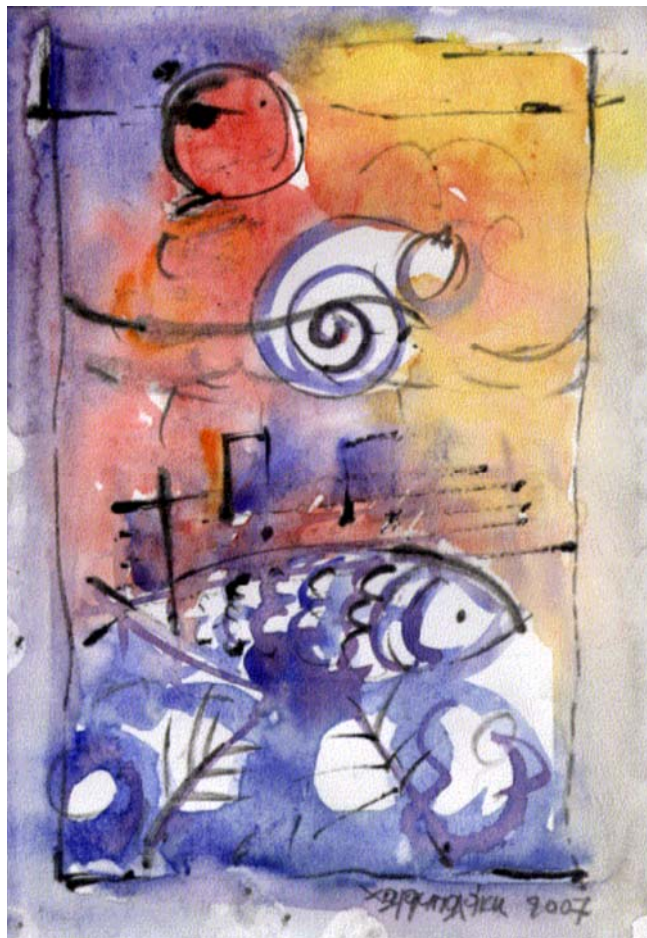




**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
**Τμήμα Βιολογίας**

**Ανάπτυξη Μεθοδολογίας Επικοινωνίας  
με Ηχοαπόκριση  
για την ελεγχόμενη Διαχείριση Πληθυσμών Οστεϊχθύων**



**Διδακτορική Διατριβή**

**Αλίκη Καρούσου**

**Ηράκλειο 2007**

**UNIVERSITY OF CRETE**

Η παρούσα διδακτορική διατριβή χρηματοδοτήθηκε από τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας, μέσω του Προγράμματος για την Ενίσχυση Ερευνητικού Δυναμικού (ΠΕΝΕΔ, Κωδικός Έργου **01ΕΔ758**).



στο συνοδοιπόρο στη Ζωή

Δημήτρη Ζαϊμάκη

### **Επιβλέπουσα Καθηγήτρια**

Μ. Κεντούρη (Καθηγήτρια Πανεπιστημίου Κρήτης)

### **Συμβουλευτική Επιτροπή**

Μ. Κεντούρη (Καθηγήτρια Πανεπιστημίου Κρήτης)

Ε. Ζούρος (Καθηγητής Πανεπιστημίου Κρήτης)

Κ. Δερμών (Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Πανεπιστημίου Πατρών)

### **Εξεταστική Επιτροπή**

Μ. Κεντούρη (Καθηγήτρια Πανεπιστημίου Κρήτης)

Ε. Ζούρος (Καθηγητής Πανεπιστημίου Κρήτης)

Κ. Δερμών (Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Πανεπιστημίου Πατρών)

Θ. Κούκουρας (Καθηγητής Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης)

Μ. Μυλωνάς (Καθηγητής Πανεπιστημίου Κρήτης)

Γ. Καρακάσης (Αναπληρωτής Καθηγητής Πανεπιστημίου Κρήτης)

Μ. Παυλίδης (Επίκουρος Καθηγητής Πανεπιστημίου Κρήτης)

Σ. Πυρίντσος (Επίκουρος Καθηγητής Πανεπιστημίου Κρήτης)

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εκπόνηση μιας διδακτορικής διατριβής είναι στην ουσία μια μύηση στην έρευνα και αυτό αποτελεί στόχο εύγλωττο και προκλητικό. Οι λόγοι για τους οποίους συμβαίνει αυτό, είναι πολλοί και κάποτε υποσυνείδητοι. Ωστόσο, συχνά συμβαίνει ο υποψήφιος ερευνητής να έλκεται από μια αόρατη δύναμη σε αυτή τη μύηση, που είναι πολύ πιο ισχυρή από άλλες επιθυμίες. Και ξαφνικά, νιώθει ότι βρίσκεται στη μέση του ωκεανού με μια σχεδία, ενώ επικρατεί άπνοια. Ο τόπος αναχώρησης έχει πια χαθεί από τον ορίζοντα και ακτή δε φαίνεται πουθενά. Είναι η στιγμή όπου θα ήθελε να γυρίσει πίσω και να εγκαταλείψει το ταξίδι, αλλά υπό αυτές τις συνθήκες – ευτυχώς - δεν μπορεί, παρά μόνο να πάει μπροστά, μέχρι να βρει τον τελικό προορισμό. Και ενώ η ακτή αρχίζει να φαίνεται μακριά στον ορίζοντα, όσο την πλησιάζει τόσο αυτή απομακρύνεται. Τότε συνειδητοποιεί ότι πρόκειται για ένα ταξίδι προσωπικό, που παρά το γεγονός ότι αγγίζει τα όρια του αδύνατου, εξακολουθεί να είναι γοητευτικό.

Η διαδικασία της διδακτορικής διατριβής ήταν για μένα μια άσκηση αυτογνωσίας, την οποία αντιμετώπισα με αυτοπειθαρχία, οργάνωση και συγκέντρωση. Αυτά νομίζω, είναι και τα σημαντικότερα οφέλη που αποκομίζω βγαίνοντας από αυτή την εμπειρία. Ωστόσο, σε μεγάλο βαθμό οφείλω όσα κατάφερα στη μακρά διάρκεια των σπουδών μου, στο σύντροφο και συνοδοιπόρο Δημήτρη Ζαϊμάκη. Οξυδερκής, ουσιαστικός, αποτελεσματικός, αληθινός και δημιουργικός, με υποστήριξε σε κάθε επίπεδο, ενώ παράλληλα μου πρόσφερε χωρίς φειδώ το πιο πολύτιμο δώρο : τη μουσική. Μικρέ μου Ορφέα, σ' ευχαριστώ για την υπομονή και τη σοβαρότητα που έδειξες μέχρι να τελειώσει αυτή η εργασία κι εσένα μικρέ Άγγελε για τις πολλές ώρες που αυτο-απασχολήθηκες. Αν και οι συνθήκες δεν ήταν εύκολες, η εμπειρία αυτή μας έκανε όλους πιο δυνατούς.

Η παρατήρηση της συμπεριφοράς των οργανισμών, ήταν πάντα για μένα, από τα πιο συναρπαστικά κομμάτια της βιολογίας, ενώ οι ήχοι –με την έννοια της μουσικής- αποτελούσαν το κύριο μέσο αυτοσυγκρότησης για την επίτευξη των στόχων μου. Η καθηγήτρια Κεντούρη Μαρουδιώ διαθέτει το σπάνιο χάρισμα να αντιλαμβάνεται τις δυνατότητες των ανθρώπων που έχει απέναντί της και να τις ενισχύει με τον καλύτερο τρόπο, ώστε το αποτέλεσμα να είναι το βέλτιστο. Έτσι, ενθάρρυνε την πραγματοποίηση αυτής της εργασίας και την υποστήριξε με σθένος καθ' όλη τη διάρκειά της. Την ευχαριστώ ειλικρινά για την εμπιστοσύνη της, την κατανόηση, τις καίριες παρατηρήσεις της, αλλά και τη διακριτική της παρουσία που με ώθούσε να βουτήξω στα «βαθιά». Τέλος, για την παρότρυνσή της να διεκδικήσω υποτροφία ΠΕΝΕΔ από τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας.

Ο ρόλος της συμβουλευτικής τριμελούς επιτροπής ήταν ουσιαστικός. Ο καθ. Ζούρος Ε. και η αναπλ. καθ. Δερμών Κ., έδειξαν αληθινό ενδιαφέρον για την πορεία αυτής της εργασίας. Οι οξυδερκείς παρατηρήσεις τους τόσο στον πειραματικό σχεδιασμό, όσο και στα αποτελέσματα βοήθησαν ουσιαστικά στη διαμόρφωση της μελέτης. Η αμείωτη διάθεση του κ. Ζούρου για γνώση, μέσω των απλών αλλά διεισδυτικών ερωτήσεων αφενός, και η άμεση και πρακτική αντιμετώπιση των προβλημάτων από την κ. Δερμών αφετέρου, σε μία κρίσιμη φάση της διατριβής, μου έδωσαν κουράγιο για να ολοκληρώσω την προσπάθεια αυτή. Επίσης, ευχαριστώ τα μέλη της επταμελούς εξεταστικής επιτροπής επικ. καθ. Παυλίδη Μ., επικ. καθ. Πυρίντσο Σ., αναπλ. καθ. Καρακάση Γ., καθ. Κούκουρα Θ. και καθ. Μυλωνά Μ. για τη συμβολή τους στην εμφάνιση του τελικού κειμένου της διατριβής.

Η εργασία αυτή οφείλει πολλά στην ικανότητα, την αποτελεσματικότητα αλλά και την αντίληψη του Δρ. Βασίλη Παπαδάκη – συνεργαζόμενου ερευνητή στο Ινστιτούτο Ηλεκτρονικής Δομής και Λείζερ του ΙΤΕ. Σχεδίασε το απεικονιστικό σύστημα καταγραφής της συμπεριφοράς με τα δύο λογισμικά προγράμματα που το συνοδεύουν. Είχε πάντα το αληθινό ενδιαφέρον, αλλά και τη διάθεση για να αντιμετωπίσουμε τις δυσκολίες –που κάποτε φάνταζαν ανυπέρβλητες- και να λύσουμε τα προβλήματα που παρουσιάζονταν. Παρακολούθησε την πορεία αυτής της εργασίας σχεδόν από την αρχή και μέχρι το τέλος, με πλήθος από τις αποκαλούμενες «φρέσκες ιδέες», που αναζωογονούσαν και αναζωπύρωναν την προσπάθεια για την επίτευξη των αρχικών στόχων, αλλά και τη μελλοντική συνέχιση της έρευνας για την επίδραση που έχει ο ήχος σε ψάρια.

Ευχαριστώ το Δρ. Pascal Divanach για την παραχώρηση των ψαριών για τα πειράματα, όπως και για την παραχώρηση των δεξαμενών στις εγκαταστάσεις του ΕΛΚΕΘΕ προκειμένου να πραγματοποιηθούν τα πειράματα της φάσης αυτής. Επίσης, για τον ενθουσιασμό που τον διακρίνει, αλλά και τις μοναδικές παρατηρήσεις του που αφορούν στη συμπεριφορά των θαλάσσιων οργανισμών.

Η Ασπασία, ο Δημήτρης, η Μαρία, η Νατάσα, η Χρύσα, ο Γιάννης είναι τα μέλη του εργαστηρίου Ιχθυοκαλλιεργειών. Το κλίμα ηρεμίας που επικρατεί, όπως και η ευχάριστη διάθεση, είναι σίγουρα από τις πιο κατάλληλες συνθήκες για τη διεξαγωγή πειραμάτων συμπεριφοράς. Τους ευχαριστώ γι' αυτό, όπως και για τη βοήθειά τους όποτε τη ζήτησα.

Ευχαριστώ τη μονάδα Ιχθυοκαλλιεργειών «Ευρύαλος Α.Ε» και ιδιαίτερα το Γιώργο Θεοδώρου –ή ινδιάνο του Αμβρακικού- για τη συμβολή του στην πραγματοποίηση των πειραμάτων που έγιναν στον Αμβρακικό κόλπο, όπως και το τεχνικό προσωπικό στις εγκαταστάσεις του Φάρου στο ΕΛΚΕΘΕ για τη βοήθειά του στην πραγματοποίηση των πειραματικών δοκιμών εκεί. Κρίσιμη ήταν και η βοήθεια του τεχνικού Κ. Πετρόπουλου για τις ηλεκτρονικές συνδέσεις τόσο των συσκευών που χρησιμοποιήθηκαν στο εργαστήριο Ιχθυοκαλλιεργειών, όσο και για το φορητό σύστημα που χρησιμοποιήθηκε στις δεξαμενές και στον Αμβρακικό.

Κατά τη διάρκεια της παρούσας μελέτης αναπτύχθηκε συνεργασία με το εργαστήριο Υδροακουστικής στο Ινστιτούτο Εφαρμοσμένων Μαθηματικών του ΙΤΕ. Ευχαριστώ τον Δρ. Παναγιώτη Παπαδάκη για τη βοήθειά του στον έλεγχο του ηχητικού εξοπλισμού και των συχνοτήτων που εκπέμπονται μέσα στο νερό. Επίσης, το Γ. Καμαριανάκη (Ινστιτούτο Υπολογιστικών Μαθ/κων, ΙΤΕ) για τη συμβολή του στη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων.

Ευχαριστώ από καρδιάς το φίλο και γιατρό Γ. Ivanova για τη θεμελιώδη, πολύπλευρη, και αμέριστη βοήθειά του. Τον επ. καθ. Πέτρο Ρακιτζή για την άμεση ανταπόκρισή του στα αιφνίδια επιστημονικά ερωτήματα που προέκυπταν κατά καιρούς και την Katy Payne για το ενδιαφέρον της για αυτή την εργασία, αλλά κυρίως για τη συμβολή της στη μελέτη της συμπεριφοράς των θηλαστικών (φάλαινες, ελέφαντες) και την ηθική της πάνω στα θέματα αυτά.

Η φίλη Τσιχριτζή Χριστίνα ήταν πάντα κοντά μου στα εύκολα και στα δύσκολα και μου μετέδιδε μια μακροθυμία που είχε καταλυτική επίδραση στις συνθήκες έντονου stress. Ο Δημήτρης Χατζάκης, αν και πάντα απασχολημένος,

έδειξε δημιουργικό ενδιαφέρον για τις τεχνικές δυσκολίες αυτής της εργασίας και μια πιανιστική προσέγγιση –με τα «μαγικά του χέρια»- των στιγμών πίεσης. Η Γεωργία Μάντζιου έπαιξε ρόλο στην τελική φάση της διδακτορικής διατριβής. Η φιλοξενία της στον τόσο γοητευτικό προορισμό για κάθε βιολόγο –την Αυστραλία- έδωσε την τελική ώθηση για τη συγγραφή της συζήτησης. Τέλος, ο Ανδρέας Λάγκης μου μετέφερε με ενθουσιασμό τις πληροφορίες για τους παραδοσιακούς τρόπους ψαρέματος στο Ιόνιο και τη Σενεγάλη, ενώ η Akemi αποτέλεσε το διαμεσολαβητή ανάμεσα στην Ιαπωνική βιβλιογραφία με τις πολύτιμες πληροφορίες της και εμένα.

Η βοήθεια της Δέσποινας Κεφαλογιάννη στην οργάνωση των συναντήσεων αλλά και τη διαχείριση του προγράμματος ΠΕΝΕΔ ήταν ιδιαίτερα σημαντική. Ευχαριστώ επίσης, την Ε. Λαρεντζάκη για τη γραμματειακή υποστήριξη και τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας για τη χρηματοδότηση της παρούσας εργασίας.

Τέλος, ευχαριστώ τους γονείς μου Νικόλαο και Σοφία Καρούσου. Επίσης, το Μίμη Ζαϊμάκη για την πίστη του στη ζωή και σε εμάς και για την υποστήριξή του όλα αυτά τα χρόνια.

Ο ζωγράφος και αρχιτέκτονας Γιάννης Χαλαμπαλάκης έβαλε την τελεία σε αυτό το ιδιαίτερο και δύσκολο εγχείρημα. Ο πίνακας του εξώφυλλου είναι έργο του φτιαγμένο για αυτή την περίπτωση. Τον ευχαριστώ ειλικρινά.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>15</b>
1.1 Ήχος και ακοή στο θαλάσσιο περιβάλλον.....	15
1.2 Πώς ακούνε τα ψάρια;.....	16
1.3 Μορφές απόκρισης οστεϊχθύων με ήχους ή σε ήχους.....	21
1.4 Χρήση ήχου για τροποποίηση της συμπεριφοράς των ψαριών.....	22
1.5 Στοιχεία ηθολογίας.....	24
1.6 Γενικά στοιχεία για τα είδη που μελετήθηκαν.....	27
α) Τσιπούρα ( <i>Sparus aurata</i> ).....	28
β) Λαβράκι ( <i>Dicentrarchus labrax</i> ).....	29
γ) Φαγκρί ( <i>Pagrus pagrus</i> ).....	30
1.7 Σκοπός της παρούσας μελέτης.....	32
<b>2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....</b>	<b>35</b>
2.1 Γενικά στοιχεία.....	35
2.2 Πειράματα σε ενυδρεία.....	35
2.2.1 Καταγραφή με αναλογικό σήμα.....	38
α) σύστημα απεικόνισης καταγραφής εικόνας.....	38
β) σύστημα εκπομπής ήχου.....	40
γ) ποιοτική εκτίμηση αποτελεσμάτων.....	41
2.2.2 Καταγραφή με ψηφιακό σήμα.....	44
α) σύστημα απεικόνισης καταγραφής εικόνας - λογισμικό καταγραφής.....	44
β) σύστημα εκπομπής ήχου.....	45
γ) ανάλυση αποτελεσμάτων.....	46
2.3 Πειράματα σε δεξαμενές.....	50
2.3.1 Περιγραφή δεξαμενών.....	50
2.3.2 Μεθοδολογία.....	52
2.3.3 Ανάλυση δεδομένων.....	53
2.4 Πειράματα στο πεδίο.....	54
2.4.1 Περιγραφή ιχθυοκλωβών.....	54
2.4.2 Μεθοδολογία.....	55
2.4.3 Πειράματα στον όρμο.....	56
2.4.4 Ανάλυση δεδομένων.....	57
<b>3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>59</b>
3.1 Καταγραφή και ποιοτική εκτίμηση με αναλογικό σήμα σε ενυδρείο.....	59
3.1.1 Συνθήκες πειράματος και εγκλιματισμός πειραματικού πληθυσμού.....	59
3.1.2 Μετρήσεις.....	60



<b>3.2 Καταγραφή και ποιοτική εκτίμηση με αναλογικό και ψηφιακό σήμα σε ενυδρείο.....</b>	<b>72</b>
<b>3.2.1 Συνθήκες πειράματος και εγκλιματισμός πειραματικού πληθυσμού.....</b>	<b>72</b>
<b>3.2.2 Μετρήσεις με αναλογικό σήμα.....</b>	<b>72</b>
<b>3.2.3 Μετρήσεις με ψηφιακό σήμα.....</b>	<b>81</b>
<b>α) Περιγραφική στατιστική ανάλυση.....</b>	<b>81</b>
A) Λαβράκι ( <i>Dicentrarchus labrax</i> ).....	82
B) Φαγκρί ( <i>Pagrus pagrus</i> ).....	88
Γ) Τσιπούρα ( <i>Sparus aurata</i> ).....	96
<b>β) Παλινδρόμηση δεδομένων .....</b>	<b>99</b>
A) Λαβράκι ( <i>Dicentrarchus labrax</i> ).....	99
B) Φαγκρί ( <i>Pagrus pagrus</i> ).....	103
Γ) Τσιπούρα ( <i>Sparus aurata</i> ).....	107
<b>3.3 Καταγραφή και ποιοτική εκτίμηση με ψηφιακό σήμα σε δεξαμενές.....</b>	<b>110</b>
<b>3.4 Καταγραφή και ποιοτική εκτίμηση με ψηφιακό σήμα σε ιχθυοκλωβούς και κλειστό κόλπο.....</b>	<b>122</b>
<b>3.4.1 Εκπομπή ηχητικού σήματος σε ιχθυοκλωβό.....</b>	<b>122</b>
<b>3.4.2 Εκπομπή ηχητικού σήματος έξω από τον ιχθυοκλωβό.....</b>	<b>126</b>
<b>4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....</b>	<b>127</b>
<b>4.1 Ανάπτυξη μεθόδου διεξαγωγής των πειραμάτων.....</b>	<b>128</b>
A) Σύστημα καταγραφής και λήψης εικόνας .....	128
B) Σύστημα ανάλυσης δεδομένων.....	131
<b>4.2 Απόκριση των ειδών τσιπούρα (<i>Sparus aurata</i>), λαβράκι (<i>Dicentrarchus labrax</i>) και φαγκρί (<i>Pagrus pagrus</i>) σε ηχητικό ερέθισμα.....</b>	<b>136</b>
A) Ενυδρείο.....	136
B) Δεξαμενές.....	144
Γ) Πεδίο.....	148
<b>4.3 Επίλογος.....</b>	<b>151</b>
<b>5. ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....</b>	<b>153</b>
SUMMARY.....	155
<b>6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>157</b>

<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....</b>	<b>167</b>
<b>1. Πίνακες μετρήσεων για τα πειράματα αναλογικού σήματος σε ενυδρείο</b>	<b>168</b>
<b>2. Πίνακες μετρήσεων για τα πειράματα αναλογικού σήματος σε ενυδρείο (2<sup>η</sup> σειρά πειραμάτων).....</b>	<b>176</b>
<b>3. Πίνακες μέσου όρου τιμών της μέσης απόστασης του συνόλου των ψαριών από το ηχείο.....</b>	<b>194</b>
<b>A) Λαβράκι (<i>Dicentrarchus labrax</i>).....</b>	<b>194</b>
<b>B) Φαγκρί (<i>Pagrus pagrus</i>).....</b>	<b>196</b>
<b>Γ) Τσιπούρα (<i>Sparus aurata</i>).....</b>	<b>198</b>



## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Ήχος και ακοή στο θαλάσσιο περιβάλλον

Στην ψυχολογία και την φυσιολογία η ακοή θεωρείται μια αίσθηση που οφείλεται στον ερεθισμό των ακουστικών νευρικών κέντρων. Στη φυσική είναι **ενέργεια που έχει τη μορφή δόνησης** και μοντελοποιείται ως ένα διάμηκες κύμα που διαδίδεται διαμέσου ενός ελαστικού υλικού. Ένα ακουστικό σύστημα περιλαμβάνει 3 μονάδες : την ηχητική πηγή που παράγει το σήμα, το μέσο στο οποίο διαδίδεται ο ήχος και το δέκτη που λαμβάνει το σήμα (Σπυρίδης, 1988). Έτσι, ο ήχος είναι ένα παράδειγμα αλληλεπίδρασης από απόσταση, αφού ο πομπός επιδρά στο δέκτη από απόσταση. Αυτό ακριβώς το χαρακτηριστικό είναι το πλέον ενδιαφέρον στην περίπτωση της χρήσης ενός τέτοιου ερεθίσματος στις ιχθυοκαλλιέργειες και γενικότερα στη μελέτη της συμπεριφοράς των ψαριών.

Η ηχητική πηγή δονείται και προκαλεί μεταβολές στην πυκνότητα (ή την πίεση) του μέσου γύρω της. Αυτές οι μεταβολές μεταβιβάζονται στο κατάλληλο όργανο του δέκτη ως κύμα και επειδή γίνονται κατά τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος ο ήχος ορίζεται ως διάμηκες κύμα. Η ταχύτητα διάδοσης του κύματος ( $v_s$ ) είναι συνάρτηση του μήκους κύματος ( $\lambda$ ) και της συχνότητας ( $f$ ) :

$$v_s = \lambda \cdot f$$

- ως μήκος κύματος ( $\lambda$ ) ορίζεται, η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών σημείων ίσου πλάτους πίεσης
- ως συχνότητα ( $f$ ) ο αριθμός των πλήρων κύκλων πίεσης στο δευτερόλεπτο.

Η ταχύτητα είναι μια ιδιότητα του ελαστικού μέσου στο οποίο διαδίδεται το κύμα, ενώ η συχνότητα είναι μια ιδιότητα της ηχητικής πηγής. Στο νερό η **ταχύτητα του ήχου** είναι σχεδόν πενταπλάσια από αυτή στον αέρα (1490 m/sec στο νερό, 340 m/sec στον αέρα στους 20 °C, Πίνακας 1.1), άρα ένα ηχητικό σήμα μέσα στο νερό μπορεί να καλύψει γρήγορα μεγάλη απόσταση. Η ιδιότητα αυτή βρίσκει σημαντική εφαρμογή στην επικοινωνία των μεγάλων θαλάσσιων θηλαστικών (φάλαινες, δελφίνια) (*Megaptera, Physeter, Ziphius, Stenella, Delphinus*) διαμέσου των ήχων που παράγουν (Payne 2000, Dudzinski 1996, Frantzis 2003). Έτσι, ο ήχος διαδίδεται γρηγορότερα -και με σημαντικά μικρότερη απόσβεση με την απόσταση- στο νερό από ό,τι στον αέρα, αντίθετα με ό,τι συμβαίνει με το φως και άλλα ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Για το λόγο αυτό συστήματα εντοπισμού και ανίχνευσης που βασίζονται στην ακουστική χρησιμοποιούνται ευρύτατα και δίνουν μια καλή «εικόνα» του υποβρύχιου «σκηνικού» (π.χ ηχοβολιστικά, υποβρύχια επικοινωνιακά συστήματα και άλλα που βρίσκουν εφαρμογή στην αλιεία, στη μηχανική ή στο στρατό) (Garnier et al., 1996). Η ιδιότητα αυτή του ήχου στο νερό μας δίνει τη δυνατότητα να «καλέσουμε» με ήχο ψάρια που βρίσκονται σε κλειστό κόλπο ή λιμνοθάλασσα, τα οποία όμως έχουν εκπαιδευτεί.

**Πίνακας 1.1:** Τιμές της ταχύτητας του ήχου σε διάφορα μέσα (Hastings, 1997)

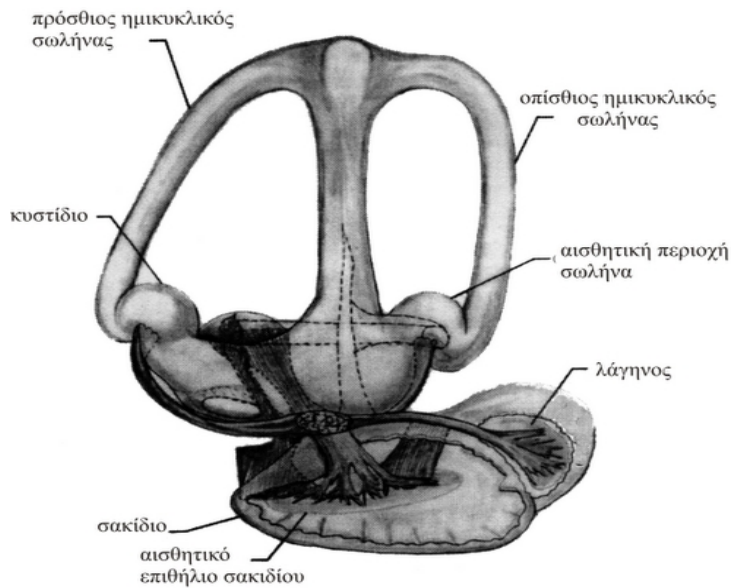
Μέσο Διάδοσης	Θερμοκρασία (°C)	Ταχύτητα του Ήχου (m/s)
Γλυκό νερό	20	1490
Θαλασσινό νερό	20	1540
Γλυκό νερό	35	1500
Μυς	35	1566
Μαλακός ιστός	35	1540

Τα **χαρακτηριστικά των ήχων** διακρίνονται σε αντικειμενικά (συχνότητα, ένταση) και υποκειμενικά (ύψος, ακουστότητα και χροιά). Ο εντοπισμός του ήχου στο νερό συνδέεται με δύο χαρακτηριστικά του : την πίεση και τη μετατόπιση. Η πίεση είναι αυτό που μετράει ένα υδρόφωνο και συνιστάται από σειρά διαδοχικών μεταβολών της τιμής της, που γίνονται κατά τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος που παράγεται από την ηχητική πηγή. Η μετατόπιση του ήχου περιλαμβάνει την ενεργητική κίνηση των σωματιδίων του νερού και χαρακτηρίζεται από τρεις βασικές παραμέτρους : το πλάτος, την ταχύτητα και τη διεύθυνση (Τάτσης, 1986).

Οι ήχοι διακρίνονται σε απλούς, σύνθετους, θορύβους και κρότους. Στους απλούς ήχους η μεταβολή της πίεσης είναι αρμονική συνάρτηση του χρόνου, ενώ στους σύνθετους είναι περιοδική. Ένας σύνθετος ήχος αποτελείται από πολλούς απλούς. Οι θόρυβοι και κρότοι χαρακτηρίζονται από μη περιοδική μεταβολή της πίεσης (Σπυρίδης, 1988). Ως «κατώφλι» αντίληψης του ήχου ορίζεται το επίπεδο του ερεθίσματος, στο οποίο υπάρχει 50% πιθανότητα θετικής απόκρισης από ένα οργανισμό. Το επίπεδο του ερεθίσματος στην ακοή μετριέται σε dB (decibel), μια λογαριθμική μονάδα μέτρησης, η οποία μετρά τη διαφορά  $\Delta$  που έχουν οι ηχοστάθμες δύο εντάσεων  $J_1$  και  $J_2$  μεταξύ τους (Michels, 1994). Το κατώφλι αντίληψης (threshold) διαφορετικών συχνοτήτων για πλήθος αντιπροσωπευτικών θαλάσσιων τελεόστεων, αποτέλεσε το σκοπό σειράς μελετών που οι Tavalga και Wodinsky συνόμισαν σε ειδική έκδοση το 1963. Η γνώση αυτή κρίθηκε απαραίτητη για την περαιτέρω έρευνα των ήχων που παράγουν αυτά τα ψάρια.

## 1.2 Πώς ακούνε τα ψάρια;

Τα ψάρια αντιλαμβάνονται τον ήχο με τη βοήθεια του έσω αυτιού, ενώ σε κάποια είδη και άλλες δομές που βρίσκονται περιφερικά στο έσω αυτί μπορεί να συμβάλλουν στην αντίληψη του ήχου. Το **έσω αυτί** στα ψάρια, μοιάζει με αυτό άλλων σπονδυλωτών και χωρίζεται σε 2 υποπεριοχές : την ανώτερη μοίρα (pars superior) και την κατώτερη μοίρα (pars inferior). Η πρώτη σχετίζεται με τις κινήσεις του σώματος και η δεύτερη με τη βαρύτητα και τα ακουστικά ερεθίσματα (Lovell et al., 2005(a)). Το έσω αυτί περιλαμβάνει 3 ημικυκλικούς σωλήνες και 3 ωτολιθικά όργανα, το κυστίδιο, το σακίδιο και τη λάγηνο. Τα δύο πρώτα χωρίζονται μεταξύ τους με μια περίσφιξη και από το κυστίδιο αποσπώνται οι 3 ημικύκλιοι σωλήνες που διατάσσονται σε 3 κάθετα επίπεδα, ένα για τον καθένα (Εικ. 1.1). Στα εσωτερικά τοιχώματα αυτών των σωλήνων, καθώς και στα τοιχώματα του κυστιδίου και του σακιδίου, καταλήγουν οι ίνες του αιθουσαίου κλάδου του ακουστικού νεύρου που διεγείρονται από ασβεστιτικά κοκκία όταν μεταβάλλεται η θέση του ψαριού (Οικονομίδης, 1997).

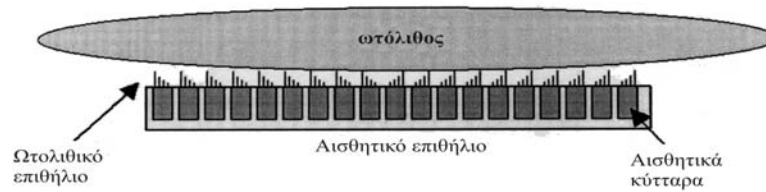


**Εικόνα 1.1 :** Σχέδιο του εσωτερικού αυτιού της ρέγκας του Ατλαντικού (ζωγραφική Retzius, 1881) (Popper & Lu, 2000).

Καθένα από τα **ωτολιθικά όργανα** περιέχει ένα απλό, ασβεστολιθικό ωτόλιθο περίπου 3 φορές πυκνότερο από το υπόλοιπο σώμα του ψαριού. Αυτοί οι ωτόλιθοι βρίσκονται κοντά σε ένα αισθητικό επιθήλιο (macula) και συνδέονται μέσω μιας λεπτής ωτολιθικής μεμβράνης (Popper & Lu, 2000).

Ο ακριβής ρόλος καθενός από τα 3 ωτολιθικά όργανα δεν είναι απόλυτα γνωστός. Αρχικά είχε προταθεί ότι το κυστίδιο μαζί με τους ημικυκλικούς σωλήνες συμμετέχει στην αίσθηση ισορροπίας ενώ το σακίδιο και η λάγηνος στην αντίληψη του ήχου (von Frisch, 1936). Πιο πρόσφατες έρευνες, ωστόσο, υποστηρίζουν ότι τα ωτολιθικά όργανα ενδέχεται να έχουν διαφορετικές λειτουργίες στα διάφορα είδη και ότι καθένα από αυτά σε πολλά είδη παίζει ρόλο τόσο στην ακοή όσο και στην αιθουσαία αίσθηση (Popper & Lu, 2000). Από τη λάγηνο ξεκινά ο ενδολεμφικός αγωγός. Οι ωτόλιθοι του σακιδίου ενώνονται και σχηματίζουν ένα ενιαίο σύνολο που αυξάνεται με διαδοχικά στρώματα, γεγονός που επιτρέπει τον προσδιορισμό της ηλικίας του ψαριού.

**Μετατροπείς της ακουστικής πληροφορίας** είναι τα τριχοειδή αισθητικά κύτταρα που βρίσκονται στο αυτί του ψαριού και στην πλευρική γραμμή και τα οποία είναι στην ουσία όμοια σε ό,τι αφορά τη δομή και τη φυσιολογία με αυτά που βρίσκονται στο αυτί όλων των άλλων σπονδυλωτών. Η κορυφή αυτών των αισθητικών κυττάρων καταλήγει σε βλεφαρίδες και προβάλλει στο σημείο όπου βρίσκονται οι ωτόλιθοι. Όταν οι βλεφαρίδες κάμπτονται, παράγουν ένα δυναμικό υποδοχέα στα κύτταρα, το οποίο διεγείρει τους νευρώνες του 8<sup>ου</sup> κρανιακού νεύρου. Κάμψη των βλεφαρίδων προς την αντίθετη κατεύθυνση προκαλεί υπερπόλωση των τριχοειδών κυττάρων και μείωση του ρυθμού απόκρισης του νευρώνα (Popper, 1997(b)) (Εικ. 1.2).



