.83	0.0023		

### Πολλαπλές παλινδρομήσεις

$$\frac{1}{V} = 3695.64 \cdot M^{-2.67} - 0.08 \cdot L + 0.004 \cdot L \cdot M \quad \text{με } R^2 = 0.82$$

$$\frac{1}{V} = -83.27 \log M - 0.78 \cdot L + 0.054 \cdot L \cdot M + 98.68 \quad \text{με } R^2 = 0.83$$

Τα στατιστικά αποτελέσματα των παλινδρομήσεων ήταν:

Παλιν/σής	Συν/σής	Τυπικός Συν/σής	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σημειω/τας	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>
<b>M<sup>-2.67</sup></b>	3695.64	3.2238	0.8558	0.007	0.566	0.816
<b>L</b>	-0.07989	-8.2318	2.7933	0.021	0.677	
<b>M*L</b>	0.00381	7.6029	2.6912	0.0256	0.849	
<b>logM</b>	-83.267	-4.31155	19.125	0.005	0.566	0.835
<b>L</b>	-0.778	-11.77189	0.213	0.011	0.659	
<b>M*L</b>	0.0538	11.19745	0.015	0.012	0.890	
<b>Σταθερά</b>	98.681		21.986	0.004		

Από τις εξισώσεις θα ήταν προτιμότερο να προτιμηθεί η αντιστρόφως ανάλογη σχέση (1/v), όχι γιατί έχει ελαφρώς μεγαλύτερο R<sup>2</sup>, αλλά κυρίως επειδή συνάδει με τις εξισώσεις των άλλων εποχών. Το ποσοστό του λίπους είναι θετικά συσχετισμένο με την νηκτική κύστη. Η αλληλεπίδραση μήκους και ποσοστού λίπους (M·L) είναι αρνητικά συσχετισμένα. Η απλή παλινδρόμηση μεταξύ όγκου νηκτικής κύστης και λίπους δείχνει ότι ουσιαστικά δεν υπάρχει συσχέτιση. Μετά την απομάκρυνση της επίδρασης του μεγέθους εμφανίζεται η καθαρά θετική συσχέτιση του λίπους συνδεδεμένη με την αρνητική συσχέτιση της αλληλεπίδρασης. Το γεγονός που προσπαθεί να εκφράσει η παραπάνω συσχέτιση είναι ότι τα μεγαλύτερα ψάρια έχουν μεγαλύτερη κύστη, ενώ το ποσοστό λίπους αυξάνεται και ταυτόχρονα μειώνεται το ποσοστό της νηκτικής κύστης ως προς τον όγκο του ψαριού.

Και πάλι το μεγαλύτερο μέρος της διασποράς εξηγείται από το μήκος, ενώ το λίπος έχει συμπληρωματικό-διορθωτικό ρόλο, ταυτόχρονα όμως δίνει μεγαλύτερη ευλιγισία στην σχέση ώστε να εφαρμόζει καλύτερα στα δεδομένα.

### Γ. ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ.

Οι σχέσεις διερευνήθηκαν με τα δεδομένα που προκύπτουν από την ένωση των δύο δειγμάτων του Καλοκαιριού. Η ένωση αυτή δεν προκύπτει από την ανάλυση ομαδοποίησης, παρουσιάζεται όμως εδώ, γιατί τα δύο δείγματα αφορούν την ίδια εποχή. Όπως και όλες οι υπόλοιπες "αθαιρέτες" ενώσεις κι αυτή δείχνει απότομη πτώση του R<sup>2</sup>, το οποίο όμως εξακολουθεί να παραμένει σε υψηλά επίπεδα.

#### Απλές παλινδρομήσεις.

$$V = 1.65 \log M - 1.426 \quad \text{με } r = 0.84$$

$$\ln V = 2.00 \ln M - 6.072 \quad \text{με } r = 0.81$$

Τα στατιστικά αποτελέσματα των παλινδρομήσεων ήταν:

Παλιν/τής	Συν/στής	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σημαν/τας	R <sup>2</sup>	r
logM	1.6496	0.25	0.0000	0.712	0.844
Τετραμένη	-1.4259	0.27	0.0001		
LnM	2.0023	0.34	0.0000	0.654	0.809
Τετραμένη	-6.0721	0.87	0.0000		

Πολλαπλές παλινδρομήσεις:

$$V=1.83 \log M+0.17 \cdot S-1.75 \quad \mu \epsilon \quad \bar{R}^2=0.73$$

$$V=0.0021 \cdot M^2+0.059 \cdot S \quad \mu \epsilon \quad \bar{R}^2=0.76$$

Τα στατιστικά αποτελέσματα των παλινδρομήσεων ήταν:

Παλιν/τής	Συν/στής	Τυπικός Συν/στής	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σημαν/τας	R <sup>2</sup>	$\bar{R}^2$
logM	1.8328	0.9374	0.25	0.0000	0.759	0.731
S	0.1727	0.2368	0.09	0.0854	0.712	
Σταθερά	-1.7516		0.31	0.0000		
M <sup>2</sup>	0.0021	0.9241	0.12	0.0000	0.727	0.760
S	0.059	0.2311	0.12	0.0500	0.773	

Η στατιστική εξέταση δείχνει ότι η σταθερά της παραγοντικής εξίσωσης είναι μηδέν. Στην εξίσωση χωρίς σταθερά, το τυπικό σφάλμα αναφέρεται στους τυπικούς συντελεστές. Οι σχέσεις είναι εύθως ανάλογες.

Ο όγκος της νηκτικής κύστης είναι θετικά συσχετισμένος με το μήκος και το ποσοστό του όγκου του στομαχιού. Η από κοινού εξέταση μικρών και μεγάλων ψαριών κατά το καλοκαίρι, δείχνει ότι η κύρια μεταβολή του μεγέθους της νηκτικής κύστης οφείλεται στο μέγεθος του ψαριού. Το λίπος δεν εισέρχεται στις εξισώσεις και η επίδρασή του απορροφάται εξ' ολοκλήρου από την επίδραση του μεγέθους. Είναι εξάλλου φανερός ο διαφορετικός τρόπος που επιδρά το λίπος στα διαφορετικά δείγματα λόγω του διαφορετικού μεγέθους (ηλικίας) των ψαριών. Στην ένωση των δύο καλοκαιρινών δειγμάτων η διακύμανση του όγκου των στομαχιών (πληρότητα) είναι εντονότερη και αυτό οδηγεί στην εμφάνισή του στην εξίσωση. Η γονάδα δεν εμφανίζεται στην εικόνα.

Το μεγαλύτερο μέρος της διασποράς εξηγείται από το μήκος, ενώ το ποσοστό του όγκου του στομαχιού έχει ελαχίστη συμβολή (=5%). Ομοίως με τους τυπικούς συντελεστές η τιμή του όγκου του στομαχιού διαμορφώνεται κυρίως από το μήκος, ενώ το στομάχι έχει πολύ μικρή επίδραση (μικρότερη του 25%).

#### **A. ΑΝΟΙΞΗ.**

Τα ψάρια παρουσιάζουν τα χαμηλότερα ποσοστά λίπους, οι γονάδες είναι μικρές (λίγο μεγαλύτερες από αυτές του Καλοκαιριού), δεδομένου ότι τα ψάρια μόλις έχουν τελειώσει την αναπαραγωγή.

Απλές παλινδρομήσεις.

$$\frac{1}{V} = -32.94 \cdot \log M + 40.45 \quad \text{με } r = -0.83$$

$$\ln V = 3.52 \cdot \ln M - 9.97 \quad \text{με } r = 0.74$$

Τα στατιστικά αποτελέσματα των παλινδρομήσεων ήταν:

Παλιν/τής	Συν/στής	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σημαν/τας	R <sup>2</sup>	r
LogM	-32.944	7.30	0.0011	0.693	-0.837
Τετμημένη	40.449	8.56	0.0015		
lnM	3.521	0.56	0.0049	0.550	0.742
Τετμημένη	-9.9653	1.95	0.0023		

Πολλαπλές παλινδρομήσεις.

$$\frac{1}{V} = -28.73 \cdot \log M - 0.021 \cdot L - 2.24 \cdot S + 36.73 \quad \text{με } \bar{R}^2 = 0.81$$

$$\frac{1}{V} = 45656 \cdot M^{-3.5} - 2.50 \cdot S \quad \text{με } \bar{R}^2 = 0.83$$

Τα στατιστικά αποτελέσματα των παλινδρομήσεων ήταν:

Παλιν/τής	Συν/στής	Τυπικός Συν/στής	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σημαν/τας	R <sup>2</sup>	$\bar{R}^2$
logM	-28.7262	-0.7261	5.93	0.0019	0.690	0.813
S	-2.2410	-0.3943	0.7804	0.0239	0.841	
L	0.0207	0.1829	0.010	0.05	0.869	
Σταθερά	36.7264		7.0540	0.0012		
M <sup>-3.5</sup>	45656.8	0.8063	0.1287	0.0001	0.698	0.835
S	-2.5026	-0.3932	0.1287	0.0137	0.852	

Οι σχέσεις είναι αντιστρόφως ανάλογες. Στην εξίσωση χωρίς σταθερά το τυπικό σφάλμα αναφέρεται στους τυπικούς συντελεστές.

Η νηκτική κόστη είναι θετικά συσχετισμένη με το μέγεθος του ψαριού, το ποσοστό όγκου του στομαχιού και αρνητικά συσχετισμένη με το ποσοστό λίπους. Η ύπαρξη έντονων διαφοροποιήσεων στην πληρότητα του στομαχιού οδηγεί στην είσοδο της παραμέτρου του στομαχιού στην εξίσωση. Οι εξισώσεις δείχνουν, όπως έχει ήδη αποκαλύψει η ανάλυση ομαδοποίησης, ότι το δείγμα της Ανυξής είναι ενδιάμεση κατάσταση των δύο δειγμάτων του Καλοκαιριού.

Γενικός και πάλι το κύριο μέρος της διασποράς εξηγείται από το μήκος, ενώ οι άλλες παράμετροι έχουν μικρή επίδραση, ταυτόχρονα όμως, δίνουν μεγαλύτερη ειδικότητα στην σχέση ώστε να εφαρμόζει καλύτερα στα δεδομένα. Η πολύ μικρή συμβολή του λίπους στην ερμηνεία της διασποράς (~3%), πιθανότατα οφείλεται στο γεγονός ότι το λίπος αυτή την εποχή βρίσκεται στα χαμηλότερα επίπεδα του. Η διαμόρφωση της τιμής της νηκτικής κόστης γίνεται κυρίως με το μήκος ενώ το στομάχι έχει την μισή επίδραση του μήκους.

**Ε. ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ.**

Την εποχή αυτή το ψάρι έχει μπει στην περίοδο αναπαραγωγής του, με συνέπεια να συναναπαύονται αναπτυγμένες γονάδες διαφόρων μεγεθών. Το αποθηκευμένο λίπος είναι σε υψηλά επίπεδα, ενώ ο ρυθμός διατροφής έχει πέσει. Σχεδόν όλα τα στομάχια ήταν άδεια ή με ελαχιστή τροφή.

Απλές παλινδρομήσεις.

$$\frac{1}{V} = -43.23 \log M + 54.29 \quad \mu\epsilon \quad r = -0.90$$

$$\ln V = 3.23 \ln M - 9.75 \quad \mu\epsilon \quad r = -0.87$$

$$V = 0.053 G + 0.15 \quad \mu\epsilon \quad r = 0.37$$

Τα στατιστικά αποτελέσματα των παλινδρομήσεων ήταν:

Παλιν/τής	Συν/στής	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σημαν/τας	R <sup>2</sup>	r
logM	-43.2284	7.5596	0.0004	0.803	-0.896
Τετμημένη	54.2954	8.8863	0.0003		
lnL	3.2321	0.1400	0.0009	0.751	0.867
Τετμημένη	-9.7551	1.2849	0.0526		

Πολλαπλές παλινδρομήσεις.

$$\frac{1}{V} = -2.58 \log M + 0.128 L + 0.428 G + 1.67 D \quad \mu\epsilon \quad \bar{R}^2 = 0.94$$

$$\frac{1}{V} = 13408.59 M^{-3.2} - 0.081 L + 0.34 G + 1.38 D - 3.35 \quad \mu\epsilon \quad \bar{R}^2 = 0.93$$

Τα στατιστικά αποτελέσματα των παλινδρομήσεων ήταν:

Παλιν/τής	Συν/στής	Τυπικός Συν/στής	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σημαν/τας	R <sup>2</sup>	$\bar{R}^2$
logM	-2.5809	-0.3621	0.1552	0.0404	0.803	0.942
D	1.6683	0.5054	0.1292	0.0079	0.882	
L	0.1284	0.3907	0.1453	0.0300	0.925	
G	0.4278	0.2851	0.1218	0.0409	0.961	
M <sup>-3.2</sup>	13408.57	0.3649	6181.97	0.0409	0.820	0.931
D	1.3832	0.4928	0.3991	0.0179	0.874	
L	0.0898	0.3928	0.0322	0.0430	0.922	
G	0.3415	0.2985	0.1501	0.0400	0.962	
Σταθερά	-3.3472		0.7148	0.0054		

Οι σχέσεις είναι αντιστρόφως ανάλογες. Στην εξίσωση χωρίς σταθερά το τυπικό σφάλμα αναφέρεται στους τυπικούς συντελεστές.

Η νηκτική κούση είναι θετικά συσχετισμένη με το μήκος και αρνητικά συσχετισμένη με το λίπος. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό είναι η είσοδος της ποιοτικής παραμέτρου D ("φάλο"), που δείχνει ότι η μεταβολή της νηκτικής κούσης μπορεί να περιγραφεί με δυο "παράλληλες"



εξισώσεις που διαφέρουν κατά ποσότητα D, αρνητικά συσχετισμένη με την νηκτική κύστη. Αυτό εκφράζει το γεγονός ότι *όλες οι παράμετροι των αρσενικών τείνουν να μειώσουν την νηκτική κύστη: έχουν μικρότερο μήκος (φυλετικός διμορφισμός), και μικρότερο ποσοστό όγκου γονάδων, σε σχέση με τα θηλυκά.* Αυτό το ποιοτικό γεγονός εκφράζεται με την μεταβλητή D. Ταυτόχρονα η είσοδος της μεταβλητής D είναι απαραίτητη για να εκφραστούν με στατιστική αξιοπιστία οι υπολοίπες μεταβλητές. Αν η μεταβλητή αυτή αφαιρεθεί, η πιθανότητα (P) να είναι μηδενικός ο συντελεστής των υπολοίπων, γίνεται στατιστικά σημαντική. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι αν αφαιρεθεί η D, αλλάζει το πρόσημο της μεταβλητής G, δείχνοντας ότι γενικώς η νηκτική κύστη αυξάνεται με το ποσοστό της γονάδας, όπως συμβαίνει και στην απλή παλινδρόμηση. Η μεταβολή αυτή του προσήμου και η χαμηλή σημαντικότητα (με βάση τους τυπικούς συντελεστές), του παλινδρομητή G, δείχνουν ότι ο G λειτουργεί περισσότερο σαν διορθωτικός παράγοντας στο D και ότι οι δύο αυτοί παράγοντες είναι άμεσα συσχετισμένοι. Τέλος καμιά παράμετρος του στομαχιού δεν εισέρχεται στις εξισώσεις. Αυτό είναι αναμενόμενο, δεδομένου ότι τα στομάχια είχαν ελάχιστη τροφή.

Είναι χαρακτηριστικό ότι ο διαχωρισμός σε φύλα καθίσταται αναγκαίος στην αρχή της αναπαραγωγικής περιόδου, δεδομένης της διαφοροποίησης που πραγματοποιείται στα άτομα των δύο φύλων. Στην ερμηνεία της διασποράς τον κύριο λόγο εξακολουθεί να έχει το μήκος. Όμως η κρίσιμη επίδραση του φύλου φαίνεται καθαρά στους τυπικούς συντελεστές, όπου έχει πρωτεύοντα ρόλο στην διαμόρφωση της τιμής της νηκτικής κύστης. Το μήκος, ποσοστό λίπους και ποσοστό γονάδων έχουν περίπου ισοδύναμες επιδράσεις με μικρότερη αυτή των γονάδων, ενώ παρατηρείται γενικά μια αύξηση του ρόλου και της επίδρασης των υπολοίπων παραμέτρων σε σχέση με το μήκος.

### ΣΤ. ΧΕΙΜΩΝΑΣ.

Οι γονάδες βρίσκονται σε πλήρη ανάπτυξη. Όλα τα στομάχια είναι άδεια. Το λίπος είναι σε χαμηλά επίπεδα.

Απλές παλινδρομήσεις.

$$\frac{1}{V} = 7.11 \cdot \log M - 7.10 \quad \text{με } r = 0.44$$

$$\ln V = -2.32 \cdot \ln M + 6.09 \quad \text{με } r = 0.39$$

$$V = 0.08 \cdot G + 0.25 \quad \text{με } r = 0.64$$

Τα στατιστικά αποτελέσματα των παλινδρομήσεων ήταν:

Παλιν/τής	Συν/τής	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σημασίας	R <sup>2</sup>	r
logM	7.1178	2.2488	0.2065	0.191	0.439
Τετμημένη	-7.1033	6.1597	0.2821		
lnM	-2.3279	1.916	0.2591	0.157	0.395
Τετμημένη	6.0890	5.249	0.2794		
G	0.0821	0.03467	0.0454	0.412	0.6419
Τετμημένη	0.2543	0.2249	0.2909		

Πολλαπλές παλινδρομήσεις.

$$\frac{1}{V} = 12.52 \cdot \log M + 0.010 \cdot L - 0.19 \cdot G - 12.52 \quad \text{με } \bar{R}^2 = 0.83$$

$$\frac{1}{V} = 0.004 \cdot M^{2.23} + 0.010 \cdot L - 0.189 \cdot G \quad \text{με } \bar{R}^2 = 0.87$$

Τα στατιστικά αποτελέσματα των παλινδρομήσεων ήταν:

Παλιν/τής	Συν/στής	Τυπικός Συν/στής	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σημειών/τος	R <sup>2</sup>	$\bar{R}^2$
G	-0.1877	-1.0789	0.0323	0.0012	0.325	0.831
logM	12.5185	0.7688	2.4039	0.0020	0.807	
L	0.0101	0.3648	0.0049	0.0500	0.887	
Σταθερά	-12.5238		2.8020	0.0042		
G	-0.1893	-1.0885	0.1614	0.0003	0.326	0.873
M <sup>2</sup> ·32	0.0041	0.7813	0.1281	0.0005	0.821	
L	0.0101	0.3651	0.1522	0.0405	0.901	

Οι σχέσεις είναι αντιστρόφως ανάλογες. Στην εξίσωση χωρίς σταθερά το τυπικό σφάλμα αναφέρεται στους τυπικούς συντελεστές. Στο δείγμα αυτό παρουσιάζεται η ιδιομορφία, ότι η νηκτική κύστη είναι αρνητικά συσχετισμένη με το μήκος, ενώ ταυτόχρονα η απλή παλινδρόμηση για το μήκος δίνει πολύ χαμηλή αρνητική συσχέτιση.

Το μεγαλύτερο μέρος της αρχικής διασποράς εξηγείται από το ποσοστό της γονάδας. Αφού αφαιρεθεί η επίδραση της γονάδας το μεγαλύτερο μέρος της υπολειπόμενης διασποράς εξηγείται από το μήκος. Η νηκτική κύστη αυξάνεται με το ποσοστό των γονάδων και ελαττώνεται με το ποσοστό λίπους και το μήκος.

Η σημαντικότητα της επίδρασης των γονάδων φαίνεται στους τυπικούς συντελεστές. Η διαμόρφωση της τελικής τιμής της νηκτικής κύστης γίνεται κυρίως από την γονάδα, η επίδραση του μήκους είναι δευτερευούσα (η επίδρασή του είναι ≈70% της γονάδας). Το λίπος έχει επίδραση ≈34% της γονάδας και ≈50% του μεγέθους. Το φίλο δεν φαίνεται να επιδρά, ή ορθότερα έχει μεγάλη πιθανότητα (20%), μηδενικής επίδρασης. Αυτό οφείλεται πιθανότατα στο ότι οι γονάδες στα δύο φίλα έχουν περίπου το ίδιο μέγεθος με αποτέλεσμα να μην εμφανίζονται οι επιδράσεις του προηγούμενου δείγματος. Την εποχή αυτή ο όγκος της νηκτικής κύστης φθάνει στις μεγαλύτερες τιμές. Οι συσχετίσεις δείχνουν ότι οριακά ο όγκος μπορεί και να μειώνεται με το μέγεθος λόγω της επίδρασης των άλλων παραγόντων.

### 3.3.3. ΔΙΕΠΟΧΙΑΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ.

Σ' αυτή την ενότητα εξετάστηκαν οι σχέσεις που προκύπτουν από την ένωση των εποχιακών δειγμάτων. Αυτό έγινε σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης ομαδοποίησης: Καλοκαίρι 1990-Ανοιξη, Φθινόπωρο-Χειμώνας, Καλοκαίρι 1989-Καλοκαίρι 1990-Ανοιξη.

#### **A. ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ 1990 - ΑΝΟΙΞΗ.**

Η ένωση προκύπτει από την ομαδοποίηση με βάση τις αποστάσεις Μιχαλινοβίς. Οι γονάδες δεν είναι ανεπτυγμένες. Τα στομάχια περιέχουν τροφή. Το λίπος αυξάνεται από την Ανοιξη προς το Καλοκαίρι.

Απλές παλινδρομήσεις.

$$\frac{1}{V} = -18.22 \cdot \log M + 23.20 \quad \text{με } r = 0.79$$

$$\ln V = 3.37 \cdot \ln M - 10.72 \quad \text{με } r = 0.76$$

$$V = -0.0063 \cdot L + 0.69 \quad \text{με } r = -0.42$$

Τα στατιστικά αποτελέσματα των παλινδρομήσεων ήταν:

Παλιν/τής	Συν/στής	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σημαν/τας	R <sup>2</sup>	r
logM	-18.2175	3.2321	0.0000	0.626	-0.791
Τετμημένη	23.2034	3.7495	0.0000		
lnM	3.7570	1.9217	0.0000	0.589	0.768
Τετμημένη	-107249	1.9217	0.0000		

Πολλαπλές παλινδρομήσεις.

$$\frac{1}{V} = -57.03 \log M - 1.30 \cdot S - 0.49 \cdot L + 0.03 \cdot L \cdot M + 69.65 \quad \text{με } \bar{R}^2 = 0.84$$

$$\frac{1}{V} = 78370.50 \cdot M^{-3.7} - 2.13 \cdot S - 0.25 \cdot L + 0.015 \cdot L \cdot M \quad \text{με } \bar{R}^2 = 0.78$$

Τα στατιστικά αποτελέσματα των παλινδρομήσεων ήταν:

Παλιν/τής	Συν/στής	Τυπικός Συν/στής	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σημαν/τας	R <sup>2</sup>	$\bar{R}^2$
logM	-570346	-2.4766	9.2487	0.0000	0.877	0.841
S	-1.3023	-0.2263	0.6003	0.0404	0.702	
L	-0.4872	-8.8423	0.1153	0.0006	0.738	
L·M	0.0326	7.9158	0.0079	0.0008	0.873	
Σταθερά	69.6458		10.6915	0.0000		
M <sup>-3.7</sup>	78370.58	2.5053	0.5286	0.0000	0.591	0.782
S	-2.1292	-0.2364	0.1225	0.0000	0.665	
L	-0.2506	-8.8821	2.7153	0.0000	0.705	
L·M	0.0160	7.8678	2.4762	0.0000	0.815	

Οι σχέσεις είναι και πάλι αντιστρόφως ανάλογες. Στην εξίσωση χωρίς σταθερά το τυπικό σφάλμα αναφέρεται στους τυπικούς συντελεστές. Η νηκτική κύστη είναι θετικά συσχετισμένη με το μήκος και το ποσοστό του στομαχίου. Η είσοδος του παλινδρομητή **M·L** αναμένεται δεδομένου ότι η ενοποίηση του δείγματος προκύπτει πρωτίστως από τις πολυπαραγοντικές αποστάσεις Mahalanobis, που δείχνει αλληλεπίδραση μεγεθών. Το λίπος αν και είναι αρνητικά συσχετισμένο με τον όγκο της νηκτικής κύστης (απλή παλινδρόμηση), στην πολλαπλή παλινδρόμηση εμφανίζεται θετικά συσχετισμένο και άμεσα συνδεδεμένο με τον παλινδρομητή αλληλεπίδρασης. Μ' αυτό τον συνδυασμό πιθανότητα εκφράζεται το γεγονός ότι μεγαλύτερος όγκος νηκτικής κύστης μπορεί να αντιστοιχεί σε μικρότερο ποσοστό όγκου νηκτικής κύστης ως προς τον όγκο του ψαριού.

Το μεγαλύτερο μέρος της διασποράς εξηγείται από το μέγεθος, ενώ η υπολειπόμενη διασπορά εξηγείται από το λίπος και την αλληλεπίδραση μήκους-λίπους.

Διαφορετική εικόνα δίνουν οι τυπικοί συντελεστές. Σύμφωνα μ' αυτούς πρωταρχικός και σημαντικότερος παράγοντας διαμορφώνει την τιμή του όγκου της νηκτικής κύστης είναι το λίπος και η αλληλεπίδραση μήκους-λίπους. Οι δύο αυτοί παλινδρομητές αποτελούν και τον βασικό ενοποιητικό παράγοντα των δειγμάτων. Ειδικότερα το μήκος έχει =30% της επίδρασης των δύο προηγούμενων παραγόντων, ενώ η επίδραση του στομαχίου είναι ελάχιστη 0.025%.

0,088% των άλλων παραγόντων.

### B. ΑΝΟΙΞΗ-ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ.

Το δείγμα προέρχεται από την ένωση των δειγμάτων Ανοιξη-Καλοκαίρι '89-Καλοκαίρι '90. Απλές παλινδρομήσεις.

$$\frac{1}{V} = -14.71 \log M + 10.09 \quad \mu\epsilon \quad r = -0.80$$

$$\ln V = 2.276 \ln M - 6.75 \quad \mu\epsilon \quad r = +0.82$$

Τα στατιστικά αποτελέσματα των παλινδρομήσεων ήταν:

Παράν/τής	Συν/στής	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σημαν/τας	R <sup>2</sup>	r
logM	-14.7106	2.0429	0.0000	0.641	-0.800
Τετρημένη	19.0854	2.3008	0.0000		
lnM	2.2763	0.2893	0.0000	0.681	0.825
Τετρημένη	-6.7471	0.2893	0.0000		

Πολλαπλές παλινδρομήσεις.

$$\frac{1}{V} = -16.14 \log M - 1.99 S + 22.12 \quad \mu\epsilon \quad \bar{R}^2 = 0.64$$

$$\frac{1}{V} = 1037.21 \cdot M^{-2.28} - 0.27 S \quad \mu\epsilon \quad \bar{R}^2 = 0.70$$

$$\text{ΑΝΟΙΞΗ-ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ-89}^{(*)} \quad \frac{1}{V} = -7.07 \log M - 2.2 S + 22.45 \quad \mu\epsilon \quad \bar{R}^2 = 0.67$$

Τα στατιστικά αποτελέσματα των παλινδρομήσεων ήταν:

Παράν/τής	Συν/στής	Τυπικός Συν/στής	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σημαν/τας	R <sup>2</sup>	$\bar{R}^2$
logM	-16.1369	-0.8785	2.5134	0.0000	0.641	0.678
S	-1.9906	-0.2524	0.8594	0.028	0.699	
Σταθερά	22.1199		2.5134	0.0000		
M <sup>-2.28</sup>	1037.21	0.8915	0.1048	0.0000	0.650	0.704
S	-0.7244	-0.2671	0.1048	0.0100	0.714	
(*)logM	-7.0757	-0.8686	1.0818	0.0000	0.647	0.671
(*)S	-2.200	-0.2479	1.1787	0.0600	0.704	
(*)Σταθερά	22.4509		3.1302	0.0000		

Οι σχέσεις είναι αντίστροφως ανάλογες. Στην εξίσωση χωρίς σταθερά το τυπικό σφάλμα αναφέρεται στους τυπικούς συντελεστές. Ο συντελεστής συσχέτισης μειώνεται σημαντικά, ενώ όπως προαναφέρθηκε η ηθική κίνηση είναι θετικά συσχετισμένη με το μήκος και το ποσοστό του στομαχιού. Η ενσωμάτωση αυτών των δειγμάτων προκύπτει κατά κύριο λόγο από τις αποστάσεις Ρεντσε, ως εκ τούτου εκφράζεται κυρίως από τις μεταβλητές που έχουν μια συνεχή μεταβολή μεταξύ των δύο δειγμάτων, ως εκ τούτου δεν εμφανίζεται παλινδρομητής

αλληλεπίδρασης.

Η προσαρμογή των παραμέτρων στις σχέσεις μειώνεται, κυρίως λόγω του δείγματος του Καλοκαιριού 1989 (μικρά ψάρια). Τα ψάρια έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά που σχετίζονται κυρίως με την ανάπτυξη και την αποθήκευση λίπους.

#### Γ. ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ - ΧΕΙΜΩΝΑΣ.

Η ένωση προκύπτει από την ομαδοποίηση με βάση τις αποστάσεις Mahalanobis και αφορά την αναπαραγωγική περίοδο. Τα στατόμαχια είναι άδεια, ενώ οι γονάδες έχουν ανάπτυξη διαφορετικού βαθμού. Το λίπος μειώνεται από το Φθινόπωρο προς τον Χειμώνα. Απλές παλινδρομήσεις.

$$\frac{1}{V} = -40.81 \cdot \log M + 50.67 \quad \mu\epsilon \quad r = -0.68$$

$$\ln V = 3 \cdot \ln M - 8.77 \quad \mu\epsilon \quad r = 0.45$$

Τα στατιστικά αποτελέσματα των παλινδρομήσεων ήταν:

Πολυ/της	Συν/σης	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σμμεν/τας	R <sup>2</sup>	r
logM	-40.8065	10.2811	0.0009	0.466	-0.683
Τετμημένη	50.6749	12.1580	0.0006		
lnM	3.003	0.9186	0.0041	0.207	0.455
Τετμημένη	8.7721	1.1459	0.0273		

Πολλαπλές παλινδρομήσεις.

$$\frac{1}{V} = 1.56 \cdot \log M + 0.44 \cdot L - 0.025 \cdot L \cdot M - 0.19 \cdot G \quad \mu\epsilon \quad \bar{R}^2 = 0.86$$

$$\frac{1}{V} = 0.00052 \cdot M^3 + 0.57 \cdot L - 0.034 \cdot L \cdot M - 0.19 \cdot G \quad \mu\epsilon \quad \bar{R}^2 = 0.87$$

Τα στατιστικά αποτελέσματα των παλινδρομήσεων ήταν:

Πολυ/της	Συν/σης	Τυπικός Συν/σης	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σμμεν/τας	R <sup>2</sup>	$\bar{R}^2$
L	0.4372	6.4911	1.7515	0.0019	0.561	0.865
L·M	-0.0254	-5.6895	1.6492	0.0033	0.800	
G	-0.1881	-0.2555	0.09347	0.0147	0.863	
logM	1.5568	0.4953	0.2755	0.0500	0.886	
L	0.5607	6.1482	1.4853	0.0000	0.565	0.868
L·M	-0.0339	-5.3787	1.4064	0.0000	0.800	
G	-0.1894	-0.2498	0.0927	0.0012	0.863	
M <sup>3</sup>	0.0005	0.4418	0.2004	0.0070	0.900	

Οι σχέσεις είναι και πάλι αντιστρόφως ανάλογες. Στις εξισώσεις τα τυπικά σφάλματα αναφέρονται στους τυπικούς συντελεστές. Ο ενοποιητικός παράγοντας της αλληλεπίδρασης ήταν αναμενόμενος με βάση την ομαδοποίηση Mahalanobis. Η ηρετική κούνη αυξάνεται αξιωμαμένης της γονάδας όπως και στις δύο εποχές ξεχωριστά. Το μήκος έρχεται τελευταίο

στην εικόνα έχοντας συμπληρωματικό ρόλο στην ερμηνεία της διασποράς. Το λίπος είναι αρνητικά συσχετισμένο με την νηκτική κούστη, ενώ ο παλινδρομητής της αλληλεπίδρασης είναι θετικά συσχετισμένος.

Κύριο χαρακτηριστικό είναι ότι το μήκος χάνει την πρωτεύουσα σημασία. Το μεγαλύτερο μέρος της διασποράς εξηγείται από τους άλλους παράγοντες και κυρίως από το λίπος. Ο παράγοντας αυτός είναι και ο κύριος ενοποιητικός παράγοντας που ερμηνεύει την διασπορά των τιμών της νηκτικής κούστης κατά την αναπαραγωγική περίοδο.

Η ποιοτική μεταβλητή του φύλου δεν εμφανίζεται στην εξίσωση. Αυτό απλοποιεί τις μετρήσεις που πρέπει να γίνονται για την εκτίμηση του όγκου της νηκτικής κούστης. Δεδομένου ότι η σχέση που εκφράζει τις μεταβολές της νηκτικής κούστης είναι πολύ καλή, είναι δυνατή η έκφρασή της με συνεχείς μεταβλητές.

Σύμφωνα με τους τυπικούς συντελεστές η διαμόρφωση της τιμής του όγκου της νηκτικής κούστης γίνεται κυρίως από το ποσοστό λίπους και την αλληλεπίδραση μήκους και λίπους. Αμέσως μετά το λίπος σημαντική είναι η επίδραση του μήκους (είναι το =75% της επίδρασης του λίπους). Τέλος η γονάδα έχει επίδραση =40% του λίπους και =50% του μήκους.

### 3.3.4. ΕΠΙΣΕΙΣ ΣΧΕΣΕΙΣ.

Στην ενότητα αυτή εξετάστηκαν οι σχέσεις που προκύπτουν από την ένωση όλων των δειγμάτων. Κατ' εξαίρεση εξετάστηκαν οι ενώσεις των δειγμάτων: Καλοκαίρι 1989-Ανοιξη-Φθινόπωρο-Χειμώνας και Καλοκαίρι 1990-Ανοιξη-Φθινόπωρο-Χειμώνας. Σκοπός των κατ' εξαίρεση ενώσεων ήταν να διερευνηθεί η ιδιαιτερότητα του δείγματος των μικρών ατόμων.

Οι σχέσεις που προκύπτουν με την χρησιμοποίηση των συνιθισμένων παραμέτρων έχουν μικρότερη προσαρμογή στα δεδομένα από όλες τις προηγούμενες και αναφέρονται αμέσως παρακάτω με οι μεγαλύτερες τιμές  $\bar{R}^2$  που προέκυψαν:

#### ΕΝΩΣΗ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ:

$$\frac{1}{V} = -17.22 \cdot \log M + 0.02 \cdot L - 3.36 \cdot S + 24.05 \quad \mu\epsilon \quad \bar{R}^2 = 0.63$$

$$\frac{1}{V} = 945.32 \cdot M^{-2.17} + 0.037 \cdot L - 2.37 \cdot S \quad \mu\epsilon \quad \bar{R}^2 = 0.65$$

#### ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ '89-ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ-ΧΕΙΜΩΝΑΣ-ΑΝΟΙΞΗ:

$$\frac{1}{V} = -18.37 \cdot \log M + 0.005 \cdot L - 2.72 \cdot S + 24.42 \quad \mu\epsilon \quad \bar{R}^2 = 0.72$$

$$\frac{1}{V} = 893.86 \cdot M^{-2.15} + 0.39 \cdot L - 0.34 \cdot S \quad \mu\epsilon \quad \bar{R}^2 = 0.73$$

#### ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ-ΧΕΙΜΩΝΑΣ-ΑΝΟΙΞΗ-ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ '90:

$$\frac{1}{V} = -0.25 \cdot L - 0.016 \cdot L \cdot M - 4.23 \cdot S + 4.5 \quad \mu\epsilon \quad \bar{R}^2 = 0.65$$

Το πιθανότερο είναι ότι τα αποτελέσματα αυτά οφείλονται στον διαφορετικό τρόπο επίδρασης των παραμέτρων στις διαφορετικές ομάδες των δειγμάτων. Στις εξισώσεις αυτές δεν εμφανίζεται καθόλου η επίδραση των γονάδων. Διερευνήθηκε η πιθανότητα να εκφραστεί αυτή η διαφορετική επίδραση με μια ακόμη ποιοτική μεταβλητή (την  $D_p$ ) με τιμές: 1 για ανεπτυγμένες γονάδες ανεξαρτήτως φύλου (αναπαραγωγική περίοδος) και 0 για τις γονάδες σε περίοδο διάπαυσης (εκτός αναπαραγωγικής περιόδου). Αν και τα αποτελέσματα βελτιώνονται ελαφρά, εξακολουθούν να είναι αισθητά χαμηλότερα σε σχέση με όλες τις προηγούμενες σχέσεις.

### A. ΕΝΔΕΞΗ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ.

Τα δεδομένα προκύπτουν από την ενοποίηση όλων των δειγμάτων.  
 Απλές παλινδρομήσεις:

$$\frac{1}{V} = -13.48 \cdot \log M + 17.97 \quad \mu\epsilon \quad r = -0.61$$

$$\ln V = 2.17 \cdot \ln M - 6.55 \quad \mu\epsilon \quad r = 0.62$$

Τα στατιστικά αποτελέσματα των παλινδρομήσεων ήταν:

Παλιν/τής	Συν/στής	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σιγαν/τος	R <sup>2</sup>	r
logM	-0.4486	0.0822	0.0000	0.378	-0.615
Τετραμένη	8.8467	1.1727	0.0000		
lnM	2.1744	0.3893	0.0000	0.389	0.624
Τετραμένη	-6.5487	1.0297	0.0000		

Πολλαπλές παλινδρομήσεις:

$$\frac{1}{V} = -18.05 \cdot \log M + 0.02 \cdot L - 2.08 \cdot S - 0.15 \cdot G - 1.23 \cdot D_g + 25.14 \quad \mu\epsilon \quad \bar{R}^2 = 0.67$$

$$\frac{1}{V} = 980.65 \cdot M^{-2.17} + 0.04 \cdot L - 1.39 \cdot S - 0.11 \cdot G - 1.031 \cdot D_g \quad \mu\epsilon \quad \bar{R}^2 = 0.68$$

Τα στατιστικά αποτελέσματα των δύο πρώτων παλινδρομήσεων ήταν:

Παλιν/τής	Συν/στής	Τυπικός Συν/στής	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σιγαν/τος	R <sup>2</sup>	$\bar{R}^2$
logM	-18.0489	-0.8193	2.2259	0.0000	0.375	0.670
S	-2.0793	-0.2728	0.9333	0.0310	0.633	
D <sub>g</sub>	-1.2258	-0.4731	0.4852	0.0100	0.661	
L	0.0214	0.1944	0.0109	0.0500	0.686	
G	-0.1513	-0.2965	0.0943	0.0600	0.703	
Σταθερά	25.1376		2.6624	0.0000		
M <sup>-2.17</sup>	980.65	0.8122	0.0992	0.0000	0.361	0.676
S	-1.3850	-0.2718	0.09212	0.0298	0.630	
L	0.0385	0.2375	0.0989	0.0205	0.662	
G	-0.1100	0.3034	0.1025	0.0604	0.684	
D <sub>g</sub>	-1.0303	-0.4427	0.1857	0.0213	0.702	

Οι σχέσεις είναι παρόμοιες με τις επιμέρους σχέσεις. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό είναι ότι για την είσοδο του παλινδρομητή των γονάδων στην εξίσωση, απαραίτητη είναι η χρησιμοποίηση της ποιοτικής μεταβλητής D<sub>g</sub>. Αμέσως μετά το μήκος, που είναι ένας σημαντικός παράγοντας ενιαίας έκφρασης των δειγμάτων, εισέρχονται οι παλινδρομητές (στομάχι και ποιοτική μεταβλητή) που διαχωρίζουν τις δύο περιόδους.

Ο συντελεστής συσχέτισης μειώνεται σημαντικά. Η διασπορά των τιμών της νηκτικής κύστης εξηγείται κυρίως από το μέγεθος του ψαριού και τον όγκο του στομαχιού. Σύμφωνα με τους τυπικούς συντελεστές η διαμόρφωση της τιμής της νηκτικής κύστης γίνεται κατά κύριο λόγο από το μήκος και την ποιοτική μεταβλητή.

### Β.ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ '89-ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ-ΧΕΙΜΩΝΑΣ-ΑΝΟΙΞΗ.

Απλές παλινδρομήσεις.

$$\frac{1}{V} = -21.28 \cdot \log M + 27.17 \quad \mu\epsilon \quad r = -0.52$$

$$\ln V = 2.15 \cdot M - 10.55 \quad \mu\epsilon \quad r = 0.53$$

Τα στατιστικά αποτελέσματα των παλινδρομήσεων ήταν:

Παλιν/τής	Συν/στής	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σημαν/τας	R <sup>2</sup>	r
logM	-13.4423	2.8104	0.0000	0.370	-0.608
Τετρωμένη	17.9618	3.2295	0.0000		
lnM	2.1500	0.4411	0.0000	0.379	0.615
Τετρωμένη	-6.4843	1.1671	0.0000		

Πολλαπλές παλινδρομήσεις.

$$\frac{1}{V} = -9.33 \cdot \log M + 0.31 \cdot L - 0.02 \cdot L \cdot M - 1.29 \cdot D_g - 0.20 \cdot G + 13.18 \quad \mu\epsilon \quad \bar{R}^2 = 0.73$$

$$\frac{1}{V} = 568.29 \cdot M^{-2.15} + 0.28 \cdot L + 0.015 \cdot L \cdot M - 1.07 \cdot D_g - 0.16 \cdot G \quad \mu\epsilon \quad \bar{R}^2 = 0.75$$

Τα στατιστικά αποτελέσματα των παλινδρομήσεων ήταν:

Παλιν/της	Συν/στής	Τυπικός Συν/στής	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σημαν/τας	R <sup>2</sup>	$\bar{R}^2$
logM	9.3373	-0.4224	4.3748	0.0399	0.370	0.728
L	0.3099	2.4128	0.1197	0.0139	0.665	
L*M	-0.0175	-2.1246	0.0082	0.0399	0.704	
D <sub>g</sub>	-1.2863	-0.4652	0.4440	0.0065	0.720	
G	-0.2025	-0.3783	0.0817	0.0181	0.762	
Συνθερά	13.1827		5.0526	0.0100		
M <sup>-2.15</sup>	568.29	0.4299	0.1633	0.0124	0.353	0.749
L	0.2815	2.499	0.7731	0.0026	0.667	
L*M	-0.0149	-2.1946	0.8278	0.0119	0.718	
D <sub>g</sub>	-1.0683	-0.4546	0.1535	0.0054	0.734	
G	-0.1609	-0.3716	0.1465	0.0157	0.775	



Όπως και προηγουμένως οι σχέσεις είναι αντιστρόφως ανάλογες, με μεγαλύτερο συντελεστή συσχέτισης από προηγουμένως. Παραμένει και πάλι σαν ιδιαίτερο χαρακτηριστικό το γεγονός ότι για να εκφραστούν οι γονάδες στην σχέση, πρέπει να χρησιμοποιηθεί η ποιοτική μεταβλητή.

Το ποσοστό της διασποράς εξηγείται κυρίως από το μήκος και το λίπος. Η διαμόρφωση της τιμής της νηκτικής κόστης γίνεται κυρίως από το λίπος και την ποιοτική μεταβλητή και το μήκος.

### Γ. ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ-ΧΕΙΜΩΝΑΣ-ΑΝΟΙΞΗ-ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ '90.

Απλές παλινδρομήσεις.

$$\frac{1}{V} = -21.28 \log M + 27.17 \quad \text{με } r = -0.52$$

$$\ln V = 3.6 \ln M - 10.55 \quad \text{με } r = 0.53$$

Τα στατιστικά αποτελέσματα των παλινδρομήσεων ήταν:

Πάνν/τής	Συν/σλής	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σημαν/τας	R <sup>2</sup>	r
logM	-21.2841	5.6164	0.0005	0.269	-0.519
Τετραμένη	27.1666	6.5773	0.0001		
lnM	3.6489	0.9432	0.0004	0.277	0.527
Τετραμένη	-10.5472	2.5435	0.0002		

Πολλαπλές παλινδρομήσεις.

$$\frac{1}{V} = -20.06 \log M + 0.016 \cdot L - 2.32 \cdot S - 0.14 \cdot G - 1.17 \cdot D_g + 27.76 \quad \text{με } \bar{R}^2 = 0.66$$

$$\frac{1}{V} = 34330.29 \cdot M^{-3.6} - 2.39 \cdot S - 1.12 \cdot D_g - 0.14 \cdot G + 0.015 \cdot L + 2.15 \quad \text{με } \bar{R}^2 = 0.64$$

Τα στατιστικά αποτελέσματα της πρώτης παλινδρόμησης ήταν:

Πάνν/τής	Συν/σλής	Τυπικός Συν/σλής	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σημαν/τας	R <sup>2</sup>	$\bar{R}^2$
S	-2.3249	-0.3060	1.1863	0.0580	0.419	0.664
logM	-20.063	0.4890	4.8023	0.0002	0.636	
D <sub>g</sub>	-1.1730	-0.5282	0.5043	0.0259	0.677	
G	-0.1416	-0.3255	0.0961	0.0700	0.691	
L	0.0162	0.1648	5.8971	0.0800	0.706	
Σταθερά	27.7591		5.90	0.0000		

S	-2.3903	-0.3146	1.2257	0.0592	0.419	0.644
M <sup>-3,6</sup>	34330,29	0.4633	9013,67	0.0005	0.628	
D <sub>g</sub>	-1.1163	-0.5026	0.5186	0.0383	0.662	
G	-0.1412	-0.3247	0.0992	0.0633	0.676	
L	0.0154	0.1574	0.0098	0.0736	0.689	
Στιθερά	2.1520		0.8221	0.0130		

Η σχέση είναι και πάλι αντιστρόφως ανάλογη. Η χρήση της ποιοτικής μεταβλητής δεν επιφέρει καμιά βελτίωση της συσχέτισης. Το βασικό χαρακτηριστικό είναι ότι με την χρησιμοποίηση της ποιοτικής μεταβλητής  $D_g$  η σχέση αποκτά μορφή παρόμοια με όλες τις άλλες επιμέρους σχέσεις. Όπως διαπιστώθηκε η εισοδος της ποιοτικής μεταβλητής είναι απαραίτητη προϋπόθεση για να εκφραστεί ο παλινδρομητής της γονάδας.

Η διασπορά των τιμών του όγκου της νηκτικής κύστης ερμηνεύεται κυρίως από τον παλινδρομητή του στομαχιού και του μήκους. Η διαμόρφωση των τιμών της νηκτικής κύστης γίνεται κυρίως από την μεταβλητή  $D_g$  και το μήκος.

### 3.3.5. ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΕ ΤΟΝ ΜΑΡΤΥΡΑ.

Η αξιοπιστία της μεθόδου που χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή των παραπάνω εξισώσεων ελέγχθηκε με τις τιμές του όγκου της νηκτικής κύστης που μετρήθηκαν στο δείγμα του μάρτυρα (από την εκκένωση της νηκτικής κύστης σε ανεστραμμένο ογκομετρικό σωλήνα – βλ. Ενότητα 2.2.4.).

Οι τιμές των παραμέτρων στα ψάρια του μάρτυρα χρησιμοποιήθηκαν στις εποχιακές εξισώσεις για να υπολογισθούν οι θεωρητικά αναμενόμενες τιμές όγκου της νηκτικής κύστης. Οι αναμενόμενες αυτές τιμές συγκρίθηκαν με τις τιμές που μετρήθηκαν σε ανεστραμμένο ογκομετρικό κύλινδρο (παρατηρηθείσες). Η σύγκριση έγινε με έλεγχο-t, για διάστημα εμπιστοσύνης 95% και για  $\alpha=0.05$ . Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω ΠΙΝΑΚΑ 3.5.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.5** Σύγκριση αναμενόμενων (θεωρητικά υπολογιζόμενων) και μετρηθεισών τιμών του όγκου της νηκτικής κούτσυρας. Μήνας = ο μήνας της δειγματοληψίας, Λ = το ποσοστό βάρους του λίπους στο ξηρό βάρος, Μ = το τυπικό μήκος ψαριού σε cm, Φ = φύλο 1 για τα αρσενικά, 0 για τα θηλυκά, Γ = ποσοστό γονάδας, Α<sub>1</sub> = τιμές που υπολογίζονται με βάση τις λογαριθμικές εξισώσεις, Α<sub>2</sub> = τιμές που υπολογίζονται με βάση τις εκθετικές εξισώσεις, Π = μετρηθείσες τιμές, Ρ = η πιθανότητα αποδοχής της υπόθεσης ότι τα δείγματα δεν διαφέρουν κατά μέσο όρο.

ΜΗΝΑΣ	Λ	Μ	Φ	Γ	Σ	Α <sub>1</sub>	Α <sub>2</sub>	Π	Ρ
4ος	23.18	14.2	1	0.38	0.71	0.39	0.41	0.4	B-A <sub>1</sub> = 0.22 B-A <sub>2</sub> = 0.43
4ος	11.43	15	0	0.26	0.74	0.65	0.61	0.7	
4ος	17.04	14.5	0	0.12	0.46	0.37	0.36	0.3	
4ος	10.29	14.6	0	1.21	0.76	0.55	0.51	0.5	
4ος	15.01	14.1	0	0.41	0.73	0.42	0.40	0.2	
4ος	13.81	13.3	0	0.25	0.60	0.30	0.26	0.2	
4ος	15.89	14.6	0	0.59	0.76	0.52	0.51	0.5	
4ος	12.47	14.5	0	0.18	0.69	0.48	0.45	0.5	
4ος	21.13	14.6	0	0.93	0.66	0.44	0.45	0.5	
4ος	23.64	13.4	0	0.31	0.55	0.28	0.26	0.2	
4ος	12.24	13.4	0	0.23	0.79	0.35	0.31	0.2	
4ος	20.29	14.3	0	0.23	0.63	0.39	0.39	0.4	
4ος	9.92	14.7	0	0.42	0.76	0.59	0.54	0.5	
4ος	13.52	14.1	0	0.54	0.72	0.42	0.39	0.4	
4ος	24.81	13.2	0	0.28	0.65	0.28	0.26	0.2	
4ος	21.30	14	0	0.27	0.58	0.34	0.33	0.2	
10ος	40.90	13.6	1	1.88	0.53	0.21	0.19	0.2	B-A <sub>1</sub> = 0.58 B-A <sub>2</sub> = 0.63
10ος	35.23	15	0	1.62	0.40	0.46	0.42	0.5	
10ος	32.76	13.7	0	0.73	0.47	0.64	0.38	0.5	
10ος	30.67	15.8	0	2.95	0.48	0.48	0.48	0.5	
10ος	37.72	14.5	0	1.82	0.31	0.38	0.34	0.4	
10ος	36.99	14.4	0	2.13	0.32	0.38	0.33	0.3	
10ος	47.85	14.9	0	0.91	0.28	0.29	0.31	0.3	
10ος	22.04	12.6	0	2.56	0.80	0.36	0.21	0.2	

ΜΗΝΑΣ	Λ	Μ	Φ	Γ	Σ	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	Π	P
12ος	2.56	14.4	1	2.00	0.85	0.61	0.85	1	B-A <sub>1</sub> = 0.10 B-A <sub>2</sub> = 0.15
12ος	10.85	13.5	1	3.22	0.66	0.87	1.21	1.2	
12ος	8.16	14.5	1	2.57	0.56	0.61	0.87	1	
12ος	25.92	15.2	0	3.15	0.77	0.51	0.72	0.8	
12ος	26.36	15.5	0	6.18	0.53	0.67	1.11	1.2	
12ος	17.45	14.1	0	4.14	0.89	0.78	1.17	0.9	
12ος	17.25	14.5	0	5.42	0.68	0.84	1.42	1.5	
12ος	25.70	14	1	6.15	0.70	1.07	1.87	1.1	
12ος	12.60	13.1	0	4.33	0.61	1.26	1.82	1.2	
12ος	13.85	15	0	4.64	0.63	0.68	1.07	0.9	
12ος	9.44	15.3	0	7.36	1.10	0.97	2.19	2	
12ος	23.21	14	0	4.70	0.52	0.84	1.28	1	
12ος	13.27	15	0	3.57	0.67	0.60	0.88	0.8	
12ος	9.62	14.5	0	5.63	0.63	0.94	1.70	1.3	
12ος	21.97	14.8	0	7.02	0.60	0.96	1.92	1.2	
12ος	20.75	14.5	1	3.67	6.21	0.65	0.94	0.9	
12ος	33.47	14.1	0	3.05	0.56	0.61	0.82	0.9	
12ος	9.92	15.9	0	6.67	0.49	0.73	1.33	1.2	
7ος'90	44.89	13.6	1	0.00	0.48	0.45	0.79	0.4	B-A <sub>1</sub> = 0.21 B-A <sub>2</sub> = 0.33
7ος'90	43.52	14.6	1	0.00	0.55	0.48	0.97	1	
7ος'90	42.62	12.8	0	0.29	0.57	0.37	0.40	0.4	
7ος'90	38.64	13.5	1	0.00	0.48	0.39	0.57	0.5	
7ος'90	40.05	14.5	0	0.22	0.50	0.48	0.75	0.5	
7ος'90	44.48	14.4	0	0.00	0.37	0.47	0.98	1	
7ος'90	40.08	12.1	1	0.00	0.58	0.29	0.27	0.2	
7ος'90	36.98	12.8	0	0.00	0.48	0.31	0.36	0.3	
7ος'90	34.06	14.2	0	0.00	0.49	0.44	0.70	0.5	
7ος'90	35.26	13.7	0	0.00	0.34	0.38	0.56	0.4	

Ο έλεγχος δείχνει ότι οι τιμές δεν διαφέρουν σημαντικά κατά μέσο όρο. Οι προβλεπόμενες τιμές από τις εκθετικές εξισώσεις έχουν στατιστικά μεγαλύτερη προσαρμογή. Υπάρχει μια τάση για μεροληπτικά μικρότερες παρατηρούμενες τιμές, γεγονός που πρέπει να οφείλεται στην διαφορά ακριβείας της μεθόδου. Η μέθοδος των τομών φαίνεται ότι δίνει ακριβέστερες τιμές, ενώ τα σχετικά ασθενέστερης προσαρμογής αποτελέσματα κατά τον Χειμώνα, θα πρέπει μάλλον να αποδοθούν στην απώλεια τμήματος της γονάδος κατά την εκκένωση της νηκτικής κίστης.

### 3.4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Μέχρι σήμερα οι μελέτες της μεταβολής του μεγέθους της νηκτικής κύστης έχουν περιστραφεί κυρίως γύρω από την σχέση της με την πλευστότητα, την ιστολογία και την φυσιολογία των ψαριών. Έτσι η νηκτική κύστη έχει μελετηθεί κυρίως σε σχέση με το μέγεθος του ψαριού (βάρους και όγκου) και την ποσότητα του αποθηκευμένου λίπους (Blaxter & Batty 1990). Ο προσανατολισμός αυτός ελάχιστα ενδιαφέρει για το πώς επιδρούν οι άλλες μεταβλητές της εσωτερικής φυσιολογίας του ψαριού. Επίσης ελάχιστα (και μάλλον ακαδημαϊκά) ενδιαφέρει το σχήμα της νηκτικής κύστης, η μελέτη της μεταβολής του και το απόλυτο μέγεθος της νηκτικής κύστης. Αναπόφευκτο λοιπόν ήταν να έχουν γίνει ελάχιστα προς αυτές τις κατευθύνσεις.

Με την αξιοποίηση του αερίου της νηκτικής κύστης, από τις ηχοβιοστατικές έρευνες για την εκτίμηση των ιχθυοαποθεμάτων, το σχήμα και το απόλυτο μέγεθος της νηκτικής κύστης έρχεται στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος (Do & Surti 1990). Το σχήμα της νηκτικής κύστης και οι μεταβολές του αποκτούν άμεση πρακτική σημασία, επειδή είναι άμεσα συσχετισμένα με την δυνατότητα πρόβλεψης του μεγέθους του ηχοβιολιζόμενου ψαριού. Η κύρια παράμετρος που έχει άμεση επίπτωση στο μέγεθος της ανακλώσας επιφάνειας του ψαριού είναι ο όγκος της νηκτικής κύστης (Foote & Traynor 1988). Ο νέος αυτός προσανατολισμός επικεντρώνεται το ενδιαφέρον στο πώς συσχετίζονται και πώς επιδρούν το μέγεθος (μήκος) του ψαριού και μεταβολές στην εσωτερική δομή και φυσιολογία του ψαριού (λίπος, γονάδες, στομάχι), στον όγκο που καταλαμβάνει ο αέρας της νηκτικής κύστης μέσα στο ψάρι. Ενδιαφέρει λοιπόν άμεσα το πώς οι αυξομειώσεις του όγκου της νηκτικής κύστης επιδρούν και συσχετίζονται με τις αυξομειώσεις της ανακλαστικής επιφάνειας και του ηχο-ανακλαστικού δυναμικού του ψαριού.

Η μελέτη των διακυμάνσεων του όγκου της νηκτικής κύστης παρουσιάζει ορισμένες δυσκολίες, ιδίως όσον αφορά τους φυσιοστομους δεδομένου ότι:

- 1) Η νηκτική κύστη ανταποκρίνεται στο ενιαίο σύνολο του ψαριού (Blaxter 1979, Blaxter & Batty 1990).
- 2) Παρουσιάζει θετική πλευστότητα στην επιφάνεια, ώστε καταδυόμενη να διατηρεί ουδέτερη πλευστότητα για αρκετά μέτρα βάθος (μέχρι και τα 40m για την εγγύα -Thorne & Thomas 1990).

Παρόλο που οι λόγοι αυτοί είναι αρκετά σημαντικοί ώστε να δικαιολογούν στοχαστικότητα<sup>11</sup> για ένα σημαντικό ποσοστό της διασποράς των τιμών της νηκτικής κύστης, οι σχέσεις που βρέθηκαν δείχνουν ότι ένα μεγάλο ποσοστό της διασποράς (>80%), μπορεί να αποδοθεί στις τέσσερις παραμέτρους που εξετάστηκαν: Μήκος (μέγεθος), ολικό λίπος, γονάδες, στομάχι. Γενικά πάντως, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η στοχαστικότητα της πρόβλεψης του απόλυτου όγκου της νηκτικής κύστης δεν εξαιλείται εντελώς. Αυτό φαίνεται κυρίως από το γεγονός, ότι η επίδραση των παραμέτρων δεν δείχνουν μία τελείως ξεκάθαρη εικόνα της επίδρασής τους, όπως άλλωστε αναμενόταν.

Ο όγκος της νηκτικής κύστης, μαζί με τις άλλες παραμέτρους χρησιμοποιήθηκε για να διερευνηθεί η "συγγένεια" μεταξύ των εποχών. Χρησιμοποιήθηκε ο όγκος της νηκτικής κύστης, και όχι το ποσοστό του όγκου ως προς τον όγκο του ψαριού, γιατί το δεύτερο "αφαιρεί" την επίδραση του μεγέθους του ψαριού. Δεδομένου ότι στο μέγεθος του ψαριού εντοπίζεται το ενδιαφέρον των ηχοβιοστατικών ερευνών, το ποσοστό της νηκτικής κύστης δεν είναι η κατάλληλη παράμετρος.

<sup>11</sup> Στοχαστικότητα είναι το ποσοστό της διασποράς που οφείλεται σε καθαρά τυχαίους λόγους και δεν μπορεί να αποδοθεί ή να ερμηνευθεί από κάποιο συγκεκριμένο παράγοντα από αυτούς που εξετάζονται.