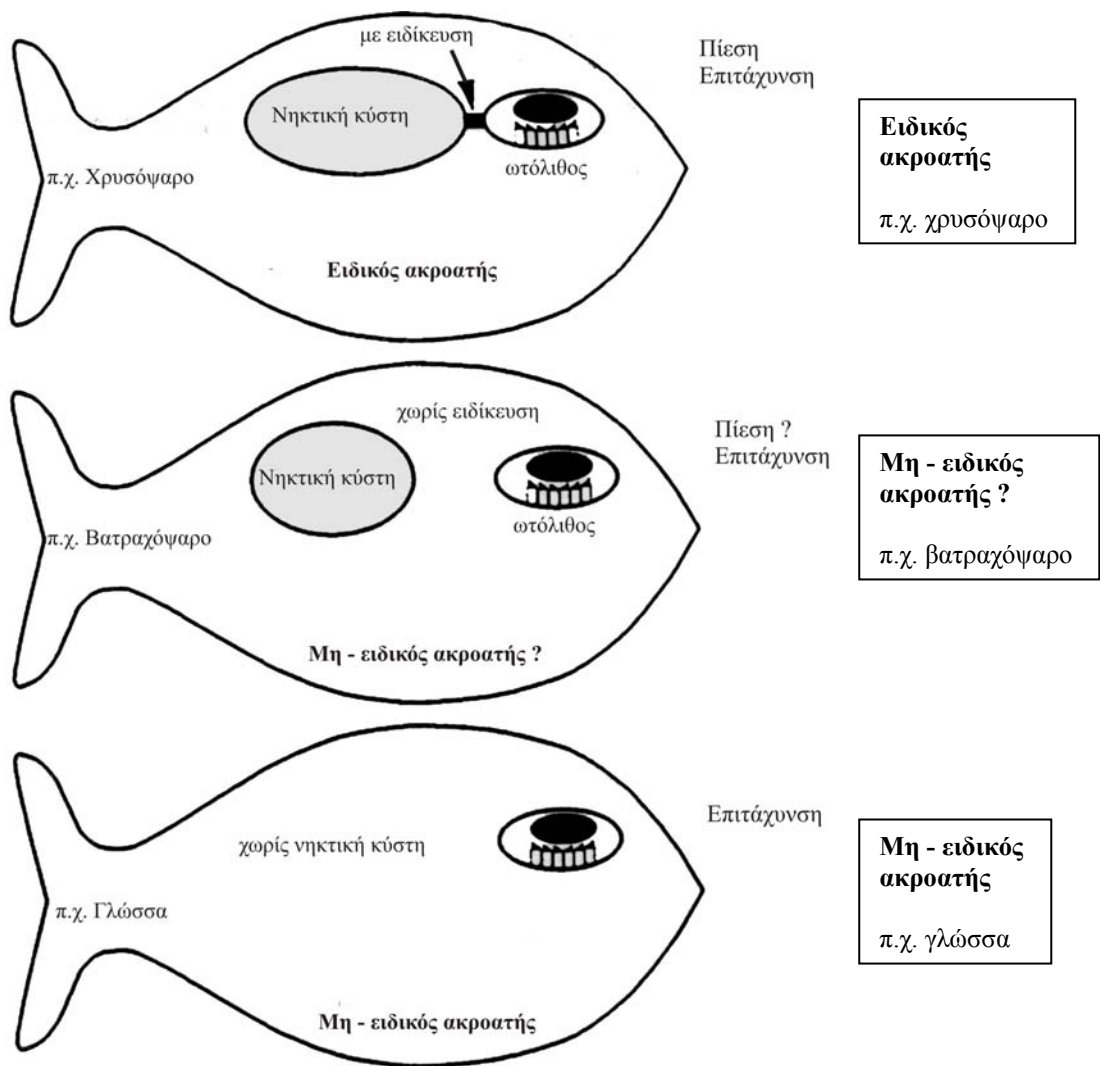
**Εικόνα 1.2** : Σχηματική απεικόνιση του αισθητικού επιθήλιου με τον υπερκείμενο ωτόλιθο (Popper & Lu, 2000).

Ο ήχος φτάνει το αυτί των ψαριών με δύο διαφορετικούς τρόπους. Το σώμα του ψαριού έχει περίπου την ίδια πυκνότητα με αυτή του νερού, ωστόσο ο ωτόλιθος είναι πυκνότερος και κινείται σε διαφορετικό πλάτος και φάση από το υπόλοιπο σώμα (και το αισθητικό επιθήλιο). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την κάμψη των βλεφαρίδων και στην ουσία την «άμεση» διέγερση του εσωτερικού αυτιού (Popper & Lu, 2000).

Ο δεύτερος τρόπος αντίληψης του ήχου από τα ψάρια περιλαμβάνει τη **νηκτική κύστη**, η οποία περιέχει αέρα και άρα είναι λιγότερο πυκνή από το υπόλοιπο σώμα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα τοιχώματά της να δονούνται και αυτή η δόνηση με τη σειρά της, επανεκπέμπει ενέργεια η οποία δυνητικά μπορεί να προκαλέσει κίνηση του ωτόλιθου σε σχέση με το επιθήλιο. Αυτός ο τρόπος διέγερσης είναι «έμμεσος» και φαίνεται να έχει νόημα όταν το εσωτερικό αυτί και η νηκτική κύστη βρίσκονται πολύ κοντά, ή όταν υπάρχει κάποιου είδους σύνδεση μεταξύ των δύο. Μια τέτοια σύνδεση μπορεί να περιλαμβάνει ειδικά οστά, όπως τα οστά του Weber στους ωτόφυσους (*Ostariophysii*) ή προεκβολές της νηκτικής κύστης που καταλήγουν στο έσω αυτί, όπως στο γένος *Myripristis* (soldierfish) (Yan et al., 2000). Επίσης, τα *Anabantoidae* διαθέτουν μια υπερβραγχιακή κοιλότητα παράλληλα στο έσω αυτί, που είναι γεμάτη με αέρα και η οποία επεκτείνει την ακουστική τους ικανότητα για αρκετές χιλιάδες Hz (Wysocki & Ladich, 2001). Τέλος, τα *Clupeoidae* εμφανίζουν αυξημένες ακουστικές ικανότητες λόγω της σύνδεσης που υπάρχει μεταξύ νηκτικής κύστης και μιας κοιλότητας γεμάτης αέρα που βρίσκεται κοντά στο έσω αυτί (Allen et al., 1976).

Τα ψάρια που δοκιμάστηκαν στην παρούσα εργασία, διαθέτουν εσωτερικό αυτί και νηκτική κύστη, δεν ανήκουν όμως στους ωτόφυσους και δεν είναι γνωστή η ύπαρξη κάποιου ειδικού σχηματισμού (αντίστοιχου με εκείνου των *Clupeoidae*) ο οποίος ενδεχομένως να παίζει κάποιο ρόλο στην αντίληψη του ήχου.

Ψάρια τα οποία ακούν κυρίως με άμεση διέγερση, ονομάζονται «**γενικοί ακροατές**» και τείνουν να ακούνε σε μικρότερο εύρος συχνοτήτων από τους «ειδικούς ακροατές» οι οποίοι αντιλαμβάνονται τον ήχο τόσο με άμεση όσο και με έμμεση διέγερση. Στην ουσία, φαίνεται ότι η νηκτική κύστη διευρύνει το πλάτος των ακουστικών συχνοτήτων και αυξάνει την ευαισθησία της ακοής. Οι «**ειδικοί ακροατές**» διαθέτουν κάποιο είδος δομής που φέρνει μια φυσαλίδα με φυσικό τρόπο ή τουλάχιστον ακουστικά, κοντά στο έσω αυτί, ενώ στους γενικούς ακροατές το αυτί και όποια φυσαλίδα υπάρχει, βρίσκονται σχετικά μακριά και δεν μπορούν να συνδυαστούν ακουστικά (Popper, 1997(b)) (Εικ. 1.3). Οι γενικοί ακροατές συνήθως δεν ακούνε ήχους πολύ πάνω από τα 1000 Hz, ενώ ακόμα και στις χαμηλές συχνοότητες έχουν μικρότερη ευαισθησία από τους «ειδικούς», οι οποίοι μπορούν να ακούν ακόμα και σε αρκετές χιλιάδες Hz (κάποια είδη ακόμα και σε υπέρηχους, όπως το *Gadus morhua*).



**Εικόνα 1.3 :** Λειτουργικές διαφορές ανάμεσα στους ειδικούς και γενικούς ακροατές, σχετικές με την πίεση της νηκτικής κύστης και την ευαισθησία στην πίεση και την κίνηση των σωματιδίων (Fay, 1997).

Η παρουσία ειδικών δομών στα ψάρια προκειμένου να βελτιώσουν την ακοή τους δεν περιορίζεται σε συγκεκριμένες ομάδες (taxa). Μάλιστα, φαίνεται να υπάρχει μια ευρεία κατανομή ειδικών ακροατών ανάμεσα σε πολλές ομάδες. Εξαιτίας αυτής της ποικιλίας στην κατανομή προτάθηκε ότι υπάρχει σημαντική επιλεκτική πίεση για βελτιωμένη ακοή, αλλά μόνο λίγοι τρόποι με τους οποίους μια τέτοια εξειδίκευση μπορεί να συμβεί (Popper & Lu, 2000).

Παρόλα αυτά ο ρόλος των διαειδικών διαφορών που εντοπίζονται στο αυτί και τις περιφερικές δομές μεταξύ των ψαριών, παραμένει άγνωστος. Τέτοιες διαφορές αφορούν το μέγεθος και το σχήμα των ημικυκλικών σωλήνων, το μέγεθος και το σχήμα των ωτολιθικών οργάνων, το πρότυπο προσανατολισμού των αισθητικών κυττάρων, καθώς και την κατανομή των διαφορετικών τύπων αισθητικών κυττάρων. Ενδεχομένως, μεγάλη ποικιλία στη δομή του αυτιού να σχετίζεται με την αντίληψη του ήχου. Έτσι, το σακίδιο –το πιο σημαντικό όργανο για την ακοή των ψαριών– εμφανίζει μεγάλη ποικιλομορφία, ενώ η λάγηνος και το κυστίδιο μοιάζουν στα περισσότερα ψάρια με αυτά των άλλων σπονδυλωτών (Popper & Lu, 2000).



Φαίνεται πως η αίσθηση της ακοής παρέχει στα ψάρια μια γενική εντύπωση του περιβάλλοντός τους, περίπου όπως ο άνθρωπος μπορεί να αντιλαμβάνεται το περιβάλλον χρησιμοποιώντας ήχο σε ένα σκοτεινό δωμάτιο.

Ένα άλλο σπουδαίο αισθητήριο όργανο για τα ψάρια, που συνδέεται κατά κάποιο τρόπο με το ακουστικό σύστημα, είναι η **πλευρική γραμμή**. Περί το 1902 ο G.H. Parker θεώρησε ότι τα ψάρια μπορούν να αντιλαμβάνονται τους ήχους με δύο τρόπους : τη νηκτική κύστη και το εσωτερικό αυτί, αλλά και την πλευρική γραμμή. Αυτή περιλαμβάνει ένα αγωγό ο οποίος βρίσκεται κάτω από τα λέπια και επικοινωνεί με το εξωτερικό περιβάλλον με ανοίγματα που βρίσκονται πάνω στα λέπια. Στα τοιχώματα αυτού του αγωγού και μεταξύ των οπών υπάρχουν αισθητικοί δέκτες που λέγονται νευρομαστοί (Οικονομίδης, 1997). Κάθε νευρομαστός περιλαμβάνει κύτταρα στηρικτικά και αισθητικά. Από φυσιολογικής άποψης οι νευρομαστοί μετατοπίζονται με τη δύναμη των ρευμάτων του νερού (κύματα πίεσης) και έτσι διεγείρονται τα αισθητικά κύτταρα και μεταβάλλεται η συνεχής ηλεκτρική δράση του πλευρικού νεύρου. Υπάρχουν, μάλιστα δύο κατηγορίες αισθητικών κυττάρων, εκείνα που κινούνται καλύτερα κατά μήκος του αγωγού και εκείνα που κινούνται καλύτερα προς την αντίθετη κατεύθυνση. Οι νευρομαστοί μπορούν να ανιχνεύουν σήματα πολύ χαμηλής συχνότητας (π.χ. 20-30 Hz) και μέχρι περίπου 200 Hz (Πίνακας 1.2) (Coombs, 1997). Πρόκειται για τη λεγόμενη αίσθηση της «αφής από απόσταση». Σε συνδυασμό με τη νηκτική κύστη φαίνεται να παίζει σημαντικό ρόλο στην ανίχνευση και ανάλυση μικρών δονήσεων που προκαλούνται από αλλαγή πίεσης ή μετατόπιση νερού, όπως αυτή που συμβαίνει από τις κολυμβητικές κινήσεις των διπλανών ψαριών (Denton & Blaxter, 1976). Μια τέτοια λειτουργία είναι ιδιαίτερα σημαντική στο κοπάδιασμα των ψαριών, προκειμένου να προσανατολιστούν και να συντονίσουν τις κινήσεις τους. Τα αισθητήρια όργανα του συστήματος της πλευρικής γραμμής επηρεάζονται από δονήσεις του πεδίου μέσα στο οποίο βρίσκεται το ψάρι, αλλά και από δονήσεις που προκαλούνται μέσα στο ίδιο του το σώμα και οι οποίες για μεγάλο εύρος συχνοτήτων είναι ανάλογες της πίεσης του εξωτερικού πεδίου. Έτσι το ψάρι, έχει τη δυνατότητα να εκτιμήσει με ακρίβεια, τόσο την κατεύθυνση, όσο και την απόσταση της ηχητικής πηγής (Allen et al., 1976).

**Πίνακας 1.2** : Σύγκριση ακουστικού συστήματος και πλευρικής γραμμής στα ψάρια (Coombs, 1997)

	<b>Σύστημα πλευρικής γραμμής</b>	<b>Ακουστικό σύστημα</b>	
<b>Υποδοχείς</b>	Νευρομαστοί	Ωτόλιθοι	Κοιλότητα αέρα
<b>Κατανομή υποδοχέων</b>	Επιφάνεια σώματος	Κρανιακή κοιλότητα	
<b>Ερέθισμα</b>	Διαφορετική κίνηση ανάμεσα στο ψάρι και το περιβάλλον νερό	Επιτάχυνση ολόκληρου του σώματος	Συμπίεση της κοιλότητας
<b>Κωδικοποίηση ερεθίσματος</b>	Πρότυπο διαβάθμισης πίεσης	Επιτάχυνση	Διαβαθμίσεις πίεσης
<b>Εύρος απόστασης</b>	1 μήκος σώματος	10 μήκη σώματος	100 μήκη σώματος
<b>Εύρος συχνοτήτων</b>	< 200 Hz	< 500 Hz	< 200 Hz

Τα ψάρια μπορούν να αποφύγουν τα κινητά ή ακόμα και τα ακίνητα εμπόδια, τα οποία ανακλούν τα ρεύματα του νερού, με τη βοήθεια της πλευρικής γραμμής. Είναι χαρακτηριστικό ότι αν τυφλώσουμε το *Amerius* (αμερικάνικο γατόψαρο), μπορεί να κινείται άνετα χωρίς να πέφτει πάνω στα εμπόδια, όχι όμως και αν του κόψουμε τα νεύρα της πλευρικής γραμμής, οπότε δεν μπορεί πια να αποφύγει τα τοιχώματα του ενυδρείου ή το χέρι που πάει να το πιάσει (Οικονομίδης, 1997).

Οι σολομοί κατά την περίοδο αναπαραγωγής επικοινωνούν διαμέσου της πλευρικής γραμμής, προκειμένου να συνευρεθούν τα αρσενικά με τα θηλυκά. Το σύστημα της πλευρικής γραμμής είναι σημαντικό, εξάλλου, στην συμπεριφορά τροφοληψίας. Πολλά είδη ψαριών ανιχνεύουν τις κινήσεις του νερού που δημιουργούν κάτω από την επιφάνεια πολλά σπονδυλωτά και ασπόνδυλα και σπεύδουν προκειμένου να τα θηρεύσουν (Coombs, 1997). Η κινέζικη πέρκα *Siniperca chuatsi* ανιχνεύει τη ζωντανή λεία της διαμέσου υδροδυναμικών ερεθισμάτων. Το ενδιαίτημα στο οποίο ζει, χαρακτηρίζεται από πολλά μακρόφυτα και συχνά μειωμένη διαύγεια ιδιαίτερα κατά την περίοδο των βροχών. Για το λόγο αυτό, ένα μη οπτικό αισθητήριο σύστημα είναι ιδιαίτερα σημαντικό προκειμένου να τραφεί. Αν εμποδιστούν ταυτόχρονα η όραση και η πλευρική γραμμή το ψάρι αυτό δεν μπορεί πια να τραφεί (Liang et al., 1998).

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι για συχνότητες μικρότερες των 200 Hz και για ηχητικές πηγές σε απόσταση 1-2 μήκη σώματος, τόσο η πλευρική γραμμή όσο και το ακουστικό σύστημα του ψαριού διεγείρονται προκειμένου να καθοριστεί η απόκριση μέσω κάποιου πιθανού προτύπου συμπεριφοράς. Τόσο η τσιπούρα, όσο και το λαβράκι και το φαγκρί διαθέτουν ακουστικό σύστημα και πλευρική γραμμή, αλλά δεν είναι γνωστό σε ποιες συχνότητες ανταποκρίνονται και με ποιο πρότυπο συμπεριφοράς.

### 1.3 Μορφές απόκρισης οστεϊχθύων με ήχους ή σε ήχους

Σημαντικός αριθμός εργασιών δείχνει την **παραγωγή ήχων** από διάφορα είδη ψαριών και πώς αυτοί οι ήχοι σχετίζονται με συγκεκριμένη συμπεριφορά. Για παράδειγμα, ψάρια της οικογένειας Triglidae διεκδικούν την τροφή τους παράγοντας ένα βρυχηθμό (Amorim & Hawkins, 2000), ενώ το καλκάνι (*Scopthalmus maximus*) παράγει ήχους που εξαρτώνται από τις συνθήκες διατροφής και οι οποίοι μεταβάλλονται ανάλογα με την ποσότητα της χορηγούμενης τροφής (Lagardere & Mallekh, 2000). Εξάλλου, η επιθετική συμπεριφορά συνοδεύεται συχνά από ήχους (Santiago & Castro, 1997). Γενικά, φαίνεται πως η παραγωγή ήχων από οστεϊχθείς σχετίζεται με τον κίνδυνο, τη χωροκρατική συμπεριφορά, τη γέννηση αβγών, το κοπάδιασμα, την τροφοληψία ή τον εντοπισμό εμποδίων (Tavolga, 1980). Ωστόσο, οι συσχετισμοί που έχουν γίνει ανάμεσα στην παραγωγή ήχων και τη συμπεριφορά ή την ηχητική επικοινωνία είναι επαρκείς μόνο για πολύ λίγα είδη.

Μεγάλος είναι και ο αριθμός των εργασιών που αφορούν την απόκριση διαφορετικών ειδών ψαριών σε ήχους ή ακόμα και την εκπαίδευση των ψαριών σε συγκεκριμένα ηχητικά ερεθίσματα. Για παράδειγμα, συχνότητα 10 Hz προκαλεί ταχεία διαφυγή στο σολομό (*Oncorhynchus tshawytscha*) και στην πέστροφα (*O. mykiss*) (Knudsen & al., 1997), ενώ κοπάδι από ρέγκες τρέπεται σε φυγή στο αιφνίδιο άκουσμα τεχνητού ερεθίσματος (Domenici & Batty, 1994). Η ιαπωνική τσιπούρα (*Pagrus major*), το σκουμπρί (*Scomber, Trachurus*), ο κέφαλος (*Mugil*), ο μπακαλιάρος (*Gadus, Pollachius*) και η αντζούγια (*Anchoviella*) δείχνουν θετική

απόκριση σε συγκεκριμένα ηχητικά ερεθίσματα (Maniwa, 1976, Chapman, 1976, Moulton, 1960).

Παρά τον αριθμό των παραπάνω εργασιών, παραμένει ένα σημαντικό κενό στις γνώσεις μας. Ο αριθμός των ψαριών για τα οποία οι ακουστικές ικανότητες είναι ικανοποιητικά γνωστές, παραμένει μικρός, ακόμα μικρότερος δε, σε αυτά που έχουν εμπορική σημασία. Είναι φανερό πως τα ψάρια που καλλιεργούνται με επιτυχία είναι μια πολύ καλή περίπτωση μελέτης, αφού συνδυάζουν τη γνώση που θα προκύψει με την άμεση εφαρμογή της, και άρα τη βελτιστοποίηση της παραγωγής ενός δοκιμασμένου προϊόντος.

#### 1.4 Χρήση ήχου για τροποποίηση της συμπεριφοράς των ψαριών

Το γεγονός ότι τα ψάρια αντιλαμβάνονται τον ήχο και αντιδρούν σε αυτόν έδωσε το κίνητρο για έρευνα και εφαρμογή αυτής της ιδιότητας κατά τρόπο επιστημονικό ή απλά παραδοσιακό. Ήδη από τις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα, χρησιμοποιήθηκε πλήθος φυσικών και τεχνητών ήχων (βόμβος, χτύπημα και άλλα) για την πρόκληση απόκρισης από διάφορα είδη ψαριών. Ο ίδιος ο Karl von Frisch φέρεται να εκπαίδευσε ένα γατόψαρο να πλησιάζει όταν εκείνος του σφυρίζει.

Οι πρώτες απόπειρες για χρήση του ήχου προκειμένου να προστατευτούν πληθυσμοί ψαριών, έγιναν γύρω στο 1950 και διευκολύνθηκαν σε μεγάλο βαθμό από την ανάπτυξη των ηχοβολιστικών κατά τη διάρκεια του δεύτερου Παγκοσμίου Πολέμου. Παρόλα αυτά κοινή διαπίστωση εκείνων των εργασιών ήταν ότι πειράματα που γίνονται στο πεδίο και απαιτούν παρατήρηση της συμπεριφοράς των ψαριών εμφανίζουν πολλές δυσκολίες και έχουν μεγάλο κόστος. Από τότε έγιναν πολλές ακόμη προσπάθειες και τελικά η έρευνα της χρήσης κυρίως υπερήχων προκειμένου τα ψάρια να **απομακρύνονται από υδροηλεκτρικούς σταθμούς** παραγωγής ρεύματος στις ΗΠΑ έχει αποδώσει καρπούς. Έτσι, επιτυγχάνεται η προστασία τους και αποφεύγονται μαζικοί τραυματισμοί όταν αυτά παγιδεύονται στα φράγματα των εργοστασίων ή στις υδροηλεκτρικές γεννήτριες (Carlson et al., 1997).

Ηχητικά σήματα φαίνεται να παίζουν σημαντικό ρόλο στην «**πλοήγηση των νυμφών**» στους κοραλλιογενείς υφάλους, προκειμένου αυτές να εδραιωθούν. Σύμφωνα με πρόσφατα οικολογικά δεδομένα, οι νύμφες δεν είναι παθητικά σωματίδια που παρασύρονται και έτσι διασκορπίζονται, αλλά κινούνται ενεργά και χρησιμοποιούν συγκεκριμένα σήματα που τις οδηγούν (Montgomery et al., 2001). Τέτοια σήματα βρέθηκαν ότι είναι χημικά-οσφρητικά, οπτικά και ακουστικά. Ο ήχος μάλιστα, συγκρινόμενος με την όσφρηση και την όραση έχει μεγαλύτερη κατευθυντικότητα και ταξιδεύει σε μεγαλύτερες αποστάσεις μέσα στο νερό με μικρή απόσβεση. Στους βραχώδεις και κοραλλιογενείς υφάλους το «κροτάλισμα» των γαρίδων και η νυχτερινή δραστηριότητα των ψαριών και των αχινών, δημιουργούν μια «νυχτερινή χορωδία» η οποία γίνεται αντιληπτή σε απόσταση δεκάδων χιλιομέτρων. Φαίνεται μάλιστα πως αυτοί οι ήχοι αυξάνουν το καλοκαίρι κατά την περίοδο της νέας σελήνης όταν οι νύμφες εδραιώνονται και παίζουν καθοριστικό ρόλο στην πλοήγησή τους (Montgomery et al., 2001).

Ιδιαίτερα διαδεδομένη μέθοδος αλιείας ειδών της οικογένειας Sparidae, είναι η λεγόμενη “tramata” που εφαρμόζεται στην ανατολική Αδριατική θάλασσα. Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στη χρήση σχοινιών που περικλείουν μια μεγάλη θαλάσσια περιοχή και τα οποία οι ψαράδες χτυπάνε προκειμένου να δημιουργηθούν δονήσεις μέσα στο νερό. Αποτέλεσμα των δονήσεων είναι το **κοπάδιασμα των ψαριών** και η

συγκέντρωσή τους μέσα στην περιοχή που ορίζουν τα σχοινιά, όπου και αλιεύονται με δίχτυα. Θεωρητικά, η περιοχή που «κλείνουν» τα σχοινιά μπορεί να φτάνει τα 4 km<sup>2</sup>, αλλά συνήθως λόγω ακατάλληλου βάθους και μορφολογίας της ακτής και του βυθού, η περιοχή αυτή περιορίζεται στο 1,5 km<sup>2</sup>. Πρόκειται για παραδοσιακή μέθοδο αλιείας, χωρίς αρνητικές επιπτώσεις στο οικοσύστημα, κατά την οποία τα περισσότερα ψάρια αλιεύονται άθικτα (Cetinić et al., 2002). Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει κάποιες ομοιότητες με άλλο παραδοσιακό τρόπο ψαρέματος στη Σενεγάλη. Μεγάλος σε ηλικία άντρας του χωριού, ο οποίος σύμφωνα με την παράδοση δεν έχει φάει ποτέ ψάρι, πηγαίνει με βάρκα στον τόπο του ψαρέματος. Εκεί, σταματάει και χτυπά τη θάλασσα δυνατά με ένα ξύλο. Οι δονήσεις που δημιουργούνται αναγκάζουν κάποια ψάρια να σχηματίσουν μεγάλο κοπάδι, το οποίο ψαρεύουν άντρες του χωριού που έχουν πάει με άλλες βάρκες και έχουν περικυκλώσει την περιοχή, χρησιμοποιώντας πολύ μεγάλα δίχτυα. Ο τρόπος αυτός ψαρέματος γίνεται 1 φορά το χρόνο.

Με δεδομένα τον κατάλληλο εξοπλισμό και τη σωστή πληροφορία, φαίνεται να είναι δυνατή η επίδραση στη συμπεριφορά και τις κινήσεις των ψαριών, επιλέγοντας ένα κατάλληλο ηχητικό σήμα. Έτσι, η χρήση του ήχου θα μπορούσε να οδηγήσει τα ψάρια και αυτό να βρει σημαντική οικονομικά εφαρμογή σε καλλιεργούμενα αλλά και άγρια είδη. Είναι αυτό που παραδοσιακά συμβαίνει σε διάφορα μέρη του κόσμου, με μέσα αρκετά πρωτόγονα (π.χ παράδειγμα Σενεγάλης που προαναφέρθηκε). Η ανάπτυξη μιας έγκυρης μεθόδου για πειράματα που θα επιτύχουν ένα τέτοιο στόχο είναι το πρώτο βήμα. Ήδη υπάρχουν κάποια δείγματα μιας περισσότερο επιστημονικής προσπάθειας η οποία αφορά κατά κύριο λόγο, την Ιαπωνία και την Κίνα που διακρίνονται για τη μακρά ιστορία τους στις ιχθυοκαλλιέργειες.

Έτσι, το 1992 οι Wang και Takemura δημοσίευσαν την έρευνα που έκαναν προκειμένου να αναπτύξουν μια τεχνική με την οποία θα εκπαιδεύονται χρυσόψαρα (*Carassius auratus*) για να συγκεντρώνονται σε κάποιο σημείο με το άκουσμα ηχητικού ερεθίσματος, όπου θα τους χορηγείται τροφή. Μια παρόμοια μελέτη έγινε από τους Anraku et al. το 1997 στην ιαπωνική τσιπούρα (*Pagrus major*), προκειμένου να γίνει εμπλουτισμός σε παράκτια νερά, με άτομα που έχουν εκπαιδευτεί να συγκεντρώνονται για να φάνε, στο άκουσμα συγκεκριμένου ήχου. Πρόσφατα, οι Zhang et al. (2004c), έδειξαν ότι η μαύρη τσιπούρα (*Sparus macrocephalus*) μπορεί να σχηματίζει κοπάδια ακούγοντας ένα ηχητικό ερέθισμα και αυτό μπορεί να αυξήσει την αποτελεσματικότητα της τροφοληψίας της και να μειώσει τα οργανικά υπολείμματα τροφής. Την ίδια χρονιά οι Zhang et al.(a), δημοσίευσαν εργασία που προτείνει ως τεχνική ψαρέματος την εκπομπή ήχου τον οποίο ακολουθούν οι κυπρίνοι (*Cyprinus carpio* και *Ctenopharyngodon idellus*).

Η χρήση ήχου για την τροποποίηση της συμπεριφοράς των ψαριών φαίνεται να είναι ένα πολλά υποσχόμενο πεδίο έρευνας, παρά το γεγονός ότι η έρευνα που έχει γίνει μέχρι τώρα είναι σχετικά περιορισμένη και τα αποτελέσματά της συχνά είναι αμφίβολα. Αυτό σημαίνει ότι μια πιο εντατική ερευνητική προσπάθεια στην κατεύθυνση της βασικής πληροφορίας για την ακουστική ικανότητα, επικοινωνία και συμπεριφορά των ειδών, θα δώσει τα εργαλεία για μια αναπόφευκτη και αποτελεσματική εφαρμογή αυτής της γνώσης.

## 1.5 Στοιχεία ηθολογίας

Η μελέτη της αντίδρασης που εμφανίζουν τα ψάρια σε ηχητικό ερέθισμα αποτελεί ουσιαστικά μια ηθολογική μελέτη, αφού στηρίζεται στην παρατήρηση της συμπεριφοράς του υποκειμένου σε συγκεκριμένο ερέθισμα. Ο ήχος παίζει το ρόλο ενός νέου ερεθίσματος για το περιβάλλον των εκτρεφόμενων ψαριών και με αυτή την έννοια αποτελεί μια καινούρια «εμπειρία» η οποία ενδέχεται να επιφέρει σημαντική επίδραση στην ανάπτυξη των ατόμων (Lehrman, 1970). Καινούρια ερεθίσματα μπορούν να έχουν σαν αποτέλεσμα κοινωνικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μελετούμενων ειδών, ή υιοθέτηση μιας νέας συμπεριφοράς (Anthouard, 1973).

Η αντίδραση ενός οργανισμού σε ένα ερέθισμα μπορεί να είναι ενστικτώδης ή αποτέλεσμα προηγούμενης εμπειρίας και μάθησης (Suboski, 1992). Η **ενστικτώδης συμπεριφορά** καθορίζεται από γενετικούς παράγοντες και εμφανίζεται σε μια ευρεία κλίμακα περιβαλλόντων που έχουν ένα ελάχιστο σύνολο συνθηκών. Έτσι, ο αρσενικός γαστερόστεος (*Gasterosteus aculeatus*) θα εμφανίσει την τυπική επιθετική συμπεριφορά την πρώτη κιόλας φορά που θα συναντήσει ώριμο ερυθρόκοιλο αρσενικό, ακόμα κι αν έχει απομονωθεί ατομικά αμέσως μετά την εκκόλασή του. Θα πρέπει παράλα αυτά, στην απομόνωση να διαθέτει φωλιά ώστε να είναι δυνατό να ορίσει μια περιοχή (Tinbergen, 1952, Hoar, 1962). Τα τελευταία χρόνια φάνηκε πως σημαντικό ρόλο στην ενστικτώδη συμπεριφορά πρέπει να παίζουν οι φερομόνες, δηλαδή συγκεκριμένες χημικές ενώσεις ή μείγματα ενώσεων με διαφορετικούς ρόλους (αναγνώρισης, προσέλκυσης, συναγεμίου, συνάθροισης), και καθορισμένες ιδιότητες ανάλογα με το μέσο στο οποίο απελευθερώνονται (νερό, αέρας). Επίσης, χαρακτηρίζονται από αξιόλογη χρονική διάρκεια (Agosta, 2000). Αν και οι φερομόνες προσδιορίστηκαν αρχικά για ασπόνδυλα στη συνέχεια διαπιστώθηκε ότι υπάρχουν σχεδόν σε όσους οργανισμούς μελετήθηκαν συμπεριλαμβανομένων των ψαριών. Έτσι, οι οσταριόφυσοι αντιδρούν με φόβο όταν πληγωμένος οσταριόφυσος βρεθεί κοντά τους. Επίσης, γοβιοί του είδους *Typhlogobius californiensis* εμφανίζουν επιθετική συμπεριφορά όταν κάποιος άλλος γοβιός εισέλθει σε μια στοά κατειλημμένη ήδη από ένα ζευγάρι. Τέτοιες συμπεριφορές είναι ενστικτώδεις αλλά αποδείχτηκε ότι ειδικά χημικά σήματα δίνουν το σήμα της έναρξης. Αν η διάχυση αυτών των ουσιών εμποδιστεί με κάποιο τρόπο, η παρουσία μόνο των ατόμων που προκαλούν φόβο ή επίθεση στα παραπάνω παραδείγματα, δε φαίνεται να οδηγεί σε αλλαγή της συμπεριφοράς (Agosta, 2000).

**Μάθηση** είναι η διεργασία με την οποία τα ζώα αποκτούν γνώσεις από το περιβάλλον τους (Kandel & al., 1997). Αυτό προϋποθέτει την ιδιότητα του νευρικού συστήματος να συγκρατεί πληροφορίες από το περιβάλλον και να τις χρησιμοποιεί προκειμένου να τροποποιήσει τη συμπεριφορά του. Οι περισσότερες διαδικασίες μάθησης είναι αναστρέψιμες, αφού ό,τι μπορεί να μαθευτεί, μπορεί και να ξεχαστεί. Ωστόσο, η εγχάραξη (imprinting) και ο ψυχικός τραυματισμός (traumatization) προκαλούν μόνιμες αλλαγές στη συμπεριφορά ανθρώπων και ζώων (Lorenz, 1981). Σύμφωνα με τον Suboski (1988) υπάρχουν **3 κύριες διαδικασίες μάθησης α) η αποτύπωση (imprinting) β) η κοινωνική μάθηση γ) και η αντανεκλαστική μάθηση (Pavlovian conditioning)**.

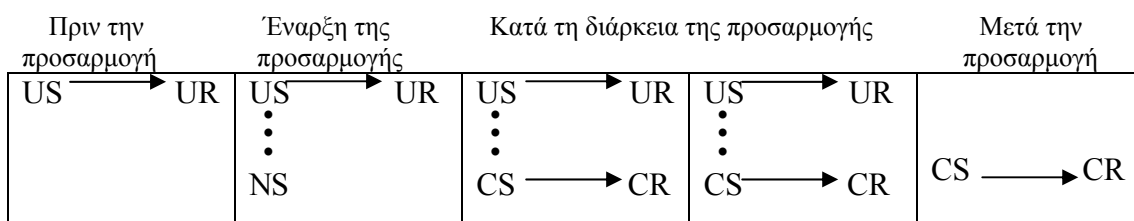
**α) Ως αποτύπωση** θεωρείται η συσχέτιση ενός ορισμένου προτύπου συμπεριφοράς και μιας συγκεκριμένης κατάστασης που δεν χαρακτηρίζεται από καμιά μορφή ενίσχυση, δηλαδή κάποια ανταμοιβή (Lorenz, 1981). Ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό της εγχάραξης είναι ότι συμβαίνει στα πρώτα στάδια ανάπτυξης ενός οργανισμού και φαίνεται να καθορίζεται φυλογενετικά η ακριβής χρονική στιγμή κατά την οποία θα υιοθετηθεί μια συμπεριφορά (Suboski, 1988). Ο

Lorenz ήταν ο πρώτος που ασχολήθηκε συστηματικά με το φαινόμενο αυτό, κάνοντας πειράματα σε χήνες όπου διαπίστωσε ότι τα νεογέννητα ακολουθούν το «αντικείμενο» που θα κινηθεί για πρώτη φορά μπροστά τους, ακόμα κι αν δεν είναι η μητέρα τους. Επίσης, οι σολομοί που μεταναστεύουν, αποτυπώνουν μέσω της όσφρησης τα χαρακτηριστικά του ποταμού στον οποίο γεννήθηκαν και χρησιμοποιούν αυτήν την πληροφορία για να επιστρέψουν όταν πρόκειται να γεννήσουν (Scholz *et al.*, 1976).

**β) Η κοινωνική μάθηση** αφορά κάθε περίπτωση όπου τα άτομα αποκτούν νέα συμπεριφορά ή γνώση για το περιβάλλον τους μέσω παρατήρησης ή αλληλεπίδρασης με άλλα ζώα. Είναι συχνή στα ψάρια, τα πουλιά και τα σπονδυλωτά και μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα κοινό χαρακτηριστικό των σπονδυλωτών. Στα ψάρια παίζει σημαντικό ρόλο στη συμπεριφορά αντιθήρευσης, στη μετανάστευση και τον προσανατολισμό, στην αναζήτηση τροφής, στην επιλογή συντρόφου (Brown & Laland, 2003). Απλοί μηχανισμοί μάθησης μπορούν να δράσουν αποτελεσματικά στην εκπαίδευση νεαρών εκτρεφόμενων ψαριών τα οποία πρόκειται να απελευθερωθούν, ώστε να μπορέσουν να αντιμετωπίσουν τις φυσικές συνθήκες με επιτυχία και έτσι να βελτιωθεί σημαντικά το ποσοστό επιβίωσης τέτοιων ατόμων (Suboski & Templeton, 1989).

**γ) Τα κλασσικά πειράματα του Pavlov** αφορούσαν τη σύνδεση ενός ουδέτερου ερεθίσματος (natural stimulus NS π.χ. ήχος κουδουνιού) με μια φυσική αντίδραση (σιελόρροια) στο σκύλο και οδήγησαν στην ανάπτυξη της θεωρίας της **εξαρτημένης αντανakλαστικής μάθησης (classical conditioning)**. Τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της παρούσας διατριβής εμφανίζουν θεωρητικά κοινά στοιχεία με τα πειράματα αυτά του Pavlov.

Στην πραγματικότητα, ο Pavlov με τα πειράματά του κατάφερε να ποσοτικοποιήσει την εξαρτημένη σιελόρροια των σκύλων. Ο ήχος του κουδουνιού γίνεται ένα εξαρτημένο ερέθισμα (conditioned stimulus CS), αφού παρουσιαστεί μερικές φορές σύντομα πριν δοθεί η τροφή, η οποία παίζει το ρόλο του μη-εξαρτημένου ερεθίσματος (unconditioned stimulus US). Η τροφή προκαλεί σιελόρροια έτσι κι αλλιώς εφόσον δοθεί (unconditioned response UR). Η σιελόρροια αποτελεί την εξαρτημένη απόκριση (conditioned response CR) εφόσον συνδεθεί με ηχητικό ερέθισμα και μπορεί να συμβεί μόνο εφόσον ο σκύλος πεινάει (Lorenz, 1981). Σχηματικά, η διαδικασία της αντανakλαστικής μάθησης μπορεί να αποδοθεί ως εξής:



**Σχήμα 1.1** : Η διαδικασία της αντανakλαστικής μάθησης κατά την οποία ένα ουδέτερο ερέθισμα (NS) γίνεται ένα εξαρτημένο ερέθισμα που σχετίζεται άμεσα από ένα μη-εξαρτημένο ερέθισμα.

Στα πειράματα που έγιναν στην παρούσα διατριβή ο ήχος αποτελεί ένα ουδέτερο ερέθισμα (NS) το οποίο εξελίσσεται σε εξαρτημένο ερέθισμα (CS). Η μεταβολή της θέσης των ψαριών ή το ενδεχόμενο κοπάδιασμα αποτελούν την εξαρτημένη απόκριση (CR). Η τροφή είναι μη-εξαρτημένο ερέθισμα (US), και προκαλεί συγκέντρωση των ψαριών στο σημείο όπου πέφτει έτσι κι αλλιώς εφόσον χορηγηθεί (UR).

Η εξαρτημένη απόκριση (CR) μοιάζει με τη μη-εξαρτημένη (UR), -στην περίπτωση των πειραμάτων του Pavlov είναι και στις δύο περιπτώσεις η σιελόρροια, στα πειράματα που έγιναν στην παρούσα εργασία μπορεί να είναι η συγκέντρωση των ψαριών στο σημείο χορήγησης της τροφής- ωστόσο η πρώτη (CR) είναι συνήθως λιγότερο έντονη και εμφανίζεται αργότερα από τη δεύτερη (UR). Το εξαρτημένο ερέθισμα (π.χ ο ήχος) προκειμένου να είναι αποτελεσματικό πρέπει να περιέχει σημαντικό αριθμό πληροφοριών και να λειτουργεί σαν προειδοποίηση που ετοιμάζει τον οργανισμό για το ενδεχόμενο αντανakλαστικό που σύντομα θα λάβει χώρα (Baldwin & Baldwin, 1998).

Η αντανakλαστική μάθηση έχει κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Καταρχήν, η σύνδεση των δύο ερεθισμάτων (εξαρτημένου και μη –CS, US) γίνεται αυτόματα. Υπάρχει προσαρμογή ώστε η απόκριση του υποκειμένου να είναι η βέλτιστη στο ανεξάρτητο ερέθισμα (US). Μικρές παύσεις ανάμεσα στην έναρξη του εξαρτημένου ερεθίσματος (CS) και του μη-εξαρτημένου (US), διευκολύνουν την αντανakλαστική μάθηση. Οι εξαρτημένες αποκρίσεις είναι σχετικά μόνιμες, αφού μπορούν να εξαλειφθούν μόνο μετά από διαδοχικές αποσβέσεις. Συγκεκριμένα, όσο ένα εξαρτημένο ερέθισμα (CS) δε συνδυάζεται με μη-εξαρτημένο (US), σταδιακά χάνει την ικανότητά του να οδηγεί σε εξαρτημένες αποκρίσεις (CR), και τελικά σταματά να προκαλεί εξαρτημένη απόκριση. Η εξαρτημένη απόκριση του υποκειμένου (CR) είναι η κατάλληλη ώστε να υπάρχει συσχέτιση με το ανεξάρτητο ερέθισμα (US). Έτσι, στα πειράματα του Pavlov η σιελόρροια (CR) προετοιμάζει τον οργανισμό για να φάει (US). Ο ήχος (CS) πρέπει να μπορεί να ανταγωνιστεί άλλους πιθανούς προάγγελους για την τροφή (US). Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για το σχεδιασμό και διεξαγωγή των πειραμάτων όπου τα ερεθίσματα πρέπει να είναι σαφή, προκειμένου να είναι το ίδιο σαφείς και οι αποκρίσεις (Baldwin & Baldwin, 1998).

Στηριγμένα στα πειράματα του Pavlov είναι και εκείνα του Abbott (1972) ο οποίος εκπαίδευσε πέστροφες (*Salmo gairdneri*) μέσα σε δεξαμενή να έρχονται για να φάνε στην πηγή εκπομπής ηχητικού σήματος. Εξάλλου, ο Landless το 1976 παρατήρησε ότι πέστροφες δείχνουν συμπεριφορά τροφοληψίας όταν ακουστεί συγκεκριμένο ηχητικό σήμα και πριν ακόμα χορηγηθεί η τροφή. Τέλος, οι Wright και Eastcott το 1982, έδειξαν ότι τόσο ο κυπρίνος (*Cyprinus carpio*) όσο και ο κέφαλος (*Crenimugil labrosus*), μαθαίνουν να συνδυάζουν συγκεκριμένο ακουστικό σήμα με την προηγούμενα γνωστή χρήση μοχλού αυτόματης ταΐστρας. Όλα τα παραπάνω πειράματα στηρίζονται στις αρχές της εξαρτημένης αντανakλαστικής μάθησης.

Μάθηση επιτυγχάνεται εφόσον υπάρχει **μνήμη**, δηλαδή ικανότητα συγκράτησης και αποθήκευσης των πληροφοριών που προέρχονται από το περιβάλλον και μάλιστα σε δύο στάδια : βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα. Στη μνήμη φαίνεται να παρεμβαίνουν πολλές περιοχές του εγκεφάλου οι οποίες διαφέρουν ανάλογα με το είδος (Kandel & al., 1997). Στα ψάρια, οι συσχετίσεις μεταξύ εξαρτημένων ερεθισμάτων (CS), ανεξάρτητων ερεθισμάτων (US) και εξαρτημένων αποκρίσεων (CR), γίνονται στην παρεγκεφαλίδα, ενώ στα πουλιά και τα θηλαστικά μεταφέρεται στον πρόσθιο εγκέφαλο. Ψάρια στα οποία αφαιρέθηκε ο πρόσθιος εγκέφαλος εξακολουθούσαν να εμφανίζουν εξαρτημένη απόκριση (CR) ή

να θυμούνται την απόκριση στην περίπτωση που η εγχείρηση έγινε μετά την εκπαίδευση. Αυτό που συνήθως άλλαζε ήταν ο χρόνος που απαιτούνταν για να εκπαιδευτούν ή η ταχύτητα απόκρισης. Φαίνεται λοιπόν, ότι ο πρόσθιος εγκέφαλος δε συμβάλει άμεσα στην οργάνωση της συμπεριφοράς, αλλά λειτουργεί σαν ένας μη ειδικός ρυθμιστικός μηχανισμός (Aronson, 1970).

Η μελέτη της συμπεριφοράς –παρά τις δυσκολίες που παρουσιάζει- μπορεί να οδηγήσει σε πολύτιμα συμπεράσματα για το χειρισμό και την αντιμετώπιση των ζωντανών οργανισμών, αφού είναι προφανές ότι οι δυνατότητες βελτίωσης και προσαρμογής μέσω της μάθησης ή της έκθεσης απλά σε διαφορετικά ερεθίσματα είναι εντυπωσιακές. Αυτό αποκτά ιδιαίτερη σημασία στην περίπτωση διαχείρισης συστημάτων ή οργανισμών, όπως τα ψάρια που αλιεύονται ή καλλιεργούνται. Πρόσφατα, η ομάδα για τον Ηθικό Χειρισμό των Ζώων (People for the Ethical Treatment of Animals, PETA), στηριζόμενη στην έρευνα των Brown & Laland (2003) οι οποίοι παρακολούθησαν μεμονωμένα ψάρια για μεγάλη διάρκεια και πρότειναν ότι αυτά εμφανίζουν διακριτές και σταθερές «προσωπικότητες» με χαρακτηριστικά όπως η τόλμη και η λήψη ρίσκου, προωθεί νέες πιο ανθρώπινες πρακτικές αλίευσης (Holden, 2004). Οι ίδιοι ερευνητές απέδειξαν ότι εκτρεφόμενα ψάρια που απελευθερώνονται, μπορούν να πάρουν μαθήματα επιβίωσης από εκπαιδευμένα ψάρια. Μια πρόσφατη περιβαλλοντική εφαρμογή της ρομποτικής είναι η βιο-ρομποτική (bio-robotics), όπου τα ρομπότ που κατασκευάζονται χρησιμοποιούν, μιμούνται ή εμπνέονται από τις βιολογικές λειτουργίες, τη μορφολογία, ή τις συμπεριφορές των φυτών και των ζώων. Έτσι, η αναγνώριση της συμπεριφοράς ψαριών μέσω απεικονιστικών συστημάτων, χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της ποιότητας του νερού των ποταμών (Ejiri, 1996). Οι εφαρμογές, λοιπόν, που έχουν και δύναται να έχουν τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη μελέτη της συμπεριφοράς καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα και δίνουν νέες προοπτικές στην περιβαλλοντική διαχείριση των χερσαίων και θαλάσσιων βιολογικών πόρων.

## 1.6 Γενικά στοιχεία για τα είδη που μελετήθηκαν

Τα είδη που μελετήθηκαν επιλέχθηκαν με γνώμονα τη σημασία τους για τις ιχθυοκαλλιέργειες. Η τσιπούρα και το λαβράκι αποτελούν τα κύρια καλλιεργούμενα είδη στη χώρα μας, με ετήσια παραγωγή που ανέρχεται στους 100.000 τόνους, αναδεικνύοντας έτσι την Ελλάδα σε πρώτη θέση στη Μεσόγειο (Ashley, 2007). Η παραγωγή αυτή καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος της εγχώριας αγοράς (62,3%), ενώ ένα μεγάλο ποσοστό εξάγεται σε άλλες χώρες της Μεσογείου και σε άλλες χώρες της Ευρώπης. Πρόκειται για είδη με μεγάλη προσαρμοστικότητα σε συνθήκες καλλιέργειας που εξακολουθούν να προσελκύνουν το ερευνητικό ενδιαφέρον λόγω της ιδιαίτερης οικονομικής σημασίας τους. Ο τρόπος με τον οποίο αντιλαμβάνονται τους ήχους, αλλά και το είδος των ήχων που επηρεάζει τη συμπεριφορά τους, θα αποτελέσουν πιθανώς ένα νέο τρόπο για γρήγορη συγκέντρωση των ατόμων σε μεγάλες δεξαμενές προκειμένου να τραφούν, να χορηγηθεί θεραπεία ή απλά να γίνουν χειρισμοί που αφορούν τον πληθυσμό.

Το φαγκρί αποτελεί ένα από τα νέα είδη στις ιχθυοκαλλιέργειες, που αν και η εκτροφή του βρίσκεται σε αρχικό ακόμη στάδιο, παρουσιάζει οικονομικό ενδιαφέρον λόγω της γρήγορης ανάπτυξής του (Divanach et al., 1993), της ανθεκτικότητας σε χειρισμούς και ασθένειες (Manooch & Hassler, 1978) και της εξαιρετικής ποιότητας



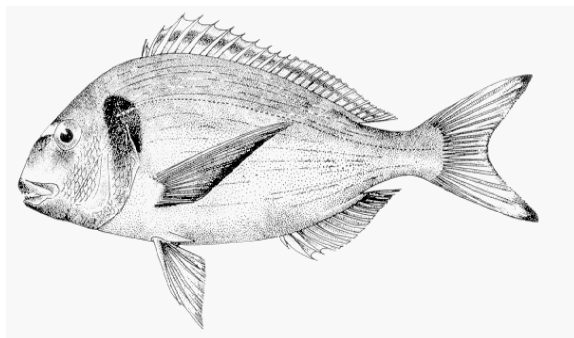
που έχει το κρέας του. Ένα άλλο είδος του ίδιου γένους, η λεγόμενη ιαπωνική τσιπούρα (*Pagrus major*), που βρίσκεται στον Ινδικό και Ειρηνικό ωκεανό, εκτρέφεται με μεγάλη επιτυχία κυρίως στην Ιαπωνία. Αυτό το τελευταίο είδος μάλιστα έχει αποτελέσει επανειλημμένως πειραματικό υλικό σε μελέτες εκπομπής και αντίληψης ηχητικών σημάτων από εκτρεφόμενα ψάρια (Fujiya *et al.*, 1974, Fujiya *et al.*, 1980, Tateda *et al.*, 1985, Ishioka *et al.*, 1986, Ishioka *et al.*, 1987, Furusawa *et al.*, 1992, Fujieda *et al.*, 1993, Iwashita *et al.*, 1999).

#### α) Τσιπούρα (*Sparus aurata*)

Ψάρι που βρίσκεται σχεδόν πάντα σε αφθονία στους πάγκους των ιχθυεμπόρων χάρη στην επιτυχημένη εκτροφή του. Η τσιπούρα [*Sparus aurata* (Linnaeus, 1758)] ανήκει στην οικογένεια των Sparidae :

ΦΥΛΟ	Chordata	Χορδωτά
Ομάδα	Vertebrata	Σπονδυλωτά
Υπόφυλο	Gnathostomata	Γναθόστομα
Υπέκταση	Pisces	Ιχθείς
ΚΛΑΣΗ	Osteichthyes	Οστειίχθεις
Υπόκταση	Actinopterygii	Ακτινοπτερύγιοι
Υπέρταξη	Teleostei	Τελεόστεοι
ΤΑΞΗ	Perciformes	Περκόμορφοι
ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑ	Sparidae	Σπαρίδες
ΓΕΝΟΣ	Sparus	
ΕΙΔΟΣ	S. aurata	Τσιπούρα

Έχει σώμα οβάλ, ψηλό και πρισμένο πλευρικά με μια χαρακτηριστική μαύρη βούλα στα επικαλυματικά, και μια κόκκινη γραμμή μεταξύ των ματιών άλλοτε περισσότερο και άλλοτε λιγότερο εμφανή (Σχ. 1.2). Το ουραίο πτερύγιο χωρίζεται σε 2 λοβούς και έχει χρώμα γκρι με διαβαθμίσεις. Το στόμα είναι μάλλον μικρό και τα δόντια δυνατά για να σπάνε τα όστρακα και τα κελύφη των καρκινοειδών που αποτελούν την κύρια τροφή της τσιπούρας. Το μέγιστο μήκος της φτάνει τα 70 cm και το βάρος τα 5-6 kg. Τα ψάρια που καλλιεργούνται πωλούνται συνήθως γύρω στα 500 g.



Σχήμα 1.2 : Εξωτερική μορφολογία της τσιπούρας (*Sparus aurata*) (Schneider, W., 1990)

Πρόκειται για είδος κύρια σαρκοφάγο του οποίου η διατροφή στηρίζεται σε δίθυρα, καρκινοειδή και λιγότερο σε ψάρια, ενώ ευκαιριακά μπορεί να είναι και

φυτοφάγο (Bauchot & Hureau, 1990). Αυτή η ποικιλία και προσαρμοστικότητα στη διατροφή του, υποδεικνύει μεγάλη ελαστικότητα στους κερκαδικούς ρυθμούς δραστηριότητας, καθώς και στις συνθήκες φωτισμού. Έτσι, ενώ η τσιπούρα δείχνει μια προτίμηση στο χαμηλό φωτισμό, μπορεί σταδιακά να προσαρμοστεί και σε έντονο φως, αλλά απωθείται από το έγχρωμο (Marchesan et al., 2005). Σε συνθήκες εκτροφής, τρέφεται κύρια με βιομηχανική τροφή σε μορφή pellets. Έχει βρεθεί ότι για την τσιπούρα όπως και για το λαβράκι οι απαιτήσεις σε πρωτεΐνες είναι υψηλές – αν συγκριθούν για παράδειγμα με εκείνες των σολομοειδών- και η διαίτά τους θα πρέπει να περιλαμβάνει ποσοστό 45-50% πρωτεϊνών και ελάχιστο 9-12% λιπιδίων (Oliva-Teles, 2000). Το γεγονός αυτό αντικατοπτρίζει την σαρκοφαγική φύση αυτών των ψαριών.

Είναι ευρύαλο και ευρύθερμο είδος πολύ κοινό στη Μεσόγειο. Είναι συνήθως μοναχικό, ή σχηματίζει μικρές ομάδες. Συναντάται σε παράκτιες περιοχές με αμμώδεις βυθούς (λιμνοθάλασσες), συνήθως στα 30m. Τα ενήλικα άτομα μπορούν να φτάσουν και στα 150m, ιδιαίτερα το χειμώνα προκειμένου να αποφύγουν τις χαμηλές επιφανειακές θερμοκρασίες (Bauchot & Hureau, 1990).

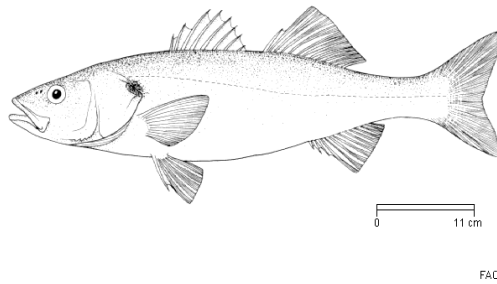
Η τσιπούρα είναι ερμαφρόδιτο πρώτανδρο είδος (D' Ancona, 1949). Σε συνθήκες αιχμαλωσίας όλα τα άτομα λειτουργούν σαν αρσενικά το πρώτο έτος της ζωής τους. Πάντως, η αναλογία των αρσενικών που αναστρέφουν το φύλο τους φαίνεται να ελέγχεται από κοινωνικούς παράγοντες (Zohar et al., 1995).

## β) Λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*)

Πρόκειται για ένα από τα λεγόμενα «πρώτα» ή ακριβά ψάρια το οποίο έγινε προσιτό και διαδόθηκε στο ευρύ κοινό, μετά την επιτυχή του εισαγωγή στις ιχθυοκαλλιέργειες. Το λαβράκι [*Dicentrarchus labrax* (Linnaeus, 1758)] για αρκετά χρόνια κατατάσσονταν στην οικογένεια Serranidae, όταν τελικά το 1994 καταχωρήθηκε στην οικογένεια των Morronidae (Nelson, 1994). Έτσι, η συστηματική του κατάταξη διαμορφώνεται ως εξής:

ΦΥΛΟ	Chordata	Χορδωτά
Ομάδα	Vertebrata	Σπονδυλωτά
Υπόφυλο	Gnathostomata	Γναθόστομα
Υπέρκλαση	Pisces	Ιχθείς
ΚΛΑΣΗ	Osteichthyes	Οστεϊχθείς
Υπόκλαση	Actinopterygii	Ακτινοπτερύγιοι
Υπέρταξη	Teleostei	Τελεόστεοι
ΤΑΞΗ	Perciformes	Περκόμορφοι
ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑ	Morronidae	
ΓΕΝΟΣ	Dicentrarchus	
ΕΙΔΟΣ	D. labrax	Λαβράκι

Το λαβράκι έχει σώμα επίμηκες που καταλήγει σε ομόκερκο ουραίο πτερύγιο (Σχ. 1.3). Το στόμα του μπορεί να ανοίγει διάπλατα και περιέχει δόντια λεπτά επάνω στις σιαγόνες, τον ουρανίσκο και το φάρυγγα (Barnabé, 1978). Είναι είδος γονοχωριστικό, χωρίς εξωτερικά μορφολογικά χαρακτηριστικά που διαχωρίζουν τα 2 φύλα. Το μέγιστο φυσιολογικό μήκος του φτάνει τα 100cm και το βάρος τα 9 kg. Το εμπορεύσιμο μέγεθος στις ιχθυοκαλλιέργειες κυμαίνεται από 250g μέχρι 500g αν και μπορεί να ξεπεράσει αυτό το όριο ανάλογα με τις απαιτήσεις των καταναλωτών.



**Σχήμα 1.3** : Εξωτερική μορφολογία του λαβρακιού (*Dicentrarchus labrax*). (Bauchot, 1987).

Πρόκειται για ταχύτατο θηρευτή μακροπανίδα. Κυνηγάει καρκινοειδή, μαλάκια αλλά και ψάρια. Κολυμπάει με γρήγορες κινήσεις του σώματος και / ή του ουραίου πτερυγίου. Το λαβράκι είναι ιδιαίτερα ευαίσθητο στα μικρότερα μήκη κύματος φωτός, γεγονός που υποδεικνύει καλύτερη προσαρμογή του ματιού σε ημίφως και μια προτίμηση για δραστηριότητα και κυνήγι τις ώρες του δειλινού (Marchesan et al., 2005).

Είναι είδος ευρύθερμο και ευρύαλο, που συναντάται σε όλη τη λεκάνη της Μεσογείου και μετακινείται στις λιμνοθάλασσες και τις εκβολές ποταμών για τα πρώτα χρόνια της ζωής του. Επιστρέφει στη θάλασσα για να αναπαραχθεί (Kelley, 1988). Βρίσκεται σε βάθη μεταξύ 10 και 100 μέτρων.

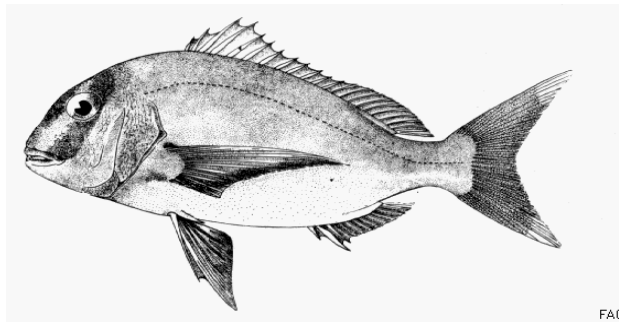
Τα νεαρά άτομα σχηματίζουν κοπάδι, ενώ τα ενήλικα λιγότερο (Herskin & Steffensen, 1998).

### γ) Φαγκρί (*Pagrus pagrus*)

Ένα από τα νέα και πολλά υποσχόμενα είδη στις ιχθυοκαλλιέργειες. Η μεγάλη ομοιότητά του με την τσιπούρα κάνει τους επιστήμονες να πιστεύουν ότι η εκτροφή του μπορεί να είναι το ίδιο επιτυχής (Hernandez-Cruz *et al.*, 1999). Μορφολογικά μοιάζει με την τσιπούρα, όμως ανήκει σε διαφορετικό γένος λόγω σημαντικών φυλογενετικών διαφορών. Η συστηματική κατάταξη του είδους [*Pagrus pagrus* (Linnaeus 1758)] είναι :

ΦΥΛΟ	Chordata	Χορδωτά
Ομάδα	Vertebrata	Σπονδυλωτά
Υπόφυλο	Gnathostomata	Γναθόστομα
Υπέρκλαση	Pisces	Ιχθείς
ΚΛΑΣΗ	Osteichthyes	Οστεϊχθείς
Υπόκλαση	Actinopterygii	Ακτινοπτερύγιοι
Υπέρταξη	Teleostei	Τελεόστεοι
ΤΑΞΗ	Perciformes	Περκόμορφοι
ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑ	Sparidae	Σπαρίδες
ΓΕΝΟΣ	Pagrus	
ΕΙΔΟΣ	P. pagrus	Φαγκρί

Το είδος *Pagrus pagrus* παρουσιάζει μεγάλη γεωγραφική εξάπλωση που εκτός από τη Μεσόγειο, εκτείνεται και στον Ατλαντικό ωκεανό (ανατολικό και δυτικό) (Manooch & Hassler, 1978). Έχει σώμα επίμηκες, πλευρικά πιεσμένο που καταλήγει σε ουραίο πτερύγιο χωρισμένο σε 2 λοβούς (Σχ. 1.4). Έχει στόμα μικρό, με δόντια δυνατά και κοφτερά και στις δύο σιαγόνες. Το φυσικό του χρώμα είναι ρόδινο στη ράχη και ασημί στα πλευρά, αλλά σκουραίνει σημαντικά σε συνθήκες stress. Αυτό αποτελεί και ένα από τα σημαντικότερα εμπόδια στην εκτροφή του, αφού τα άτομα που καλλιεργούνται είναι σκουρότερα από τα άγρια. Φαίνεται πως το φαγκρί είναι ένα από τα είδη που διαμορφώνει το χρώμα του ανάλογα με τις αλλαγές του περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκεται. Παρόλα αυτά, έκθεσή του σε υψηλή ιχθυοφόρτιση (παράγοντας stress) μέσα σε άσπρη δεξαμενή δεν ακολουθείται από ανάκαμψη και εγκλιματισμό στις συνθήκες αυτές, κάτι που συμβαίνει όταν τα ψάρια βρίσκονται σε μαύρη δεξαμενή (Rotllant *et al.*, 2003).



**Σχήμα 1.4** : Εξωτερική μορφολογία του φαγκριού (*Pagrus pagrus*) (Cervigón *et al.*, 1992)

Πρόκειται για ένα ακόμη θηρευτή που τρέφεται με καβούρια, γαρίδες, καλαμάρια, αλλά και μικρότερα ψάρια (Manooch & Hassler, 1978). Η όραση παίζει σημαντικό ρόλο στον εντοπισμό της τροφής και τη γρήγορη αντίδραση του ψαριού, ενώ η δομή των φωτοϋποδοχέων καθιστά το φαγκρί ικανό να τραφεί και κάτω από περιορισμένο φωτισμό (πχ. σε μεγαλύτερα βάθη) (Roo *et al.*, 1999). Εξάλλου, συναντάται σε βάθος από 20 μέχρι 150m και σε βυθούς αμμώδεις ή με πέτρες. Το μέγιστο μήκος του μπορεί να είναι 75cm και το βάρος του 7 kg. Είναι είδος ερμαφρόδιτο, πρωτόγυνο. Σχηματίζει κοπάδια, αλλά δε μεταναστεύει.

### 1.7 Σκοπός της παρούσας μελέτης

Η παρούσα μελέτη έχει 2 διακριτούς στόχους :

- α) ανάπτυξη** ενός ολοκληρωμένου **συστήματος καταγραφής και ποσοτικής ανάλυσης** δεδομένων **συμπεριφοράς**  
**β) περιγραφή** της **συμπεριφοράς** 3 εκτρεφόμενων ειδών (*Sparus aurata*, *Dicentrarchus labrax*, *Pagrus pagrus*), όταν εκτίθενται σε ηχητικό ερέθισμα.

Η τεχνολογία που έχει αναπτυχθεί για τη μελέτη της συμπεριφοράς στα ψάρια έχει οδηγήσει στο **σχεδιασμό σύγχρονων απεικονιστικών συστημάτων**, με υψηλή ανάλυση εικόνας (Graham et al., 2004). Η χρήση κάμερας είναι το βέλτιστο εργαλείο για την απεικόνιση και καταγραφή της συμπεριφοράς (Kato et al., 1996, Harvey et al., 2001, O' Neill et al., 2003). Στα πειράματα απόκρισης ψαριών σε ηχητικά ερεθίσματα, η εξέλιξη των απεικονιστικών συστημάτων έχει βελτιώσει σαφώς την παρατήρηση, ωστόσο **τα δεδομένα αναλύονται** στη συνέχεια **οπτικά**. Αυτό σημαίνει ότι: α) τα αποτελέσματα εξαρτώνται από την υποκειμενική κρίση του εκάστοτε παρατηρητή ο οποίος πραγματοποιεί τις μετρήσεις β) η ανάλυση είναι χρονοβόρα και επίπονη γ) ο αριθμός των μετρήσεων που μπορούν να γίνουν είναι περιορισμένος και δ) η στατιστική επεξεργασία στηρίζεται σε ένα σχετικά μικρό αριθμό μετρήσεων.

Κατά τη διάρκεια της παρούσας μελέτης, αναπτύχθηκε ένα σύστημα απεικόνισης της συμπεριφοράς – με χρήση ψηφιακής κάμερας – το οποίο συνδέεται με **λογισμικό πρόγραμμα ανάλυσης των δεδομένων**. Το κενό που έρχεται να καλύψει το παρόν σύστημα στο χώρο της έρευνας που αφορά τη συμπεριφορά ιχθύων, είναι η **ποσοτικοποίηση των δεδομένων με τρόπο αυτόματο, αντικειμενικό και ακριβή**. Έτσι, τα αποτελέσματα δεν εξαρτώνται πλέον από τις οπτικές μετρήσεις του παρατηρητή, ενώ παράλληλα λαμβάνεται μεγάλος αριθμός δεδομένων που δίνει τη δυνατότητα μιας αξιόπιστης στατιστικής επεξεργασίας. Τα μεγέθη που υπολογίζονται με το σύστημα αυτό είναι η μέση απόσταση του συνόλου των ψαριών από δεδομένο σημείο, η ανάλυση της απόστασης αυτής σε οριζόντια και κάθετη μετακίνηση και η μέση ταχύτητα ως προς δεδομένο σημείο.

Τα συστήματα που υπάρχουν μέχρι σήμερα για την παρακολούθηση και ποσοτική έκφραση της συμπεριφοράς ιχθύων μέσω συγκεκριμένων μεγεθών (πχ. απόσταση από δεδομένο σημείο, μήκος ψαριών, ταχύτητα κίνησης) απαιτούν μία από τις παρακάτω διαδικασίες :

- 1) **Μεταφορά δεδομένων** από κάμερα σε υπολογιστή και στη συνέχεια ανάλυση με ειδικό λογισμικό
- 2) **Μετατροπή δεδομένων** από αναλογικά σε ψηφιακά
- 3) **Μετρήσεις** σε οθόνη video από τον **παρατηρητή** με χρήση ειδικού λογισμικού
- 4) Ανάλυση δεδομένων με ειδικό λογισμικό **μόνο για ένα ψάρι**
- 5) **Τοποθέτηση πομπού** πάνω στα ψάρια του πειράματος και **χρήση δέκτη** (υδρόφωνου) ή μέτρηση της σκέδασης εκπεμπόμενου ήχου, σε συνδυασμό με ειδικό λογισμικό
- 6) Χρήση ειδικού **μαθηματικού μοντέλου**

Το λογισμικό πρόγραμμα ανάλυσης των δεδομένων που σχεδιάστηκε κατά τη διάρκεια της παρούσας διατριβής, συγκρινόμενο με τα υπάρχοντα συστήματα :

- 1) **Δεν απαιτεί μεταφορά δεδομένων** από την κάμερα στον υπολογιστή – τα δεδομένα καταγράφονται άμεσα στον υπολογιστή

- 2) Δεν απαιτεί μετατροπή δεδομένων από αναλογικά σε ψηφιακά – τα δεδομένα είναι σε ψηφιακή μορφή
- 3) Οι μετρήσεις γίνονται αυτόματα
- 4) Μπορεί να γίνει ανάλυση δεδομένων για περισσότερα από ένα ψάρια
- 5) Δεν απαιτεί τοποθέτηση πομπού πάνω στο ψάρι
- 6) Ο σχεδιασμός μαθηματικού μοντέλου πρόβλεψης της συμπεριφοράς των ψαριών σε ήχο, μπορεί να αποτελέσει μελλοντικό στόχο.