Η μελέτη της "συγγένειας" μεταξύ των δειγμάτων με πολυπαραγοντική ανάλυση ομαδοποίησης, έδειξε ότι τα δείγματα χωρίζονται σε δύο βασικές ομάδες. Στα δείγματα που ανήκουν στην αναπαραγωγική περίοδο και σε αυτά που βρίσκονται εκτός αναπαραγωγικής περιόδου. Το αποτέλεσμα αυτό αποδεικνύεται βασικό, δεδομένου ότι η περαιτέρω ανάλυση δείχνει ότι οι παράμετροι επιδρούν με διαφορετικό τρόπο μέσα σε κάθε περίοδο. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει και ο τρόπος με τον οποίο σχηματίζονται οι δύο αυτές ομάδες, από τις διαφορετικές μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν: Mahalanobis και Penrose. Η ομαδοποίηση με βάση τις αποστάσεις Penrose λαμβάνει υπόψη της τους μέσους όρους και την μεταβλητικότητα τους, δίνοντας αποτελέσματα που στροβιλίζονται στον γραμμικό-συνεχή τρόπο μεταβολής των μεταβλητών. Αντίθετα οι ομάδες Mahalanobis είναι περισσότερο ευαίσθητες σε συνολικές διαφορές δειγμάτων, λαμβάνοντας υπόψη και την αλληλεπίδραση μεταξύ των μεταβλητών. Δεδομένου ότι οι δύο ομαδοποιήσεις έδωσαν εν μέρει διαφορετισμένα αποτελέσματα, είναι αναμενόμενο ότι υπάρχουν παράμετροι που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους (Μπαζιγός Γ. προσωπική επικοινωνία). Στην ομαδοποίηση με βάση τις αποστάσεις Mahalanobis, ξεχωρίζουν αμέσως τα δείγματα που βρίσκονται εντός και εκτός αναπαραγωγικής περιόδου (ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4.). Αντίθετα με τις αποστάσεις Penrose, η ομαδοποίηση είναι βαθμιαία, ομαλότερη και περισσότερη σύμφωνη με μια συνεχή αλλαγή των μεταβλητών: Ομαδοποιούνται πρώτα τα δείγματα "Καλοκαίρι '90" και "Ανοιξη" (μεγάλα ψάρια, γονάδες σε κατάστημα διάπαισης), στην συνέχεια εντάσσεται στην ομάδα το δείγμα "Καλοκαίρι '89" (μικρά ψάρια) και τελικά ξεχωρίζει η ομάδα με τα δύο δείγματα της αναπαραγωγικής περιόδου (ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4.).

Αυτή η διαφορά στην ομαδοποίηση, δείχνει ότι στις ομάδες που σχηματίζονται αμέσως με βάση τις αποστάσεις Mahalanobis, υπάρχουν παράμετροι που αλληλεπιδρούν. Οι παράμετροι που βρέθηκε ότι αλληλεπιδρούν είναι το μήκος και το λίπος. Ο όγκος δηλαδή δεν εξαρτάται μόνο από το μήκος και το ποσοστό λίπους αλλά και από την συσχέτισή τους. Ο παλινδρομητής της αλληλεπίδρασης εξηγεί σημαντικό τμήμα της διαφοράς και εμφανίζεται πάντα άμεσα συνδεδεμένος με το λίπος. Ο συνδυασμός των δύο αυτών παλινδρομητών προσπαθεί να εκθράσει τρία φαινόμενα:

- (α) την επίδραση του λίπους στην μεταβολή του όγκου της νηκτικής κύστης
- (β) στο ποσοστό όγκου της νηκτικής κύστης και τέλος
- (γ) το γεγονός ότι το ποσοστό λίπους τείνει να αυξάνεται με το μέγεθος (Hickling 1945).

Η εξέταση τόσο των εποχιακών όσο και των διεποχιακών σχέσεων έδειξε ότι το πρότυπο των μεταβολών της νηκτικής κύστης έχει ένα καινούριο χαρακτηριστικό: *Βρίσκεται σε σχέση αντιστροφής ανάλογη με τις ανεξάρτητες μεταβλητές* (μήκος, ποσοστό γονάδων, ποσοστό λίπους, ποσοστό στομαχίου). Αυτό σημαίνει ότι ο όγκος της νηκτικής κύστης μεταβάλλεται ταχύτερα, όταν οι τιμές των ανεξαρτητών μεταβλητών είναι μικρότερες. Με άλλα λόγια ο όγκος της νηκτικής κύστης τείνει να μεταβάλλεται όλο και λιγότερο καθώς οι ανεξάρτητες μεταβλητές παίρνουν όλο και μεγαλύτερες τιμές. Το πρότυπο αυτό οφείλεται κυρίως στην επίδραση δύο βασικών μεταβλητών, που ερμηνεύουν συνήθως το μεγαλύτερο ποσοστό της διασποράς των τιμών της νηκτικής κύστης: το μήκος και το ποσοστό λίπους.

Η αποθήκευση λίπους και η νηκτική κύστη είναι δύο βασικοί μηχανισμοί που ελέγχουν την πλευστικότητα. Η αύξηση του ποσοστού λίπους βρίσκεται σε σχέση αντιστροφής ανάλογη με τον όγκο της νηκτικής κύστης. Η νηκτική κύστη συμπληρώνει την άνοση που προκαλεί η αποθήκευση λίπους. Η συμπληρωματικότητα αυτή υποδηλώνει και μια άλλη ιδιότητα: Σε μεγάλες συγκεντρώσεις λίπους (όπως αυτές που παρατηρούνται στην *Sardina pilchardus*, χρειάζονται όλο και μεγαλύτερες αυξήσεις του ποσοστού λίπους για όλο και μικρότερες μειώσεις του όγκου της νηκτικής κύστης. Σε μεγάλες συγκεντρώσεις λίπους, η περαιτέρω προσθήκη λίπους οδηγεί σε *δυσανάλογα μικρότερη* μείωση του όγκου της νηκτικής κύστης. Σύμφωνα με τους Iles και Wood (1965) η αποθήκευση του λίπους περιορίζεται και από την

νηκτική κύστη, ώστε να μην έχουμε πλήρη εξαφάνισή της. Το λίπος μειώνει την νηκτική κύστη σε ορισμένα όρια.

Αντίστοιχες ιδιότητες είναι γνωστό ότι ισχύουν στις σχέσεις μήκους-βάρους και μήκους-όγκου. Ο όγκος και το βάρος στα μεγάλα ψάρια αυξάνονται γρήγορα με την αύξηση του μήκους. Καθώς τα ψάρια τείνουν προς το οριακό τους μέγεθος οι ίδιες αυξήσεις μήκους προκαλούν πολλαπλάσια μεγαλύτερες μεταβολές του όγκου και του βάρους του ψαριού (McLennan & Simmonds 1992). Η επίδραση αυτή αντανακλάται άμεσα στον όγκο της νηκτικής κύστης. Με αποτέλεσμα οι σχέσεις να εκφράζονται πολύ καλά και με αντιστρόφως ανάλογα μοντέλα.

*Το γενικό αποτέλεσμα* είναι πάντα, ότι όσο οι παράμετροι τείνουν προς τις "μέγιστες" τιμές τους, τόσο ο όγκος της νηκτικής κύστης τείνει να σταθεροποιηθεί. Αυτό το πρότυπο, εξηγεί την ιδιόμορφη συμπεριφορά του δείγματος "Καλόκαιρι '89" που αποτελείται κυρίως από μικρά ψάρια, και από ορισμένες ιδιομορφίες που παρατηρούνται στο δείγμα του Χειμώνα, το οποίο αποτελείται από πολύ μεγάλα άτομα. Τα προβλήματα αυτά εξετάζονται στην συνέχεια.

Στην εκτός αναπαραγωγής περίοδο, η κύρια παράμετρος που καθορίζει τον όγκο της νηκτικής κύστης, είναι το μήκος του ψαριού. Όπως είναι αναμενόμενο, καθώς το ψάρι μεγαλώνει αυξάνεται ο όγκος της νηκτικής κύστης, δεδομένου ότι πρέπει να αντισταθμιστεί μεγαλύτερο βάρος. Όσον αφορά τις άλλες παραμέτρους:

(Α) Το λίπος δείχνει γενικά αρνητική συσχέτιση με το μέγεθος της νηκτικής κύστης, δεδομένου ότι και τα δύο μεγέθη αναφέρονται στην πλευστότητα του ψαριού. Η σχέση αυτή είναι ιδιαίτερα καθαρή σε σχετικώς χαμηλότερα επίπεδα λίπους. Ωστόσο σε ορισμένες περιπτώσεις που έχουμε μεγάλα εύρος μεγάλων και υψηλές τιμές λίπους είναι δυνατόν να εμφανίζεται ασθενής θετική συσχέτιση του ποσοστού λίπους και του όγκου της νηκτικής κύστης. Αυτό είναι αποτέλεσμα δύο τάσεων:

- 1) Της τάσης του ποσοστού λίπους να αυξάνεται με το μέγεθος (Hickling 1945, Neighbors 1992).
- 2) Της τάσης του ποσοστού λίπους να επηρεάζει ελάχιστα την νηκτική κύστη, πέρα από ορισμένα μέγιστα όρια (Hes & Wood 1965).

Το αποτέλεσμα αυτό παρατηρείται στις σχέσεις που εμπειρεύεται το δείγμα "Καλόκαιρι '90", το οποίο παρουσιάζει αυτά τα χαρακτηριστικά. Σε αυτές τις περιπτώσεις είναι αναγκαία η είσοδος του παλινδρομητή της αλληλεπίδρασης, ο οποίος στην συγκεκριμένη περίπτωση εκφράζει το γεγονός ότι το ποσοστό της νηκτικής κύστης μειώνεται αν και ο απόλυτος όγκος αυξάνει με το μέγεθος (Εικόνα 3.13).

(Β) Το στομάχι, όταν εμφανίζεται στις σχέσεις, δείχνει θετική συσχέτιση με τον όγκο της νηκτικής κύστης. Η επίδρασή του εμφανίζεται μόνο όταν υπάρχουν έντονες διαφοροποιήσεις στον όγκο του. Η συμμετοχή του στην διαμόρφωση του όγκου της νηκτικής κύστης και στην ερημνεία της διασποράς της είναι πάντα μικρή. Οι διαπιστώσεις αυτές είναι αντίθετες με τις παρατηρήσεις του Ona (1987c, 1990) για τον βακαλάο, όπου το γεμάτο στομάχι, προκαλεί εντονότερες παραμορφώσεις στην νηκτική κύστη, "κάνοντας το σχήμα της αγνώριστο και μειώνοντας μέχρι και 50% τον όγκο της". Η σημαντική αυτή διαφορά, τόσο στο μέγεθος όσο και στον τρόπο της επίδρασης, πιθανότατα οφείλεται στον διαφορετικό τύπο των οργανισμών. Ο βακαλάος είναι καταβροχθιστής-φυσόκλειστος, είχε τραφεί με ολόκληρα ψάρια και το στομάχι του έχει δυνατότητες διαστολής ώστε να χωρά μεγάλες ποσότητες "σημιαγούς" τροφής. Ένα πρώτο που παραμένει αναπάντητο είναι αν ο βακαλάος κατά την θρέψη παράγει αέριο για να εξουδετερώσει το βάρος της τροφής ή απλώς αντισταθμίζει την πρόσκαιρη αύξηση βάρους με κολύμβηση.

Αντίθετα η *Sardina pilchardus* είναι φυσόστομος-δηθηματοφάγος (Hickling 1945). Το

πλαγκτόν το οποίο αποτελεί την τροφή του δεν προκαλεί σοβαρές παραμορφώσεις στο στομάχι συσφραγούμενο σε υπερβολικές ποσότητες. Η θετική συσχέτιση στομαχίου και νηκτικής κύστης πιθανόν οφείλεται στο πρόσθετο βάρος που αποκτά το ψάρι λόγω της τροφής και στην ανάγκη αντιστάθμισης του βάρους αυτού με προσθήκη αερίου. Είναι φανερό ότι αυτή η προσθήκη βάρους, ελάχιστα συνεισφέρει στο συνολικό βάρος και στην αναγκαστικά αντιστάθμιση του, πλην όμως είναι υπαρκτή. Ο παλινδρομητής του στομαχίου εμφανίζεται στα δείγματα ή στις ενώσεις δειγμάτων, όταν υπάρχουν έντονες διαφοροποιήσεις του βαθμού πλήρότητας. Αντίθετα μέσα στα δείγματα του Καλοκαιριού δεν εμφανίζεται, γιατί όλα τα ψάρια κάθε δείγματος, βρίσκονται σε παραπλήσιες συνθήκες και έχουν παραπλήσιες πληρότητες στομαχίων. Αυτό σε συνδυασμό με την ούτως ή άλλως μικρή επίδραση της παραμέτρου οδηγεί στην έκπτωση της παραμέτρου από τις σχέσεις.

Η επίδραση του στομαχίου θα πρέπει να αξιοποιείται με προσοχή και να διερευνηθεί πληρέστερα με δεδομένα πεδίου. Είναι γνωστό ότι η *Sardina pilchardus* τρέφεται κυρίως νωρίς το απόγευμα και λίγο πριν χαράζει (Muzinic 1964b), ενώ το γέμισμα της νηκτικής κύστης ή η συμπλήρωση του αερίου γίνεται πριν τα ψάρια καταδυθούν. Είναι λοιπόν πιθανό το γέμισμα της νηκτικής κύστης να γίνεται με γαμάτο στομάχι, το οποίο αδειάζει στην συνέχεια με τη χώνευση, όταν το ψάρι βρίσκεται σε βαθύτερα νερά. Το γεγονός αυτό δεν συνοδεύεται βέβαια από αντιστοιχη μείωση της πυκνότητας αερίου. Πάντως, ούτως ή άλλως, το στομάχι έχει ελάχιστη επίδραση στην διαμόρφωση της τιμής της νηκτικής κύστης.

(Γ) Οι γονάδες δεν φαίνεται να επιδρούν και απουσιάζουν από την εκτός αναπαραγωγής περίοδο. Την περίοδο αυτή οι γονάδες βρίσκονται σε κατάσταση διάπαυσης και τόσο ο όγκος τους όσο και οι αυξομειώσεις τους είναι ελάχιστες.

Όπως προαναφέρθηκε η διασπορά των τιμών της νηκτικής κύστης ερμηνεύεται κυρίως από το μήκος. Οι άλλες παράμετροι προκαλούν ελάχιστες διακυμάνσεις που επιθέτονται του μήκους. Το μήκος είναι επίσης η παράμετρος που κυρίως διαμορφώνει την τιμή του όγκου της νηκτικής κύστης. Αν και οι διαπιστώσεις αυτές ισχύουν σαν γενικούς κανόνες, υπάρχουν αποκλίσεις που σχετίζονται με την διακύμανση των τιμών των μεταβλητών. Γενικά το μήκος είναι πολύ σημαντικό μέσα σε κάθε δείγμα και μειώνεται σχετικά στις διεποχιακές ενώσεις των δειγμάτων. Αυτό δείχνει ότι το μήκος έχει κυρίαρχο ρόλο όταν οι άλλες παράμετροι είναι σχετικά σταθεροποιημένες. Πιθανώς αυτός είναι ένας από τους λόγους, για τον οποίο το μήκος έχει θεωρηθεί η κύρια (και συνήθως μοναδική) παράμετρος για την έκφραση του ηχοανακλαστικού δυναμικού των ψαριών (Cushing et al. 1963, Love 1977, McLennan & Simmonds 1992). Το σημείο αυτό θα διερευνηθεί πληρέστερα στην επόμενη ενότητα με την μελέτη των μεταβολών της μέγιστης διατομής της νηκτικής κύστης.

Στις παραγοντικές σχέσεις, ο εκθέτης του μήκους παραμένει γύρω από το 3 (2,5-2,7-3,5), αυξανόμενος όσο αυξάνεται το μέσο μήκος των ψαριών κάθε δείγματος. Αυτό είναι μια ένδειξη ότι πιθανώς η νηκτική κύστη τείνει να γίνει "σφαιρικότερη" όσο το μέγεθος του ψαριού αυξάνει. Το σημείο αυτό θα διερευνηθεί πληρέστερα στην επόμενη ενότητα, με την αναλυτικότερη μελέτη του σχήματος της νηκτικής κύστης. Τέλος η "συχνή έκπτωση" του σταθερού όρου από τις εξισώσεις είναι μια ένδειξη ότι οι παράμετροι που μελετώνται είναι αυτές που κυρίως διαμορφώνουν τον όγκο της νηκτικής κύστης.

Το δείγμα του "Καλοκαιριού '89", παρουσιάζει μία σημαντική διαφοροποίηση στα δείγματα εκτός αναπαραγωγικής περιόδου. Η ιδιομορφία του δείγματος είναι ότι ο όγκος της νηκτικής κύστης δείχνει γραμμική συσχέτιση με τις παραμέτρους. Αυτό πρέπει να προέρχεται από το γεγονός ότι τα άτομα του δείγματος είναι κυρίως μικρά ψάρια. Στο δείγμα αυτό το ποσοστό της νηκτικής κύστης είναι το μεγαλύτερο που παρατηρείται, ξεπερνώντας σε



ορισμένες περιπτώσεις το 3%. Η διαφορά του προτύπου που παρουσιάζεται, θα πρέπει μάλλον να αποδοθεί στο πρότυπο αύξησης και στους ρυθμούς αύξησης των μικρών ψαριών. Στα μικρά ψάρια (γύρω στα 11cm ή μικρότερα), τα ποσοστά του λίπους είναι πολύ μικρά και δεν παρατηρείται σχηματισμός λιπώδους ιστού (Strange & Pelton 1987). Τα πρώτα ίχνη λιπώδους ιστού παρατηρούνται σε ψάρια σαφώς μεγαλύτερα από 11cm. Πιθανότατα αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα μικρά ψάρια αναπτύσσονται γρήγορα, απορροφώντας όλη την ενέργεια για ανάπτυξη και όχι για αποθήκευση λίπους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα ποσοστά λίπους του δείγματος να είναι χαμηλότερα από κάθε άλλο δείγμα (ακόμη και από το δείγμα της "Ανοιξης", στο οποίο τα ζώα έχουν "ξεαντλήσει" το μέγιστο μέρος του αποθέματος λίπους).

Η απόκλιση αυτή έρχεται να ενισχύσει όσα προαναφέρθηκαν για το πρότυπο μεταβολής της νηκτικής κύστης. Το γραμμικό πρότυπο των μικρών ψαριών δείχνει ότι ο όγκος της νηκτικής κύστης αυξάνεται αναλογικά και με σταθερό ρυθμό σε σχέση με τις ανεξάρτητες μεταβλητές. Δείχνει δηλαδή, ότι οι μεταβολές, για μικρότερες τιμές των παραμέτρων, είναι ταχύτερες από ότι στα μεγαλύτερα, δεδομένου ότι το αναλογικό πρότυπο δείχνει ταχύτερη μεταβολή σε σχέση με το αντιστρόφως ανάλογο, για ίσες μεταβολές των ανεξαρτητών μεταβλητών. Για τους παραπάνω λόγους όταν το δείγμα αυτό ενώνεται με κάποιο άλλο, προκαλούνται αποκλίσεις από τις συνήθεις σχέσεις. Το αποτέλεσμα είναι οι ενώσεις των δειγμάτων που εμπεριέχονται το δείγμα "Καλοκαίρι '89" εκφράζονται με σχέσεις που αποτελούνται σχεδόν αποκλειστικά από το μήκος. Το λίπος δεν εμφανίζεται σε αυτές τις σχέσεις, πιθανότατα γιατί εμφανίζει διαφορετικά πρότυπα συσσωρευτικής στους ιστούς του ψαριού.

*Κατά την αναπαραγωγική περίοδο, η σχέση μεταξύ των μεταβλητών ανατρέπεται βαθμιαία. Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό είναι η ανάπτυξη των γονάδων. Η παράμετρος του ποσοστού όγκου των γονάδων εισέρχεται στις σχέσεις εκπηρεζοντας καθοριστικά την διαμόρφωση της τιμής του όγκου της νηκτικής κύστης.*

Το Φθινόπωρο, το μήκος εξακολουθεί να ερμηνεύει το μεγαλύτερο ποσοστό της διασποράς της νηκτικής κύστης, δεν έχει όμως καθοριστικό ρόλο στην διαμόρφωση της τιμής της. Η τιμή της νηκτικής κύστης διαμορφώνεται περίπου ισότιμα από όλες τις μεταβλητές, με κυρίαρχη την ποιοτική μεταβλητή του φέλου, που ουσιαστικά συνδέει το μήκος με την γονάδα, λόγω φυλετικού διμορφισμού. Επιβεβαιώνεται και εδώ ότι καθώς η μεταβλητικότητα (διασπορά) των τιμών των υπολοίπων μεταβλητών αυξάνεται, η επίδραση του μήκους στην διαμόρφωση της νηκτικής κύστης μειώνεται. Όταν αφορά τις άλλες παραμέτρους:

(Α) Το Φθινοπωρινό δείγμα, είναι το μόνο δείγμα στο οποίο εμφανίζεται η ποιοτική μεταβλητή του φέλου. Τα αρσενικά άτομα είναι μικρότερα από τα θηλυκά (Hickling 1945, Culley 1970). Ταυτόχρονα σε αυτή την περίοδο, ο γοναδοσωματικός δείκτης των αρσενικών είναι μικρότερος από των θηλυκών. Το γεγονός αυτό οδηγεί στην εμφάνιση της ποιοτικής μεταβλητής που "διαχωρίζει" τα φύλα, για να εκφραστούν αποτελεσματικότερα οι υπόλοιπες μεταβλητές. Η ποιοτική μεταβλητή εκφράζει το γεγονός ότι τα αρσενικά άτομα έχουν όλες τις παραμέτρους που αυξάνουν την νηκτική κύστη, συστηματικά μικρότερες από τα θηλυκά. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο όγκος της νηκτικής κύστης είναι θετικά συσχετισμένος με το ποσοστό όγκου των γονάδων. Εμφανίζεται αρνητικά συσχετισμένος μετά την "απομάκρυνση" του φυλετικού διμορφισμού, που έχει κυρίαρχη επίδραση πάνω στο δείγμα. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι η σημαντικότητα του μήκους σε αυτό το δείγμα είναι "δοτή": ενισχύεται κυρίως λόγω των επιδράσεων του φυλετικού διμορφισμού.

(Β) Το ποσοστό λίπους εμφανίζεται όπως σε όλα τα δείγματα αρνητικά συσχετισμένο με τον όγκο της νηκτικής κύστης.

(Γ) Το στομάχι δεν έχει καμιά επίδραση. Αυτό είναι αναμενόμενο δεδομένου ότι δεν

υπάρχει ή υπάρχει ελάχιστη τροφή μέσα στα στομάχια κατά την φθινοπωρινή περίοδο (Hickling 1945, Muzinic 1963).

Τον Χειμώνα έχουμε πλήρη ανατροπή της εικόνας. Αυξάνονται σημαντικά οι επιδράσεις των άλλων παραμέτρων, ενώ η επίδραση του μήκους μειώνεται στο ελάχιστο. Το ποσοστό των γονάδων γίνεται τώρα καθοριστικό, έχοντας έντονη επίδραση στη διασπορά των τιμών της νηκτικής κώστης. Είναι χαρακτηριστικό ότι για να εκφραστούν οι άλλες παράμετροι πρέπει να "αφαιρεθεί" η επίδραση της γονάδας. Επίσης η τιμή της κώστης διαμορφώνεται κυρίως από το ποσοστό των γονάδων (κατά  $\approx 49\%$ ). Όσον αφορά τις άλλες παραμέτρους:

(Α) Εκείνο που παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον είναι ότι η συσχέτιση μήκους και όγκου νηκτικής κώστης είναι αρνητική. Η αποκλιση αυτή ενισχύει όσα προαναφέρθηκαν για το πρότυπο των μεταβολών της νηκτικής κώστης. Σύμφωνα με αυτό, ο όγκος της νηκτικής κώστης τείνει να μεταβάλλεται λιγότερο στις μέγιστες τιμές των παραμέτρων. Το δείγμα του Χειμώνα αποτελείται σχεδόν αποκλειστικά από πολύ μεγάλα ψάρια που έχουν πολύ ανεπτυγμένες γονάδες. Η πλειοψηφία των ψαριών είναι μεγαλύτερα από τα ψάρια των υπολοίπων δειγμάτων. Σύμφωνα με το πρότυπο μεταβολής, περιμένουμε ότι ο όγκος της νηκτικής κώστης θα τείνει προς την "σταθεροποίηση" της μεταβολής του. Πράγματι στο δείγμα του Χειμώνα ο όγκος της νηκτικής κώστης φθάνει στην μέγιστη τιμή του. Πιθανώς φθάνει και κοντά στα όρια πέρα από τα οποία δεν μπορεί να αυξηθεί περαιτέρω. Το φαινόμενο αυτό, να υπάρχει δηλαδή σταθερότητα ή αρνητική συσχέτιση του όγκου της νηκτικής κώστης όταν το μήκος των ψαριών πλησιάζει το μέγιστο, έχει επιστημονική από διάφορους ερευνητές (Neighbors 1992, Saenger 1989). Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η παραδοσιακή συσχέτιση μήκους-νηκτικής κώστης, μπορεί να ανατραπεί, ανάλογα με την επίδραση των άλλων παραμέτρων π.χ. του λίπους που βρίσκεται σε αρκετά υψηλά επίπεδα. Αυτό έρχεται να επιβεβαιώσει ότι οι άλλοι παράγοντες (και κυρίως οι γονάδες), παίζουν κυρίαρχο ρόλο στον καθορισμό του όγκου της νηκτικής κώστης. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η οριακή μείωση του όγκου της νηκτικής κώστης δεν επιδρά στην επιφανειακή πλειυστότητα, δεδομένου ότι όπως ή άλλως η νηκτική κώστη έχει θετική πλειυστότητα στην επιφάνεια (Thorne & Thomas 1990).

(Β) Στο δείγμα αυτό ο γοναδοσωματικός δείκτης και των δύο φύλων είναι παραπλήσιος, με αποτελέσματα να μην εμφανίζεται ο παλινδρομητής του φύλου στις σχέσεις. Το λίπος παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση με τον όγκο της νηκτικής κώστης. Τα στομάχια είναι όλα άδεια με αποτέλεσμα το ποσοστό του στομαχίου να μην εμφανίζεται στις σχέσεις.

Συνολικά κατά την αναπαραγωγική περίοδο, ο ενοποιητικός παράγοντας των μεταβολών της νηκτικής κώστης στα δύο δείγματα είναι το λίπος. Οι εν μέρει διαφοροποιημένες επιδράσεις των άλλων παραγόντων στα δύο δείγματα, είναι δυνατόν να εκφραστούν κατ' αρχήν από το λίπος που επηρεάζει σταθερά και ομοιόμορφα τον όγκο της νηκτικής κώστης. Επίσης κατά την αναπαραγωγική περίοδο οι τιμές των παραμέτρων φθάνουν στο μέγιστο: εκτός από τις γονάδες και το μήκος, το λίπος επίσης φθάνει στο μέγιστο το Φθινόπωρο. Οι μεταβολές τους επομένως προκαλούν δυσανάλογα μικρότερες μεταβολές στην νηκτική κώστη. Η θετική συσχέτιση του παλινδρομητή αλληλεπίδρασης εκφράζει πιθανότατα το γεγονός ότι το ποσοστό της νηκτικής κώστης αυξάνεται περισσότερο από τον απόλυτο όγκο της νηκτικής κώστης, δεδομένου ότι αντιστοιχεί σε όλο και πιο αδύνατα (μικρότερο ποσοστό λίπους) ψάρια.

Μετά την απομάκρυνση του λίπους και της αλληλεπίδρασης, ο όγκος της νηκτικής κώστης είναι θετικά συσχετισμένος με το ποσοστό των γονάδων και αρνητικά με το μήκος. Οι δύο αυτοί παράγοντες έχουν συμπληρωματικό ρόλο στην εξημέρεια της διασποράς και στην διαμόρφωση της τιμής της νηκτικής κώστης.

Στην επόμενη ενότητα διερευνάται πλήρως η αρνητική συσχέτιση του όγκου της νηκτικής

κύστης με το μήκος. Αυτό έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον δεδομένου ότι μπορεί να δώσει μια ερμηνεία στα προβλήματα πρόβλεψης του ηχο-ανακλαστικού δυναμικού του ψαριού κατά την αναπαραγωγική περίοδο, που επισημαίνουν πολλοί ερευνητές (Osa 1990, McLennan & Simmonds 1992).

*Η ενοποίηση όλων των δειγμάτων, έδωσε σχέση με αισθητά μικρότερη προσαρμογή στα δεδομένα από όλες τις άλλες (ερμηνεία διασποράς από 65%-73%). Με την είσοδο της ποιοτικής μεταβλητής, που διαχωρίζει την αναπαραγωγική από την εκτός αναπαραγωγής περίοδο, τα αποτελέσματα βελτιώνονται, αλλά πολύ λίγο. Τα σημαντικά χαρακτηριστικά των σχέσεων αυτών είναι ότι η τιμή της νηκτικής κύστης σε όλες τις σχέσεις καθορίζεται από δύο βασικούς παράγοντες: Το μήκος του ψαριού και την ποιοτική μεταβλητή που διαχωρίζει τις δύο περιόδους.*

*Η χρησιμοποίηση της ποιοτικής μεταβλητής  $D_0$  έχει δύο επιδράσεις:*

- 1) Εξομαλύνει την μορφή των σχέσεων και τους δίνει μορφή παρόμοια με εκείνη όλων των άλλων επιμέρους σχέσεων.
- 2) Είναι απαραίτητη για να εισαχθεί στις σχέσεις η επίδραση της γονάδας, που είναι σημαντική για την αναπαραγωγική περίοδο.

*Γενικά η χρησιμοποίηση της ποιοτικής μεταβλητής ενισχύει την άποψη ότι τα δείγματα διαχωρίζονται με βάση την ανάπτυξη των γονάδων (αν ανήκουν ή όχι στην αναπαραγωγική περίοδο). Τα αποτελέσματα αυτά ενισχύουν τα συμπεράσματα από την ανάλυση ομαδοποίησης και των επιμέρους σχέσεων. Δεν φαίνεται όμως να είναι δυνατόν να εκφραστούν οι ετήσιες μεταβολές του όγκου της νηκτικής κύστης από μια πολύ καλή ενιαία σχέση. Οι διαφορετικοί τρόποι επίδρασης των παραμέτρων εντός και εκτός αναπαραγωγικής περιόδου, είναι πιθανότατα υπερόπθνες γι' αυτό.*

*Ενα ακόμη σημείο το οποίο πρέπει να σημειωθεί είναι ότι η χρησιμοποίηση του δείγματος "Καλοκαίρι '89" (μικρά ψάρια) δίνει, σύμφωνα με τους εκθέτες του μήκους μια περισσότερο ελλειψοειδή έκφραση, ενώ η αφαίρεσή του δίνει μια περισσότερο σφαιρική έκφραση στο σχήμα της νηκτικής κύστης. Οι παρατηρήσεις αυτές γίνονται αντικείμενο διεξοδικότερης συζήτησης στην επόμενη ενότητα, συνδυαζόμενες με τα αποτελέσματα του σχήματος της μέγιστης διατομής της νηκτικής κύστης.*

*Ενα γενικό συμπέρασμα το οποίο μπορεί να βγει συνολικά από τα αποτελέσματα, είναι ότι για την περιγραφή των διακυμάνσεων του όγκου της νηκτικής κύστης, είναι απαραίτητες δύο τουλάχιστον σχέσεις, δύο τουλάχιστον μοντέλα. Ενα που αναφέρεται στην περίοδο αναπαραγωγής και ένα που αναφέρεται στην εκτός αναπαραγωγής περίοδο. Οι εποχιακές σχέσεις δίνουν ακριβέστερα αποτελέσματα, αλλά η χρησιμοποίησή τους θέλει προσοχή. Αν οι παράμετροι που μετρώνται έχουν τιμές μέσα στο εύρος των τιμών που χρησιμοποιήθηκαν στις εποχιακές σχέσεις, είναι προτιμότερο να χρησιμοποιούνται αυτές οι σχέσεις. Αν αντίθετα είναι έξω από αυτό το εύρος τιμών, τότε είναι οπωσδήποτε και ακριβέστερο, να χρησιμοποιούνται οι διεποχιακές σχέσεις, γιατί είναι αυξημένες οι πιθανότητες οι εποχιακές σχέσεις να δώσουν λάθος αποτελέσματα. Για την χρησιμοποίηση των εποχιακών σχέσεων ικανή και αναγκαία συνθήκη είναι να πληρούνται όλα τα χαρακτηριστικά του δείγματος που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό τους (Foote 1979b, Wannacott & Wannacott 1981). Για παράδειγμα, σε ψάρια που Φθινοπώρου πριν χρησιμοποιηθεί η αντίστοιχη εποχιακή σχέση, θα πρέπει να εξεταστεί και αν πράγματι ο γοναδοσωματικός δείκτης αρσενικών και θηλυκών διαφέρει αισθητά ώστε να υπάρχει αναγκαιότητα να εισαχθεί η ποιοτική μεταβλητή του φύλου. Σε αντίθετη περίπτωση πρέπει να εφαρμοστεί η εξίσωση των ενοποιημένων δειγμάτων. Φαίνεται επίσης, ότι είναι προτιμότερο ο όγκος της νηκτικής κύστης των μικρών ψαριών (πριν αρχίσει η ενεργός αποθήκευση λίπους) να περιγράφεται από την ιδιαίτερη γραμμική σχέση του*

δείγματος "Καλοκαίρι '89". Θα πρέπει πάντως να σημειωθεί ότι η σχέση αυτή αναφέρεται ουσιαστικά σε ένα μάλλον περιορισμένο διάστημα της ζωής των ψαριών (1-2 μήνες μετά την στρατολόγησή τους) (Morales-Nin & Pertierra 1990). Το γεγονός αυτό δίνει μια μάλλον περιορισμένη αξία στην πρακτική εφαρμογή της σχέσης.

*Ο έλεγχος της ακρίβειας και της ρεαλιστικότητας*, της μεθόδου που χρησιμοποιήθηκε, καθώς και των σχέσεων που βρέθηκαν, επιβεβαίωσε τα αποτελέσματα. Η σύγκριση των θεωρητικά αναμενόμενων τιμών (που υπολογίζονται από τις σχέσεις) και των τιμών που μετρήθηκαν (από την εκκένωση της νηκτικής κύστης), έδειξαν καλή συμφωνία. Το πιθανότερο είναι ότι η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των σχέσεων είναι ακριβέστερη από αυτή του μάρτυρα. Υπάρχει μια τάση (όχι στατιστικά σημαντική), η μέθοδος του μάρτυρα να υπερεκτιμή τον όγκο της νηκτικής κύστης (Ona 1987a), προκαλώντας ταυτόχρονα υποεκτίμηση στα θεωρητικά αναμενόμενα αποτελέσματα. Αυτό πιθανότατα οφείλεται σε δύο λόγους:

- 1) Μετά την εκκένωση, ο όγκος της νηκτικής κύστης συμπεριφέρεται σαν ελεύθερη φυσσαλίδα. Η πίεση από τα τοιχώματα, λόγω του μυϊκού τόνου του ψαριού, δεν υπάρχει κι αυτό πιθανότατα αυξάνει τον όγκο του μετρηθέντος αερίου.
- 2) Κατά την δειγματοληψία προκαλούνται ουστηματικά σφάλματα. Επειδή κατά την εκκένωση η νηκτική κύστη γίνεται με κοιλιακή πίεση προς την αμάρα, συχνά χάνεται ένα τμήμα της γονάδας ή του περιεχομένου του πεπτικού συστήματος. Το πρώτο ήταν ιδιαίτερα έντονο στο Χειμερινό δείγμα. Τόσο το στομάχι αλλά κυρίως η γονάδα είναι βετικά συσχετισμένα με τον όγκο της νηκτικής κύστης. Η υποεκτίμηση λοιπόν αυτών των παραμέτρων οδηγεί σε υποεκτίμηση του όγκου της νηκτικής κύστης που υπολογίζεται από τις εξισώσεις. Η υποεκτίμηση αυτή είναι ιδιαίτερα έντονη κατά τον Χειμώνα, όταν δηλαδή οι γονάδες είναι σε πλήρη ανάπτυξη.

Υπάρχει βέβαια πάντα και η περίπτωση συστολής του αερίου της νηκτικής κύστης λόγω της ψύξης, παρόλο που ο Ona (1990) έχει δείξει ότι αυτό δεν έχει σημαντική επίδραση. Σε κάθε περίπτωση πάντως, τα δύο προαναφερθέντα στατιστικά σφάλματα είναι ασφαλώς ισχυρότερα. Εξάλλου, αφού παρόλα αυτά, ο έλεγχος με τα δείγματα δεν έδειξε διαφορές, μπορούμε να είμαστε βέβαιοι για την ικανοποιητική ακρίβεια της μεθόδου. Μια συνολική αποτίμηση της μεθόδου και των βελτιώσεων που έγιναν γίνεται στην συζήτηση της επόμενης ενότητας.

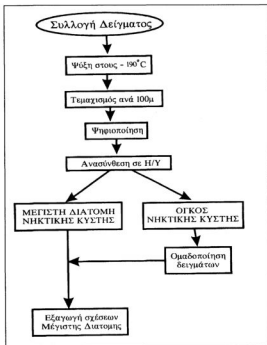
### **3.5. ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Στην ενότητα αυτή παρουσιάστηκαν οι βασικές πλευρές της εξέλιξης, ανατομίας, φυσιολογίας και λειτουργίας της νηκτικής κύστης. Περιγράφηκε ο τρόπος με τον οποίο σχηματίστηκε ο ψηφιακός χάρτης του ψαριού και των οργάνων του σε H/Y, καθώς και ο τρόπος με τον οποίο υπολογίστηκαν οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν σαν ανεξάρτητες μεταβλητές στις σχέσεις. Το πρότυπο των μεταβολών του όγκου της νηκτικής κύστης είναι αντιστρόφως ανάλογο με τις παραμέτρους που χρησιμοποιήθηκαν. Οι σχέσεις που προέκυψαν έδειξαν πολύ καλή προσαρμογή και γενικώς καλά αποτελέσματα. Για την περιγραφή των μεταβολών της νηκτικής κύστης είναι απαραίτητες δύο τουλάχιστον σχέσεις: μία εκτός και μία εντός της αναπαραγωγικής περιόδου. Στην πρώτη περίοδο κυρίαρχη παράμετρος είναι το μήκος, ενώ στην δεύτερη οι γονάδες. Τα μικρά άτομα παρουσιάζουν ένα διαφοροποιημένο πρότυπο ανάπτυξης και μάλλον θα πρέπει να περιγραφούν από μια ιδιαίτερη γραμμική σχέση. Κατά την αναπαραγωγική περίοδο είναι δυνατόν οι μεταβολές της νηκτικής σχέσης να είναι αρνητικά συσχετισμένες με το μήκος

του φαριού. Τέλος οι θεωρητικά υπολογιζόμενες τιμές έδειξαν καλή συμφωνία με τις μετρηθείσες τιμές του μάρτυρα. Τα αποτελέσματα αυτής της ενότητας είναι απαραίτητο να συγκριθούν, με τα αποτελέσματα που έδωσαν οι σχέσεις της μέγιστης διατομής της νηκτικής κύστης, που εξετάζονται στην επόμενη ενότητα.



#### 4. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΗΧΟ-ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΤΗΣ ΣΑΡΔΕΛΛΑΣ







## **4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Η χρήση των ηχοβολιστικών στην αλιευτική έρευνα προσφέρει μια καλή και αμερόληπτη μέθοδο εκτίμησης της ποσότητας των ψαριών που βρίσκονται στην στήλη (κυρίως) του νερού. Απαραίτητη προϋπόθεση για την μετατροπή ηχοβολιστικών δεδομένων σε ποσοτικές πληροφορίες για τα ψάρια (αριθμός/μονάδα όγκου ή βάρος/μονάδα όγκου), είναι η καλή γνώση της ηχητικής ανακλαστικότητας των ψαριών. Χρειάζεται να γνωρίζουμε δηλαδή την ποσότητα του ήχου που ανακλά το κάθε ψάρι και ανηγνέεται από το ηχοβολιστικό μηχανήμα: το ηχο-ανακλαστικό δυναμικό του ψαριού-στόχου.

Το ηχο-ανακλαστικό δυναμικό Στόχου (Η.Δ.) μπορεί να αξιοποιηθεί για ποσοτικές εκτιμήσεις μόνο αν γνωρίζουμε την σχέση του με το μέγεθος και το είδος του ψαριού, αν γνωρίζουμε δηλαδή την συνεισφορά του κάθε ψαριού στην συνολική ανάκλαση του ήχου που μετρά το ηχοβολιστικό.

Η ενότητα αυτή ασχολείται με την επίδραση του μεγέθους και της εσωτερικής φυσιολογίας των ψαριών, σε εκείνα τα χαρακτηριστικά της νηκτικής κύστης τα οποία σχετίζονται άμεσα με το ηχο-ανακλαστικό δυναμικό της σαρκώδους. Η οπισθοανακλώσα διατομή είναι ένα τέτοιο κύριο χαρακτηριστικό της νηκτικής κύστης, με το οποίο μπορεί να γίνει άμεσα ο θεωρητικός υπολογισμός του ηχο-ανακλαστικού δυναμικού των ψαριών-στόχων. Στην ενότητα αυτή συμπεριελήφθησαν οι βασικές έννοιες του ηχο-ανακλαστικού δυναμικού των στόχων και οι κύριες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την εκτίμησή του σε ψάρια. Συνήθως γίνεται μια παράπλευρη παράθεση της βιολογίας και της ηχητικής θεωρίας. Στο κείμενο που ακολουθεί έγινε προσπάθεια η φυσική θεωρία να μην παρουσιαστεί ξεκομμένη από την βιολογία, αλλά σαν ένα κατά το δυνατόν συνεκτικό σύνολο.

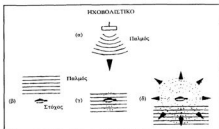
Στην ενότητα 3.2. περιγράφηκε ο τρόπος κατασκευής του τριδιάστατου ψηφιακού χάρτη της νηκτικής κύστης. Ο ψηφιακός αυτός χάρτης χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της ανακλώσας διατομής. Τα υλικά και οι μέθοδοι αναφέρονται στον τρόπο με το οποίο αυτό έγινε εφικτό μέσω του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Αναφέρεται επίσης ο τρόπος με τον οποίο εξετάστηκαν, εκτός από την μεταβολή του μεγέθους, και οι μεταβολές στο σχήμα της ανακλώσας διατομής της νηκτικής κύστης.

Σήμερα είναι πλέον κοινός τόπος ότι η συμπεριφορά των ψαριών και το βάθος στο οποίο βρίσκονται, έχουν καθοριστική επίδραση στο Η.Δ. Ταυτόχρονα έχει διαπιστωθεί ότι και οι μεταβολές της εσωτερικής φυσιολογίας των ψαριών είναι σε μεγάλο βαθμό υπεύθυνες για την έλλειψη ακρίβειας στην πρόβλεψη του Η.Δ. των ψαριών (Lindem 1983, Edwards & Armstrong 1984, Blaxter & Batty 1990, McLennan *et al.* 1990, 1989, Traynor *et al.* 1990, Thiebaut 1991, McLennan & Simmonds 1992). Οι παράγοντες αυτοί παρουσιάζουν ιδιαίτερα μεγάλη εποχιακή διακύμανση στην σαρκέλα, της οποίας σημειωτέον, το ηχο-ανακλαστικό δυναμικό (Η.Δ.) δεν έχει μελετηθεί. Τελικός σκοπός ήταν να διερευνηθεί η δυνατότητα μείωσης της στοχαστικότητας στην πρόβλεψη του Η.Δ., με την χρησιμοποίηση παραμέτρων της εσωτερικής φυσιολογίας. Με τον τρόπο αυτό γίνεται για πρώτη φορά μια άμεση αποτίμηση της επίδρασης αυτών των παραμέτρων στο Η.Δ. των ψαριών.

### **4.1.1. ΗΧΟ-ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΣΤΟΧΟΥ.**

Τα ηχητικά κύματα διαδίδονται μέσω του νερού και σκεδάζονται<sup>1</sup> σε κάθε αντικείμενο του οποίου, η πυκνότητα είναι διαφορετική απ' αυτή του περιβάλλοντος μέσου (στην προκειμένη περίπτωση του νερού). Τα σκεδάζόμενα κύματα διαδίδονται εκ νέου από το αντικείμενο (το ψάρι στην προκειμένη περίπτωση), προς όλες τις κατευθύνσεις (Εικόνα 4.1). Η έντασή τους

<sup>1</sup> Η ανάκλαση είναι ειδική περίπτωση της σκέδασης όταν η γωνία προσπτώσεως και η γωνία σκεδάσεως είναι ίσες.



Εικόνα 4.1. Το φάρι σαν ηχητικός στόχος (McLennan & Simmonds 1992).

τα προσπίπτοντα ηχητικά κύματα. Τα κύματα αυτά ονομάζονται *οπισθανακλώμενα κύματα*. Από όλα τα σκεδαζόμενα κύματα το ηχο-ανακλαστικό δυναμικό στόχου (Η.Δ.) αναφέρεται στα οπισθανακλώμενα (McLennan & Forbes 1984, McLennan & Simmonds 1992).

Το ηχο-ανακλαστικό δυναμικό στόχου (Η.Δ.) είναι ο αριθμός που μας δείχνει την ένταση του ήχου που συλλαμβάνει το ηχοβοληστικό. Όσο μεγαλύτερο είναι το ηχο-ανακλαστικό δυναμικό (Η.Δ.) τόσο ισχυρότερος είναι ο ήχος που επιστρέφει σε σχέση με τον αρχικά εκπεμπόμενο. Πιο συγκεκριμένα, το Η.Δ. είναι μια λογαριθμική μέτρηση της προσπίπτουσας ενέργειας σε σχέση με την οπισθανακλώμενη από τον στόχο. Η σημαντικότερη παράμετρος του Η.Δ. σε φυσικούς όρους είναι η *ακουστική διατομή*  $\sigma$ . Το  $\sigma$  μετράται σε μονάδες επιφάνειας στο S.I. σύστημα ( $m^2$ ), και ορίζεται με τον λόγο των εντάσεων των προσπίπτωντων προς τα ανακλώμενα κύματα (Clay & Medwin 1977, Mc Lennan & Forbes 1984, McLennan & Simmonds 1992).

Αν  $I_1$  είναι η ένταση των προσπίπτωντων στο στόχο κυμάτων στο κέντρο του μεταδιδόμενου παλμού,  $I_b$  είναι η ένταση στο κέντρο του οπισθανακλώμενου παλμού και  $R$  είναι η απόσταση στόχου-ηχοβοληστικού, τότε η ακουστική διατομή ορίζεται σαν  $\sigma = 4\pi R^2 \frac{I_b}{I_1}$ . Με βάση τον τύπο αυτόν το  $\sigma$  περιγράφεται σαν η ένταση της ισχύος που μεταδίδεται ανά μονάδα επιφάνειας <sup>2</sup>.

Η *ακουστική διατομή*  $\sigma$  είναι *διαφορετικό φυσικό μέγεθος από την Ανακλώσα διατομή ή Οπισθανακλώσα διατομή*  $\sigma_p$ . Η  $\sigma_p$  μετράται επίσης σε μονάδες επιφάνειας και ισχύει  $\sigma = 4\pi\sigma_p$ . Η  $\sigma_p$  βρίσκεται σε στενή σχέση με το μέγεθος και το σχήμα και γενικότερα με τις γεωμετρικές διαστάσεις της ηχητικής κύστης (Olsen et al. 1977). Ισχύει  $\sigma_p = \alpha \lambda^2 A$ : όπου  $A$  = το εμβαδόν της προβολής της ανακλώσας επιφάνειας από την άποψη του ηχοβοληστικού και  $\alpha$  = μια γενικά περίπλοκη συνάρτηση που εξαρτάται από τις γωνίες προσπίπτωσης και σκεδάσεως, καθώς και από την συχνότητα ηχοβολισμού. Η συνάρτηση  $\alpha$  εξαρτάται από το μέγεθος  $k = 2\pi/\lambda$ , όπου  $\lambda$  = το μήκος κύματος. Εφόσον ισχύει  $k\delta/2 > 1$  ( $\delta$  = η μέγιστη διάμετρος του αντικείμενου), το αντικείμενο συμπεριφέρεται σαν *γεωμετρικός επίπεδος σκεδαστής*. Θεωρούμε ότι η ηχητική κύστη μέσα στο φάρι συμπεριφέρεται σαν άκομπτος γεωμετρικός σκεδαστής. Οι σχέσεις τότε παίρνουν την μορφή:

<sup>2</sup>Θεωρώντας ότι η ανακλώμενη ενέργεια είναι η ίδια προς όλες τις κατευθύνσεις, η ανάκλαση θα διαδίδεται σφαιρικά. Η επιφάνεια διάδοσης θα είναι  $4\pi R^2$  και θα ισχύει  $I_1 \sigma = 4\pi R^2 I_b$ .

$$\sigma_s = \frac{1}{4\pi} \quad (4.1)$$

$$\sigma_s = \frac{S}{4\pi} \quad (4.2)$$

όπου  $S$  το εμβαδόν της προβολής του ανακλώντος στόχου στο επίπεδο που είναι κάθετο στην προσπίπτουσα δέσμη (Clay & Medwin 1977).

Όλες οι παραπάνω σχέσεις είναι σωστές με την αυστηρή έννοια, στην περίπτωση συνεχούς μετάδοσης σε σταθερό μέγεθος, απουσία απορρόφησης, διάθλασης και σε απομονωμένο στόχο (δεν υπάρχουν στόχοι αρκετά κοντά ώστε να διαταράξουν το πεδίο του ανακλώμενου ήχου). Οι αναγκαίες μετατροπές ώστε να ικανοποιούνται οι δύο πρώτες απαιτήσεις εξασφαλίζονται από το ίδιο το ηχοβιομηχανικό μηχάνημα. Για παράδειγμα το  $I_0$  πολλαπλασιάζεται επί έναν παράγοντα, για να μετατραπεί στην ένταση που θα παρατηρούσαμε σε ένα μέσον χωρίς απώλειες.

Ας επανέλθουμε στο ηχο-ανακλαστικό δυναμικό στόχου. Αυτό ορίζεται ως:

$$H\Delta = 10 \log(A \cdot \xi) = 10 \log \sigma_s + 10 \log \left( \frac{\sigma}{4\pi} \right) = 10 \log \left( \frac{I_s}{I_0} \right) \quad (4.3) \text{ και}$$

$$\sigma = 4\pi \cdot 10^{\frac{H\Delta}{10}} \quad (4.4)$$

Στους παραπάνω τύπους τα  $\sigma$  και  $\sigma_s$  πρέπει πάντα να είναι εκφρασμένα σε  $m^2$  (Clay & Medwin 1977, McLennan & Forbes 1984, McLennan & Simmonds 1992).

Το  $H\Delta$  είναι η ακουστική διατομή εκφρασμένη σε decibels<sup>3</sup>. Το  $H\Delta$  και η  $\sigma$  είναι απλά εναλλακτικοί τρόποι για να περιγραφεί η ίδια φυσική ιδιότητα του στόχου. Τα  $H\Delta$  των διαφόρων υδροβίων οργανισμών καλύπτουν πολλές τάξεις μεγέθους λόγω των μεγάλων διαφορών που υπάρχουν σε αυτούς. Το  $H\Delta$  είναι πάντα αρνητικό. Όλα τα ψάρια έχουν  $H\Delta$  από -60dB έως -20dB και ισοδύναμα ακουστικές διατομές από 0.000013m<sup>2</sup> έως 0.13m<sup>2</sup>. Αν ένας στόχος είναι 3 dB μεγαλύτερος από έναν άλλον, αυτό σημαίνει ότι ανακλά διπλάσια ενέργεια. Τέλος ένας στόχος -20dB παράγει ήχο 10.000 φορές ισχυρότερο από ότι τα -60dB (McLennan & Simmonds 1992).

#### 4.1.2. ΗΧΟ-ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΤΩΝ ΨΑΡΙΩΝ

Με βάση την ακουστική θεωρία είναι δυνατόν να υπολογίζουμε το  $H\Delta$  ενός ψαριού εάν έχουμε γνώση της συνεισφοράς των διαφόρων μερών του σώματος του ψαριού στην ανάκλαση του ήχου (αρχή της γραμμικότητας). Σύμφωνα με τον Foote (1980b) η νηκτική κύστη είναι υπεύθυνη για ένα ποσοστό μεγαλύτερο από το 95% της ανακλώμενης ενέργειας από τα ψάρια. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η διαφορά πυκνότητας μεταξύ αέρα και νερού είναι πολύ μεγάλη. Ο εγκλεισμός του αέρα της νηκτικής κύστης μέσα στο σώμα της επιτρέπει να συμπεριφέρεται μάλλον σαν ένα άκαμπτο σώμα με αμελητέα διάθλαση (Foote & Traynor 1988), παρά σαν ελεύθερη αέρια φυσαλίδα. Η ανάκλαση των υπολοίπων ιστών είναι πολύ μικρότερη γιατί η πυκνότητά τους είναι παρόμοια με αυτή του νερού. Σημαντικότερη εξαίρεση σ' αυτό αποτελούν τα σκελετικά στοιχεία του ψαριού. Η επίδραση της νηκτικής κύστης αποτυπώνεται και στις μεγάλες διαφορές  $H\Delta$  μεταξύ των ψαριών που έχουν νηκτική κύστη και αυτών που δεν έχουν (ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1) (Holliday 1977, Foote 1980b, Kjaergaard *et al.* 1990).

<sup>3</sup> Οι ακουστικές μετρήσεις γίνονται συνήθως σε decibel (dB) και όχι σε μονάδες του συστήματος SI. Το decibel είναι μια λογαριθμική μέτρηση του λόγου δύο εντάσεων  $N_{dB} = 10 \log \left( \frac{I_2}{I_1} \right)$ . Οι μονάδες dB χρησιμοποιούνται για να περιγραφεί το  $H\Delta$  ενός στόχου. Η ανακλαστικότητα μπορεί να οριστεί από τον λόγο της ανακλώμενης έντασης σε απόσταση 1m από τον στόχο ( $I_2$ ) και της προσπίπτουσας έντασης ( $I_1$ )

Τα παραπάνω έχουν σαν αποτέλεσμα το Η.Δ. να παρακολουθεί την ποικιλότητα των μεγεθών και των σχημάτων της νηκτικής κύστης. Έτσι, σε γενικές γραμμές, σε ψάρια του ίδιου είδους το Η.Δ. μεταβάλλεται με το μέγεθος του ψαριού, και σε ψάρια ίδιου μεγέθους υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ διαφορετικών ειδών (Olsen *et al.* 1977, Foote 1984, Midttun 1984, Rose & Leggett 1988). Το μεγαλύτερο πρόβλημα που γεννά η εξάρτηση του Η.Δ. από την νηκτική κύστη είναι ότι η τελευταία εξαρτάται πάρα πολύ από την εσωτερική φυσιολογία του ψαριού. Το πρόβλημα γίνεται ακόμη μεγαλύτερο από το γεγονός ότι η νηκτική κύστη έχει ακανόνιστο σχήμα. Η ακουστική διατομή είναι άμεση συνάρτηση των γεωμετρικών ιδιοτήτων της νηκτικής κύστης, και της οπισθανακλώσας διατομής (Foote & Traunor 1988, Olsen 1990). Η οπισθανακλώσα διατομή αλλάζει έντονα μέγεθος ανάλογα με τον προσανατολισμό του ψαριού σε σχέση με το ηχοβιοστατικό μηχανήμα, κι αυτό οφείλεται στο ακανόνιστο σχήμα της νηκτικής κύστης (Foote 1980b, Edwards & Armstrong 1983, Ehrenberg 1983a, Blaxter & Batty 1990).

Τα παραπάνω προκαλούν έντονη μεταβλητότητα στο Η.Δ. Είναι δυνατόν στο ίδιο ακριβώς ψάρι να πάρουμε διαφορετικές τιμές λόγω μεταβολών του προσανατολισμού του ή μεταβολής της εσωτερικής του φυσιολογίας. Το γεγονός αυτό έχει οδηγήσει στην άποψη ότι το Η.Δ. πρέπει να αντιμετωπίζεται σαν μια στοχαστική (πιθανοθεωρητική) παράμετρος. Δηλαδή σαν μια ποσότητα, που έχει μια κατανομή τιμών και μια μέση τιμή που είναι το αποτέλεσμα ενός μεγάλου αριθμού μετρήσεων. Οι ξεχωριστές μετρήσεις θα είναι ευρύτητα δισπαρμένες γύρω από τον μέσο όρο.

Μια βασική αρχή πάνω στην οποία στηρίζονται οι εκτιμήσεις του Η.Δ. είναι η αρχή της γραμμικότητας (Foote 1983). Ο υπολογισμός του ανακλώμενου ήχου είναι μια διαδικασία ολοκλήρωσης. Σύμφωνα με την αρχή της γραμμικότητας η ενέργεια που προέρχεται από την ανάκλαση  $n$  στόχων είναι ίση με το άθροισμα των επιμέρους ενεργειών κάθε στόχου χωριστά. Η αρχή της γραμμικότητας έχει επιβεβαιωθεί και στην περίπτωση που οι στόχοι είναι ψάρια και μπορεί να εφαρμοστεί όσον αφορά τα μέρη του ψαριού που έχουν ξεχωριστές ανακλαστικές ιδιότητες<sup>4</sup>.

Με βάση τα παραπάνω η μέτρηση των στατιστικών παραμέτρων του Η.Δ. γίνεται από έναν μεγάλο αριθμό μετρήσεων και απαιτούνται πολλά παρόμοια πειράματα με ψάρια διαφορετικού μεγέθους και φυσιολογικής κατάστασης. Σύμφωνα με αυτή την αντιμετώπιση το Η.Δ. υπολογίζεται από τον μέσο όρο της ακουστικής διατομής. Αν έχουμε  $N$  ανεξάρτητες μετρήσεις ακουστικών διατομών τότε:

$$\bar{\sigma} = \frac{(\sigma_1 + \sigma_2 + \dots + \sigma_N)}{N} \quad (4.5) \quad \text{και}$$

$$H\Delta = 10 \cdot \log\left(\frac{\bar{\sigma}}{4\pi}\right) \quad (4.6)$$

#### 4.1. ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΗΧΟ-ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΤΩΝ ΨΑΡΙΩΝ.

Τρεις κατηγορίες μεθόδων έχουν χρησιμοποιηθεί για την μέτρηση του Η.Δ. Οι διαφορές τους αφορούν κυρίως την κατάσταση των ψαριών που μελετώνται (Edwards & Armstrong 1984):

- 1) Μετρήσεις σε ακινητοποιημένα, αναισθητοποιημένα ή νεκρά ψάρια.
- 2) Μετρήσεις σε ζωντανά κολυμβούντα ψάρια, τα οποία είναι περιορισμένα σε κλωβούς.
- 3) Μετρήσεις σε ελεύθερα ψάρια στο φυσικό τους περιβάλλον.

Η έρευνα του Η.Δ. συνδυάζει τη χρήση και των τριών μεθόδων, καθώς κάθε μία συνεισφέρει σε

<sup>4</sup> Η αρχή της γραμμικότητας επιβεβαιώθηκε και σε πειράματα με ψάρια σε κλωβούς. Η αρχή παύει να ισχύει σε πάρα πολύ πυκνές συγκεντρώσεις ψαριών λόγω του φαινομένου της "υπεριεξίσωσης". Για να γίνει όμως αισθητό το φαινόμενο της εκίσωσης πρέπει η πυκνότητα των ψαριών να είναι 4-8 ψάρια/(συμμετακό μίλος ψαριού)<sup>3</sup>. Έντονη των συγκεντρώσεων 1 ψαριού/(συμμετακό μίλος ψαριού)<sup>3</sup> που είναι η συνηθισμένη στα σχολεία (Picher 1986).

διαφορετικές πλευρές της μελέτης. Η κάθε μέθοδος έχει τους περιορισμούς της και η μία συμπληρώνει την άλλη.

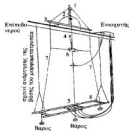
#### A. ΑΚΙΝΗΤΑ ΨΑΡΙΑ

Τα πρώτα πειράματα εφαρμόστηκαν σε νεκρά ή ακινητοποιημένα ψάρια τα οποία συγκρατούνται με λεπτά νήματα, έτσι ώστε να παραμένουν ακίνητα και να υπάρχει η δυνατότητα περιστροφής τους (Cushing *et al.* 1963, Love 1969, 1977). Το όλο σύστημα φαίνεται στην Εικόνα 4.2. Κάθε φορά μετρείται μόνο ένα ψάρι. Πάντα το μέγιστο Η.Δ. παρατηρείται όταν το ψάρι είναι λίγες μοίρες με το κεφάλι προς τα κάτω. Ακόμη και πολύ μικρές μεταβολές στην γωνία κλίσης του ψαριού προκαλούν μεγάλες μεταβολές του Η.Δ. (Εικόνα 4.3). Η κάθετη περιστροφή του ψαριού (pitch) προκαλεί την μεγαλύτερη μεταβολή του Η.Δ. Η οριζόντια περιστροφή (yaw) έχει μηδενική επίδραση. Τέλος η κυκλική περιστροφή (roll) γύρω από τον οβελιαίο άξονα έχει ελάχιστη επίδραση (Love 1969, Haslett 1977, Mitsun & Holliday 1990, McLennan & Simmonds 1992).