Η πλειοψηφία των ειδών ιχθύων στα οποία έχει μελετηθεί η ικανότητα αντίληψης ηχητικού ερεθίσματος, εμφανίζει θετική απόκριση σε ερεθίσματα συχνότητας από 50 ως 2000 περίπου Hz, ενώ υπάρχουν κάποια είδη που μπορούν να αντιληφθούν ήχους μέχρι 5000 Hz. Γενικά, οι δυνατότητες απόκρισης στον ήχο εξαρτώνται από τη φυσιολογία του κάθε είδους (Hawkins, 1973, Tavoilga, 1987).

Σε ότι αφορά στη συμπεριφορά που εμφανίζουν η τσιπούρα, το λαβράκι και το φαγκρί σε ηχητικό ερέθισμα, δεν υπάρχουν δεδομένα με εξαίρεση κάποια πρόσφατα αποτελέσματα για το ακουστικό φάσμα του λαβρακιού (Lovell et al., 2005(a)). Με την παρούσα μελέτη, γίνεται η εισαγωγή της ακουστικής συμπεριφοράς σε τρία επιτυχημένα είδη της μεσογειακής ιχθυοκαλλιέργειας. Λόγω της αποδεδειγμένης ικανότητας των συγκεκριμένων ειδών (τσιπούρα, λαβράκι, φαγκρί) για μάθηση και μνήμη (Anthouard et al., 1986, Paspatis et al., 1999, Paspatis et al., 2000, Paspatis et al., 2003), η μέθοδος που επιλέξαμε για να μελετήσουμε τη συμπεριφορά τους σε ηχητικό ερέθισμα είναι αυτή της εξαρτημένης αντανακλαστικής μάθησης (classical conditioning). Έτσι, το ηχητικό ερέθισμα συνδύαστηκε με τη χορήγηση τροφής, προκειμένου α) να μελετηθεί η συμπεριφορά των τριών αυτών ειδών στο ενυδρείο, β) λόγω της εμπορικής τους σημασίας, να ελεγχθεί κατά πόσο η συμπεριφορά που εκδηλώνουν οι τσιπούρες μέσα σε δεξαμενή και στο πεδίο μπορεί να αποτελέσει διαχειριστική μέθοδο. Συγκεκριμένα, αν ο πληθυσμός των ψαριών μπορεί να εκπαιδευτεί ώστε ακούγοντας το ηχητικό σήμα να συγκεντρώνεται σε συγκεκριμένο σημείο, επιτυγχάνεται καλύτερη διαχείριση στη χορηγούμενη τροφή έτσι ώστε να καταναλώνεται ακριβώς η ποσότητα εκείνη που τα ψάρια τρώνε και όχι περισσότερη, με αποτέλεσμα να μην επιβαρύνεται το περιβάλλον με πρόσθετο οργανικό φορτίο. Επιπλέον, μία τέτοια μέθοδος θα μπορεί να εφαρμοστεί για άλλους σκοπούς όπως χορήγηση φαρμακευτικής αγωγής ή πραγματοποίηση διαφορετικών χειρισμών στα εκτρεφόμενα είδη. Τέλος, μπορεί δυνητικά να αποτελέσει διαχειριστική μέθοδο εκπαιδευμένων πληθυσμών ιχθύων σε κλειστούς κόλπους ή λιμνοθάλασσες – με την έννοια της ελεγχόμενης χορήγησης τροφής. Δεν προτείνεται ως αλιευτική μέθοδος αφού τα ψάρια γρήγορα θα συνδύαζαν τα χαρακτηριστικά του ήχου με αντίδραση «διαφυγής», κι έτσι θα ακυρώνονταν η μέθοδος για οποιαδήποτε άλλη χρήση.

Η πειραματική διαδικασία χωρίζεται σε δύο μέρη. Στο πρώτο μέρος, έγιναν πειράματα σε ενυδρείο με τσιπούρες, με αναλογικό σύστημα καταγραφής και οπτικό τρόπο ανάλυσης των δεδομένων. Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης και έχοντας τα πρώτα αποτελέσματα απόκρισης στον ήχο, σχεδιάστηκε το ψηφιακό σύστημα απεικόνισης και ανάλυσης των δεδομένων. Έτσι, το δεύτερο μέρος της πειραματικής διαδικασίας περιλαμβάνει τα πειράματα που έγιναν με χρήση του νέου συστήματος, αλλά και τις ρυθμίσεις που απαιτούνταν ώστε το σύστημα αυτό να καταλήξει στην τελική του μορφή. Έγιναν πειράματα στο ενυδρείο με λαβράκια και φαγκριά, πειράματα σε δεξαμενές 10 m<sup>3</sup> με τσιπούρες και τέλος πειράματα με τσιπούρες σε ιχθυοκλωβούς της μονάδας ιχθυοκαλλιεργειών Ευρύαλος Α.Ε., (Μενίδι Αιτωλοακρνανίας) και απευθείας στη θάλασσα (Μενίδι Αιτωλοακρνανίας).

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

### 2.1 Γενικά στοιχεία

Η μελέτη της συμπεριφοράς ψαριών απαιτεί τη χρήση αξιόπιστου συστήματος παρακολούθησης αυτών. Με δεδομένο ότι η ανθρώπινη παρουσία επηρεάζει σημαντικά τη συμπεριφορά (Baras & Lagardère, 1995), η παρακολούθηση πρέπει να γίνει με **χρήση κάμερας και λήψη video**. Οι εγγραφές αυτές μπορούν στη συνέχεια να μελετηθούν και να αναλυθούν. Κατά τη διάρκεια αυτής της εργασίας έγινε σημαντική βελτίωση στην ποιότητα των εγγραφών, η οποία υπαγορεύτηκε από τις ανάγκες των πειραμάτων και την ιδιαιτερότητα των μελετούμενων οργανισμών. Έτσι, ενώ αρχικά οι εγγραφές γίνονταν με σταθερή αναλογική κάμερα, στη συνέχεια έγιναν με φορητή ψηφιακή κάμερα και τελικά με ψηφιακή και άμεση εγγραφή σε φορητό υπολογιστή. Τα μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα της κάθε μεθόδου αναφέρονται αναλυτικά στη συζήτηση αφού αποτελούν σημαντικό μέρος της πειραματικής διαδικασίας.

Τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν διακρίνονται ανάλογα με το περιβάλλον διεξαγωγής τους σε 3 κύριες κατηγορίες : **α) σε ενυδρεία β) σε δεξαμενές και γ) στο πεδίο**. Οι παρατηρήσεις της αντίδρασης των ψαριών στο ηχητικό ερέθισμα σε καθένα από αυτά τα περιβάλλοντα, οδήγησαν σε κάποιες αλλαγές του πρωτόκολου που ακολουθήθηκε, ώστε να βελτιωθούν τα χαρακτηριστικά του ηχητικού σήματος. Έτσι, τα τελευταία πειράματα - που έγιναν σε δεξαμενές- φαίνεται να έχουν το βέλτιστο πρωτόκολλο σε ό,τι αφορά την απόκριση και εκπαίδευση των ψαριών στον ήχο.

Πραγματοποιήθηκαν πειράματα σε νεαρά **λαβράκια και φαγκριά**, καθώς και σε **τσιπούρες** διαφορετικού βάρους.

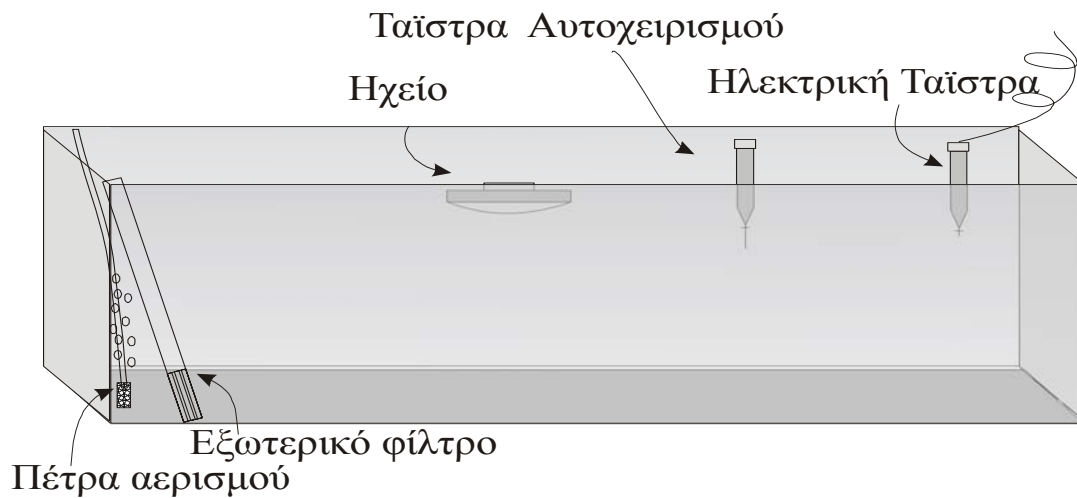
### 2.2 Πειράματα σε ενυδρεία

Χρησιμοποιήθηκαν ενυδρεία από πολυεστέρα με μια πλευρά από γυαλί, χωρητικότητας 120 λίτρων (εικόνα 2.1).



**Εικόνα 2.1:** Ενυδρείο πειράματος

Κάθε ενυδρείο περιλάμβανε συσκευή εξωτερικού φίλτρου για τον καθαρισμό του νερού, σύστημα αερισμού για παροχή οξυγόνου, ταΐστρα αυτοδιατροφής και σύστημα ηλεκτρικής ταΐστρας με διακόπτη.



**Σχήμα 2.1:** Ενυδρείο πειράματος με ήχο

Σε όλη τη διάρκεια του πειραματισμού υπήρχαν **3 ενυδρεία** : ένα με εγκατεστημένο ηχείο για την παρακολούθηση της συμπεριφοράς και απόκρισης των ψαριών στο ηχητικό ερέθισμα · ένα δεύτερο που είχε το ρόλο του μάρτυρα χωρίς ηχείο, για σύγκριση της συμπεριφοράς με ψάρια που δεν υποβάλλονται σε ηχητικό ερέθισμα · και τέλος ένα τρίτο στο οποίο συντηρούνταν πληθυσμός ψαριών κάτω από τις ίδιες συνθήκες με τα υπό μελέτη άτομα, ως απόθεμα ασφαλείας σε περίπτωση θανάτου ή ασθένειας των «πειραματικών» ψαριών. Οι συνθήκες θερμοκρασίας, αλατότητας, φωτισμού και χορήγησης τροφής παραμένουν σταθερές κατά τη διάρκεια του πειράματος και είναι οι ίδιες και στα 3 ενυδρεία.

Το βασικό **πρωτόκολλο καταγραφής** στηρίζεται στο συνδυασμό εκπομπής ήχου και χορήγησης τροφής και περιλαμβάνει –σύμφωνα και με την εργασία των Fujiya et al., 1980 :

- εκπομπή 3 σύντομων ηχητικών σημάτων
- παύση
- επανάληψη του ηχητικού σήματος και ταυτόχρονη χορήγηση τροφής με το σύστημα ηλεκτρικής ταΐστρας με διακόπτη. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται η απομόνωση των ενυδρείων κατά τη διάρκεια της καταγραφής και η απαλλαγή τους από την ανθρώπινη παρουσία που θα αποτελούσε ερέθισμα δυνατό να επηρεάσει τη συμπεριφορά των ψαριών.

Γίνονται **2 καταγραφές τη μέρα**, μία το πρωί και μία το απόγευμα. Η ποσότητα τροφής που χορηγείται ζυγίζεται και αντιστοιχεί σε 1 g για 10 g μέσου βάρους ψαριών. Ο **αριθμός των ψαριών** είναι συγκεκριμένος : 10 σε κάθε ενυδρείο και γύρω στα 30 στο ενυδρείο αποθέματος. Η **φωτοπερίοδος** είναι σταθερή κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας με 12 ώρες φως και 12 σκοτάδι. Ρυθμίζεται με λάμπα ψυχρού φωτισμού τοποθετημένη πάνω από το ενυδρείο.



Σε ό,τι αφορά το ηχητικό σήμα, δοκιμάστηκε ένα φάσμα συχνοτήτων από 100-5000 Hz. Συγκεκριμένα, δοκιμάστηκαν οι **συχνότητες** 100, 200, 500, 800, 1250, 2500 και 5000 Hz. Για κάθε μία από αυτές ελέγχθηκαν 5 διαφορετικές εντάσεις: (-62dBu, -42dBu, -32dBu, -20dBu και -10dBu). Η **ένταση του ήχου** παίζει σημαντικό ρόλο στην αντίληψη του ερεθίσματος (Tavolga & Wodinsky, 1963). Η μονάδα έντασης που χρησιμοποιείται ευρέως είναι το decibel, που ορίζεται ως η ελάχιστη διαφορά στην ένταση του ήχου, την οποία μπορεί να διακρίνει το ανθρώπινο αυτί. Αυτό, βέβαια, είναι σχετικό, αφού η απόλυτη τιμή αυτής της έντασης εξαρτάται από την ικανότητα του ακροατή. Για χαμηλούς ήχους το decibel είναι πολύ μικρότερο από αυτό που συμβαίνει σε ψηλούς ήχους. Η κλίμακα των decibels είναι λογαριθμική και βασίζεται σε μια εξίσωση η οποία θεωρεί ότι η ακοή στον άνθρωπο αλλά και σε όλα τα άλλα ζώα ακολουθεί λογαριθμική κλίμακα. Αν και οι περισσότερες ενδείξεις υποδεικνύουν ότι η ανθρώπινη ακοή ακολουθεί άλλου τύπου εξίσωση και για τα άλλα είδη στην ουσία δεν υπάρχουν αξιόπιστες ενδείξεις, χρησιμοποιούμε αυτήν την κλίμακα των decibels στην ακουστική, την ηλεκτρονική και άλλα πεδία διότι είναι πρακτική. Ορίζουμε, όμως, ως αναφορά –ιδιαίτερα στην υποβρύχια ακουστική- την τιμή του 1 microbar ίση με 0 decibel, που αντιστοιχεί σε μια πιο αντικειμενική αναφορά η οποία καθιερώθηκε και χρησιμοποιείται ευρύτερα τα τελευταία χρόνια (Tavolga, 1987).

Ο **θόρυβος** που προέρχεται από το περιβάλλον του εργαστηρίου περιλαμβάνει ένα συνδυασμό ήχων υψηλών συχνοτήτων –που μοιάζουν με σφύριγμα- και προκαλούνται από το νερό που μπαίνει στα ενυδρεία, καθώς και από κάποιους ήχους χαμηλής συχνότητας που προκαλούνται από μικρές δονήσεις του εδάφους – π.χ. περπάτημα. Όμως, σε όλες τις περιπτώσεις ελήφθη μέριμνα ώστε τα πειράματα να γίνουν σε συνθήκες με τη μικρότερη δυνατή όχληση.

Κατά τη διάρκεια του πειράματος στις τσιπούρες, μετακινήσαμε το **ηχείο** σε **διαφορετικές θέσεις** σε σχέση με την ταΐστρα, προκειμένου να ελεγχθεί η συμπεριφορά των ψαριών.

Παράλληλα με την καταγραφή που γίνεται στο ενυδρείο με το ηχείο, καταγράφεται και η συμπεριφορά των ψαριών στο ενυδρείο με τον πληθυσμό του **Μάρτυρα**. Η τροφή χορηγείται την ίδια στιγμή και με τον ίδιο τρόπο (ηλεκτρική ταΐστρα), ενώ δεν υπάρχει κανένα σήμα προειδοποίησης.

Οι **πληθυσμοί των ψαριών** που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα προέρχονται από αβγά που συλλέχθηκαν στις χερσαίες ανοιχτές εγκαταστάσεις του Ινστιτούτου Υδατοκαλλιεργειών του Ελληνικού Κέντρου Θαλασσίων Ερευνών (ΕΛΚΕΘΕ) από γεννήτορες που διατηρούνται στο Ινστιτούτο. Τα αβγά εκκολάπτονται σε δεξαμενές μεσοκόσμων (κυλινδρικές δεξαμενές 40 m<sup>3</sup>) όπου ταΐζονται με ζωοπλαγκτόν. Κατά την 50<sup>η</sup> μέρα, μεταφέρονται σε δεξαμενές «προπάχυνσης» (10 m<sup>3</sup>), όπου σταδιακά γίνεται ο απογαλακτισμός, δηλαδή η μετάβαση σε ξηρή βιομηχανική τροφή (pellets). Τα ψάρια που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα που έγιναν σε ενυδρεία αλιεύτηκαν από τις δεξαμενές προπάχυνσης και ήταν πλήρως προσαρμοσμένα στην κατανάλωση βιομηχανικής τροφής.

Μεταφέρθηκαν με ειδικές φιάλες των 50 l κορεσμένες σε οξυγόνο, από τις εγκαταστάσεις του ΕΛΚΕΘΕ στο εργαστήριο Ιχθυοκαλλιεργειών του Πανεπιστημίου. Την παραμονή της μεταφοράς, τα ψάρια υποβάλλονταν σε νηστεία. Με την άφιξή τους στο εργαστήριο ζυγίζονταν, γίνονταν σταδιακός εγκλιματισμός στη

θερμοκρασία του νέου περιβάλλοντος με διαρκή παροχή οξυγόνου και στη συνέχεια τοποθετούνταν στα ενυδρεία. Η προετοιμασία των ενυδρείων είχε προηγηθεί, ώστε να έχουν τεθεί σε λειτουργία τα φίλτρα καθαρισμού και να έχουν σταθεροποιηθεί οι συνθήκες αλατότητας και θερμοκρασίας. Τα ψάρια παρέμειναν στα ενυδρεία για διάστημα 7 έως 10 ημερών ώστε αφενός να εγκλιματιστούν στο νέο περιβάλλον και αφετέρου να εκπαιδευτούν στη χρήση της ταΐστρας αυτοχειρισμού. Η τροφή τους ζυγίζονταν με σκοπό τη συντήρηση των ψαριών και όχι την αύξησή τους. Όταν εξοικειώθηκαν με το περιβάλλον και ήταν σε θέση να τρώνε μόνα τους από την ταΐστρα αυτοδιατροφής κρίθηκε ότι μπορεί να ξεκινήσει η πειραματική διαδικασία.

Τα ενυδρεία βρίσκονταν σε **χώρο που απομονώνεται** με κουρτίνες μη διαπερατές στο φως. Έτσι, εξασφαλίζεται αφενός η ελεγχόμενη φωτοπερίοδος, αφετέρου η απομόνωση του χώρου από την ανθρώπινη παρουσία. Τόσο η εκπομπή του ηχητικού σήματος, όσο και ο χειρισμός της ηλεκτρικής ταΐστρας, γίνονταν έξω από το χώρο των ενυδρείων, προκειμένου να καταγράφεται η συμπεριφορά των ψαριών χωρίς αυτή να επηρεάζεται από άλλα ερεθίσματα.

### 2.2.1 Καταγραφή με αναλογικό σήμα

Τα πρώτα πειράματα μελέτης απόκρισης των ψαριών σε ήχο, έγιναν σε **άτομα τσιπούρας** και το σύστημα παρακολούθησης που χρησιμοποιήθηκε είχε **αναλογικό σήμα**. Ελέγχθηκαν συνολικά δύο πληθυσμοί : ο πρώτος είχε βάρος  $12, 0 \pm 0,5$  g και συνολικό μήκος  $9,2 \pm 0,05$  cm. Ο δεύτερος είχε μικρότερο βάρος  $5,2 \pm 0,5$  g και συνολικό μήκος  $7,1 \pm 0,1$  cm. Οι καταγραφές γίνονταν το πρωί και το βράδυ, ενώ ηχητικό σήμα ακούγονταν και κατά τη διάρκεια χορήγησης της τροφής για 5 λεπτά συνολικά.

Τα πειράματα που έγιναν στο **2<sup>ο</sup> πληθυσμό** αποτελούνταν από 2 φάσεις: κατά τη διάρκεια της πρώτης δοκιμάστηκαν οι **συχνότητες** 200, 500, 800 και 1250 Hz στις εντάσεις που έχουν ήδη αναφερθεί. Ακολούθησε μια παύση 20 ημερών και συνέχιση του πειράματος με τις συχνότητες των 5000 και 100 Hz προκειμένου να ελεγχθεί αν σε μία υψηλότερη και μία χαμηλότερη συχνότητα από αυτές που είχαν ήδη δοκιμαστεί υπήρχε απόκριση. Η βιβλιογραφία αναφέρει αποκρίσεις ιχθύων σε συχνότητες μικρότερες των 200 Hz, ενώ κάτι τέτοιο είναι πιο σπάνιο για συχνότητες μεγαλύτερες των 1000 Hz (Tavolga & Wodinsky, 1963, Hawkins, 1973). Οι συχνότητες στις οποίες αποκρίνονται τα ψάρια σχετίζονται με τη φυσιολογία τους (Porper, 1997). Λόγω του ότι η απόκριση της τσιπούρας σε ηχητικό ερέθισμα δεν είναι γνωστή, αλλά ούτε έχει γίνει λεπτομερής περιγραφή της φυσιολογίας των ακουστικών οργάνων του είδους αυτού, κρίθηκε σκόπιμο να καλυφθεί ένα ευρύτερο φάσμα συχνοτήτων.

Οι καταγραφές γίνονταν πρωί και νωρίς το απόγευμα ενώ κατά τη διάρκεια χορήγησης τροφής δεν ακούγονταν πια ήχος.

#### α) σύστημα απεικόνισης και καταγραφής εικόνας

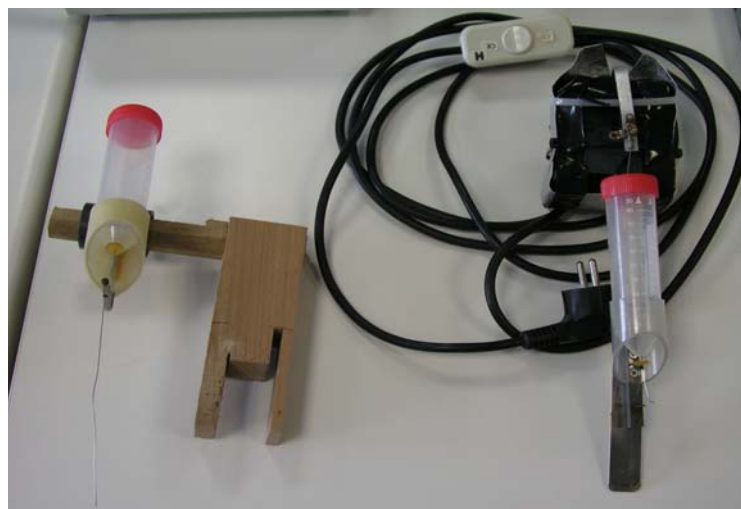
Οι πρώτες καταγραφές έγιναν με 2 ασπρόμαυρες **αναλογικές κάμερες** (VIDA MAX WWT 203).



**Εικόνα 2.2:** Εξωτερική αναλογική κάμερα

Η καθεμιά από αυτές τοποθετούνταν εξωτερικά -απέναντι από τη γυάλινη πλευρά κάθε ενυδρείου παρατήρησης (με ήχο και μάρτυρα)- και σε απόσταση τέτοια ώστε να είναι δυνατή η οπτική κάλυψη όλου του ενυδρείου. Οι κάμερες συνδέονταν με **video καταγραφής** (HITACHI VT-L1500E) και **monitor παρακολούθησης** (VIDA MAX). Επίσης, με ειδική συσκευή επιτυγχάνονταν η βελτίωση της εικόνας και η εστίαση (zoom), ώστε να είναι δυνατή η παρατήρηση συγκεκριμένων σημείων όπως ο μοχλός της ταΐστρας αυτοδιατροφής.

Έγιναν καταγραφές μακρινής λήψης -όπου ήταν ορατό όλο το ενυδρείο- και κοντινής λήψης, όπου η εικόνα εστιαζόταν στην περιοχή του ηχείου και της ταΐστρας, προκειμένου να ελεγχθεί αν τα ψάρια χτυπάνε το μοχλό περιμένοντας την τροφή. Εξάλλου, μέσα σε κάθε ενυδρείο υπήρχαν 2 ταΐστρες όπως αυτές φαίνονται στην εικόνα 2.3.



**Εικόνα 2.3:** Ταΐστρα αυτοδιατροφής αριστερά και ηλεκτρική ταΐστρα με διακόπτη δεξιά.

Κατά τη διάρκεια της **προσαρμογής των ψαριών** στο περιβάλλον του ενυδρείου χρησιμοποιούνταν η ταΐστρα αυτοδιατροφής –τα ψάρια δηλαδή έτρωγαν κατά βούληση κινώντας το μοχλό. Εφόσον ολοκληρώνονταν ο εγκλιματισμός τους και

αρχίζε η έκθεση σε ηχητικό ερέθισμα, η **τροφή χορηγούνται** αυτόματα σε δεδομένη στιγμή χρησιμοποιώντας την ηλεκτρική ταΐστρα. Η ταΐστρα αυτοδιατροφής παρέμενε στο ενυδρείο χωρίς όμως να περιέχει τροφή, προκειμένου να ελεγχθεί αν τα ψάρια μεταβάλλουν τη συμπεριφορά τους –σταματώντας να ενεργοποιούν το μοχλό- και αν εντοπίζουν το καινούριο σημείο χορήγησης τροφής. Αυτός ήταν και ο λόγος για τον οποίο πραγματοποιήθηκαν οι εγγραφές κοντινής λήψης.

Στο τζάμι του ενυδρείου σχεδιάστηκαν **τετράγωνα** με πλευρά 10 cm, ώστε να είναι εφικτή η οριοθέτηση των ψαριών μέσα στο ενυδρείο, κατά την παρατήρηση. Συνολικά, σχεδιάστηκαν 11 τετράγωνα κατά μήκος του ενυδρείου και 3 καθ' ύψος.

### β) σύστημα εκπομπής ήχου

Ο ήχος με τα χαρακτηριστικά που επιλέγονται (συχνότητα, ένταση), παράγεται από **φορητή γεννήτρια** (Minirator MR1) η οποία έχει φάσμα συχνοτήτων από 20 – 20.000 Hz.



**Εικόνα 2.4:** Φορητή γεννήτρια παραγωγής ηχητικού σήματος.

Οι **συχνότητες** που δοκιμάστηκαν σε αυτή την πρώτη σειρά πειραμάτων ήταν 200, 500, 800 και 1250 Hz. Αρχικά, έγιναν καταγραφές με κάθε συχνότητα σε ένταση -32 dBu για 7 μέρες -2 καταγραφές ανά ημέρα με χρονική διαφορά 12 ώρες μεταξύ τους. Στη συνέχεια, δοκιμάστηκαν 4 ακόμη εντάσεις (-10, -20, -42 και -62 dBu) για 2 καταγραφές τη μέρα (1 πρωί και 1 βράδυ) η καθεμία.

Η γεννήτρια συνδέεται με **ενισχυτή** (YAMAHA EMX 2000) (Εικόνα 2.5).



**Εικόνα 2.5** Ενισχυτής ήχου

Με τον ενισχυτή συνδέεται και το αδιάβροχο ηχείο (Electro-Voice UW30) (Εικόνα 2.6) που βρίσκεται μέσα στο ένα ενυδρείο. Το συγκεκριμένο ηχείο μπορεί να εκπέμψει ήχους από 100 – 10.000 Hz. Η θέση του είναι κυρίως στο κέντρο του ενυδρείου, αλλά έγιναν και καταγραφές όπου αυτό τοποθετήθηκε στο ένα άκρο, προκειμένου να διαπιστωθεί αν τα ψάρια προσανατολίζονται με βάση την πηγή του ήχου ή αν είναι η θέση χορήγησης της τροφής αυτή που κυρίως τα κατευθύνει.



Εικόνα 2.6 : Αδιάβροχο ηχείο

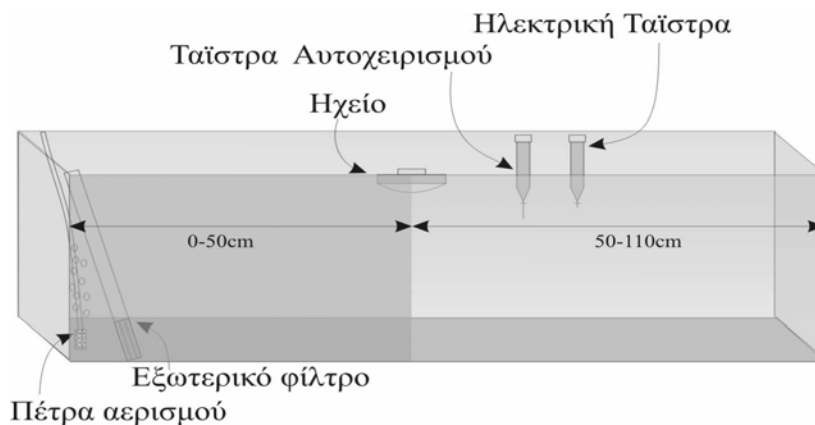
Το ακριβές **πρωτόκολλο** που τηρήθηκε για αυτήν την πρώτη σειρά πειραμάτων περιλάμβανε:

- 1 λεπτό καταγραφής στην αρχή χωρίς ερέθισμα
- 3 ηχητικά σήματα 30 sec το καθένα και με παύση 30 sec μεταξύ τους
- χορήγηση τροφής με άνοιγμα του διακόπτη της ηλεκτρικής ταΐστρας στα 5 min καταγραφής
- ταυτόχρονη εκπομπή ηχητικού σήματος διάρκειας 5 min
- 5 min καταγραφής χωρίς ήχο

Η πρώτη αυτή πειραματική διαδικασία καταγραφής και ποιοτικής εκτίμησης της συμπεριφοράς ατόμων τσιπούρας που έγινε με αναλογικό σήμα είχε συνολική **διάρκεια** 48 ημέρες. Τις 2 τελευταίες ημέρες του πειράματος, το **ηχείο** μεταφέρθηκε στο ενυδρείο με τον πληθυσμό **Μάρτυρα**. Εκεί έγιναν καταγραφές μόνο για 2 ημέρες ακολουθώντας το ίδιο πρωτόκολλο με σκοπό να διαπιστωθεί αν ο Μάρτυρας αντιμετώπιζε τον ήχο σαν ένα νέο ερέθισμα, ή αν και δεν είχε εκτεθεί άμεσα σε αυτό, έμμεσα (μεταφορά του ήχου μέσω κραδασμών) είχε υιοθετήσει συγκεκριμένη συμπεριφορά. Επίσης, ελέγχθηκε η συμπεριφορά των ατόμων που είχαν εκτεθεί στον ήχο και τη συγκεκριμένη στιγμή ταΐζονταν απουσία αυτού του ερεθίσματος (πρώην ενυδρείο με ήχο) .

### γ) ποιοτική εκτίμηση αποτελεσμάτων

Οι καταγραφές με αναλογικό σήμα έχουν χαμηλή ανάλυση εικόνας και η ανάλυση των αποτελεσμάτων μπορεί να γίνει μονάχα με **de visu** παρατήρηση. Συγκεκριμένα, η κάθε καταγραφή μελετήθηκε στο monitor παρακολούθησης (VIDAMAX) και εκτιμήθηκαν οι κινήσεις των ψαριών με βάση τη θέση που βρίσκονταν τα περισσότερα από αυτά. Για το σκοπό αυτό, το ενυδρείο χωρίστηκε σε **3 ζώνες**, αριστερά, δεξιά και αριστερά / δεξιά –με βάση προσχεδιασμένα τετράγωνα (Σχήμα 2.2).



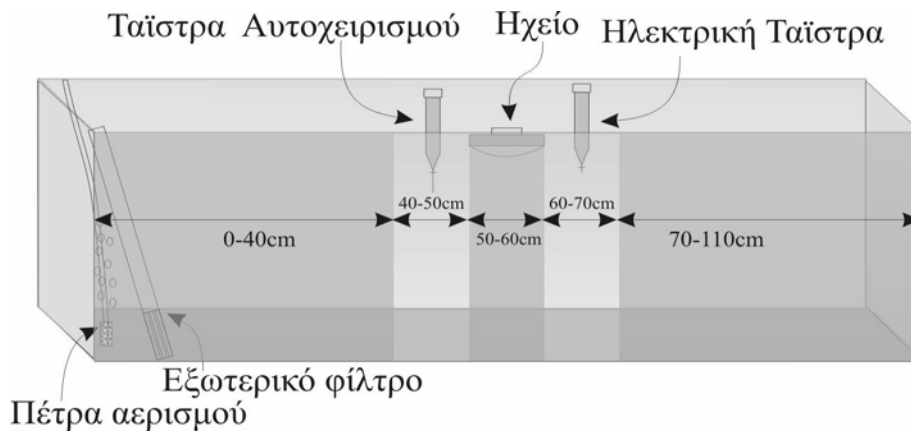
**Σχήμα 2.2:** Ζώνες ενυδρείου με ήχο

Η ζώνη αριστερά αντιστοιχεί στην περιοχή του ενυδρείου αριστερά του ηχείου, δηλαδή από 0- 50 cm. Η ζώνη δεξιά αντιστοιχεί στην περιοχή δεξιά του ηχείου, δηλαδή από 50-110 cm. Όταν τα ψάρια ισοκατανέμονται σε όλο το ενυδρείο, η κατάσταση ορίζεται ως αριστερά / δεξιά.

Οι **καταγραφές** γίνονται με **2 κάμερες** (1 για κάθε ενυδρείο) αλλά **σε 1 video**. Αυτό σημαίνει ότι στην εγγραφή έχουμε εναλλαγή της εικόνας του ενυδρείου που ρυθμίστηκε στα 12 sec για κάθε ενυδρείο. Για κάθε εναλλαγή εικόνας –επομένως και ενυδρείου- σημειώνεται η ζώνη στην οποία κινούνται τα περισσότερα ψάρια. Τέλος, η κάθε καταγραφή χωρίστηκε σε **4 χρονικές φάσεις**: **α)** πριν τον ήχο, **β)** κατά τη διάρκεια των ηχητικών σημάτων και των ενδιάμεσων παύσεων, **γ)** κατά τη διάρκεια χορήγησης της τροφής με ταυτόχρονη εκπομπή ήχου, **δ)** μετά το φαγητό και τον ήχο. Για καθεμιά από τις παραπάνω χρονικές φάσεις υπολογίστηκε το άθροισμα των κινήσεων σε κάθε ζώνη. Στη συνέχεια, τα αθροίσματα διαιρέθηκαν με τον αριθμό των μετρήσεων που έγιναν για κάθε χρονική φάση προκειμένου να βρεθεί ο μέσος όρος ο οποίος θα είναι ανεξάρτητος από τη διάρκεια της κάθε περιόδου, έτσι ώστε τα αποτελέσματα να είναι συγκρίσιμα. Τέλος, οι μέσοι όροι εξετάστηκαν συνολικά για όλες τις καταγραφές τις ίδιας συχνότητας και έντασης, αλλά και της ίδιας ώρας (πρωί / βράδυ) και έγιναν τα αντίστοιχα διαγράμματα.