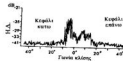
Οι πρώτες εκτεταμένες εργασίες με την μέθοδο αυτή έγιναν από τον Love (1969) σε ψάρια από 14 διαφορετικές οικογένειες, όπου αποδείχθηκε η συστηματική εξάρτηση του Η.Δ. από το μέγεθος του ψαριού. Οι Nakken και Olsen (1977), μελέτησαν συστηματικότερα την επίδραση των γωνιών κλίσης των ψαριών. Τα αποτελέσματα μπορούν να παρουσιαστούν σαν διαγράμματα  $H.D. \sim \mathcal{F}(\phi^\circ)$  ή σε πίνακες. Οι ίδιοι απέδειξαν επίσης ότι η κυκλική περιστροφή έχει ελάχιστη επίδραση στο Η.Δ., τουλάχιστον όσον αφορά τα ψάρια τα οποία έχουν μελετηθεί μέχρι σήμερα. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με το ότι οι έντονες κυκλικές περιστροφές δεν είναι συχνές στα ψάρια, δίνει την δυνατότητα παράληψής τους στα μοντέλα.

Πάντα υπάρχει ένα μέγιστο Η.Δ. που είναι καλά καθορισμένο με βάση την γωνία κλίσης του ψαριού και αναφέρεται ως *μέγιστο Η.Δ.* *νωτιαίου προσανατολισμού*. Το μέγιστο Η.Δ. οφείλεται στο γεγονός ότι ο κύριος άξονας της νηκτικής κούστας δεν είναι παράλληλος με τον οβελιαίο άξονα αλλά σχηματίζει γωνία μαζί του (Εικόνα 4.3). Η γωνία αυτή συμπίπτει με την γωνία του μέγιστου Η.Δ. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το *μέγιστο Η.Δ.* να είναι μεγαλύτερο από το *παρατηρούμενο Η.Δ.* στο πεδίο. Η σύγκριση του *μέγιστου Η.Δ.* είναι ο ασφαλέστερος τρόπος για να συγκριθούν μεταξύ τους διαφορετικά ψάρια (Love 1969, Foote 1978, 1979a, Buerkle 1987, Blaxter & Batty 1990, Thiébaux 1991). Έχει προταθεί (Foote 1979a, 1980b) το Η.Δ. να υπολογίζεται σαν μέσος όρος σε ένα εύρος κλίσεων  $\pm 45^\circ$ , όταν αυτές πρόκειται να αντιστοιχισθούν με ελεύθερα κολυμβώντα ψάρια. Πάντως οι γωνίες κλίσης των ψαριών είναι μικρότερες, συνήθως  $\pm 30^\circ$  και είναι σωστότερο να υπολογίζεται η μέση τιμή αυτού του εύρους κλίσεων (Olsen 1979, Fedotova & Shutoba 1983, Clay & Heist 1984).

Οι Foote και Ona (1985) εσήγγααν μια νέα τεχνική για ακίνητα ψάρια, που την εφάρμοσαν



Εικόνα 4.2. Διάταξη μέτρησης του Η.Δ. ακινητοποιημένου ψαριού. 1: κεφαλαία ανώτερης του ψαριού, 2: μοιρομανόμετρο για μέτρηση της γωνίας περιστροφής, 3: ριβίδος περιστροφής, 4: πλάστηρας, 5: ηρεσιολογικό άγγυον, 6: ψάρι-στόχος, 7: νηλίων σκελετός ανώτερης του ψαριού, 8: βίβλι ηρεσιολογικού (Miyahara *et al.* 1987).



Εικόνα 4.3. Η κλίση της νηκτικής κούστας, ως προς τον οβελιαίο άξονα του ψαριού και η μεταβολή του Η.Δ. με την περιστροφή του ψαριού (Blaxter & Batty 1990).

στο είδος *Pollachius pollachius*. Μέτρησαν το Η.Δ. σε αναισθητοποιημένα ψάρια. Στην συνέχεια με απότομη φύξη (Βλ. Ενότητα 2.2) "στερεοποίησαν" την νηκτική κύστη και κατασκεύασαν εκμαγείο της νηκτικής κύστης από παραφίνη. Με τομές κατασκεύασαν έναν ψηφιακό χάρτη της επιφάνειας της νηκτικής κύστης, και υπολόγισαν θεωρητικά το ανακλόν πεδίο της νηκτικής κύστης σε συνάρτηση με την γωνία κλίσης. Η συμφωνία μεταξύ των δύο μετρήσεων ήταν πολύ καλή. Η μέθοδος αυτή απέδειξε με οριστικό και κατηγορηματικό τρόπο ότι οι μεταβολές του Η.Δ. οφείλονται στην νηκτική κύστη, στον προσανατολισμό της, στο σχήμα της, και στις μεταβολές της.

Με βάση αυτά τα αποτελέσματα μπορούμε, με μεγαλύτερη βεβαιότητα πλέον, να θεωρήσουμε ότι οι ιδιότητες του Η.Δ., που έχουν περιγραφεί μέχρι σήμερα, αντικατοπτρίζουν μορφολογικές ιδιότητες της νηκτικής κύστης του ψαριού. Ταυτόχρονα δίνουν μια μέθοδο για να προσεγγίσουμε την επίδραση των μεταβολών της εσωτερικής φυσιολογίας.

Η μέθοδος των "ακίνητων ψαριών" είναι η βασική και θεμελιώδης προσέγγιση των ανατομικών παραγόντων που επηρεάζουν το Η.Δ. Η μέθοδος αυτή αποκάλυψε με κατηγορηματικό τρόπο την επίδραση της γωνίας κλίσης, δηλαδή της συμπεριφοράς του ψαριού στο Η.Δ. Το σφάλμα που υποσιεγχεται στην εκτίμηση της αθονίας ενός χρωσπλήθους, αν δεν ληφθεί υπόψη η γωνία κλίσης είναι της τάξης του 20%-60% (Mitson & Holliday 1990). Η μέθοδος αυτή είναι απαραίτητη για την εύρεση της σχέσης μεταξύ Η.Δ., του μεγέθους των ψαριών και της επίδρασης της γωνίας κλίσης του ψαριού (προσανατολισμού). Μας δίνει μια πιο ακριβή στατική εικόνα των μεταβολών του Η.Δ. Οι σχέσεις αυτές μπορούν στην συνέχεια να διορθωθούν, να αξιοποιηθούν, και να εφαρμοστούν σε ζωντανά κινούμενα ψάρια (Foote 1980b, Thiébaux 1991).

Ένα βασικό μειονέκτημα των αποτελεσμάτων είναι ο άγνωστος βαθμός που επηρεάζουν την νηκτική κύστη (και άρα το Η.Δ.) οι πιθανές αλλοιώσεις που προκαλούνται στο ψάρι μετά την θανάτωση ή την αναισθητοποίησή του. Αυτές μπορεί να είναι ιδιαίτερα σημαντικές στην παρατεταμένη χρονική διάρκεια που απαιτούν οι μετρήσεις. Το μειονέκτημα αυτό ελαχιστοποιείται με την μέθοδο της απότομης φύξης (Ona 1990).

Ο βασικός περιορισμός της μεθόδου είναι ότι αναφέρεται σε στατικές εικόνες των ψαριών. Η κίνηση και η συμπεριφορά του ζωντανού ψαριού δεν λαμβάνονται υπόψη. Παραμένει λοιπόν βασικό πρόβλημα η προσομοίωση των αποτελεσμάτων αυτών με ζωντανά, ελεύθερα κινούμενα ψάρια.

## **B. ΖΩΝΤΑΝΑ ΨΑΡΙΑ ΣΕ ΚΛΩΒΟΥΣ.**

Η μέθοδος της μέτρησης του Η.Δ. σε ακινητοποιημένα ψάρια αποκάλυψε ότι η διακύμανση του Η.Δ. με την γωνία κλίσης είναι πολύ μεγάλη. Όταν τα ψάρια κολυμπούν ελεύθερα, αλλάζουν περιοδικά τον προσανατολισμό τους. Η μεταφορά των αποτελεσμάτων της προηγούμενης μεθόδου σε ζωντανά ψάρια παρουσιάζει πολλές δυσκολίες. Έτσι οι ηθολογικές παράμετροι εξακολουθούν να αποτελούν την κύρια πηγή σφαλμάτων στην εκτίμηση της αθονίας των ψαριών (Robinson 1983, Traynor *et al.* 1990). Στα πειράματα με ακίνητα ψάρια μόνον αναπάντητα μια σειρά από ερωτήματα:

- 1) Ποιές γωνίες προσανατολισμού παίρνουν συνήθως τα ψάρια;
- 2) Πώς επηρεάζει η κίνηση το Η.Δ.;
- 3) Πώς επηρεάζει η πυκνότητα των ψαριών το Η.Δ.;
- 4) Πώς επηρεάζει το βάθος το Η.Δ.;

Η πρώτη ελεγχόμενη προσέγγιση των ζωντανών ψαριών επιτυγχάνεται με τον ηχοβολισμό τους σε κλωβούς. Με την μέθοδο αυτή γίνεται προσπάθεια να διερευνηθούν αφενός μεν η συμπεριφορά των ζωντανών ψαριών και αφετέρου η δυνατότητα ενσωμάτωσης της συμπεριφοράς του ψαριού στο παρατηρούμενο Η.Δ., αντιμετωπίζοντάς την σαν στοχαστικό μέγεθος. Με αυτή την προσέγγιση μπορεί να υπαχθεί μια πρώτη αξιοποίηση, των αποτελεσμάτων της

προηγούμενης μεθόδου. Το σύστημα με το οποίο εκτελούνται τα πειράματα, όπως αυτό χρησιμοποιήθηκε από τους Edwards και Armstrong (1984), φαίνεται στην εικόνα 4.4. Το Η.Δ. υπολογίζεται σαν μέση τιμή, από το μέσο μέγεθος των ψαριών και την μέση γωνία προσανατολισμού τους. Λαμβάνεται επίσης υπόψη η μεταβολή της σχετικής θέσης του ψαριού ως προς την ηχητική δέσμη. Οι μελέτες με την μέθοδο αυτή έχουν δείξει:

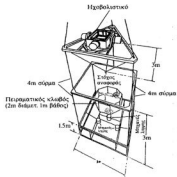
- 1) Οτι ισχύει η αρχή της γραμμικότητας και οτι η πυκνότητα των ψαριών δεν επιδρά στο Η.Δ. (Foote 1983).
- 2) Την επίδραση του βάθους στο Η.Δ., σε ορισμένα ψάρια. Όταν τα ψάρια προσαρμόστούν στην επιφάνεια και στη συνέχεια μεταφερθούν σε διάφορα βάθη, παρατηρούμε τα εξής (Traynor & Williamson 1983, Edwards & Armstrong 1984, Blaxter & Batty 1990):

α) Στους φυσόκλειστους (*Gadus morhua*) το Η.Δ. μειώνεται αρχικά (σμπίεση της νηκτικής κύστης) και στην συνέχεια επανέρχεται στα ίδια με τα αρχικά επίπεδα τιμών (έκκριση αερίου). Εικόνα 4.5Α.

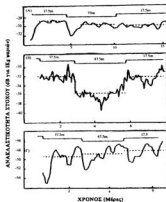
β) Στους φυσόστομους (*Clupea harengus*) οι αυξομειώσεις βάθους ακολουθούνται με αυξομειώσεις του Η.Δ. (σμπίεση-αποσμπίεση της νηκτικής κύστης). Επίσης στους φυσόστομους καταγράφηκε μια αργή πτώση του Η.Δ., σύμφωνα με την διάχυση αερίου από την νηκτική κύστη. Εικόνα 4.5Β.

γ) Στα ψάρια χωρίς νηκτική κύστη (*Scomber scombrus*) δεν υπάρχει σημαντική μεταβολή του Η.Δ. με το βάθος. Εικόνα 4.5Γ.

3) Στις παραπάνω γενικές τάσεις επιβάλλεται μια νυκθήμερη αυξομείωση του Η.Δ. των ψαριών που οφείλεται στον διαφορετικό προσανατολισμό ημέρας και νύκτας (Εικόνα 4.5.). Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το Η.Δ. είναι κατά μέσο όρο μεγαλύτερο την ημέρα από όσο τη νύχτα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα ψάρια τείνουν να καταδύονται την ημέρα και να έχουν κατά μέσο όρο γωνίες προσανατολισμού με το κεφάλι προς τα κάτω (μέσος όρος  $3^{\circ}$ - $4^{\circ}$ , με μικρή διακύμανση τιμών). Με τον τρόπο αυτό τείνουν να προσανατολίσουν την νηκτική κύστη παράλληλα προς την επιφάνεια της θάλασσας (Εικόνα 4.3) και έτσι το Η.Δ.



Εικόνα 4.4. Διάταξη μέτρησης του Η.Δ. σε ζωντανά ψάρια σε παραστατικό κλωβό, με ταυτόχρονη παρακολούθηση της κίνησης τους. (Edwards & Armstrong 1984).



Εικόνα 4.5. Μεταβολή του Η.Δ. με την μεταβολή του βάθους. (Α) Στον βοσκόλο (*Gadus morhua*), (Β) Στην πέγγα (*Clupea harengus*), (Γ) Στο σκομπίρι (*Scomber scombrus*) (Edwards & Armstrong 1984).

τίνει προς την μέγιστη τιμή της. Αντίθετα την νύχτα τα ψάρια δείχνουν διεσπαρμένη κατανομή και ο μέσος όρος των γωνιών προσανατολισμού είναι συνήθως αρκετές μοίρες με το κεφάλι προς τα πάνω (μέσος όρος  $6^{\circ}$ - $12^{\circ}$ , μεγάλη διακρίμανση τιμών). Επομένως η νηκτική κούρα δημιουργεί σημαντική κλίση ως προς το επίπεδο της θάλασσας, μειώνοντας αντίστοιχα την επιφάνεια που "εκτίθεται" στην ηχητική δέσηση. Αυτό έχει σαν συνέπεια μικρότερο Η.Δ. (Edwards & Armstrong 1983, 1984, Buerkle 1983, Foote 1987a,b, McLennan et al. 1989, Blaxter & Batty 1990).

4) Το βάθος φαίνεται ότι έχει και μια δευτερεύουσα επίδραση στην κολυμβητική συμπεριφορά, ανεξάρτητη των δύο προηγούμενων. Όταν η πλευστότητα του ψαριού είναι θετική ή ουδέτερη, το ψάρι τείνει να έχει το σώμα του με κλίση προς τα κάτω, κατά την οριζόντια κολύμβηση. Αντίθετα όταν η πλευστότητα είναι αρνητική το ψάρι τείνει να έχει το σώμα του με κλίση προς τα επάνω, κατά την οριζόντια κολύμβηση (Ota 1987b, McLennan et al. 1990).

Η μέθοδος αυτή εισάγει στις μελέτες περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως είναι η επίδραση της υδροστατικής πίεσης και ο φωτισμός. Η μέτρηση γίνεται σε ζωντανά ψάρια, που είναι στη συνέχεια διαθέσιμα για μετρήσεις και εξετάσεις. Τα πειράματα σε κλωβούς δίνουν μια αρκετά ρεαλιστική προσέγγιση της επίδρασης της συμπεριφοράς και της πυκνότητας των ψαριών στο Η.Δ.

Ένας βασικός περιορισμός της μεθόδου είναι ότι δεν έχει την αναλυτικότητα της μελέτης των ακίνητων ψαριών. Επιπλέον η συμπεριφορά των ψαριών είναι συμπεριφορά ψαριών σε αιχμαλωσία, και είναι πολύ πιθανόν ότι αποκλίνει από αυτή των ελεύθερων ψαριών, λόγω της έντασης (stress) και τους περιορισμούς της αιχμαλωσίας. Για παράδειγμα η κίνηση των ψαριών κατά την ημέρα είναι αναγκαστικά κυκλική. Επίσης η αναγκαστική τοποθέτηση σε ορισμένα βάθη, σε συνδυασμό με την εγγενή συμπεριφορά για νυχθημερές μεταναστεύσεις, είναι άγνωστο πώς και πόσο επηρεάζει τον προσανατολισμό τους. Είναι επίσης άγνωστο η επίδραση της κάμερας ή του φλάς των μηχανών παρατήρησης. Γενικά η συνολική συμπεριφορά τους διαφέρει από την συμπεριφορά ελεύθερων ψαριών που συναντούν ένα πλοίο, το οποίο εκτελεί ηχοβολιστικές έρευνες. Πάντως τα πειράματα αυτά αποτελούν τον ενδιάμεσο κρίκο που συνδέει τις παρατηρήσεις σε ακίνητα και ελεύθερα κολυμβούντα ψάρια (Edwards & Armstrong 1984).

### Γ. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΕ ΦΥΣΙΚΟ ΠΛΗΘΥΣΜΟ.

Η μέθοδος αναφέρεται σε μετρήσεις που γίνονται *επί τόπου* (*in situ*) στο πεδίο για τον προσδιορισμό του Η.Δ.. Η εκτίμηση μπορεί να γίνει έμμεσα ή άμεσα. Η έμμεση εκτίμηση γίνεται με την χρησιμοποίηση ηχοβολιστικών *μονής δέσμης* (single beam). Η άμεση εκτίμηση γίνεται με ηχοβολιστικά *σχιστής δέσμης* (split beam) ή *διττής δέσμης* (dual beam) (Ανασκότηση από Ehrenberg 1983a,b, Forbes 1984, Marchal 1984). Η *in situ* μέθοδος χρησιμοποιήθηκε και αναλύεται διεξοδικότερα στην επόμενη ενότητα.

Η μέθοδος αυτή αξιοποιεί τα αποτελέσματα των δύο προηγούμενων μεθόδων για την εκτίμηση του Η.Δ. στο πεδίο. Οι περιορισμοί της είναι:

- 1) Μετρώνται μόνο τα σχετικώς απομονωμένα ψάρια, ώστε να μην υπάρχει αλληλοεπικάλυψη ήχων. Τα απομονωμένα ψάρια πιθανώς δεν είναι αντιπροσωπευτικά των ψαριών που βρίσκονται σε πυκνές συγκεντρώσεις.
- 2) Δεν μπορούμε να παρακολούθησουμε το Η.Δ. κάθε ξεχωριστού ψαριού. Οι ηχοβολισμοί γίνονται πάντα σε σχολεία ψαριών.
- 3) Απαιτείται η αλιεία αντιπροσωπευτικού δείγματος των ηχοβολιζόμενων ψαριών. Αυτό δεν είναι πάντα εφικτό.
- 4) Η εκτίμηση είναι στοχαστική, δεδομένου ότι συνήθως αγνοούμε τον μέσο προσανατολισμό των ψαριών. Στην πράξη τα *in situ* πειράματα παρουσιάζονται με καταγραφή πολλών



μετρήσεων Η.Δ., μέσα σε ένα σχολείο και κατά την διάρκεια μιας χρονικής περιόδου, δίνοντας ένα μεγάλο εύρος τιμών.

Πολλοί από τους παραπάνω περιορισμούς μπορούν να ξεπεραστούν. Από όλες τις μεθόδους, οι *in situ* είναι θεωρητικά οι καλύτερες, δεδομένου ότι μετρούν τα δεδομένα ως έχουν στο πεδίο. Είναι όμως δύσκολο να εφαρμοστούν στην πράξη. Η εφαρμογή τους είναι συνήθως δυνατή μόνο αν συνεπικουρηθούν και οι άλλες δύο μέθοδοι.

#### 4.1.4 ΤΑ ΨΑΡΙΑ ΣΑΝ ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

Η σημασία της νηκτικής κύστης στον προσδιορισμό του Η.Δ. έχει ήδη αναφερθεί σε διάφορα σημεία. Τα κόκκαλα και οι άλλοι ιστοί ανακλούν επίσης ήχο αλλά πολύ μικρότερης έντασης. Αυτός είναι ο λόγος που το *Scomber scombrus* έχει πολύ μικρότερο Η.Δ. από τα ψάρια που έχουν νηκτική κύστη. Έχει δείχθει ότι η συμμετοχή της νηκτικής κύστης στο συνολικό Η.Δ. του ψαριού, είναι πάνω από το 95% και ότι ισχύει η αρχή της γραμμικότητας για το ηχοανακλαστικό δυναμικό των διαφόρων ιστών του ψαριού (Foote 1980b, 1983). Οι βασικές κατηγορίες σύμφωνα με τις οποίες κατάσσονται τα ψάρια σε σχέση με την νηκτική κύστη αντιστοιχούν στις αδρές κατηγορίες που ομαδοποιούνται τα ψάρια σε σχέση με την τάξη μεγέθους του Η.Δ. (McLennan & Simmonds 1992). Έτσι έχουμε (ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1):

- 1) *Ψάρια χωρίς νηκτική κύστη*. Έχουν το μικρότερο Η.Δ. (*Scomber scombrus*).
- 2) *Φυσόστομοι*. Έχουν προγονική νηκτική κύστη και Η.Δ. πολύ μεγαλύτερο από την προηγούμενη κατηγορία. Η περίπτωση αφορά κυρίως τα Clupeidae (*Clupea harengus*).
- 3) *Φυσόκλειστοι*. Έχουν την μεγαλύτερη τάξη μεγέθους Η.Δ. (*Gadus morhua*).

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1. Το Η.Δ. χαρακτηριστικών ψαριών.** Το Η.Δ. τριών αντιπροσωπευτικών ψαριών, ένα από τις παραπάνω κατηγορίες, σφαιρικό ψάρι ίδιου μεγέθους (30cm). Δίνεται το Η.Δ. σε decibels και η ακουστική τους διατομή σε m<sup>2</sup> (από McLennan & Simmonds 1992).

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΕΙΔΟΣ	ΗΔ	σ
Χωρίς κύστη	<i>Scomber scombrus</i>	-57.8	0.2
Φυσόστομος	<i>Clupea harengus</i>	-41.8	8.3
Φυσόκλειστος	<i>Gadus morhua</i>	-33.4	50.0

Σύμφωνα με τον παραπάνω ΠΙΝΑΚΑ 4.1, η ανάκλαση του βακαλάου είναι εξαπλάσια της ρέγγας και 250 φορές μεγαλύτερη από το Η.Δ. του σκουμπριού. Η σχέση αυτή γίνεται καταφανής με την σύγκριση των ακουστικών διατομών. Ο Foote (1987b) προτείνει ότι οι φυσόκλειστοι μπορούν πρακτικά να διακριθούν σύμφωνα με τις ηχητικές τους ιδιότητες σε δύο κατηγορίες, οι οποίες αντιστοιχούν στην ανατομική υποδιαίρεσή τους σε παραφυσόκλειστους και ευφυσόκλειστους. Η διάκριση αυτή δεν έχει διερευνηθεί πλήρως.

Το απλό γεωμετρικό μοντέλο του Η.Δ. υποθέτει ότι η ανακλώμενη ενέργεια είναι ανάλογη της διατομής του οργάνου που συμμετέχει στον ήχο. Η διατομή αναμένεται ότι είναι περίπου ανάλογη με το τετράγωνο του μήκους ( $M^2$ ). Αυτό συνεπάγεται ότι το  $\sigma$  είναι ανάλογο του  $M^2$  (πρότυπο επιφανείας). Μια εναλλακτική θεωρία είναι ότι η ανακλώμενη ενέργεια είναι ανάλογη του όγκου, το οποίο συνεπάγεται ότι το  $\sigma$  είναι ανάλογο του  $M^3$  (πρότυπο όγκου). Οι περισσότερες ενδείξεις συγκλίνουν στο πρότυπο της επιφάνειας. Είναι τέλος πάγια πρακτική το Η.Δ. να υπολογίζεται με βάση το τετράγωνο του μήκους (Love 1969, 1977, Burczynski & Dawson 1987, Miyano-hana *et al.* 1990).

Λόγω της πολυπλοκότητας των παραγόντων που επιδρούν στο Η.Δ. ενός ψαριού είναι αδύνατο να υπολογισοίμε με απόλυτη ακρίβεια το ανακλαστικό πεδίο του ήχου. Έτσι οι

σχέσεις του Η.Δ. και των παραμέτρων των ψαριών είναι εμπειρικές. Όλα τα αποτελέσματα των πειραμάτων εκφράζονται με σχέσεις μεταξύ του Η.Δ. και του σωματικού μήκους Μ. Οι σχέσεις αυτές είναι της μορφής:

$$H\Delta = m \cdot \log M + b \quad (4.7)$$

όπου m και b είναι σταθερά για το είδος. Η εξίσωση είναι σήμερα γενικά αποδεκτή αλλά όχι κατ' ανάγκην ακριβής. Οι σχέσεις του Η.Δ. προκύπτουν με γραμμική παλινδρόμηση του Η.Δ. ως προς τον δεκαδικό λογάριθμο του μήκους σε μέτρα. Οι σχέσεις που έχουν βρεθεί προέρχονται από μέσες εκτιμήσεις του Η.Δ. και του μέσου μήκους (Μ). Γενικά το m έχει τιμές από 18 έως 30 και συχνά κοντά στο 20. Το b είναι περισσότερο μεταβλητό με τιμές από -60 έως -90 dB ανάλογα με το είδος (Love 1969, 1977, Nakken & Olsen 1977, Foote 1979b, Miyanoohana *et al.* 1990).

Η σχέση του Η.Δ. και του μήκους (Μ) δεν είναι μια αιτιοκρατική σχέση, δεδομένου ότι το Η.Δ. παρόμοιων ψαριών μπορεί να αλλάζει με τον χρόνο λόγω των ηθολογικών παραγόντων και παραγόντων της επωτερικής φυσιολογίας και μορφολογίας τους. Αυτό σημαίνει ότι οι μετρήσεις το Η.Δ. αντιμετωπίζονται σαν να έχουν εγγενή ποικιλότητα. Έτσι στις παλινδρόμησης του Η.Δ. και του μήκους (Μ), μεγάλο μέρος της διασποράς είναι στοχαστικό (πιθανοθεωρητικό), δηλαδή μη προβλέψιμο.

Εξειδικεύοντας την εξίσωση 4.1 έχουν προταθεί δύο γενικές εξισώσεις που θεωρείται ότι αποτελούν μια σχετικά καλή πρώτη προσέγγιση όταν δεν υπάρχουν αναλυτικότερα δεδομένα (Foote 1987b):

$$\text{Για τους ψυόκλειστους } H\Delta = 20 \cdot \log M - 67.4 \quad (4.7)$$

$$\text{Για τους ψυόστομους } H\Delta = 20 \cdot \log M - 71.9 \quad (4.8)$$

Για όλα σχεδόν τα άγρια ψάρια ο συντελεστής m είναι κοντά στο 20. Πολύ συχνά το 20 θεωρείται δεδομένο και υπολογίζεται μόνο το b, το οποίο δίνει την καλύτερη προσέγγιση στα δεδομένα.

Ο Hawkins (1977) περιέγραψε πως η ποσότητα του ήχου που ανακτάται από ένα ψάρι εξαρτάται εκτός από το μήκος, από την πυκνότητα και την σχετική θέση των διαφόρων οργάνων και ιστών μέσα στο σώμα. Ουσιαστικές διαφορές του Η.Δ. ατόμων του ίδιου μεγέθους μπορούν να εξηγηθούν στον βακαλό από την φυσική διακίμηση του σταδίου ωριμότητας (Opa 1990).

Οι νυχθήμερες αλλαγές του Η.Δ. είναι δυσκολότερο να προβλεφθούν γιατί οφείλονται κυρίως στην συμπεριφορά των ψαριών. Η συμπεριφορά των ψαριών επιδρά στην χωροταξική κατανομή των σχολείων και στον προσανατολισμό των ψαριών. Είναι επίσης πολύ πιθανό να υπάρχουν παρεμβολές που προκαλούνται απ' αυτή καθ' αυτή τη γωνία κλίσης και είναι ανεξάρτητες από την γεωμετρία του στόχου. Το φαινόμενο των παρεμβολών είναι σημαντικό όταν το μήκος κύματος είναι συγκρίσιμο ή μικρότερο μεγέθους από τον στόχο. Σ' αυτή την περίπτωση είναι δυνατόν, όταν υπάρχει κλίση, τα ανακλώμενα κύματα στα άκρα του στόχου να έρχονται προοδευτικά εκτός φάσης και το αθροιστικό τους μέγεθος να μειώνεται (McLennan & Simmonds 1992).

Τέλος αλλαγές στην οριζόντια κατανομή των ψαριών και ο τρόπος κίνησης των σχολείων μπορούν να εξηγηθούν ορισμένες παρατηρήσιμες μεταβολές της διακίμησης του Η.Δ. (Clay & Heist 1984).

#### **4.1.5. ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΚΑΙ ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΗΧΟ-ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΤΩΝ ΨΑΡΙΩΝ (Η.Δ.).**

Αν και η επίδραση της νηκτικής κύστης στο Η.Δ. έχει αποδειχθεί αναμφισβήτητα τα τελευταία χρόνια, δεν έχουν γίνει μελέτες για τους παράγοντες που επιδρούν στην διαμόρφωση του μεγέθους και του σχήματος της νηκτικής κύστης. Το ψάρι-στόχος έχει προσεγγιστεί

περισσότερο σαν ένας οποιοσδήποτε νεκρός και αμετάβλητος στόχος και σχεδόν καθόλου σαν ένα ζωντανό, δυναμικά μεταβαλλόμενο υποκείμενο.

Μέχρι σήμερα η κύρια γέφυρα μεταξύ Η.Δ. και της βιολογίας του ψαριού είναι το μέγεθος του (μήκος). Η σχέση αυτή δεν μαρτυρεί τίποτα άλλο από την αλλομετρική συσχέτιση του μεγέθους του ψαριού με το μέγεθος της νηκτικής κώστης, και ιδιαίτερα με την διαμοιγή της νηκτικής κώστης. Η σχέση αυτή είναι αναμενόμενη και από τις γνώσεις μας για την ανατομία και βιολογία των ψαριών.

Τα παραπάνω έχουν οδηγήσει στην αντιμετώπιση του Η.Δ. σαν ένα στοχαστικό μέγεθος, που γενικά αυξάνεται με το μέγεθος του στόχου. Σαν ένας στόχος, δηλαδή, που για ένα δεδομένο μήκος, η διασπορά (μεταβλητικότητα) των τιμών γύρω από έναν μέσο όρο δεν είναι δλιαντών να προβλεφθεί απόλυτα. Η προσέγγιση αυτή προσπαθεί ουσιαστικά να ενσωματώσει τις διακυμάνσεις των βιολογικών και ηθολογικών παραμέτρων. Ως εκ τούτου θεωρείται προτιμότερο να αντιμετωπίζεται το Η.Δ. σαν ένας στοχαστικός μέσος όρος.

Σήμερα είναι κοινή πεποίθηση ότι οι πηγές αυτής της στοχαστικότητας είναι βιολογικές. Η έλλειψη μελετών για την επίδραση της βιολογίας και της ηθολογίας στην μεταβλητικότητα του σχήματος της νηκτικής κώστης είναι μια βασική αιτία που οδηγεί στην στοχαστική αντιμετώπιση του Η.Δ. (Nakken & Olsen 1977, Midttun 1984). Η έλλειψη λογιστικής και μαθηματικής έκφρασης αυτών των επιδράσεων ενισχύει τον βαθμό απροσδιοριστίας του Η.Δ. Το πρόβλημα αυτό προσπαθεί να προσεγγίσει η παρούσα εργασία.

Οι κυριότερες αιτίες της μεταβλητικότητας και της απροσδιοριστίας του Η.Δ., σε ένα είδος ψαριού, εκτός από το μέγεθος του είναι:

- 1) Ο προσανατολισμός του ως προς την ηχητική δέση.
- 2) Το βάθος που βρίσκεται.
- 3) Η προσαρμογή στο βάθος.
- 4) Η ένταση του φωτός και η διαύγεια του νερού.
- 5) Η πυκνότητα των ψαριών.
- 6) Οι αντιδράσεις των ψαριών.
- 7) Η φυσιολογική κατάσταση των ψαριών που συνήθως αναφέρεται στο στάδιο ωριμότητας, στο στομαχικό και λιπιδικό περιεχόμενο.

Οι έξι πρώτες αιτίες αντιμετωπίζονται είτε μέσω της τεχνολογίας, είτε με την μελέτη της γωνίας προσανατολισμού του ψαριού. Συνήθως η συμπεριφορά του ψαριού θεωρείται σαν η σημαντικότερη πηγή σφαλμάτων (Buerkle 1987, Mitsun & Holliday 1990, Traynor *et al.* 1990). Έτσι οι μέχρι σήμερα έρευνες έχουν ριζεί το κύριο βάρος τους στην αντιμετώπιση -πρόβλεψη- της στοχαστικότητας που γεννά η μεταβολή του προσανατολισμού. Στο άμεσο μέλλον διαφαίνεται ότι είναι πολύ πιθανό να εξαλειφθεί το σφάλμα αυτό τόσο με την ανάπτυξη της τεχνολογίας όσο και με λογισμικά προγράμματα που θα αξιοποιούν ακριβέστερα και θα συνδυάζουν τις πληροφορίες του πεδίου με τα δεδομένα από εργαστηριακές έρευνες. Ο Buerkle (1987) ανάλυντας την συμβολή κάθε μιας από τις παραπάνω κατηγορίες σφαλμάτων, στην διασπορά του Η.Δ. ελευθέρων ψαριών, *έδειξε ότι το 29.6% των διακυμάνσεων των τιμών οφείλεται στο μέγεθος, το 44.5% των διακυμάνσεων οφείλεται στις μεταβολές του προσανατολισμού, ενώ ένα 25.9% των διακυμάνσεων οφείλεται σε εγγενείς λόγους που αφορούν κυρίως τις διαφορές στη φυσιολογία και ανατομία μεταξύ των ψαριών.*

Τα παραπάνω δείχνουν την αναγκαιότητα της πλήρους κατανόησης και έκφρασης του σχήματος της νηκτικής κώστης και των μεταβολών της. Η μελέτη των επιδράσεων της εσωτερικής φυσιολογίας στην μεταβολή του ηχο-ανακλαστικού δυναμικού, δηλαδή στην μεταβολή του μεγέθους και του σχήματος της νηκτικής κώστης, είναι σχεδόν ανύπαρκτη (Osa 1990). Η εργασία αυτή είναι μια προσπάθεια να διερευνηθεί αυτός ο τομέας και να μειωθεί μια σημαντική πηγή στοχαστικότητας των προβλέψεων. Για το Η.Δ. ψαριών με έντονες εποχιακές μεταβολές των διαφόρων ιστών τους, όπως είναι η *Sardina pilchardus*, οι μεταβολές αυτές είναι συχνά εξίσου σημαντικές, αν όχι σημαντικότερες από το μέγεθος του ψαριού. Αυτό οφείλεται

στο γεγονός ότι τέτοιες μεταβολές έχουν σημαντική επίδραση τόσο στο μέγεθος (όγκο) της νηκτικής κύστης (βλ. ενότητα 3.4) όσο και στο σχήμα της (μέγεθος της μέγιστης ανακλώσας διατομής).

## **4.2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ**

Στην εισαγωγή αναφέρθηκε πώς και γιατί είναι δυνατόν να γίνει μια σωστή θεωρητική προσέγγιση του Η.Δ. με τον υπολογισμό της ανακλώσας διατομής. Η ανακλώσα διατομή είναι η εκάστοτε προβολή της νηκτικής κύστης στο επίπεδο που είναι κάθετο με τον άξονα διάδοσης της ακουστικής δέσμης. Για είναι δυνατή η σύγκριση μεταξύ διαφορετικών ψαριών και να βρεθούν σχέσεις, χρησιμοποιήθηκε η μέγιστη διατομή της νηκτικής κύστης (Love 1969). Αυτό έγινε με περιστροφή του ψαριού περί άξονα κάθετο προς τον οβελιαίο άξονα του ψαριού. Με το τρόπο αυτό υπολογίσθηκε και η κλίση της μέγιστης διατομής της νηκτικής κύστης της σαρδέλας ως προς τον οβελιαίο άξονα.

Στην Ενότητα 3.2. έγινε η περιγραφή του τρόπου που σχηματίστηκε ο τρισδιάστατος ψηφιακός χάρτης της νηκτικής κύστης των ψαριών. Τα σημεία αυτού του χάρτη χρησιμοποιήθηκαν για να βρεθεί το εμβαδόν της προβολής της νηκτικής κύστης για κάθε κλίση (προσανατολισμό) του ψαριού. Εξετάστηκαν οι σχέσεις που συνδέουν αυτό το εμβαδόν της μέγιστης ανακλώσας επιφάνειας με τις τιμές του μεγέθους και των ιστών του ψαριού. Η επίδραση των παραπάνω μεταβλητών στο σχήμα της νηκτικής κύστης, έγινε με μελέτη της μεταβολής της κυκλικότητας του σχήματος της νηκτικής κύστης.

Τα παραπάνω έγιναν εφικτά με την ανάπτυξη του λογισμικού προγράμματος (SLICER 1.5 1993) από το εργατήριο Αλγετικής Βιολογίας για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας. Οι αλγόριθμοι του προγράμματος αναφέρονται αμέσως παρακάτω.

Οι ανακλώσες διατομές μετετράπησαν σε ακουστικές διατομές με βάση το γεωμετρικό μοντέλο και τις σχέσεις (4.1), (4.2) και (4.3). Σήμερα υπάρχει μια μεγάλη συζήτηση ως προς το καταλληλότερο μοντέλο για τον θεωρητικό υπολογισμό του ηχο-ανακλαστικού δυναμικού αερίων στόχων (Foote 1985, Foote & Ona 1985, Foote & Traynor 1988, Do & Surti 1990). Τα διάφορα μοντέλα δείχνουν, με μικρές διαφορές, συμφωνία μεγαλύτερη από 90%. Πάντως η διερεύνηση των διαφορών μεταξύ των μοντέλων και η εκλογή του καταλληλότερου ξεπερνά κατά πολύ το αντικείμενο της παρούσας εργασίας.

### **4.2.1. ΥΠΟΛΟΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΡΟΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΝΗΚΤΙΚΗΣ ΚΥΣΤΗΣ**

Για τον υπολογισμό των μεταβολών του σχήματος της νηκτικής κύστης, εξετάζονται οι μεταβολές του εμβαδού της προβολής της στο οβελιαίο επίπεδο  $Q$ , και η μεταβολή της όταν το επίπεδο περιστρέφεται περί άξονα κάθετο ως προς τον οβελιαίο άξονα του ψαριού.

Για την γεωμετρική προβολή των σημείων που έχουν ληφθεί κατά την ψηφιοποίηση του ψαριού, τον υπολογισμό του εμβαδού της προβολής στο οβελιαίο (οριζόντιο) επίπεδο, καθώς και τον υπολογισμό των εμβαδών της προβολής που δίνει το ψάρι όταν έχει διάφορους προσανατολισμούς, είναι απαραίτητη η επίλυση των ακόλουθων γεωμετρικών προβλημάτων. Οι τύποι που προκύπτουν από την επίλυση αυτών των προβλημάτων αποτελούν τους αλγόριθμους του λογισμικού προγράμματος που χρησιμοποιήθηκε.

### **A. ΕΥΡΕΣΗ ΤΗΣ ΕΞΙΣΩΣΗΣ ΤΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΠΡΟΒΟΛΗΣ**

Για την εύρεση του επιπέδου προβολής είναι αναγκαίος ο ορισμός τριών σταθερών σημείων πάνω στο ψάρι που θα δίνουν έναν αρχικό οριζόντιο προσανατολισμό.

Τα τρία σημεία που μας δίνουν κατά προσέγγιση τον οριζόντιο προσανατολισμό του σχήματος του ψαριού (οβελιαίο επίπεδο) είναι (Εικόνα 4.6):  $P_1$ ,  $P_2$  τα κέντρα του αμφιβληστροειδούς των δύο ματιών και  $P_3$  η άκρη του εγγύχους της άνω γνάθου (η οποία είναι

ακίνητη). Με τα σημεία  $P_1$  και  $P_2$  σταθεροποιούμε την περιστροφική ταλάντωση του σχήματος του ψαριού (roll) καθώς και τη πλευρική ταλάντωση του σχήματος του ψαριού (yaw). Με το σημείο  $P_3$  σταθεροποιούμε την κάθετη ταλάντωση του σχήματος του ψαριού (pitch) (Foote & Ona 1985).

Εστω ότι τα σημεία  $P_1, P_2, P_3$  έχουν συντεταγμένες  $P_1: (X_1, Y_1, Z_1), P_2: (X_2, Y_2, Z_2), P_3: (X_3, Y_3, Z_3)$ . Η εξίσωση του επιπέδου που δίνεται από τα σημεία αυτά είναι του τύπου

$$Q: Ax + By + Cz + D = 0$$

Οι συντελεστές  $A, B, C, D$  υπολογίζονται από την αναλυτική εξίσωση του επιπέδου που προκύπτει από την ορίζουσα:

$$\begin{vmatrix} X-X_1 & Y-Y_1 & Z-Z_1 \\ X_2-X_1 & Y_2-Y_1 & Z_2-Z_1 \\ X_3-X_1 & Y_3-Y_1 & Z_3-Z_1 \end{vmatrix} = 0$$

Από όπου προκύπτει

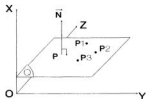
$$A = Y_2Z_3 - Y_2Z_1 - Y_1Z_3 + Z_2Y_3 + Z_2Y_1 + Z_1Y_3$$

$$B = Z_2X_3 - Z_2X_1 - Z_1X_3 + X_2Z_3 + X_2Z_1 + X_1Z_3$$

$$C = X_2Y_3 - X_2Y_1 - X_1Y_3 + Y_2X_3 + Y_2X_1 + Y_1X_3$$

$$D = -AX_1 - BY_1 - CZ_1$$

Στις παραπάνω εξισώσεις τα  $X_1, Y_1, Z_1$  είναι γνωστά (Χρυσάκης 1992).



Εικόνα 4.6. Ορισμός επιπέδου από 3 σημεία  $P_1, P_2, P_3$ .

## Β. ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΤΩΝ ΠΡΟΒΟΛΩΝ ΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ.

Για να βρεθεί το εμβαδόν της προβολής της νηκτικής κύστης, πρέπει όλα τα σημεία του ψηφιακού χάρτη της νηκτικής κύστης να προβληθούν πάνω στο επίπεδο. Εστω επίπεδο  $Q: Ax + By + Cz + D = 0$ . Θεωρούμε ένα σημείο  $L \in \mathbb{R}^3$  εκτός του επιπέδου. Εστω  $P \in \mathbb{R}^3$  η προβολή του σημείου  $L$  στο επίπεδο  $Q$ ,  $\vec{N} = (A, B, C)$  το κάθετο διάνυσμα του επιπέδου και  $d$  απόσταση του σημείου  $L$  από το επίπεδο  $Q$ . Η ευθεία  $LP \parallel \vec{N}$  (Εικόνα 4.6 και 4.7). Ισχύει

$$\vec{P} = \vec{L} + t \cdot \vec{N}, \text{ άρα}$$

$$\vec{P} = \vec{L} + t \cdot \vec{N} = \begin{pmatrix} P_x - L_x + t \cdot A \\ P_y - L_y + t \cdot B \\ P_z - L_z + t \cdot C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P_x - L_x + t \cdot A \\ P_y - L_y + t \cdot B \\ P_z - L_z + t \cdot C \end{pmatrix} =$$

Αντικαθιστώντας στην εξίσωση του επιπέδου τα  $P_x, P_y, P_z$  που είναι συντεταγμένες σημείου του επιπέδου έχουμε

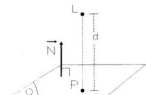
$$A \cdot (L_x + t \cdot A) + B \cdot (L_y + t \cdot B) + C \cdot (L_z + t \cdot C) + D = 0$$

$$\rightarrow A \cdot L_x + B \cdot L_y + C \cdot L_z + D + t \cdot (A^2 + B^2 + C^2) = 0$$

$$\rightarrow A \cdot L_x + B \cdot L_y + C \cdot L_z + D + t \cdot (A^2 + B^2 + C^2) = 0$$

Επειδή το σημείο  $P$  πρέπει να ικανοποιεί την εξίσωση του επιπέδου έχουμε

$$t = -\frac{A \cdot L_x + B \cdot L_y + C \cdot L_z + D}{A^2 + B^2 + C^2}$$



Εικόνα 4.7. Ύψος προβολής του  $L$  στο επίπεδο  $Q$ .

και οι συντεταγμένες του σημείου P υπολογίζονται από τους τύπους

$$P_x = L_x + t \cdot A, P_y = L_y + t \cdot B, P_z = L_z + t \cdot C, t = -\frac{A \cdot L_x + B \cdot L_y + C \cdot L_z + D}{A^2 + B^2 + C^2}$$

όπου A, B, C είναι γνωστά από την εξίσωση επιπέδου και  $L_x, L_y, L_z$  είναι οι επίσης γνωστές συντεταγμένες του σημείου (Χριστάκης 1992).

### Γ. ΕΥΡΕΣΗ ΤΟΥ ΕΜΒΑΔΟΥ ΠΟΥ ΣΧΗΜΑΤΙΖΟΥΝ ΤΑ ΣΗΜΕΙΑ ΠΡΟΒΟΛΗΣ

Μετά την προβολή όλων των σημείων του ψηφιακού χάρτη της νηκτικής κύστης στο επίπεδο, έχουμε ένα νέφος σημείων, από το οποίο θέλουμε να υπολογίσουμε το εμβαδόν που περικλείει, και το οποίο είναι το εμβαδόν της προβολής της νηκτικής κύστης. Χωρίζουμε το επίπεδο προβολής με ένα πλέγμα ισαπέχουσών γραμμών κάθετων μεταξύ τους. Η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών γραμμών είναι ίση με την απόσταση δύο διαδοχικών τομών, έστω d (d = 100μ).

Εργαζόμαστε έτσι το σχήμα μας σε ένα ορθογώνιο πλαίσιο του οποίου οι κορυφές  $A_1, A_2, A_3, A_4$  ορίζονται ως εξής:

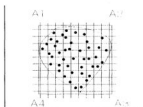
Αν ισχύει ότι από τα σημεία προβολής, τα  $X_e$  και  $X_n$  είναι αντίστοιχα η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή που παίρνει το X και  $Y_e, Y_n$  η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή του Y, τότε το ελάχιστο περιγεγραμμένο ορθογώνιο είναι: (Εικόνα 4.8.)

$$A_1 = (X_n, Y_n), A_2 = (X_e, Y_n), A_3 = (X_e, Y_e), A_4 = (X_n, Y_e)$$

Θεωρούμε το ορθογώνιο

$$A_1 = (X_n + 3 \cdot d, Y_n + 3 \cdot d), A_2 = (X_e - 3 \cdot d, Y_n + 3 \cdot d), A_3 = (X_e - 3 \cdot d, Y_e - 3 \cdot d),$$

$$A_4 = (X_n + 3 \cdot d, Y_e - 3 \cdot d)$$



Εικόνα 4.8. Έκταση εμβαδού από τα σημεία προβολής.

1) Ελέγχουμε μέσω του προγράμματος με λογικές συναρτήσεις ΑΛΗΘΕΙΑ-ΛΑΘΟΣ, σε πόσα τετράγωνα υπάρχει έστω και ένα σημείο προβολής: έστω ότι αυτά είναι n.

2) Βρίσκουμε πόσα και ποιά τετράγωνα αντιστοιχούν στην περίμετρο του σχήματος, ελέγχοντας αν έχουν γειτονικά τετράγωνα που δεν περιέχουν σημεία της προβολής. Έστω ότι τα τετράγωνα της περιμέτρου είναι k. Το εμβαδόν του σχήματος υπολογίζεται από το εμβαδόν των εσωτερικών τετραγώνων του σχήματος και το μισό του εμβαδού των τετραγώνων της περιμέτρου, οπότε έχουμε:

$$E = [(n - k) \cdot d^2 + \frac{1}{2} \cdot k \cdot d^2]$$

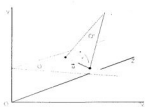
Το μήκος της περιμέτρου βρίσκεται ενώνοντας τα κέντρα διαδοχικών τετραγώνων της περιμέτρου και προσθέτοντας τις αποστάσεις τους. Αν τα τετράγωνα αυτά έχουν μια κοινή πλευρά, η απόσταση μεταξύ τους είναι d, ενώ η απόσταση μεταξύ τετραγώνων που έχουν συνευθειακή την διαγώνιά τους είναι  $\sqrt{2}d$ .

Με την μέθοδο αυτή η ακρίβεια των μετρήσεων δεν αλλοιώνεται γιατί επικαθορίζεται από την ακρίβεια που μας παρέχει η απόσταση μεταξύ των τομών. Δεν προσθέτει σφάλμα ή μεροληψία στις μετρήσεις μας, γιατί αποδεικνύεται ότι για τα τετράγωνα της περιμέτρου ισχύει: το άθροισμα των τετραγώνων που περιέχουν πραγματικό εμβαδόν σχήματος, μεγαλύτερο από το μισό του εμβαδού ολόκληρου του τετραγώνου, είναι κατά προσέγγιση ίσο με το άθροισμα των τετραγώνων που περιέχουν πραγματικό εμβαδόν σχήματος μικρότερο από το μισό

του εμβαδού του τετραγώνου. Αποδεικνύεται ότι οι οποιοδήποτε αποκλίσεις, προσθέτοντας στοχαστικό σφάλμα πολύ μικρότερο από οποιοδήποτε άλλο σφάλμα μετρήσεων, αν οι τομές είναι πολλές. Οι τομές μπορούν να θεωρηθούν απειροελάχιστου πάχους και ο αριθμός των τομών πολύ μεγάλος ( $> 50$ ) (Culling *et al.* 1985).

#### Δ. ΕΥΡΕΣΗ ΤΩΝ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ ΤΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΠΟΥ ΣΧΗΜΑΤΙΖΟΥΝ ΓΩΝΙΑ $\phi^0$ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΑΡΧΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΠΕΡΙ ΤΩΝ ΑΞΟΝΑ $P_1P_2$

Εστω ότι το αρχικό μας επίπεδο είναι  $Q$ , και  $Q'$  είναι το επίπεδο που σχηματίζει γωνία  $\phi^0$  με το  $Q$  και περνά από τα σημεία  $P_1:(x_1, y_1, z_1)$  και  $P_2:(x_2, y_2, z_2)$  του  $Q$ . Για την εύρεση της εξίσωσης επιπέδου, ο άξονας  $P_1P_2$  μετασχηματίζεται έτσι, ώστε να λάβουμε τον παραλληλό του που περνά από την αρχή των αξόνων. Για τον σκοπό αυτό λαμβάνουμε το μοναδιαίο διάνυσμα του  $P_1P_2$  και βρισκόμαστε τα συνημίτονα των γωνιών που σχηματίζει με τους τρεις καρτεσιανούς άξονες, δηλαδή το μήκος του μοναδιαίου διανύσματος ως προς τους  $OX, OY, OZ$  (Εικόνα 4.9).



Εικόνα 4.9. Περιστροφή επιπέδου κατά γωνία

Αν η εξίσωση του επιπέδου  $Q$  είναι  $Ax + By + Cz + D = 0$ ,  $\nabla$  τότε το διάνυσμα  $\vec{N} = (A, B, C)$  είναι κάθετο στο επίπεδο. Για το μοναδιαίο διάνυσμα του  $P_1P_2$  ισχύει:

$$\vec{M} = \frac{P_2 - P_1}{|P_2 - P_1|} = \vec{M} = (\alpha, \beta, \gamma), \text{ όπου}$$

$$\alpha = \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}}$$

$$\beta = \frac{y_2 - y_1}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}}$$

$$\gamma = \frac{z_2 - z_1}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}}$$

Για την εύρεση του  $Q'$

1) Αν περιστρέψουμε το κάθετο διάνυσμα  $\vec{N} = (A, B, C)$  του επιπέδου  $Q$  γύρω από τον άξονα κατά γωνία  $\phi^0$ , το κάθετο διάνυσμα  $\vec{N}' = (A', B', C')$  του νέου επιπέδου  $Q'$ , υπολογίζεται από την σχέση:

$$\begin{pmatrix} A' \\ B' \\ C' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} R \end{pmatrix}$$

Τα  $A', B', C'$  είναι οι αντίστοιχοι συντελεστές της εξίσωσης του επιπέδου  $Q'$ , ενώ ο  $D'$  είναι  $D' = -A'x_1 - B'y_1 - C'z_1$ , και ο πίνακας  $R$  είναι ο παρακάτω πίνακας περιστροφής του χώρου, γύρω από τον άξονα που περνάει από την αρχή των αξόνων και περιέχει το διάνυσμα  $\vec{M} = (\alpha, \beta, \gamma)$ . (Κουφουνώτης 1992, προσωπική επικοινωνία):

$$\begin{pmatrix} \text{συν}\phi + \alpha^2(1 - \text{συν}\phi) & \gamma\mu\phi + \alpha\beta(1 - \text{συν}\phi) & -\beta\gamma\mu\phi + \alpha\gamma(1 - \text{συν}\phi) \\ -\gamma\mu\phi + \alpha\beta(1 - \text{συν}\phi) & \text{συν}\phi + \beta^2(1 - \text{συν}\phi) & \alpha\eta\mu\phi + \beta\gamma(1 - \text{συν}\phi) \\ \beta\mu\phi + \alpha\gamma(1 - \text{συν}\phi) & -\alpha\eta\mu\phi + \beta\gamma(1 - \text{συν}\phi) & \text{συν}\phi + \gamma^2(1 - \text{συν}\phi) \end{pmatrix}$$

Η) Μπορούμε επίσης να περιστρέψουμε ένα σημείο που δεν βρίσκεται στον άξονα (π.χ.  $P_3$ ) γύρω από τον άξονα κατά γωνία  $\phi^0$  και να βρούμε τις συντεταγμένες του νέου σημείου  $P'_3$  σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο (Rogers & Adams 1979):

$$[X \ Y \ Z \ H] - [x \ y \ z \ 1] \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -l & -m & -n & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} R' \\ R' \\ R' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ l & m & n & 1 \end{pmatrix}$$

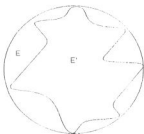
όπου  $P_1 = [l, m, n]$ , δηλαδή  $l = x_1$ ,  $m = y_1$ ,  $n = z_1$ , και  $R'$  είναι ο πίνακας

$$\begin{pmatrix} \sigma \nu \nu + \alpha^2(1 - \sigma \nu \nu) & \gamma \eta \mu \nu + \alpha \beta(1 - \sigma \nu \nu) & -\beta \eta \mu \nu + \alpha \gamma(1 - \sigma \nu \nu) & 0 \\ -\gamma \eta \mu \nu + \alpha \beta(1 - \sigma \nu \nu) & \sigma \nu \nu + \beta^2(1 - \sigma \nu \nu) & \alpha \eta \mu \nu + \beta \gamma(1 - \sigma \nu \nu) & 0 \\ \beta \eta \mu \nu + \alpha \gamma(1 - \sigma \nu \nu) & -\alpha \eta \mu \nu + \beta \gamma(1 - \sigma \nu \nu) & \sigma \nu \nu + \gamma^2(1 - \sigma \nu \nu) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Το νέο επίπεδο υπολογίζεται όπως και προηγουμένως (4.2.1Α) από τα σημεία  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P'_3$ . Τα αποτελέσματα των δύο λύσεων ταυτίζονται. Προτιμήθηκε η πρώτη λύση επειδή περιείχε λιγότερες πράξεις, ενώ η δεύτερη μέθοδος χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο των αποτελεσμάτων της πρώτης.

#### 4.2.2. ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΣΤΟ ΣΧΗΜΑ ΤΗΣ ΝΗΚΤΙΚΗΣ ΚΥΣΤΗΣ.

##### Α. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΚΥΚΛΙΚΟΤΗΤΑΣ



Εικόνα 4.10. Κυκλικότητα σχήματος και εμβαδού.

Σαν **κυκλικότητα του σχήματος** ορίζεται ο λόγος του τετραγώνου της περιμέτρου του σχήματος προς το εμβαδόν του σχήματος. Δεδομένου ότι το εμβαδόν του κύκλου είναι  $E = \pi R^2$  και η περιμετρος του κύκλου είναι  $2\pi R$  (όπου  $R$  η ακτίνα του κύκλου), όσο αυξάνεται η κυκλικότητα του σχήματος, ο λόγος θα τείνει στην ελάχιστη τιμή  $4\pi$ :

$$C_s = \frac{\Pi^2}{E'} \cdot \frac{(2\pi R)^2}{\pi R^2} = 4\pi$$

$$\frac{(\text{περιμετρος σχήματος})^2}{(\text{εμβαδόν σχήματος})} = 4\pi$$

Για να ελεγχθεί το σχήμα της νηκτικής κύστης, εκτός από το εμβαδόν της προβολής, μελετήθηκε η **κυκλικότητα του εμβαδού** της προβολής και η **κυκλικότητα του σχήματος** της προβολής (Εικόνα 4.10).

Σαν **κυκλικότητα εμβαδού** ( $C_E$ ) ορίζεται ο λόγος του εμβαδού του σχήματος προς το εμβαδόν του ελάχιστου περιγεγραμμένου κύκλου. Είναι ο λόγος  $\frac{E'}{E}$  και εκφράζει

το ποσοστό του περιγεγραμμένου κύκλου που καλύπτεται από το εμβαδόν του σχήματος. Ο λόγος αυτός τείνει στην μέγιστη τιμή 1, όσο κυκλικότερο είναι το σχήμα:

$$C_E = \frac{E'}{\pi R^2} - 1, \text{ όπου } R \text{ είναι η ακτίνα του ελαχίστου}$$

περιγεγραμμένου κύκλου.



Η κυκλικότητα εμβαδού μετρά πόσο από το εμβαδόν του περιγεγραμμένου κύκλου καλύπτεται από το σχήμα. Η κυκλικότητα σχήματος μετρά πόσο η περίμετρος (το σχήμα) μοιάζει με έναν κύκλο. Η διαφορά των δύο παραμέτρων φαίνεται στην Εικόνα 4.10, το εγγεγραμμένο σχήμα έχει μεγάλη κυκλικότητα εμβαδού αλλά μικρή κυκλικότητα σχήματος (Squire 1978).

## Β. ΕΥΡΕΣΗ ΠΕΡΙΓΕΓΡΑΜΜΕΝΟΥ ΚΥΚΛΟΥ

Για να βρούμε τον περιγεγραμμένο κύκλο ενός ακανόνιστου σχήματος, παίρνουμε τις αποστάσεις μεταξύ όλων των σημείων της περιμέτρου:  $\Delta(A_i - A_j)$ . Βρίσκουμε τα δύο σημεία  $(i, j)$  που απέχουν περισσότερο μεταξύ τους. Βρίσκουμε το μέσον  $O$  του ευθυγράμμου τμήματος  $A_i A_j$  που αντιστοιχεί στην μέγιστη απόσταση.

$O_x = \frac{X_i - X_j}{2}, O_y = \frac{Y_i - Y_j}{2}, O_z = \frac{Z_i - Z_j}{2}$  και την ακτίνα που είναι ίση με το  $\frac{1}{2}$  του ευθυγράμμου τμήματος. Ελέγχουμε την απόσταση του  $O$  από όλα τα σημεία της περιμέτρου του σχήματος. Αν όλα τα σημεία απέχουν λιγότερο από  $OA_i = OA_j$ , τότε το  $O$  είναι το κέντρο του ελάχιστου περιγεγραμμένου κύκλου. Αν υπάρχουν σημεία που απέχουν περισσότερο, τότε βρίσκουμε το σημείο  $M_{ij}$  που έχει την μέγιστη απόσταση από το κέντρο  $O$ . Το κέντρο του περιγεγραμμένου κύκλου ορίζεται από το σημείο τομής των μεσοκαθέτων στα ευθύγραμμα τμήματα που ορίζονται από τα τρία σημεία – τα δύο της μέγιστης απόστασης μεταξύ τους και το τρίτο της μέγιστης απόστασης από το  $O$ . Οι συντεταγμένες του σημείου  $O$  προσδιορίζονται ως εξής (Χρυσόκης 1992):

Εστω ότι τα τρία σημεία είναι τα  $A, B, C$  και  $M, N, K$  είναι τα μέσα των ευθυγράμμων τμημάτων  $AB, BC, CA$  (Εικόνα 4.11). Επειδή τα ευθύγραμμα τμήματα  $AB, BC, CA$  και  $OM, ON, OK$  είναι ανά δύο κάθετα μεταξύ τους ισχύει:

$$(A_x - B_x) \cdot (M_x - O_x) + (A_y - B_y) \cdot (M_y - O_y) + (A_z - B_z) \cdot (M_z - O_z) = 0$$

$$(B_x - C_x) \cdot (N_x - O_x) + (B_y - C_y) \cdot (N_y - O_y) + (B_z - C_z) \cdot (N_z - O_z) = 0$$

$$(C_x - A_x) \cdot (K_x - O_x) + (C_y - A_y) \cdot (K_y - O_y) + (C_z - A_z) \cdot (K_z - O_z) = 0$$

Οι παραπάνω εξισώσεις αποτελούν ένα σύστημα τριών εξισώσεων με τρεις αγνώστους, τις συντεταγμένες του σημείου  $O$ . Οι συντεταγμένες των σημείων  $M, N$  και  $K$  είναι

$$M_x = \frac{B_x + A_x}{2}, M_y = \frac{B_y + A_y}{2}, M_z = \frac{B_z + A_z}{2}$$

$$N_x = \frac{C_x + B_x}{2}, N_y = \frac{C_y + B_y}{2}, N_z = \frac{C_z + B_z}{2}$$

$$K_x = \frac{A_x + C_x}{2}, K_y = \frac{A_y + C_y}{2}, K_z = \frac{A_z + C_z}{2}$$

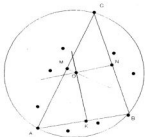
αντικαθιστώντας, κάνοντας τις πράξεις και συμβολίζοντας με  $\mu, \nu, \kappa$  τους σταθερούς όρους των εξισώσεων έχουμε:

$$O_x \cdot (A_x - B_x) + O_y \cdot (A_y - B_y) + O_z \cdot (A_z - B_z) = \mu$$

$$O_x \cdot (B_x - C_x) + O_y \cdot (B_y - C_y) + O_z \cdot (B_z - C_z) = \nu$$

$$O_x \cdot (C_x - A_x) + O_y \cdot (C_y - A_y) + O_z \cdot (C_z - A_z) = \kappa$$

Επομένως η λύση του συστήματος ως προς τους τρεις αγνώστους δίνεται από τους τύπους:



Εικόνα 4.11. Εύρεση περιγεγραμμένου κύκλου.

$$O_x = \frac{D_x}{D} = \frac{\begin{pmatrix} \mu (A_2-B_2) & (A_2-B_2) \\ \nu (B_2-C_2) & (B_2-C_2) \\ \kappa (C_2-A_2) & (C_2-A_2) \end{pmatrix}}{\begin{pmatrix} (A_2-B_2) & (A_2-B_2) & (A_2-B_2) \\ (B_2-C_2) & (B_2-C_2) & (B_2-C_2) \\ (C_2-A_2) & (C_2-A_2) & (C_2-A_2) \end{pmatrix}}, O_y = \frac{D_y}{D} = \frac{\begin{pmatrix} (A_2-B_2) & \mu (A_2-B_2) \\ (B_2-C_2) & \nu (B_2-C_2) \\ (C_2-A_2) & \kappa (C_2-A_2) \end{pmatrix}}{\begin{pmatrix} (A_2-B_2) & (A_2-B_2) & (A_2-B_2) \\ (B_2-C_2) & (B_2-C_2) & (B_2-C_2) \\ (C_2-A_2) & (C_2-A_2) & (C_2-A_2) \end{pmatrix}},$$

$$O_z = \frac{D_z}{D} = \frac{\begin{pmatrix} (A_2-B_2) & (A_2-B_2) & \mu \\ (B_2-C_2) & (B_2-C_2) & \nu \\ (C_2-A_2) & (C_2-A_2) & \kappa \end{pmatrix}}{\begin{pmatrix} (A_2-B_2) & (A_2-B_2) & (A_2-B_2) \\ (B_2-C_2) & (B_2-C_2) & (B_2-C_2) \\ (C_2-A_2) & (C_2-A_2) & (C_2-A_2) \end{pmatrix}}$$

Τέλος υπολογίζουμε την ακτίνα R του περιγεγραμμένου κύκλου

$$R = \sqrt{(O_x - A_x)^2 + (O_y - A_y)^2 + (O_z - A_z)^2} \text{ και το εμβαδόν } E = \pi R^2.$$

#### 4.2.3. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ.

Όπως και στην ενότητα 3.2., χρησιμοποιήθηκαν αναλύσεις απλής και βαθμωτής πολλαπλής παλινδρόμησης. Εξετάστηκαν οι σχέσεις που συνδέουν το εμβαδόν της Μέγιστης Ανακλώσας Διατομής με τις παραμέτρους που χρησιμοποιήθηκαν και στην ενότητα 3, δηλαδή το τυπικό μήκος ψαριού, το ποσοστό όγκου γονάδος ως προς τον ολικό όγκο, το ποσοστό βάρους του λίπους ως προς το ξηρό βάρος του ψαριού, το ποσοστό όγκου του στομαχιού ως προς τον ολικό όγκο του ψαριού, το φύλο (1 για τα αρσενικά ψάρια, 0 για τα θηλυκά), και την πληρότητα του στομαχιού (1 αν το στομάχι είναι γεμάτο, 0 αν το στομάχι είναι άδειο).

Τα δείγματα ομαδοποιήθηκαν σύμφωνα με τα αποτελέσματα της πολυπαραγοντικής ανάλυσης που αναφέρονται στην ενότητα 3.3.1.

Για την στατιστική επεξεργασία χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πακέτο STATGRAPHICS-PLUS (1991). Για τους λογιστικούς υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκε το πακέτο LOTUS 123 (1985).

#### 4.3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.

Για την εύρεση του εμβαδού της μέγιστης διατομής της νηκτικής κύστης χρησιμοποιήθηκαν οι παράμετροι:

- 1) Τυπικό μήκος ψαριού
- 2) Ο επί τους εκατό όγκος της γονάδος σε σχέση με το όγκο του ψαριού.
- 3) Ο επί τους εκατό όγκος του στομαχιού σε σχέση με το όγκο του ψαριού.
- 4) Το επί τους εκατό βάρος του λίπους σε σχέση με το ξηρό βάρος του ψαριού.
- 5) Το φύλο του ψαριού με τιμές 1 για τα αρσενικά και 0 για τα θηλυκά
- 6) Η πληρότητα του στομαχιού με τιμές 1 για τα γεμάτα στομάχια και 0 για τα άδεια.

Οι τιμές των παραμέτρων αυτών αναφέρονται στον ΠΙΝΑΚΑ 4.2.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2.** Τιμές των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν στις πολυδρομικές. Μέγος = εποχή δεγματοληψίας, R = ακτίνα του ελάχιστου περιγεγραμμένου κύκλου σε cm, ΠΕΡ = περίμετρος της μέγιστης διατομής σε cm, Ε = εμβαδόν της μέγιστης διατομής σε cm<sup>2</sup>, Λ% = ποσοστό βάρους λίπους ως προς το ξηρό βάρος του ψαριού, Σ% = επί τους εκατό όγκος του στομαχιού ως προς τον όγκο του ψαριού, Γ% = επί τους εκατό όγκος της γυνάδας ως προς τον όγκο του ψαριού, Μ = ταπακό μήκος, Φ = φύλο του ψαριού: 1 για τα αρσενικά, 0 για τα θηλυκά, ΣΤ = πληρότητα στομαχιού: 1 για τα ψάρια με τροφή στο στομάχι, 0 για τα ψάρια με άδειο στομάχι, Γ<sup>ο</sup> = η γυνία κλίση του ψαριού ως προς τον οφθαλμίο άξονα που αντιστοιχεί στην μέγιστη διατομή.

ΜΗΝΑΣ	Γ <sup>ο</sup>	R	ΠΕΡ.	Ε	Λ%	Σ%	Γ%	Μ	Φ	ΣΤ
7ος '89	8	2.16	11.33	1.99	14.83	0.68	0.00	11.1	0	0
7ος '89	5	1.78	9.74	1.71	19.02	0.43	0.00	11.4	0	0
7ος '89	7	1.87	10.29	1.40	8.31	0.81	0.00	10.2	0	1
7ος '89	6	1.31	8.42	1.54	13.99	0.80	0.00	10.4	0	1
7ος '89	6	2.13	13.42	2.04	16.25	0.67	0.29	10.5	1	1
7ος '89	5	1.77	10.71	2.35	12.65	0.87	0.14	10.8	0	1
7ος '89	6	2.03	11.34	2.05	10.54	1.17	0.00	11.4	0	1
7ος '89	6	2.12	11.35	1.86	11.55	0.94	0.00	10.4	0	1
7ος '89	7	2.34	12.84	2.91	13.55	0.82	0.14	11.8	0	1
7ος '89	6	3.70	21.21	4.17	37.02	0.77	0.61	15.1	0	1
7ος '90	5	2.45	17.26	1.49	31.01	0.54	0.12	12.9	0	1
7ος '90	7	1.66	9.15	1.87	25.81	0.73	0.22	14.3	0	0
7ος '90	6	1.74	10.95	2.16	36.96	0.51	0.24	14.0	0	0
7ος '90	7	2.21	16.33	2.60	44.31	0.66	0.79	14.4	1	1
7ος '90	5	1.67	11.81	2.04	37.38	0.65	0.04	13.5	0	1
7ος '90	6	2.21	13.73	3.83	36.97	0.55	0.27	16.0	1	1
7ος '90	5	2.65	17.45	2.30	39.31	0.65	0.29	14.0	1	1
7ος '90	5	2.21	14.58	2.19	17.38	0.85	0.37	14.3	0	1
7ος '90	6	2.67	15.55	3.03	31.12	0.59	0.58	14.5	1	1
4ος	8	2.38	13.24	2.52	15.02	0.58	0.52	15.0	0	1
4ος	6	2.70	15.83	3.58	16.02	0.82	0.60	15.1	1	1
4ος	6	2.62	15.98	4.31	20.19	0.72	0.66	15.7	0	1
4ος	4	2.11	12.97	3.30	13.38	0.78	1.66	15.0	0	0
4ος	6	2.18	14.14	2.88	22.51	0.65	0.84	14.6	1	0
4ος	7	2.38	13.26	3.53	18.96	0.79	0.57	15.0	0	0
4ος	6	2.03	14.94	3.27	13.04	0.80	0.88	15.0	1	0
4ος	6	2.12	13.09	3.20	22.18	0.63	0.91	15.1	1	0
4ος	6	1.92	16.34	2.34	26.20	0.74	0.48	14.0	0	0
4ος	5	2.43	12.60	2.09	12.86	0.57	0.60	14.6	0	0
10ος	6	2.34	13.71	2.72	40.36	0.44	5.04	14.0	0	0
10ος	6	2.00	15.81	2.28	29.71	0.53	2.53	15.2	0	0

ΜΗΝΑΣ	Γ°	R	ΠΕΡ.	Ε	Α%	Σ%	Γ%	Μ	Φ	ΣΤ
10ος	5	1.47	9.71	1.24	47.79	0.46	2.01	13.5	1	1
10ος	5	1.75	8.48	1.70	25.13	0.46	1.40	16.6	1	1
10ος	7	2.03	12.68	2.01	36.67	0.32	2.00	13.8	1	0
10ος	7	1.57	8.35	1.22	43.81	0.45	2.76	14.5	1	1
10ος	6	2.48	15.98	3.02	30.17	0.51	4.76	15.4	0	0
10ος	6	1.84	10.58	2.62	31.46	0.45	4.06	15.7	0	0
10ος	6	1.68	11.04	2.02	38.25	0.49	3.39	15.1	0	0
12ος	7	3.27	22.72	4.54	28.74	1.03	9.37	15.3	1	0
12ος	7	2.65	17.22	4.20	25.15	0.64	5.03	14.7	1	0
12ος	4	2.21	13.18	3.30	12.00	0.78	5.30	15.9	0	0
12ος	6	2.42	15.24	3.58	17.96	0.70	5.08	15.3	0	0
12ος	6	2.48	15.54	3.98	10.37	0.67	6.41	14.6	1	0
12ος	6	2.44	19.11	3.60	22.06	0.60	5.62	15.5	0	0
12ος	7	2.46	16.52	3.62	36.62	0.64	8.69	16.4	0	0
12ος	5	2.52	15.69	4.20	11.23	0.75	6.64	15.6	0	0
12ος	6	2.42	14.73	3.36	8.86	0.83	6.55	16.4	0	0
12ος	6	2.38	13.73	3.31	4.28	0.75	4.32	15.1	0	0

Οι μέσοι όροι και το τυπικό σφάλμα των γωνιών κλίσης του φαριού, ως προς τον οβελιαίο άξονα, οι οποίες αντιστοιχούν στην μέγιστη διατομή είναι:

ΙΟΥΛΙΟΣ '89 :  $6.2^{\circ} \pm 0.09$

ΙΟΥΛΙΟΣ '90 :  $5.8^{\circ} \pm 0.09$

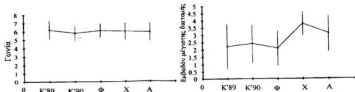
ΑΠΡΙΛΙΟΣ :  $5.9^{\circ} \pm 0.10$

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ :  $6.1^{\circ} \pm 0.08$

ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ :  $6.0^{\circ} \pm 0.09$

ΣΥΝΟΛΙΚΑ :  $6.0^{\circ} \pm 0.02$

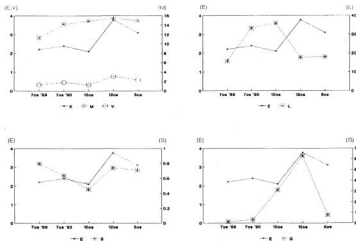
Το εύρος των τιμών της μέγιστης διατομής και της γωνίας της μέγιστης διατομής με τον οριζόντιο άξονα στο κάθε δείγμα φαίνονται στην Εικόνα 4.12.



Εικόνα 4.12. Απεικόνιση της μέσης τιμής και του 95% ορίου εμπιστοσύνης των τιμών κάθε δείγματος. Το εμβαδόν της μέγιστης διατομής είναι σε  $cm^2$  και οι γωνίες σε μοίρες.

Στην Εικόνα 4.13 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι των τιμών των παραμέτρων κάθε δείγματος, σε συνδυασμό με το μέσο εμβαδόν της μέγιστης διατομής. Η διακύμανση των τιμών των παραμέτρων έχει παρουσιαστεί στην προηγούμενη ενότητα στην Εικόνα 3.13. Οι μεταβολές της μέγιστης διατομής είναι σύμφωνες με τις μεταβολές της νηκτικής κύστης, ενώ δεν είναι πάντα σύμφωνες με τις μεταβολές του μήκους. Οι μεταβολές του λίπους παρουσιάζουν γενικά αρνητική συσχέτιση με την μέγιστη διατομή, με εξαίρεση τα δύο δείγματα του Καλοκαιριού (μικρά-μεγάλα ψάρια). Στα δείγματα αυτά, έχουμε τάση για ταυτόχρονη αύξηση και των δύο παραμέτρων, αλλά η αύξηση του λίπους είναι δυσανάλογα μεγαλύτερη από την αύξηση της μέγιστης διατομής. Οι μεταβολές του στομαχιού είναι θετικά συσχετισμένες με την μέγιστη διατομή. Οι μεταβολές του ποσοστού όγκου των γονάδων παρουσιάζουν την τάση να είναι γενικά σύμφωνες με την μεταβολή της μέγιστης διατομής. Η τάση αυτή των γονάδων είναι καθαρότερη αν συγκρίνουμε την μεταβολή μέσα στις δύο ομάδες που προκύπτουν από την ανάλυση ομαδοποίησης: Καλοκαίρι-Ανοιξη, Φθινόπωρο-Χειμώνας. Εξαιρέση αποτελεί η μετάβαση από το Καλοκαίρι στο Φθινόπωρο.

Ακολουθεί η αναλυτική στατιστική εξέταση της επίδρασης των παραμέτρων μέσα σε κάθε δείγμα (εποχιακές σχέσεις) και μεταξύ διαφόρων δειγμάτων (διεποχιακές σχέσεις).



Εικόνα 4.13. Απεικόνιση της μέσης τιμής των παραμέτρων κάθε δείγματος. E = το εμβαδόν της μέγιστης διατομής σε cm<sup>2</sup>, V = ο όγκος της νηκτικής κύστης σε cm<sup>3</sup>, L = το ποσοστό του λίπους ως προς το ξηρό βάρος, S = το ποσοστό του όγκου του στομαχιού ως προς τον όγκο του ψαριού, G = το ποσοστό του όγκου των γονάδων ως προς τον όγκο του ψαριού, M = το τυπικό μήκος σε cm.

**Στις σχέσεις που ακολουθούν οι συμβολισμοί που χρησιμοποιούνται είναι:** E = το εμβαδόν της μέγιστης διατομής σε cm<sup>2</sup>, M = το τυπικό μήκος σε cm, L = το ποσοστό βάρους του λίπους ως προς το ξηρό βάρος του ψαριού, G = το ποσοστό όγκου των γονάδων ως προς

τον όγκο του ψαριού,  $S =$  το ποσοστό όγκου του στομαχιού ως προς τον όγκο του ψαριού,  $D_{\frac{1}{2}}$  = ποιοτική μεταβλητή με τιμές 0: για ψάρια που έχουν τιμή ποσοστού γονάδων μικρότερο από 1% και 1: για ψάρια που έχουν τιμή γονάδων μεγαλύτερο από 1%, και  $D_{\frac{1}{2}}$  = ποιοτική μεταβλητή με τιμές που φαίνονται στον ΠΙΝΑΚΑ 4.2. στην στήλη (ΣΤ).

#### 4.3.1. ΕΠΟΧΙΑΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ

Στις εποχιακές σχέσεις παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν μέσα σε κάθε δείγμα (εποχή). Εκτός από την συνδυασμένη επίδραση των παραμέτρων στην πολλαπλή παλινδρόμηση, αναφέρονται και οι απλές παλινδρομήσεις της μέγιστης διατομής με το μήκος. Ανεξάρτητα από τα αποτελέσματα που έδωσαν, παρουσιάζονται οι σχέσεις που προκύπτουν με παλινδρομητές τους  $\log M$  και  $M^2$ , επειδή είναι πάγια τακτική να χρησιμοποιούνται στις συνήθεις εξισώσεις του Η.Δ. (Love 1969,1977). Πάντως σε όλες τις περιπτώσεις οι διαφορές μεταξύ των σχέσεων δεν είναι σημαντικές.

Παρουσιάζονται επίσης οι σχέσεις που προκύπτουν από την ένωση των δύο δειγμάτων του Καλοκαιριού, αν και αυτή η ένωση δεν προκύπτει από την ανάλυση ομαδοποίησης. Αυτό έγινε αφενός γιατί τα δύο δείγματα προέρχονται από την ίδια εποχή, αφετέρου για να διερευνηθεί η ιδιαιτερότητα του δείγματος "Καλοκαίρι '89" που κυρίως αποτελείται από μικρά ψάρια.

#### Α. ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ 1989.

Κύριο χαρακτηριστικό του δείγματος είναι η ύπαρξη μικρών ψαριών (10-12cm). Τα ψάρια έχουν πολύ μικρές αδιαφοροποίητες γονάδες, μικρό ποσοστό λίπους και γεμάτα στομάχια. Ορατή εμφάνιση λιπώδους ιστού έχουμε στα σχετικά μεγαλύτερα ψάρια (πάνω από 11cm).

##### Απλή παλινδρόμηση.

$$E = 0.54 \cdot M - 4.01 \text{ με } r = 0.92$$

Τα στατιστικά αποτελέσματα της παλινδρόμησης ήταν:

Παλιν/τής	Συν/σπής	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σημαν/τας	R <sup>2</sup>	r
M	0.543719	0.07746	0.0001	0.851	0.924
Τετμημένη	-4.00713	0.88234	0.0030		

##### Πολλαπλές παλινδρομήσεις.

$$E = 16.26 \log M - 0.057 \cdot L + 2.43 \cdot G - 14.34 \text{ με } \bar{R}^2 = 0.92$$

$$E = 0.022 \cdot M^2 - 0.058 \cdot L + 2.26 \cdot G \text{ με } \bar{R}^2 = 0.91$$

Τα στατιστικά αποτελέσματα των παλινδρομήσεων ήταν:

Παλιν/τής	Συν/σπής	Τυπικός Συν/σπής	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σημαν/τας	R <sup>2</sup>	$\bar{R}^2$
$\log M$	16.26378	0.95875	3.5001	0.0000	0.849	0.920
G	2.4288	0.57219	0.7475	0.0100	0.907	
L	-0.05657	-0.53977	0.0026	0.0510	0.947	
Σταθερά	-14.3404		3.3919			

<b>M<sup>2</sup></b>	0.02193	1.01121	0.2583	0.0000	0.847	0.911
<b>G</b>	2.25913	0.54014	0.1954	0.0200	0.890	
<b>L</b>	-0.05756	-0.58082	0.2850	0.0500	0.931	

Σε αντίθεση με τις σχέσεις του όγκου της νηκτικής κούστας, οι σχέσεις αυτές δεν είναι αντιστρόφως ανάλογες, αλλά ευθέως ανάλογες (γραμμικές). Στην παραγοντική παλινδρόμηση, η οποία δεν έχει σταθερό όρο, το τυπικό σφάλμα αναφέρεται στους τυπικούς συντελεστές.

Η μέγιστη διατομή αυξάνεται με το μέγεθος του ψαριού και την αύξηση της γονάδος, ενώ μειώνεται με την αύξηση του λίπους. Το μεγαλύτερο μέρος της διασποράς (=85%) οφείλεται στις διακυμάνσεις των τιμών του μήκους, ενώ οι δύο άλλοι παλινδρομητές (λίπος, γονάδες) έχουν συμπληρωματικό και διορθωτικό ρόλο. Οι τυπικοί συντελεστές δείχνουν ότι η τιμή της μέγιστης διατομής διαμορφώνεται κυρίως από το μήκος, ενώ οι δύο άλλες παράμετροι έχουν =50% της επίδρασης του μήκους.

#### **B. ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ 1990.**

Το δείγμα αποτελείται κυρίως από μεγαλύτερα ψάρια (πάνω από 14cm). Το ποσοστό του λίπους είναι πολύ υψηλότερο από το προηγούμενο δείγμα και οι γονάδες μικρές, διαμορφωμένες σε κατάσταση διάπαυσης. Όλα τα στομάχια περιείχαν τροφή.

##### Απλή παλινδρόμηση

$$E=0.75 \cdot M - 8.29 \quad \text{με } r=0.91$$

Τα στατιστικά αποτελέσματα της παλινδρόμησης ήταν:

Παλιν/τής	Συν/στής	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σημαν/τας	R <sup>2</sup>	r
<b>M</b>	0.75138	0.1294	0.0007	0.828	0.910
Τετμημένη	-8.2864	1.8416	0.0028		

##### Πολλαπλές παλινδρομήσεις.

$$E=24.40 \cdot \log M + 0.019 \cdot L - 26.35 \quad \text{με } \bar{R}^2=0.82$$

$$E=0.025 \cdot M^2 + 0.018 \cdot L - 3.39 \quad \text{με } \bar{R}^2=0.83$$

Τα στατιστικά αποτελέσματα των παλινδρομήσεων ήταν:

Παλιν/τής	Συν/στής	Τυπικός Συν/στής	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σημαν/τας	R <sup>2</sup>	$\bar{R}^2$
<b>logM</b>	24.3995	0.8897	4.0965	0.0010	0.819	0.822
<b>L</b>	0.01891	0.2198	0.01285	0.0600	0.867	
Σταθερά	-26.3466		4.7100	0.0000		
<b>M<sup>2</sup></b>	0.02553	0.8970	0.0041	0.0008	0.835	0.838
<b>L</b>	0.01812	0.21065	0.0123	0.0650	0.879	
Σταθερά	-3.3867		0.8946	0.0000		

Και πάλι οι σχέσεις είναι γραμμικές. Η μέγιστη διατομή αυξάνεται με το μέγεθος και το λίπος. Η γωνάδα δεν εμφανίζεται στην σχέση, πιθανότατα επειδή η διακρίμανση του μεγέθους της δεν είναι μεγάλη. Η θετική συσχέτιση με το λίπος μάλλον πρέπει να οφείλεται στον τρόπο που επιδρά η συσσώρευση του λίπους στο μέγεθος της μέγιστης διατομής.

Ολόκληρη σχεδόν η διασπορά οφείλεται στις διακρίμανσεις των τιμών του μήκους, ενώ οι διακρίμανσεις του λίπους έχουν διορθωτικό-συμπληρωματικό ρόλο. Σύμφωνα με τους τυπικούς συντελεστές η τιμή της μέγιστης διατομής διαμορφώνεται από το μήκος, ενώ το λίπος έχει μικρή επίδραση ( $\approx 23\%$  του μήκους).

### Γ. ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ.

Για την εξαγωγή των σχέσεων, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα που προκύπτουν από την ένωση των δύο δειγμάτων του Καλοκαιριού. Η ένωση αυτή δεν προκύπτει από την ανάλυση ομαδοποίησης, αναφέρεται όμως στην ίδια εποχή. Όπως και όλες οι υπόλοιπες "αθαιρέτες" ενώσεις, δείχνει απότομη πτώση του  $R^2$ .

#### Απλές παλινδρομήσεις.

$$E=0.26M-0.98 \text{ με } r=0.65$$

Τα στατιστικά αποτελέσματα των παλινδρομήσεων ήταν:

Παλιν/τής	Συν/στής	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σιγαν/τας	$R^2$	$r$
<b>M</b>	0.2578	0.07239	0.0024	0.427	0.654
Τετμημένη	-0.9779	0.9278	0.3066		

#### Πολλαπλές παλινδρομήσεις.

$$E=0.94G-0.24L+0.016L*M+2.67 \text{ με } \bar{R}^2=0.59$$

Τα στατιστικά αποτελέσματα των παλινδρομήσεων ήταν:

Παλιν/τής	Συν/στής	Τυπικός Συν/στής	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σιγαν/τας	$R^2$	$\bar{R}^2$
<b>L</b>	-0.24018	-3.8581	0.0760	0.0065	0.657	0.588
<b>L*M</b>	0.01608	4.17682	0.0049	0.0049		
<b>G</b>	0.938736	0.29474	0.6859	0.0813		
<b>Σταθερά</b>	2.67321		0.38343	0.0000		

Δεν μπορεί να προσδιοριστεί το ποσοστό που ερμηνεύει κάθε παλινδρομητής. Η μορφή της σχέσης αποκλίνει κατά πολύ από τις υπόλοιπες. Το ίδιο ισχύει και για το ποσοστό της διασποράς. Πιθανόν αυτό οφείλεται στην αλλαγή του τρόπου που επιδρούν οι διάφοροι παράγοντες στην διαμόρφωση της μέγιστης διατομής. Για παράδειγμα έχουμε "εκρηκτική" αύξηση του ποσοστού λίπους πάνω από ένα ορισμένο μέγεθος (Εικόνα 4.12.) και διαανάλογη αντίστοιχη αύξηση του μεγέθους της διατομής. Ο παλινδρομητής της αλληλεπίδρασης δείχνει ότι έχουμε ποσοστιαία μεταβολή της μέγιστης διατομής. Επίσης οι γωνάδες στο δείγμα "Καλοκαίρι '90" σταθεροποιούνται στο μέγεθος της διαπαυσης, ενώ στο δείγμα "Καλοκαίρι '89" είναι ακόμη υπό σχηματισμό. Πάντως ο ρόλος των γωνάδων είναι πάρα πολύ μικρός.

Το μεγαλύτερο μέρος της διασποράς ερμηνεύεται από το λίπος και από την αλληλεπίδραση λίπους-μεγέθους, που αποτελούν και τους παράγοντες που διακρίνονται στα δύο δείγματα. Η διαμόρφωση της τιμής της μέγιστης διατομής γίνεται κατά κύριο λόγο



από το λίπος και την αλληλεπίδραση μήκους-λίπους, ενώ οι γωνάδες έχουν ασήμαντο βάρος στην διαμόρφωσή της ( $\approx 7\%$  των δύο άλλων παραμέτρων).

#### Δ. ΑΝΟΙΞΗ.

Τα ψάρια παρουσιάζουν τα χαμηλότερα ποσοστά λίπους. Οι γωνάδες είναι μικρές, ελαφρά μεγαλύτερες από αυτές του Καλοκαιριού (πριν εισέλθουν πλήρως στο στάδιο της διάπαυσης). Τα ψάρια έχουν τελειώσει την αναπαραγωγή. Τα στομάχια παρουσιάζουν διάφορους βαθμούς πληρότητας, από μερική μέχρι μηδενική πληρότητα. Το λίπος είναι σε χαμηλά επίπεδα.

##### Απλή παλινδρόμηση.

$$E=1.23M-15.28 \text{ με } r=0.82$$

Τα στατιστικά αποτελέσματα της παλινδρόμησης ήταν:

Παλιν/τής	Συν/στής	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σημαν/τας	R <sup>2</sup>	r
M	1.2330	0.3002	0.0034	0.678	0.824
Τεταγμένη	-15.2827	4.4783	0.0092		

##### Πολλαπλές παλινδρομήσεις.

$$E=43.55 \log M + 0.047L + 3.28S - 51.17 \text{ με } \bar{R}^2=0.97$$

$$E=0.043M^2 + 0.043L + 3.25S - 9.48 \text{ με } \bar{R}^2=0.97$$

Τα στατιστικά αποτελέσματα των παλινδρομήσεων ήταν:

Παλιν/τής	Συν/στής	Τυπικός Συν/στής	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σημαν/τας	R <sup>2</sup>	$\bar{R}^2$
logM	43.5538	0.8533	3.11077	0.0000	0.669	0.971
S	3.2799	0.4659	0.4030	0.0002	0.885	
L	0.04680	0.33077	0.0085	0.0015	0.981	
Σταθερά	-51.1680		3.6698	0.0000		
M <sup>2</sup>	0.04270	0.845751	0.0031	0.0000	0.684	0.971
S	3.2497	0.46159	0.4076	0.0002	0.896	
L	0.04338	0.30659	0.0085	0.0022	0.981	
Σταθερά	-9.4833		0.7592	0.0000		

Οι σχέσεις είναι και πάλι γραμμικές. Η μέγιστη διατομή είναι θετικά συσχετισμένη με το μήκος, το λίπος και τον όγκο του στομαχιού.

Το μεγαλύτερο ποσοστό της διασποράς των τιμών της μέγιστης διατομής εξακολουθεί να εξηγείται από το μήκος, όμως το ποσοστό αυτό είναι αισθητά μειωμένο. Σχεδόν το 40% της ερμηνείας της διασποράς οφείλεται στις δύο άλλες παραμέτρους. Οι μεγάλες διακυμάνσεις των τιμών του λίπους και της πληρότητας του στομαχιού επηρεάζουν την διαμόρφωση του εμβαδού και οδηγούν στην είσοδο των δύο αυτών παραμέτρων στις εξισώσεις. Με βάση τους τυπικούς συντελεστές η τιμή της μέγιστης διατομής καθορίζεται κατά το ήμισυ από το μέγεθος και κατά το ήμισυ από τους δύο άλλους παράγοντες.

**Ε.ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ.**

Την εποχή αυτή το ψάρι έχει μπει στην περίοδο της αναπαραγωγής του. Συναντώνται γονάδες διαφόρων μεγεθών, ενώ ο όγκος τους υπερτριπλασιάζεται κατά μέσο όρο σε σχέση με τις προηγούμενες εποχές. Το αποθηκευμένο λίπος βρίσκεται στα υψηλότερα επίπεδα. Ο ρυθμός διατροφής έχει πέσει και όλα σχεδόν τα στομάχια είναι άδεια.

Απλή παλινδρόμηση.

$$E=0.17M-0.36 \text{ με } r=0.26$$

Τα στατιστικά αποτελέσματα της παλινδρόμησης ήταν:

Παλιν/τής	Συν/στής	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σιμεν/τος	R <sup>2</sup>	r
<b>M</b>	0.1653	0.2313	0.4980	0.068	0.261
Τετμημένη	-0.3646	3.4454	0.919		

Πολλαπλές παλινδρομήσεις.

$$E=-13.26 \log M-0.089 L+0.39 G+19.62 \text{ με } \bar{R}^2=0.97$$

$$E=-0.013 M^2-0.089 L+0.38 G+6.99 \text{ με } \bar{R}^2=0.97$$

Τα στατιστικά αποτελέσματα των παλινδρομήσεων ήταν:

Παλιν/τής	Συν/στής	Τυπικός Συν/στής	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σιμεν/τος	R <sup>2</sup>	$\bar{R}^2$
<b>G</b>	0.38979	0.79061	3.38275	0.0000	0.612	0.969
<b>L</b>	-0.089454	-1.04025	0.01032	0.0000	0.882	
<b>logM</b>	-13.25595	-0.6090	2.6115	0.0000	0.981	
Σταθερά	19.6230		3.3827	0.0000		
<b>G</b>	0.3785	0.7677	0.03165	0.0000	0.612	0.967
<b>L</b>	-0.08941	-1.03977	0.01070	0.0000	0.882	
<b>M<sup>2</sup></b>	0.01288	-0.6082	0.00264	0.0000	0.979	
Σταθερά	6.9870		0.9478	0.0000		

Οι σχέσεις είναι και πάλι γραμμικές. Η μέγιστη διατομή είναι θετικά συσχετισμένη με τις γονάδες και αρνητικά με το λίπος και το μέγεθος. Χαρακτηριστικό είναι ότι ενώ γενικά η μέγιστη διατομή παρουσιάζει ασθενή θετική συσχέτιση με το μήκος, μετά την αφαίρεση της επίδρασης των άλλων παραμέτρων φαίνεται ότι η μέγιστη διατομή είναι αρνητικά συσχετισμένη με το μήκος, αντιστρέφοντας την εικόνα που έχουμε έως τώρα.

Στο δείγμα του Φθινοπώρου το μεγαλύτερο ποσοστό της διασποράς (67%) ερμηνεύεται με το μέγεθος των γονάδων, πιθανώς λόγω της επίδρασής τους στο σχήμα της μέγιστης διατομής. Σημαντικό μέρος της διασποράς (27%) ερμηνεύεται από το λίπος μετά την αφαίρεση της επίδρασης των γονάδων. Το μήκος έχει μόνο διορθωτικό και συμπληρωματικό ρόλο. Στην απλή

παλινδρόμηση το μήκος εμφανίζει πολύ μικρή θετική συσχέτιση. Εκφράζει ένα μικρό ποσοστό της διασποράς μόνο μετά την "αφαίρεση" της επίδρασης των άλλων παραγόντων και τότε είναι αρνητικά συσχετισμένο με την μέγιστη διατομή.

Από τους τυπικούς συντελεστές προκύπτει ότι οι τρεις παλινδρομητές διαμορφώνουν σχεδόν ισοδύναμα την τιμή της μέγιστης διατομής. Την μεγαλύτερη βαρύτητα έχουν το λίπος και οι γονάδες. Ενδιαφέρον στοιχείο είναι, ότι μόνο το ποσοστό του όγκου των γονάδων, και όχι το φύλο, επιδρά στην διαμόρφωση της διατομής, αντίθετα με ότι συμβαίνει στην διαμόρφωση της τιμής του όγκου της νηκτικής κώστης.

### ΣΤ. ΧΕΙΜΟΝΑΣ.

Οι γονάδες βρίσκονται σε πλήρη ανάπτυξη. Όλα τα στομάχια είναι άδεια. Το ποσοστό του λίπους μειώνεται.

#### Απλή παλινδρόμηση.

$$E = -0.32 \cdot M - 8.73 \quad \text{με} \quad r = -0.46$$

Τα στατιστικά αποτελέσματα της παλινδρόμησης ήταν:

Παλιν/τής	Συν/στής	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σημαν/τος	$R^2$	$r$
<b>M</b>	-0.32071	0.21989	0.0828	0.210	-0.458
Συν/σθ/ση	8.7343	3.40642	0.0334		

#### Πολλαπλές παλινδρομήσεις.

$$E = -18.62 \cdot \log M + 0.21 \cdot G + 24.60 \quad \text{με} \quad \bar{R}^2 = 0.69$$

$$E = -0.017 \cdot M^2 + 0.21 \cdot G + 6.50 \quad \text{με} \quad \bar{R}^2 = 0.69$$

Τα στατιστικά αποτελέσματα των παλινδρομήσεων ήταν:

Παλιν/τής	Συν/στής	Τυπικός Συν/στής	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σημαν/τος	$R^2$	$\bar{R}^2$
<b>G</b>	0.2098	0.7853	0.05488	0.0000	0.515	0.691
<b>logM</b>	-18.6221	-0.7446	5.137	0.0000	0.744	
Συν/σθ/ση	24.5921		5.9931	0.0000		
<b>G</b>	0.2116	0.7921	0.05418	0.0000	0.514	0.691
<b>M<sup>2</sup></b>	-0.01693	-0.7518	0.0046	0.0000	0.752	
Συν/σθ/ση	6.5000		1.02257	0.0000		

Όπως συμβαίνει την αντίστοιχη εποχή στον όγκο της γονάδας, η μέγιστη διατομή μειώνεται με το μήκος και αυξάνεται με την γονάδα.

Οι γονάδες αποτελούν την πρωτεύουσα πηγή διακύμανσης των τιμών της νηκτικής κώστης και εξηγούν μεγάλο μέρος της διασποράς (26%). Το μήκος εξηγεί το μεγαλύτερο μέρος της διασποράς, αφού όμως πρώτα απομακρυνθεί η επίδραση της γονάδας. Το λίπος δεν φαίνεται να επιδρά. Το σωστότερο θα ήταν να πούμε ότι η επίδρασή του είναι πολύ μικρή και

ενωσιμάτων στον σταθερό όρο. Αν θελήσουμε να είμαστε στατιστικά ακριβείς, θα πρέπει να πούμε, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παλινδρόμησης ότι το λίπος έχει μηδενική επίδραση, με πιθανότητα 17%. Έτσι το λίπος δεν συμπεριελήφθη στην εξίσωση για λόγους στατιστικής αξιοτηράτητας. Σύμφωνα με τους τυπικούς συντελεστές η διαμόρφωση των τιμών της μέγιστης διατομής γίνεται σχεδόν ισοδύναμα και από τις δύο παραμέτρους.

Πάντως οι σχετικά χαμηλότερες τιμές του  $R^2$  μαρτυρούν την επίδραση και άλλων παραγόντων (π.χ. του λίπους), που θα πρέπει να διερευνηθούν με την ένωση των δειγμάτων Φθινοπώρου-Χειμώνα ή με μια μελλοντική αύξηση του δείγματος του Χειμώνα.

#### 4.3.2. ΔΙΕΠΟΧΙΑΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ

Στην ενότητα αυτή εξετάστηκαν οι σχέσεις που προκύπτουν από την ένωση εποχιακών δειγμάτων σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης ομαδοποίησης: Άνοιξη-Καλοκαίρι 1990, Φθινοπώρο-Χειμώνας και Καλοκαίρι 1989-Άνοιξη-Καλοκαίρι 1990.

##### **Α. ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ 1990-ΑΝΟΙΞΗ**

Η ένωση των δειγμάτων περιέχει ψάρια με διαφορετικό βαθμό πληρότητας στομαχίου, και περίπου τα ίδια επίπεδα αύξησης των γονάδων. Το ποσοστό του λίπους αξιάνεται από την Άνοιξη προς το Καλοκαίρι.

Απλές παλινδρομήσεις.

$$E=0.90 \cdot M - 10.37 \quad \text{με } r=0.88$$

$$E=29.80 \cdot \log M - 31.90 \quad \text{με } r=0.87$$

Τα στατιστικά αποτελέσματα των παλινδρομήσεων ήταν:

Παλιν/τής	Συν/σής	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σημαν/τος	$R^2$	$r$
<b>M</b>	0.90123	0.11735	0.0000	0.776	0.881
Τετμημένη	-10.3737	1.71282	0.0000		
<b>logM</b>	29.7997	3.9783	0.0000	0.754	0.868
Τετμημένη	-31.8976	4.6285	0.0000		

Πολλαπλές παλινδρομήσεις.

$$E=0.074 \cdot M^2 + 0.58 \cdot L - 0.039 \cdot L \cdot M - 13.31 \quad \text{με } \bar{R}^2=0.82$$

Τα στατιστικά αποτελέσματα των παλινδρομήσεων ήταν:

Παλιν/τής	Συν/σής	Τυπικός Συν/σής	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σημαν/τος	$R^2$	$\bar{R}^2$
<b>M<sup>2</sup></b>	0.07379	2.09164	0.0171	0.0000	0.783	0.8196
<b>L</b>	0.5802	7.8339	0.2318	0.0200	0.787	
<b>L·M</b>	-0.0394	-7.3913	0.0157	0.0200	0.850	
<b>Σταθερά</b>	-13.3151		3.7532	0.0000		

Η μέγιστη διατομή αυξάνεται με το μήκος και μειώνεται με την αύξηση του ποσοστού λίπους, ενώ υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ λίπους και μεγέθους.

Το μεγαλύτερο ποσοστό της διασποράς εξηγείται από την μεταβολή του μεγέθους, ενώ οι παράγοντες λίπους και αλληλεπίδρασης λίπους-μήκους έχουν συμπληρωματικό και διορθωτικό ρόλο. Η διαμόρφωση της τιμής της μέγιστης διατομής γίνεται κυρίως από το λίπος και την αλληλεπίδραση μήκους-λίπους. Το μέγεθος (μήκος) έχει σημαντική, αλλά μικρότερη επίδραση (=30%) από τους άλλους παράγοντες.

## B. ΑΝΟΙΞΗ-ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ.

Στην προηγούμενη ένωση δειγμάτων, προστίθεται και το δείγμα του Καλοκαιριού 1989.

### Διπλή παλινδρόμηση.

$$E=0.31 \cdot M-1.60 \text{ με } r=0.72$$

Τα στατιστικά αποτελέσματα της παλινδρόμησης ήταν:

Παύον/τής	Συν/στής	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σημεριν/τας	R <sup>2</sup>	r
<b>M</b>	0.31021	0.05735	0.0000	0.520	0.721
Τεταμένη	-1.60158	0.7787	0.0495		

### Πολλαπλές παλινδρομήσεις.

$$E=9.98 \cdot \log M+1.49 \cdot S-9.72 \text{ με } \bar{R}^2=0.53$$

$$E=0.011 \cdot M^2+0.67 \cdot S \text{ με } \bar{R}^2=0.60$$

Τα στατιστικά αποτελέσματα των παλινδρομήσεων ήταν:

Παύον/τής	Συν/στής	Τυπικός Συν/στής	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σημεριν/τας	R <sup>2</sup>	$\bar{R}^2$
<b>logM</b>	9.98205	0.790255	1.7263	0.0000	0.494	0.529
<b>S</b>	1.49275	0.27681	0.73702	0.0532	0.563	
<b>Σταθερά</b>	-9.7217		2.1690	0.0000		
<b>M<sup>2</sup></b>	0.0115	0.8220	0.1252	0.0000	0.547	0.601
<b>S</b>	0.6657	0.2747	0.1252	0.0300	0.615	

Στην παλινδρόμηση χωρίς σταθερό όρο, το τυπικό σφάλμα αναφέρεται στον τυπικό συντελεστή.

Η μέγιστη διατομή συσχετίζεται θετικά με το μέγεθος και το στομάχι. Το σύνολο σχεδόν της ερμηνεύσιμης διασποράς εξηγείται από τις διακυμάνσεις των τιμών του μήκους, το οποίο έχει και τον κυριο λόγο στην διαμόρφωση της τιμής της μέγιστης διατομής. Οι διακυμάνσεις των τιμών του στομαχίου είναι εντονότερες σ' αυτή την ένωση και έτσι είναι δυνατόν να εμφανιστεί σαν παράμετρος. Η αξία του όμως, τόσο στην ερμηνεία της διασποράς όσο και στην διαμόρφωση της τελικής τιμής είναι πολύ μικρή. Ο συντελεστής συσχέτισης είναι αισθητά μικρότερος σε σύγκριση με τις προηγούμενες σχέσεις. Αυτό πιθανότατα οφείλεται στο διαφορετικό πρότυπο επίδρασης του λίπους στο δείγμα του "Καλοκαιριού 1989" (μικρά άτομα).

### Γ. ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ-ΧΕΙΜΩΝΑΣ.

Τα ψάρια και των δύο δειγμάτων έχουν εισέλθει στην περίοδο αναπαραγωγής. Το λίπος μειώνεται από το Φθινόπωρο προς τον Χειμώνα, ενώ αντίστοιχα οι γονάδες αυξάνονται. Όλα σχεδόν τα στομάχια των ψαριών ήταν άδεια.

Απλή παλινδρόμηση.

$$E=0.38 \cdot M-2.83 \text{ με } r=0.32$$

Τα στατιστικά αποτελέσματα της παλινδρόμησης ήταν:

Παλιν/τής	Συν/σής	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σημαν/τας	R <sup>2</sup>	r
<b>M</b>	0.3824	0.2686	0.1725	0.107	0.326
Τετραμένη	-2.8346	4.6861	0.4972		

Πολλαπλές παλινδρομήσεις.

$$E=1.78 \cdot \log M+0.33 \cdot G-0.027 \cdot L \text{ με } \bar{R}^2=0.85$$

$$E=-0.006 \cdot M^2+0.35 \cdot G-0.03 \cdot L+3.66 \text{ με } \bar{R}^2=0.85$$

Τα στατιστικά αποτελέσματα των παλινδρομήσεων ήταν:

Παλιν/τής	Συν/σής	Τυπικός Συν/σής	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σημαν/τας	R <sup>2</sup>	$\bar{R}^2$
<b>G</b>	0.33248	0.7546	0.04976	0.0000	0.731	0.854
<b>L</b>	-0.0274	-0.4368	0.00816	0.0000	0.854	
<b>logM</b>	1.78087	-0.15269	0.32593	0.0000	0.871	
<b>G</b>	0.3488	0.7548	0.04684	0.0000	0.731	0.848
<b>L</b>	-0.03443	-0.43738	0.0084	0.0000	0.854	
<b>M<sup>2</sup></b>	-0.00625	-0.1609	0.00414	0.0600	0.873	
<b>Σταθερά</b>	3.6581		1.05514	0.0000		

Στην παλινδρόμηση χωρίς σταθερό όρο, το τυπικό σφάλμα αναφέρεται στους τυπικούς συντελεστές. Η μέγιστη διατομή είναι αρνητικά συχτησιμένη με το μέγεθος και το λίπος, και θετικά συχτησιμένη με την ανάπτυξη των γονάδων. Αν εξετασούμε το μέγεθος (μήκος) μεμονωμένα παρουσιάζει ασθενή θετική συσχέτιση, μετά όμως την απομάκρυνση της επίδρασης των άλλων παραγόντων εμφανίζει αρνητική συσχέτιση.

Το σύνολο σχεδόν της διακύμανσης των τιμών της μέγιστης διατομής οφείλεται στην επίδραση των γονάδων (73%) και δευτερευόντως στο λίπος (=12%). Τό μήκος ερμηνεύει ένα πολύ μικρό ποσοστό της διασποράς, μόνο μετά την απομάκρυνση των άλλων παραμέτρων (=2%). Ομοίως, σύμφωνα με τους τυπικούς συντελεστές, η τιμή της μέγιστης διατομής διαμορφώνεται κυρίως από την γονάδα και δευτερευόντως από το λίπος, που έχει το 60% της επίδρασης της γονάδας. Το μήκος επιδρά ελάχιστα στην διαμόρφωση της τιμής της μέγιστης διατομής: επιδρά όσο το 20% της γονάδας και συμμετέχει μόλις κατά 11% στην διαμόρφωση της τελικής τιμής.

### 4.3.3 ΕΤΗΣΙΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ

Η εξέταση των ετησίων σχέσεων έγινε με ένωση όλων των δειγμάτων. Κατ' εξαίρεση εξετάστηκαν οι σχέσεις που προκύπτουν από την ένωση των δειγμάτων Καλοκαίρι '89-Φθινόπωρο-Χειμώνας-Ανοιξη και Φθινόπωρο-Χειμώνας-Ανοιξη-Καλοκαίρι '90. Σκοπός των κατ' εξαίρεση ενώσεων ήταν να διερευνηθεί η επίδραση του δείγματος 'Καλοκαίρι '89' (μικρά άτομα).

Οι σχέσεις που προκύπτουν με την χρησιμοποίηση των συντησιμένων παραμέτρων έχουν αισθητά μικρότερη προσαρμογή από όλες τις προηγούμενες. Αναφέρονται ενδεικτικά τα μεγαλύτερες τιμές  $\bar{R}^2$  που προέκυψαν:

ΕΝΩΣΗ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ :  $\bar{R}^2=0.56$

ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ '89-ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ-ΧΕΙΜΩΝΑΣ-ΑΝΟΙΞΗ :  $\bar{R}^2=0.59$

ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ-ΧΕΙΜΩΝΑΣ-ΑΝΟΙΞΗ-ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ '90 :  $\bar{R}^2=0.56$

Το πιθανότερο είναι ότι τα αποτελέσματα αυτά οφείλονται στον διαφορετικό τρόπο (πρότυπο) επίδρασης των παραμέτρων, στις δύο εποχιακές ομάδες δειγμάτων. Με σκοπό να διερευνηθεί αυτή η πιθανότητα προστέθηκε μια ακόμη ποιοτική μεταβλητή με τιμές: 1 για αναπτυγμένες γονάδες ανεξαρτήτως φύλου (με τιμές μεγαλύτερες του 1%), και 0 για γονάδες σε κατάσταση διάπαυσης (με τιμές μικρότερες του 1%). Τα αποτελέσματα ήταν αισθητά καλύτερα.

#### Α. ΕΝΩΣΗ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ.

Απλή παλινδρόμηση

$E=0.30 \cdot M-1.49$  με  $r=0.58$

Τα στατιστικά αποτελέσματα της παλινδρόμησης ήταν:

Παλιν/τής	Συν/στής	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σημαν/τας	$R^2$	$r$
<b>M</b>	0.29836	0.06133	0.0001	0.340	0.583
Τεμνημένη	-1.48744	0.87376	0.0954		

#### Πολλαπλές παλινδρομήσεις.

$E=7.8 \cdot \log M-0.015 \cdot L+0.33 \cdot G-1.44 \cdot D_g-6.00$  με  $\bar{R}^2=0.65$

$E=0.014 \cdot M^2-0.009 \cdot L+0.31 \cdot G-1.53 \cdot D_g$  με  $\bar{R}^2=0.65$

Τα στατιστικά αποτελέσματα των παλινδρομήσεων ήταν:

Παλιν/τής	Συν/στής	Τυπικός Συν/στής	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σημαν/τας	$R^2$	$\bar{R}^2$
<b>logM</b>	7.80036	0.50664	1.65697	0.0000	0.329	0.649
<b>L</b>	-0.01513	-0.19197	0.00758	0.0650	0.445	
<b>G</b>	0.3351	0.9531	0.06446	0.0000	0.506	
<b>D<sub>g</sub></b>	-1.43854	-0.78757	0.31226	0.0000	0.669	
Σταθερά	-6.0031		1.81697	0.0019		

<b>M</b>	0.014035	0.50548	0.10735	0.0000	0.348	0.650
<b>L</b>	-0.00935	-0.16516	0.09396	0.0913	0.445	
<b>G</b>	0.31366	0.94691	0.17628	0.0000	0.499	
<b>D<sub>g</sub></b>	-1.5281	-0.79739	0.16965	0.0000	0.667	

Στην παλινδρόμηση χωρίς σταθερό όρο, το τυπικό σφάλμα αναφέρεται στους τυπικούς συντελεστές. Όλες γενικές τάσεις που έχουν αποτυπωθεί στις προηγούμενες σχέσεις επικυρώνονται εδώ. Η μέγιστη διατομή είναι θετικά συσχετισμένη με το μήκος και την γονάδα και αρνητικά συσχετισμένη με το λίπος. Η ποιοτική μεταβλητή "διασπλά" την εξίσωση στα δύο: μια έκφραση για την αναπαραγωγική περίοδο και μία για την εκτός αναπαραγωγής περίοδο. Η σχέση μπορεί να κριθεί σαν ικανοποιητική για μια τόσο μεγάλη χρονική περίοδο και την συμμετοχή τώσων παραγόντων που επιδρούν. Είναι επίσης χαρακτηριστικό ότι η επίδραση του στομαχιού δεν εμφανίζεται στις σχέσεις, επιβεβαιώνοντας την μικρή επίδραση που εμφανίζει στις επιμέρους σχέσεις.

Το μεγαλύτερο μέρος της ερμηνεύσιμης διασποράς εξηγείται από δύο κυρίως μεταβλητές: το μέγεθος (μήκος) κατά  $\approx 48\%$  και τον εποχιακό διαχωρισμό ( $D_g$ ) κατά  $\approx 26\%$ . Είναι επίσης χαρακτηριστικό ότι, σύμφωνα με τους τυπικούς συντελεστές, η διαμόρφωση της τελικής τιμής της μέγιστης διατομής γίνεται κυρίως από την γονάδα και την  $D_g$  και δευτερευόντως από το μήκος. Το λίπος παίζει μικρό-διορθωτικό ρόλο.

#### **B. ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ-ΧΕΙΜΩΝΑΣ-ΑΝΟΙΞΗ-ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ '90.**

Απλή παλινδρόμηση.

$$E=0.57M-5.57 \text{ με } r=0.54$$

Τα στατιστικά αποτελέσματα της παλινδρόμησης ήταν:

Παλιν/τής	Συν/στές	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σμμεν/τας	R <sup>2</sup>	r
<b>M</b>	0.5671	0.14572	0.0004	0.296	0.544
Τετραμένη	-5.5704	2.17237	0.0147		

Πολλαπλές παλινδρομήσεις.

$$E=12.25 \log M - 0.012 L + 0.32 G - 1.53 D_g - 0.38 D_s - 11.04 \text{ με } \bar{R}^2=0.67$$

$$E=0.015 M^2 - 0.0094 L + 0.32 G - 1.58 D_g - 0.42 D_s \text{ με } \bar{R}^2=0.67$$

Τα στατιστικά αποτελέσματα των παλινδρομήσεων ήταν:

Παλιν/τής	Συν/στές	Τυπικός Συν/στές	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σμμεν/τας	R <sup>2</sup>	$\bar{R}^2$
$\log M$	12.24549	0.34468	4.28747	0.0075	0.308	0.667
<b>L</b>	-0.01237	-0.15943	0.00866	0.0525	0.396	
<b>G</b>	0.32005	0.95686	0.0598	0.0000	0.488	
<b>D<sub>g</sub></b>	-1.5282	-0.87715	0.31800	0.0000	0.668	
<b>D<sub>s</sub></b>	-0.38342	-0.21885	0.19599	0.0510	0.704	
<b>Σταθερά</b>	-1104201		5.04425	0.0360		



<b>M</b>	0.01476	0.33370	0.12022	0.0090	0.283	0.672
<b>L</b>	-0.00942	-0.16825	0.11015	0.0513	0.382	
<b>G</b>	0.31715	0.96246	0.17745	0.0000	0.480	
<b>D<sub>g</sub></b>	-1.57905	-0.88577	0.18188	0.0000	0.660	
<b>D<sub>s</sub></b>	-0.41758	-0.23035	0.11221	0.0481	0.699	

Στην παλινδρόμηση χωρίς σταθερό όρο, το τυπικό σφάλμα αναφέρεται στους τυπικούς συντελεστές. Η σχέση είναι σχεδόν όμοια με την προηγούμενη της ένωσης όλων των δειγμάτων. Όμως ο εποχιακός διαχωρισμός είναι καθαρότερος με την είσοδο και της δεύτερης ποσοτικής μεταβλητής. Και οι δύο ποσοτικές μεταβλητές στην ουσία αναφέρονται σε διαφορές της εσωτερικής φυσιολογίας του ψαριού που αντιστοιχούν στις δύο ομάδες εποχών (γεννητική ωριμότητα -Φθινοπώρο και Χειμώνα- και πληρότητα στυμμάχου -Ανοιξη και Καλοκαίρι-). Αυτό είναι το γεγονός που επιτρέπει αύξηση του συντελεστή συσχέτισης.

Το μεγαλύτερο μέρος της ετημεσότητας διασποράς εξηγείται από δύο κυρίως μεταβλητές: το μήκος ( $\approx 44\%$ ) και τον εποχιακό διαχωρισμό ( $D_g$  και  $D_s$ ), του οποίου το ειδικό βάρος αυξάνει ( $\approx 30\%$ ). Σύμφωνα με τους τυπικούς συντελεστές η τιμή της μέγιστης διατομής διαμορφώνεται κυρίως από τις γονάδες ( $D_g$ ) και δευτερευόντως από το μήκος. Και πάλι το λίπος έχει επικουρικό ρόλο.

#### Γ. ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ '89-ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ-ΧΕΙΜΩΝΑΣ-ΑΝΟΙΞΗ.

Απλή παλινδρόμηση.

$$E=0.28 \cdot M - 1.18 \text{ με } r=0.58$$

Τα στατιστικά αποτελέσματα της παλινδρόμησης ήταν:

Παλιν/τής	Συν/στής	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σπμν/της	R <sup>2</sup>	r
<b>M</b>	0.2822	0.06505	0.0001	0.337	0.581
Τετμημένη	0.2822	0.06505	0.2126		

Πολλαπλές παλινδρόμησης.

$$E=7.24 \cdot \log M - 0.36 \cdot G - 1.75 \cdot D_g - 5.56 \text{ με } \bar{R}^2=0.66$$

$$E=0.009 \cdot M^2 + 0.36 \cdot G - 1.73 \cdot D_g + 0.92 \text{ με } \bar{R}^2=0.65$$

Τα στατιστικά αποτελέσματα των παλινδρόμησεων ήταν:

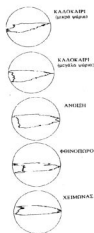
Παλιν/τής	Συν/στής	Τυπικός Συν/στής	Τυπικό Σφάλμα	Επίπεδο σπμν/της	R <sup>2</sup>	$\bar{R}^2$
<b>logM</b>	7.2422	0.49689	1.69322	0.0001	0.336	0.665
<b>G</b>	0.36284	1.04059	0.05949	0.0000	0.404	
<b>D<sub>g</sub></b>	-1.7512	-0.94916	0.30680	0.0000	0.692	
<b>Σταθερά</b>	-5.5626		1.87983	0.0055		

$M'$	0.0089	0.48595	0.0022	0.0022	0.301	0.653
G	0.3585	1.02804	0.061	0.0000	0.400	
$D_g$	-1.7270	-0.93602	0.31155	0.0000	0.681	
Σταθερά	0.92104		0.39951	0.0272		

Με βάση την σχέση αυτή και τις δύο προηγούμενες μπορούμε να κάνουμε ορισμένες βασικές παρατηρήσεις για την επίδραση του δείγματος "Καλοκαίρι '89". Οι επιδράσεις του λίπους και του στομαχιού φαίνεται ότι έχουν *διαφορετικό πρότυπο σ'* αυτό το δείγμα. Γι' αυτό και η μεταβλητή  $D_g$  εμφανίζεται στις σχέσεις, ανάλογα με την είσοδο του δείγματος αυτού στις ενώσεις. Το ίδιο ισχύει και για το λίπος που βλέπουμε να μην μπορεί να "εκφραστεί" αν χρησιμοποιηθεί μόνο το δείγμα "Καλοκαίρι '89". Η είσοδος του δείγματος στην ένωση των δειγμάτων ανεβάζει την πιθανότητα μηχανικής επίδρασης του λίπους από το 5% στο 10%. Οι δύο αυτοί παράγοντες (λίπος και στομάχι), ενσωματώνονται εδώ στην σταθερά.

Το μεγαλύτερο ποσοστό εξημερεύσιμης διασποράς εξηγείται και πάλι από δύο κυρίως μεταβλητές: το μήκος ( $\approx 34\%$ ) και τον εποχιακό διαχωρισμό ( $\approx 29\%$ ). Σύμφωνα με τους τυπικούς συντελεστές η τελική τιμή της μέγιστης διατομής διαμορφώνεται κατά 42% από την γονάδα, κατά 38% και την  $D_g$  και κατά 20% από το μέγεθος (μήκος).