Με βάση τις μετρήσεις αυτές έγινε μια **ποιοτική εκτίμηση** της συμπεριφοράς των ψαριών που εκτίθενται σε ηχητικό ερέθισμα και εκείνης του πληθυσμού του Μάρτυρα. Επίσης, σε ό,τι αφορά τον ήχο, έγινε η πρώτη εκτίμηση για την απόκριση της τσιπούρας αυτού του μεγέθους στις συχνότητες που δοκιμάστηκαν, ενώ εξάγονται και τα πρώτα συμπεράσματα για το πρωτόκολλο που χρησιμοποιήθηκε.

**Πειράματα** σε τσιπούρες πραγματοποιήθηκαν 1 χρόνο μετά, και οι καταγραφές έγιναν και πάλι με **αναλογικό σήμα**. Γενικά, το πρωτόκολλο και η διαδικασία ήταν τα ίδια, με τη διαφορά ότι για την ποιοτική εκτίμηση των αποτελεσμάτων ορίστηκαν **5 ζώνες παρατήρησης** στο ενυδρείο: **α)** αριστερά (0 – 40 cm), **β)** ταΐστρα αυτοδιατροφής (40-50 cm από αριστερά), **γ)** ηχείο (50-60 cm από αριστερά), **δ)** ηλεκτρική ταΐστρα (60-70 cm από αριστερά), και **ε)** δεξιά (70-110 cm), όπως αυτές φαίνονται στο σχήμα 2.3:



Σχήμα 2.3: Ζώνες ενυδρείου με ήχο

Η **ανάλυση των καταγραφών** έγινε και πάλι με **de visu** παρατήρηση και παρακολούθηση των εγγραφών σε monitor. Οι μετρήσεις, όμως, έγιναν με διαφορετικό τρόπο : για κάθε 10 sec αρχικά, 20 sec στη συνέχεια και 30 sec για τα τελευταία 5 λεπτά, σημειώθηκε ο **αριθμός των ψαριών** που βρίσκεται σε καθεμιά από τις ζώνες. Η κάθε καταγραφή διακρίνεται σε **4 χρονικές φάσεις**:

- πριν τον ήχο
- κατά τη διάρκεια του ήχου
- κατά τη διάρκεια χορήγησης τροφής και ήχου και
- μετά την τροφή και τον ήχο

Η κάθε χρονική φάση είχε διαφορετική διάρκεια. Έτσι, η φάση πριν τον ήχο αντιστοιχεί σε χρόνο 1 min, η φάση του ήχου σε 4 min, η φάση τροφής και ήχου σε 5 min και τέλος η φάση μετά την τροφή και τον ήχο σε 5 min.

Κατά τη διάρκεια αυτής της σειράς πειραμάτων, ξεκίνησε να γίνεται και καταγραφή με **φορητή ψηφιακή κάμερα** –SONY digital Handycam 8- στο ενυδρείο με ήχο. Έτσι, τα δεδομένα για το ενυδρείο αυτό υπάρχουν σε δύο μορφές, τόσο **αναλογική** όσο και **ψηφιακή**. Λόγω της ύπαρξης μίας μόνο ψηφιακής κάμερας, και επειδή οι καταγραφές γίνονταν ταυτόχρονα στο Μάρτυρα και το ενυδρείο με τον ήχο, δεν υπάρχουν ψηφιακά δεδομένα για το Μάρτυρα σε αυτήν τη φάση των πειραμάτων. Η ψηφιακή κάμερα τοποθετήθηκε απέναντι από τη γυάλινη πλευρά ώστε να καλύπτει οπτικά ολόκληρο το ενυδρείο. Η εγγραφή ήταν έγχρωμη και η ποιότητα της εικόνας σαφώς βελτιωμένη. Τα δεδομένα που προκύπτουν με αυτή την καταγραφή, μπορούν να αναλυθούν με de visu παρατήρηση των καταγραφών, ή μπορούν να μεταφερθούν σε υπολογιστή και να αξιοποιηθούν εκτενέστερα με τρόπο που θα περιγραφεί στη συνέχεια.

Οι διαφορές που εμφανίζονται στη διάταξη του ενυδρείου με ήχο και στον τρόπο ανάλυσης των αποτελεσμάτων, είναι συνέπεια μιας σταδιακής βελτίωσης της μεθόδου, που στηρίζεται στην παρατήρηση της συμπεριφοράς των ψαριών. Αν και το πρωτόκολλο εκπομπής ήχου, καθώς και τα χαρακτηριστικά των ηχητικών σημάτων στηρίζονται στη βιβλιογραφία (Tavolga & Wodinsky, 1963, Hawkins, 1973, Fujiya et al., 1980), ωστόσο η πειραματική διάταξη με τις 2 ταΐστρες (αυτοχειρισμού και ηλεκτρική) και το ηχείο, είναι πρωτότυπη και βελτιώνεται κατά τη διάρκεια των πειραματικών δοκιμών και σε σχέση με τη συμπεριφορά των ιχθύων.

### 2.2.2 Καταγραφή με ψηφιακό σήμα

Η δεύτερη φάση των πειραμάτων που έγιναν σε ενυδρεία πραγματοποιήθηκε με χρήση ενός **βελτιωμένου συστήματος καταγραφής**, το οποίο σχεδιάστηκε με βάση τις ανάγκες που προέκυψαν από τα πρώτα πειράματα μελέτης απόκρισης των ψαριών στον ήχο. Τα πειράματα έγιναν αρχικά σε **λαβράκια** και στη συνέχεια σε **φαγκριά**. Τα λαβράκια είχαν βάρος  $1,6 \pm 0,1$  g και συνολικό μήκος  $4,9 \pm 0,1$  cm. Τα φαγκριά είχαν βάρος  $1,7 \pm 0,1$  g και συνολικό μήκος  $5,0 \pm 0,1$  cm. Οι **συχνότητες** που δοκιμάστηκαν τόσο στον ένα όσο και στον άλλο πληθυσμό ήταν κατά σειρά εφαρμογής : 500, 200, 1250, 2500 και 100 Hz. Για κάθε συχνότητα δοκιμάστηκαν κατά σειρά οι **εντάσεις** -32, -20, -10, -42 dBu, εκτός από τη συχνότητα των 2500 Hz όπου δοκιμάστηκαν μόνο οι υψηλές εντάσεις των -10 και -20 dBu. Γίνονταν δύο καταγραφές τη μέρα, μια το πρωί και μια νωρίς το απόγευμα και κατά τη διάρκεια χορήγησης της τροφής ακούγονταν ένα σύντομο ηχητικό σήμα 5 s. Η κάθε καταγραφή διακρίνεται σε **3 χρονικές φάσεις** ίσης διάρκειας μεταξύ τους :

- πριν τον ήχο (διάρκεια 5 λεπτά)
- κατά τη διάρκεια του ήχου (3 σήματα των 30 sec με ενδιάμεσες παύσεις των 30 sec – συνολική διάρκεια της περιόδου αυτής 5 λεπτά)
- κατά τη διάρκεια χορήγησης τροφής και ήχου και μετά (διάρκεια 5 λεπτά)

#### α) σύστημα απεικόνισης και καταγραφής εικόνας – λογισμικό καταγραφής

Για τις ανάγκες των πειραμάτων στα ενυδρεία, αλλά και των επόμενων πειραμάτων (σε μεγαλύτερες δεξαμενές και στο πεδίο), σχεδιάστηκε ένα **φορητό αδιάβροχο σύστημα απεικόνισης** το οποίο περιλαμβάνει: α) εξωτερική **ψηφιακή κάμερα** μέσα σε αδιάβροχο κουτί β) **φορητό υπολογιστή**, και γ) **ειδικό λογισμικό** το οποίο ελέγχει την κάμερα και καταγράφει τα σήματα του video (Εικόνα 2.7).



**Εικόνα 2.7 :** Φορητό σύστημα καταγραφής ήχου και εικόνας. Μπροστά στον υπολογιστή η κάμερα –πάνω σε τρίποδο- και μέσα στο αδιάβροχο κουτί.

**α) Η κάμερα** (Unibrain Fire-I –στην εικόνα πάνω σε τρίποδο) έχει ανάλυση 640 x 480 pixels και απόδοση εικόνας σε πραγματικό χρόνο. Έχει μικρό μέγεθος, είναι πολύ ελαφριά και τοποθετήθηκε μέσα σε κουτί που φτιάχτηκε ειδικά για το σκοπό αυτό. Πρόκειται για ανοξείδωτη κατασκευή η οποία περιλαμβάνει μικρό γυάλινο παράθυρο όσο το «μάτι» της κάμερας και βαριά μεταλλική πλάκα στην πίσω πλευρά προκειμένου να είναι δυνατή η βύθισή της στο επιθυμητό βάθος. Η κάμερα έχει τη δυνατότητα ρύθμισης της απόστασης εστίασης και το κουτί είναι αδιάβροχο, αλλά με δυνατότητα να ανοίγει ώστε να ρυθμίζεται η εστίαση της κάμερας.

**β) Ο φορητός υπολογιστής** που χρησιμοποιήθηκε (Fujitsu Siemens Amilo M) έχει τα εξής τεχνικά χαρακτηριστικά : Pentium M επεξεργαστής 1.7GHz, μνήμη 512MB



RAM, σκληρός δίσκος 60GB και δίσκος εγγραφής DVD. Μπορεί να καταγράψει με μπαταρία (χωρίς καλώδιο και χρήση ηλεκτρικού ρεύματος) για περίπου 1 ώρα.

γ) Το λογισμικό που σχεδιάστηκε ειδικά για τις ανάγκες των συγκεκριμένων καταγραφών γράφτηκε στο πρόγραμμα LabView version 7.1 (National Instruments) και είναι φιλικό και εύκολο στο χρήστη. Πριν την εγγραφή είναι δυνατή η ρύθμιση συγκεκριμένων παραμέτρων της κάμερας (shutter and gain values), ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη ποιότητα εικόνας για τις εκάστοτε συνθήκες. Η εικόνα μπορεί να είναι έγχρωμη ή ασπρόμαυρη ανάλογα με τις συνθήκες φωτισμού, και υπάρχει η δυνατότητα ρύθμισης της αντίθεσης στην εικόνα (image contrast), ώστε να εντοπίζονται οι στόχοι (στη συγκεκριμένη περίπτωση τα ψάρια) με τη μεγαλύτερη δυνατή ευκρίνεια. Πριν την έναρξη της εγγραφής ο χρήστης ορίζει το όνομα του αρχείου και το συνολικό χρόνο καταγραφής η οποία γίνεται στο σκληρό δίσκο του υπολογιστή.

Η ταχύτητα εγγραφής που τέθηκε, ορίστηκε σε 15 εικόνες ανά δευτερόλεπτο και χρησιμοποιήθηκε συμπίεση εικόνας προκειμένου τα αρχεία να έχουν μικρό μέγεθος. Κατά τη διάρκεια της εγγραφής ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να εισάγει 3 διαφορετικά σήματα – ενδείξεις στις εικόνες που καταγράφονται τα οποία έχουν τη μορφή κόκκινης, πράσινης ή μπλε κουκίδας στην πάνω δεξιά γωνία της εικόνας. Οι ενδείξεις αυτές χρησιμοποιήθηκαν για να δηλώσουν την εκπομπή ηχητικού σήματος. Η διάρκεια κατά την οποία η κάθε ένδειξη θα παραμένει πάνω στην εικόνα μπορεί να προεπιλεγεί, ώστε να εξασφαλιστεί μεγαλύτερη ακρίβεια στο χρόνο.

Τα αρχεία που καταγράφονται με το παραπάνω λογισμικό μπορούν να αναπαραχθούν με το πρόγραμμα media player των Windows ή με οποιονδήποτε συμβατό player.

Η κάμερα τοποθετήθηκε απέναντι από τη γυάλινη πλευρά του ενυδρείου ώστε να είναι δυνατή η λήψη ολόκληρου του ενυδρείου. Ο φορητός υπολογιστής βρίσκονταν σε χώρο έξω από το χώρο των ενυδρείων μαζί με το σύστημα εκπομπής του ήχου, όπου βρισκόταν και ο χειριστής.

Ταυτόχρονα με τη λήψη που γινόταν στο ενυδρείο με το ηχείο, γινόταν και λήψη στο ενυδρείο **Μάρτυρα**. Κατά την πειραματική περίοδο που περιγράφεται, υπήρχε ένα ψηφιακό σύστημα απεικόνισης, οπότε για την ταυτόχρονη καταγραφή της συμπεριφοράς στο ενυδρείο μάρτυρα χρησιμοποιήθηκε η φορητή ψηφιακή κάμερα που αναφέρθηκε παραπάνω (παράγραφος 2.2.1 γ). Η κάμερα αυτή τοποθετήθηκε απέναντι από τη γυάλινη πλευρά του ενυδρείου, έτσι ώστε να υπάρχει συνολική άποψη της κίνησης των ψαριών. Η συμπεριφορά καταγράφεται σε κασέτες, ενώ ταυτόχρονα υπάρχει η δυνατότητα μεταφοράς των εγγραφών σε υπολογιστή και αναπαραγωγής τους με το πρόγραμμα media player των Windows. Η εγγραφή είναι έγχρωμη και ισχύουν όσα ίσχυαν για το Μάρτυρα και κατά την πρώτη πειραματική περίοδο.

## β) σύστημα εκπομπής ήχου

Για την εκπομπή του ήχου χρησιμοποιήθηκε ο ίδιος εξοπλισμός (παράγραφος 2.2.1 β), και το ηχείο τοποθετήθηκε στο κέντρο του ενυδρείου καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος. Επίσης, χρησιμοποιήθηκε η ταινία αυτοχειρισμού για το διάστημα εγκλιματισμού των ψαριών και στη συνέχεια η ηλεκτρική για τη χορήγηση τροφής κατά τη διάρκεια έκθεσης σε ηχητικό ερέθισμα. Το **πρωτόκολλο** που τηρήθηκε για αυτήν τη σειρά πειραμάτων έχει κάποιες μικρές μεταβολές.

Συγκεκριμένα, αρχικά καταγράφονται 5 λεπτά (αντί 1) χωρίς ερέθισμα, ενώ κατά τη διάρκεια χορήγησης της τροφής εκπέμπεται ηχητικό σήμα διάρκειας 5s και όχι 5 min.

Η συνολική διάρκεια του πειράματος ήταν 21 μέρες για κάθε είδος ψαριού.

### γ) ανάλυση αποτελεσμάτων

Η ανάλυση εικόνας που έχουν οι ψηφιακές καταγραφές είναι πολύ υψηλή και δίνει τη δυνατότητα για καλύτερη επεξεργασία των αποτελεσμάτων και εκτενή στατιστική ανάλυση. Συγκεκριμένα, σχεδιάστηκε **ειδικό λογισμικό** το οποίο αναλύει τις καταγραφές που γίνονται με το παραπάνω φορητό σύστημα απεικόνισης και παρακολουθεί την κίνηση των ψαριών.

### Σχεδιασμός Λογισμικού Ανάλυσης

Στόχος του συγκεκριμένου λογισμικού είναι να μπορεί να ακολουθεί την κίνηση των ψαριών και να μετράει κάποια μεγέθη τα οποία είναι δυνατό να περιγράψουν τη συμπεριφορά και τη μεταβολή της με την επίδραση του ήχου. Για να είναι δυνατός ο **εντοπισμός των ψαριών** πρέπει αυτά να αναγνωρίζονται από το πρόγραμμα ως κινούμενα σώματα συγκεκριμένων διαστάσεων. Πολύ σημαντικό ρόλο σε αυτή την αναγνώριση παίζει το υπόβαθρο (background) και η αντίθεση χρώματος (contrast) που εμφανίζουν τα ψάρια σε σχέση με αυτό. Προκειμένου να επιτευχθεί το βέλτιστο αποτέλεσμα, οι καταγραφές έγιναν με 24 bit color, και οι εικόνες (frames) χωρίστηκαν στα 3 βασικά χρώματα. Το χρώμα που τελικά επιλέχτηκε για τον εντοπισμό του αντικειμένου ήταν αυτό με τη μεγαλύτερη αντίθεση (higher contrast). Το υπόβαθρο (background) εντοπίζεται αυτόματα από το μέσο όρο ενός μεγάλου αριθμού εικόνων (100 εικόνες το δευτερόλεπτο) δίνοντας έτσι μια καθαρή εικόνα ρύθμισης χωρίς κινούμενα αντικείμενα. Κάθε εικόνα της καταγραφής κανονικοποιείται με το υπόβαθρο αυτό έτσι ώστε να προκύψει μια εικόνα που περιέχει μόνο ψάρια ως αντικείμενο. Τα ψάρια διακρίνονται με χρήση του αλγόριθμου για εντοπισμό αντικειμένων, που βρίσκεται στη βιβλιοθήκη λογισμικού NI IMAQ – VISION. Ο αλγόριθμος παραμετροποιείται ώστε να διακρίνει σκοτεινά αντικείμενα με βάση το κατώφλι (threshold) που έχει τεθεί, όπως επίσης, και το ανώτερο και κατώτερο όριο για το μέγεθος του αντικειμένου προς προσδιορισμό. Όλες οι παραπάνω τιμές τίθενται πριν αρχίσει η διαδικασία ανάλυσης, ενώ υπάρχει επίσης η δυνατότητα δοκιμής των τιμών αυτών σε διάσπαρτες εικόνες της εγγραφής, προκειμένου να ελεγχθεί αν τα ψάρια εντοπίζονται ορθά. Συγκεκριμένη περιοχή ενδιαφέροντος (area of interest AOI), επιλέγεται ώστε να περιοριστεί ο χρόνος ανάλυσης, ο οποίος είναι μεγάλος λόγω του πλήθους των υπολογισμών (περίπου 105 λεπτά για κάθε εγγραφή). Για κάθε εικόνα (frame) το κέντρο του κάθε αντικειμένου που εντοπίζεται, μετριέται και αποθηκεύεται στη μνήμη.

Ο κώδικας του λογισμικού γράφτηκε στο Labview version 7.1 (National Instruments).

Στην εικόνα 2.8 προβάλλεται η οθόνη που βλέπει ο χρήστης, ενόσω το λογισμικό βρίσκεται σε εξέλιξη.



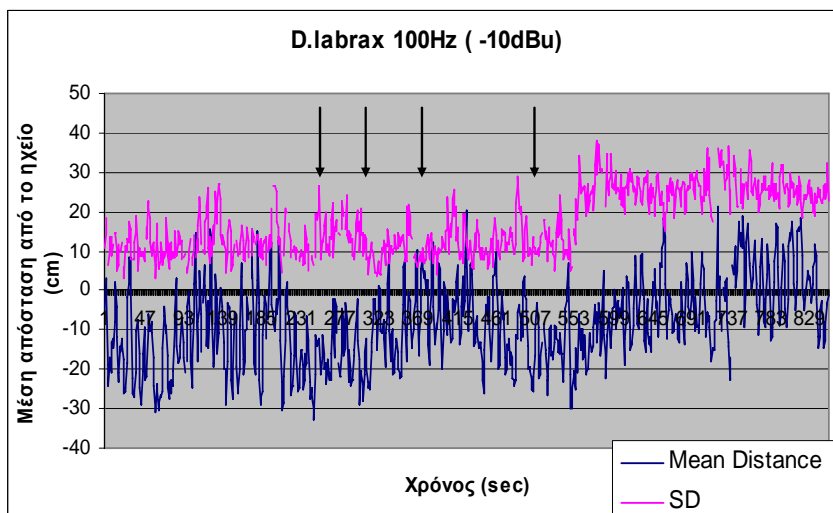
**Εικόνα 2.8 :** User interface λογισμικού ανάλυσης. Δεξιά διακρίνεται η περιοχή εντοπισμού των ψαριών. Κάτω γραφική αναπαράσταση της μεταβολής της μέσης απόστασης του συνόλου των ψαριών κατά τη διάρκεια της ανάλυσης.

## Μετρήσεις λογισμικού ανάλυσης

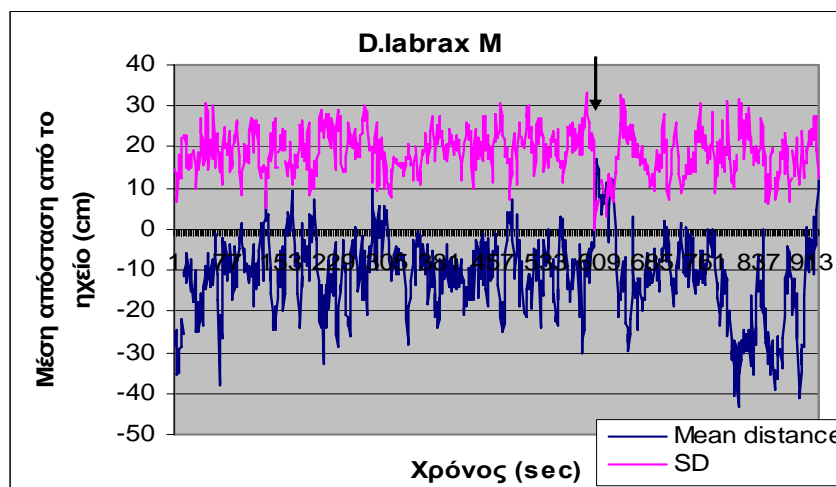
### α) μέση απόσταση από δεδομένο σημείο

Στην αρχή κάθε μέτρησης ορίζεται ένα **σταθερό σημείο αναφοράς** πάνω στην εικόνα που έχει επιλεγεί. Το λογισμικό πρόγραμμα έχει τη δυνατότητα να υπολογίσει αυτόματα την απόσταση από το κέντρο κάθε αντικειμένου που εντοπίζεται προς το σημείο αναφοράς χρησιμοποιώντας το Πυθαγόρειο θεώρημα και για κάθε εικόνα (frame) της καταγραφής. Στη συνέχεια, υπολογίζεται η μέση απόσταση όλων των αντικειμένων για κάθε εικόνα (frame), καθώς και η τυπική απόκλιση και το τυπικό σφάλμα τα οποία αναπαρίστανται γραφικά κατά τη διάρκεια της ανάλυσης σε πραγματικό χρόνο. Οι τιμές της μέσης απόστασης μπορούν να είναι θετικές ή αρνητικές ανάλογα με τη θέση που βρίσκονται τα ψάρια σε σχέση με το σημείο αναφοράς. Στα πειράματα που έγιναν τέθηκε ως σημείο αναφοράς το ηχείο –για το ενυδρείο όπου εκπέμπονταν το ηχητικό σήμα- και νοητό σημείο που απέχει ίση απόσταση από την ηλεκτρική ταινία με αυτήν που απέχει το ηχείο –για το ενυδρείο του Μάρτυρα. Όταν τα ψάρια βρίσκονται αριστερά από το σημείο αυτό, η τιμή της μέσης απόστασης είναι αρνητική, ενώ για θέσεις δεξιά του ηχείου η τιμή είναι θετική. Για μια καταγραφή διάρκειας 15 λεπτών, προκύπτουν 13.500 σημεία που αντιστοιχούν στον υπολογισμό της μέσης απόστασης για κάθε εικόνα (frame) της καταγραφής. Λόγω της μικρής ταχύτητας μετακίνησης των αντικειμένων αλλά και του μεγάλου αριθμού δεδομένων, το λογισμικό πρόγραμμα παρέχει τη δυνατότητα υπολογισμού της μέσης απόστασης και για κάθε 15 εικόνες το δευτερόλεπτο μειώνοντας έτσι τον αριθμό των σημείων σε 900, με ανάλυση χρόνου 1 δευτερόλεπτο. Όλες οι μετρήσεις της απόστασης που αρχικά γίνονται σε pixels ανάγονται σε εκατοστά (cm).

Έτσι, η μετακίνηση των ψαριών κατά τη διάρκεια μιας εγγραφής μπορεί να αναπαρασταθεί γραφικά όπως φαίνεται στα διαγράμματα 2.1 και 2.2 που ακολουθούν:



**Διάγραμμα 2.1 :** Απεικόνιση της μεταβολής της μέσης θέσης των ψαριών ως προς το ηχείο, κατά τη διάρκεια του χρόνου εγγραφής. Με τα βέλη σημειώνονται τα 3 ηχητικά σήματα. Το τελευταίο βέλος αντιστοιχεί στο σήμα όπου ταυτόχρονα χορηγείται τροφή. Με ροζ απεικονίζεται η τυπική απόκλιση. Εδώ, η απεικόνιση αφορά λαβράκια που εκτέθηκαν σε 100 Hz στα -10 dBu.



**Διάγραμμα 2.2 :** Απεικόνιση της μεταβολής της μέσης θέσης του πληθυσμού του **Μάρτυρα** ως προς σημείο που απέχει τόση απόσταση από την ταϊστρα όσο και το ηχείο από αυτήν στο ενυδρείο με τον ήχο. Με το βέλος σημειώνεται η στιγμή χορήγησης τροφής. Με ροζ απεικονίζεται η τυπική απόκλιση. Εδώ, η απεικόνιση αφορά το μάρτυρα της αντίστοιχης εγγραφής με ήχο που απεικονίστηκε στο Διάγραμμα 2.1 (λαβράκια, 100 Hz, -10 dBu).

Τα δεδομένα της μέσης απόστασης μπορούν να αναλυθούν από το λογισμικό πρόγραμμα στους άξονες X και Y, δηλαδή να δείξουν τη μετακίνηση των ψαριών κατά τη διάρκεια της εγγραφής στον άξονα X ή στον άξονα Y. Αυτό δίνει τη δυνατότητα ελέγχου του τύπου κίνησης των ψαριών στις δύο διαστάσεις του μήκους και του ύψους. Έτσι, ψάρια που τείνουν να κινηθούν κυρίως στην επιφάνεια θα

εμφανίζουν μικρές τιμές στον άξονα Y, ενώ ψάρια με μικρές τιμές στον άξονα X δείχνουν ότι έχουν την τάση να βρίσκονται κοντά στο ηχείο.

### **β) ταχύτητα κίνησης από δεδομένο σημείο**

Το λογισμικό παρέχει τη δυνατότητα μέτρησης της συνολικής ταχύτητας μετακίνησης των αντικειμένων. Η μέση ταχύτητα υπολογίζεται από την μέση μεταβολή της κίνησης του συνόλου των ιχθύων στη μονάδα του χρόνου, δηλαδή σε διαστήματα 1/15 του δευτερολέπτου, και 1 δευτερολέπτου.

### **Στατιστική επεξεργασία**

Τα δεδομένα που προκύπτουν από το λογισμικό πρόγραμμα (μέση απόσταση από δεδομένο σημείο, τυπική απόκλιση των τιμών αυτών, μέση ταχύτητα και τυπική απόκλιση αυτής), αποδίδονται σε μορφή που είναι εύκολο να εισαχθεί σε όλα τα στατιστικά πακέτα για περαιτέρω ανάλυση.

Τα δεδομένα της μέσης απόστασης των ψαριών από το ηχείο και από δεδομένο σημείο για τα ενυδρεία με ήχο και το μάρτυρα αντίστοιχα, αναλύθηκαν με δύο τρόπους.

#### **α) περιγραφική στατιστική ανάλυση**

Τα δεδομένα κάθε καταγραφής χωρίστηκαν σε **3 κατηγορίες** οι οποίες αντιστοιχούν: **α)** στο **αρχικό** χρονικό διάστημα όπου δεν υπήρχε ηχητικό ερέθισμα **β)** στο χρονικό διάστημα όπου εκπέμπεται ο **ήχος** και **γ)** στο τελικό χρονικό διάστημα όπου χορηγείται η **τροφή**. Για την καθεμιά από τις παραπάνω κατηγορίες υπολογίστηκε η **μέση τιμή της απόστασης** –για το σύνολο των ψαριών- από το ηχείο. Το ίδιο έγινε και για τον πληθυσμό του Μάρτυρα, όπου το σημείο μηδέν είναι ένα νοητό σημείο που απέχει από την ηλεκτρική ταΐστρα όσο και το ηχείο από αυτήν στο ενυδρείο του ήχου. Με τις παραπάνω τιμές έγιναν συγκριτικά διαγράμματα, όπου φαίνεται η συνολική κίνηση των ψαριών, στις διαφορετικές φάσεις της κάθε εγγραφής καθώς και στις διαφορετικές συχνότητες, εντάσεις και ώρα της ημέρας (πρωί / απόγευμα). Επίσης, είναι δυνατή η σύγκριση των ψαριών με ήχο και του Μάρτυρα.

Επιπλέον, υπολογίστηκε η **συνολική διακύμανση** της τιμής της **μέσης απόστασης** των ψαριών από το ηχείο, για κάθε κατηγορία από αυτές που προαναφέρθηκαν και για τους άξονες X και Y χωριστά, προκειμένου να εκτιμηθεί αν υπάρχει διαφορά στον τρόπο που κινείται το φαγκρί και το λαβράκι.

#### **β) παλινδρόμηση των δεδομένων**

Η παλινδρόμηση χρησιμοποιείται για να ελέγξουμε αν υπάρχει σχέση ανάμεσα σε ζεύγη μεταβλητών που υποτίθεται ότι έχουν μεταξύ τους **σχέση αιτίας – αποτελέσματος**. Έτσι, η μια μεταβλητή είναι ανεξάρτητη, ενώ η άλλη εξαρτώμενη από την πρώτη. Στην περίπτωση των πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν, ο χρόνος αποτελεί την ανεξάρτητη μεταβλητή (X), ενώ η μέση απόσταση των ψαριών κάθε φορά από την πηγή του ήχου αποτελεί την εξαρτημένη μεταβλητή (Y). Κατά τη διάρκεια της εγγραφής εκπέμπεται ο ήχος και χορηγείται η τροφή. Τα δεδομένα χωρίζονται σε 4 φάσεις (α) πριν τον ήχο, (β) ήχος, (γ) ήχος και τροφή (δ) μετά τον ήχο και την τροφή και η παλινδρόμηση γίνεται χωριστά για κάθε φάση.

Η εξίσωση παλινδρόμησης είναι:

$$Y = \alpha + \beta X$$

Όπου  $\alpha$  είναι η τιμή του  $Y$  για  $X = 0$  (intercept) και  $\beta$  η κλίση της ευθείας ή ο συντελεστής παλινδρόμησης (Sokal & Rohlf, 1995).

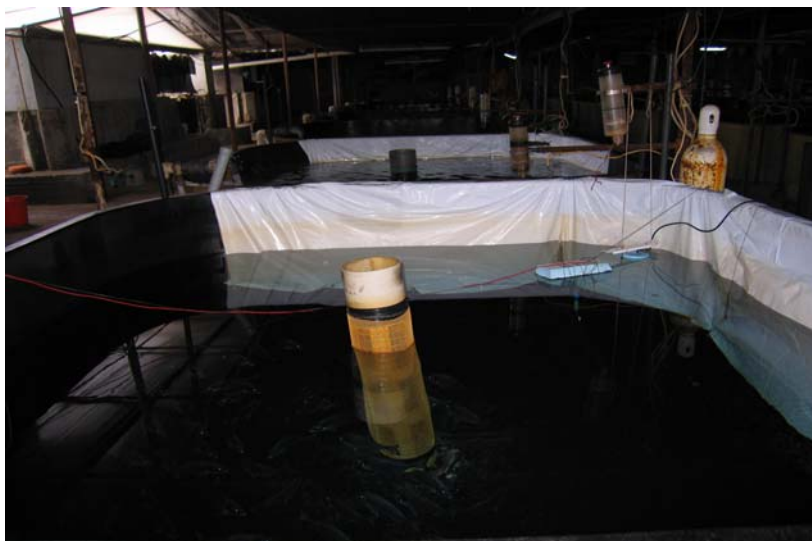
Για κάθε εγγραφή και για κάθε φάση ελέγχεται ο παράγοντας  $F$  (**significance F**) της παλινδρόμησης. Για  $p < 0,05$  η σχέση ανάμεσα στο χρόνο και τη μεταβολή της μέσης απόστασης είναι στατιστικά σημαντική. Ο χρόνος συνδέεται με την εκπομπή του ήχου και τη χορήγηση τροφής. Αν η μεταβολή της μέσης απόστασης σχετίζεται με το χρόνο, σημαίνει ότι η εκπομπή ήχου επηρεάζει τη συμπεριφορά των ψαριών. Έτσι, ο ήχος μπορεί να είναι η αιτία μιας συμπεριφοράς και η κίνηση των ψαριών γύρω από το ηχείο το αποτέλεσμα.

Παλινδρόμηση έγινε και στα δεδομένα της τυπικής απόκλισης της μέσης απόστασης των ψαριών από συγκεκριμένο σημείο. Ο χρόνος αποτελεί και πάλι την ανεξάρτητη μεταβλητή ( $X$ ), ενώ η τυπική απόκλιση την εξαρτημένη ( $Y$ ). Αν η σχέση μεταξύ των δύο είναι στατιστικά σημαντική, η τυπική απόκλιση μεταβάλλεται σε σχέση με το χρόνο και άρα δίνει μια ένδειξη για την τάση των ψαριών να μαζεύονται όλα μαζί σε κοπάδι ή να διασκορπίζονται. Μικρή τιμή της τυπικής απόκλισης δείχνει κοπάδιασμα των ψαριών, ενώ μεγάλη τιμή κίνηση των ψαριών σε όλο το ενυδρείο.

## 2.3 Πειράματα σε δεξαμενές

### 2.3.1 Περιγραφή δεξαμενών

Τα πειράματα αυτά πραγματοποιήθηκαν στις χερσαίες ανοιχτές εγκαταστάσεις του Ινστιτούτου Υδατοκαλλιεργειών του Ελληνικού Κέντρου Θαλασσίων Ερευνών (ΕΛΚΕΘΕ) και σε τετράγωνες δεξαμενές κατασκευασμένες από πολυεστέρα. Η χωρητικότητα της κάθε δεξαμενής είναι  $10 \text{ m}^3$  και οι διαστάσεις της  $3 \times 3 \times 1,1 \text{ m}$  (Εικόνα 2.8).



**Εικόνα 2.8 :** Φωτογραφία δεξαμενής με το ηχείο δεξιά. Στο κέντρο η σωλήνα εξόδου του νερού.

Το χρώμα των τοιχωμάτων των δεξαμενών είναι μαύρο, αλλά καλύπτονται με λευκό πλαστικό προκειμένου να υπάρχει αντίθεση (contrast) του ψαριού με το τοίχωμα και να είναι δυνατός ο εντοπισμός του με την κάμερα. Χρησιμοποιήθηκαν 2 δεξαμενές τοποθετημένες η μία δίπλα στην άλλη. Στη μία ήταν εγκατεστημένο το ηχείο και εκπέμπονταν ήχος που συνδυάζονταν με τη χορήγηση τροφής, ενώ η άλλη έπαιζε το ρόλο του μάρτυρα, δηλαδή οι συνθήκες ήταν οι ίδιες αλλά δεν υπήρχε ηχητικό ερέθισμα.