#### 4.3.4. ΕΠΟΧΙΑΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΟΥ ΣΧΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΝΗΚΤΙΚΗΣ ΚΥΣΤΗΣ



**Εικόνα 4.13**  
Χαρακτηριστικές προφίλς νηκτικής κύστης των διαφόρων δεσγμάτων, με τον περιγεγραμμένο κύκλο τους.

Στις δύο προηγούμενες ενότητες δείχθηκε ότι η εσωτερική φυσιολογία του ψαριού έχει άμεση επίδραση στο μέγεθος της μέγιστης διατομής, η οποία είναι η οπισθανακλώσα διατομή του αερίου της νηκτικής κύστης. Η επίδραση αυτή μπορεί να γίνεται με δύο τρόπους: Α) επιδρώντας στο συνολικό μέγεθος της νηκτικής κύστης, Β) "παραμορφώνοντας" το σχήμα της νηκτικής κύστης και πιο συγκεκριμένα το σχήμα της μέγιστης διατομής. Εδώ επιχειρείται μια πρώτη προσέγγιση της επίδρασης των παραμέτρων στο σχήμα.

Η προσέγγιση των μεταβολών του σχήματος έγινε με μελέτη των διεπιφανικών τάσεων μεταβολής της κυκλικότητας της μέγιστης διατομής. Μελετήθηκαν οι μεταβολές της κυκλικότητας εμβαδού:  $C_E$  και οι μεταβολές της κυκλικότητας του σχήματος:  $C_S$ . Η αναλυτική αναφορά για την κυκλικότητα έχει γίνει στην ενότητα 4.2.2.

Όσο η μέγιστη διατομή τείνει να καλύψει τον περιγεγραμμένο κύκλο τόσο ο λόγος  $C_E$  αυξάνεται με  $C_E \rightarrow 1$ , και το σχήμα τείνει προς το κυκλικό. Όσο το σχήμα της μέγιστης διατομής τείνει να μονάζει με κύκλο όσο στον λόγο  $C_S$  ο αριθμητής θα *μειώνεται* προς την ελαχίστη τιμή  $4\pi$  ( $C_S \rightarrow 4\pi$ ), και το σχήμα θα είναι λιγότερο ακανόνιστο και ομαλότερο.

Οι λόγοι  $C_S$  και  $C_E$  συσχετίστηκαν με όλες τις παραμέτρους, με πολλαπλή βαθμωτή παλινδρόμηση, με σκοπό να "αποκαλυφθούν" οι τάσεις που διέπουν την μεταβολή τους. Χαρακτηριστικές μέγιστες διατιμές της νηκτικής κύστης φαίνονται στην Εικόνα 4.13.

**A. ΚΥΚΛΙΚΟΤΗΤΑ ΕΜΒΛΟΥ.**

$$\text{ΑΝΟΙΞΗ-ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ} : C_g = 0.04 \cdot M - 0.46 \quad \text{με } \bar{R}^2 = 0.41, r = +0.64$$

$$\Phi\Theta\text{ΙΝΟΠΩΡΟ-ΧΕΙΜΩΝΑΣ} : C_g = 0.012 \cdot M \quad \text{με } \bar{R}^2 = 0.13, r = +0.36$$

$$\text{ΕΤΗΣΙΑ} : C_g = 0.013 \cdot M \quad \text{με } \bar{R}^2 = 0.18, r = +0.42$$

Η κυκλικότητα του εμβαδού είναι θετικά συσχετισμένη με το μήκος (μέγεθος) του ψαριού. Άρα η αύξηση του μεγέθους του ψαριού οδηγεί σε αύξηση της κυκλικότητας. Με άλλα λόγια καθώς το ψάρι μεγαλώνει η μέγιστη διατομή τείνει να καλύψει μεγαλύτερο ποσοστό του περιγεγραμμένου κύκλου, γίνεται λιγότερο ελλειψοειδής και περισσότερο κυκλική.

**B. ΚΥΚΛΙΚΟΤΗΤΑ ΣΧΗΜΑΤΟΣ.***ΕΠΟΧΙΑΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ*

$$\text{ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ 89} : C_g = 1.89 \cdot L + 54.16 \quad \text{με } \bar{R}^2 = 0.44, r = 0.67$$

$$\text{ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ 90} : C_g = -40.62 \cdot M + 677.60 \quad \text{με } \bar{R}^2 = 0.30, r = 0.57$$

$$\text{ΑΝΟΙΞΗ} : C_g = -56.73 \cdot G - 78.66 \cdot M + 1296.46 \quad \text{με } \bar{R}^2 = 0.35$$

$$\Phi\Theta\text{ΙΝΟΠΩΡΟ} : C_g = 293.17 \cdot G - 252.52 \cdot M + 3291.50 \quad \text{με } \bar{R}^2 = 0.25$$

$$\text{ΧΕΙΜΩΝΑΣ} : C_g = 1.34 \cdot L + 50.82 \quad \text{με } \bar{R}^2 = 0.38, r = 0.62$$

*ΔΙΕΠΟΧΙΑΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ*

$$\text{ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ 90-ΑΝΟΙΞΗ} : C_g = -39.96 \cdot M + 667.08 \quad \text{με } \bar{R}^2 = 0.48, r = 0.69$$

$$\text{ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ-ΑΝΟΙΞΗ} : C_g = 1.67 \cdot L - 3.64 \cdot M + 92.12 \quad \text{με } \bar{R}^2 = 0.22$$

$$\Phi\Theta\text{ΙΝΟΠΩΡΟ-ΧΕΙΜΩΝΑΣ} : C_g = -0.21 \cdot G + 0.06 \cdot L + 4.72 \quad \text{με } \bar{R}^2 = 0.61$$

$$\text{ΕΤΗΣΙΑ} : C_g = 0.62 \cdot L - 18.49 \cdot M + 61.80 \cdot S + 298.53 \quad \text{με } \bar{R}^2 = 0.25$$

1) Το μήκος εμφανίζεται σταθερά αρνητικά συσχετισμένο με την κυκλικότητα σχήματος. Άρα αυξανόμενο του μεγέθους αυξάνεται η κυκλικότητα. Η μέγιστη διατομή τείνει να αποκτήσει ένα περισσότερο ομαλό και λιγότερο ελλειψοειδές σχήμα.

2) Το ποσοστό λίπους είναι σταθερά θετικά συσχετισμένο με την κυκλικότητα του σχήματος. Επομένως αυξανόμενο του ποσοστού του λίπους η μέγιστη διατομή τείνει να αποκτήσει ένα πιο ακανόνιστο σχήμα.

3) Η επίδραση του ποσοστού των γονάδων, στο σχήμα της μέγιστης διατομής ποικίλει ανάλογα με το μέγεθός τους. Έτσι όταν εμφανίζεται η επίδρασή της στην εκτός αναπαραγωγής περίοδο (Ανοιξη), τείνει να αυξήσει την κυκλικότητα. Στις αρχές της αναπαραγωγικής περιόδου (Φθινόπωρο) τείνει να μειώσει την κυκλικότητα. Τέλος η επίδρασή της συνολικά κατά την αναπαραγωγική περίοδο δείχνει ότι αυξάνει την κυκλικότητα.

4) Το στομάχι δεν έχει καμιά (ή ελάχιστη) επίδραση στο σχήμα της μέγιστης διατομής.

**4.3.5. ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΚΛΙΣΗ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ.**

Στον ηχοβολισμό ελευθέρων ψαριών δεν ενδιαφέρει μόνο το μέγιστο Η.Δ. (δηλ. η μέγιστη διατομή της ηχητικής κόστης) αλλά και το Η.Δ. για κάθε πιθανό προσανατολισμό τους Σαν

σημείο αναφοράς λαμβάνεται πάντα η μέγιστη τιμή Η.Δ. (που αντιστοιχεί στην μέγιστη διατομή) (Love 1969, 1977, Foote 1978, Do & Surti 1990, Miyano-hana *et al.* 1990). Στις μετρήσεις πεδίου, το Η.Δ. υπολογίζεται στοχαστικά από τον μέσο όρο των Η.Δ. που δίνει το ψάρι (ή τα ψάρια) σε διάφορους προσανατολισμούς του σωματός του. Αντίστοιχα, για να υπάρξει αντιστοίχιση των αποτελεσμάτων του Η.Δ. από ακίνητα ψάρια, με αυτά του πεδίου, είχε αρχικά προταθεί το αναμενόμενο Η.Δ. να υπολογίζεται σαν ο μέσος όρος των Η.Δ. για γωνίες από  $-45^{\circ}$  έως  $+45^{\circ}$ . Στην συνέχεια όμως δειχθηκε (Olsen 1979, Fedotova & Shatoba 1983, Clay & Heist 1984) ότι το εύρος αυτών των γωνιών ήταν μάλλον υπερβολικό και έχει προταθεί να χρησιμοποιείται το εύρος από  $-30^{\circ}$  έως  $+30^{\circ}$  ή και μικρότερο<sup>5</sup>.

Για την εκτίμηση της μεταβολής της νηκτικής κύστης με την γωνία κλίσης έγιναν οι παρακάτω χειρισμοί:

- 1) Υπολογίστηκαν όλες οι διατομές για κάθε κλίση των ψαριών από  $-30^{\circ}$  έως  $+30^{\circ}$ .
- 2) Ευθυγραμμίστηκαν όλες οι μέγιστες διατομές έτσι ώστε να αντιστοιχούν στην ίδια γωνία κλίσης του ψαριού.
- 3) Σαν γωνία της μέγιστης διατομής πάρθηκε η γωνία των  $6^{\circ}$  που είναι ο μέσος όρος των γωνιών που αντιστοιχεί η μέγιστη διατομή (ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3.).
- 4) Με βάση αυτή την ευθυγράμμιση διορθώθηκαν οι γωνίες κλίσης των ψαριών.
- 5) Υπολογίσθηκε ο μέσος όρος των διατομών (από  $-30^{\circ}$  έως  $+30^{\circ}$ ), σαν ποσοστά της μέγιστης διατομής.
- 6) Ο υπολογισμός αυτός έγινε χωριστά για τα ψάρια κάθε εποχής, καθώς και για τις διεποχιακές ενώσεις, που χρησιμοποιήθηκαν στην εξαγωγή σχέσεων.

Οι παραπάνω υπολογισμοί έγιναν για κάθε δείγμα (εποχιακά ποσοστά) και για κάθε ένωση δειγμάτων (διεποχιακά ποσοστά). Τα αποτελέσματα αναφέρονται αναλυτικά στον ΠΙΝΑΚΑ 4.3., ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κάθε περίπτωση.

<sup>5</sup> Το πρόσημο (-) σημαίνει ότι το ψάρι κινείται προς τα επάνω (κεφάλι προς από το οριζόντιο επίπεδο) και το (+) σημαίνει ότι το ψάρι κινείται προς τα κάτω (κεφάλι κάτω από το οριζόντιο επίπεδο).

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3. Η διατομή της ηφαιστειακής κόλλης της *Sardina pilchardus* σαν ποσοστό της μέγιστης διατομής για γωνίες προσανατολισμού από -30° έως +30°. Σε κάθε τμήρ αναγράφεται το τυπικό σφάλμα. Γ= η γωνία προσανατολισμού του φορέα, Κ1= το δείγμα του Καλλικτιοειδούς 89, Κ2= το δείγμα του Καλλικτιοειδούς 90, Φ= το δείγμα του Φθινόπωρου, Χ= το δείγμα του Χειμώνα, Α= το δείγμα της Άνοιξης, ΑΝ= η ένωση όλων των δειγμάτων της ανατολικής περσίδας, ΕΑ90= ένωση των δειγμάτων Άνοιξης και Καλλικτιοειδούς 90, ΕΑ= ένωση όλων των δειγμάτων που βρίσκονται Εκτός Ανατολικής περσίδας, Ε= ένωση όλων των δειγμάτων (Ετήσια εκτίμηση), Ε89= ένωση όλων των δειγμάτων εκτός του δείγματος \*Καλλικτιοειδούς 89\*, Ε90= ένωση όλων των δειγμάτων εκτός του δείγματος \*Καλλικτιοειδούς 90\*.**

Α	ΕΠΟΧΙΑΚΑ ΠΟΣΟΣΤΑ					ΔΙΕΠΟΧΙΑΚΑ ΠΟΣΟΣΤΑ					
	Κ1	Κ2	Φ	Χ	Α	ΑΝ	ΕΑ	ΕΑ90	Ε90	Ε89	Ε
-30	56.6±18.1	79.2±1.6	73.3±6.7	71.2±6.1	79.5±0.7	72.1±4.5	71.8±7.6	79.8±0.1	79.5±0.8	68.2±10.9	72.0±4.3
-29	57.9±18.5	64.1±13.1	76.6±5.1	68.9±8.8	70.8±8.6	62.7±5.3	67.1±8.4	80.9±0.1	70.8±8.7	69.4±10.8	70.1±4.9
-28	59.1±18.3	65.2±12.9	77.8±4.9	72.4±6.7	71.8±8.5	69.1±9.4	68.2±8.3	81.9±0.1	71.9±8.6	70.5±10.7	68.7±6.3
-27	60.3±18.1	66.4±12.6	78.9±4.7	71.5±8.3	74.8±6.1	75.2±4.9	71.6±6.6	81.1±2.2	74.8±6.2	74.2±7.3	73.3±4.2
-26	61.6±17.8	69.1±9.3	72.8±7.4	69.3±7.0	75.6±5.3	71.1±5.1	72.8±5.8	82.3±2.0	75.7±5.3	75.4±7.2	72.0±3.9
-25	62.8±17.5	71.6±9.3	79.8±7.6	71.1±6.5	77.4±5.1	75.5±5.2	74.5±5.7	83.4±1.9	77.5±5.2	76.5±7.1	75.0±3.9
-24	64.0±17.2	72.8±9.1	80.9±7.3	73.1±5.9	78.6±5.0	77.0±4.9	75.6±5.6	84.5±1.7	78.6±5.1	77.6±7.0	76.4±3.7
-23	65.2±16.9	74.1±8.9	82.1±7.0	74.8±5.4	80.0±4.3	78.4±4.6	77.3±5.0	84.7±1.4	80.0±4.4	79.2±6.0	77.8±3.4
-22	59.6±12.4	75.5±8.9	83.2±6.7	75.9±5.8	81.1±4.3	79.9±4.7	75.7±5.2	85.6±1.4	81.1±4.4	75.9±6.5	77.5±3.6
-21	73.7±10.6	79.3±7.0	84.3±6.4	78.4±4.3	82.9±3.7	81.3±4.0	80.8±3.9	86.6±1.3	83.0±3.8	81.8±4.6	81.1±2.8
-20	74.7±10.2	80.4±6.7	85.3±6.2	79.7±4.0	83.9±3.5	82.5±3.8	81.8±3.8	87.6±1.2	84.0±3.6	82.8±4.5	82.1±2.7
-19	75.8±9.9	81.4±6.3	86.3±4.9	80.9±3.8	84.9±3.3	83.8±3.3	82.8±3.6	88.5±1.1	85.0±3.4	83.7±4.4	83.3±2.5
-18	76.9±9.6	82.4±6.1	87.7±4.7	82.1±3.5	85.8±3.2	85.1±3.1	83.7±3.5	89.3±1.0	85.8±3.3	84.7±4.2	84.4±2.4
-17	78.1±9.1	83.4±5.6	88.6±4.4	83.2±3.3	86.7±3.0	86.1±3.0	84.7±3.3	90.1±1.0	86.7±3.1	85.6±4.0	85.4±2.3
-16	82.7±7.1	84.3±5.5	89.4±4.2	84.3±3.1	87.6±2.9	87.1±2.8	86.2±3.0	90.9±1.0	87.6±3.0	87.2±3.5	86.6±2.1
-15	83.7±6.8	85.6±5.5	90.2±3.9	85.3±2.9	86.2±3.6	88.0±2.6	85.5±3.2	86.8±4.8	86.3±3.6	85.5±4	86.6±2.2
-14	84.7±6.5	86.4±5.3	91.6±3.1	86.3±2.7	86.9±3.3	89.4±2.3	86.3±3.0	87.3±4.4	86.9±3.4	86.3±3.7	87.7±2.0
-13	85.6±6.2	87.1±5.0	92.4±2.9	87.3±2.5	87.8±3.2	90.3±2.1	87.2±2.9	88.4±4.2	87.8±3.2	87.3±3.5	88.6±1.9
-12	86.6±5.9	87.9±4.8	91.4±2.6	88.2±2.4	88.7±3.0	90.1±1.9	88.1±2.8	89.4±3.9	88.7±3.1	88.3±3.4	89.0±1.8
-11	87.5±5.6	88.5±4.6	92.4±2.4	89.1±2.2	89.5±2.9	91.0±1.7	89.0±2.6	90.5±3.6	89.6±2.9	89.3±3.2	89.9±1.7
-10	89.0±5.4	89.3±4.4	93.2±2.2	90.0±2.1	90.3±2.8	91.8±1.6	90.0±2.5	91.3±3.5	90.4±2.8	90.4±3.0	90.8±1.6
-9	90.0±5.1	89.8±4.3	94.0±2.0	90.8±1.9	91.1±2.6	92.6±1.5	90.8±2.4	92.3±3.2	91.2±2.6	91.4±2.8	91.7±1.5
-8	90.9±4.8	90.4±4.1	94.8±1.8	91.6±1.8	91.8±2.5	93.4±1.4	91.6±2.2	93.1±3.0	91.9±2.5	92.2±2.6	92.4±1.4
-7	91.6±4.6	90.9±3.9	95.5±1.5	92.3±1.7	92.5±2.3	94.2±1.2	92.2±2.1	93.9±2.7	92.5±2.4	93.0±2.5	93.1±1.3
-6	92.3±4.3	91.4±3.8	96.2±1.4	93.0±1.6	93.1±2.2	94.9±1.2	92.9±2.0	94.6±2.5	93.1±2.2	93.7±2.3	93.8±1.2
-5	93.0±4.0	91.8±3.7	96.8±1.2	93.6±1.6	93.6±2.1	95.5±1.1	93.5±1.9	95.2±2.3	93.2±2.1	94.4±2.1	94.4±1.2
-4	93.7±3.7	92.2±3.6	97.4±1.1	94.9±1.7	94.1±2.0	96.3±1.0	94.0±1.8	95.8±2.1	94.2±2.1	95.0±1.9	95.1±1.1
-3	94.4±3.4	92.1±3.4	97.9±0.9	95.5±1.6	94.4±1.9	96.9±0.9	94.4±1.7	96.4±1.8	94.5±1.9	95.6±1.8	95.5±1.0
-2	95.1±3.1	92.5±3.3	92.5±3.6	98.6±0.3	94.9±1.8	95.0±2.3	94.9±1.6	97.0±1.6	95.0±1.9	96.2±1.6	95.0±1.4
-1	95.6±2.8	93.1±3.2	92.9±3.6	98.9±0.2	95.4±1.7	95.4±2.3	95.5±1.5	97.4±1.4	95.5±1.8	96.7±1.4	95.4±1.3
0	96.1±2.5	93.3±3.2	93.1±3.6	99.2±0.2	94.7±1.8	95.6±2.3	95.1±1.5	96.0±1.9	94.8±1.8	96.0±1.5	95.4±1.3
1	96.7±2.3	97.1±1.9	93.4±3.6	99.4±0.1	97.7±1.0	95.9±2.2	97.4±1.0	98.3±1.1	97.8±1.1	97.7±1.1	96.8±1.2
2	97.1±2.0	97.6±1.8	93.6±3.6	99.6±0.1	98.6±0.8	96.1±2.3	98.2±0.8	99.6±0.1	98.7±0.9	98.6±0.9	97.3±1.1
3	97.6±1.8	99.5±0.2	93.8±3.5	99.7±0.1	99.5±0.1	96.3±2.2	99.0±0.5	99.7±0.1	99.6±0.1	98.8±0.8	97.8±1.1
4	97.9±1.6	99.8±0.1	99.8±0.1	99.8±0.1	99.4±0.3	99.8±0.0	99.0±0.5	99.2±0.6	99.5±0.3	98.7±0.7	99.4±0.3
5	99.9±0.0	99.9±0.0	99.9±0.0	99.9±0.0	98.9±0.9	99.9±0.0	99.2±0.7	98.2±1.6	99.0±0.9	98.9±1.0	99.5±0.4
6	100±0	100±0	100±0	100±0	100±0	100±0	100±0	100±0	100±0	100±0	100±0

Α	ΕΠΟΧΙΑΚΑ ΠΟΣΟΣΤΑ					ΔΙΕΠΟΧΙΑΚΑ ΠΟΣΟΣΤΑ					
	K1	K2	F	X	A	AN	EA	EA90	E90	E89	E
7	97.7±1.9	95.8±3.8	99.9±0.1	98.2±0.8	97.8±1.9	99.2±0.4	97.7±1.5	99.9±0.1	97.8±2.0	98.9±0.9	98.4±0.9
8	98.0±1.7	95.5±3.8	99.8±0.1	98.1±0.7	97.6±2.0	99.1±0.4	97.7±1.5	99.7±0.1	97.6±2.0	98.9±0.8	98.4±0.9
9	98.2±1.5	95.3±3.9	99.5±0.3	98.0±0.7	97.4±2.0	98.9±0.4	97.6±1.5	99.6±0.1	97.4±2.1	98.9±0.7	98.2±0.9
10	98.3±1.3	95.0±4.0	98.9±0.5	97.8±0.7	97.2±2.1	98.5±0.4	97.5±1.6	99.5±0.2	97.2±2.1	99.0±0.6	98.0±0.9
11	97.9±1.0	94.7±4.1	98.5±0.6	97.6±0.7	96.1±2.1	98.1±0.5	96.6±1.6	97.6±1.4	96.2±2.2	97.8±0.9	97.3±0.9
12	98.1±0.9	94.3±4.1	97.2±1.6	97.3±0.8	94.3±2.4	97.2±1.0	95.3±1.9	94.3±3.0	94.3±2.5	95.8±1.9	96.2±1.2
13	98.3±0.8	93.6±4.1	96.4±2.1	96.8±0.8	94.7±2.4	96.6±1.3	95.7±1.8	95.8±2.8	94.8±2.4	96.8±1.8	96.1±1.2
14	98.3±0.8	92.7±5.2	95.1±3.0	96.4±1.0	94.3±2.7	95.7±1.8	95.4±2.0	95.4±2.9	94.3±2.7	96.6±1.8	95.5±1.4
15	98.3±0.7	91.8±5.1	94.5±3.2	96.1±1.2	93.3±2.6	95.2±2.0	94.7±2.0	94.4±2.8	93.4±2.7	96.0±1.8	95.0±1.4
16	98.3±0.6	91.4±5.2	93.3±4.0	95.7±1.4	92.8±2.7	94.3±2.4	94.4±2.1	93.9±2.9	92.9±2.7	95.7±1.9	94.4±1.6
17	98.3±0.5	90.9±5.2	92.6±4.2	95.2±1.6	91.5±2.8	93.7±2.6	93.4±2.2	92.0±3.2	91.6±2.9	94.5±2.2	93.6±1.7
18	98.1±0.5	90.4±5.3	91.5±4.8	94.7±1.8	90.8±2.9	92.8±2.9	92.9±2.3	91.2±3.4	90.9±3.0	94.0±2.3	92.9±1.8
19	98.0±0.5	89.8±5.3	96.2±0.9	94.1±2.1	89.7±3.1	95.2±1.1	92.1±2.5	89.8±3.9	89.8±3.2	93.1±2.7	93.5±1.5
20	97.7±0.5	89.2±5.4	95.7±1.1	93.4±2.4	88.5±3.5	94.7±1.3	91.1±2.8	88.1±4.7	88.5±3.6	91.9±3.2	92.7±1.7
21	97.4±0.6	88.4±5.5	95.1±1.2	92.7±2.7	85.8±4.7	94.1±1.4	89.1±3.7	84.1±7.0	85.8±4.8	89.4±4.7	91.3±2.2
22	96.1±1.3	87.4±5.4	94.5±1.4	92.0±2.9	81.2±7.7	93.4±1.6	84.5±5.8	83.3±7.1	81.3±7.7	83.5±7.8	88.4±3.4
23	96.4±0.9	86.8±5.4	93.7±1.7	91.3±3.2	81.9±6.5	92.6±1.8	86.0±5.0	82.5±7.2	82.0±6.6	85.8±6.7	88.9±3.0
24	96.2±0.8	86.1±5.5	93.0±1.8	90.5±3.5	83.4±4.9	91.8±1.9	87.0±3.8	81.7±7.3	83.5±4.9	87.5±4.9	89.2±2.4
25	95.9±0.8	85.4±5.4	92.2±2.0	94.3±0.6	86.2±3.5	93.2±1.2	89.0±2.8	86.8±4.7	86.2±3.6	90.4±3.2	90.8±1.7
26	96.0±0.9	83.2±4.6	91.4±2.2	93.8±0.6	84.9±3.4	92.5±1.3	87.2±3.0	86.4±4.9	84.9±3.4	89.6±3.6	89.6±1.8
27	95.6±0.9	83.6±4.4	90.5±2.4	93.3±0.6	84.8±3.4	91.7±1.4	87.1±3.0	86.0±5.2	84.9±3.5	89.2±3.8	89.2±1.8
28	94.9±0.8	82.9±4.4	91.9±0.8	92.7±0.6	81.9±4.1	92.3±0.5	84.7±3.5	81.1±6.6	81.9±4.1	85.7±4.9	88.0±2.1
29	94.4±0.9	82.4±4.4	91.0±0.9	92.1±0.6	81.1±4.2	91.5±0.6	83.9±3.7	80.0±6.9	81.1±4.3	84.8±5.1	87.3±2.2
30	93.8±0.9	81.8±4.4	86.0±3.6	91.4±0.6	80.2±4.4	88.3±2.3	83.1±3.8	78.9±7.3	80.2±4.5	83.9±5.4	85.5±2.4

Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι οι διακυμάνσεις των ποσοστών στους διάφορους προανατολισμούς των ψαριών είναι εντονότερες στα δείγματα "Καλοκαιρι '89", "Καλοκαιρι '90" και "Φθινόπωρο". Στις εποχές αυτές το ποσοστό λίπους είναι ιδιαίτερα αυξημένο. Στην προηγούμενη ενότητα (4.3.4) εκτιμήθηκε ότι το λίπος ίσως αποτελεί παράγοντα που επιφέρει "παραμορφώσεις" και "ανωμαλίες" στο σχήμα της νηκτικής κύστης. Πιθανώς αυτή είναι η αιτία για την αυξημένη διακύμανση των ποσοστών.

#### 4.4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Όπως δείχθηκε στην εισαγωγή αυτής της ενότητας, η μελέτη της μεταβολής του Η.Δ. ενός ψαριού είναι άμεσα συνδεδεμένη με την νηκτική κύστη και ιδιαίτερα με την ανακλώσα διατομή της νηκτικής κύστης. Το πρόβλημα που αντιμετωπίστηκε σε αυτή την ενότητα είναι πώς μεταβάλλεται το εμβαδόν της μέγιστης διατομής με το μέγεθος και την εσωτερική φυσιολογία του ψαριού. Με το λογισμικό πρόγραμμα που αναπτύχθηκε, έγινε εφικτό να μετρηθεί απ' ευθείας η μέγιστη διατομή και οι διατομές της νηκτικής κύστης του ψαριού για κάθε προσανατολισμό του.

Όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως, το σχήμα της νηκτικής κύστης αποκτά νέο ενδιαφέρον λόγω της αξιοποίησης του στις ηχοβολιστικές έρευνες. Το μέγεθος και το σχήμα της μέγιστης διατομής της νηκτικής κύστης, είναι το αντικειμενικότερο μέγεθος, με βάση το οποίο μπορεί να γίνει η σύγκριση μεταξύ των διαφόρων ψαριών και της επίδρασης των μεταβολών του μεγέθους και της εσωτερικής τους φυσιολογίας στο Η.Δ. (Love 1969, Foote 1978). Επίσης με βάση την μέγιστη διατομή είναι δυνατόν να εκφραστούν και οι διατομές της νηκτικής κύστης για διάφορους προσανατολισμούς (Foote 1980b).

Η μέγιστη διατομή παρουσιάζει τέσσερα βασικά χαρακτηριστικά:

- 1) Σχηματίζει κλίση θ', κατά μέσο όρο, με τον οβελιαίο επίπεδο του ψαριού. Το αποτέλεσμα αυτό συμφωνεί με αντίστοιχες εκτιμήσεις που έχουν γίνει και για άλλα Clupeidae (Blaxter & Batty 1990).
- 2) Παρουσιάζει μεγαλύτερη κανονικότητα στις μεταβολές της, συγκρινόμενη με τον όγκο της νηκτικής κύστης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την καλύτερη προσαρμογή των διαφόρων παραμέτρων και την μεγαλύτερη ακρίβεια στις προβλέψεις.
- 3) Αντίθετα με το πρότυπο του όγκου της νηκτικής κύστης, ο οποίος μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα ως προς τις παραμέτρους που χρησιμοποιήθηκαν, η μέγιστη διατομή συχετίζεται ευθέως ανάλογα με αυτές. Αυτό το πρότυπο μεταβολής, βρίσκεται σε αντιστοιχία με τον τρόπο που έχει προταθεί ότι μεταβάλλεται το Η.Δ. ως προς το μέγεθος του ψαριού (Love 1969, Nakken & Olsen 1977, Foote 1979a).
- 4) Σε γενικές γραμμές οι παράμετροι επιδρούν με αντίστοιχο τρόπο τόσο στον όγκο όσο και στην μέγιστη διατομή της νηκτικής κύστης. (Εικόνα 4.2).

Η μέγιστη διατομή της τείνει να επηρεάζεται λιγότερο από τυχαίους παράγοντες και μεταβάλλεται με περισσότερο προβλέψιμο τρόπο. Ένας παράγοντας που ίσως αυξάνει την σταχαστικότητα του όγκου της νηκτικής κύστης είναι το γεγονός ότι η *Sardina pilchardus*, έχει θετική πλευστότητα στην επιφάνεια (Culley 1970, Thorne & Thomas 1990). Για να το επιτύχει αυτό καταπίνει μεγαλύτερη ποσότητα αέρα από όση προβλέπεται για την εξουδετέρωση του βάρους της. Αυτός είναι ένας βασικός παράγοντας που μπορεί να μειώνει την προβλεψιμότητα του όγκου της νηκτικής κύστης. Τέτοιοι παράγοντες, όμως, δεν φαίνεται να επιδρούν (ή επιδρούν ελάχιστα) στο μέγεθος της μέγιστης διατομής της νηκτικής κύστης. Αυτή η σταθερότητα της μέγιστης διατομής έχει προταθεί από διάφορους ερευνητές. Σύμφωνα με την επικρατούσα άποψη ο όγκος της νηκτικής κύστης είναι δυνατόν να μειωθεί μόνο μέσα σε ορισμένα όρια. Στα Clupeidae από όλες τις διαστάσεις της νηκτικής κύστης, η μέγιστη διατομή φαίνεται ότι παρουσιάζει την μεγαλύτερη σταθερότητα, ώστε να εξυπηρετείται η ακοή των ψαριών (Iles & Wood 1965, Blaxter 1979). Επίσης ο Ona (1990) μελετώντας τις επιδράσεις της εσωτερικής μορφολογίας στο βακαλάο, επισμαίνει ότι "η ενεργός μείωση της νωτιαίας επιφάνειας της νηκτικής κύστης, είναι περισσότερο συντηρητική από την μεταβολή του όγκου, γιατί η νωτιαία επιφάνεια είναι άμεσα συνδεδεμένη με μέες και οστά, μέσω ενός χονδρού μανδύα συνδετικού ιστού. Το γεγονός αυτό τείνει να μειώσει τις επιδράσεις στο Η.Δ."

Στην εκτός αναπαραγωγής περίοδο, η κύρια παράμετρος που καθορίζει το μέγεθος και την τιμή της μέγιστης διατομής είναι το μήκος. Πάνω από το 80% των διακρίσεων της

νηκτικής κύστης, εξηγούνται από τις μεταβολές του μήκους, ενώ ταυτόχρονα η τελική τιμή της διατομής διαμορφώνεται απ' αυτό. Δεδομένου ότι ανάλογη επίδραση παρατηρείται και με τον όγκο της νηκτικής κύστης, φαίνεται ότι αυτή η επίδραση μεταφέρεται και στην μέγιστη διατομή. Οι διαφορές εμφανίζονται στο πρότυπο μεταβολής, αλλά και στο γεγονός ότι το μήκος "ερμηνεύει" και "εκφράζει" ακριβέστερα τις μεταβολές της μέγιστης διατομής. Οι άλλες παράμετροι (κυρίως το λίπος), όταν εκφράζονται, έχουν διορθωτικό και συμπληρωματικό ρόλο. Προσδίδουν, όμως, μεγαλύτερη "ευλυγισία" στο μοντέλο, δίνοντας τους την δυνατότητα να έχουν πολύ καλή προσαρμογή στα δεδομένα.

Τα αποτελέσματα αυτά *συμπίπτουν με το γενικό πρότυπο μεταβολής του Η.Δ.* που έχει προταθεί (βλ. σχέση 4.7, ενότητα 4.1.4), και ερμηνεύουν γιατί στον υπολογισμό του Η.Δ. έχει χρησιμοποιηθεί αποκλειστικά από το μέγεθος του ψαριού (Love 1977, Nakken & Olsen 1977, Foote 1979a). Όσον αφορά τις άλλες παραμέτρους:

**(Α)** Το λίπος, αντίθετα με ότι συμβαίνει στον όγκο της νηκτικής κύστης, εμφανίζεται σταθερά θετικά συσχετισμένο με την μέγιστη διατομή, στην εκτός αναπαραγωγής περίοδο με εξαίρεση το δείγμα "Καλοκαίρι '89". Για την ερμηνεία του γεγονότος αυτού δεν φαίνεται να αρκεί το ότι παρουσιάζεται ορισκή θετική συσχέτιση του λίπους και του όγκου της νηκτικής κύστης στο δείγμα "Καλοκαίρι '90". Ίσως μια σωστότερη ερμηνεία θα έπρεπε να πάρει υπόψη της και τον τρόπο που επιδρά ανατομικά το λίπος στην νηκτική κύστη. Αυτό δεν συμβαίνει στα ψάρια του δείγματος "Καλοκαίρι '89", τα οποία δεν έχουν επαρκή συσσώρευση λίπους, ώστε να σχηματίσουν εμφανή λιπώδη ιστό. Σ' αυτή την τελευταία περίπτωση δεν υπάρχει ανατομικός παράγοντας να επηρεάσει το σχήμα της νηκτικής κύστης. Το αποτέλεσμα είναι, η μέγιστη διατομή στο δείγμα αυτό να ακολουθεί τον τρόπο μεταβολής της νηκτικής κύστης, εμφανίζοντας αρνητική συσχέτιση με το λίπος. Αναλυτικότερη συζήτηση για την επίδραση του λίπους γίνεται παρακάτω, όπου αντιμετωπίζεται διεξοδικότερα η επίδραση των διαφόρων παραμέτρων στο σχήμα της διατομής. Πάντως ούτως ή άλλως είναι αναμενόμενο το λίπος να έχει καθοριστικότερη επίδραση στο ποσοστό του όγκου της νηκτικής κύστης και μικρότερη στα απόλυτα μεγέθη της.

**(Β)** Οι γονάδες εμφανίζουν μια μικρή επίδραση στο δείγμα "Καλοκαίρι '89", δεδομένου ότι τα ψάρια αυτού του δείγματος, παρουσιάζουν μεγαλύτερη διακίμηση του μεγέθους των γονάδων τους, επειδή τότε σχηματίζονται.

**(Γ)** Ομοίως το στομάχι εμφανίζεται να επιδρά μόνο εκεί που υπάρχει μεγαλύτερη ποικιλότητα ως προς την πληρότητά του. Οι επιδράσεις και των δύο αυτών παραμέτρων είναι αντίστοιχες με τις επιδράσεις τους στον όγκο της νηκτικής κύστης.

*Θα πρέπει πάντως να τονιστεί ότι η επίδραση αυτών των τριών τελευταίων παραμέτρων είναι μικρή και ότι ερμηνεύουν ένα ελάχιστο τμήμα των διακυμάνσεων στις τιμές της μέγιστης διατομής.* Η κύρια συμβολή τους είναι ότι βοηθούν σημαντικά να διορθωθεί και να υπολογιστεί ακριβέστερα η τελική τιμή της μέγιστης διατομής.

*Το δείγμα "Καλοκαίρι '89", παρουσιάζει και εδώ ιδιαιτερότητες όπως και στην προηγούμενη ενότητα. Όπως και για το σύνολο της νηκτικής κύστης, η ιδιαιτερότητα του αφορά τον τρόπο επίδρασης του λίπους. Στην περίπτωση αυτή δεν αλλάζει το πρότυπο αλλά ο τρόπος συσχέτισης των παραμέτρων. Η ιδιομορφία αυτή είναι και ο λόγος για τον οποίο όταν το δείγμα αυτό συμμετέχει σε διεποχιακές σχέσεις, οδηγεί σε μειωμένη προσαρμογή των δεδομένων (μειώνει το  $R^2$  από το 0.88 στο 0.60).*

*Κατά την αναπαραγωγική περίοδο, η εικόνα αντιπρόκειται πλήρως. Οι γενικές τάσεις που είχαν διαπιστωθεί στην προηγούμενη ενότητα, για τον όγκο της νηκτικής κύστης, εμφανίζονται και εδώ. Όμως τώρα οι επιδράσεις των παραμέτρων είναι άμεσες, καθαρότερες και κατηγορηματικές.*

*Το βασικό χαρακτηριστικό αυτής της περιόδου είναι ότι το μήκος παύει να αποτελεί παράγοντα που ερμηνεύει τις διακυμάνσεις της μέγιστης διατομής. Οι μεταβολές της*



μέγιστης διατομής εξηγούνται κυρίως από τις γονάδες (50%-70%). Το γεγονός αυτό δεν εμφανίζεται σταδιακά, όπως στο όγκο της νηκτικής κύστης, αλλά είναι άμεσο και κυρίαρχο φαινόμενο ολόκληρης της αναπαραγωγικής περιόδου. Αυτό υποδηλώνει ότι οι γονάδες έχουν άμεση επίδραση στο σχήμα της νηκτικής κύστης και στην διαμόρφωση της μέγιστης διατομής. Είναι χαρακτηριστικό ότι για να μπορέσουν να εκφραστούν οι άλλες παράμετροι πρέπει πρώτα να "αφαιρεθεί" η επίδραση των γονάδων. Μόνο τότε το λίπος και το μήκος μπορούν να ερμηνεύσουν ποσοστά της υπολειπόμενης διασποράς. Όσον αφορά τις υπόλοιπες παραμέτρους:

(Α) Χαρακτηριστική διαφορά με τον όγκο της νηκτικής κύστης είναι ότι πιθανά δεν εμφανίζεται η επίδραση του φύλου των ψαριών. Αρκεί το σχετικό μέγεθος της γονάδας για να καθορίσει την επίδρασή της.

(Β) Το λίπος, όπως και με τον όγκο της νηκτικής κύστης, είναι αρνητικά συσχετισμένο με την μέγιστη διατομή. Έχει σημαντική επίδραση στο Φθινόπωρο που βρίσκεται σε υψηλά ποσοστά και δεν εμφανίζεται τον Χειμώνα που τα ποσοστά του είναι μειωμένα.

(Γ) Η επίδραση του μήκους, η οποία είναι μικρή και "περιθωριακή", παρουσιάζει ενδιάμεσον. Είναι χαρακτηριστικό ότι το μήκος παρουσιάζει πολύ χαμηλή άμεση συσχέτιση τόσο κατά το Φθινόπωρο όσο και κατά τον Χειμώνα. Στο μεν Φθινόπωρο παρουσιάζει ασθενή τάση θετικής συσχέτισης με  $R^2$  σχεδόν μηδενικό, ενώ τον Χειμώνα παρουσιάζει ασθενή τάση αρνητικής συσχέτισης με  $R^2$  πολύ μικρό (0.20). Όπως επισημαινει ο Saenger (1989), καθώς το ψάρι με νηκτική κύστη προσεγγίζει το μέγιστο μέγεθός του, ο όγκος και η μέγιστη διατομή της νηκτικής κύστης, τείνουν να προσεγγίσουν κάποια χαρακτηριστικά όρια. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να παρατηρούμε αντί τις συνηθισμένες θετικές αλλομετρικές αυξήσεις, ισομετρικές ή και ελαφρά αρνητικές αλλομετρικές αυξήσεις.

Για να μπορέσει να "εκφραστεί" το μήκος στις σχέσεις, πρέπει προηγουμένως να "αφαιρεθούν" οι επιδράσεις γονάδων και λίπους. Μετά απ' αυτό εμφανίζει μια καθαρά αρνητική συσχέτιση με την διατομή, ερμηνεύοντας ένα ελάχιστο ποσοστό της διασποράς. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι είναι δυνατόν ψάρια διαφορετικού μεγέθους να έχουν την ίδια διατομή ή ότι μεγαλύτερα ψάρια είναι δυνατόν να έχουν ελαφρώς μικρότερη διατομή.

*Γενικώς κατά την αναπαραγωγική περίοδο το μέγεθος της μέγιστης διατομής διαμορφώνεται κυρίως από τις γονάδες.*

Αυτές οι καθαρές και ομοιόμορφες τάσεις αποτυπώνονται και σε μια πολύ καλή *διοποχιακή σχέση* (καλύτερη από την αντίστοιχη της περιόδου εκτός αναπαραγωγής), στην οποία το μήκος έχει την μικρότερη συμμετοχή στην ερμηνεία της διασποράς. Αντίθετα οι γονάδες σαν ενοποιητικός παράγοντας είναι υπεύθυνες για το μεγαλύτερο ποσοστό των διακυμάνσεων της διατομής (73%).

Θα πρέπει πάντως να σημειωθεί ότι αν και το μεγαλύτερο ποσοστό των διακυμάνσεων εξηγείται από τις γονάδες, οι άλλες παράμετροι παίζουν σημαντικότερο ρόλο στην διαμόρφωση της τιμής της μέγιστης διατομής. Προσδίδουν μεγαλύτερη "ευλυγισία" στο μοντέλο, που δεν είναι δυνατόν να επιτύχει από μόνη της η παράμετρος των γονάδων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την πολύ καλή προσαρμογή των σχέσεων στα δεδομένα.

Τα αποτελέσματα αυτά, για την αναπαραγωγική περίοδο, βρίσκονται σε μεγάλη αντίθεση με όσα έχουν προταθεί για τον τρόπο μεταβολής του Η.Δ. Δείχνουν ότι η εσωτερική φυσιολογία του ψαριού έχει καθοριστικότερο ρόλο στην διαμόρφωση της διατομής και ότι η κλασική συσχέτισή της με το μήκος είναι δυνατόν να ανατραπεί.

*Η διερεύνηση των ετήσιων σχέσεων στα ενοποιημένα δείγματα, έδωσε αισθητά χειρότερες σχέσεις (ερμηνεία διασποράς γύρω στο 57%). Με την είσοδο των δύο ποιοτικών μεταβλητών, που διαχωρίζουν τις δύο εποχές, τα αποτελέσματα βελτιώνονται σημαντικά. Ενιαχίζεται έτσι η άποψη ότι οι δύο περίοδοι (εντός και εκτός αναπαραγωγής), εκφράζονται με δύο διαφορετικά πρότυπα. Τα σημαντικά χαρακτηριστικά αυτών των σχέσεων είναι, ότι η τιμή*

και η διακίμηση της νηκτικής κύστης καθορίζονται από τρεις βασικούς παράγοντες. Πρωταρχικά από το μήκος (μέγεθος), στη συνέχεια από το αν η διατομή προέρχεται από ψάρια εντός ή εκτός της αναπαραγωγικής περιόδου και τέλος από το μέγεθος των γονάδων.

Η βελτίωση των σχέσεων, με την είσοδο των ποιοτικών μεταβλητών είναι αρκετά καλή ώστε να δημιουργεί δυνατότητες να αξιοποιηθούν, όταν δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί άλλη σχέση. Το θέμα αυτό, ωστόσο, θέλει πολύ καλή διερεύνηση στην πράξη πριν καταλήξουμε σε οριστικά συμπεράσματα.

Το γενικό συμπέρασμα το οποίο μπορεί να βγει συνολικά από τα αποτελέσματα, είναι ότι για την έκφραση της μέγιστης διατομής, είναι απαραίτητες δύο τουλάχιστον σχέσεις, δύο τουλάχιστον πρότυπα. Είναι που αναφέρεται στην περίοδο της αναπαραγωγής και ένα που αναφέρεται στην εκτός αναπαραγωγής περίοδο. Σε κάθε περίοδο οι διαφορετικές παράμετροι εκφράζονται με διαφορετικό τρόπο και με διαφορετική βαρύτητα. Το γενικό πρότυπο του Η.Δ., σύμφωνα με το οποίο αυτό αυξάνεται με το μέγεθος ισχύει για την εκτός αναπαραγωγής περίοδο. Δεν ισχύει όμως για την αναπαραγωγική περίοδο. Το ερώτημα που προκύπτει είναι γιατί αυτό δεν έχει αρκετά επισημανθεί και διερευνηθεί μέχρι σήμερα.

Η απάντηση είναι ότι το πρόβλημα έχει κατ' αρχήν επισημανθεί. Αρκετοί ερευνητές διαπιστώνουν ότι οι τυπικές σχέσεις και εξισώσεις του Η.Δ. δεν ισχύουν για την αναπαραγωγική περίοδο (ανασκόπηση από Ονα 1990). Επίσης συχνά επισημαίνεται ότι ένα μεγάλο μέρος της στοχαστικότητας του Η.Δ. πρέπει να οφείλεται στις μεταβολές της εσωτερικής φυσιολογίας των ψαριών.

Την απάντηση στο ερώτημα, γιατί αυτή δεν έχει μελετηθεί εκτεταμένα μέχρι σήμερα θα πρέπει μάλλον να την αναζητήσουμε στο πού αναπτύχθηκε η έρευνα με ηχοβολιστικά μηχανήματα. Μπορούμε εύκολα να διαπιστώσουμε ότι η κύρια και βασική έρευνα έχει γίνει σε βόρειες και ψυχρότερες περιοχές (Margetts 1977). Είναι λοιπόν πολύ πιθανόν, να έχει μπει η σφραγίδα της ανατομίας και της φυσιολογίας των ψαριών που ζουν σ' αυτές τις θάλασσες. Ένα τέτοιο βασικό χαρακτηριστικό είναι ότι η αναπαραγωγική περίοδος, των περισσότερων ψαριών, που έχουν εμπορικό ενδιαφέρον, είναι χρονικά μικρή και εντοπισμένη (Harden Jones 1970, McKeown 1984). Η αναπαραγωγή διαρκεί σπάνια πάνω από 1, το πολύ 2 μήνες. Είναι λοιπόν φανερό ότι όταν μπορεί να εκτιμηθεί το Η.Δ., με ένα πολύ απλό πρότυπο για τους 10 ή 11 μήνες του χρόνου, η λεπτομερέστερη διερεύνηση της αναπαραγωγικής περιόδου αποκτά δευτερεύουσα σημασία και είναι ίσως σπατάλη χρόνου και προσπάθειας. Η αναπαραγωγική περίοδος, όμως, αποκτά βαρύνουσα σημασία, σε υποτροπικές περιοχές όπως η δική μας. Η σημασία της φαίνεται αλλά και μόνο από το γεγονός ότι τουλάχιστον για την *Sardina pilchardus*, η αναπαραγωγή διαρκεί σχεδόν μισό χρόνο.

Εκτός από την χρησιμοποίηση των δύο βασικών σχέσεων (της εντός και εκτός αναπαραγωγικής περιόδου), είναι πολύ πιθανόν να χρειάζεται και η αξιοποίηση μιας τρίτης. Όπως στην περίπτωση του όγκου της νηκτικής κύστης, έτσι και για την μέγιστη διατομή της, φαίνεται ότι είναι προτιμότερο να περιγραφεί η διατομή των μικρών ψαριών (πριν αρχίσει η ενεργός αποθήκευση λίπους), από την εποχιακή σχέση που προκύπτει από το δείγμα "Καλοκαίρι '89". Θα πρέπει πάντως σημειωθεί ότι η σχέση αυτή αναφέρεται ουσιαστικά σε ένα μάλλον περιορισμένο διάστημα της ζωής των ψαριών. Πρόκειται ουσιαστικά για ψάρια ηλικίας 0+, για έναν ή το πολύ δύο μήνες μετά την στρατολόγησή τους (Morales-Nin B *et al.* 1990). Το γεγονός αυτό δίνει μια μάλλον περιορισμένη πρακτική εφαρμογή αυτής της σχέσης.

Οι εποχιακές σχέσεις δίνουν ακριβέστερα αποτελέσματα, αλλά η χρησιμοποίησή τους θέλει προσοχή. Αν οι τιμές των παραμέτρων δεν είναι μέσα στο εύρος των τιμών που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή των σχέσεων, είναι προτιμότερο και ακριβέστερο να χρησιμοποιούνται οι διεποχιακές σχέσεις. Στην περίπτωση αυτή, είναι πολύ αξιήμενες οι

πιθανότητες, οι εποχιακές σχέσεις να δώσουν λάθος αποτελέσματα. Όπως επισημαίνει ο Foote (1979b), τα σφάλματα από την χρησιμοποίηση της παλινδρόμησης είναι δύο μορφών:

- 1) Το *εγγενές σφάλμα* που προέρχεται από το γεγονός ότι χρησιμοποιούνται πεπερασμένα δεδομένα, τα οποία μπορεί να εμφανίζουν ετεροσκεδαστικότητα. Στην εργασία αυτή το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίστηκε κατά την δειγματοληψία ενότιητα 2.3.5.
- 2) Τα *σφάλματα από κατάχρηση της παλινδρόμησης*, που οφείλονται στο ότι παραβλέπονται τα χαρακτηριστικά της παλινδρόμησης.

Για την χρησιμοποίηση των εποχιακών σχέσεων *ικανή και αναγκαία συνθήκη* είναι να πληρούνται όλα τα χαρακτηριστικά του δείγματος. Για παράδειγμα, στην εποχιακή εξίσωση του δείγματος "Καλοκαίρι '89", δεν αρκεί τα ψάρια να έχουν μήκος περίπου ίσο με τα ψάρια του δείγματος που χρησιμοποιήθηκε. Είναι απαραίτητο και ίσως σημαντικότερο, να μην έχει αρχίσει η ενεργός αποθήκευση λίπους και το λίπος να βρίσκεται σε χαμηλά ποσοστά.

*Η μελέτη των μεταβολών του σχήματος της μέγιστης διατομής* έδειξε ότι, ορισμένες εκ πρώτης όψεως "ανωμαλίες" που παρατηρούνται στις σχέσεις, είναι άμεσα ερμηνεύσιμες. Η ερμηνεία τους θα πρέπει να αναζητηθεί στον τρόπο επίδρασης των παραγόντων που μελετήθηκαν. Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι η μελέτη της κυκλικότητας του σχήματος, αποσυνδέει το σχήμα της μέγιστης διατομής από το μέγεθός της.

**(Α)** Η *πληρότητα του στομαχιού* φαίνεται κατ' αρχήν ότι δεν επιδρά (ή επιδρά ελάχιστα) στο σχήμα της μέγιστης διατομής. Έτσι η μόνη επίδρασή της φαίνεται ότι είναι, η οριακή (όταν υπάρχει) επίδραση στο μέγεθος της διατομής. Αυτό δεν σημαίνει, ότι δεν προκαλεί γενικότερα παραμορφώσεις σε άλλες περιοχές της νηκτικής κύστης. Το αποτέλεσμα αυτό είναι αντίθετο με τα αποτελέσματα του Ona (1990) στον βακαλάο. Όπως σημειώθηκε και στην συζήτηση της προηγούμενης ενότητας (3.4), η διαφορά αυτή θα πρέπει μάλλον να αποδωθεί στο διαφορετικό τύπο των δύο ψαριών (βακαλάος: φυσόκλειστο-σαρκόφαγο, σαρδέλα: φυσόστομο-πλαγκτονοφάγο).

**(Β)** Όσον αφορά το *μήκος*, η μελέτη της κυκλικότητας έδειξε, ότι καθώς το ψάρι αυξάνεται, τείνει να αποκτήσει μια όλο και κυκλικότερη μέγιστη διατομή. Το συμπέρασμα αυτό ενισχύει και ενισχύεται από μια διαπίστωση της προηγούμενης ενότητας. Σύμφωνα μ' αυτήν, η νηκτική κύστη τείνει να γίνεται σφαιρικότερη κατά την εκτός αναπαραγωγής περίοδο. Κατ' αυτήν την περίοδο καθοριστικός παράγοντας που εκφράζει την νηκτική κύστη είναι το μήκος.

**(Γ)** Οι *γονάδες* έχουν μεταβαλλόμενη επίδραση, ανάλογα με το μέγεθός τους. Όταν οι γονάδες είναι μικρές (περίοδος εκτός αναπαραγωγής), η επίδρασή τους στο σχήμα περιορίζεται στην μείωση του οπίσθιου τμήματος της κύστης, μειώνοντας το μήκος της και επομένως την καθιστούν κυκλικότερη. Στην έναρξη της αναπαραγωγικής περιόδου, καθώς οι γονάδες αυξάνονται, προκαλούν πλευρικές και κοιλιακές παραμορφώσεις της νηκτικής κύστης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η κύστη να γίνεται περισσότερο ελλειψοειδής και άρα η κυκλικότητά της μειώνεται. Καθώς οι γονάδες συνεχίζουν να μεγαλώνουν καλύτερα το οπίσθιο τμήμα, συμπεριφέροντας την κύστη με αποτέλεσμα να δίνουν ένα κυκλικότερο σχήμα στη μέγιστη διατομή. Αυτό το πρότυπο επιδράσεων των γονάδων στο σχήμα της κύστης συμφωνεί με τα συμπεράσματα του Ona (1990) για τις μορφολογικές παραμορφώσεις που προκαλούν οι γονάδες στην νηκτική κύστης του βακαλάου.

**(Δ)** Το *λίπος* φαίνεται ότι τείνει να προκαλέσει ένα περισσότερο ακανόνιστο σχήμα. Με βάση αυτή την διαπίστωση μπορεί ίσως να ερμηνευτεί η θετική συσχέτιση της μέγιστης διατομής με το λίπος. Η εικόνα που φαίνεται ότι ερμηνεύει το σύνολο των αποτελεσμάτων είναι ότι το λίπος προκαλεί ακανόνιστες νωτοκοιλιακές παραμορφώσεις της νηκτικής κύστης, ανεξάρτητα από την επίδρασή στο μέγεθός της. Οι παραμορφώσεις αυτές τείνουν να αυξήσουν το εμβαδόν της μέγιστης διατομής. Έτσι είναι δυνατόν να έχουμε ταυτόχρονα οριακή αύξηση της μέγιστης διατομής με το λίπος, και ταυτόχρονα ένα πιο ακανόνιστο σχήμα. Πράγματι εύκολα μπορεί να διαπιστωθεί ότι η αποθήκευση λίπους γίνεται κυρίως νωτιαία και κοιλιακά

της νηκτικής κύστης.

Για να συμβεί αυτό, απαραίτητη προϋπόθεση είναι να υπάρχει εκτεταμένος λιπώδης ιστός. Αυτός ο τρόπος επίδρασης μπορεί ίσως να ερμηνεύσει την θετική συσχέτιση λίπους την Ανοιξη και το Καλοκαίρι, καθώς και την αρνητική συσχέτισή του, που παρατηρείται στα μικρά άτομα. Είναι επίσης πολύ πιθανό αυτή η επίδραση του λίπους να αντισταθμίζεται και να εξουδετερώνεται κατά την αναπαραγωγική περίοδο από την αντίθετη επίδραση των γονάδων.

(Ε) Τέλος είναι πολύ πιθανό οι επιδράσεις τόσο του λίπους, όσο και οι πιθανές "άδηλες" επιδράσεις στο στομάχιού να είναι εντονότερες σε διαφορετικούς προσανατολισμούς του ψαριού. Είναι λοιπόν πιθανό ότι η υψηλότερη διακίμηση των ποσοστών της μέγιστης διατομής που παρατηρείται κατά την εκτός αναπαραγωγής περίοδο να οφείλεται σε αυτές τις ακονόνιστες επιδράσεις στο σχήμα της νηκτικής κύστης.

Οι τάσεις που περιγράφονται από τις σχέσεις που εκτιμήθηκαν σ' αυτή την ενότητα, περιγράφουν μάλλον καλά τον τρόπο επίδρασης των διαφόρων παραμέτρων πάνω στην μέγιστη διατομή της νηκτικής κύστης και κατ' επέκτασιν στο Η.Δ. της *Sardina pilchardus*. Παραμένει όμως ερώτημα αν αυτές οι σχέσεις εκφράζουν απλά και μόνο τάσεις, ή είναι δυνατόν να αξιοποιηθούν για μια ακριβή πρόβλεψη του Η.Δ. των ψαριών στο πεδίο. Μια πρώτη προσπάθεια διερεύνηση αυτής της δυνατότητας γίνεται στην επόμενη ενότητα.

Στο τέλος αυτής της ενότητας κρίθηκε απαραίτητο να γίνει μια γενική αποτίμηση και σύγκριση της μεθόδου, όπως αυτή εφαρμόστηκε σε αυτή την εργασία, σε σχέση με το πώς εφαρμόστηκε από τους Foote και Ona (1985). Τα πιθανά σφάλματα τα οποία οι ίδιοι επιστημαίνουν, ότι είναι πιθανόν να υπεισέρχονται στην μέθοδο όπως πρωτοεφαρμόστηκε ήταν στα εξής σημεία:

- 1) Η ομοιοσκεδαστικότητα του δείγματος σε συνδυασμό με τον μικρό αριθμό των ατόμων του δείγματος.
  - 2) Σφάλματα από πιθανά λάθη στον προσανατολισμό του ψαριού.
  - 3) Λανθασμένη τοποθέτηση των τομών κατά την ανακατασκευή της νηκτικής κύστης.
  - 4) Σφάλματα από τον υπολογισμό της επιφάνειας.
  - 5) Σφάλματα από πιθανές μεταβολές της νηκτικής κύστης κατά την ψύξη και διαχείριση.
  - 6) Σφάλματα κατά την θεωρητική μετατροπή της μέγιστης διατομής σε Η.Δ., λόγω της παραδοχής ότι δεν υπάρχει διάθλαση (διάθλαση πάντα υπάρχει).
  - 7) Σφάλματα από το γεγονός ότι δεν προβλέφθηκε η πιθανή μικρή περιστροφή (roll) κατά την κίνηση του ψαριού, όσο μικρή επίδραση και αν έχει αυτή.
- Συνολικά υπολογίσθηκε (Foote & Traynor 1988) ότι όλα τα πιθανά σφάλματα μαζί είναι της τάξης 5%.

Εκτός από τα σημεία 6 και 7, έγινε προσπάθεια να βελτιωθεί η μέθοδος ως τα υπόλοιπα πιθανά σφάλματα:

Ως προς το σημείο 1: Εξασφαλίστηκε κατά το δυνατόν η ομοιοσκεδαστικότητα του δείγματος (βλ. ενότητα 2.3.5). Επίσης η δειγματοληψία σχεδιάστηκε ώστε να υπάρχει δυνατότητα εξέτασης 5 διαφορετικών παραμέτρων. Κατά την ανάλυση παλινδρόμησης ποτέ δεν χρησιμοποιήθηκαν πάνω από 4 παράμετροι, ενώ συνήθως χρησιμοποιούνται 3 ή 2 παράμετροι. Αυτό βελτιώνει την αξιοπιστία του δείγματος (Wonnacott & Wonnacott 1981).

Ως προς το σημείο 2: Τα σφάλματα στην περίπτωση του βακαλάου προέρχονταν κυρίως από το γεγονός ότι τα ψάρια ήταν πολύ μεγάλα και η εξαγωγή του σχήματος της νηκτικής κύστης γίνονταν συχνά με κηπίλασμα παραφίνης, προκαλώντας δυσκολίες στον προσανατολισμό της. Το πρόβλημα ελαχιστοποιήθηκε με δύο τρόπους: (Α) με απ' ευθείας εκτίμηση της νηκτικής κύστης μέσα στο ψάρι (όπως έγινε από τους Foote και Ona στην περίπτωση των μικρών ατόμων). (Β) Με ανάπλαση ολόκληρου του ψαριού και των οργάνων του, πράγμα που επέτρεψε τον άμεσο προσανατολισμό της νηκτικής κύστης από το σύνολο του

φαριού με αντικειμενικότερο τρόπο (την άκρη της άνω σιαγόνας και τους δύο αμφιβληστροειδείς των ματιών). Η βελτίωση φαίνεται και από την μικρή διακύμανση της γωνίας που αντιστοιχεί στην μέγιστη διατομή. Τέλος έγινε προσπάθεια το σφάλμα να εξολοθρευθεί πλήρως με την αντιστοίχιση όλων των μεγίστων διατομών στην ίδια γωνία κλίσης του φαριού (ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3).

Ως προς το σημείο 3: Μια από τις πιθανές πηγές σφάλματος στην διαδικασία ευθυγράμμισης ήταν ότι, σαν παράλληλεπίπεδο αναφοράς, χρησιμοποιήθηκαν τα περιθώρια του πακέτου CMC, μέσα στο οποίο εγκλιθείται το ψάρι ή νηκτική κύστη. Αυτό όμως δεν είναι τέλειο ορθογώνιο παράλληλεπίπεδο. Σ' αυτή την εργασία έγινε προσπάθεια ελαχιστοποίησης αυτού του σφάλματος, με την χρήση του ίδιου σταθερού παραλληλογράμμου αναφοράς σε όλες τις φωτογραφίες. Επίσης ο υπολογισμός της μέγιστης διατομής έγινε από την προβολή των σημείων σε ένα επίπεδο. Αυτό ελαχιστοποιεί ακόμη περισσότερο τα σφάλματα, που παραμένουν όταν η ωπιαία επιφάνεια υπολογίζεται στον τρισδιάστατο χώρο.

Ως προς το σημείο 4: Τα πιθανά σφάλματα ως προς το σημείο αυτό προέρχονται κυρίως από το γεγονός ότι επειδή τα ψάρια ήταν μεγάλα, η ψηφιοποίηση γινόταν από φωτογραφίες σε σμίκρυνση. Αντίθετα στη σαρδέλα, η οποία είναι ψάρι μικρού μεγέθους και με την χρήση του λογισμικού προγράμματος OPRS (Biosonic 1987), η ψηφιοποίηση έγινε από εικόνες που μεγεθύνθηκαν τις εικόνες, ελαχιστοποιώντας την πιθανότητα τέτοιων σφαλμάτων.

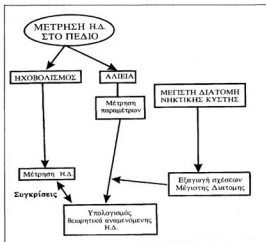
Ως προς το σημείο 5: Ο Onu (1990) υπολογίζει τα οποιαδήποτε σφάλματα που προέρχονται από την ψύξη ότι είναι της τάξης του 1%. Οι πιθανότερες πηγές σφαλμάτων στον βακαλάο θεωρείται ότι οφείλονται στο μέγεθός του: η ψύξη καθυστερεί να φθάσει στο εσωτερικό του. Τα πιθανά παρόμοια σφάλματα ελαχιστοποιούνται στην περίπτωση της *Sardina pilchardus*. Τα άτομα της σαρδέλας είναι πολύ μικρότερα από του βακαλάου, με αποτέλεσμα να αυξάνεται κατά πολύ η ταχύτητα ψύξης του συνόλου του φαριού ( $30''$  για την σαρδέλα, έναντι  $1'-1' 30''$  στον βακαλάο).

#### **4.5 ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Στην ενότητα αυτή παρουσιάστηκαν οι βασικές πλευρές της θεωρίας του ηχο-ανακλαστικού δυναμικού στόχου (H.D.) καθώς και η σύνδεσή του με την διατομή της νηκτικής κύστης. Περιγράφηκε ο τρόπος με τον οποίο υπολογίσθηκαν τόσο η μέγιστη διατομή όσο και οι διατομές της νηκτικής κύστης για διάφορους προσανατολισμούς των φαριών. Το πρότυπο των μεταβολών της μέγιστης διατομής της νηκτικής κύστης είναι έμβως ανάλογο με τις παραμέτρους που χρησιμοποιήθηκαν. Οι σχέσεις που προέκυψαν έδειξαν πολύ καλό συντελεστή συσχέτισης και ότι η μέγιστη διατομή μεταβάλλεται κανονικότερα από τον όγκο της νηκτικής κύστης. Για την περιγραφή των μεταβολών της μέγιστης διατομής της νηκτικής κύστης είναι απαραίτητες δύο τουλάχιστον σχέσεις: μία εκτός και μία εντός της αναπαραγωγικής περιόδου. Στην πρώτη περίοδο κυρίαρχη παράμετρος είναι το μήκος, ενώ στην δεύτερη οι γονάδες. Τα μικρά άτομα παρουσιάζουν ένα διαφοροποιημένο πρότυπο ανάπτυξης και μάλλον θα πρέπει να περιγραφούν από μια ιδιαίτερη γραμμική σχέση. Κατά την αναπαραγωγική περίοδο είναι δυνατόν οι μεταβολές της μέγιστης διατομής να είναι αρνητικά συσχετισμένες με το μήκος του φαριού. Τέλος η μελέτη της επίδρασης των παραμέτρων στο σχήμα της μέγιστης διατομής έδειξε ότι τόσο το μήκος όσο και οι γονάδες και το λίπος επιδρούν άμεσα στο σχήμα της. Τα αποτελέσματα αυτής της ενότητας δείχνουν τις τάσεις και τις επιδράσεις των διαφόρων παραμέτρων στην μέγιστη διατομή. Στην επόμενη ενότητα θα διερευνηθεί η δυνατότητα και η ακρίβεια του θεωρητικού υπολογισμού του H.D. με την σύγκριση αναμενόμενων τιμών από τις εξισώσεις της ενότητας 4.3 με πραγματικά δεδομένα.



**5. ΠΡΟΚΑΤΑΡΤΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΗΧΟ-  
ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΤΗΣ *Sardina pilchardus*  
ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ.**







## 5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στις προηγούμενες ενότητες μελετήθηκε το πρότυπο των μεταβολών της νηκτικής κώστης και βρέθηκαν οι σχέσεις που συνδέουν τον όγκο και τις διατομές της με το μέγεθος και την εσωτερική φυσιολογία του ψαριού. Το ερώτημα που παραμένει είναι, αν αυτές οι σχέσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να περιγράψουν με πιστότητα το ηχο-ανακλαστικό δυναμικό (Η.Δ.) της *Sardinia pilchardus*, όπως αυτό μετρείται στο πεδίο από τα ηχοβολιστικά μηχανήματα.

Στην ενότητα αυτή αναφέρονται, εν συντομία, οι βασικές αρχές διάδοσης και ανάκλασης του ήχου, οι οποίες αξιοποιούνται από τα ηχοβολιστικά μηχανήματα. Αναφέρονται επίσης οι βασικές αρχές λειτουργίας των ηχοβολιστικών μηχανημάτων και η μεθοδολογία της άμεσης εκτίμησης του Η.Δ. στο πεδίο. Γίνεται σύγκριση των θεωρητικά αναμενόμενων αποτελεσμάτων, με τις μετρήσεις του Η.Δ. στο πεδίο. Για τον υπολογισμό των θεωρητικά αναμενόμενων Η.Δ. χρησιμοποιήθηκαν οι εξισώσεις της ενότητας 4.3, και ο ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3. Οι διάφορες εναλλακτικές προσεγγίσεις που επινοήθηκαν, έδωσαν την δυνατότητα να εκτιμηθεί ο καλύτερος τρόπος προσομοίωσης των θεωρητικά υπολογιζόμενων τιμών στις τιμές που μετρώνται στο πεδίο.

### 5.1.1. ΗΧΗΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ: ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

Ο ήχος είναι κύματα, τα οποία διαδίδονται σε ένα περιβάλλον μέσον υπόκεινται σε σκέδαση και απορρόφηση. Η ηχητική ενέργεια διαδιδόμενη μέσα στο νερό *σκεδάζεται* (διασκορπίζεται) από το ηχητικό κύμα, λόγω των εν αιωρήσει σωματιδίων, των οργανισμών, ή των αερίων που έχουν διαφορετική πυκνότητα από το μέσον. Επίσης η ηχητική ενέργεια απορροφάται μετατρέπόμενη σε θερμότητα (Clay & Medwin 1977).

Τα ηχητικά κύματα παράγονται από περιοδικές αξομειώσεις της πυκνότητας των σωματιδίων του περιβάλλοντος μέσου, οι οποίες προκαλούν διαφορές πίεσης. Αυτές οι περιοδικές διαφορές πίεσης αποτελούν ουσιαστικά μία ταλάντωση, η οποία διαδίδεται στο περιβάλλον μέσον με διαδοχικούς ηχητικούς παλμούς. Η *συχνότητα* της ταλάντωσης είναι:

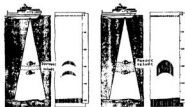
$$f = \frac{\omega}{2\pi}$$

όπου  $\omega$  = η γωνιακή συχνότητα της ταλάντωσης (rad/sec) και  $f$  = η συχνότητα σε Hertz (Hz): αριθμός κύκλων/sec.

Η *ταχύτητα* του ήχου  $c$  είναι:

$$c = \lambda f$$

όπου  $f$  = η συχνότητα σε Hz και  $\lambda$  = το μήκος κύματος σε μέτρα (m) (η απόσταση μεταξύ δύο μεγίστων της ταλάντωσης). Τα μέγιστα της ταλάντωσης σε μια δεδομένη χρονική στιγμή, είναι τα σημεία στο περιβάλλον μέσον, όπου η πίεση γίνεται μέγιστη. Μέσα στο νερό γενικά, η ταχύτητα διάδοσης του ήχου βρίσκεται γενικά μέσα σε ένα εύρος τιμών από 1450 m/sec έως 1550 m/sec. Η ταχύτητα διάδοσης του ήχου εξαρτάται από την *θερμοκρασία*, την *πίεση* και την *αλατότητα*. Αν η ταχύτητα του ήχου είναι 1500 m/sec (που είναι μία τυπική τιμή για την θάλασσα), τότε ήχος συχνότητας 10



Εικόνα 5.1. Διαφορά διακτικότητας μεταξύ δύο στόχων σε έναν σύντομο και έναν μακρό παλμό (Καπαντιέρης, και Τσιουδάκης 1988)

kHz έχει μήκος κύματος 15 cm, ενώ ήχος συνόττητας 500 kHz έχει μήκος 3mm (Clay & Medwin 1977, McLennan & Forbes 1984).

Όσο μικρότερο είναι το μήκος κύματος, ή όσο υψηλότερη είναι η συχνότητα (σύντομος παλμός), τόσο ευκολότερα διακρίνονται δύο στόχοι φαριών που βρίσκονται κοντά το ένα με το άλλο (Εικόνα 5.1).

Ροή ( $I$ ) είναι η ενέργεια που περνά μέσω μιας επιφάνειας, η οποία βρίσκεται στο κυματικό μέγιστο.

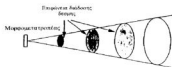
Ένταση ( $I$ ) είναι η ενέργεια που περνά μέσω μιας μονάδας επιφάνειας, στο κυματικό μέγιστο, στην μονάδα του χρόνου.

Οι ηχητικές μετρήσεις γίνονται συνήθως σε *decibel* (db) και όχι σε μονάδες του SI (Διεθνές σύστημα). Το *decibel* είναι μια λογαριθμική μέτρηση του λόγου δύο εντάσεων:

$$N_{db} = 10 \log \left( \frac{I_2}{I_1} \right)$$

Το db χρησιμοποιείται για να περιγραφεί το ηχο-ανاکλαστικό δυναμικό στόχου (H.Δ.), το οποίο ορίζεται αυστηρά, σαν ο λόγος της αναμενόμενης έντασης  $I_2$ , σε απόσταση 1m από τον στόχο, προς την προσπίπτουσα ένταση  $I_1$ . Επειδή το H.Δ. είναι ένας καθαρός λόγος δεν χρειάζεται μέτρηση αναφοράς (Clay & Medwin 1977).

### 5.1.2. ΔΙΑΔΟΣΗ ΗΧΟΥ.



Εικόνα 5.2. Διανομή της ηχητικής ενέργειας κατά τη μετάδοση του ήχου (McLennan & Simmonds 1992).

Το μεταδιδόμενο ηχητικό κύμα διαδίδεται σφαιρικά σε μια όλο και μεγαλύτερη περιοχή. Στην περίπτωση της χρησιμοποίησης ηχοβόλιστικού μηχανήματος ο ήχος διαδίδεται ουσιαστικά υπό μορφή κώνου. Η συνολικά μεταδιδόμενη ενέργεια είναι σταθερή, ενώ η ένταση (ενέργεια/μονάδα επιφάνειας/μονάδα χρόνου) μειώνεται διαρκώς, αφού η ενέργεια διασκορπίζεται σε όλο και μεγαλύτερη επιφάνεια (όλο και μεγαλύτερη διατομή κώνου) (Εικόνα 5.2), σύμφωνα με τον νόμο:

$$I = \frac{I_0}{R^2}$$

όπου  $I_0$  = η αρχική ένταση,  $R$  = η απόσταση από την πηγή του ηχητικού κύματος και  $I$  = η ένταση σε απόσταση  $R$  (McLennan & Simmonds 1992).

Καθώς ο ήχος διαδίδεται μέσα στο νερό η ηχητική ενέργεια μειώνεται λόγω απορρόφησης από το μέσον. Η ένταση του ηχητικού κύματος μειώνεται εκθετικά με την απόσταση. Αν  $\beta$  είναι ο συντελεστής απορρόφησης τότε ισχύει (McLennan & Simmonds 1992):

$$I_{(R)} = I_0 e^{-\beta R}$$

Είναι συνήθως πρακτικότερο, οι απώλειες ενέργειας λόγω απορρόφησης να εκφράζονται σε db ανά μονάδα απόστασης, οπότε χρησιμοποιεί το σύμβολο  $\alpha$ , και ισχύει:

$$10 \log \left( \frac{I_R}{I_0} \right) = -\alpha R \quad \text{και} \quad \alpha = 8.69 \beta$$

### 5.1.3. ΗΧΟΒΟΛΙΣΤΙΚΑ: ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Το κύριο σύστημα ενός ηχοβολιστικού αποτελείται από έναν μορφοτροπέα<sup>1</sup> (transducer). Οι μορφοτροπείς έχουν διττή λειτουργία (Ανασκόπηση από McLennan & Forbes 1984):

- 1) Μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε ηχητικό παλμό, που συχνά καλείται και σφύριγμα (ring).
- 2) Μετατρέπουν ηχητικούς παλμούς, σε ηλεκτρικό σήμα, το οποίο ενισχύεται σε έναν ενισχυτή (Εικόνα 5.3.)

Ο συνθέστερος τύπος μορφοτροπέα κατασκευάζεται από *πιεζοηλεκτρικά υλικά*.

Πιεζοηλεκτρικά είναι τα υλικά στα οποία όταν εφαρμοστεί πίεση, προκαλείται διαφορά δυναμικού.

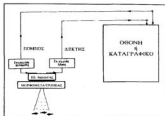
Το φαινόμενο είναι αντιστρόφιο: όταν στα υλικά αυτά εφαρμοστεί εναλλασσόμενο δυναμικό, το κεραμικό υλικό συστέλλεται και διαστέλλεται. Το ίδιο αποτέλεσμα μπορεί να επιτευχθεί και με έναν ηλεκτρομαγνητικό μορφοτροπέα. Οι μορφοτροπείς αυτοί βασίζονται στο φαινόμενο συστολής και διαστολής ενός μετάλλου, όταν γύρω από αυτό εφαρμοστεί εναλλασσόμενο ηλεκτρικό ρεύμα. Αυτό το φαινόμενο είναι επίσης αντιστρόφιο. Οι ηλεκτρομαγνητικοί μορφοτροπείς μπορούν να επιτύχουν παραγωγή ήχητικών κυμάτων ιδιαίτερα χαμηλών συνοτήτων.

Για καλύτερη διάκριση ηχητικών στόχων απαιτείται όσο το δυνατόν μικρότερο μήκος παλμού. Για να διακρίνει δύο διαφορετικούς στόχους το ηχοβολιστικό και να τους μετρήσει ανεξάρτητα, πρέπει η διαφορά της απόστασής τους ( $R_1 - R_2$ ), από το μηχανήμα, να είναι αρκετά μεγάλη ώστε να μην υπάρχει αλληλεπικάλυψη των δύο ήχων (McLennan & Simmonds 1992). Δηλαδή πρέπει να ισχύει:

$$R_2 - R_1 > \frac{c\tau}{2}$$

όπου  $c$  = η ταχύτητα διάδοσης του ήχου σε m/sec και  $\tau$  = η διάρκεια του παλμού σε sec. Άρα οι στόχοι που απέχουν μεταξύ τους απόσταση τουλάχιστον ίση με το μισό του μήκους του παλμού, αναγνωρίζονται σαν διαφορετικοί, αλλιώς όχι (Εικόνα 5.1.).

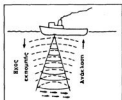
Γενικά ένα ηχητικό κύμα διαδίδεται σφαιρικά (προς όλες τις κατευθύνσεις). Όμως ένα ηχοβολιστικό, ανάλογα με τον προσανατολισμό και την κατασκευή του, μπορεί να εστιάζει την διάδοση της ηχητικής ενέργειας προς μία κατεύθυνση και συγκεκριμένα κάθετα προς αυτό (προς τον βυθό). Αυτό επιτυγχάνεται με την κατάλληλη διεύθυνση πολλών ηχοπαραγωγών στοιχείων, έτσι ώστε ο ήχος να ενισχύεται προς την επιθυμητή κατεύθυνση και να εξασθενεί προς τις άλλες. Το αποτέλεσμα είναι ο σχηματισμός ενός *ηχητικού κώνου* (ή δέσμης) διάδοσης των κυμάτων. Ο ήχος αλλάζει χαρακτηριστικά ανάλογα με την κατεύθυνση. Η συνάρτηση  $b$  που περιγράφει αυτή την μεταβολή λέγεται *πρότυπο δέσμης* (ή *μορφή δέσμης* - beam pattern), και εξαρτάται από την γωνία  $\theta$  που σχηματίζει η εκάστοτε διεύθυνση ως προς τον κύριο άξονα της ηχητικής δέσμης (McLennan & Simmonds 1992).



Εικόνα 5.3 Σχδιάγραμμα των βιοτικών συστημάτων ενός ηχοβολιστικού (Καπιανιαγιάκης & Τασιούδης 1988).

<sup>1</sup>Ο *μορφοτροπέας* συχνά αναφέρεται και σαν *μεταλλάκτης*. Σε ένα βιολογικό κείμενο προτιμήθηκε ο πρώτος όρος. Αν και δεν είναι δυνατόν να υπάρξουν αποσπασμένοι συγχέσεις, θεωρήθηκε καλύτερο να χρησιμοποιηθεί ένας όρος κατά το δυνατόν ξένος από την βιολογία.

### 5.1.4. ΗΧΟΒΟΛΙΣΤΙΚΑ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΟΥ Η.Δ. ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ.



Εικόνα 5.4. Ανίχνευση ψαριών με χρήση ηχοβολιστικών μηχανημάτων (Κοκκινταγιάκης & Τσιουράκης, 1988).

Σύναρη ή ηχητικός εντοπιστής είναι γενικός όρος για κάθε μηχανήμα που χρησιμοποιεί τον ήχο για ανίχνευση ή για παρατήρηση αντικειμένων μέσα στο νερό<sup>2</sup>. Τα ηχοβολιστικά μηχανήματα είναι ένας ιδιαίτερος τύπος ηχητικού εντοπιστή, του οποίου η δέση διαδίδεται απ' ευθείας κάθετα προς αυτό (Εικόνα 5.4).

Οι τυπικές συχνότητες των ηχοβολιστικών που χρησιμοποιούνται στην αλιεία και την αλιευτική έρευνα είναι 38 kHz (38.000 κύκλοι/sec), 120 kHz, ή 400 kHz. Το πλάτος της μεταδιδόμενης δέσης είναι αντιστρόφως ανάλογο με την συχνότητα. Έτσι ένας ηχοβολιστής 400 kHz έχει πλάτος δέσης το  $\frac{1}{10}$  του πλάτους ενός μορφοτροπέα 40 kHz (McLennan & Forbes 1984).

Ο μορφοτροπέας παράγει ηχητικούς παλμούς οι οποίοι διαδίδονται μέσα στο νερό. Όταν ένας παλμός συναντήσει κάποιον στόχο σκεδαζείται και ένα τμήμα της σκεδαζόμενης ενέργειας (η οπισθοακτινίσια ενέργεια) επιστρέφει στον μορφοτροπέα, όπου μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Η απόσταση του στόχου υπολογίζεται από τον χρόνο ο οποίος απαιτείται για να επιστρέψει το εκπαιδευμένο σήμα. Οι απαιτούμενες διορθώσεις γίνονται αυτόματα και το λαμβανόμενο σήμα ενισχυόμενο από τα ηλεκτρικά κυκλώματα στον δέκτη του μορφοτροπέα απεικονίζεται στην οθόνη του ηχοβολιστικού.

Τα επιστημονικά ηχοβολιστικά είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να έχουν μεγάλη σταθερότητα στο εκπαιδευόμενο σήμα, μεγάλη ακρίβεια συγχρονισμού των παλμών και δυνατότητες ευρύτερης διόρθωσης και ενίσχυσης του λαμβανόμενου σήματος. Ορισμένα από τα ηχοβολιστικά (τα ηχοβολιστικά διττής και αχιστής δέσης), μπορούν να προσδιορίσουν την κατεύθυνση του στόχου και να δώσουν στον δέκτη σήμα ανάλογο του Η.Δ. Το σήμα αυτό, αφού ενισχίσει και διορθωθεί, μας δίνει μια μέτρηση του Η.Δ. του ψαριού (McLennan & Simmonds 1992).

Η μέτρηση του Η.Δ. είναι μια σημαντική εφαρμογή των σύγχρονων ηχοβολιστικών. Τα ηχοβολιστικά μηχανήματα χρησιμοποιούνται για *in situ* (επί τόπου) προσδιορισμό του Η.Δ. (μέθοδος Bergen) (Hollidorsson & Reynisson 1983). Το βασικό πλεονέκτημα των *in situ* μεθόδων είναι ότι η εκτίμηση του Η.Δ. των ψαριών γίνεται στην πραγματική, ελεύθερη κατάσταση τους στην θάλασσα. Όμως έτσι δεν είναι δυνατόν να μετρηθεί η Η.Δ., με τρόπο που θα λαμβάνει υπόψη το είδος των ψαριών, το μέγεθός τους, το μέγεθος των εσωτερικών οργάνων και ιστών, και γενικότερα την κατάσταση της νηκτικής κύστης. Αυτό είναι δυνατόν να γίνει μόνο σε απευθείας ελεγχόμενες συνθήκες, όπου όλες οι μεταβλητές μπορούν να ελεγχθούν. Τα αποτελέσματα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια σαν πρότυπα για τις καταστάσεις του πεδίου. Το μεγάλο πλεονέκτημα των *in situ* μεθόδων είναι ότι ενσωματώνουν πάντα την συμπεριφορά των ψαριών στη θάλασσα και έτσι η ηβιολογική πηγή διακύμανσης του Η.Δ. είναι πάντα ορθή. Το μειονέκτημά τους είναι ότι εξαρτώνται κατά πολύ από την μεροληψία της αλιείας. Έτσι υπάρχει πάντα ανάγκη να "βαθμονομηθούν" με κάποια μέθοδο ελεγχόμενων συνθηκών. Αν αυτό γίνει, τότε τα ηχοβολιστικά γίνονται ένα αναγκαίο εργαλείο παρατήρησης των ψαριών στην θάλασσα (Robinson 1983, Midttun 1984, McLennan *et al.* 1990).

Για την *in situ* εκτίμηση του Η.Δ. εφαρμόζονται δύο διακριτές μέθοδοι: η *έμμεση*

<sup>2</sup> Σύνθηος ο όρος σύναρη χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει τα ηχοβολιστικά πλάγια ανίχνευσης.

(ηχοβολιστικά *μονής δέσμης* -single beam) και η *άμεση* μέθοδος (ηχοβολιστικά *διττής* και *σχιστής δέσμης* - dual and split beam) (Ehrenberg 1983a).

#### ΕΜΜΕΣΗ ΜΕΘΟΔΟΣ

##### Α. ΗΧΟΒΟΛΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΗΣ ΔΕΣΜΗΣ.

Τα ηχοβολιστικά μονής δέσμης χρησιμοποιούνται στην *έμμεση μέθοδο* του *in situ* προσδιορισμού του Η.Δ. Η αρχή της μεθόδου βασίζεται στην μέτρηση της συνολικά ανακλωμένης ενέργειας από όλα τα ψάρια (ηχο-ολοκλήρωση) και στην ταυτόχρονη απαρίθμηση των ψαριών-στόχων στο καταγραφικό μηχανήμα (ηχο-απαρίθμηση). Με βάση αυτές τις μετρήσεις υπολογίζεται το μέσο Η.Δ. των ψαριών έχοντας ηχοβολισθεί, δεδομένου ότι ισχύει η αρχή της γραμμικότητας (Foote 1983, βλ. ενότητα 4.1.2.). Για την συσχέτιση του Η.Δ. με το μέγεθος των ψαριών απαιτείται η αλεία ενός αντιπροσωπευτικού δείγματος των ηχοβολιζόμενων ψαριών (Ehrenberg 1983b, Bailey 1984, Dawson & Karp 1990, McLennan *et al.* 1990).

*Βασικό πλεονέκτημα* της μεθόδου είναι ότι τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται, είναι φθηνότερα και απλούστερα στην χρήση.

Τα *βασικά μειονεκτήματα* της μεθόδου προέρχονται από το γεγονός ότι δεν γνωρίζουμε την θέση και την κατανομή των ψαριών μέσα στην ηχητική δέσμη, ούτε είναι δυνατόν να εκτιμήσουμε τον προσανατολισμό τους μέσα στη θάλασσα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, το πρότυπο δέσμης να επιδρά καθοριστικά στο εκτιμώμενο Η.Δ., να μειώνει την ακρίβεια των μετρήσεων και να αυξάνει την μεροληψία τους. Για να αφαιρεθεί η επίδραση του προτύπου δέσμης (*b*), απαιτείται η εφαρμογή διαφόρων στατιστικών μεθόδων και γίνονται διάφορες πιθανοθεωρητικές παραδοχές (π.χ. τυχαία κατανομή και τυχαίος προσανατολισμός των ψαριών μέσα στην ηχητική δέσμη). Αυτό έχει μια σειρά από περιορισμούς όπως:

- 1) Είναι αναγκαία η μέτρηση ενός πολύ μεγάλου αριθμού ψαριών.
- 2) Πρέπει να ξεχωριστούν οπτικά τα μεμονωμένα ψάρια στο ηχογράμμα, κάτι το οποίο δεν είναι πάντα εφικτό.
- 3) Οι μετρήσεις πρέπει να γίνονται νύχτα, όταν οι κατανομές και οι προσανατολισμοί των ψαριών είναι περισσότερο τυχαίοι και όταν οι αντιδράσεις των ψαριών για αποφυγή του πλοίου, είναι ασθενέστερες.
- 4) Η θάλασσα πρέπει να είναι ήρεμη, ώστε να αποφεύγονται οι κλίσεις της ηχητικής δέσμης.

Για όλους αυτούς τους λόγους όλες οι έμμεσες μέθοδοι έχουν χαμηλή ακρίβεια και μεγάλη μεροληψία. Είναι επιρρεπείς σε στατιστικά και αριθμητικά σφάλματα και δεν αποδίδουν καλά στις περισσότερες περιπτώσεις (Halldorsson & Reynisson 1983, Ehrenberg 1983a, Forbes 1984, Marchal 1984, Dawson & Karp 1990, Traynor *et al.* 1990).

##### ΑΜΕΣΗ ΜΕΘΟΔΟΣ

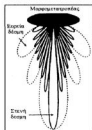
Οι άμεσες μέθοδοι βασίζονται στην απομάκρυνση της επίδρασης του προτύπου δέσμης (*b*), επειδή τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται (ηχοβολιστικά *διττής* και *σχιστής δέσμης*), μπορούν να αναγνωρίσουν την θέση του ψαριού μέσα στην ηχητική τους δέσμη και να υπολογίσουν απ' ευθείας το Η.Δ. Και η μέθοδος αυτή επηρεάζεται από την μεροληψία της αλείας.

Τα *βασικά πλεονεκτήματα* της μεθόδου είναι:

- 1) Ότι δεν εξαρτάται από το πρότυπο της δέσμης και μπορεί να μετρά απ' ευθείας το Η.Δ. κάθε ψαριού.
- 2) Δεν είναι αναγκαία η μέτρηση μεγάλου αριθμού ψαριών.
- 3) Δίνει καλά αποτελέσματα: έχει χαμηλή μεροληψία και υψηλή ακρίβεια.
- 4) Επιτρέπει την μελέτη της επίδρασης των τοπικών συνθηκών και της συμπεριφοράς των ψαριών (π.χ. βάθος, ένταση φωτός, διαφορές ημέρας-νύχτας).

Το *μειονέκτημά* της είναι ότι απαιτεί ειδικά μηχανήματα, τα οποία είναι δυσκολότερα στην χρήση τους και ακριβότερα σε σχέση με αυτά της μονής δέσμης (Ehrenberg 1983a,b, Marchal 1984).

## Β. ΗΧΟΒΟΛΙΣΤΙΚΑ ΔΙΤΗΣ ΔΕΣΜΗΣ

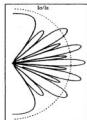


Εικόνα 5.5. Σχεδιάγραμμα των δύο πρώτων δέσμη ενός ηχοβολιστικού διτής δέσμης (McLennan & Simmonds 1992).

Θεωρήσουμε ότι  $b_o$  και  $b_e$  είναι αντίστοιχα τα πρότυπα (βλ 5.1.3) της στενής και της ευρείας δέσμης<sup>3</sup> και  $\sigma$  είναι η *ακουστική διατομή* (βλ. ενότητα 4.1.1.) του στόχου αποδεικνύεται ότι ισχύει (Ehrenberg 1983a,b):

$$I_o = \frac{\sigma}{b_o^2}$$

$$I_e = \sigma \cdot b_e \cdot b_o$$



Εικόνα 5.6. Ηχοβολιστικό διτής δέσμης. Η διακεκομμένη γραμμή αντιπροσωπεύει σε σημεία που έχουν τον ίδιο παράγοντα δέσμης (McLennan & Simmonds 1992).

Στα ηχοβολιστικά *διτής δέσμης* (dual beam), ο μορφοτροπέας παράγει δύο ηχητικές δέσμες με ξεχωριστό πρότυπο η κάθε μια. Ο μορφοτροπέας αποτελείται από πολλά ηχοπαραγωγά στοιχεία, τα οποία είναι τοποθετημένα σε 4 ομόκεντρους κύκλους γύρω από ένα κεντρικό στοιχείο. Με ανεξάρτητη ρύθμιση του κάθε στοιχείου παραγονται δύο ηχητικές δέσμες. Εναλλακτικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν δύο μορφοτροπέες (McLennan & Simmonds 1992).

Το πρότυπο της μιας δέσμης (*στενή δέσμη*) αποτελείται από έναν στενό κώνο (λοβό), με πολλούς μικρότερους. Το πρότυπο της άλλης (*ευρεία δέσμη*) αποτελείται από τρεις λοβούς. Η ύπαρξη δύο ηχητικών δεσμών έχει σαν συνέπεια ο κάθε στόχος να στέλνει πίσω στο ηχοβολιστικό δίο σήματα εντάσεων  $I_o$  για την στενή και  $I_e$  για την ευρεία δέσμη (Εικόνα 5.5.)

Στα σήματα που προέρχονται από τον ίδιο στόχο, ο λόγος  $\frac{I_o}{I_e}$

(*παράγοντας δέσμης*) εξαρτάται από την κατεύθυνση του στόχου. Αν

Λύνοντας τις δύο εξισώσεις ως προς τον παράγοντα δέσμης και την ακουστική διατομή στόχου έχουμε:

$$\frac{I_o}{I_e} = \frac{b_o}{b_e}$$

$$\sigma = \frac{1}{b_e^2} \frac{I_e^2}{I_o}$$

Η κατεύθυνση του στόχου, η

οποία υπειδεικνύεται μ' αυτό τον τρόπο είναι αμφιβολή γιατί η συνάρτηση  $\frac{I_e}{I_o}$

έχει μία κοινή τιμή για πολλές κατευθύνσεις (Εικόνα 5.6.). Η ασάφεια αυτή μειώνεται με τις παρακάτω τεχνικές:

- 1) Αποδεχόμαστε τους ήχους που έχουν παράγοντα δέσμης πάνω από ένα όριο.
- 2) Παραλείπουμε τους ήχους στους οποίους  $I_o$  ή  $I_e$  είναι μικρότερες από κάποιο όριο.

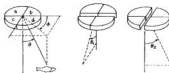
Εκτεταμένες έρευνες γύρω από αυτό το θέμα έχουν καθορίσει τους τρόπους εύρεσης και βαθμονόμησης αυτών των ορίων και έχουν προταθεί

<sup>3</sup>Ο καθορισμός τους γίνεται με βαθμονόμηση (calibration).

οι απαιτούμενες ρυθμίσεις. Αποδεικνύεται ότι με αυτές τις διορθώσεις το σφάλμα, αν και εξακολουθεί να υπάρχει, είναι αποδεκτά μικρό.

#### Γ. ΗΧΟΒΟΛΙΣΤΙΚΑ ΣΧΙΣΤΗΣ ΔΕΣΜΗΣ

Τα ηχοβολιστικά σχιστής δέσμης (split beam) έχουν μορφοτροπέα ο οποίος αποτελείται από πολλά ηχοπαραγωγά στοιχεία τα οποία χωρίζονται σε τέσσερα τεταρτημόρια (Εικόνα 5.7). Το Η.Δ. προσδιορίζεται με σύγκριση του σήματος που λαμβάνεται από κάθε τεταρτημόριο. Το σήμα κάθε τμήματος γίνεται αντικείμενο ξεχωριστής επεξεργασίας. Η γωνία από τον ακουστικό άξονα ( $\theta'$ ) προσδιορίζεται από την διαφορά φάσης μεταξύ (a-b) και (c-d). Η γωνία  $\theta''$  προσδιορίζεται από την διαφορά φάσης μεταξύ (a+c) και (b+d). Οι γωνίες καθορίζουν μία και μοναδική κατεύθυνση για τον στόχο. Το Η.Δ. προσδιορίζεται από το πρότυπο δέσμης για την συγκεκριμένη κατεύθυνση. Η αξιοβιότητα που αναφέρθηκε και προηγουμένως εξακολουθεί να ισχύει και εδώ και γι' αυτό απαιτούνται και πάλι διορθώσεις (Ehrenberg 1983a,b, McLennan & Simmonds 1992).



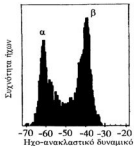
Εικόνα 5.7. Ηχοβολιστικό σχιστής δέσμης. Ο μορφοτροπέας χωρίζεται σε τέσσερα τμήματα: a, b, c, d. Η γωνία  $\theta'$  αντιστοιχεί στην γωνία στόχου και ακουστικού άξονα, ενώ η γωνία  $\theta''$  καθορίζει την θέση του ψαριού ως προς την κατεύθυνση πορείας του μορφοτροπέα (Ehrenberg 1983a).

#### 5.1.5. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ Η.Δ. ΜΕ ΤΗΝ ΑΜΕΣΗ ΜΕΘΟΔΟ *IN SITU*

Το Η.Δ. των ελεύθερων μοναχικών ψαριών μπορεί να μετρηθεί απευθείας στην θάλασσα, με την χρήση ηχοβολιστικών διττής ή σχιστής δέσμης (Ehrenberg 1983a,b, Marchal 1984). Οι *in situ* τεχνικές απαιτούν χρησιμοποίηση διαφόρων μεθόδων και παραμέτρων με τις οποίες τα λαμβανόμενα σήματα περιορίζονται μόνο σε εκείνα που αφορούν μεμονωμένα ψάρια. Ταυτόχρονα απομακρύνονται οι ήχοι που προέρχονται από ψάρια που βρίσκονται κοντά το ένα στο άλλο. Σε κανονικές συνθήκες όταν τα ψάρια είναι πολύ πυκνά, τα σήματα από τα μεμονωμένα ψάρια είναι μόνο ένα πολύ μικρό ποσοστό των σημάτων που λαμβάνουμε από το σύνολο των ηχοβολιζόμενων ψαριών.

Στα *in situ* πειράματα καταγράφονται πολλές μετρήσεις Η.Δ. από κάθε σχολείο ψαριών. Οι μετρήσεις αυτές καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα τιμών Η.Δ. Είναι συνήθως πρακτική, οι πληροφορίες απ' αυτές τις πολλές μετρήσεις, να απεικονίζονται σε ένα ιστόγραμμα συχνότητων Η.Δ. (Εικόνα 5.8). Το εύρος των τιμών στα Η.Δ. οφείλεται στην γωνία προσανατολισμού του ψαριού, στην θέση του στην ακουστική δέσμη, στο διαφορετικό μέγεθος των ψαριών, στο διαφορετικό βάθος που βρίσκονται, στα διαφορετικά φυσιολογικά τους χαρακτηριστικά και τέλος στο διαφορετικό είδος ψαριών (McLennan & Simmonds 1992).

Όταν τα ψάρια είναι παραπλήσιου μεγέθους και προέρχονται από το ίδιο είδος, τα ιστογράμματα έχουν κωδωνοειδή μορφή, με μία και μοναδική κορυφή. Το Η.Δ. που αντιστοιχεί σ' αυτή την κορυφή θεωρείται ότι αντιστοιχεί στην εκτίμηση του Η.Δ. για το μέσο μέγεθος των ψαριών (Halldorsson & Reynisson 1983). Συνήθως όμως οι κατανομές αποκλείονται από την

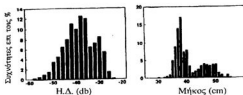


Εικόνα 5.8. Ιστόγραμμα Η.Δ. που μετρήθηκαν από ηχοβολιστικό διττής δέσμης. Οι δύο κορυφές αντιστοιχούν σε δύο διαφορετικά είδη ψαριών: (α) *Myctophidae*, (β) *Micromesistius roulei* (McLennan & Simmonds 1992).

κωδωνοειδή και είναι πολύκορφες (Εικόνα 5.8). Σ' αυτές τις περιπτώσεις πρέπει να απαντηθούν τα παρακάτω ερωτήματα:

- 1) Οι διαφορετικές κορυφές αντιστοιχούν σε διαφορετικά είδη ψαριών;
  - 2) Οι διαφορετικές κορυφές αντιστοιχούν σε διαφορετικά μεγέθη (ηλικιακές κλάσεις) του ίδιου είδους ψαριού;
  - 3) Ποιά είναι το εύρος μεγέθους στα ψάρια που έχουν ηχοβολήσει;
  - 4) Ποιά είναι το είδος των ψαριών που έχει ηχοβολήσει;
- Οι απαντήσεις στα ερωτήματα αυτά μπορούν να δοθούν μόνο με ταυτόχρονη αλίευση των ηχοβολιζόμενων ψαριών και σε ορισμένες περιπτώσεις με την εμπειρία που έχει συσσωρευτεί από προηγούμενες προσπάθειες. Όταν οι κορυφές της κατά μήκος σύνθεσης των ψαριών και του ιστογράμματος των Η.Δ. είναι καλά αντιστοιχισμένες, η ερμηνεία είναι σχετικά εύκολη. Τέτοια δεδομένα όμως είναι μάλλον η εξαίρεση. Ένας σημαντικός παράγοντας που εισέρχεται σχεδόν πάντα, είναι η μεροληψία της τράτας: Ποτέ δεν είμαστε σίγουροι ότι αλιεύεται αντιπροσωπευτικό δείγμα των ψαριών που έχουν ηχοβολήσει (McLennan & Simmonds 1992).

Οι καλύτερες συνθήκες για ακριβή εκτίμηση του Η.Δ., είναι να αλιευθεί και να ηχοβολισθεί ένα συγκεκριμένο σχολείο, όπου τα ψάρια είναι δυνατόν ομοιογενή της ίδιας κτήσιας κλάσης και έχουν την ίδια πιθανότητα να αλιευθούν από την τράτα. Δεδομένα που πλησιάζουν τις ιδανικές συνθήκες είναι αυτά που απεικονίζονται στην Εικόνα 5.9. Από τα παραπάνω είναι φανερό ότι η καλύτερη δυνατή εκτίμηση του Η.Δ. στο πεδίο γίνεται όταν έχουμε κανονική ή γενικότερα κωδωνοειδή κατανομή με μία κορυφή, στην οποία μπορούμε να αντιστοιχίσουμε μια παρόμοια κατανομή μεγεθών (Robinson 1983).



**Εικόνα 5.9.** Το Η.Δ. των ελεύθερων ψαριών. Το ιστογράμμο της κτετανοής του *Theragra chalcogramma* (αριστερά), και η κτετανομή μωών (δεξιά) που έδωτο το αντίστοιχο δείγμα που αλιεύθηκε από την τράτα (McLennan & Simmonds 1992).

Η εναλλακτική λύση είναι να γνωρίζουμε εκ των προτέρων το Η.Δ. και την αντιστοιχία Η.Δ. με το μέγεθος των ψαριών. Σ' αυτή την περίπτωση το δείγμα της τράτας θα μας δώσει μια εκτίμηση του αναμενόμενου Η.Δ. και θα μας προσανατολίσει πάνω στο ιστογράμμο της κατανομής των Η.Δ. Έτσι γίνεται εφικτή η αναλυτική εκτίμηση του αριθμού και του μεγέθους των ψαριών που έχουν ηχοβολήσει. Εφόσον είμαστε βέβαιοι για τα είδη από τα οποία αποτελείται η ηχοβολιζόμενη μάζα ψαριών, μπορούμε να υπολογίσουμε με ακρίβεια τον αριθμό και την κατανομή τους σε μεγέθη.

Μια άμεση συνέπεια όλων των προηγούμενων είναι ότι το Η.Δ. διακυμαίνεται σε μεγάλο εύρος τιμών. Γενικά εκείνο το οποίο αναμένεται, είναι ότι ο μέσος όρος από πολλές μετρήσεις Η.Δ., θα έχει μια συστηματική συμφωνία με το μέγεθος και το είδος των ψαριών-στόχων.



## 5.2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Στην εισαγωγή έγινε περιγραφή των βασικών αρχών στις οποίες στηρίζεται η ανίχνευση των ψαριών στο πεδίο και ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η εκτίμηση του Η.Δ. στο πεδίο. Η μέθοδος αυτή εφαρμόστηκε για την εκτίμηση του Η.Δ. της *Sardina pilchardus* στο πεδίο. Η εκτίμηση έγινε σε ταξίδι του "Ε/Σ ΦΙΛΙΑ" τον Ιούλιο 1993, στον Θερμαϊκό κόλπο. Όπως έχει αναφερθεί επανειλημμένα, κύρια προβλήματα σ' αυτές τις εκτιμήσεις είναι η ακρίβεια της δειγματοληψίας του ηχοβολιζόμενων σχολείου ψαριών, καθώς και η στοχαστικότητα της εκτίμησης. Περιγράφεται ο τρόπος με τον οποίο έγινε προσπάθεια να ελαχιστοποιηθεί το σφάλμα της δειγματοληψίας και αναφέρεται αναλυτικά ο τρόπος της δειγματοληψίας και εκτίμησης του Η.Δ. στο πεδίο. Περιγράφεται επίσης πώς υπολογίσθηκε και τι προσεγγίσεις έγιναν για το θεωρητικά αναμενόμενο Η.Δ.

### 5.2.1. ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΗΧΟ-ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ (Η.Δ.) ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ

Στην εκτίμηση του ηχο-ανακλαστικού δυναμικού της *Sardina pilchardus* στο πεδίο χρησιμοποιήθηκε το ερευνητικό σκάφος "Ε/Σ ΦΙΛΙΑ" (μήκος σκάφους 26.5m, υποδύναμη 450 HP, πραγματική ισχύς κατά την σίση τράτας 300 HP) και ο βασικός εξοπλισμός του.

Για την εκτίμηση των τιμών Η.Δ. χρησιμοποιήθηκε ηχοβολιστικό διττής δέσμης της Biosonics (H/W Dual Beam Biosonics, Transducer 129 kHz-Vfin, Echo Sounder MODEL 102). Κατά την διάρκεια της δειγματοληψίας το σήμα που λαμβάνει ο μοφροτροπέας καταγράφεται σε καστόφωνο (Tape Interface MODEL 102, DAT Recorder CAS 10), ώστε να υπάρχει η δυνατότητα να "επαναληφθεί" ανά πάσα στιγμή το ταξίδι στο εργαστήριο, όπου έγινε η επεξεργασία των δεδομένων.

Η επεξεργασία των ανακλάσεων που λαμβάνει το ηχοβολιστικό έγινε με το λογισμικό πρόγραμμα ESPTS (Biosonics 1991). Το πρόγραμμα αυτό παρέχει την δυνατότητα να καταγράφονται αναλυτικά οι μετρώμενες παράμετροι των ηχοβολιζόμενων στόχων. Συγκεκριμένα το πρόγραμμα αναγνωρίζει και ανιχνεύει τα ψάρια, βασισμένο σε μια σειρά παραμέτρων που καθορίζονται από τον χρήστη. Περιορίζεται έτσι η υποκειμενικότητα που υπάρχει με την αποκλειστικά οπτική ερμηνεία. Με βάση αυτές τις παραμέτρους ανιχνεύονται οι διαδοχικές τιμές ανάκλασης που έδωσε το ίδιο ψάρι, δεχόμενο την ηχητική δέσμη. Ο μέσος όρος αυτών των τιμών θεωρείται μια εκτίμηση της Η.Δ. του ψαριού.

Επειδή δεν υπάρχει καμιά εκτίμηση του Η.Δ. της σαρδέλας η επιλογή του εύρους των τιμών αυτών των παραμέτρων ορίστηκαν ώστε να κμινώνονται σε ευρύτατα όρια. Συγκεκριμένα:

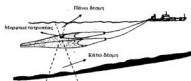
Μέγιστος Αριθμός Παλμών για Ανίχνευση Ψαριών	3
Εύρος Ανίχνευσης Ψαριών	1m
Μέσο Ηχο-ανακλαστικό Δυναμικό Στόχου	-60db < ΗΔ < -30db
Τυπική Απόκλιση Η.Δ.	1-10
Εύρος ανίχνευσης των ψαριών στον ηχητικό κώνο	1m-10m
Απόλυτος Αριθμός ήχων ανά ψάρι	2-10

Με βάση τα παραπάνω μετρήθηκαν

- 1) Η εκτίμηση του Η.Δ. των ψαριών.
- 2) Το βάθος του ηχοβολιζόμενου στόχου.
- 3) Η γωνία της κατεύθυνσης του ψαριού ως προς τον οριζόντιο άξονα (Biosonics 1991).

## 5.2.2. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΗΧΟΒΟΛΙΖΟΜΕΝΩΝ ΨΑΡΙΩΝ.

Για την δειγματοληψία των ηχοβολιζόμενων στόχων χρησιμοποιήθηκε πελαγική τράτα, (DANTRAWL A/S: "WINGLESS WONDER" model 24-810-96, άνοιγμα στομίου 29,6m, μάτι δικτυού 200mm στο τραπέζιο και 11mm στο σάκκο). Η αλιεία έγινε ταυτόχρονα με τον ηχοβολισμό. Το κύριο πρόβλημα που έπρεπε να αντιμετωπιστεί κατά την δειγματοληψία ήταν η αλιεία του ίδιου σχολείου ψαριών που ηχοβολίζεται. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίστηκε ως ακολούθως.



Εικόνα 5.10. Ηχοβολιστικό πάνω στην τράτα (McLennan & Simmonds 1992).

ασφάλματα στον δέκτη του μηχανήματος, ο οποίος βρίσκεται στο "Ε/Σ ΦΙΛΙΑ". Ο δέκτης είναι συνδεδεμένος με την μονάδα ελέγχου (Control Unit, FURUNO CN-21). Τα μηνύματα συτκοποιούνται σε οθόνη (Display Unit, FURUNO CN-21). Κατ' αυτόν τον τρόπο μπορούμε να παρακολουθήσουμε στην οθόνη, τον βυθό, την επιφάνεια της θάλασσας, το πάνω και κάτω μέρος της τράτας, την απόσταση όλων αυτών από τον μορφοτροπέα και τέλος την όψη των ψαριών.

Στο πλοίο εκτελείται ο ηχοβολισμός, ενώ η τράτα είναι μέσα στο νερό. Το πλοίο ακολουθεί σταθερή πορεία με μέση ταχύτητα 3 κόμβους περίπου. Από τα ηχοβολιστικά μηχανήματα του πλοίου ανιχνεύεται και σημειώνεται η θέση και το βάθος του σχολείου των ψαριών. Βασίζόμενοι στο βάθος που προσδιορίστηκε το σχολείο, προσαρμόζουμε το βάθος που αλιεύει η τράτα, με αυξομειώσεις της ταχύτητας του πλοίου. Από την οθόνη του ηχοβολιστικού που είναι προσαρμοσμένο στο στόμιο της τράτας, μπορούμε να παρακολουθήσουμε αν τα ψάρια του συγκεκριμένου σχολείου μπήκαν μέσα στην τράτα ή διέφυγαν από πάνω ή από κάτω.

Όταν διαπιστωθεί ότι τα ψάρια βρίσκονται μέσα στο στόμιο της τράτας, η αλιεία συνεχίζεται για 15'-20', ώστε να καταπονηθούν και να εισέλθουν μέσα στην τράτα. Κατά την διάρκεια αυτή, αποφεύγεται το ψάρεμα άλλου σχολείου ψαριών με αυξομειώσεις του βάθους που αλιεύει η τράτα. Σ' αυτό το χρονικό διάστημα γίνεται διαρκής έλεγχος για το αν τα ψάρια παραμένουν μέσα στην τράτα. Διαπιστώνονται περιοδικές αυξομειώσεις στην ένταση της ανάκλασης στο στόμιο της τράτας. Οι αυξομειώσεις αυτές αντιστοιχούν στην συμπεριφορά των ψαριών ως προς το εργαλείο. Τα ψάρια κολιμπήτουν παράλληλα με τα σκονιά και τις πόρτες παραμένοντας στο στόμιο της τράτας και διατηρώντας ταχύτητα ίση με την ταχύτητα του πλοίου. Όταν κουράζονται μένουν πίσω, εισερχόμενα στην τράτα (ελάττωση σήματος ανάκλασης). Περιοδικά επιταχύνουν και επανέρχονται στο στόμιο (αύξηση σήματος ανάκλασης). Μετά από την παρατήρηση 2-3 τέτοιων παλινδρομήσεων των ψαριών, η ταχύτητα του πλοίου αυξάνεται, η τράτα σύρεται προς τα επάνω και τελικά σηκώνεται στο πλοίο.

Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται κατά το δυνατόν, η αντιστοιχία ηχοβολιζόμενου και αλιευόμενου στόχου.

Η αλιεία έγινε τις πρώτες πρωινές ώρες (04:00-07:00). Την ώρα αυτή η κατανομή των ψαριών μεταπίπτει από την συναθροιστική σε μωσαϊκή κατανομή (σχηματισμός σχολείων). Προτιμήθηκε αυτή η ώρα αλιείας, επειδή οι πρώτοι πυρήνες των σχολείων σχηματίζονται από ψάρια με κατά το δυνατόν όμοιες κολιμπητικές ικανότητες, δηλαδή από περισσότερο ισομεγέθη ψάρια. Τα μεγαλύτερα σχολεία σχηματίζονται με έωση αυτών των αρχικών πυρήνων και στη συνέχεια ενώονται τα μικρά σχολεία σε όλο και μεγαλύτερα (Ενότητα 2.1.1.B2).

### 5.2.3. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΛΙΕΥΘΕΝΤΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟΥ Η.Δ.

Από κάθε αλιευόμενο σχολείο ψαριών πάρθηκε αντιπροσωπευτικό δείγμα 50-70 ατόμων, το οποίο καταψύχθηκε για επεξεργασία στο εργαστήριο. Συνολικά ηχοβολίστηκαν και αλιεύθηκαν 4 σχολεία. Σε κάθε ψάρι μετρήθηκαν οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται στις εξισώσεις της ενότητας 4.3. Συγκεκριμένα: το τυπικό μήκος, ο όγκος και το βάρος του ψαριού, ο όγκος των γονάδων του, ο όγκος του στομαχιού, το βάρος του ολικού λίπους του και το Ξηρό βάρος του ψαριού.

Οι παραπάνω παράμετροι χρησιμοποιήθηκαν για να εκτιμηθούν:

- 1) Οι *θεωρητικά αναμενόμενες μέγιστες ανακλώσες διατομές* (βλ ενότητα 4.1.1) των νηκτικών κύστεων για όλα τα ψάρια του δείγματος.
- 2) Η μέγιστη ανακλώσα διατομή χρησιμοποιήθηκε για να εκτιμηθεί η ανακλώσα διατομή των ψαριών ανάλογα με τους προσανατολισμούς του ψαριού. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν εκτός από τις εξισώσεις της ενότητας 4.3 και τα δεδομένα του ΠΙΝΑΚΑ 4.3. Η μέση ανακλώσα διατομή υπολογίστηκε με τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις: **(α)** από τον μέσο όρο των διατομών της νηκτικής κύστης που αναμένονται για το κάθε ψάρι για γωνίες από  $-30^\circ$  έως  $+30^\circ$  (βλ. ενότητα 4.1.3A), **(β)** από τον μέσο όρο των διατομών που αναμένονται για το εύρος των γωνιών που εκτιμήθηκαν από το πρόγραμμα ESPTS, και **(γ)** από την διατομή που αντιστοιχεί στον μέσο όρο των γωνιών που εκτιμήθηκαν από το πρόγραμμα ESPTS.
- 3) Η μέση ανακλώσα διατομή χρησιμοποιήθηκε για να εκτιμηθούν τα *αναμενόμενα Η.Δ.* των ψαριών του δείγματος, σύμφωνα με τις σχέσεις της ενότητας 4.3.

*Η ανακλώσα διατομή η οποία υπολογίζεται με αυτό τον τρόπο, αντιστοιχεί στην μέση ανακλώσα διατομή των ψαριών στην επιφάνεια.*

Επομένως ένα δεύτερο πρόβλημα το οποίο θα έπρεπε να αντιμετωπιστεί ήταν η επίδραση του διαφορετικού βάθους, στο οποίο αλιεύονταν κάθε φορά οι σαρδέλες. Είναι γνωστό ότι ο όγκος της νηκτικής κύστης των Clupeidae μεταβάλλεται σύμφωνα με τον νόμο του Boyle<sup>4</sup> (Blaxter 1979, Ota 1990), δεν γνωρίζουμε όμως πώς μεταβάλλεται υπό την επίδραση της πίεσης η διατομή της νηκτικής κύστης. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν δύο προσεγγίσεις στο θέμα.

#### **A. ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ BLAXTER.**

Ο Blaxter (1979) μελετώντας την λειτουργία και την φυσιολογία της νηκτικής κύστης της γρέγγας, είχε παρεπιπτόντως μετρήσει (με ακτινογραφίες) και την μεταβολή του εμβαδού της διατομής της νηκτικής κύστης, με την πίεση. Σύμφωνα με τον Blaxter η επίδραση της πίεσης στην διατομή παρουσιάζει αξιοσημείωτες διαφορές σε σχέση με την επίδραση της πίεσης στον όγκο. Συγκεκριμένα η διατομή μειώνεται κατά μέσο όρο στο 80% της τιμής κάθε 10m (1atm). Αυτό συμβαίνει από την επιφάνεια μέχρι τα 30m (4atm), ενώ στη συνέχεια δεν παρατηρούνται αξιοσημείωτες μεταβολές (ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1).

<sup>4</sup> PV = σταθερό, όπου P = η πίεση και V = ο όγκος.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.7 Η επίδραση του βάθους στην διατομή της νηκτικής κύστης της ρέγγας (από Blaxter 1979).**

ΒΑΘΟΣ (m)	0	10	20	30	90
ΠΙΕΣΗ (atm)	1	2	3	4	10
ΔΙΑΤΟΜΗ ΝΗΚΤΙΚΗΣ ΚΥΣΤΗΣ (cm <sup>3</sup> )	6.9	6	5	3.9	3.5
ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΠΙ ΤΗΣ ΑΡΧΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ	100%	87%	73.5%	56.5%	50.7%

Σύμφωνα με τον Blaxter (1979) οι διαφορές αυτές οφείλονται στο γεγονός ότι η επίδραση της πίεσης στην νηκτική κύστη είναι κυρίως κοιλιακή (μειώνεται κυρίως η κατακόρυφη διάσταση του ελλειψοειδούς της νηκτικής κύστης). Τα πλευρικά και κυρίως τα ωτιαία τοιχώματα της νηκτικής κύστης επηρεάζονται λιγότερο, γιατί βρίσκονται σε επαφή με τα σκελετικά στοιχεία, και με περισσότερο άκαμπτους ιστούς (βλ. επίσης Olsen 1976).

Θα πρέπει πάντως να σημειωθεί ότι τα πειράματα από τα οποία προέκυψαν τα παραπάνω αποτελέσματα, έγιναν με εφαρμογή τεχνητής πίεσης σε ναρκωμένα ψάρια. Είναι λοιπόν πολύ πιθανό, ένα ελεύθερο ψάρι σε φυσικές συνθήκες, να παρουσιάζει διαφορετικό πρότυπο συμμόρφωσης της νηκτικής κύστης στην πίεση. Ένας βασικός λόγος γι' αυτό θα μπορούσε να αποτελεί ο μυϊκός τόνος ο οποίος σίγουρα είναι εντονότερος σε ένα μη ναρκωμένο ψάρι. Εξετάστηκε λοιπόν και μια δεύτερη προσέγγιση για τις πιθανές μεταβολές που προκαλεί η πίεση στην διατομή της νηκτικής κύστης.

#### **B. ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ**

Σ' αυτή την προσέγγιση της μεταβολής της διατομής, θεωρήθηκε ότι η νηκτική κύστη μεταβάλλεται ομοιόμορφα προς όλες τις διαστάσεις, ακολουθώντας τον νόμο του Boyle. Με βάση αυτή την προσέγγιση η μεταβολή της νηκτικής κύστης υπολογίστηκε ως ακολούθως.

Αν θεωρήσουμε ότι η πίεση  $P$  αυξάνεται κατά  $nP$ , τότε σύμφωνα με τον νόμο του Boyle ο αρχικός όγκος  $V$  θα γίνει  $V/n$ . Αν οι τρεις βασικές διαστάσεις της νηκτικής κύστης, (έστω  $X_1$ ,

$X_2$ ,  $X_3$ ), μεταβάλλονται ομοιόμορφα, θα πρέπει να γίνονται:  $\frac{X_1}{\sqrt[3]{n}}$ ,  $\frac{X_2}{\sqrt[3]{n}}$ ,  $\frac{X_3}{\sqrt[3]{n}}$ . Άρα η αρχική

επιφάνεια της διατομής  $S$ , θα πρέπει να μεταβάλλεται με την σχέση:

$$S^{nP} = \frac{S}{\sqrt[3]{n^3}} \quad (5.2)$$

Και οι δύο παραπάνω προσεγγίσεις χρησιμοποιήθηκαν για να διορθωθεί η μέση ανακλώσα διατομή που υπολογίζεται για την επιφάνεια και να μετατραπεί σε αναμενόμενη μέση ανακλώσα διατομή για τα διάφορα βάθη. Εκτιμήθηκε επίσης ποιά από τις δύο προσεγγίσεις είναι η καλύτερη.

*Εκτός από την νηκτική κύστη ανακλούν και οι υπόλοιποι ιστοί.* Όπως έχει αναφερθεί και προηγούμενος η νηκτική κύστη είναι υπεύθυνη για το κύριο ποσοστό του ολικού Η.Δ. του ψαριού (Η.Δ. κύστης > 95% Η.Δ. ψαριού). Δεδομένου ότι στις ανακλώσες διατομές έχει ληφθεί υπόψη και η ανάκλαση από τα ακουστικά κυστίδια, η υπολειπόμενη ανάκλαση από τους ιστούς αναμένεται ότι είναι πολύ μικρή. Παρόλα αυτά έγινε προσοχή να ληφθεί και αυτή υπόψη και να υπάρξει κατά το δυνατόν διόρθωση του συστηματικού αυτού σφάλματος, που θα προέκυπτε.