Η **είσοδος νερού στη δεξαμενή** γίνεται από την επιφάνεια με σωλήνα που καλύφθηκε με πορώδες ειδική υφασμάτινη θήκη προκειμένου να μειωθεί ο θόρυβος και η αναταραχή της επιφάνειας από την πτώση του νερού. Η **έξοδος του νερού** βρίσκεται στον πυθμένα όπου υπάρχει σωλήνας για τον συνεχή καθαρισμό του. Η λειτουργία αυτού του σωλήνα στηρίζεται στην αρχή λειτουργίας ενός σιφονιού (βρίσκεται στο κέντρο, ενώ ο πυθμένας έχει τέτοια κλίση ώστε να παρασύρονται τα υπολείμματα τροφής, τα περιττώματα και τα τυχόν ξένα σώματα –άμμος, χώμα- που ενδέχεται να μπουν στη δεξαμενή εφόσον οι εγκαταστάσεις είναι ανοιχτές). Η κύρια οπή εξόδου του νερού είναι στο πάνω άκρο του σωλήνα, ώστε σε περίπτωση πτώσης της στάθμης του νερού να σταματά η λειτουργία του και να αποφεύγεται το άδειασμα της δεξαμενής. Το νερό που τροφοδοτεί τη δεξαμενή προέρχεται από τη θάλασσα και από γεώτρηση σε ποσοστό 50 % και 50 %.

Η **οξυγόνωση του νερού** γίνεται κατά κύριο λόγο από την επιφάνεια του νερού –εφόσον οι δεξαμενές είναι σε ανοιχτές εγκαταστάσεις- υπάρχουν όμως και 2 λεπτές σωλήνες μέσα στη δεξαμενή που καταλήγουν σε διαχυτές αέρα (πορώδες υλικό για το σχηματισμό φυσαλίδων).

Οι **δεξαμενές φωτίζονται** από το φυσικό φως της ημέρας, που για την περίοδο της πειραματικής διαδικασίας -22 /10 μέχρι 9/12- έχει διάρκεια 10 ώρες φως και 14 σκοτάδι. Ο λόγος που δεν επιλέχθηκε τεχνητός φωτισμός ήταν ότι πουθενά στη βιβλιογραφία δεν αναφέρεται να παίζει καθοριστικό ρόλο στη συμπεριφορά των ψαριών σε σχέση με ηχητικό ερέθισμα.

Κάθε δεξαμενή διαθέτει 1 **ταΐστρα αυτοδιατροφής** την οποία τα ψάρια μπορούν να χειρίζονται προκειμένου να τρέφονται κατά βούληση μόνο για την περίοδο εγκλιματισμού τους.

Σε όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας **χρησιμοποιούνται 2 δεξαμενές** : στη μία είναι εγκατεστημένο το ηχείο σε απόσταση 50 cm από τα τοιχώματα και στην πλευρά που βρίσκεται η ταΐστρα **αυτοδιατροφής**. Απέναντι από το ηχείο τοποθετείται ψηφιακή κάμερα μέσα στο νερό έτσι ώστε να παρακολουθεί την κίνηση των ψαριών. Η **κάμερα** που χρησιμοποιείται είναι εκείνη που περιγράφεται στην παράγραφο 2.2.2 (α). Στο τοίχωμα της δεξαμενής κρέμεται μεταλλική ράβδος 30 cm η οποία αποτελεί σημείο αναφοράς για την απόσταση που έχουν τα ψάρια από το φακό της κάμερας, αφού όταν αυτά κινούνται μπροστά στο φακό δείχνουν μεγάλα, ενώ μακριά από αυτόν δείχνουν μικρά. Στη δεύτερη δεξαμενή δεν υπάρχει ηχείο, ενώ η κάμερα τοποθετείται μέσα στο νερό σε αντίστοιχη θέση με την πρώτη δεξαμενή. Πρόκειται για τη δεξαμενή που παίζει το ρόλο του μάρτυρα όπου δεν εκπέμπεται ηχητικό σήμα.

Γενικά, υπάρχει αρκετός **θόρυβος** στο χώρο διεξαγωγής του πειράματος. Πηγή θορύβου αποτελεί το σύστημα εισόδου του νερού στις υπόλοιπες δεξαμενές των χειρσαίων εγκαταστάσεων του ΕΛΚΕΘΕ που βρίσκονται στον ίδιο χώρο και οι οποίες τροφοδοτούνται συνεχόμενα. Επίσης, συνεχόμενο θόρυβο προκαλεί η λειτουργία της ηλεκτρικής αντλίας που μεταφέρει θαλασσινό νερό για την τροφοδοσία των δεξαμενών. Τέλος, έντονη όχληση αποτελεί η απογείωση αεροσκαφών από το πολιτικό αεροδρόμιο που βρίσκεται σε απόσταση 2 χιλιομέτρων. Οι παραπάνω

θόρυβοι θα αποτελούσαν ίσως απαγορευτικό περιβάλλον για τη διεξαγωγή πειραμάτων με ήχο, στην περίπτωση μη εγκλιματισμένων ειδών. Παρ' όλα αυτά, η συνεχόμενη εκπομπή των ήχων αυτών, τους καθιστά μέρος του περιβάλλοντος εκτροφής των ψαριών και φαίνεται πως αυτά εγκλιματίζονται πλήρως στις συνθήκες αυτές.

Για την **εκπομπή του ήχου** χρησιμοποιούνται το ηχείο και η φορητή γεννήτρια που αναφέρονται στην παράγραφο 2.2.1 (β). Αντίθετα, ο ενισχυτής είναι φορητός (TOA CA-160), με σημαντικά μικρότερο μέγεθος και βάρος (στην εικόνα 2.9 το νούμερο 2). Επίσης, όλο το σύστημα εκπομπής ήχου είναι δυνατό να συνδεθεί με φορητή μπαταρία. Το γεγονός αυτό καθιστά δυνατή την πραγματοποίηση πειραμάτων ανεξάρτητα από την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος.

Η **καταγραφή** της συμπεριφοράς έγινε με το φορητό υπολογιστή και το λογισμικό που περιγράφονται στην παράγραφο 2.2.2 (α).



**Εικόνα 2.10 :** Φορητός ενισχυτής (2), γεννήτρια (1) και φορητός υπολογιστής (3)



Μπαταρία ηλεκτρικού ρεύματος

### 2.3.2 Μεθοδολογία

Σε καθεμιά από τις 2 πειραματικές δεξαμενές τοποθετούνται 75 τσιπούρες μέσου βάρους 250 gr και παραμένουν στις συνθήκες που πρόκειται να γίνει το πείραμα, για 20 μέρες, ώστε να επιτευχθεί πλήρης εγκλιματισμός. Το **πρωτόκολλο καταγραφής** περιλαμβάνει εκπομπή 3 ηχητικών σημάτων διάρκειας 30 sec και χορήγηση τροφής αμέσως μετά από κάθε σήμα. Κάθε καταγραφή διαρκεί 15 λεπτά και οι φάσεις μέσα σε αυτήν κατανέμονται ως εξής:

- 3 λεπτά παρατήρηση (χωρίς κάποιο ερέθισμα)
- 1<sup>ο</sup> ηχητικό σήμα 30 sec + 30 sec παύση
- χορήγηση τροφής (διάρκεια 1 min)
- 2 λεπτά παρατήρηση
- 2<sup>ο</sup> ηχητικό σήμα 30 sec+ 30 sec παύση
- χορήγηση τροφής (διάρκεια 1 min)
- 2 λεπτά παρατήρηση
- 3<sup>ο</sup> ηχητικό σήμα 30 sec+ 30 sec παύση
- χορήγηση τροφής (διάρκεια 1 min)
- 2 λεπτά παρατήρηση

Στη δεξαμενή του **Μάρτυρα** δεν υπάρχει ηχητικό σήμα και η χορήγηση τροφής γίνεται στον αντίστοιχο χρόνο με την πρώτη δεξαμενή.

Η χορήγηση της τροφής γίνεται με το χέρι. Όλοι οι χειρισμοί του πειράματος γίνονται σε απόσταση 3 μέτρων από τις δεξαμενές, ενώ ο χειριστής είναι καθισμένος γεγονός που δεν επιτρέπει στα ψάρια να αντιληφθούν την παρουσία του από την επιφάνεια.



Γίνονται 2 καταγραφές τη μέρα, μία το πρωί και μία το μεσημέρι. Τα ψάρια δεν ταίζονται άλλη φορά παρά μόνο κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας.

Σε ό,τι αφορά τις **συχνότητες** του ηχητικού σήματος, δοκιμάστηκαν τα 200, 500 και τα 800 Hz στην ένταση των -20dBu. Η επιλογή των συχνοτήτων και της έντασης έγινε με βάση την απόκριση που είχαν τα ψάρια στα πειράματα που έγιναν στα ενυδρεία, καθώς και στον Αμβρακικό κόλπο. Οι δοκιμές που έγιναν στις δεξαμενές ήταν χρονικά οι τελευταίες, για το λόγο αυτό στον πειραματικό σχεδιασμό λήφθηκαν υπόψη οι παρατηρήσεις καθώς και τα αποτελέσματα από τα ενυδρεία και το πεδίο.

Σε κάποιες από τις εγγραφές μεταβλήθηκε η διάρκεια εκπομπής του ήχου σε 5, 15 και 60 sec, προκειμένου να ελεγχθεί αν η διάρκεια εκπομπής του ηχητικού σήματος παίζει κάποιο ρόλο στην απόκριση των ψαριών σε αυτόν. Το μεγαλύτερο μέρος των εγγραφών έγινε, παρόλα αυτά, με διάρκεια σήματος 30 sec.

Εκτός από τους ήχους με τις συχνότητες που αναφέρθηκαν, δοκιμάστηκαν και **σύνθετοι ήχοι** διαφορετικών ειδών μουσικής. Συγκεκριμένα, ακούστηκαν :

- ήχος εγχόρδων (βιολί και continuo –Vivaldi, Sonata No 1 in C major- 3 λεπτά)
- ήχος παραδοσιακών αφρικάνικων κρουστών (– “Bushmen, Qwii The First People”- 3 λεπτά)
- ήχος πνευστού οργάνου (2 φλάουτα – Telemann, Sonata for 2 flutes in A minor - 3 λεπτά)
- ηλεκτρικός ήχος (drums, ηλεκτρικό μπάσο, synthesizer – Jethro Tull “Locomotive Breath” from the album “Aqualung” – 3 λεπτά).

Η εκπομπή αυτών των μουσικών αποσπασμάτων έγινε με σύνδεση φορητού CD player στον ενισχυτή, ο οποίος -όπως γινόταν και με τους απλούς ήχους- μετέδιδε το σήμα στο ηχείο που βρισκόταν μέσα στη δεξαμενή.

Τέλος, παίχτηκε **μουσική ζωντανά** έξω από τις δεξαμενές. Συγκεκριμένα, ακούστηκε ήχος φλάουτου, σε απόσταση 1 και 2 μέτρων από τη δεξαμενή χωρίς ο εκτελεστής να είναι ορατός από τα ψάρια. Η ερμηνεία έγινε με τον εκτελεστή ακίνητο, καθώς και με αργή μετακίνησή του κατά μήκος της δεξαμενής.

Τόσο για τα αποσπάσματα μουσικής που δοκιμάστηκαν όσο και για τη ζωντανή μουσική τηρήθηκε το βασικό πρωτόκολλο που εφαρμόστηκε για τις απλές συχνότητες (σε ότι αφορά τη διάρκεια, τη χρονική στιγμή εκπομπής των ήχων και τη χορήγηση τροφής).

### 2.3.3 Ανάλυση δεδομένων

Η επεξεργασία των καταγραφών που έγιναν με τον τρόπο που περιγράφηκε, δεν ήταν δυνατό να γίνει με το λογισμικό ανάλυσης που σχεδιάστηκε και χρησιμοποιήθηκε για τα ενυδρεία. Ο κύριος λόγος που εμπόδιζε την εφαρμογή αυτή ήταν το μέγεθος των ψαριών που τώρα είναι σαφώς μεγαλύτερο, καθώς και ο αριθμός τους μέσα στη δεξαμενή. Έτσι, το λογισμικό δεν έχει τη δυνατότητα να εντοπίσει τα ψάρια, αφού η κίνηση ενός ψαριού μπροστά από την κάμερα καλύπτει όλη την εικόνα και άρα κρύβει το οπτικό πεδίο. Επίσης, το μέγεθος των ψαριών μεταβάλλεται ανάλογα με τη θέση τους – επίδραση της τρίτης διάστασης του βάθους.

Έτσι, η επίδραση του ήχου στα ψάρια και η συμπεριφορά τους στη χορήγηση τροφής, αποδίδεται με τη μορφή εικόνων που επιλέχτηκαν από τις καταγραφές και επεξεργάστηκαν με το πρόγραμμα Windows Media Classics.

## 2.4 Πειράματα στο πεδίο

Τα πειράματα που έγιναν στο πεδίο, έλαβαν χώρα στη μονάδα ιχθυοκαλλιέργειών «Ευρύαλος Α.Ε.» που βρίσκεται σε κλειστό όρμο του Αμβρακικού κόλπου, στο Μενίδι Αιτωλοακαρνανίας. Διακρίνονται σε δύο φάσεις : η πρώτη αφορά δοκιμές που έγιναν σε ιχθυοκλωβούς εγκατεστημένους στον όρμο και η δεύτερη δοκιμές που έγιναν μέσα στον όρμο έξω από τους ιχθυοκλωβούς. Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν το μήνα **Ιούλιο**, και η **μέση θερμοκρασία** στην επιφάνεια του νερού ήταν  $28,5^{\circ}\text{C}$ , ενώ η **αλατότητα** 30 ‰. Η **διάρκεια της ημέρας** το μήνα αυτό –και άρα του φωτός- είναι γύρω στις 14 ώρες και της νύχτας 10 ώρες.

### 2.4.1 Περιγραφή ιχθυοκλωβών

Για τα πειράματα που έγιναν χρησιμοποιήθηκαν **δύο ιχθυοκλωβοί**, εγκατεστημένοι σε απόσταση 200 m μακριά από την ακτή, όπου βρίσκονταν οι χερσαίες εγκαταστάσεις της μονάδας.



**Εικόνα 2.9 :** Πειραματικοί ιχθυοκλωβοί (Ευρύαλος Α.Ε., Μενίδι Αιτωλοακαρνανίας)

Η μεταξύ τους απόσταση ήταν 25 m. Γύρω από τους κλωβούς υπήρχε μια ξύλινη βάση που ήταν η έδρα για την τοποθέτηση του εξοπλισμού. Οι διαστάσεις των ιχθυοκλωβών ήταν 4 x 4 x 7 m, όπου 4 m ήταν η κάθε πλευρά και 7 m το βάθος του δικτυού. Έτσι, ο όγκος του κάθε ιχθυοκλωβού ανέρχεται στα  $120\text{ m}^3$  στα οποία τοποθετήθηκαν 50 τσιπούρες μέσου βάρους 150 gr. Στο κέντρο περίπου του ενός

ιχθυοκλωβού τοποθετείται το ηχείο, ενώ ο άλλος αποτελεί το μάρτυρα και δεν εκπέμπεται ήχος. Η αρχική πρόβλεψη για τοποθέτηση ταϊστρών αυτοχειρισμού, τελικά δεν υλοποιήθηκε για δύο λόγους : αφενός γιατί τα ψάρια επιθυμούσαμε να τρώνε μόνο κατά τη διάρκεια του πειράματος και αφετέρου γιατί η διαδικασία συμπλήρωσης της ταϊστρας με τροφή ουσιαστικά ειδοποιεί τα ψάρια ότι πρόκειται να φάνε και άρα αναιρεί την επίδραση που ενδεχομένως έχει το ηχητικό σήμα. Έτσι, η **χορήγηση τροφής** γίνονταν με το χέρι, μετά το ηχητικό σήμα, από τη θέση στην οποία βρίσκονταν ο χειριστής του φορητού συστήματος.

Σε κάθε κλωβό τοποθετήθηκε μία **αδιάβροχη κάμερα** – όπως περιγράφονται στην παράγραφο 2.2.2 (α). Η κάμερα κρεμάστηκε με σκοινί από τη μία πλευρά του κλωβού και σε βάθος 1 μέτρου.

Ο **εξοπλισμός ήχου και καταγραφής** περιλαμβάνει :

- το **ηχείο** που είναι μόνιμα τοποθετημένο στον ένα κλωβό
- τη **φορητή γεννήτρια** παραγωγής ήχων που χρησιμοποιήθηκε σε όλα τα πειράματα και περιγράφεται στην παράγραφο 2.2.1 (β)
- το **φορητό ενισχυτή** (παράγραφος 2.3.1)
- **μπαταρία** τροφοδοσίας ρεύματος για τον ενισχυτή (παράγραφος 2.3.1)
- **φορητό υπολογιστή** με εγκατεστημένο το λογισμικό που περιγράφεται στην παράγραφο 2.2.2 (α).

Ο **θόρυβος** στην περιοχή διεξαγωγής του πειράματος προέρχεται κυρίως από τη μετακίνηση σκαφών –κυρίως ερασιτεχνικών- σε αρκετή ωστόσο απόσταση από το χώρο των ιχθυοκλωβών.

#### 2.4.2 Μεθοδολογία

Η εγκατάσταση των ψαριών στους κλωβούς που έγιναν οι καταγραφές έγινε 7 μέρες πριν την έναρξη της πειραματικής διαδικασίας, προκειμένου να γίνει εγκλιματισμός τους στο περιβάλλον του πειράματος. Η **πρόσβαση** στους κλωβούς γίνονταν με κανώ, προκειμένου η όχληση στο νερό να είναι η ελάχιστη δυνατή. Η παραμονή του χειριστή σε κάθε κλωβό είχε διάρκεια περίπου 1 ώρα, κατά την οποία γίνονταν αρχικά η εγκατάσταση και σύνδεση του εξοπλισμού στην ξύλινη βάση του κλωβού, ακολουθούσε μια περίοδος αναμονής και τελικά γινόταν η καταγραφή.



**Εικόνα 2.11 :** Εξοπλισμός στην ξύλινη βάση του κλωβού.

Οι **καταγραφές** γίνονται 2 φορές τη μέρα, μία νωρίς το πρωί και μία αργά το απόγευμα και είχαν διάρκεια 15 λεπτών. Κατά τη διάρκεια της μέρας οι υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται καθιστούσαν δύσκολους τους χειρισμούς και απέτρεπαν τα ψάρια να κινηθούν στην επιφάνεια.

Το **πρωτόκολλο καταγραφής** περιλαμβάνει εκπομπή 3 ηχητικών σημάτων διάρκειας 30 sec. Οι φάσεις μέσα σε κάθε καταγραφή είναι οι εξής :

- 5 λεπτά παρατήρηση (χωρίς κάποιο ερέθισμα)
- 3 ηχητικά σήματα διάρκειας 30 sec το καθένα με παύση 30 sec ανάμεσά τους
- χορήγηση τροφής (διάρκεια 2 min)
- 5 λεπτά παρατήρηση

Στον πληθυσμό του **Μάρτυρα** δεν υπάρχει ηχητικό σήμα και η χορήγηση τροφής γίνεται στον αντίστοιχο χρόνο με την πρώτη δεξαμενή.

Όλοι οι χειρισμοί του πειράματος γίνονται από την ξύλινη βάση του κλωβού με το χειριστή καθισμένο και ακίνητο για την ελάχιστη δυνατή ενόχληση των ψαριών.

**Χορήγηση τροφής** γίνεται μόνο κατά τη διάρκεια των καταγραφών.

Οι **συχνότητες** που δοκιμάστηκαν ήταν αυτές των 100, 200, 500, 800, 1250 και 2500 Hz, σε ένταση -10 και 0 dBu.

### 2.4.3 Πειράματα στον όρμο

Η δεύτερη φάση των πειραμάτων που έγιναν στο πεδίο, περιλαμβάνει την **απελευθέρωση των ψαριών** που βρίσκονταν στον ιχθυοκλωβό με το ηχείο. Σκοπός ήταν να ελεγχθεί αν οι τσιπούρες που έχουν ήδη εκτεθεί σε ηχητικό ερέθισμα προκειμένου να φάνε, μπορούν να επιστρέψουν εφόσον ακουστεί ο ήχος.

Ο **εξοπλισμός** που χρησιμοποιήθηκε για την εκπομπή του ήχου και την καταγραφή της εικόνας είναι ο ίδιος με εκείνον που αναφέρθηκε για τους ιχθυοκλωβούς. Η **κάμερα** τοποθετήθηκε σε βάθος 0,5 και 1 m.

Η **εκπομπή του ήχου** έγινε σε 3 διαφορετικές **θέσεις** :

- κοντά στον κλωβό από τον οποίο απελευθερώθηκαν τα ψάρια
- σε θέση κοντά σε βραχώδη ακτή, όπου συχνά εμφανίζονται ψάρια για να τραφούν

- κοντά στη συστοιχία των άλλων κλωβών της μονάδας, που περιέχουν τσιπούρες και λαβράκια.

Για την πρώτη θέση η βάση εγκατάστασης του εξοπλισμού ήταν η ξύλινη γύρω από τον κλωβό. Για τη δεύτερη θέση, η παρατήρηση και οι καταγραφές έγιναν από το φουσκωτό σκάφος που διέθεσε η μονάδα ιχθυοκαλλιέργειών. Στην τρίτη θέση υπήρχαν μεταλλικές βάσεις γύρω από τους κλωβούς, όπου και εγκαταστάθηκε ο εξοπλισμός.

Δοκιμάστηκαν οι **συχνότητες** 100, 200 και 500 Hz, στην ένταση των -10 και 0 dBu. Συγκεκριμένα, γίνονταν εκπομπή 3 σημάτων των 30 sec το καθένα, με ενδιάμεση παύση 30 sec. Με το χέρι ρίχνονταν μικρή ποσότητα τροφής. Ακολουθούσαν και άλλα σήματα και πάλι ρίχνονταν μικρή ποσότητα τροφής. Η **διάρκεια της καταγραφής** ήταν 15 λεπτά. Προγραμματίστηκαν να γίνουν καταγραφές νωρίς το πρωί, 1 ώρα μετά την πρώτη καταγραφή και ξανά το απόγευμα.

#### 2.4.4 Ανάλυση δεδομένων

Η χρήση του λογισμικού ανάλυσης που σχεδιάστηκε για τις καταγραφές των ενυδρείων δεν είναι δυνατή για το πεδίο. Είναι φανερό πως τώρα εμπλέκονται περισσότεροι παράγοντες (βάθος, διαύγεια νερού, διαφορετικά είδη ψαριών και άρα διαφορετικά μεγέθη). Στην περίπτωση του πεδίου το ενδιαφέρον εντοπίζεται κυρίως στην εκπαίδευση των ψαριών και στη συνέχεια στην αναγνώριση των ειδών που πιθανώς προσελκύει ο ήχος. Άρα, σε επόμενη φάση, απαιτείται σχεδιασμός ενός νέου λογισμικού που θα καλύπτει τις ανάγκες αυτές.

Για την ανάλυση των δεδομένων που πήραμε, οι καταγραφές εξετάστηκαν μία προς μία και παρουσιάζονται κάποια ποιοτικά αποτελέσματα με τη μορφή εικόνων, όπως αυτές προέκυψαν μετά την επεξεργασία με το πρόγραμμα Windows Media Classics.



### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

#### 3.1 Καταγραφή και ποιοτική εκτίμηση με αναλογικό σήμα σε ενυδρείο

##### 3.1.1 Συνθήκες πειράματος και εγκλιματισμός πειραματικού πληθυσμού

Στα πρώτα πειράματα ελέγχου της επίδρασης ηχητικού σήματος στη συμπεριφορά των ψαριών έγιναν καταγραφές με αναλογικό σήμα σε **τσιπούρες** (*Sparus aurata*), οι οποίες διατηρήθηκαν για διάστημα 2 μηνών σε ενυδρεία, στο εργαστήριο Ιχθυοκαλλιεργειών του Πανεπιστημίου Κρήτης. Κατά την έναρξη της πειραματικής διαδικασίας τα ψάρια είχαν μέσο βάρος  $12,0 \pm 0,5$  g και συνολικό μήκος  $9,2 \pm 0,05$  cm. Στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας, δηλαδή μετά από 2 μήνες το μέσο βάρος των ψαριών που εκτέθηκαν στον ήχο ήταν  $16,0 \pm 2,0$  g και των μαρτύρων  $15,0 \pm 2,0$  g (με μέσο συνολικό μήκος  $10,1 \pm 0,1$  cm).

Τα ψάρια διατηρήθηκαν σε σταθερές συνθήκες φωτοπεριόδου, αλατότητας θερμοκρασίας και οξυγόνου, όπως αυτές συνοψίζονται στον Πίνακα 3.1.

**Πίνακας 3.1:** Μέσοι όροι ( $\pm$  σταθερή απόκλιση) των κυριότερων αβιοτικών παραγόντων του πειράματος ελέγχου ηχητικής απόκρισης με καταγραφή αναλογικού σήματος

Φωτοπερίοδος	Αλατότητα	Θερμοκρασία	Οξυγόνο	pH
12 h φως 12 h σκοτάδι	$34 \pm 1\%$	$22 \pm 1^\circ\text{C}$	$95 \pm 3\%$	7,5

Στα πρώτα αυτά πειράματα το ηχείο βρισκόταν στο κέντρο του ενυδρείου – στα 60 cm μετρώντας από αριστερά προς τα δεξιά-, η αυτόματη ταΐστρα από όπου χορηγείται η τροφή δεξιά – στα 100 cm – και η ταΐστρα αυτοδιατροφής μεταξύ των δύο –στα 80 cm (βλ. υλικά και μέθοδοι Σχήμα 2.1). Στο ενυδρείο Μάρτυρα η αυτόματη ταΐστρα βρισκόταν στα 80 cm ενώ η άλλη στα 100 cm.

Οι πρώτες ποιοτικές παρατηρήσεις έγιναν ήδη από τη στιγμή που τα ψάρια τοποθετήθηκαν στα ενυδρεία και άρχισε ο εγκλιματισμός τους. Αρχικά δε γνώριζαν ότι η ταΐστρα αυτοδιατροφής μπορούσε να ενεργοποιηθεί με κίνηση του μοχλού της. Κάποιες ενδεικτικές κινήσεις αυτού από τον παρατηρητή ήταν αρκετές προκειμένου να μάθουν να τον χρησιμοποιούν. Έτσι, τις νευρικές κινήσεις γύρω από την ταΐστρα, που χαρακτήριζαν τα ψάρια τις 4 πρώτες μέρες της εγκατάστασής τους στα ενυδρεία, διαδέχτηκαν συνεχόμενα χτυπήματα του μοχλού από 2-3 άτομα τα οποία επωφελούνται την τροφή που πέφτει στην επιφάνεια ενώ τα υπόλοιπα τρώνε την τροφή που πέφτει στον πυθμένα. Καταναλώνουν όλη την τροφή μεμιάς και συνεχίζουν να χτυπούν το μοχλό περίπου 40 λεπτά αφού έχει τελειώσει η τροφή.

**Πίνακας 3.2:** Εγκλιματισμός στο ενυδρείο και χρήση της αυτόνομης ταΐστρας

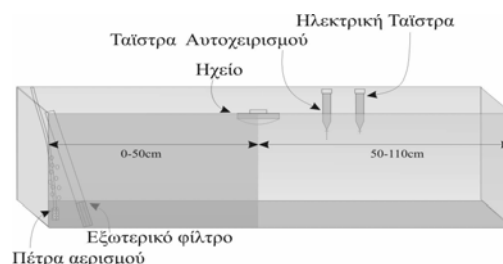
Ημέρα	Τροφή που τοποθετήθηκε (g)		Τροφή που καταναλώθηκε (g)	
	1	M	1	M
0	-	-	-	-
1	1,2	1,2	1,11	0,53
2	1,2	1,2	0,954	1,074
3	1,2	1,2	0,1	0,18
4	1,2	1,2	1,199	1,136
5	1,2	1,2	1,196	1,194
6	1,2	1,2	1,187	1,157
7	1,2	1,2	1,2	1,2

Όπως φαίνεται από τον παραπάνω Πίνακα, χρειάστηκαν 4 μέρες για την **εξοικείωση των ψαριών** με την ταΐστρα αυτοδιατροφής και τον εγκλιματισμό στο νέο τους περιβάλλον. Από την 5<sup>η</sup> μέρα της μεταφοράς τους στα ενυδρεία, καταναλώνουν όλη την τροφή και κινούνται σε όλο το ενυδρείο. Από τη συμπεριφορά των ψαριών κρίνεται ότι έχει γίνει ο εγκλιματισμός τους και αρχίζει η έκθεσή τους στο ηχητικό ερέθισμα.

### 3.1.2 Μετρήσεις

Την 8<sup>η</sup> μέρα ξεκινάει η έκθεση του πειραματικού πληθυσμού σε **ηχητικό ερέθισμα** 2 φορές τη μέρα και σύμφωνα με το **πρωτόκολλο** : σε 15 λεπτά καταγραφής, 1 λεπτό παρατήρησης, 3 ηχητικά σήματα των 30s το καθένα με 30s παύση μεταξύ τους, 1,5 λεπτό παρατήρησης, 5 λεπτά ήχου και άνοιγμα της ηλεκτρικής ταΐστρας, 5 λεπτά παρατήρησης. Έτσι, διακρίνονται **4 χρονικές φάσεις: 1)** πριν τον ήχο **2)** κατά τη διάρκεια του ήχου **3)** ήχος και τροφή **4)** μετά .

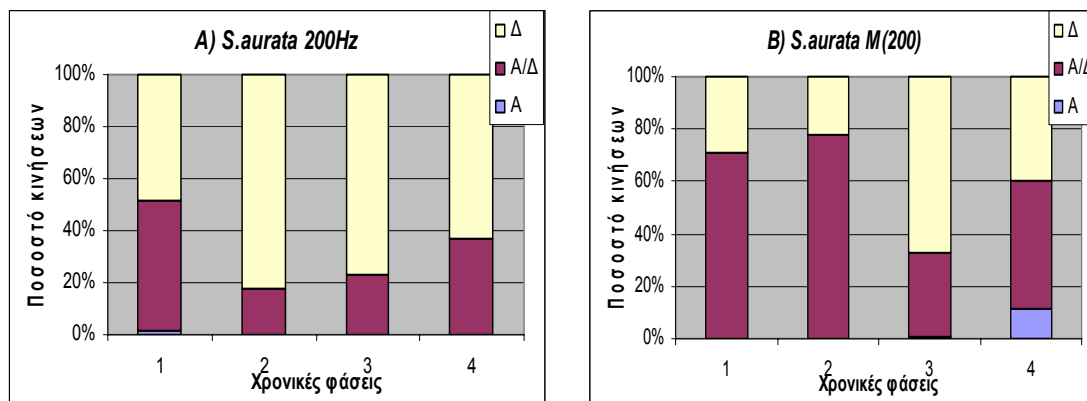
Ταυτόχρονα, καταγράφεται η συμπεριφορά ίσου αριθμού ψαριών που βρίσκονται στις ίδιες καθ' όλα συνθήκες, και τα οποία δεν υποβάλλονται σε ηχητικό ερέθισμα. Η κάθε καταγραφή αναλύεται οπτικά, δηλαδή ο παρατηρητής βλέπει σε monitor την εγγραφή και μετράει πού βρίσκονται για κάθε εναλλαγή της εικόνας (12 sec) τα περισσότερα ψάρια. Αυτό σημαίνει είτε περισσότερα από 5 (δεδομένου ότι ο συνολικός αριθμός των ψαριών είναι 10), είτε η μεγαλύτερη ομάδα, στην περίπτωση που τα ψάρια είναι διασπαρμένα σε όλο το ενυδρείο. Καταγράφονται οι κινήσεις που πραγματοποιούνται στα 15 cm από την επιφάνεια και όχι οι κινήσεις που γίνονται στον πυθμένα. Οι κινήσεις που πραγματοποιούνται από τα 0 – 50 cm του μήκους του ενυδρείου, δηλαδή στα πρώτα 5 τετράγωνα (από αριστερά προς τα δεξιά) καταχωρούνται στην κατεύθυνση «**αριστερά**» (**A**), στην περιοχή αριστερά του ηχείου και της ταΐστρας. Οι κινήσεις που γίνονται σε όλο το ενυδρείο, καταχωρούνται στην κατεύθυνση «**Αριστερά / Δεξιά**» (**A/Δ**). Τέλος, στην κατεύθυνση «**δεξιά**» (**Δ**), καταχωρούνται οι κινήσεις που γίνονται από τα 50 – 120 cm, περιοχή στην οποία βρίσκονται η ηλεκτρική και η ταΐστρα αυτοδιατροφής (Σχήμα 2.2, υλικά και μέθοδοι, παρατίθεται κάτωθεν). Αναλυτικά πίνακες με τις μετρήσεις που έγιναν παρατίθενται σε Παράρτημα (Πίνακας 1).



Πειραματική διάταξη για την πρώτη σειρά πειραμάτων.

Πρώτη δοκιμάστηκε η συχνότητα των **200 Hz**, αρχικά στην ένταση των -30 dBu και στη συνέχεια στις υπόλοιπες εντάσεις. Τα αποτελέσματα της κατανομής των ψαριών στο χώρο, απεικονίζονται στην εικόνα 3.1 A, ενώ στην εικόνα 3.1 B φαίνεται η αντίστοιχη κατανομή των ψαριών του πληθυσμού Μάρτυρα που δεν εκτίθεται σε ηχητικό ερέθισμα.





**Εικόνα 3.1 Α:** Γραφική παράσταση της κατανομής στο χώρο για τις τσιπούρες (*Sparus aurata*) που εκτίθενται σε ήχο 200 Hz.

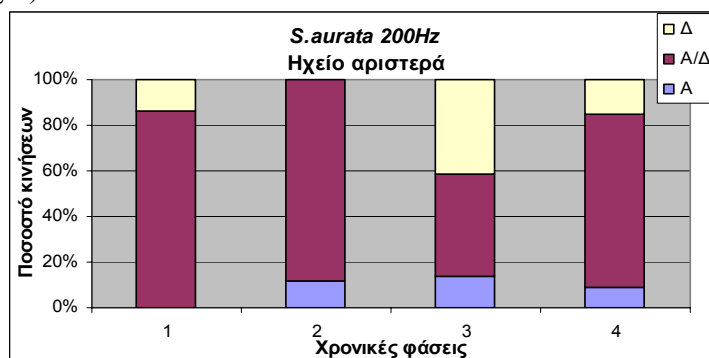
**Εικόνα 3.1 Β:** Γραφική παράσταση της κατανομής στο χώρο για το Μάρτυρα.

Διακρίνονται οι 4 χρονικές φάσεις : 1) πριν τον ήχο 2) κατά τη διάρκεια του ήχου 3) χορήγηση τροφής και ήχος 4) μετά την τροφή και τον ήχο.