*Για να προσεγγιστεί η ανάκλαση των ιστών του ψαριού* χρησιμοποιήθηκε η γνωστή εξίσωση του Η.Δ. ενός ψαριού χωρίς νηκτική κύστη. Το βασικό (και μοναδικό) ψάρι χωρίς νηκτική κύστη στο οποίο το Η.Δ. έχει μετρηθεί εξονυχιστικά είναι το σκομπρί (Scomber

*scombrus*). Το ψάρι αυτό έχει το πλεονέκτημα ότι είναι πελαγικό και με σημαντικά ποσοστά αποθηκευμένου λίπους. Από τις διάφορες εξισώσεις που έχουν προταθεί, χρησιμοποιήθηκε αυτή που αναφέρεται σε μεγέθη ψαριών, παρόμοια με τα μεγέθη της σαρδέλας που αλιεύθηκαν. Η εξίσωση αυτή είναι:

*Scomber scombrus* 10-14cm:  $HL=20 \log M-93.7$  (5.1)

όπου M το μήκος του ψαριού σε μέτρα και HL το ηχο-ανακλαστικό δυναμικό στόχου σε db (McLennan & Simmonds 1992).

Με βάση την εξίσωση 5.1, υπολογίσθηκε η θεωρητικά αναμενόμενη ακουστική διατομή του σώματος των ψαριών χρησιμοποιώντας την εξίσωση 4.4<sup>5</sup>. Δεδομένου ότι ισχύει η αρχή της γραμμικότητας (Foote 1983) η ακουστική αυτή διατομή (βλ. ενότητα 4.1.1) προστίθεται στην ακουστική διατομή που υπολογίζεται για την νηκτική κύστη. Με βάση αυτό το άθροισμα εκτιμάται το θεωρητικά αναμενόμενο H.Δ. των ψαριών.

*Ανακεφαλαιώνοντας τα παραπάνω υπολογίσθηκαν:*

1) *Το θεωρητικά αναμενόμενο H.Δ. της νηκτικής κύστης από την αντίστοιχη εποχιακή εξίσωση:*

Υπολογίσθηκε η τιμή της μέγιστης διατομής από την εποχιακή εξίσωση. Απ' αυτήν υπολογίσθηκε η ανακλώσα διατομή με βάση τον μέσο όρο των κλίσεων του ψαριού, (ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2). Η ανακλώσα διατομή διορθώθηκε για το βάθος ( $\alpha$ ) με βάση τον ΠΙΝΑΚΑ 5.1 και ( $\beta$ ) με βάση την σχέση (5.2). Η διατομή αυτή χρησιμοποιήθηκε για να υπολογισθεί η ακουστική διατομή<sup>6</sup>. Στην ακουστική διατομή προστέθηκε και η εκτιμώμενη ανάκλαση των ιστών του ψαριού από την εξίσωση (5.1). Από το άθροισμα υπολογίσθηκε το H.Δ. με βάση την σχέση 4.3 (ενότητα 4.1.1)

2) *Το θεωρητικά αναμενόμενο H.Δ. της νηκτικής κύστης και από όλες τις διεποχιακές εξισώσεις:*

Υπολογίσθηκε η τιμή της μέγιστης διατομής από τις διεποχιακές εξισώσεις, οι τιμές διορθώθηκαν από τον μέσο όρο των κλίσεων του ψαριού, (ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2). Η ανακλώσα διατομή διορθώθηκε για το βάθος ( $\alpha$ ) με βάση τον ΠΙΝΑΚΑ 5.1 και ( $\beta$ ) με βάση την σχέση (5.2). Η διατομή αυτή χρησιμοποιήθηκε για να υπολογισθεί η ακουστική διατομή. Στην ακουστική διατομή προστέθηκε και η εκτιμώμενη ανάκλαση των ιστών του ψαριού από την εξίσωση (5.1). Από το άθροισμα υπολογίσθηκε το H.Δ. με βάση την σχέση 4.3.

3) Υπολογίσθηκε ξεχωριστά, το H.Δ. με βάση την εξίσωση 4.7 [ $HL=20 \log M-71.9$  (5.3)] η οποία έχει προταθεί (Foote 1987b, McLennan & Simmonds 1992) σαν μια πρώτη καλή προσέγγιση για τα ψεύδοστα ψάρια όταν δεν υπάρχουν άλλες καλύτερες εκτιμήσεις του H.Δ. *Οι παραπάνω υπολογισμοί έγιναν:*

- 1) Για τον μέσο όρο της ανακλώσας διατομής για τις γωνίες  $-30^\circ$  έως  $+30^\circ$ .
- 2) Για τον μέσο όρο της ανακλώσας διατομής, για το εύρος των γωνιών που μετρήθηκαν από το πρόγραμμα ESPTS.
- 3) Για την ανακλώσα διατομή που αντιστοιχεί στην μέση γωνία προσανατολισμού όπως αυτή υπολογίσθηκε από το πρόγραμμα ESPTS.

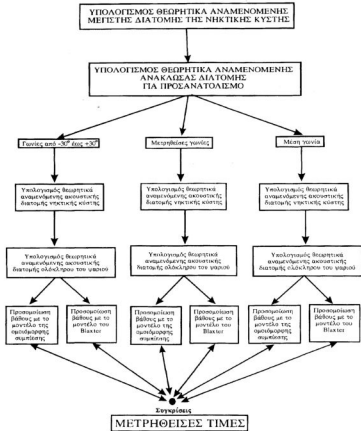
Όλα τα βήματα των υπολογισμών των αναμενόμενων τιμών και οι συγκρίσεις που έγιναν παρουσιάζονται συνοπτικά στο διάγραμμα που ακολουθεί (Διάγραμμα 5.1).

Οι διαφορετικές αυτές προσεγγίσεις συγκρίθηκαν με τα αποτελέσματα τα οποία έδωσαν τα ηχοβολιστικά δεδομένα στο πεδίο. Μ' αυτό τον τρόπο έγινε έλεγχος ποιά από τις

$$5 \quad \alpha = 4\pi \cdot 10^{10} \frac{AE}{\lambda^2}$$

<sup>6</sup> Η *ακουστική διατομή* είναι διαφορετικό μέγεθος από την ανακλώσα (ή οπισθοανακλώσα διατομή), ανακλώσα αναφέρεται στην ενότητα 4.1.1.

προσεγγίσεις συμφωνεί καλύτερα με τα δεδομένα του πεδίου.



Διάγραμμα 4.1. Διαγραμματικά τα διαδοχικά βήματα μετατροπής της ανακλώσας διατομή σε *decibel* και οι συγκρίσεις με τις τιμές που μετρήθηκαν στο πεδίο.

### 5.2.4. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ.

Οι κατανομές Η.Δ. που εκτιμήθηκαν από τον ηχοβολισμό καθώς και αυτές που υπολογίσθηκαν θεωρητικά στις διάφορες προσεγγίσεις, ελέγχθηκαν αν ακολουθούν κανονική κατανομή με έλεγχο- $\chi^2$ . Εξετάστηκε επίσης αν και οι κατανομές των γωνιών που καταγράφηκαν στο πεδίο ακολουθούν κανονική κατανομή. Η κανονικότητα της κατανομής αποτυπώνεται με την πιθανότητα P να ακολουθούν την κανονική κατανομή. Όλα τα στατιστικά συμπεράσματα βασίστηκαν σε επίπεδο σημαντικότητας  $P > 0.05$  (Zar 1984).

Χρησιμοποιώντας Ανάλυση Διασποράς συγκρίθηκαν η κατανομή των εκτιμώμενων Η.Δ. στο πεδίο, με την κατανομή των τιμών που υπολογίζονται θεωρητικά από το αλιευμένο δείγμα. Η σύγκριση έγινε ανά δύο για όλες τις διαφορετικές εκδοχές και προσεγγίσεις. Με την ανάλυση διασποράς γίνεται σύγκριση των μέσων όρων και των διασπορών των αναμενόμενων και μετρηθεισών (παρατηρούμενων) τιμών, με στόχο να διαπιστωθεί αν αυτές συμφωνούν ή διαφέρουν (μηδενική υπόθεση). Ταυτόχρονα μπορεί να διαπιστωθεί ποιά κατανομή τείνει να έχει μικρότερες ή μεγαλύτερες τιμές από την άλλη (Zar 1984).

Για τις συγκρίσεις χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πακέτο STATGRAPHICS-PLUS (1991). Για τους υπολογισμούς που αναφέρονται τόσο στην ενότητα 5.2.1., όσο και στην ενότητα 5.2.3., χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό πακέτο LOTUS 123 (1985).

### 5.3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.

Για την εκτίμηση του Η.Δ. της σαρκέλας, ηχοβολίσθηκαν και αλιεύθηκαν 4 σχολεία ψαριών σε διαφορετικά βάθη. Κατά τον ηχοβολισμό μετρήθηκε το Η.Δ. και η γωνία προσανατολισμού των ψαριών, ξεχωριστά για κάθε σχολείο. Τα αποτελέσματα αυτά συγκρίθηκαν με τα αναμενόμενα αποτελέσματα, τα οποία υπολογίζονται από τις εξισώσεις της ενότητας 4.3. Από κάθε δείγμα αλιεύματος μετρήθηκαν:

- 1) Το τυπικό μήκος.
- 2) Ο όγκος και το βάρος του ψαριού.
- 3) Ο όγκος και το βάρος των γονάδων.
- 4) Ο όγκος και το βάρος του στομαχιού.
- 5) Το βάρος του ολικού λίπους.
- 6) Το ξηρό βάρος του ψαριού.

Από τα μεγέθη αυτά, υπολογίσθηκαν οι παράμετροι των εξισώσεων, που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της αναμενόμενης μέγιστης διατομής της νηκτικής κύστης.

Η ανακάλυψη διατομή της νηκτικής κύστης του ψαριού υπολογίσθηκε από το ποσοστό που αντιστοιχεί στον μέσο όρο των διατομών, για τις διάφορες γωνίες προσανατολισμού με βάση τον ΠΙΝΑΚΑ 4.3. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον ΠΙΝΑΚΑ 5.2, όπου αναφέρονται:

- (Α) Το ποσοστό της μέγιστης διατομής που αντιστοιχεί στον μέσο όρο γωνιών προσανατολισμού από  $-30^\circ$  έως  $+30^\circ$ .
- (Β) Το ποσοστό της μέγιστης διατομής που αντιστοιχεί στον μέσο όρο του εύρους των γωνιών που μετρήθηκαν στο πεδίο για κάθε δείγμα, από το πρόγραμμα ESPTS.
- (Γ) Το ποσοστό της μέγιστης διατομής που αντιστοιχεί στην μέση γωνία προσανατολισμού.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2: Οι ανακλιόμενες διατομές σαν ποσοστό της μέγιστης διατομής με βάση τον Πίνακα 4.3.** Γ<sup>ο</sup> = το εύρος γωνιών ή η γωνία για τη οποία αναφέρονται τα ποσοστά, Κ1 = τα ποσοστά όμας από προκύπτουν από την εποχιακή εξίσωση του δείγματος "Καλοκαίρι '90", Κ2 = τα ποσοστά της εποχιακής εξίσωσης του δείγματος "Καλοκαίρι '89", ΕΑ = τα ποσοστά της διατομικής εξίσωσης για την Εκτός Αναπαυεργαζής περίοδο, ΕΑ90 = τα ποσοστά της διατομικής εξίσωσης που προκύπτει από την ένωση των δειγμάτων της "Ανοχής" και του "Καλοκαιριού '90", Ε = τα ποσοστά της ετήσιας εξίσωσης (ένωση όλων των δειγμάτων), Ε90 = τα ποσοστά της ετήσιας εξίσωσης που προκύπτει αν εξιζμεθί το δείγμα "Καλοκαίρι '89", Ε90 = τα ποσοστά της ετήσιας εξίσωσης αν εξιζμεθί το δείγμα "Καλοκαίρι '90".

Γ <sup>ο</sup>	Κ1	Κ2	ΕΑ	ΕΑ90	Ε90	Ε89	Ε
30 έως -30	88.2%	87.1%	88.6%	88.7%	88.7%	89.4%	89.5%
27 έως -27	89.5	88.3%	89.9%	89.9%	89.9%	90.8%	90.7%
8 έως -7	96.3%	95.4%	96.6%	96.7%	96.7%	97.2%	96.8%
17 έως -16	94.2%	92.7%	94.0%	94.0%	94.0%	94.7%	94.5%
1	96.7%	97.1%	97.4%	98.3%	97.8%	97.7%	96.8%
0	96.1%	93.3%	95.1%	96.0%	94.8%	96.0%	95.4%
2	97.1%	97.6%	98.2%	99.6%	98.7%	98.6%	97.3%

### 5.3.1. ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ Η.Δ. ΜΕ ΗΧΟΒΟΛΙΣΤΙΚΟ ΔΙΤΤΗΣ ΔΕΣΜΗΣ.

Για την εκτίμηση του Η.Δ. στο πεδίο μετρήθηκαν συνολικά 255 στόχοι ψαριών. Το Η.Δ. κάθε ψαριού εκτιμήθηκε με το λογισμικό πακέτο ESPTS, από τον μέσο όρο 4-7 μετρήσεων για διαφορετικές θέσεις κάθε ψαριού. Από τις διαφορετικές θέσεις κάθε ψαριού εκτιμήθηκαν και οι πιθανές γωνίες των κατευθύνσεων προς τις οποίες κινούνται τα ψάρια. Από τα 4 δείγματα που αλιεύτηκαν και ηχοβολίστηκαν, το αλιεύμα στα 3 αποτελούνταν αποκλειστικά από *Sardina pilchardus*, ενώ στο 4ο ήταν *Sardina pilchardus* και *Trachurus trachurus* (σαυρίδι). Η ταυτότητα κάθε δείγματος αναφέρεται ξεχωριστά αμέσως παρακάτω.



## Α. ΔΕΙΓΜΑ 1ο: ΒΑΘΟΣ 20m.

Το δείγμα που αλιεύθηκε αποτελούνταν αποκλειστικά από *Sardina pilchardus*. Συνολικά μετρήθηκαν 67 στόχοι και η εκτίμηση του Η.Δ. κάθε στόχου προέκυψε κατά μέσο όρο από 5 τμές.

Στην Εικόνα 11 αναφέρονται τα στοιχεία για τα βάρη στα οποία έγινε ηχοβολισμός στα ψάρια.

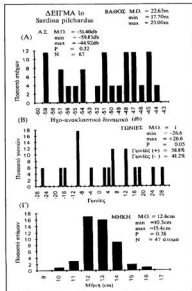
Η κατανομή των Η.Δ. φαίνεται στην Εικόνα 11Α, μαζί με την πιθανότητα P, να ακολουθεί την κανονική κατανομή και τα άλλα στοιχεία της κατανομής.

Η κατανομή των γωνιών προσανατολισμού των ψαριών όπως εκτιμήθηκαν από το πρόγραμμα ESPTS φαίνεται στην Εικόνα 11Β, μαζί με την πιθανότητα P να ακολουθεί την κανονική κατανομή και τα άλλα στοιχεία της κατανομής. Στο δείγμα αυτό οι γωνίες ακολουθούν οριακά την κανονική κατανομή.

Τέλος η κατά μήκος σύνθεση του αντίστοιχου αλιεύματος φαίνεται στην Εικόνα 11Γ, μαζί με τα στοιχεία της κατανομής.

Όλες οι κατανομές είναι κανονικές. Το εύρος των γωνιών είναι σχετικά μεγάλο και η κατανομή τους ακολουθεί οριακά την κανονική κατανομή. Το μεγαλύτερο ποσοστό ψαριών φαίνεται να καταδύεται (=60%), ενώ ένα σημαντικό ποσοστό αναδύεται (=40%). Αυτές οι γωνίες προσανατολισμού φαίνεται ότι είναι το αποτέλεσμα της διαταραχής που προκαλεί η διόδος του πλοίου.

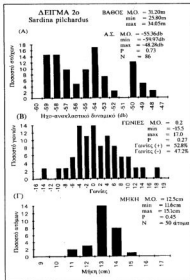
Οι μεγάλες γωνίες κλίσης και η οριακή κανονικότητα στην κατανομή, δίνουν μία εικόνα "φαινομένου συντριβανιού" (fountain effect)<sup>7</sup>, στο γχολείο των ψαριών, με το μεγαλύτερο ποσοστό των ψαριών να απομακρύνεται από την εστία διαταραχής, καταδύμενα.



Εικόνα 5.11. Τα ιστογράμματα αποδίδουν την κατάσταση του δείγματος. Σε κάθε ιστογράμμο αναφέρονται τα χαρακτηριστικά στοιχεία της κατανομής. Μ.Ο. = μέσος όρος της κατανομής, min = ελάχιστη τιμή, max = μέγιστη τιμή, P = η πιθανότητα η κατανομή να ακολουθεί την κανονική κατανομή, N = ο αριθμός των αλιευμάτων του δείγματος, Γωνίες (+) = το ποσοστό των θετικών γωνιών (κεφάλι κάτω - ψάρια που καταδύονται), Γωνίες (-) = το ποσοστό των αρνητικών γωνιών (κεφάλι επάνω - ψάρια που αναδύονται). (Α) Το ιστογράμμο της κατανομής των ποσοστών του Η.Δ. σε db, (Β) Το ιστογράμμο της κατανομής των ποσοστών των γωνιών σε μοίρες, (Γ) Το ιστογράμμο της κατανομής των ποσοστών των μήκων για τα ψάρια που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση του θεαματικού φαινομένου Η.Δ.

<sup>7</sup> Φαινόμενο συντριβανιού (fountain effect). Το γχολείο διασπάται οκτανικά, απομακρυνόμενο από την εστία της διαταραχής, όμοια με τον πίδακα ενός συντριβανιού σε σχέση με το σημείο ανάβλυσης του νερού (Fischer 1986).

## B. ΔΕΙΓΜΑ 2ο: ΒΑΘΟΣ 30m.



**Εικόνα 5.12.** Τα ιστογράμματα αποδίδουν την ταυτότητα του δείγματος. Σε κάθε ιστογράμμο αναφέρονται τα χαρακτηριστικά στοιχεία της κατανομής, M.O. = μέσος όρος της κατανομής, min = ελάχιστη τιμή, max = μέγιστη τιμή, P = η πιθανότητα η κατανομή να ακολουθεί την κανονική κατανομή, N = ο αριθμός των ατόμων του δείγματος, Γωνίες (+) = το ποσοστό των θετικών γωνιών (κεφάλι κάτω - ψάρια που καταδύονται), Γωνίες (-) = το ποσοστό των αρνητικών γωνιών (κεφάλι επάνω - ψάρια που αναδύονται). (Α) Το ιστογράμμο της κατανομής των ποσοστών του Η.Δ. σε db, (Β) Το ιστογράμμο της κατανομής των ποσοστών των γωνιών σε μοίρες, (Γ) Το ιστογράμμο της κατανομής των ποσοστών των μηκών για τα ψάρια που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση του θερμοκρασιακού ανεμενόμενου Η.Δ.

Το δείγμα που αλιεύθηκε αποτελείται αποκλειστικά από *Sardina pilchardus*. Συνολικά ηχοβολήθηκαν 86 στόχοι και η εκτίμηση του Η.Δ. κάθε στόχου προέκυψε κατά μέσο όρο από 5,7 τιμές.

Στην Εικόνα 12 αναφέρονται τα στοιχεία για τα βάθη στα οποία έγινε ηχοβολισμός στα ψάρια.

Η κατανομή των Η.Δ. φαίνεται στην Εικόνα 12Α, μαζί με την πιθανότητα P να ακολουθεί την κανονική κατανομή και τα άλλα στοιχεία της κατανομής.

Η κατανομή των γωνιών προσανατολισμού των ψαριών, όπως εκτιμήθηκαν από το πρόγραμμα ESPTS φαίνεται στην Εικόνα 12Β, μαζί με την πιθανότητα P να ακολουθεί την κανονική κατανομή και τα άλλα στοιχεία της κατανομής.

Τέλος η κατά μήκος σύνθεση του αντίστοιχου αλιεύματος φαίνεται στην Εικόνα 12Γ, μαζί με τα στοιχεία της κατανομής.

Όλες οι κατανομές είναι κανονικές. Το εύρος των γωνιών είναι σαφώς μικρότερο και η κατανομή τους ακολουθεί σαφώς την κανονική. Το ποσοστό των ψαριών που αναδύεται και καταδύεται είναι μοιρασμένο, χωρίς να παρουσιάζεται τάση ανόδου ή καθόδου. Κατά πάσα πιθανότητα αυτό οφείλεται στην εξασθενημένη (ή καθυστερημένη) επίδραση της διόδου του πλοίου, λόγω του μεγαλύτερου βάθους που βρίσκονταν τα ψάρια.

Η αντίδραση των ψαριών φαίνεται να είναι όμοια με το προηγούμενο δείγμα, αλλά περισσότερο ομοιόμορφη (ως προς την αναδυτή και κατάδυση των ψαριών), μικρότερης έκτασης και έντασης

## Γ. ΔΕΙΓΜΑ 3ο: ΒΛΘΟΣ 40m.

Το δείγμα που αλιεύθηκε αποτελούνταν αποκλειστικά από *Sardina pilchardus*. Συνολικά ηχοβολίσθησαν 66 στόχοι και η εκτίμηση του Η.Δ. κάθε στόχου προέκυψε κατά μέσο όρο από 4 τιμές.

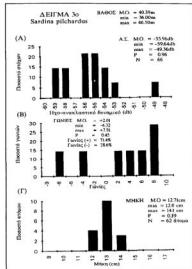
Στην Εικόνα 13 αναφέρονται τα στοιχεία για τα βήθη στα οποία έγινε ο ηχοβολισμός στα ψάρια.

Η κατανομή των Η.Δ. φαίνεται στην Εικόνα 13Α, μαζί με την πιθανότητα P, να ακολουθεί την κανονική κατανομή και τα άλλα στοιχεία της κατανομής.

Η κατανομή των γωνιών προσανατολισμού των ψαριών, όπως εκτιμήθηκαν από το πρόγραμμα ESPTS φαίνεται στην Εικόνα 13Β, μαζί με την πιθανότητα P να ακολουθεί την κανονική κατανομή και τα άλλα στοιχεία της κατανομής.

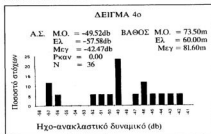
Τέλος η κατά μήκος σύνθεση του αντίστοιχου αλιεύματος φαίνεται στην Εικόνα 13Γ, μαζί με τα στοιχεία της κατανομής.

Όλες οι κατανομές είναι κανονικές. Οι γωνίες έχουν πολύ μικρό εύρος (το μικρότερο από όλα τα δείγματα). Πιθανότατα αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η επίδραση του πλοίου δεν φθάει (ή δεν έχει φθάσει ακόμα) μέχρι αυτό το βάθος. Η κατανομή των γωνιών ακολουθεί την κανονική κατανομή με πιθανότητα μεγαλύτερη από τις δύο προηγούμενες. Η μεγάλη πλειοψηφία των ψαριών έχουν έναν προσανατολισμό προς τα κάτω, δίνοντας συνολικά στο σχολείο, έναν μικρό αλλά σαφή και σταθερό προσανατολισμό κατάδωχα. Πιθανότατα πρόκειται για ρύθμιση της θέσης και του βάθους του σχολείου με βάση την φωτεινότητα (ο ηχοβολισμός έγινε κατά την ανατολή του ηλίου, περίοδο κατά την οποία τα σχολεία της *Sardina pilchardus* καταδύονται).



**Εικόνα 5.13.** Τα ιστογράμματα αποδίδουν την κατανομή του δείγματος. Σε κάθε ιστογράμμο αναφέρονται τα χαρακτηριστικά στοιχεία της κατανομής. M.O. = μέσος όρος της κατανομής, min = ελάχιστη τιμή, max = μέγιστη τιμή, P = η πιθανότητα η κατανομή να ακολουθεί την κανονική κατανομή, N = ο αριθμός των ατόμων του δείγματος, Γωνίες (+) = το ποσοστό των θητικών γωνιών (κεφάλι κάτω - ψάρια που καταδύονται), Γωνίες (-) = το ποσοστό των αρνητικών γωνιών (κεφάλι επάνω - ψάρια που αναδύονται). (Α) Το ιστογράμμο της κατανομής των ποσοστών του Η.Δ. σε db, (Β) Το ιστογράμμο της κατανομής των ποσοστών των γωνιών σε μοίρες, (Γ) Το ιστογράμμο της κατανομής των ποσοστών των μηκών για τα ψάρια που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση του θεωρητικά ισομεγέθους Η.Δ.

## Δ. ΔΕΙΓΜΑ 4ο: ΒΑΘΟΣ 70m.



**Εικόνα 5.14.** Το ιστόγραμμα αποδίδει την ταυτότητα του δείγματος. Στο ιστόγραμμα αναφέρονται τα χαρακτηριστικά στοιχεία του βάθους και της κατανομής του Η.Δ. Μ.Ο. = μέσος όρος της κατανομής, min = ελάχιστη τιμή, max = μέγιστη τιμή, P = η πιθανότητα η κατανομή να ακολουθεί την κανονική κατανομή, N = ο αριθμός των ατόμων του δείγματος.

προσανατολισμού, ή για την ακρίβεια οι γωνίες προσανατολισμού που μετρήθηκαν ήταν σχεδόν όλες 0°.

Η κατανομή των τιμών δεν είναι κανονική. Μπορούμε να διακρίνουμε στο δεξιό μέρος του ιστογράμματος ομαδοποίηση στόχων που δεν φαίνεται ότι αντιστοιχούν σε τιμές Η.Δ. που δίνει η *Sardina pilchardus*.

Το δείγμα που αλιεύθηκε αποτελούνταν από *Sardina pilchardus* και *Trachurus trachurus*.

Συνολικά ηχοβολίσθηκαν 36 στόχοι και η εκτίμηση του Η.Δ. κάθε στόχου προέρχεται από 1-2 ανακλάσεις.

Στην Εικόνα 14 αναφέρονται τα στοιχεία για τα βάθη που ηχοβολίσθηκαν τα ψάρια.

Η κατανομή των Η.Δ. φαίνεται επίσης στην Εικόνα 14, μαζί με την πιθανότητα P, να ακολουθεί την κανονική κατανομή και τα άλλα στοιχεία της κατανομής.

Το αλιεύμα αποτελούνταν από 25 σαρδέλες και δεν κρατήθηκε γιατί δεν πληρούσε τις προϋποθέσεις που έχουν τεθεί στην ενότητα 5.2. Δεν έγινε δυνατόν να εκτιμηθούν γωνίες

### 5.3.2. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΘΕΙΣΩΝ ΤΙΜΩΝ Η.Δ. ΜΕ ΤΙΣ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΕΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΞΙΣΩΣΗ ΤΩΝ ΦΥΣΟΣΤΟΜΩΝ (ΕΞΙΣΩΣΗ 5.3).

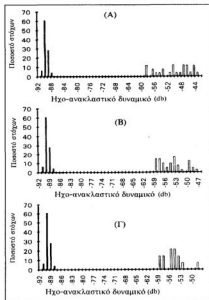
Συγκρίθηκαν με ανάλυση διασποράς οι μετρηθείσες τιμές Η.Δ. με τις τιμές οι οποίες αναμένονται με βάση την εξίσωση 5.3.

Η εξίσωση (5.3) έχει προταθεί γενικά για τα φυσόστομα ψάρια με σκοπό να χρησιμοποιείται όταν δεν υπάρχει άλλη καλύτερη εκτίμηση του Η.Δ.  $= 20 \log M - 71.9$

Η σύγκριση των μετρηθεισών και αναμενόμενων τιμών Η.Δ. ήταν απογοητευτική. Η εξίσωση δίνει (προβλέπει) έντονα υποτιμημένες τιμές για το Η.Δ. της *Sardina pilchardus*.

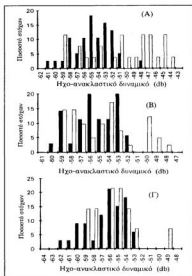
Και στα τρία δείγματα η πιθανότητα συμφωνίας μετρηθεισών και αναμενόμενων τιμών ήταν  $P=0$ . Αυτό φαίνεται καθαρά και στην Εικόνα 5.15., όπου τα ιστογράμματα των αναμενόμενων τιμών (μαύρα ορθογώνια), είναι εντονότερα μετατοπισμένα προς μικρότερες τιμές σε σχέση με τα ιστογράμματα των μετρηθεισών τιμών (λευκά ορθογώνια).

Είναι φανερό ότι η εξίσωση (5.3) (των φυσοστόμων) δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ούτε για κατά προσέγγιση εκτίμηση του Η.Δ. της σαρδέλας. Οι πιθανοί λόγοι για αυτό αναφέρονται αναλυτικά στην συζήτηση αυτής της ενότητας (5.4.)



**Εικόνα 5.15.** Τα ιστογράμματα μετρηθεισών και αναμενόμενων τιμών του Η.Δ. Τα μαύρα ορθογώνια αντιστοιχούν στις αναμενόμενες τιμές με βάση την εξίσωση (5.3). Τα λευκά ορθογώνια αντιστοιχούν στις μετρηθείσες τιμές Η.Δ. στο πεδίο, με ηχηρολογικό όριο 20m, (Α) Τα αποτελέσματα του 1ου δείγματος (βάθος 20m), (Β) Τα αποτελέσματα του 2ου δείγματος (βάθος 30m), (Γ) Τα αποτελέσματα του 3ου δείγματος (βάθος 40m).

### 5.3.3. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΤΙΜΩΝ Η.Δ. ΜΕ ΤΙΣ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗΣ ΣΥΜΠΙΞΗΣ



**Εικόνα 5.16** Τα ιστογράμματα μετρηθέντων και αναμενόμενων τιμών του Η.Δ. Τα μαύρα ορθογώνια αντιστοιχούν στις αναμενόμενες τιμές από τις εποχιακές εξισώσεις της ενότητας 4.3, με βάση το μοντέλο της ομοιόμορφης συμπίξεως. Τα λευκά ορθογώνια αντιστοιχούν στις μετρηθείσες τιμές Η.Δ. στο πεδίο, με ηχοολογιστικό δείκτη δόνησης. (Α) Τα αποτελέσματα του 1ου δείγματος (βάθος 20m), (Β) Τα αποτελέσματα του 2ου δείγματος (βάθος 30m), (Γ) Τα αποτελέσματα του 3ου δείγματος (βάθος 40m).

5) Από το άθροισμα αυτό υπολογίστηκε το θεωρητικά αναμενόμενο Η.Δ. με βάση την εξίσωση (4.3).

Επειδή το αλιεύμα του πρώτου δείγματος περιείχε και ψάρια μικρότερα των 11.5cm με τα χαρακτηριστικά του δείγματος "Καλοκαίρι '89" (μικρά ψάρια, χαμηλό ποσοστό λίπους, απημελιωτές γονάδες), έγινε ένας επιπλέον ξεχωριστός υπολογισμός: τα ψάρια μικρότερα των 11.5cm υπολογίσθηκαν από την εποχιακή εξίσωση του δείγματος "Καλοκαίρι '89", ενώ τα μεγαλύτερα από την εποχιακή εξίσωση του δείγματος "Καλοκαίρι '90".

Στην Εικόνα 5.16, απεικονίζονται ενδεικτικά οι αναμενόμενες τιμές (μαύρα ορθογώνια), από την λογαριθμική εξίσωση του δείγματος "Καλοκαίρι '90", μαζί με τις μετρηθείσες τιμές (λευκά ορθογώνια). Στην εικόνα μπορούμε να παρατηρήσουμε μια συστηματική μετατόπιση του ιστογράμματος των αναμενόμενων τιμών, προς μικρότερες τιμές σε σχέση με τις μετρηθείσες.

Για την εκτίμηση των θεωρητικά αναμενόμενων τιμών χρησιμοποιήθηκαν οι εξισώσεις της ενότητας 4.3 που εμπειρέχουν δείγματα από την εποχή του Καλοκαιριού.

1) Για τον υπολογισμό της μέγιστης διατομής της νηκτικής κύστης χρησιμοποιήθηκαν οι εποχιακές εξισώσεις του Καλοκαιριού, οι διετοχιακές εξισώσεις που αναφέρονται στην εκτός αναπαραγωγής περίοδο και οι ετήσιες εξισώσεις. Εγιναν ξεχωριστές εκτιμήσεις για τις λογαριθμικές και τις πολλαπλασιαστικές εξισώσεις.

2) Από την μέγιστη ανακλώσα διατομή υπολογίσθηκε η ανακλώσα διατομή με βάση τα ποσοστά του ΠΙΝΑΚΑ 5.2, για το εύρος των διαφόρων προσανατολισμών των ψαριών και για την μέση γωνία προσανατολισμού.

3) Η ανακλώσα διατομή διορθώθηκε με βάση την σχέση (5.2). Δηλαδή αν  $S \text{ m}^2$  η υπολογιζόμενη ανακλώσα διατομή που αντιστοιχεί στην επιφανειακή πίεση τότε:

$$\text{ΔΕΙΓΜΑ 1ο (βάθος 20m): } \frac{S}{\sqrt[3]{3^2}}$$

$$\text{ΔΕΙΓΜΑ 2ο (βάθος 30m): } \frac{S}{\sqrt[3]{4^2}}$$

$$\text{ΔΕΙΓΜΑ 3ο (βάθος 40m): } \frac{S}{\sqrt[3]{5^2}}$$

4) Με βάση την ανακλώσα διατομή υπολογίσθηκε η ακουστική διατομή από την σχέση (4.3). Στην ακουστική διατομή προστέθηκε η αναμενόμενη ακουστική διατομή όπως προβλέπεται για το *Scomber scombrus* από την εξίσωση (5.1).

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης διασποράς φαίνονται στο ΠΙΝΑΚΑ 5.3., όπου συγκρίνονται οι αναμενόμενες τιμές για τα διάφορα είδη γωνιών προσανατολισμού καθώς και οι αναμενόμενες τιμές για την μέση γωνία προσανατολισμού, με τις μετρηθείσες τιμές κάθε δείγματος.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3. Ανάλυση διασποράς για το μοντέλο της ομοιόμορφης συμπίεσης.** Αναγράφεται η πιθανότητα P να είναι ίσες οι αναμενόμενες και οι μετρηθείσες τιμές Η.Δ. Γ°= το εύρος γωνιών ή η γωνία, Κ1 = τα αποτελέσματα της εποχιακής εξίσωσης του δείγματος "Καλοκαίρι '89", Κ2= αποτελέσματα της εποχιακής εξίσωσης του δείγματος "Καλοκαίρι '90", Κ = τα αποτελέσματα της εποχιακής εξίσωσης του δείγματος "Καλοκαίρι '89" για τα φύκια <11.5cm και την εξίσωση του δείγματος "Καλοκαίρι '90" για τα μεγαλύτερα φύκια, ΕΑ = τα αποτελέσματα της διεποχιακής εξίσωσης Εκτός Αναπαραγωγής περιόδου, ΕΑ90 = τα αποτελέσματα της εξίσωσης που προέρχεται από την ένωση των δειγμάτων της "Ανοιξης" και το "Καλοκαίρι '90", Ε = τα αποτελέσματα της ετήσιας εξίσωσης (ένωση όλων των δειγμάτων), Ε90 = τα αποτελέσματα της ετήσιας εξίσωσης αν εξαιρεθεί το δείγμα "Καλοκαίρι '89", Ε89 = τα αποτελέσματα της ετήσιας εξίσωσης αν εξαιρεθεί το δείγμα "Καλοκαίρι '90". Ο πρώτος αριθμός σε κάθε φαντίο αντιστοιχεί στην σύγκριση με βάση τα αναμενόμενα αποτελέσματα από τις λογαριθμικές εξισώσεις και ο δεύτερος με βάση τα αναμενόμενα αποτελέσματα από τις πολλαπλασιαστικές εξισώσεις.

ΔΕΙΓΜΑ	Γ°	ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ	Κ1	Κ2	Κ	ΕΑ	ΕΑ90	Ε90	Ε89	Ε
1α : 20m	+30° έως -30°	Λογαριθμική Πολύ/στωική	0.000 0.000	-0.050 0.017	0.150 0.160	0.993 0.990	0.003 0.028	0.360 0.452	0.786 0.842	0.410 0.160
	-27° έως +27°	Λογαριθμική Πολύ/στωική	0.052 0.018	0.000 0.000	0.153 0.162	0.993 0.987	0.003 0.028	0.360 0.452	0.786 0.842	0.410 0.160
	1°	Λογαριθμική Πολύ/στωική	0.000 0.000	0.001 0.000	0.143 0.121	0.720 0.716	0.000 0.000	0.150 0.270	0.640 0.845	0.400 0.150
2α : 30m	+30° έως -30°	Λογαριθμική Πολύ/στωική	0.000 0.000	0.260 0.690		0.000 0.000	0.000 0.000	0.000 0.000	0.000 0.000	0.000 0.000
	-17° έως +17°	Λογαριθμική Πολύ/στωική	0.000 0.000	0.343 0.790		0.000 0.000	0.000 0.040	0.000 0.000	0.000 0.000	0.000 0.000
	0°	Λογαριθμική Πολύ/στωική	0.000 0.000	0.143 0.320		0.000 0.000	0.000 0.000	0.000 0.000	0.000 0.000	0.000 0.000
3α : 40m	+30° έως -30°	Λογαριθμική Πολύ/στωική	0.000 0.000	0.091 0.340		0.000 0.000	0.013 0.020	0.000 0.000	0.000 0.000	0.000 0.000
	-6° έως +8°	Λογαριθμική Πολύ/στωική	0.000 0.000	0.110 0.450		0.000 0.000	0.014 0.035	0.000 0.000	0.000 0.000	0.000 0.000
	2°	Λογαριθμική Πολύ/στωική	0.000 0.000	0.100 0.310		0.000 0.000	0.000 0.000	0.000 0.000	0.000 0.000	0.000 0.000

Από τα αποτελέσματα του ΠΙΝΑΚΑ 5.3. μπορούμε να παρατηρήσουμε:

- Υπάρχει κατ' αρχήν συμφωνία των αναμενόμενων τιμών από τις εποχιακές εξισώσεις με τις μετρηθείσες. Η συμφωνία όμως δεν είναι ιδιαίτερα καλή.
- Οι πολλαπλασιαστικές εξισώσεις δίνουν καλύτερα αποτελέσματα από τις λογαριθμικές.
- Οι προβλέψεις που προέρχονται από την μέση ανακλώσα διατομή για το εύρος των γωνιών προσανατολισμού που μετρήθηκαν στο πεδίο, έχουν καλύτερη συμφωνία με τις μετρηθείσες τιμές. Αντίθετα οι αναμενόμενες τιμές για το εύρος των γωνιών από -30° έως +30° καθώς και η μέση γωνία προσανατολισμού δίνουν σχεδόν πάντα μικρότερη συμφωνία με τις μετρούμενες τιμές.
- Οι διεποχιακές και οι ετήσιες εξισώσεις δίνουν καλά αποτελέσματα σε μια μόνο περίπτωση, στο δείγμα βάθους 20m.
- Στο πρώτο δείγμα (βάθους 20m) υπάρχει οριακή συμφωνία με τις μετρηθείσες τιμές, όσον αφορά την εποχιακή εξίσωση του δείγματος "Καλοκαίρι '90". Υπάρχει πολύ καλύτερη συμφωνία όταν οι αναμενόμενες τιμές υπολογίζονται, για μεν τα μικρά άτομα από την εποχιακή εξίσωση

του δείγματος "Καλοκαίρι '89", για δε τα μεγάλα άτομα από την εποχιακή εξίσωση του δείγματος "Καλοκαίρι '90".

6) Στο πρώτο δείγμα η διεποχιακή εξίσωση και οι ετήσιες εξισώσεις δείχνουν πολύ καλή συμφωνία μεταξύ αναμενόμενων και παρατηρούμενων τιμών.

Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι τόσο οι πολυωνμικές όσο και οι ετήσιες σχέσεις, έχουν την τάση να υπερεκτιμούν την ανακλώσα διατομή (τείνουν να μετατοπίσουν το διάγραμμα της κατανομής προς τα αριστερά).

### 5.3.3. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΡΗΘΕΙΣΩΝ ΤΙΜΩΝ Η.Δ. ΜΕ ΤΙΣ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΒΛΑΧΤΕΡ.

Για την εκτίμηση των θεωρητικά αναμενόμενων τιμών χρησιμοποιήθηκαν οι εξισώσεις της ενότητας 4.3 που εμπεριέχουν δείγματα από την εποχή του Καλοκαιριού.

1) Για τον υπολογισμό της μέγιστης διατομής της νηκτικής κύστης χρησιμοποιήθηκαν οι εποχιακές εξισώσεις του Καλοκαιριού, οι διεποχιακές εξισώσεις που αναφέρονται στην εκτός αναπαραγωγής περίοδο και οι ετήσιες εξισώσεις. Εγιναν ξεχωριστές εκτιμήσεις για τις λογαριθμικές και πολλαπλασιαστικές εξισώσεις.

2) Από την μέγιστη διατομή υπολογίσθηκε η ανακλώσα διατομή με βάση τα ποσοστά του ΠΙΝΑΚΑ 5.2, για το εύρος των διαφόρων προσανατολισμών των ψαριών και για την μέση γωνία προσανατολισμού.

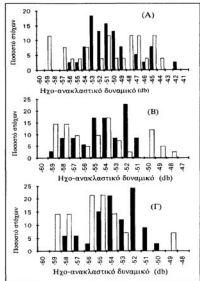
3) Η ανακλώσα διατομή διορθώθηκε με βάση την σχέση του ΠΙΝΑΚΑ 5.1. Δηλαδή αν  $S_m^2$  είναι η υπολογιζόμενη ανακλώσα διατομή που αντιστοιχεί στην επιφανειακή πίεση, τότε σαν ποσοστά που αντιστοιχούν στην ανακλώσα διατομή στα διάφορα βάθη παρήχθησαν: ΔΕΙΓΜΑ 1ο (βάθος 20m): 73.5% της  $S$   
ΔΕΙΓΜΑ 2ο (βάθος 30m): 56.5% της  $S$   
ΔΕΙΓΜΑ 3ο (βάθος 40m): 53.0% της  $S$

4) Με βάση την ανακλώσα διατομή υπολογίσθηκε η ακουστική διατομή από την σχέση (4.3.). Στην ακουστική διατομή προστέθηκε η αναμενόμενη ακουστική διατομή όπως προβλέπεται από την εξίσωση (5.1) (για το *Scomber scomberus*)

5) Από το άθροισμα αυτό υπολογίσθηκε το θεωρητικά αναμενόμενο Η.Δ. με βάση την εξίσωση (4.3.).

Επειδή το αλιεύμα του πρώτου δείγματος περιείχε και ψάρια μικρότερα των 11.5cm με τα χαρακτηριστικά του δείγματος "Καλοκαίρι '89" (μικρά ψάρια, χαμηλό ποσοστό λίπους,

ασχημάτιστες γονάδες), έγινε ένας επιπλέον ξεχωριστός υπολογισμός: τα ψάρια μικρότερα των 11.5cm υπολογίσθηκαν από την εποχιακή εξίσωση του δείγματος "Καλοκαίρι '89", ενώ τα



Εικόνα 5.17. Τα ιστογράμματα μετρήθηκαν και αναμενόμενων τιμών του Η.Δ. Τα μικρά ορθογώνια αντιστοιχούν στις αναμενόμενες τιμές από τις εποχιακές εξισώσεις της ενότητας 4.3. με βάση το μοντέλο του Blaxter (1979). Τα λευκά ορθογώνια αντιστοιχούν στις μετρηθείσες τιμές Η.Δ. στο πεδίο, με προβολαστικό δικτύς βύθους, (Α) Τα αποτελέσματα του 1ου δείγματος (βάθος 20m), (Β) Τα αποτελέσματα του 2ου δείγματος (βάθος 30m), (Γ) Τα αποτελέσματα του 3ου δείγματος (βάθος 40m).



μεγαλύτερα από την εποχιακή εξίσωση του δείγματος "Καλοκαίρι '90".

Στην Εικόνα 5.17, απεικονίζονται ενδεικτικά οι αναμενόμενες τιμές (μάζα ορθογώνια), από την λογαριθμική εξίσωση του δείγματος "Καλοκαίρι '90", μαζί με τις μετρηθείσες τιμές (λευκά ορθογώνια).

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης διασποράς φαίνονται στο ΠΙΝΑΚΑ 5.4., όπου συγκρίνονται οι αναμενόμενες τιμές για τα διάφορα είδη γωνιών προσανατολισμού καθώς και οι αναμενόμενες τιμές για την μέση γωνία προσανατολισμού, με τις μετρηθείσες τιμές κάθε δείγματος.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.4. Ανάλυση διασποράς για το μοντέλο του Blaxter.** Αναγράφεται η πιθανότητα P να είναι ίσες οι αναμενόμενες και οι μετρηθείσες τιμές του Η.Δ. Γ°= το είδος γωνιών ή η γωνία, Κ1- τα αποτελέσματα της εποχιακής εξίσωσης του δείγματος "Καλοκαίρι '89", Κ2- αποτελέσματα της εποχιακής εξίσωσης, του δείγματος "Καλοκαίρι '90", Κ- τα αποτελέσματα της εποχιακής εξίσωσης του δείγματος "Καλοκαίρι '89" για τα φύκια < 11.5cm και την εξίσωση του δείγματος "Καλοκαίρι '90" για τα μεγαλύτερα φύκια, ΕΑ- τα αποτελέσματα της διεποχιακής εξίσωσης Εξέτος Αναπαραγωγικής περιόδου, ΕΑ90- τα αποτελέσματα της εξίσωσης που προέρχεται από την ένωση των δειγμάτων της "Ανοιξή" και του "Καλοκαιριού '90", Ε- τα αποτελέσματα της ετήσιας εξίσωσης (ένωση όλων των δειγμάτων), Ε90- τα αποτελέσματα της ετήσιας εξίσωσης αν εξαιρεθεί το δείγμα "Καλοκαίρι '89", Ε89- τα αποτελέσματα της ετήσιας εξίσωσης αν εξαιρεθεί το δείγμα "Καλοκαίρι '90". Ο πρώτος αριθμός σε κάθε φητνίο αντιστοιχεί στην σύγκριση με βάση τα αναμενόμενα αποτελέσματα από τις λογαριθμικές εξισώσεις και ο δεύτερος με βάση τα αναμενόμενα αποτελέσματα από τις πολλαπλασιαστικές εξισώσεις.

ΔΕΙΓΜΑ	Γ°	ΠΡΟΒΛΕΥΣΗ	K1	K2	K	ΕΑ	ΕΑ90	Ε90	Ε89	Ε
1ο : 20m	+30° έως -30°	Λογαριθμική Πολύ/στυκή	0.000 0.000	0.010 0.060	0.661 0.555	0.010 0.010	0.702 0.797	0.100 0.063	0.005 0.006	0.078 0.256
	-27° έως +27°	Λογαριθμική Πολύ/στυκή	0.000 0.000	0.018 0.095	0.669 0.527	0.017 0.016	0.795 0.988	0.149 0.107	0.010 0.012	0.124 0.256
	1°	Λογαριθμική Πολύ/στυκή	0.000 0.000	0.028 0.140	0.401 0.310	0.005 0.004	0.100 0.676	0.060 0.040	0.003 0.004	0.060 0.206
2ο : 30m	+30° έως -30°	Λογαριθμική Πολύ/στυκή	0.000 0.000	0.823 0.208		0.000 0.000	0.142 0.000	0.142 0.000	0.000 0.000	0.000 0.000
	-17° έως +17°	Λογαριθμική Πολύ/στυκή	0.000 0.000	0.980 0.121		0.000 0.000	0.221 0.000	0.221 0.000	0.000 0.000	0.000 0.000
	0°	Λογαριθμική Πολύ/στυκή	0.000 0.000	0.624 0.247		0.000 0.000	0.716 0.000	0.000 0.000	0.000 0.000	0.000 0.000
3ο : 40m	+30° έως -30°	Λογαριθμική Πολύ/στυκή	0.000 0.000	0.647 0.004		0.000 0.000	0.584 0.000	0.000 0.000	0.000 0.000	0.000 0.000
	-6° έως +8°	Λογαριθμική Πολύ/στυκή	0.000 0.000	0.762 0.134		0.000 0.000	0.661 0.000	0.000 0.000	0.000 0.000	0.000 0.000
	2°	Λογαριθμική Πολύ/στυκή	0.000 0.000	0.762 0.297		0.000 0.000	0.403 0.000	0.000 0.000	0.000 0.000	0.000 0.000

Από τα αποτελέσματα του ΠΙΝΑΚΑ 5.4. μπορούμε να παρατηρήσουμε:

- 1) Η συμφωνία αναμενόμενων και παρατηρούμενων τιμών είναι πολύ καλύτερη σε σχέση με το μοντέλο της ομοιόμορφης συμπίεσης (ενότητα 5.3.3, ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3). Επίσης, το σχέδιο συμφωνίες αναμενόμενων και παρατηρούμενων τιμών στα διάφορα δείγματα και για τις διάφορες εξισώσεις, παρουσιάζει μεγαλύτερη "εσωτερική λογική" στο πρότυπο Blaxter παρά στο μοντέλο της ομοιόμορφης συμπίεσης.
- 2) Υπάρχει πολύ καλή συμφωνία των αναμενόμενων και των παρατηρούμενων τιμών, όταν χρησιμοποιούνται οι εποχιακές εξισώσεις και η διεποχιακή εξίσωση που δεν περιλαμβάνει το δείγμα "Καλοκαίρι '89".
- 3) Οι λογαριθμικές εξισώσεις δίνουν σχεδόν πάντα πολύ καλύτερη συμφωνία από τις πολλαπλασιαστικές εξισώσεις.

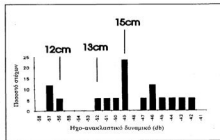
4) Οι αναμενόμενες τιμές που υπολογίζονται από την μέση ανακλώσα διατομή, για το εύρος των γωνιών που μετρήθηκαν στο πεδίο, δίνουν την καλύτερη συμφωνία με τις παρατηρούμενες τιμές. Αντίθετα οι αναμενόμενες τιμές για το εύρος γωνιών από  $-30^\circ$  έως  $+30^\circ$ , καθώς και για την μέση γωνία προσανατολισμού, δίνουν πάντα μικρότερη συμφωνία με τις αναμενόμενες τιμές.

5) Στο πρώτο δείγμα, σωστές προβλέψεις έχουμε και πάλι όταν το αναμενόμενο Η.Δ. υπολογίζεται για μεν τα μικρά ψάρια από την εποχιακή εξίσωση του δείγματος "Καλοκαίρι '89", για δε τα μεγάλα ψάρια από την εποχιακή εξίσωση του δείγματος "Καλοκαίρι '90".

6) Οι αναμενόμενες τιμές από τις ετήσιες εξισώσεις δείχνουν συμφωνία σε μία μόνο περίπτωση. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι ετήσιες εξισώσεις οδηγούν σε υπερεκτίμηση του Η.Δ.

Μπορούμε τέλος να παρατηρήσουμε ότι οι αναμενόμενες τιμές (αλιευθέντα ψάρια) έχουν μεγαλύτερα ποσοστά στο κέντρο της κατανομής και είναι συστηματικά μικρότερες τιμές στα άκρα της κατανομής. Με βάση αυτό μπορούμε να κάνουμε ορισμένες πρώτες σκέψεις για την μεροληπτικότητα της τράτας, σαν μια πρώτη εφαρμογή της γνώσης και πρόβλεψης του Η.Δ.

### 5.3.4. ΑΝΑΔΡΟΜΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ



Εικόνα 5.18. Αντιστοίχιση των πιθανών μεγεθών *Sardina pilchardus* με βάση το θεωρητικά υπολογιζόμενο Η.Δ.

ψάρια [10.5cm-11.5cm], [11.5cm-12.5cm], [12.5cm-13.5cm], [13.5cm-15.5cm]. Με βάση αυτές τις προβλέψεις αντιστοιχίσθηκαν στο ιστογράμμα της Εικόνας 5.14 τα πιθανά μεγέθη της *Sardina pilchardus*. Την αντιστοίχιση αυτή την βλέπουμε στην Εικόνα 5.18.

Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι υπάρχει καλή αντιστοίχιση των προβλέψεων στις διαφορετικές συγκεντρώσεις στόχων του ιστογράμματος και να ξεχωρίσουμε την *Sardina pilchardus*. Οι συγκεντρώσεις αυτές συμφωνούν πολύ καλά με ετήσιες κλάσεις. Η αριστερή ομάδα αντιστοιχεί σε μεγέθη γύρω στα 12cm και σε ηλικιακές κλάσεις 1-2ετών. Η κεντρική ομάδα αντιστοιχεί σε μεγέθη 13-15cm και σε ηλικιακές κλάσεις 2-3 ετών (Morales-Nin B. 1990). Τέλος η δεξιά ομάδα στόχων είναι εκτός των προβλέψεων μας και φαίνεται να αντιστοιχεί σε άλλο είδος. Από την τάξη μεγέθους του Η.Δ. των στόχων και με βάση τα ποσοτικά αποτελέσματα της αλιείας, θα πρέπει μάλλον να πρόκειται για τα *Trachurus trachurus* που αλιεύθηκαν.

Τα αποτελέσματα του 4ου δείγματος χρησιμοποιήθηκαν για να δείχθει μια από τις εφαρμογές της δυνατότητας πρόβλεψης του Η.Δ. Όπως έχει αναφερθεί από το δείγμα αυτό δεν είχαν κρατηθεί ψάρια. Μπορούμε να υποθέσουμε ότι τα ψάρια έχουν παρόμοια εσωτερική φυσιολογία με αυτά των άλλων δειγμάτων, επειδή ηχοβολήθηκαν στην ίδια περιοχή και στις ίδιες συνθήκες.

Από όλα τα προηγούμενα δείγματα υπολογίσθηκαν οι ανακλώσες διατομές που αντιστοιχούν σε βάθος 70m με βάση το πρότυπο Blaxter. Υπολογίσθηκαν οι μεσοί όροι του αναμενόμενου Η.Δ. για

#### **5.4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ**

Όπως έχει αναφερθεί επανειλημμένα οι μέθοδοι της εκτίμησης του Η.Δ. *in situ* στο πεδίο, ενσωματώνουν πάντα με ορθό τρόπο την πηγή της ηθολογικής διακύμανσης του Η.Δ., αδυνατούν όμως να ενσωματώσουν και να εκτιμήσουν με αντικειμενικό τρόπο το μέγεθος και τις μεταβολές της εσωτερικής φυσιολογίας. Αυτό το τελευταίο επιτυγχάνεται μόνο σε ελεγχόμενες συνθήκες, όπου όμως δεν είναι δυνατόν να ενσωματωθούν με αντικειμενικό τρόπο οι ηθολογικές διακυμάνσεις του Η.Δ. Το μεγαλύτερο πρόβλημα, το οποίο αποτελεί αντικείμενο έρευνας, είναι η μεταφορά (η προσομοίωση) των αποτελεσμάτων από ελεγχόμενες συνθήκες, στις μετρήσεις του πεδίου. Ταυτόχρονα υπάρχει πάντα η ανάγκη βαθμονόμησης των αποτελεσμάτων του πεδίου, από κάποια άλλη μέθοδο, ώστε να είναι δυνατή η μετατροπή των ηχητικών μετρήσεων σε βιομάζα ψαριών (McLennan *et al.* 1990, Midttun 1984, Robinson 1983).

Δεδομένου ότι μέχρι σήμερα δεν έχει προταθεί κανένα πρότυπο προσομοίωσης του ΗΔ των φυσιστόμων με το βάθος, ερευνήθηκαν δύο διαφορετικές προσεγγίσεις οι οποίες επισημάνθηκαν με βάση όσα γνωρίζουμε για την ηχητική κύστη και την διατομή της: το μοντέλο Blaxter και το μοντέλο της ομοιομορφής συμπίεσης.

Οι εκτιμήσεις του πεδίου είναι αυτές που ενδιαφέρουν άμεσα για την εκτίμηση των αποθεμάτων και αποτελούν τον τελικό κριτή κάθε εκτίμησης και κάθε πρόβλεψης του Η.Δ. Από τα αποτελέσματα που περιγράφονται στην ενότητα 5.3. μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι οι εξισώσεις που αναφέρονται στην ενότητα 4.3. έχουν άμεση εφαρμογή και μπορούν να προβλέψουν με πολύ καλή ακρίβεια το πραγματικό Η.Δ. που μετρείται στο πεδίο.

Ένα πρώτο συμπέρασμα το οποίο άμεσα μπορεί να βγει, είναι ότι η γενική εξίσωση των *φασιστόμων* (εξίσωση 5.1, Foote 1987b) δεν μπορεί να εφαρμοστεί στην περίπτωση της *Sardinia pilchardus*, όπως και στα άλλα μικρού μεγέθους είδη. Η αιτία θα πρέπει μάλλον να αναζητηθεί στην προέλευση αυτής της εξίσωσης. Η εξίσωση αναφέρεται κυρίως στην ρέγγα (*Clupea harengus*) και προέρχεται από δεδομένα κυρίως βορειών περιοχών, όπου το μέγεθος και η φυσιολογία των ψαριών που αλιεύονται είναι τελείως διαφορετική. Συνήθως, για παράδειγμα, το μικρότερο μέγεθος που χρησιμοποιείται για την κατασκευή των εξισώσεων είναι 25cm (Foote 1987b). Είναι γνωστό ότι οι εξισώσεις που προκύπτουν από ανάλυση παλινδρόμησης δίνουν ανεπιτυχείς προβλέψεις για τιμές των παραμέτρων που είναι έξω από τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή τους (Foote 1979b, Wonnacott & Wonnacott 1981). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η εξίσωση να μην μπορεί να εφαρμοστεί σε μικρού μεγέθους πελαγικά είδη υποτροπικών περιοχών, όπως είναι η δική μας περίπτωση.

Το μοντέλο του Blaxter δίνει πολύ καλά αποτελέσματα (πολύ καλύτερα απ' αυτά του μοντέλου της ομοιομορφής συμπίεσης). Το αποτέλεσμα αυτό ενισχύει τα συμπεράσματα του Blaxter, σύμφωνα με τα οποία η διατομή της ηχητικής κύστης μεταβάλλεται πολύ λιγότερο από το σύνολο της ηχητικής κύστης. Αυτό θα πρέπει να αποδοθεί στην ελαστικότητα των κοιλιακών τοιχωμάτων του ψαριού (Blaxter 1979). Αντίθετα το μοντέλο της ομοιομορφής συμπίεσης δείχνει να υποεκτιμά τις τιμές της μέγιστης διατομής. Αυτό ενισχύει ακόμη περισσότερο τα συμπεράσματα του Blaxter για τον τρόπο με τον οποίο συμμορφώνεται το αέριο της ηχητικής κύστης με την πίεση. Εξ' άλλου το πρότυπο της ομοιομορφής συμπίεσης δείχνει την μεγαλύτερη συμφωνία, με τις παρατηρούμενες τιμές του δείγματος των 30m. Στο βάθος αυτό, τα ποσοστά των μοντέλων της ομοιομορφής συμπίεσης και του Blaxter προσεγγίζουν περισσότερο (μείωση της διατομής περίπου 40% και 50% αντίστοιχα). Αντίθετα δείχνει την μικρότερη συμφωνία με τις παρατηρούμενες τιμές, στο δείγμα βάθους 20m, εκεί όπου τα ποσοστά των δύο προτύπων αποκλίνουν περισσότερο: μείωση της διατομής περίπου 50% για το μοντέλο της ομοιομορφής συμπίεσης, 73% για το μοντέλο του Blaxter.

Οι εποχιακές εξισώσεις δίνουν σχεδόν πάντα τα καλύτερα αποτελέσματα. Καλά αποτελέσματα δίνουν επίσης και οι διεποχιακές εξισώσεις. Αυτό είναι κάτι που αναμένεται με βάση τη συζήτηση στις ενότητες 3 και 4, δεδομένου ότι οι τιμές των παραμέτρων στα δείγματα ήταν μέσα στο εύρος των τιμών των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν για να εξαχθεί η αντίστοιχη εποχιακή εξίσωση (Foote 1979b). Το αποτέλεσμα αυτό ενισχύει την προτροπή να χρησιμοποιούνται οι εποχιακές εξισώσεις, αν το εύρος τιμών των παραμέτρων είναι μέσα στο εύρος τιμών που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή των εποχιακών εξισώσεων. Αν αντίθετα είναι εκτός αυτού του εύρους τιμών είναι προτιμότερο να χρησιμοποιούνται οι διεποχιακές εξισώσεις, οι οποίες έχουν μεγαλύτερα όρια στις προβλέψεις τους, αλλά μικρότερη ακρίβεια.