Από τα αποτελέσματα αυτά προκύπτει ότι: πριν τον ήχο (**φάση 1**) οι μισές κινήσεις γίνονται δεξιά, ενώ σχεδόν οι υπόλοιπες μισές σε όλο το ενυδρείο (A/Δ). Η εκπομπή του ηχητικού σήματος (**φάση 2**) προσανατολίζει τα 4/5 των κινήσεων δεξιά όπου βρίσκεται η ηλεκτρική ταΐστρα. Εκεί γίνονται άλλωστε τα 4/5 των κινήσεων, και κατά τη διάρκεια χορήγησης της τροφής (**φάση 3**). Μετά το φαγητό και τον ήχο (**φάση 4**) οι κινήσεις A/Δ αυξάνουν. Οι μόνες κινήσεις «αριστερά», παρατηρούνται στη φάση 1 και σε ποσοστό μόλις 2%.

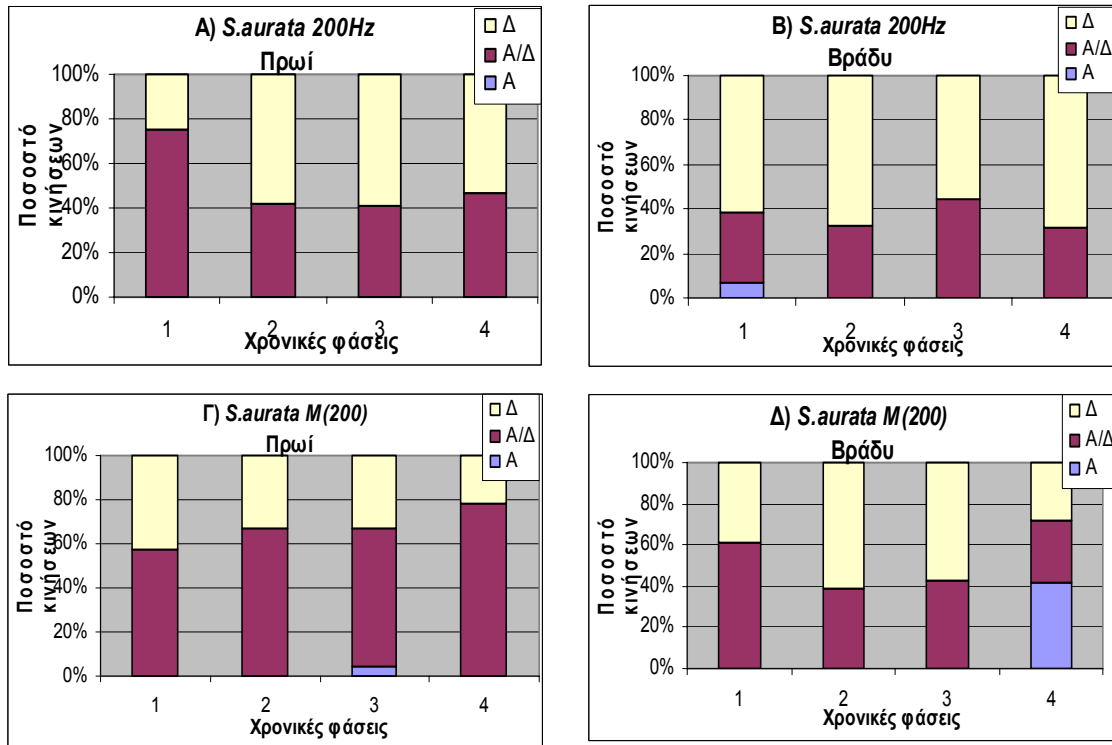
Τα ψάρια στο **Μάρτυρα** δείχνουν πιο έντονη κινητικότητα (70%) «αριστερά – δεξιά» αρχικά (**φάση 1**) και κατά τη διάρκεια εκπομπής του ηχητικού σήματος στο ενυδρείο με τον ήχο (σχεδόν 80%, **φάση 2**). Κατά τη διάρκεια χορήγησης της τροφής η συμπεριφορά τους μοιάζει με αυτήν του πρώτου ενυδρείου, δηλαδή πηγαίνουν δεξιά όπου βρίσκεται η ηλεκτρική ταΐστρα (ποσοστό κινήσεων 70%). Μετά το φαγητό (**φάση 4**) κινούνται σε όλο το ενυδρείο («αριστερά», «αριστερά – δεξιά» και «δεξιά»).

Όταν η πηγή του ήχου μετακινείται αριστερά η κατανομή των ψαριών αλλάζει (Εικόνα 3.2). Έτσι, τα ψάρια αρχίζουν να κινούνται και προς τα αριστερά, ενώ μειώνονται εμφανώς οι κινήσεις στη δεξιά πλευρά του ενυδρείου, ακόμα και όταν χορηγείται η τροφή (η ηλεκτρική ταΐστρα δεν έχει αλλάξει θέση, εξακολουθεί να βρίσκεται δεξιά).



**Εικόνα 3.2 :** Τσιπούρες σε ηχητικό ερέθισμα 200 Hz και ένταση -30dBu. Το ηχείο βρίσκεται αριστερά.

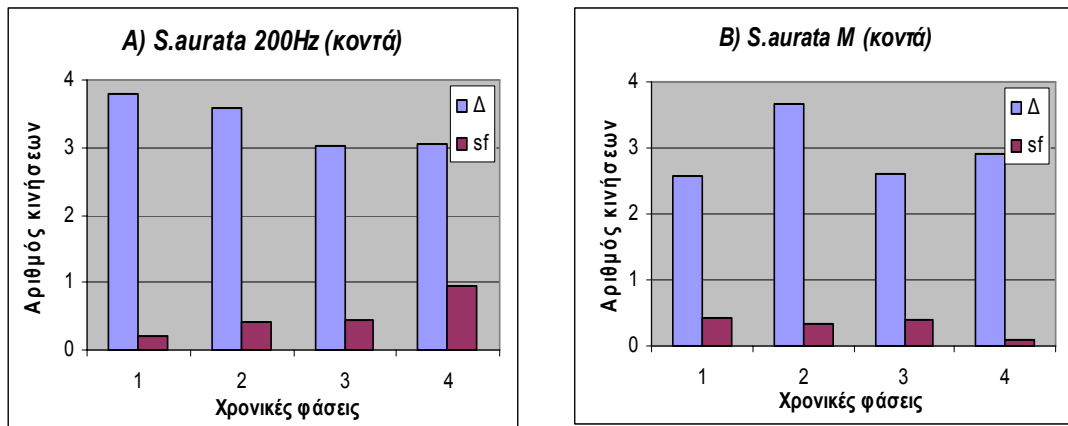
Σε ότι αφορά τις κινήσεις των ψαριών κατά την πρωινή και κατά τη βραδινή εγγραφή η μόνη διαφορά εντοπίζεται πριν την εκπομπή του ήχου, όπου τα ψάρια κατά τη βραδινή εγγραφή φαίνεται να είναι ήδη προσανατολισμένα προς τα δεξιά (Εικόνα 3.3 Β). Στο Μάρτυρα οι τσιπούρες κινούνται έντονα και αριστερά του ενυδρείου μετά τη χορήγηση της τροφής (Εικόνα 3.3 Δ).



**Εικόνα 3.3:** Θέσεις που εμφανίζουν τσιπούρες (*Sparus aurata*), που εκθέτονται σε 200 Hz και ένταση -30dBu (A, B) και ο Μάρτυρας (Γ, Δ) κατά τις 4 φάσεις των πρωινών (A, Γ) και των βραδινών (B, Δ) εγγραφών.

Προκειμένου να ελεγχθεί αν στις διαφορετικές χρονικές φάσεις τα ψάρια χτυπάνε την ταϊστρα αυτοδιατροφής για να πέσει τροφή, έγιναν κάποιες καταγραφές με **κοντινή λήψη**. Αυτό που τελικά ελέγχεται είναι αν το οπτικό ερέθισμα του μοχλού παίζει ρόλο στη διαδικασία τροφοληψίας. Σημειώνεται ότι η ταϊστρα αυτοδιατροφής χρησιμοποιείται για την εκπαίδευση του πειραματικού πληθυσμού κατά την περίοδο εγκλιματισμού του και ενώ παραμένει στη ίδια θέση σε όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας είναι άδεια για δύο λόγους : α) αφενός για να είναι πλήρως ελεγχόμενη η χρονική στιγμή κατά την οποία τα ψάρια τρώνε και β) να εξασφαλίζεται η κατάσταση «πείνας» των ψαριών την ώρα της καταγραφής.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις λήψεις αυτές δείχνουν ότι ο αριθμός των χτυπημάτων του μοχλού είναι μικρός ενώ στο ενυδρείο με ήχο αφού πέσει η τροφή τα χτυπήματα είναι περισσότερα από ό,τι στον πληθυσμό Μάρτυρα (Εικόνα 3.4A και B).



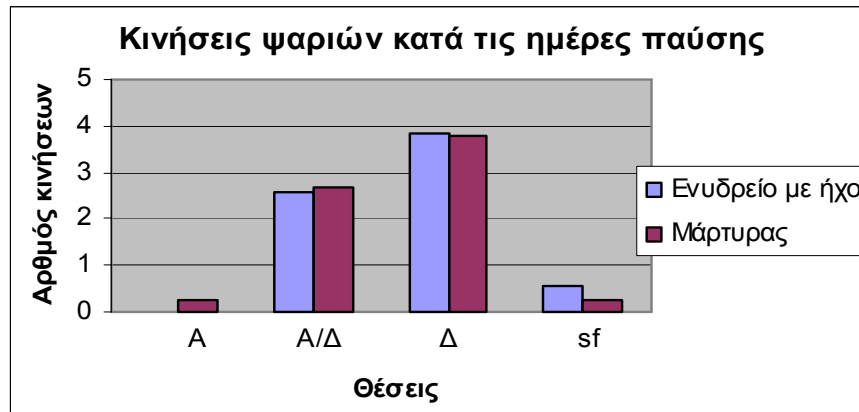
**Εικόνα 3.4:** Κοντινή λήψη στο ενυδρείο με ήχο (Α)(200 Hz, -30dBu) και στο Μάρτυρα (Β). Δ = «δεξιά», sf = self-feeder.

Συνοπτικά, τα αποτελέσματα που ελήφθησαν στα **200 Hz** –την πρώτη συχνότητα που δοκιμάστηκε στον πειραματικό πληθυσμό- είναι τα ακόλουθα :

- πριν τον ήχο για το ενυδρείο με το ηχείο και πριν την τροφή για το Μάρτυρα, οι κινήσεις των ψαριών είναι ομοιόμορφες
- τα ψάρια εμφανίζονται πιο δραστήρια και κινητικά στην επιφάνεια, το πρωί σε σχέση με το βράδυ
- ο προσανατολισμός των ψαριών κατά την κίνησή τους είναι κυρίως «αριστερά-δεξιά» και «δεξιά», ενώ καθαρά «αριστερά» οι κινήσεις είναι πολύ λίγες
- συνολικά, φαίνεται ότι στο ενυδρείο με ήχο, τόσο κατά τη διάρκεια του ηχητικού σήματος όσο και όταν πέφτει η τροφή, τα ψάρια έχουν κατεύθυνση κυρίως «δεξιά», ενώ μετά τη λήξη του ηχητικού σήματος και τη χορήγηση τροφής τα ψάρια κινούνται σε όλο το ενυδρείο («αριστερά-δεξιά»)
- όταν το ηχείο μετακινείται αριστερά, αυξάνουν κατά τη διάρκεια του ήχου οι κινήσεις «αριστερά-δεξιά».

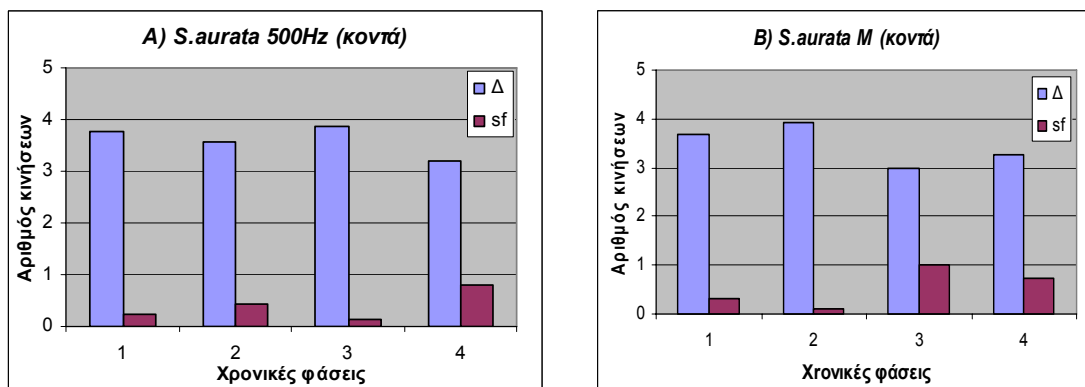
Για τη συχνότητα των 200 Hz δοκιμάστηκαν διαφορετικές εντάσεις μετά την 35<sup>η</sup> μέρα συνεχόμενης έκθεσης των ψαριών σε ήχους διαφορετικών συχνοτήτων. Σε όλες τις εντάσεις που δοκιμάστηκαν, τα ψάρια αντέδρασαν με κυκλικές κινήσεις κάτω από το ηχείο –κατά τη διάρκεια του ήχου- καθώς και συμπεριφορά διεκδίκησης του χώρου του ηχείου. Πρόκειται για μια συμπεριφορά που παρατηρήθηκε για πρώτη φορά την 24<sup>η</sup> ημέρα του πειράματος, όταν δοκιμάζονταν η συχνότητα των 1250 Hz και διατηρήθηκε στη συνέχεια μέχρι την ολοκλήρωση των πειραμάτων.

Μεταξύ των δοκιμών με ήχους διαφορετικών συχνοτήτων, παρεμβάλλεται **ημέρα παύσης** όπου δεν εκπέμπεται ήχος και η τροφή τοποθετείται στην ταϊστρα αυτοδιατροφής. Σε κοντινή λήψη που έγινε κατά τη διάρκεια ημέρας παύσης, φαίνεται να την ενεργοποιούν περισσότερες φορές τα ψάρια που βρίσκονται στο ενυδρείο «με ήχο». Κατά τα άλλα, η κίνηση των ψαριών δείχνει αρκετά ομοιόμορφη τόσο στο ένα όσο και στο άλλο ενυδρείο, με εξαίρεση κάποιες περιορισμένες κινήσεις «αριστερά» που εμφανίζονται μόνο στα άτομα του πληθυσμού Μάρτυρα. Και στα δύο ενυδρεία η πλειοψηφία των κινήσεων αφορά τη δεξιά πλευρά του ενυδρείου, όπου βρίσκονται οι ταϊστρες (Εικόνα 3.5).



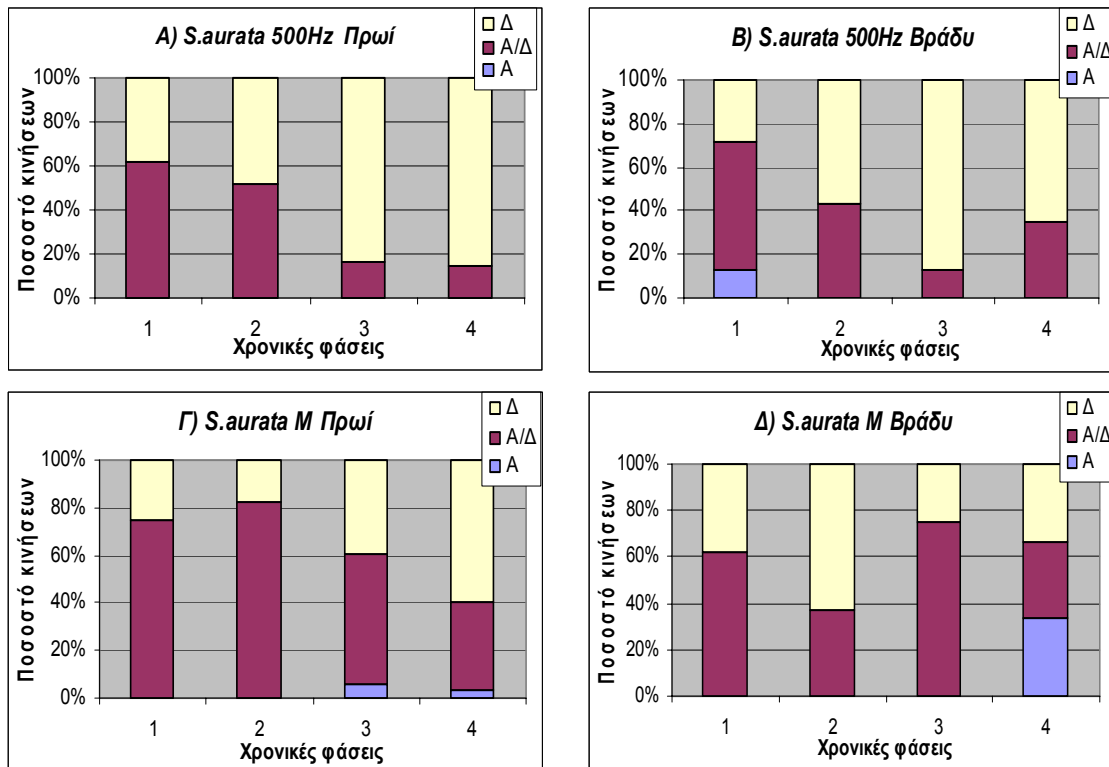
**Εικόνα 3.5:** Θέσεις που εμφανίζουν τα ψάρια στα δύο ενυδρεία κατά τις ημέρες παύσης. (A) «Αριστερά» (A/Δ) «Αριστερά-Δεξιά» (Δ) «Δεξιά» (sf) Self - feeder

Η επόμενη συχνότητα που δοκιμάστηκε ήταν αυτή των **500Hz**. Αρχικά έγινε καταγραφή με κοντινή λήψη και οι κινήσεις των ψαριών τόσο στο ενυδρείο με ήχο όσο και στο Μάρτυρα, απεικονίζονται στην Εικόνα 3.6. Κατά τη διάρκεια του ήχου παρατηρούνται κάποιες ενεργοποιήσεις του μοχλού της ταΐστρας αυτοδιατροφής. Όμως, στον πληθυσμό του Μάρτυρα, τέτοιες ενεργοποιήσεις του μοχλού της ταΐστρας αυτοδιατροφής, παρατηρούνται αφού πέσει η τροφή η οποία παρόλα αυτά, χορηγείται από την ηλεκτρική ταΐστρα.



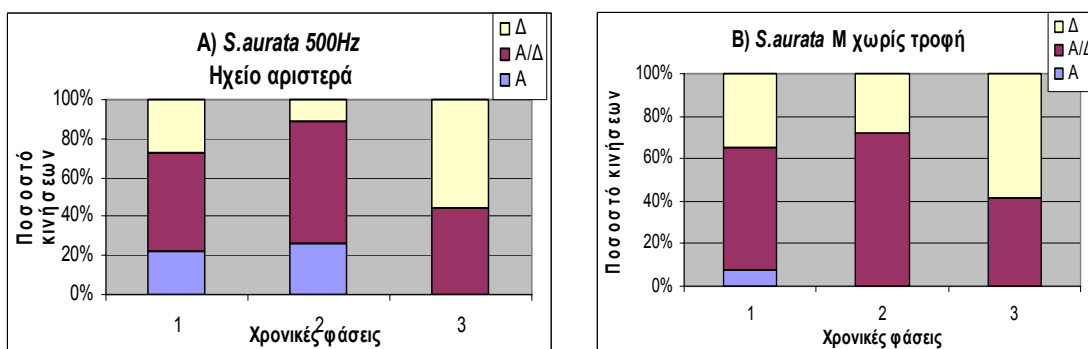
**Εικόνα 3.6 :** Μετακινήσεις ατόμων τσιπούρας (*Sparus aurata*) που εκτίθενται σε ήχο 500Hz (-30dBu) (A) και πληθυσμού Μάρτυρα (B). Κοντινή λήψη, Δ= Δεξιά, sf= ταΐστρα αυτοδιατροφής.

Στο ενυδρείο με ήχο τα ψάρια είναι δραστήρια και τείνουν να προσανατολίζονται δεξιά με το ηχητικό σήμα (Εικόνα 3.7 A και B). Στο Μάρτυρα τα ψάρια δείχνουν να είναι πιο κινητικά το πρωί, σε αντίθεση με το βράδυ όπου συνήθως βρίσκονται στον πυθμένα και μόνο αφού πέσει η τροφή ανεβαίνουν στην επιφάνεια (Εικόνα 3.7 Γ και Δ).



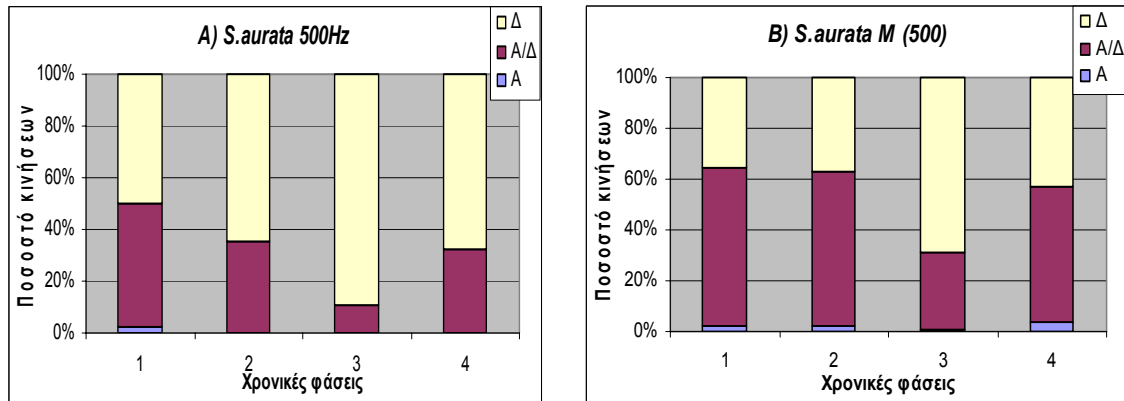
**Εικόνα 3.7:** Θέσεις που εμφανίζουν τσιπούρες (*Sparus aurata*), που εκθέτονται σε 500 Hz και ένταση -30dBu (A, B) και ο Μάρτυρας (Γ, Δ) κατά τις 4 φάσεις των πρωινών (A, Γ) και των βραδινών (B, Δ) εγγραφών.

Την 5<sup>η</sup> μέρα δοκιμής της συχνότητας 500 Hz το ηχείο τοποθετείται αριστερά (μεταξύ 20 και 30 cm από αριστερά) και δε χορηγείται τροφή στα ψάρια. Στο ενυδρείο με ήχο οι κινήσεις άμεσα μετατοπίζονται αριστερά τόσο πριν όσο και κατά τη διάρκεια του ήχου (Εικόνα 3.8 A). Αντίθετα, στο Μάρτυρα δεν παρατηρείται σημαντική μεταβολή στον προσανατολισμό της κίνησης (Εικόνα 3.8 B). Σημειώνεται ότι ως κινήσεις «δεξιά» λαμβάνονται εκείνες που γίνονται σε απόσταση μεγαλύτερη των 30 cm. Το γεγονός ότι δεν χορηγείται τροφή, μειώνει σημαντικά τις κινήσεις δεξιά και στα δύο ενυδρεία.



**Εικόνα 3.8 :** Τσιπούρες (*Sparus aurata*) σε ηχητικό ερέθισμα 500 Hz, όταν το ηχείο είναι αριστερά (A) και ο Μάρτυρας (B). Δε χορηγείται τροφή.

Από την 32<sup>η</sup> μέχρι την 35<sup>η</sup> μέρα της πειραματικής διαδικασίας δοκιμάζονται διαφορετικές εντάσεις της συχνότητας των 500 Hz. Εμφανίζεται συμπεριφορά διεκδίκησης του χώρου όπου βρίσκεται το ηχείο και πολλές κυκλικές κινήσεις γύρω από αυτό στο ενυδρείο με ήχο, όπως και στην προηγούμενη συχνότητα (200Hz). Στα διαφορετικά επίπεδα ήχου που δοκιμάσαμε –εντάσεις- τα ψάρια αποκρίθηκαν θετικά. Στο Μάρτυρα δεν παρατηρούνται κυκλικές κινήσεις, αυτές γίνονται κυρίως «αριστερά-δεξιά». Η χορήγηση της τροφής κατευθύνει τις κινήσεις προς τα δεξιά. Η κατανομή των κινήσεων στο χώρο φαίνεται στην εικόνα 3.9 A για το ενυδρείο με το ηχείο και 3.9 B για το Μάρτυρα.

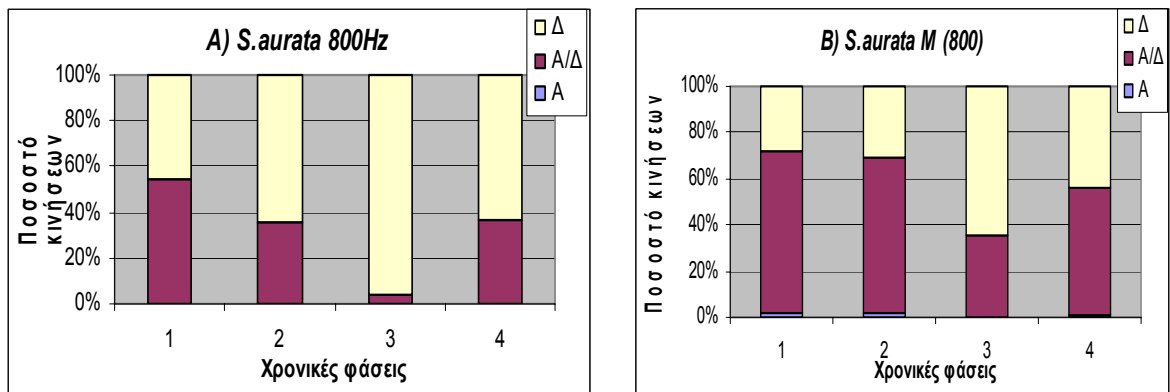


**Εικόνα 3.9 A:** Γραφική παράσταση της κατανομής στο χώρο για τις τσιπούρες (*Sparus aurata*) που εκτίθενται σε ήχο 500 Hz.

**Εικόνα 3.9 B:** Γραφική παράσταση της κατανομής στο χώρο για το Μάρτυρα.

Τα συνολικά αποτελέσματα των δοκιμών που έγιναν σε τσιπούρες με ηχητικό σήμα **800Hz**, φαίνονται στις εικόνες 3.10A και 3.10B. Στο ενυδρείο με ήχο εντοπίζονται περισσότερες κινήσεις «δεξιά» κατά τη διάρκεια του ηχητικού σήματος από ότι στο Μάρτυρα. Επίσης, δεν υπάρχουν καθόλου κινήσεις «αριστερά», ενώ στο Μάρτυρα αυτές είναι πολύ λίγες.

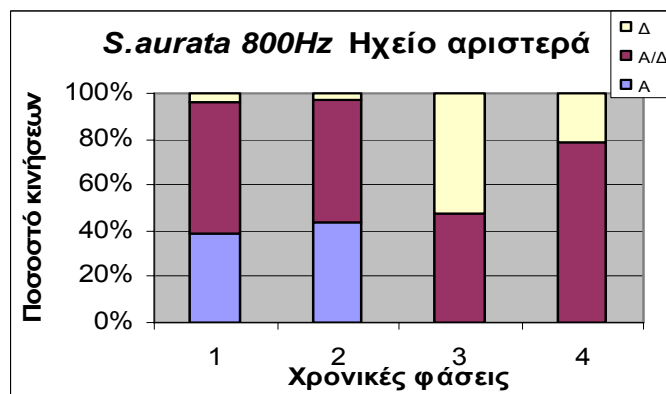
Στις δοκιμές που έγιναν στην ίδια συχνότητα και σε ένταση διαφορετική των -30dBu παρατηρείται ότι δεν υπάρχουν καθόλου κινήσεις «αριστερά», και τη στιγμή της χορήγησης της τροφής και για όσο διαρκεί το ηχητικό σήμα, ούτε «αριστερά-δεξιά». Η δραστηριότητα εντοπίζεται, λοιπόν, δεξιά (Εικόνα 3.10A). Επίσης, παρατηρούνται κυκλικές κινήσεις γύρω από το ηχείο, κυρίως κατά τη διάρκεια που ακούγεται το ηχητικό σήμα, με τάση να πληθαίνουν όσο αυξάνει η ένταση του ήχου (από -62 σε -10 dBu), σε αντίθεση με τις προηγούμενες συχνότητες. Το γεγονός ότι οι καταγραφές με τις διαφορετικές εντάσεις γίνονται αρκετές ημέρες μετά τις πρώτες εγγραφές που αφορούν τη συγκεκριμένη συχνότητα, δε φαίνεται να έχει καμιά επίδραση στη συμπεριφορά που έχει ο πληθυσμός στο Μάρτυρα. Έτσι, εκεί τα ψάρια ακολουθούν το πρότυπο : κινήσεις κυρίως «αριστερά-δεξιά» και «δεξιά» από τη στιγμή που πέφτει η τροφή. Όταν η τροφή καταναλωθεί ψάχνουν «αριστερά-δεξιά» (Εικόνα 3.10B).



**Εικόνα 3.10 Α:** Γραφική παράσταση της κατανομής στο χώρο για τις τσιπούρες (*Sparus aurata*) που εκτίθενται σε ήχο 800 Hz.

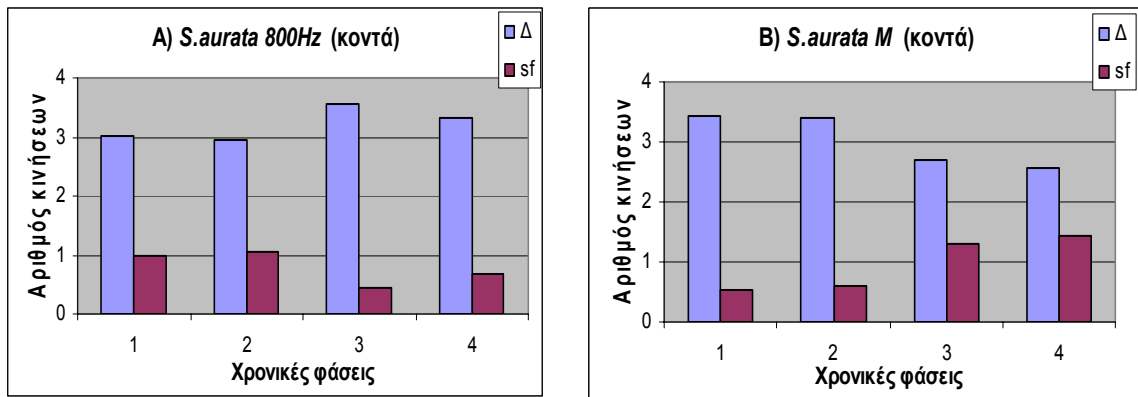
**Εικόνα 3.10 Β:** Γραφική παράσταση της κατανομής στο χώρο για το Μάρτυρα.

Η μετακίνηση του ηχείου αριστερά προσανατολίζει εμφανώς τα ψάρια που δοκιμάζονται στον ήχο προς τα αριστερά, τόσο πριν όσο και κατά τη διάρκεια του ήχου. Ο πληθυσμός του Μάρτυρα εξακολουθεί να κινείται κυρίως «αριστερά-δεξιά» και «δεξιά».



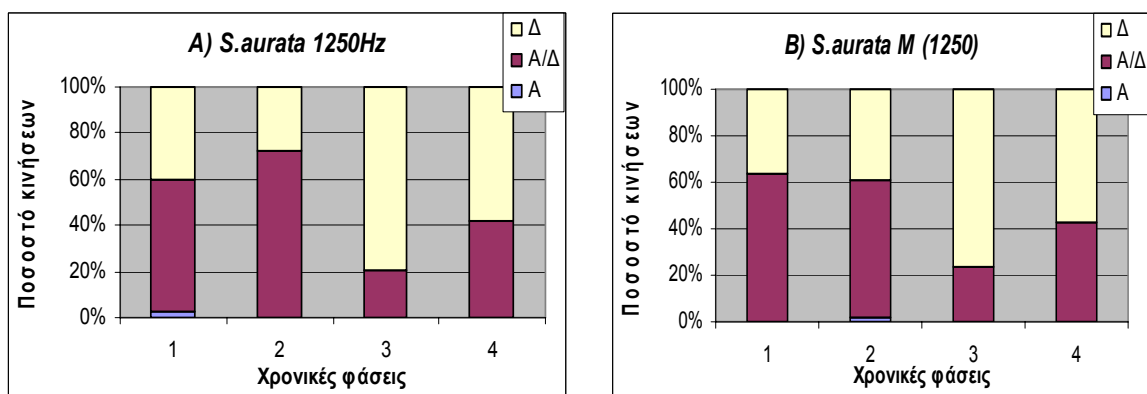
**Εικόνα 3.11 :** Τσιπούρες (*Sparus aurata*) σε ηχητικό ερέθισμα 800 Hz και ένταση -30dBu. Το ηχείο βρίσκεται αριστερά.

Τα ψάρια στο ενυδρείο με το ηχητικό σήμα δείχνουν στην **καταγραφή κοντινής λήψης** μια ασθενή συμπεριφορά διεκδίκησης γύρω από την ηλεκτρική ταΐστρα, όταν ακούγεται το ηχητικό σήμα (Εικόνα 3.12Α). Γενικά, ο ήχος προκαλεί εγρήγορση και κινητικότητα στο ενυδρείο με ήχο. Στο Μάρτυρα αυτή η κινητικότητα παρατηρείται μετά τη χορήγηση τροφής όπου σημειώνονται και αρκετά χτυπήματα στην ταΐστρα (Εικόνα 3.12Β).



**Εικόνα 3.12 :** Μετακινήσεις ατόμων τσιπούρας (*Sparus aurata*) που εκτίθενται σε ήχο 800Hz (-30dBu) (A) και πληθυσμού Μάρτυρα (B). Κοντινή λήψη, Δ= Δεξιά, sf= ταίστρα αυτοδιατροφής.

Οι τελευταίες πειραματικές δοκιμές που έγιναν, σε αυτή την πρώτη σειρά πειραμάτων, αφορούσαν τη συχνότητα των **1250 Hz**. Ελέγχθηκαν και πάλι διαφορετικές εντάσεις του ηχητικού ερεθίσματος, οι οποίες δεν έδειξαν να έχουν σημαντικές διαφορές σε ότι αφορά την κινητικότητα μέσα στο ενυδρείο. Στην εικόνα 3.13 φαίνεται το ποσοστό των κινήσεων παρουσία του ήχου (A) και απουσία αυτού (B) –στο Μάρτυρα.



**Εικόνα 3.13 A:** Γραφική παράσταση της κατανομής στο χώρο για τις τσιπούρες (*Sparus aurata*) που εκτίθενται σε ήχο 1250 Hz.