Τα αποτελέσματα (κυρίως από το μοντέλο του Blaxter) ενισχύουν επίσης αυτό που προτάθηκε στην ενότητα 4.4 για την χρήση ιδιαίτερων εξισώσεων στην πρόβλεψη του ΗΔ των μικρών ψαριών. Είναι προτιμότερο να υπολογίζονται τα ψάρια που είναι μικρότερα από 11cm, με μικρό ποσοστό λίπους από την εποχιακή εξίσωση του δείγματος "Καλοκαίρι '89". Μόνον η εφαρμογή αυτή του κανόνα έδωσε καλά αποτελέσματα στο πρώτο δείγμα, στο οποίο υπήρχαν και τέτοια ψάρια.

Οι ετήσιες εξισώσεις φαίνεται ότι υπερεκτιμούν συστηματικά τις θεωρητικά αναμενόμενες τιμές. Αυτό θα πρέπει να οφείλεται στο γεγονός ότι οι ετήσιες εξισώσεις είναι είναι συγκεκριμένες μεταξύ της αναπαραγωγικής περιόδου (όπου τα ψάρια έχουν μεγαλύτερο όγκο νηκτικής κύστης και μεγαλύτερη διατομή νηκτικής κύστης) και της εκτός αναπαραγωγής περιόδου (όπου τα ψάρια έχουν μικρότερο όγκο νηκτικής κύστης και μικρότερη διατομή νηκτικής κύστης). Αν το συμπέρασμα αυτό είναι σωστό, θα πρέπει να περιμενουμε, αντίστοιχα, συστηματική υποεκτίμηση του Η.Δ. για τα ψάρια της αναπαραγωγικής περιόδου. Παρόλα αυτά, επειδή υπάρχει συμφωνία σε μια από τις 3 περιπτώσεις που εξετάστηκαν, η αξιολόγηση των ετήσιων εξισώσεων πρέπει να γίνει αντικείμενο πιο εκτεταμένης και συστηματικότερης διερεύνησης. Είναι, για παράδειγμα, πολύ πιθανό η συμφωνία η η διαφωνία των προβλέψεων να επηρεάζεται κατά πολύ από την ποιότητα της δειγματοληψίας. Ένα αντιπροσωπευτικότερο δείγμα η μια πιο εκτεταμένη δειγματοληψία, μπορεί να δείξει ότι οι ετήσιες εξισώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν όταν δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί καμία άλλη.

Ένα ενδιαφέρον στοιχείο αξιοποίησής τους προκύπτει από το μοντέλο ομοιόμορφης συμπίεσης. Για τα ρηχότερα νερά (βάθος έως 20m) η υποσκτίμηση που προκαλείται λόγω της εφαιμογής του μοντέλου της ομοιόμορφης συμπίεσης και η υπερεκτίμηση που υπάρχει στις ετήσιες εξισώσεις, οδηγούν σε πολύ καλά αποτελέσματα. Είναι όμως προφανώς, πολύ πρώιμο να υπάρξει καταληκτικό συμπέρασμα. Αξίζει όμως να διερευνηθεί μελλοντικά, αν το αποτέλεσμα αυτό είναι κάτι συστηματικό τρόπο σωστό.

Το γεγονός ότι οι λογαριθμικές εξισώσεις δίνουν καλύτερα αποτελέσματα από τις πολωνομικές στο μοντέλο του Blaxter είναι αναμενόμενο. Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε στην ενότητα 4.3 οι λογαριθμικές εξισώσεις έχουν σχεδόν πάντα καλύτερη προσαρμογή στα δεδομένα. Η υπερεκτίμηση των αποτελεσμάτων που προκαλείται από τις πολωνομικές εξισώσεις οδηγεί σε βελτίωση των αποτελεσμάτων στο μοντέλο της ομοιόμορφης συμπίεσης και σε μείωση της συμφωνίας στο μοντέλο του Blaxter.

Θα πρέπει να υπογραμμιστεί η πολύ καλή συμφωνία μεταξύ θεωρητικά αναμενόμενων αποτελεσμάτων και μετρήσεων στο πεδίο, ιδιαίτερα αν συγκριθούν με τα αποτελέσματα άλλων εφαρμογών της ίδιας μεθόδου. Τα αποτελέσματα της σύγκρισης μεταξύ ψαριών που ηχοβολίστηκαν με ηχοβολιστικό διττής δέσμης και στην *συνέχεια, αυτά τα ίδια ψάρια, αναλύθηκαν με την μέθοδο της ανάπλησης της νηκτικής κύστης* έδειξαν συμφωνία 0.8 έως 0.9 (Foote & Traynor 1988). Τα αποτελέσματα που προκύπτουν σ' αυτή την εργασία δίνουν συμφωνίες (στο πρότυπο Blaxter): 0.70-0.98-0.80. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα ψάρια από τα οποία έγινε ο θεωρητικός υπολογισμός του Η.Δ., δεν ήταν ακριβώς τα ίδια μ' αυτά που ηχοβολίστηκαν, αλλά προέρχοντο από δειγματοληψία με τράτα. Τα πολύ καλά αποτελέσματα

είναι πιθανόν να οφείλονται και στους παρακάτω λόγους:

- 1) Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε σ' αυτή την εργασία για να εξαχθούν εξισώσεις είναι η παλινδρόμηση και η σύγκριση δεν έγινε άτομο προς άτομο, αλλά μεταξύ δειγμάτων. Με την μέθοδο της παλινδρόμησης, τα πιθανά σφάλματα τα οποία είναι δυνατόν να προκύψουν για κάθε ξεχωριστό ψάρι αλληλοεξουδετερώνονται, αν η προέλευση των σφαλμάτων οφείλεται σε τυχαίους λόγους (Wonnacott & Wonnacott 1981).
- 2) Κατά τον υπολογισμό του θεωρητικού Η.Δ., υπάρχουν δύο παράγοντες (διάθλαση και μικρή περιστροφική ταλάντωση -roll- των ψαριών κατά την κίνησή τους), που αν και αμελητέοι είναι υπαρκτοί, και οι οποίοι δεν λαμβάνονται υπόψη. Για αυτούς τους λόγους θα πρέπει πάντα να περιμένουμε μια μικρή απόκλιση των θεωρητικών αποτελεσμάτων (Foote 1985).
- 3) Οι αξιοποιήσιμες των διαφορών μεταξύ θεωρητικών Η.Δ. και μετρούμενων Η.Δ., εξαρτώνται κατά πολύ από τυχαίους λόγους, οφειλόμενους στην δειγματοληψία με την τράτα.
- 4) Είναι επίσης πιθανό οι βελτιώσεις που έγιναν στη μεθοδολογία (βλ. ενότητα 4.4) να συνέβαλαν στην καλή συμφωνία μεταξύ αναμενόμενων αποτελεσμάτων και μετρήσεων.
- 5) Είναι τέλος πιθανόν να έπαιξε σημαντικό ρόλο ο τρόπος προσομοίωσης των θεωρητικών αποτελεσμάτων σε μετρήσεις Η.Δ. πεδίου. Το σημείο αυτό αποτελεί αντικείμενο συζήτησης αμέσως παρακάτω.

Μπορούμε να έχουμε ορισμένα πρώτα συμπεράσματα για την χρήση των *γωνιών προσανατολισμού των ψαριών* και τον τρόπο προσομοίωσης των θεωρητικών αποτελεσμάτων με τις μετρήσεις του πεδίου. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτής της εργασίας, η πρόταση η οποία μπορεί να γίνει είναι ότι, για την πρόβλεψη του αναμενόμενου Η.Δ., θα πρέπει να χρησιμοποιείται το συγκεκριμένο εύρος γωνιών που μετρείται κάθε φορά στο πεδίο. Το εύρος (-45°) έως (+45°) που έχει προταθεί (Foote 1979a,b, 1980) φαίνεται ότι είναι πολύ μεγάλο για να εφαρμοστεί σε δεδομένα πεδίου. Το εύρος (-30°) έως (+30°) που έχει επίσης προταθεί (Olsen 1980, Clay & Heist 1984) φαίνεται ότι είναι επίσης πολύ μεγάλο για να εφαρμοστεί σαν γενικός κανόνας. Ομοίως η μέση γωνία προσανατολισμού, που έχει προταθεί στα πειράματα μέτρησης του Η.Δ. με ψάρια σε κλωβούς (Edwards & Armstrong 1984), δίνει μικρότερη συμφωνία με τα παρατηρούμενα Η.Δ.

Θα πρέπει πάντως να σημειωθούν ορισμένα σημεία, τα οποία ίσως είναι σημαντικά για την εφαρμογή της παραπάνω πρότασης. Στα συγκεκριμένα δείγματα που μελετήθηκαν η κατανομή γωνιών που μετρήθηκαν στο πεδίο είναι κανονική (ή οριακά κανονική κατανομή όπως συμβαίνει στο πρώτο δείγμα). Αυτό *επιτρέπει* να υπολογιστεί το αναμενόμενο Η.Δ. *σαν μέσος όρος* των θεωρητικά αναμενόμενων τιμών για όλο το εύρος των γωνιών. Αν όμως οι *γωνίες* δεν ακολουθούν την κανονική κατανομή, είναι προτιμότερο, το αναμενόμενο Η.Δ., να υπολογίζεται σαν ο μέσος όρος αποκλειστικά και μόνο των γωνιών που καταγράφονται στο πεδίο, οι οποίες θα πρέπει να σταθμίζονται με την παρατηρούμενη συχνότητά τους. Κατά πάσα πιθανότητα αυτό είναι ο λόγος για τον οποίο η συμφωνία των αποτελεσμάτων στο πρώτο δείγμα (που ακολουθεί οριακά την κανονική κατανομή), είναι η μικρότερη που παρατηρείται.

Επειδή δεν είναι πάντα δυνατόν να έχουμε κάποιες εκτιμήσεις για τις γωνίες προσανατολισμού των ψαριών, έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον να διερευνηθεί η συμπεριφορά και η αντίδραση των ψαριών κατά την διέλευση του πλοίου, καθώς και το εύρος των γωνιών που τείνουν να έχουν τα ψάρια όταν ηχοβολίζονται. Η προσέγγιση που προτείνει ένα εύρος γωνιών από -30° έως +30° φαίνεται να είναι πραγματική για τα ψάρια που βρίσκονται σε μικρότερα βάθη.

Όσο το βάθος μεγαλώνει, η διαταραχή που προκαλεί το πλοίο είναι όλο και ασθενέστερη. Ετσι ενώ στα 20m έχουμε μια σαφέστατη αντίδραση αποφυγής του πλοίου, στα 30m φαίνεται να έχουμε απλώς μικρής έκτασης "σκίρισμα", χωρίς συγκεκριμένη κατεύθυνση. Τέλος στα 40m δεν φαίνεται να υπάρχει σχεδόν καμιά επίδραση και τα ψάρια συνεχίζουν αδιατάρακτα την "πρωινή τους" κατάδυση.

- Αξίζει να σημειωθούν λοιπόν συνοπτικά ο τρόπος αντίδρασης των ψαριών στα τρία βάθη:
- 1) Στα 20m το εύρος των γωνιών είναι χονδρικά από  $-30^\circ$  έως  $+30^\circ$  με σαφή τάση κατάδυσης.
  - 2) Στα 30m το εύρος των γωνιών είναι χονδρικά από  $-20^\circ$  έως  $+20^\circ$  χωρίς κάποια συγκεκριμένη τάση ανόδου ή καθόδου.
  - 3) Στα 40m το εύρος των γωνιών είναι χονδρικά από  $-10^\circ$  έως  $+10^\circ$  με σαφή τάση κατάδυσης, λόγω της ώρας της δειγματοληψίας.
- Τα αποτελέσματα αυτά μπορούν να αξιοποιηθούν, όταν δεν είναι δυνατόν να μετρηθούν οι γωνίες προσανατολισμού των ψαριών στο πεδίο.

Τα παραπάνω αποτελέσματα δείχνουν ορισμένες ιδιαίτερες της *Sardina pilchardus*, που συμβάλλουν στην διερεύνηση της αντίδρασης των ψαριών, για την αποφυγή του πλοίου. Τα ψάρια παρουσιάζουν ορισμένες στερεότερες αντιδράσεις αποφυγής του πλοίου, όμοιες με τις αντιδράσεις τους απέναντι σε έναν θηρευτή:

(Α) Πριν το πλοίο περάσει πάνω από το σχολείο, τα ψάρια συσφίγγονται και αυξάνουν την ταχύτητά τους σε μια οριζόντια αντίδραση αποφυγής. Η αντίδραση αυτή διευκολύνει τους αντιθηρευτικούς ελιγμούς.

(Β) Όταν το πλοίο περνά πάνω από το σχολείο, αντιδρούν με μια ακτινωτή "έκρηξη" που αναφέρεται σαν "φαινόμενο συντριβανιού". Στην αντίδραση αυτή η συνιστώσα της κατάδυσης είναι πολύ εντονότερη από τις συνιστώσες της πλάγιας διαφυγής.

(Γ) Τα ψάρια θανατοποιούν συμπαγή σχολεία σε μεγαλύτερα βάθη (5-8m βαθύτερα, όσον αφορά τα Clupeidae).

Τα ψάρια φαίνεται να αντιδρούν σε πολύ απλά ερεθίσματα όπως: "σε οτιδήποτε κινείται γρήγορα και με θόρυβο" (Misund 1987, Olsen 1990, Freon *et al.* 1992, Freon *et al.* 1993). Το παραπάνω πρότυπο αντίδρασης δίνει μια παραστατική εικόνα που αντιστοιχεί και στις παρατηρήσεις που έγιναν σ' αυτή την εργασία για την *Sardina pilchardus*.

Η ένταση της αντίδρασης των ψαριών μειώνεται με το βάθος (Goncharov *et al.* 1989). Σύμφωνα με τον Olsen (1979, 1980), η αντίδραση της ρέγγας στα πλοία είναι πολύ έντονη μέχρι βάθος 50m και γίνεται ιδιαίτερα αισθητή μέχρι βάθους 90-110m. Αντίθετα οι Gerlotto και Freon (1992, Freon *et al.* 1993) με βάση τις παρατηρήσεις τους κυρίως σε ψάρια του γένους *Sardinella*, προτείνουν ότι η καταδυτική αντίδραση στα τροπικά και υποτροπικά ψάρια είναι πολύ μικρότερη. Συγκεκριμένα προτείνουν ότι σ' αυτά τα ψάρια η έντονη αντίδραση παρατηρείται μέχρι τα 20m, ενώ σε μεγαλύτερα βάθη είναι εξασθενημένη ή ανύπαρκτη. Τα δεδομένα αυτής της εργασίας στις μετρήσεις του πεδίου για την σαρδέλα, η οποία είναι υποτροπικό είδος, φαίνεται ότι υποστηρίζουν τις απόψεις των Gerlotto και Freon. Η σαρδέλα φαίνεται ότι παρουσιάζει την ίδια μειωμένη αντίδραση κάτω από 20m βάθος. Επίσης αντίθετα με τον Olsen (1979) ο οποίος αναφέρει σαν μια μέση συνηθισμένη γωνία κατάδυσης για την ρέγγα τις  $27^\circ$ , οι Gerlotto και Freon αναφέρουν ότι η γωνία κατάδυσης των υποτροπικών Clupeidae είναι γύρω στις  $10^\circ$ . Και σ' αυτό το σημείο τα πρώτα αποτελέσματα για την σαρδέλα δείχνουν ότι η μέση γωνία κατάδυσης που παρατηρείται στα 30m είναι  $14^\circ$ .

Συμφωνά με τους McLennan *et al.* (1989), η μέση γωνία προσανατολισμού των ψαριών είναι κοντά στον οριζόντιο άξονα κατά την ημέρα (αντίθετα με την νύχτα). Επίσης οι γωνίες κλίσης των ψαριών ακολουθούν κανονική κατανομή την ημέρα (αντίθετα με την νύχτα). Οι μέσες γωνίες που παρατηρήθηκαν στην σαρδέλα ήταν πράγματι μεταξύ  $0^\circ$  και  $2^\circ$  και η κατανομή των γωνιών ήταν κανονική δεδομένου ότι η δειγματοληψία έγινε το πρωί.

Τέλος παρουσιάζει ενδιαφέρον μια πρώτη εκτίμηση για την αλιευτική συμπεριφορά της πελαγικής τράτας που χρησιμοποιήθηκε. Οι εκτιμήσεις αυτές δείχνουν και μια άμεση εφαρμογή της δυνατότητας θεωρητικής προβλεψής του Η.Δ. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του μοντέλου Blaxter (Εικόνα 5.17), φαίνεται ότι διαφεύγουν ευκολότερα από το αλιευμα, τα μικρότερα και τα μεγαλύτερα ψάρια. Το φαινόμενο αυτό της ισχυρότερης επιλογής από την

τράτα του μεγέθους των ψαριών που είναι πιο άφθονο είναι γνωστό (Dickie & Bourdreau 1987). Με βάση τα δεδομένα από τον ηχοβλιισμό των ψαριών και την γνώση του Η.Δ. είναι δυνατή μια αντικειμενική εκτίμηση της επιλεκτικότητας της τράτας.

Είναι φανερό ότι τα καταληκτικά αυτά συμπεράσματα, καθώς και τα συμπεράσματα που υπάρχουν στις άλλες ενότητες, θέτουν πολύ περισσότερα ερωτήματα και ζητήματα για έρευνα, από όσα έγινε προσπάθεια να απαντηθούν με την εργασία αυτή. Τα βασικότερα από αυτά θα γίνει προσπάθεια να τεθούν παρακάτω.

## **5.5 ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Στην ενότητα αυτή αναφέρθηκαν οι αρχές λειτουργίας των ηχοβλιιστικών μηχανημάτων, ο τρόπος με τον οποίο έγινε η εκτίμηση του Η.Δ. για την *Sardinia pilchardus* στο πεδίο, καθώς και ο τρόπος δειγματοληψίας των ηχοβλιζόμενων ψαριών-στόχων. Για την εκτίμηση των θεωρητικά αναμενόμενων Η.Δ. χρησιμοποιήθηκαν οι εξισώσεις της ενότητας 4.3. Για την προσομοίωση των αναμενόμενων τιμών στα διάφορα βάθη χρησιμοποιήθηκαν δύο μοντέλα: το μοντέλο του Blaxter και το μοντέλο της ομοιόμορφης συμπίεσης. Η σύγκριση των αναμενόμενων και παρατηρηθεισών τιμών έδειξε πολύ καλή συμφωνία, πράγμα που αποδεικνύει την δυνατότητα αξιοποίησης των εξισώσεων για πρόβλεψη του Η.Δ. της σαρδέλας. Με βάση τα αποτελέσματα της σύγκρισης των παρατηρούμενων και των αναμενόμενων τιμών:

- 1) Το μοντέλο του Blaxter είναι σύμφωνο με τις μετρήσεις, αντίθετα με το μοντέλο της ομοιόμορφης συμπίεσης.
- 2) Τα καλύτερα αποτελέσματα δίνουν οι εποχιακές και διεποχιακές εξισώσεις, ενώ η εφαρμογή των ετησίων εξισώσεων, θέλει ιδιαίτερη διερεύνηση.
- 3) Είναι προτιμότερο να χρησιμοποιείται το εύρος των γωνιών, για τις κατευθύνσεις που παίρνουν τα ψάρια στο πεδίο, αντί κάποιου σταθερού εύρους ή αντί της μέσης γωνίας προσανατολισμού.
- 4) Το εύρος των γωνιών προσανατολισμού των ψαριών μειώνεται, όσο αυξάνεται το βάθος στο οποίο βρίσκονται τα ψάρια. Το μεγαλύτερο εύρος γωνιών φαίνεται ότι είναι συνδεδεμένο με την διαταραχή που επιφέρει η διέλευση του πλοίου.





## 6. ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ - ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ.

Στην εργασία αυτή μελετήθηκαν ο τρόπος επίδρασης των παραγόντων της εσωτερικής φυσιολογίας της σαρδέλας (*Sardina pilchardus*), στο σχήμα και το μέγεθος της νηκτικής κύστης και της μέγιστης διατομής της νηκτικής κύστης, και κατ' επέκταση στο Ηχοανακλαστικό Δυναμικό της. Ειδικότερα:

- 1) Για τις ανάγκες της δειγματοληψίας, οι σαρδέλες κρατήθηκαν ζωντανές για 4 ημέρες και στη συνέχεια καταψύχθηκαν με υγρό άζωτο και τεμαχίσθηκαν σε κρυτόμο. Από την εικόνα των τομών αναπλάσθηκε το ψάρι και τα όργανά του, σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Κατά τη δειγματοληψία υπήρξε μέριμνα για την καλή ποιότητα του δείγματος, την αντιπροσωπευτικότητα των μεγεθών στα ψάρια που αναλύθηκαν, καθώς και για την αποτροπή φαινομένων ετεροσκεδαστικότητας.
- 2) Οι μεταβολές του όγκου της νηκτικής κύστης και της μέγιστης διατομής, εξετάστηκαν σε σχέση με τις μεταβολές του τυπικού μήκους, του ποσοστού των γονάδων, του ποσοστού λίπους, του ποσοστού στομαχίου και το φύλο.
- 3) Το πρότυπο της μεταβολής του όγκου της νηκτικής κύστης, σε σχέση με τις παραπάνω παραμέτρους συνδυασμένες, είναι αντιστρόφως ανάλογο. Οι γενικές τάσεις που παρατηρήθηκαν είναι ότι ο όγκος είναι θετικά συσχετισμένος με το μήκος, τις γονάδες και το στομάχι και αρνητικά συσχετισμένος με το λίπος. Το φύλο φαίνεται ότι επιδρά μόνο σε μία περίπτωση.
- 4) Για να περιγραφούν οι μεταβολές του όγκου της νηκτικής κύστης είναι αναγκαίες δύο τουλάχιστον εξισώσεις: (Α) Μία που αναφέρεται στην εκτός αναπαραγωγής περίοδο, όπου κυρίαρχη παράμετρος είναι το μήκος. (Β) Μία που αναφέρεται στην αναπαραγωγική περίοδο, όπου κυρίαρχη είναι η επίδραση του ποσοστού των γονάδων.
- 5) Το πρότυπο της μεταβολής της μέγιστης διατομής της νηκτικής κύστης σε σχέση με τις παραπάνω μεταβλητές είναι γραμμικό. Οι τάσεις είναι όμοιες μ' αυτές που αναφέρονται και στον όγκο της νηκτικής κύστης. Η στοχαστικότητα της μεταβολής στην μέγιστη διατομή είναι μικρότερη από αυτής του όγκου.
- 6) Για να περιγραφούν οι μεταβολές της μέγιστης διατομής της νηκτικής κύστης είναι αναγκαίες δύο τουλάχιστον εξισώσεις: (Α) Μία που αναφέρεται στην εκτός αναπαραγωγής περίοδο, όπου κυρίαρχη παράμετρος είναι το μήκος. (Β) Μία που αναφέρεται στην αναπαραγωγική περίοδο, όπου κυρίαρχη είναι η επίδραση του ποσοστού των γονάδων. Όταν αφορά την μέγιστη διατομή, η επίδραση της γονάδας κατά την αναπαραγωγική περίοδο είναι σαφέστερη, εντονότερη και καθοριστικότερη σε σχέση με την επίδρασή της στον όγκο.
- 7) Τα αποτελέσματα των θεωρητικά αναμενόμενων τιμών του Η.Δ., συγκρίθηκαν με τις μετρήσεις που έγιναν για το Η.Δ. στο πεδίο. Οι μετρήσεις στο πεδίο έγιναν με ηχοβολιστικό διττής δέσμης. Οι θεωρητικά αναμενόμενες τιμές υπολογίσθηκαν από τις εξισώσεις της ενότητας 4.3, με βάση τα ανατομικά χαρακτηριστικά δείγματος των ηχοβολισθέντων ψαριών, που αλιεύθηκαν με τράτα.
- 8) Για την προσομοίωση των αναμενόμενων τιμών χρησιμοποιήθηκαν δύο πρότυπα: Το πρότυπο της ομοιόμορφης συμπίεσης και το πρότυπο Blaxter. Τα καλύτερα αποτελέσματα έδωσε το

πρότυπο Blaxter.

9) Τα αποτελέσματα των συγκρίσεων ήταν πολύ καλά και επιβεβαίωσαν την δυνατότητα εφαρμογής των εξισώσεων στην πρόβλεψη του Η.Δ.

10) Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, για την προσομείωση των θεωρητικά αναμενόμενων τιμών με τις μετρήσεις του πεδίου είναι προτιμότερο να χρησιμοποιείται το εύρος των γωνιών προσανατολισμού των ψαριών που καταγράφεται στο πεδίο.

11) Η αντίδραση αποφυγής της σαρδέλας στο πλοίο μειώνεται με το βάθος, και είναι ιδιαίτερα αισθητή στα πρώτα 20-25m.

*Όπως είναι φανερό τα παραπάνω αποτελέσματα δημιουργούν έντονα ερεθίσματα για μελλοντικές έρευνες γύρω από το αντικείμενο αυτής της εργασίας, και την εφαρμογή των αποτελεσμάτων της. Αν προσπαθήσουμε να κωδικοποιήσουμε τους πιθανούς μελλοντικούς στόχους θα πρέπει να αναφερθούν:*

1) Η εκτεταμένη αξιοποίηση των εξισώσεων για σύγκριση των θεωρητικά αναμενόμενων τιμών και των μετρήσεων στο πεδίο σε διάφορες εποχές, ώστε να αξιολογηθούν πληρέστερα η δυνατότητα πρόβλεψης και η αξιοπιστία που έχουν οι εποχιακές, διεποχιακές και ετήσιες εξισώσεις.

2) Ο έλεγχος όλων των δυνατών προτύπων μετατροπής της διατομής της νηκτικής κύστης σε Η.Δ. και την συγκριτική αξιολόγησή τους (Do & Surti 1990, Foutie & Opa 1985).

3) Η μελέτη της μεταβολής του ποσοστού όγκου της νηκτικής κύστης σε σχέση με την μεταβολή των διαφόρων παραμέτρων, η συσχέτιση των αποτελεσμάτων αυτών με τα αποτελέσματα της μεταβολής του απόλυτου όγκου της νηκτικής κύστης.

4) Ο πειραματισμός με ηχοβολισμό σε ζωντανά ψάρια σε κλωβούς. Με τον τρόπο αυτό θα είναι δυνατόν να διερευνηθεί: (Α) Ο προσανατολισμός του σώματός τους σε οριζόντια κολύμβηση τόσο σε θετική όσο και σε αρνητική πλευστότητα. (Β) Να υπάρξει αναλυτική και συστηματική εκτίμηση και πρόβλεψη του ποσοστού μείωσης της Η.Δ. και με το βάθος. (Γ) Η εκτίμηση των διαφορών της Η.Δ. μεταξύ ημέρας και νύκτας (Opa 1987b).

5) Η πληρέστερη διερεύνηση της αντίδρασης αποφυγής του πλοίου από τα ψάρια στο πεδίο. Να διερευνηθεί η σχέση της έντασης της αντίδρασης με την φυσιολογική κατάσταση και τις περιβαλλοντικές συνθήκες (π.χ. η γεννητική ωριμότητα, θρέψη, θερμο-ψυχρή περιόδους (Olsen 1979, Goncharov *et al.* 1989, Freon *et al.* 1993).

6) Τέλος ενδιαφέρον παρουσιάζει η μελέτη της ταχύτητας της ημερήσιας κατακόρυφης μετακίνησης της σαρδέλας, καθώς και η σχέση του βάθους που τοποθετούνται τα ελεύθερα ψάρια ανάλογα με τη φυσική φωτεινότητα, με μετρήσεις πεδίου. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατόν να διασταυρωθούν και να αξιολογηθούν διάφορα εργαστηριακά αποτελέσματα, καθώς και να διερευνηθούν οι διάφορες απόψεις ως προς την προσαρμωστική αξία της νηκτικής κύστης στα Clupeidae (Blaxter & Hunter 1982).

7) Η εφαρμογή των εξισώσεων μπορεί να δώσει σημαντική βοήθεια σε μελέτες διαχείρισης αποθεμάτων, με αξιοποίηση των ηχοβολιστικών μεθόδων. Δεδομένου ότι η ακρίβεια των προβλέψεων βελτιώνεται σημαντικά, είναι δυνατή η ακριβέστερη εκτίμηση τόσο της αθρόνιας,

όσο και της σύνθεσης των πλιθισμών της σαρδέλας.

## 7. SUMMARY

The present work examines the variations in the swimbladder volume and the maximum swimbladder backscattering cross-section of the Mediterranean sardine (*Sardina pilchardus sardina* -Walb 1792-), in relation to the size and the intrinsic physiological factors of the fish. Due to the high dependence of target strength on the swimbladder cross-section any change in size of the backscattering cross-section would affect target strength.

1) Five samples of alive sardines were collected, in each consecutive season from July 1989 to July 1990. The five samples were collected in: July 1989, mid-October 1989, late December 1989, late April 1990 and July 1990. Fish were kept alive for an adaptation period of four days, following which a sample of 10 individuals was removed for further laboratory analysis.

Before the final treatment each adapted fish was anaesthetized with MS<sub>222</sub>. Immediately after immobilization the fish were transferred to freeze in liquid nitrogen. The sardines were sliced in a cryo-microtome, at 150 $\mu$  interval, having first been encased in blocks of C.M.C. Three dimensional reconstruction was performed by digitizing (from photographed sagittal cross sections), the contour of the inner wall of the bladder, as well as the outline of gonads and stomach. This point to point reconstruction was further used to calculate the volume of swimbladder, gonads and stomach as well as the maximum swimbladder backscattering surface. The process of reconstruction and the relevant calculations were performed in the software SLICER. The software measured volume by volume integration. The points of the swimbladder were projected on a horizontal plane. From the projected points the surface area and its perimeter was calculated. The initial plane was rotated around the fixed axes of the two retina points, in steps of 1°, from 0° to 180°. In each step the projected surface area to the new plane was calculated. Through this procedure the maximum swimbladder surface area and its tilt angle with the initial plane was found. The slices of each fish, were collected and ground in order to estimate its dry weight and the total fat content.

2) The swimbladder volume changes were examined for relationships with fish size (length), relative gonads, stomach size, as well as total lipids contents. It was found that the swimbladder volume can be estimated from two distinct reciprocal models: one for the reproductive period and one for the reproductive dormant period. In the first model, the main explanatory variable of the cross-section variations was the relative size of gonads (positively related with the volume). In the second model the main variable was length (positively related with volume). A third model may describe better young fish with no active lipids deposit.

Seasonal models expressing the volume in relation to the aforementioned parameters were also calculated. It was found that these models had more explanatory power (higher  $\bar{R}^2$ ) than the inter-seasonal ones.

3) The swimbladder maximum back-scattering cross-section changes of sardines was examined for relationships with fish size (length), relative size of gonads and stomach as well as total lipids contents. Result have shown that the swimbladder maximum cross-section can be estimated from two distinct linear models: one for the reproductive period and one for the reproductive dormant period. In the first model, the main explanatory variable of the cross-section variations was the relative size of gonads (positively related with the cross-section). In the second model the main variable was length (positively related with surface). A third model may describe better young fish

with no active lipids deposit.

Seasonal models expressing the swimbladder maximum cross section in relation to the aforementioned parameters were also calculated. It was found that these models had more explanatory power (higher  $\bar{R}^2$ ) than the inter-seasonal ones.

In general, bigger fish tend to have a larger circular bladder cross-section and lipids contents tend to induce irregularities in the cross-section perimeter, reducing circularity. Gonads generally tend to increase circularity, while the stomach has no influence on shape.

4) Theoretical expected values of target strength (T.S.) of fish sampled with trawl-nets, were compared with field measurements, taken with dual-beam echo-sounder. Two different models were used to the simulation of the expected values. The uniform compression model and that of Blaxter. Better results were obtained from the Blaxter model. Comparison result were successful and confirmed that estimated models can be used for the forecast of T.S. According to the results, for the simulation of the theoretically expected values with the field measurements it is preferable to use the recorded range of fish orientation angles.

Sardine avoidance reaction of the boat is reduced with depth and is particularly distinct during the first 20-25 m.

## 8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.

- Allen, J.M., J.H. Blaxter and E.J. Denton. (1976). The functional anatomy and development of the swimbladder-inner ear-lateral line system in Herring and Sprat. *J. mar. biol. Ass. U.K.* **56**:471-486.
- Alti, M and F. Erman. (1961). On the biology of sardine ("*Sardina pilchardus*" Walb.) in the sea of Marmara. *Proc. gen. Fish. Coun. Medit.* Technical paper 47, 6: 303-322.
- Andreu, B. (1965). Importance of the filtering capacity of the gill rakers in the diet of the European sardine ("*Sardina pilchardus* Walb.). *Proc. gen. Fish. Coun. Medit.* Technical paper 36, 8: 321-332.
- Anonymous (1991). Αποτελέσματα έρευνας θαλάσσιας αλιείας με μηχανοκίνητα σκάφη 1988. Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδος, σελ. 25.
- Anonymous (1992). Αποτελέσματα έρευνας θαλάσσιας αλιείας με μηχανοκίνητα σκάφη 1989. Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδος, σελ. 25.
- Azzali, M., G. Buracchi, S. Conti, S. Gambetti and M. Luna. (1985). Relationship between the forms of pelagic fish distribution and nictemeral periods. A tentative model of behaviour. *Obelia* 1985, **XI**(2):471-488.
- Azzali, M., G. Cosimi and M. Luna (1980). Valutazione elettroacustica degli stocks di Sardine ("*Sardina pilchardus*") nell'alto e medio Adriatico. *Quaderni del laboratorio di Tecnologia della Pesca*, **II**(5):1-99.
- Bailey, R.S. (1984). Comparison with other methods. Subject group J. *Rapp. P.-v. Reun. Cons. int. Explor. Mer, Fisheries Acoustics: A Symposium held in Bergen*, **184**:119-122.
- Ballard, W.W. (1964). *Comparative Anatomy and Embryology*. The Ronald Press Company, 618p.
- Batty, R.S., J.H.S. Blaxter and J.M. Richard. (1990). Light intensity and the feeding behaviour of herring *Clupea harengus*. *Marine Biology*, **107**: 383-388.
- Blaxter, J.H.S. (1979). The effect of hydrostatic pressure on fishes. In: "*Environmental physiology of fishes*", ed. M.A. Ali., Plenum press, 722 p.
- Blaxter, J.H.S. and R. Batty. (1984). The herring swimbladder: Loss and gain of gas. *J.mar. biol. Ass. U.K.*, **64**: 441-459.
- Blaxter, J.H.S. and R. Batty. (1990). Swimbladder "behaviour" and target strength. *Rapp. P.-v. Cons. int. Explor. Mer.*, **189**: 233-244.
- Blaxter, J.H.S. and J.R. Hunter. (1982). The biology of the Clupeoid fishes. *Advances in Marine Biology* **20**: 1-223.
- Blaxter, J.H.S., E. Denton and F. Gray. (1971). The herring swimbladder as a gas reservoir for the acoustico-lateralis system. *J.mar. biol. Ass. U.K.*, **59**:1-10.
- Bone, Q. and N.B. Marshall. (1982). *Biology of Fishes*, Blackie & Son Ltd, London, 253 p.
- Buerkle, U. (1983). First look at herring distribution with a bottom referencing underwater towed instrumentation vehicle "BRUTIN". *F.A.O., Fisheries Report*, **300**:125-130.
- Buerkle, U. (1987). Estimation of Fish Length from Acoustic Target Strengths. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **44**:1782-1785.
- Burczynski, J. and M. Azzali. (1977). The quantitative acoustic estimation of sardine stock and distribution in the northern Adriatic sea. *F.A.O./ITA/TF, TF-ITA 3 (ITA), Report to the government of Italy*, 53 p.
- Burczynski, J. and J. Dawson. (1987). Measurements of target strength of fish *in situ*. *International Symposium on Fisheries Acoustics June 22-26, Seattle, Washington, USA*, 1-23 p.
- Casvola, N., G. Marano, L. De Martino and C. Saracino. (1988). Preliminary evaluation of anchovy and sardine stocks on the lower Adriatic. *F.A.O. Fisheries report*, **394**:84-90.
- Clay, C.S. and B. Heist. (1984). Acoustic scattering by fish. Acoustic models and a two-parameter fit. *J. Acoust. Soc. Am.* **75**(4):1077-1083.

- Clay, C.S. and H. Medwin. (1977). *Acoustical Oceanography: Principles and Applications*. John Wiley and Sons Inc., New York, 557 p.
- Craig, R.E. (1984). Fisheries acoustics. *Papp. P.-v. Reun. Cons. int. Explor. Mer.*, **184**:5-6.
- Culley, M. (1970). *The Pilchard. biology and exploitation*. Pergamon press, 241 p.
- Culling, C.F.A., R.T. Allison and W.T. Barr. (1985). *Cellular pathology techniques, Part VIII, Quantitative methods*. Butterworth and Co. (Publishers) Ltd, 672 p.
- Cushing, D.H., F.R. Harden Jones, R.B. Mitson, G.H. Ellis and G. Pearce. (1963). Measurements of the Target-Strength of fish. *Journal Brit. J.R.E.*, **25**(4):299-303.
- Daoulas, Ch. and A.N. Economou. (1986). Seasonal variation of the egg size in the sardine *Sardina pilchardus* Walb., of the Saronikos Gulf: causes and a probable explanation. *J. Fish Biol.*, **28**:449-457.
- Dawson, J.J. and W.A. Karp. (1990). *In situ* measures of target-strength variability of individual fish. *Rapp. P.-v. Reun. Cons. int. Explor. Mer.*, **189**:264-273.
- Demir, M. and N. Demir. (1961). Note on the sardine ("*Sardina pilchardus*" Walb.) and its reproduction in the sea of Marmara. *Proc. gen. Fish. Coun. Medit.*, Technical paper 34, 6:221-223.
- Demirhindi, U. (1961). La nourriture de la sardine (*Sardina pilchardus* Walb.). *Proc. gen. Fish. Coun. Medit.*, Technical paper 36, 6:253-259.
- Demski, L.S. (1973). Central and peripheral mechanisms of teleost sound production. *Amer. Zool.* **13**:1141-1167.
- Denton, E.J. and J.H.S. Blaxter. (1976). The mechanical relationships between the clupeid swimbladder, inner ear and lateral line. *J. mar. biol. Ass.U.K.*, **56**:787-807.
- Denton, E.J. and N.B. Marshall (1979). The buoyancy of Bathypelagic fishes without a gas-filled swimbladder. In "*Readings in Ichthyology*", M.S. Love and G.M. Gailliet. Goodyear Publishing Company, Inc., 210-225 p.
- Dickie, L.M. and P.R. Boudreau. (1987). Acoustic size discrimination in fish. *International Symposium on Fisheries Acoustics, June 22-26, Seattle, Washington, USA*, 1-16 p.
- Do, M.A and A.M. Surti. (1990). Estimation of dorsal aspect target strength of deep-water fish using a simple model of swimbladder backscattering. *J. Acoust. Soc. Am.* **87**(4):1588-1596.
- 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., F.A.O.*, **23**:1-40.
- Edwards, J.I and F. Armstrong. (1983). Measurements of the target strength of live herring and mackerel. *F.A.O. Fisheries Report*, **300**:69-77.
- Edwards, J.I. and F. Armstrong. (1984). Targets Strengths Experiments on Caged Fish. *Scottish Fisheries Bulletin*, **48**:12-20.
- Ehrenberg, J.E. (1983a). A review of *in situ* target strength estimation techniques. *F.A.O. Fisheries Report*, **300**:85-90.
- Ehrenberg, J.E. (1983b). New methods for indirectly measuring the mean acoustic backscattering cross section of fish. *F.A.O. Fisheries Report*, **300**:91-98.
- Farrant, J., C.A. Walter, H. Lee, G.J. Morris and K.J. Clarke. (1977). Structural and functional aspects of biological freezing techniques. *Journal of Microscopy*, **111**(1):17-34.
- Fedotova, T.A. and O.E. Shatoba. (1983). Acoustic backscattering cross section of cod averaged by size and inclination of fish. *F.A.O. Fisheries Report*, **300**:63-68.
- Foote, K.G. (1978). Effect of fish behaviour on echo energy: the need for measurements of orientation distributions. *J. Cons. int. Explor. Mer.* **39**(2):193-201.
- Foote, K.G. (1979a). On representing the length dependence of acoustic target strengths of fish. *J. Fish. Res. Board Can.*, **36**:1490-1496.
- Foote, K.G. (1979b). Fish target strength-to-length regressions for application in fisheries research.

*Ultrasonics international 79, Conference proceedings: 327-332*

- Footo, K.G. (1980a). Averaging of fish target strength functions. *J. Acoust. Soc. Am.* **67**(2):504-515.
- Footo, K.G. (1980b). Importance of the swimbladder in acoustic scattering by fish: A comparison of gadoid and mackerel target strengths. *J. Acoust. Soc. Am.* **67**(6):2084-2089.
- Footo, K.G. (1983). Linearity of fisheries acoustics, with addition theorems. *J. Acoust. Soc. Am.* **73**(6):1932-1940.
- Footo, K.G. (1984). School and multiple echoes. Subject group G. *Rapp. P.-v. Reun. Cons. int. Explor. Mer.* **184**:84-95.
- Footo, K.G. (1985). Rather-high-frequency sound scattering by swimbladdered fish. *J. Acoust. Soc. Am.* **78**(2):688-700.
- Footo, K.G. (1987a). Comparison of walleye pollack target strength estimates determined from *in situ* measurements and calculations based on swimbladder form. *J. Acoust. Soc. Am.* **83**(1):9-17.
- Footo, K.G. (1987b). Fish target strengths for use in echo integrator surveys. *J. Acoust. Soc. Am.* **82**(3):981-987.
- Footo, K.G. (1989). Fisheries acoustics: diagnosis and prognosis. *Proceedings of the Institute of acoustics, Part 3, "Progress in fisheries acoustics"*, 11:1-10.
- Footo, K.G. and E. Ona. (1985). Swimbladder cross sections and acoustic target strengths of 13 pollack and 2 saithe. *FiskDir. Skr. Ser. HavUders.* **18**:1-57.
- Footo, K.G. and J.J. Traynor. (1988). Comparison of walleye pollack target strength estimates determined from *in situ* measurements and calculations based on swimbladder form. *J. Acoust. Soc. Am.* **83**(1):9-17.
- Forbes, S.T. (1984). "In situ" Target Strength Measurements. *Scottish Fisheries Bulletin*, **48**:20-26.
- Freon, P., F. Gerlotto, and M. Soría. (1992). Changes in school structure according to external stimuli: description and influence on acoustic assessment. *Fisheries Research*, **14**:45-66.
- Freon, P., F. Gerlotto, and M. Soría. (1993). Variability of *Harengula* spp. school reaction to boats or predators in shallow waters. *ICES mar. Sci. Symp.*, **196**:30-35.
- Gamulin, T. (1948). Quelques observations sur la ponte de la sardine, (*Clupea pilchardus* W.), dans la zone insulaire de la Dalmatie moyenne. *Acta Adriatica, Split*, **III**(4):1-12.
- Gamulin, T. and D. Zavodnik. (1961). Spawning of the sardine (*Sardina pilchardus* Walb.) off the west coast of Istria (Northern Adriatic). *Proc. gen. Fish. Coun. Medit.*, Technical paper 11, 6:121-123.
- Giri, N.C. (1977). *Multivariate statistical inference*. Academic Press N.Y., p 318.
- Gerlotto, F. and P. Freon. (1992). Some elements on vertical avoidance of fish schools to a vessel during acoustic surveys. *Fisheries Research*, **14**:251-259.
- Goncharov, S.M., E.S. Borisenko, and A.I. Pyanov. (1989). Jack mackerel school defence reaction to a surveying vessel. *Proceedings of the Institute of acoustics, Part 3, "Progress in fisheries acoustics"*, 11:74-78.
- Goodrich, E.S. (1958). *Studies on the structure and development of Vertebrates II*, Dover publications, Inc., 837 p.
- Halldórsson, O. and J.E. Reynisson. (1983). Target strength measurements of herring and capelin *in situ* at Iceland. *F.A.O. Fisheries Report*, **300**:78-84.
- Harden Jones, F.R. (1970). *Fish migration*. Edward Arnold (Publishers) Ltd, 325 p.
- Harden Jones, F.R. and N. Marshall. (1953). The structure and functions of the teleostean swimbladder. *Biological reviews*, **28**:16-83.
- Harden Jones, F.R. and P. Scholes. (1981). The swimbladder, vertical movements, and the target strength of fish. *Ministry of Agriculture, Fisheries and Food Laboratory*: 157-181 p.
- Harder, W. (1975). *Anatomy of Fishes*. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, part I: Text, 612 p.

- Haslett, R.W.G. (1977). Automatic plotting of polar diagrams of target strength of fish in roll, pitch and yaw. *Rapp. P.-v. Reun. Cons. int. Explor. Mer.*, **170**:74-81.
- Hawkins, A. (1977). Fish sizing by means of swimbladder resonance. *Rapp. P.-v. Reun. Cons. int. Explor. Mer.*, **170**:122-129.
- Henderson, R.J. and S.M. Almatar. (1989). Seasonal changes in the lipid composition of herring (*Clupea harengus*) in relation to gonad maturation. *Journ. Mar. Biol. Assoc.*, **69**:323-334.
- Hickling, C.F. (1945). The seasonal cycle in the Cornish pilchard, *Sardina pilchardus* (Walbaum). *Journ. Mar. Biol. Assoc.*, **26**:115-138.
- Hildebrand, M. (1974). *Analysis of Vertebrate structure*. John Wiley and Sons, 710 p.
- Holliday, D.V. (1977). The use of swimbladder resonance in the sizing of schooled pelagic fish. *Rapp. P.-v. Reun. Cons. int. Explor. Mer.*, **170**:130-135.
- Iles, T.D. and R.J. Wood. (1965). The fat/water relationship in north sea herring (*Clupea harengus*), and its possible significance. *Journ. Mar. Biol. Assoc.*, **45**:353-366.
- Jay, C.V. (1993). Structural and volume of the hoki *Macruronus novaezelandiae* (Merlucciidae), swimbladder. *Journal of Fish Biology*, **43**:633-642.
- Καπανταγάκης, Α. και Μ. Ταρουδάκης. (1988). Ηλεκτρονικός εξοπλισμός του σύγχρονου αλιευτικού. Εκδόσεις Υπουργείου Γεωργίας, Δ/ση εκπαίδευσης και πληροφοριών, σελίδες 167.
- Karp, W.A. (1990). Developments in Fisheries Acoustics. *Rapp. P.-v. Reun. Cons. int. Explor. Mer.* **189**:7-8.
- Kent, G.C. (1983). *Comparative anatomy of the Vertebrates*. The C.V. Mosby Company, p 604.
- Kjaergaard, N., L. Bjorno, E. Kirkegaard, and H. Lassen. (1990). Broadband analysis of acoustical scattering by individual fish. *Rapp. P.-v. Reun. Cons. int. Explor. Mer.*, **189**:370-380.
- Kung Huang and C.S. Clay. (1980). Backscattering cross sections of live fish: PDF aspect. *J. Acoust. Soc. Am.* **67**(3):795-802.
- Lagler, K.F., J.E. Bardach, and R.R. Miller. (1962). *Ichthyology*. The University of Michigan press, 545 p.
- Levy, D. (1987). Acoustic methods for tracking the diel vertical migrations of pelagic fishes. *International symposium on fisheries Acoustics June 22-26, Washington, USA*, 1-26 p.
- Lindem, T. (1983). Success with conventional *in situ* determinations of fish target strength. *F.A.O. Fisheries Report*, **300**:104-111.
- Love, R. (1969). Maximum Side-Aspect Target Strength of an Individual Fish. *J. Acoust. Soc. Am.*, **46**(3):746-752.
- Love, R. (1977). Target Strength of an Individual Fish at any aspect. *J. Acoust. Soc. Am.*, **62**(6):1397- 1403.
- MacLennan, D.N. and S.T. Forbes. (1984). Fisheries acoustics: a review of general principles. *Rapp. P.-v. Reun. Cons. int. Explor. Mer.*, **184**:7-18.
- MacLennan, D.N. and E.J. Simmonds. (1992). *Fisheries Acoustics*. Chapman and Hall, 325 p.
- MacLennan, D.N., C.E. Hollingworth, and F. Armstrong. (1989). Target strength and tilt angle distribution of caged fish. *Proceedings of the Institute of acoustics*, **11**(3):11-21.
- MacLennan, D.N., Magurran, A., Pitcher, T., Hollingworth, C. (1990). Behavioural determinants of fish target strength. *Rapp. P.-v. Reun. Cons. int. Explor. Mer.*, **189**:245-253.
- Marchal, E. (1984). Target-strength measurements *in situ*. Subject group E. *Rapp. P.-v. Reun. Cons. int. Explor. Mer.*, **184**:73-80.
- Margetts A.R. (1977). Foreword. *Rapp. P.-v. Reun. Cons. int. Explor. Mer.*, **184**:73-80.
- Marshall, N.B. (1966). *The life of Fishes*. The Word publishing Company, 402 p.
- Marshall, N.B. (1971). *Explorations in the life of Fishes*. Harvard University Press, 204 p.
- Mathisen, O.A. (1992). Hydroacoustics as a tool in fisheries research -"where are we and what are the future expectations?". *Fisheries research*, **14**:91-93.



- McFarland, W.N. (1959). A study of the effects of Anaesthetics on the Behaviour and Physiology of fishes. *Publ. Inst. Mar. Sci. Univ. Texas*, 6:23-55
- McFarland, W.N. (1960). The use of anaesthetics for the handling and transport of fishes. *Calif. Fish Game* 46(4):407-431.
- McKeown, B.A. (1984). *Fish migration*. Croom Helm Ltd, 224 p.
- Midttun, L. (1984). Fish and other organisms as acoustic targets. *Rapp. P.-v. Reun. Cons. int. Explor. Mer.*, 184:25-33.
- Midttun, L. and O. Nakken. (1971). On acoustic identification, sizing and abundance estimation of fish. *FishDir, Skr. Ser. HavUnders.*, 16:36-48.
- Misud, O.A. (1987). Sonar observations of schooling herring: school dimensions, swimming behaviour, and avoidance vessel and purse seine. *Rapp. P.-v. Reun. Cons. int. Explor. Mer.* 189:135-146.
- Mitson, R. and D.V. Holliday. (1990). Future developments in fishing acoustics. *Rapp. P.-v. Reun. Cons. int. Explor. Mer.*, 189:82-91.
- Miyano-hana, Y., K. Ishii and M. Furusawwa. (1990). Measurements and analyses on dorsal aspect target strength of six species of fish at four frequencies. *Rapp. P.-v. Reun. Cons. int. Explor. Mer.*, 189:317-324.
- Μπαζιώγος Γ. (1993). Συμπεριλήψεις Βιοστατιστικής 3. Πανεπιστήμιο Κρήτης Τμήμα Βιολογίας, σελ. 45.
- Morales-Nin, B. and J.P. Pertierra. (1990). Growth rates of the anchovy, *Engraulis encrasicolus* and the sardine *Sardina pilchardus* in the Northwestern Mediterranean Sea. *Marine Biology*, 107:349-356.
- Muzinic, R. (1957a). Sur la croissance de la jeune sardine (*Sardina pilchardus* Walb.) dans les eaux de Split. *Biljeske-Notes*, 12:1-4.
- Muzinic, R. (1957b). Preliminary observations on sardine (*Sardina pilchardus* Walb.) from the west coast of Istria. *Primjeno* 30, VII(11):3-7.
- Muzinic, R. (1958). A contribution to the investigation of relations of sardine (*Sardina pilchardus* Walb.) to the environment. *Acta Adriatica* VIII(10):3-20.
- Muzinic, R. (1963). Further observations on schooling and aggregating behaviour of sardines (*Sardina pilchardus* Walb.). *Proc. gen. Fish. Coyn. medit.*, 7:319-323.
- Muzinic, R. (1964a). The mortality of the sardine (*Sardina pilchardus* Walb.) under experimental conditions. *Arhiv biologiskih nauka - Archiv des sciences biologiques, Beograd*, XVI(1-2):83-98.
- Muzinic, R. (1964b). Some observations on the reactions of the sardine (*Sardina pilchardus* Walb.) to light under experimental conditions. *Acta Adriatica* XI(30):219-226.
- Muzinic, R. (1966). Further observation on the possibilities of keeping sardina (*Sardina pilchardus* Walb.) under experimental condition. *Arhiv biologiskih nauka - Archiv des sciences biologiques, Beograd* XVII(1):71-96.
- Muzinic, R. (1968). Aquarium tagging experiments on sardines with Anchor tags by the use of Tricaine Methane Sulfonate. *Studies and Reviews, General Fisheries Council for the Mediterranean, F.A.O., Rome*, 31 p.
- Muzinic, R. (1970). On the use of anaesthetics in the transportation of sardines. *Stud. Rev. gen. Fish Coun. Mediterr., F.A.O.*, 47:1-23.
- Nakken, O. and K. Olsen. (1977). Target strength measurements of fish. *Rapp. P.-v. Reun. Cons. int. Explor. Mer.*, 170:52-69.
- Neighbors, M.A. (1992). Occurrence of inflated swimbladders in five species of lanternfishes (family Myctophidae), from waters off southern California. *Marine Biology*, 114:335-363.
- Olsen, K. (1976). Some experiments on the effect on target strength of fish undertaking vertical migrations. *International council for the exploration of the sea, Gear and behaviour*.

- committee, C.M. 1976/B, 42:1-14
- Olsen, K. (1979). Observed avoidance behaviour in herring in relation to passage of an echo survey vessel. *International council for the exploration of the sea., Fishing technology committee, C.M. 1979/B* 18:1-21
- Olsen, K. (1980). Echo surveying and fish behaviour. *International council for the exploration of the sea, Fish capture committee, Fish reaction working group Reykjavik, May 1980*, 1-20 p.
- Olsen, K. (1990). Fish behaviour and acoustic sampling. *Rapp. P.-v. Reun. Cons. int. Explor. Mer.* 189:147-158.
- Olsen, K., Tveite, S. and Chakraborty, D. (1977). Acoustic surveying in tropical waters. *Rapp. P.-v. Reun. Cons. int. Explor. Mer.*, 170:248-252.
- Ona, E. (1987a). *In situ* observations of swimbladder compression in Herring. *International Council for the exploration of the sea. June 22-26, Seattle, Washington USA*, 1-15 p.
- Ona, E. (1987b). Tilt angle measurements on Herring. *International Council for the exploration of the sea. June 22-26, Seattle, Washington USA*, 1-7 p.
- Ona, E. (1987c). Physiological factors causing natural variations in target strength. *International Council for the exploration of the sea. June 22-26, Seattle, Washington USA*, 1-15 p.
- Ona, E. (1990). Physiological factors causing natural variations in acoustic target strength of fish. *J. mar. biol. ass. U.K.*, 70:107-127.
- Parrish R.H., R. Serra and W.S. Grant. (1989). The Monotypic Sardines, *Sardina* and *Sardinops*: Their Taxonomy, Distribution, Stock Structure and Zoogeography. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 46:2019-2036.
- Pitcher, T.J. (1986). *The behaviour of teleost fishes*. Croom., Helm Ltd, 553 p.
- Regner, S., D. Regner, I. Marasovic and F. Kršinic. (1987). Spawning of sardine, *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792), in the Adriatic under upwelling conditions. *Acta Adriat.*, 28(1-2):161-198.
- Regner, S., G. Piccinetti-Manfrin and C. Piccinetti. (1988) The spawning of the sardine (*Sardina pilchardus* Walb.) in the adriatic as related to the distribution of temperature. *F.A.O. Fisheries report*, 394:127-132.
- Robinson, B.J. (1983). *In situ* measurements of the target strengths of pelagic fishes. *F.A.O. Fisheries Report*, 300:99-103.
- Rogers, D.F. and J.A. Adams. (1979). *Three dimensional transformations and projections. Principles of interactive computer graphics.*, in Beatty J.C. and K.S. Booth *Tutorial Computer Graphics*. Computer Society Press Advisory Committee, McGraw-Hill, p. 408.
- Romer, A.S. (1964). *The Vertebrate story*. The University of Chicago press. 437 p.
- Rose, G.A. and W.C. Leggett. (1988). Hydroacoustic Signal Classification of Fish Schools by Species., *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 45:597-604.
- Saenger, R.A. (1989). Bivariate Normal Swimbladder Size Allometry Models and Allometric Exponents for 38 Mesopelagic Swimbladdered Fish Species Commonly Found in the North Sargasso Sea. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 46:1986-2002.
- Schmalhausen, I.I. (1968). *Terrestrial Vertebrates*. Academic Press, N.Y., p. 314
- Schnick, R.A., F.P. Meyer and D.F. Walsh. (1986). Status of fishery chemicals in 1985. *Progressive Fish-Culturist*, 48(1):1-17.
- Skrivanic, A. and D. Zavodnik. (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.
- Smith, H.M. (1960). *Evolution of Chordate structure*, Holt, Rinehart and Winston, Inc., 526 p.
- Squire J.L. (1978). Northern anchovy school shapes as related to problems in school size estimation. *Fishery Bulletin U.S.*, 76(2):443-448.

- Steen, J.B. (1970). The swimbladder as a hydrostatic organ. In *"Fish Physiology"*, W.S. Hoar and D.J. Randall, IV, Chapter 10, Academic Press, 559 p.
- Strange, R.J. and J.C. Pelton. (1987). Nutrient Content of Clupeid Forage Fishes. *Transactions of American Fisheries Society*, 116:60-66.
- Thiebaut M.L. (1991). An analytical model of acoustic fish reflection for estimation of maximum dorsal aspect target strength. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 48:1772-1782.
- Thorne, R.E. and G.L. Thomas. (1990). Acoustic Observations of Gas Bubble Release by Pacific Herring (*Clupea harengus pallasii*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 47:1920-1928.
- Traynor, J.J. and N.J. Williamson. (1983). Target strength measurements of walleye poikil (*Theragra chalcogramma*) and a simulation study of the dual beam method. *F.A.O. Fisheries Report*, 300:112-124.
- Traynor, J.J., N.J. Williamson and W.A. Karp. (1990). A consideration of the accuracy and precision of fish-abundance estimate derived from echo-integration surveys. *Rapp. P.-v. Reun. Cons. int. Explor. Mer.*, 189:101-111.
- Verheijen, F.J. (1955). On a method for collecting and keeping clupeids for experimental purposes, together with some remarks on fishery with light-sources and a short description of free cupulae of the lateral line organ on the trunk of the sardine *Clupea pilchardus*. *Estratto dalle "Pubbl. Staz. Zool. Napoli"*, XXVIII:225-240.
- Vucetic, T. (1961). Feeding habits of the adult sardine (*Sardina pilchardus* Walb.). *Proc. gen. Fish. Coun. Medit.*, Technical paper 40:361-364.
- Webster D. and M. Webster, (1974). *Comparative Vertebrate Morphology*, Academic Press N.Y: 371-375 p.
- Wittenberg, J.B., D.E. Copeland, R.L. Haedrich and J.S. Child. (1980). The swimbladder of deep-sea fish: the swimbladder wall is a lipid-rich barrier to oxygen diffusion. *Journ. Mar. Biol. Assoc.*, 60:263-276.
- Wonnacott, T.H. and R.J. Wonnacott. (1981). *Regression: A second course in statistics*. John Wiley and Sons, 558 p.
- Χρυσάκης, Θ.Ν. (1992). *Γραμμική άλγεβρα και Αναλυτική γεωμετρία*. Εκδόσεις Πανεπιστημίου Αθηνών, σελ. 438.
- Young, J.Z. (1991). *The life of Vertebrates*. Clarendon Press, Chapter 9, 212-216.
- Zakharia, M.E. (1990). Variations of fish target strength induced by its movement; a wideband impulse experiment. *Rapp. P.-v. Reun. Cons. int. Explor. Mer.*, 189:398-404.
- Zar, J.H. (1984). *Biostatistical analysis*. Prentice-Hall, Inc., 718 p.
- Zupanovic, D. (1965). Relation between location and schooling of sardine (*Sardina pilchardus* Walb.) and distribution of temperature in the Adriatic sea. *Proc. gen. Fish. Coun. Medit.*, Technical paper No. 6, 8:95-104.