**Εικόνα 3.13 B:** Γραφική παράσταση της κατανομής στο χώρο για το Μάρτυρα.

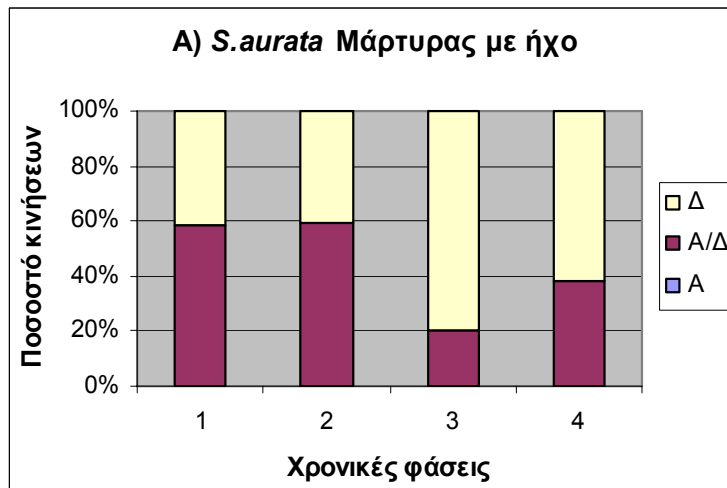
Από τη 2<sup>η</sup> μέρα δοκιμής αυτής της συχνότητας παρατηρείται στο ενυδρείο με ήχο, **συμπεριφορά διεκδίκησης** του χώρου του ηχείου από ένα ψάρι, η οποία παρατηρείται από την αρχή της καταγραφής, συνεχίζεται κατά τη διάρκεια εκπομπής του ήχου και σταματάει όταν πέσει η τροφή. Πρόκειται για κοινωνική συμπεριφορά, που χαρακτηρίζεται από κυκλικές κινήσεις που γίνονται κάτω από το ηχείο και απομάκρυνση των άλλων ψαριών που τείνουν να πλησιάσουν. Αυτό οδηγεί σε μεγάλο αριθμό κινήσεων «αριστερά-δεξιά» των υπόλοιπων ψαριών. Η δραστηριότητα μετατοπίζεται «δεξιά» όταν πέσει η τροφή και στη συνέχεια τα ψάρια διασκορπίζονται σε όλο το ενυδρείο. Δεν παρατηρούνται καθόλου κινήσεις



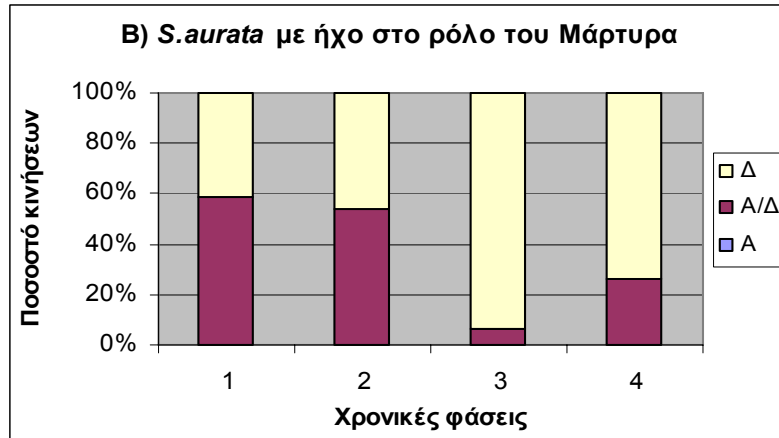
«αριστερά». Γενικά, η συμπεριφορά παρουσιάζει μια ομοιομορφία σε όλη τη διάρκεια των εγγραφών αυτής της συχνότητας.

Στον πληθυσμό του **Μάρτυρα** υπάρχει μια έντονη κινητικότητα «αριστερά-δεξιά», η οποία μετατοπίζεται «δεξιά» όταν πέσει η τροφή, για να επανέλθει σε όλο το ενυδρείο μετά την κατανάλωση της τροφής. Δεν παρατηρείται συμπεριφορά διεκδίκησης, ούτε κυκλικές κινήσεις. Γενικά, η εικόνα που παρουσιάζει ο πληθυσμός του Μάρτυρα, είναι αρκετά σταθερή σε όλη τη διάρκεια των πειραματικών δοκιμών. Η παραπάνω περιγραφή της κίνησής τους ισχύει για όλες τις καταγραφές που έγιναν.

Οι τελευταίες καταγραφές που έγιναν κατά τη διάρκεια της συγκεκριμένης πειραματικής διαδικασίας με αναλογικό σήμα, αφορούν στη **μετακίνηση του ηχείου** από το ενυδρείο των ψαριών που εκτέθηκαν σε ηχητικό σήμα 4 διαφορετικών συχνοτήτων, διαφορετικών εντάσεων για 45 ημέρες, **στο ενυδρείο με τον πληθυσμό του Μάρτυρα**. Το ηχείο εκπομπής ηχητικού σήματος τοποθετήθηκε στο κέντρο του ενυδρείου, δεν άλλαξαν οι θέσεις των ταϊστρών και δοκιμάστηκε η συχνότητα 500 Hz σε ένταση -32 dBu για 2 ημέρες + 1 χωρίς τροφή. Η κινητικότητα στα ενυδρεία παρουσιάζεται στις εικόνες 3.14A και 3.14B και συνοψίζεται ως εξής : Οι κινήσεις στο ενυδρείο με ήχο γίνονται κυρίως στην επιφάνεια ενώ εκεί όπου δεν υπάρχει πια το ηχητικό ερέθισμα, έχουμε αρκετές κινήσεις στον πυθμένα. Παρόλα αυτά, οι 2 μέρες δοκιμής του ήχου σε ψάρια που δεν έχουν εκτεθεί σε αυτό το ερέθισμα δεν είναι αρκετές για να φανεί κάποιο πρότυπο συμπεριφοράς που να μπορεί να αποδοθεί στον ήχο.



**Εικόνα 3.14 A:** Μάρτυρας που εκτίθεται σε ήχο 500 Hz και -32 dBu, για 2 ημέρες.



**Εικόνα 14 Β:** Μάρτυρας (ψάρια που εκτέθηκαν σε ήχο για 45 ημέρες και τώρα παίζουν το ρόλο του μάρτυρα).

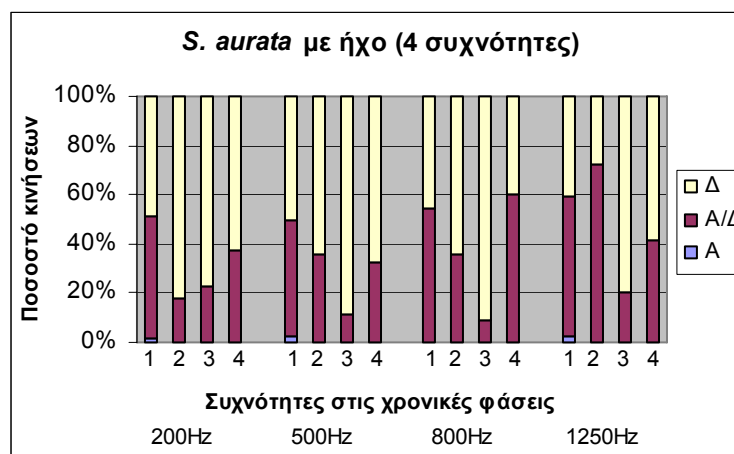
**Συνοψίζοντας** : τα πρώτα ενδεικτικά αποτελέσματα παρατήρησης συμπεριφοράς σε τσιπούρες που έγιναν με εξωτερικές αναλογικές κάμερες και μελετήθηκαν de visu σε monitor δείχνουν ότι έκθεση ατόμων τσιπούρας μέσου βάρους 12 g και μήκους 9,2 cm σε ηχητικό ερέθισμα συχνότητας 200, 500, 800 και 1250 Hz έντασης -32, -42, -62, -20, και -10 dBu είναι δυνατό να μεταβάλλει τη συμπεριφορά τους σε σύγκριση με το πληθυσμό του Μάρτυρα που βρίσκεται στις ίδιες συνθήκες αλλά δεν εκτίθεται σε ηχητικό ερέθισμα (Εικόνες 3.15 και 3.16). Συγκεκριμένα, η συμπεριφορά τους διαφοροποιείται ως προς τα εξής σημεία:

α) στο ενυδρείο με ήχο τα ψάρια είναι προσανατολισμένα «δεξιά», με αποτέλεσμα οι κινήσεις «αριστερά» να είναι πολύ λίγες και μόνο κατά τη χρονική φάση πριν το ηχητικό σήμα

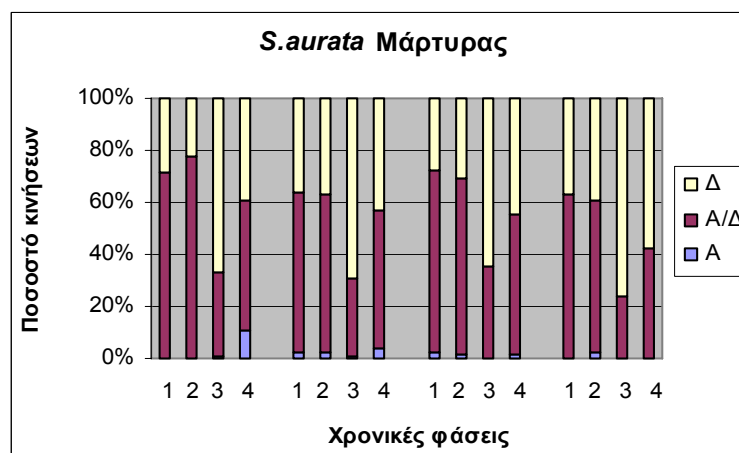
β) η εκπομπή του ήχου μετατοπίζει τον πληθυσμό των ψαριών καθαρά στη δεξιά πλευρά του ενυδρείου, ενώ παρατηρείται μείωση της επίδρασης καθώς η συχνότητα αυξάνει από τα 200 στα 1250 Hz

γ) ο πληθυσμός του Μάρτυρα μετατοπίζεται «δεξιά» μόνο όταν πέσει η τροφή

δ) γενικά, στο Μάρτυρα η κίνηση των ψαριών είναι πιο ομοιόμορφα κατανομημένη σε όλο το ενυδρείο



**Εικόνα 3.15:** Τσιπούρες (*Sparus aurata*) που εκτέθηκαν σε ηχητικό ερέθισμα 4 διαφορετικών συχνοτήτων για 45 ημέρες. A= «αριστερά», A/Δ= «αριστερά/δεξιά», Δ= «δεξιά»



**Εικόνα 3.16:** Τσιπούρες (*Sparus aurata*) που έπαιζαν το ρόλο του μάρτυρα για 45 ημέρες. A= «αριστερά», A/Δ= «αριστερά/δεξιά», Δ= «δεξιά»

## 3.2 Καταγραφή και ποιοτική εκτίμηση με αναλογικό και ψηφιακό σήμα σε ενυδρείο

### 3.2.1 Συνθήκες πειράματος και εγκλιματισμός πειραματικού πληθυσμού

Η επίδραση του ηχητικού σήματος στη συμπεριφορά των ψαριών, μελετήθηκε σε τσιπούρες (*Sparus aurata*) μέσου βάρους  $5,2 \pm 0,5$  g και συνολικού μήκους  $7,1 \pm 0,1$  cm σε ενυδρείο, στο εργαστήριο Ιχθυοκαλλιεργειών του Πανεπιστημίου Κρήτης, με χρήση αναλογικού και ψηφιακού σήματος. Τα πειράματα που έγιναν διακρίνονται σε 2 φάσεις : στην πρώτη φάση δοκιμάστηκαν οι συχνότητες των 200, 500, 800, 1250 Hz, ενώ στη δεύτερη φάση οι συχνότητες των 100, 2500 και 5000 Hz. Στο τέλος της πρώτης φάσης τα ψάρια είχαν μέσο βάρος  $10,2 \pm 1,0$  g. Μεταξύ των 2 φάσεων υπήρξε μια παύση 1 μηνός. Η δεύτερη φάση ξεκίνησε με τα ψάρια να έχουν μέσο βάρος  $15,0 \pm 2,0$  g και συνολικό μήκος  $10,0 \pm 0,5$  cm και τελείωσε όταν τα ψάρια είχαν φτάσει μέσο βάρος  $24,0 \pm 3,0$ g.

Οι συνθήκες φωτοπεριόδου, αλατότητας, θερμοκρασίας και οξυγόνου ήταν οι ίδιες με εκείνες των αρχικών πειραμάτων που έγιναν με αναλογικό σήμα (παράγραφος 3.1.1). Επίσης, ο εγκλιματισμός των ψαριών έγινε με τον ίδιο τρόπο και φαίνεται και πάλι ότι κάποια ψάρια μαθαίνουν αρχικά τη λειτουργία του μοχλού της ταϊστρας αυτοδιατροφής, ενώ κάποια άλλα επωφελούνται από την τροφή που πέφτει. Από τη στιγμή που οι τσιπούρες έχουν μάθει τη λειτουργία της ταϊστρας και η συμπεριφορά τους δείχνει ότι έχουν προσαρμοστεί στο νέο περιβάλλον, αρχίζει η πειραματική διαδικασία με έκθεση σε ηχητικό ερέθισμα. Για τις τσιπούρες αυτού του μεγέθους η διαδικασία προσαρμογής είχε διάρκεια 10 ημέρες, ενώ η εποχή που πραγματοποιήθηκε το πείραμα ήταν η ίδια με εκείνη κατά την οποία διεξήχθη η πρώτη πειραματική διαδικασία με τσιπούρες μέσου βάρους 12,0 g (Αύγουστος, Σεπτέμβριος).

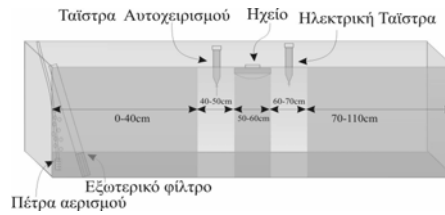
### 3.2.2 Μετρήσεις με αναλογικό σήμα

Το πρωτόκολλο που ακολουθείται για την εκπομπή του ηχητικού σήματος είναι το ίδιο με εκείνο που ακολουθήθηκε στην πρώτη πειραματική διαδικασία και πραγματοποιούνται 2 εγγραφές την ημέρα, μία το πρωί και μία το βράδυ. Για κάθε συχνότητα που δοκιμάζεται, την 1<sup>η</sup> και 2<sup>η</sup> ημέρα ο ήχος έχει ένταση -32dBu, την 3<sup>η</sup> ημέρα -20dBu, την 4<sup>η</sup> -10dBu, την 5<sup>η</sup> -42dBu και την 6<sup>η</sup> -62dBu. Σημειώνεται ότι η κάθε καταγραφή διακρίνεται σε 4 χρονικές φάσεις :

- πριν τον ήχο (1)
- κατά τη διάρκεια του ήχου (2)
- κατά τη διάρκεια χορήγησης τροφής και ήχου (3) και
- μετά την τροφή και τον ήχο (4)

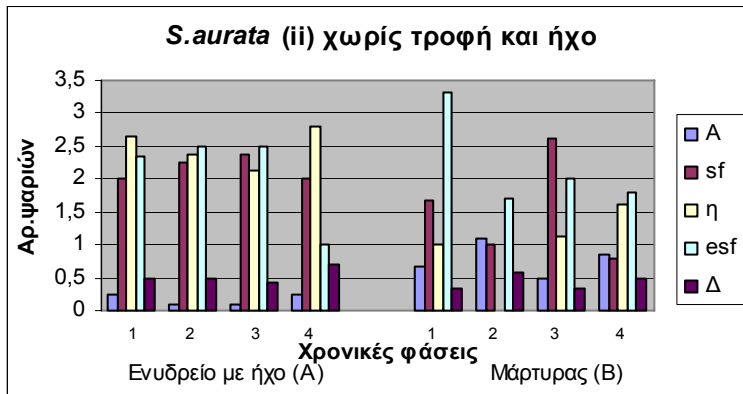
Επειδή η κάθε χρονική φάση έχει διαφορετική διάρκεια (φάση 1= 1 λεπτό, φάση 2= 4 λεπτά, φάση 3= 5 λεπτά, φάση 4= 5 λεπτά), το άθροισμα των κινήσεων σε κάθε θέση κανονικοποιείται εφόσον διαιρεθεί με το συνολικό αριθμό των μετρήσεων που έγιναν για κάθε χρονική φάση. Έτσι, γίνεται δυνατή η σύγκριση των αποτελεσμάτων. Επίσης, οι 5 ζώνες που ορίζονται στο ενυδρείο (βλ. Υλικά και Μέθοδοι, σχήμα 2.3), έχουν διαφορετικό όγκο μεταξύ τους. Συγκεκριμένα, οι ζώνες Αριστερά (Α) και Δεξιά (Δ) έχουν όγκο 40 l η καθεμία, ενώ οι ζώνες ταϊστρα αυτοδιατροφής (sf), ηχείο (η) και ηλεκτρική ταϊστρα (esf) έχουν όγκο 10 l η καθεμία. Έτσι, προκειμένου η πυκνότητα των ψαριών να είναι συγκρίσιμη ανάμεσα στις ζώνες, ορίζεται ως μονάδα

όγκου, τα 10 cm τομής δηλαδή τα 10 l και άρα, η πυκνότητα ιχθύων στις ζώνες A και Δ είναι αριθμός ψαριών / 4.



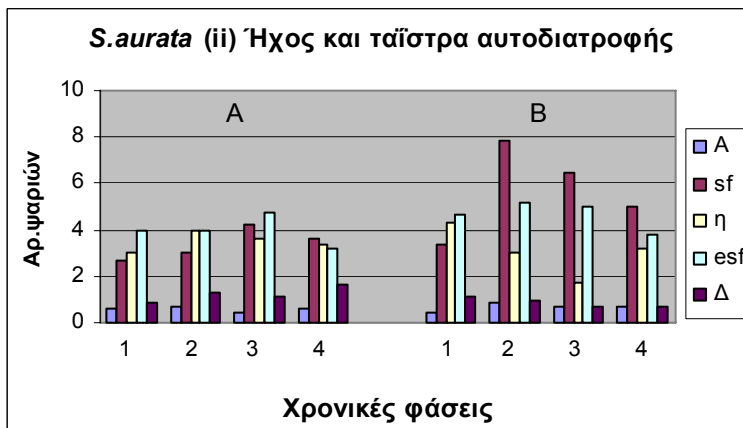
Πειραματική διάταξη για τη 2<sup>η</sup> σειρά πειραμάτων

Την **πρώτη ημέρα** του πειράματος η τροφή τοποθετείται σε ταΐστρα αυτοδιατροφής (self-feeder), ενώ γίνεται και μία καταγραφή χωρίς ήχο (Εικόνα 3.17A). Σε αυτήν τα ψάρια στο ενυδρείο A (με ήχο), παρουσιάζουν κινητικότητα σε όλο το ενυδρείο με εξαίρεση τις θέσεις «αριστερά». Διαπιστώνουμε ότι υπάρχει μια τάση προτίμησης προς το κέντρο όπου βρίσκονται οι ταΐστρες και το ηχείο. Αντίθετα, στο Μάρτυρα υπάρχει πιο έντονη κινητικότητα προς τα «αριστερά» (Εικόνα 3.17B).



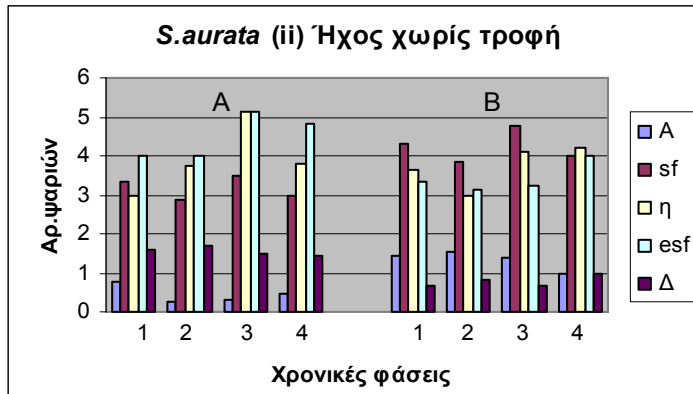
**Εικόνα 3.17:** Τσιπούρες μόλις πριν την έναρξη της πειραματικής διαδικασίας. Αριστερά (A) ο αριθμός των ψαριών ανά θέση στο ενυδρείο με το ηχείο και δεξιά (M) ο Μάρτυρας. Δεν εκπέμπεται ήχος και δε χορηγείται τροφή.

Όταν τοποθετείται η τροφή στις ταΐστρες αυτοδιατροφής, η αντίδραση στο B είναι άμεση, δηλαδή τα ψάρια πηγαίνουν και ενεργοποιούν το μοχλό μέχρι να καταναλωθεί η τροφή. Στο ενυδρείο A παράλληλα ακούγεται και ηχητικό σήμα αλλά δεν παρατηρείται συγκέντρωση των ψαριών στο self-feeder (Εικόνα 3.18).



**Εικόνα 3.18:** Αριστερά (A) τσιπούρες που εκτίθενται σε ήχο για πρώτη φορά, ενώ η τροφή παρέχεται σε ταΐστρα αυτοδιατροφής. Δεξιά (B) ο Μάρτυρας.

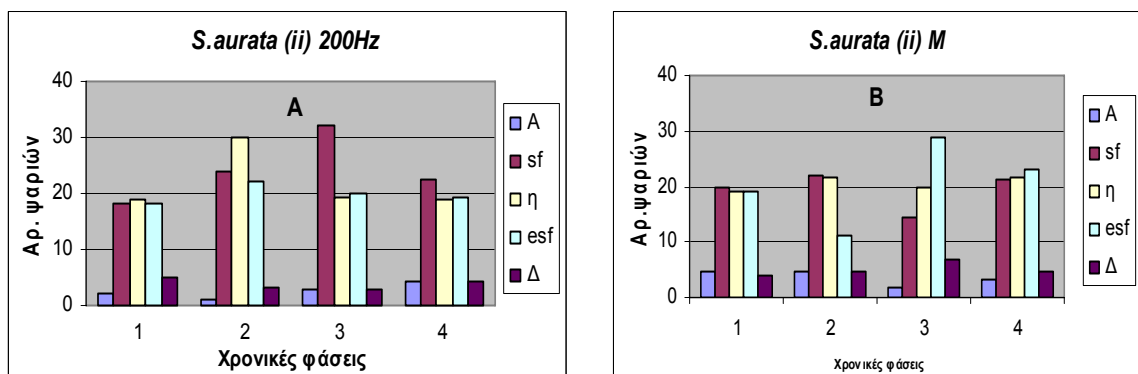
Τη 2<sup>η</sup> ημέρα στην καταγραφή που γίνεται με ήχο αλλά χωρίς τροφή, τόσο στο ενυδρείο με ήχο (A), όσο και στο Μάρτυρα (B), υπάρχει μια τάση προτίμησης για το κέντρο του ενυδρείου. Ωστόσο, ο αριθμός των ψαριών που εντοπίζονται «αριστερά» είναι μεγαλύτερος στο B από ό,τι στο A (Εικόνα 3.19).



**Εικόνα 3.19:** Αριστερά (A) τσιπούρες που εκτίθενται σε ήχο. Δεξιά (B) ο Μάρτυρας. Δε χορηγείται τροφή.

Τις επόμενες ημέρες τα ψάρια εκτίθενται στη συχνότητα των **200 Hz** και σε διαφορετικές εντάσεις (Παράρτημα, Πίνακας 10). Το ηχητικό σήμα φαίνεται να συγκεντρώνει ένα κάπως μεγαλύτερο αριθμό ατόμων στο ηχείο από ό,τι οι εκατέρωθεν ταΐστρες, ενώ κατά τη χορήγηση της τροφής πηγαίνουν κυρίως στην ταΐστρα αυτοδιατροφής και από την 4<sup>η</sup> μέρα, που εντοπίζουν την ηλεκτρική ταΐστρα κατευθύνονται προς τα εκεί. Μετά το φαγητό και τον ήχο η διασπορά των ψαριών επανέρχεται στην αρχική κατάσταση και γίνονται κινήσεις σε όλο το ενυδρείο (Εικόνα 3.20A).

Στο **Μάρτυρα** τα ψάρια κινούνται σε όλο το ενυδρείο, μέχρι τη χορήγηση τροφής όπου πηγαίνουν αμέσως στη σωστή ταΐστρα. Μετά την τροφή κινούνται σε όλο το ενυδρείο (Εικόνα 3.20B). Παρόλα αυτά, και εδώ παρατηρείται αυξημένος αριθμός ατόμων στο κέντρο (sf / η / esf).

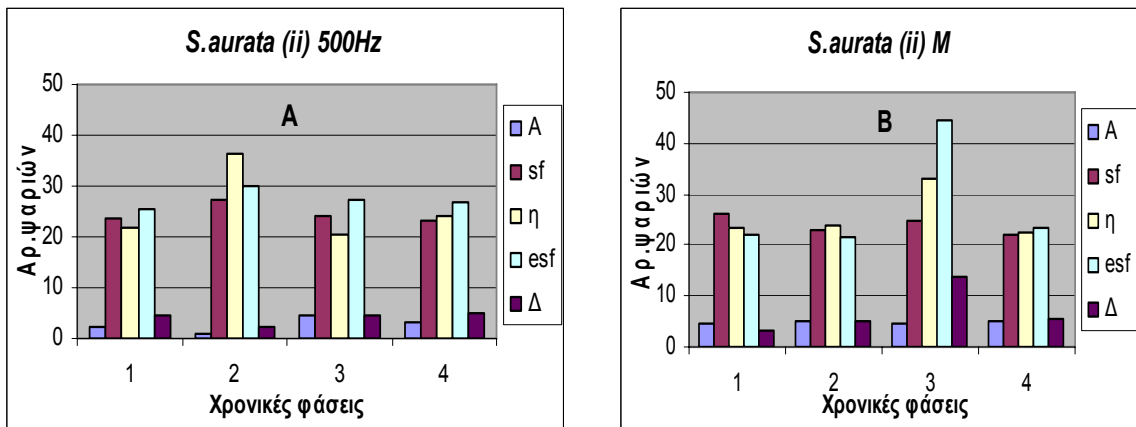


**Εικόνα 3.20:** Απεικόνιση του αριθμού ψαριών (τσιπούρες) σε καθεμιά από τις ζώνες που ορίστηκαν, κατά την έκθεσή τους σε συχνότητα 200 Hz για 5 ημέρες (A) και Μάρτυρας (B).

Οι **διαφορετικές εντάσεις**, δε φαίνεται να επηρεάζουν τη θετική απόκριση των ιχθύων που εκτίθενται στο ηχητικό ερέθισμα. Επίσης, η **ώρα** (πρωί-απόγευμα) της

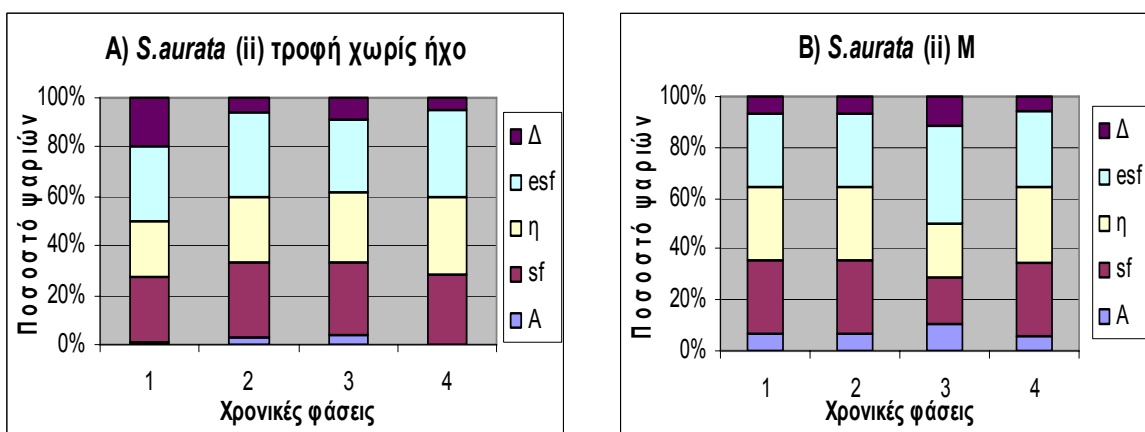
καταγραφής δε φαίνεται να παίζουν ρόλο στη διαμόρφωση της συμπεριφοράς σε κανένα από τα 2 πειραματικά ενυδρεία.

Στη συνέχεια έγιναν εγγραφές με ήχο συχνότητας **500 Hz** (Αναλυτικά αποτελέσματα στο Παράρτημα, Πίνακας 11). Η συχνότητα αυτή είναι η δεύτερη που δοκιμάζεται στα συγκεκριμένα ψάρια. Ανταποκρίνονται αμέσως από την πρώτη κιόλας ημέρα έκθεσης σε αυτήν τη συχνότητα και συγκεντρώνονται στο ηχείο και γύρω από αυτό μόλις ακουστεί το ηχητικό σήμα (Εικόνα 3.21A), σε αντίθεση με τον πληθυσμό του Μάρτυρα ο οποίος κινείται σε όλο το ενυδρείο μέχρι να πέσει η τροφή, οπότε η απόκριση είναι άμεση (Εικόνα 3.21B).



**Εικόνα 3.21:** Απεικόνιση του αριθμού ψαριών (τσιπούρες) σε καθεμία από τις ζώνες που ορίστηκαν, κατά την έκθεσή τους σε 500 Hz για 5 ημέρες (A) και Μάρτυρας (B).

Όταν στο ενυδρείο με ήχο χορηγήθηκε τροφή χωρίς να ακουστεί ηχητικό σήμα, τα ψάρια δε συγκεντρώθηκαν στο ηχείο και καθυστέρησαν να ανταποκριθούν στη χορήγηση της τροφής (Εικόνα 3.22A), σε αντίθεση με το Μάρτυρα όπου η απόκριση ήταν όπως και στις προηγούμενες καταγραφές άμεση (Εικόνα 3.22B).



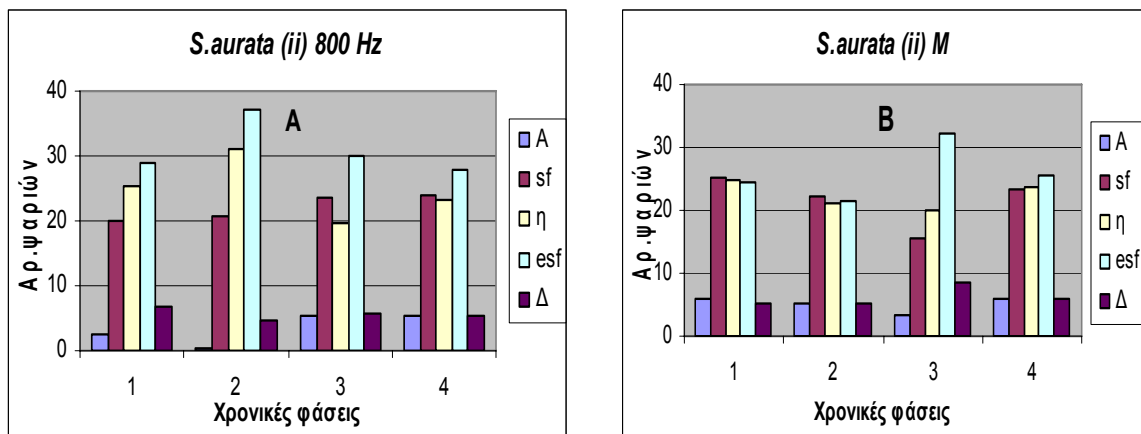
**Εικόνα 3.22 :** Τσιπούρες σε καθεμία από τις ζώνες που ορίστηκαν, όταν χορηγείται τροφή αλλά δεν ακούγεται ήχος (A) και Μάρτυρας (B).

Τα αποτελέσματα των 2 συχνοτήτων που δοκιμαστήκαν μέχρι εδώ -200 και 500 Hz- δείχνουν ότι γενικά υπάρχει μία **τάση συγκέντρωσης των ψαριών** στην κεντρική περιοχή του ενυδρείου όπου βρίσκονται το ηχείο και οι ταΐστρες. Όταν

ακούγεται το ηχητικό σήμα τα ψάρια πηγαίνουν στο ηχείο, ενώ ελαττώνονται και σχεδόν μηδενίζονται οι κινήσεις «δεξιά» και «αριστερά» αντίστοιχα. Από τη στιγμή που χορηγείται η τροφή και μέχρι το τέλος της καταγραφής, σημειώνονται και πάλι κάποιες κινήσεις «αριστερά» και «δεξιά».

Τα ψάρια που βρίσκονται στο ενυδρείο χωρίς ήχο –**Μάρτυρας**- εμφανίζουν επίσης μία τάση συγκέντρωσης στην κεντρική περιοχή του ενυδρείου, ωστόσο ο αριθμός των ψαριών που κινούνται «δεξιά» και «αριστερά», είναι ελαφρώς αυξημένος σε σχέση με το ενυδρείο με ήχο. Όταν πέσει η τροφή η προσέλευση στην ταΐστρα είναι πιο έντονη, ενώ αυξημένες είναι και οι κινήσεις «δεξιά».

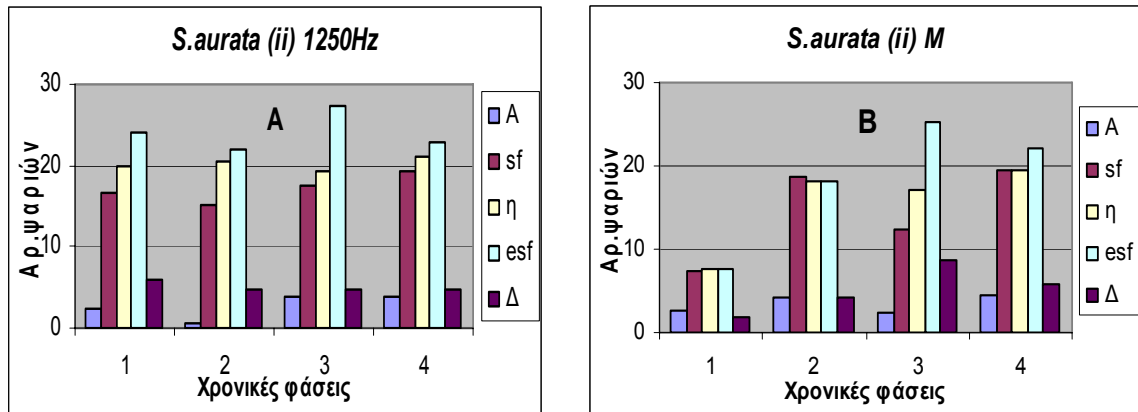
Η επόμενη συχνότητα που δοκιμάστηκε ήταν τα **800Hz** (Αναλυτικά αποτελέσματα στο Παράρτημα, Πίνακας 12). Στο ενυδρείο με ήχο πριν την εκπομπή του ηχητικού σήματος και μετά την τροφή δε φαίνεται να υπάρχει κάποιο συγκεκριμένο πρότυπο συμπεριφοράς. Αντίθετα, ο ήχος μαζεύει τα ψάρια στο ηχείο αλλά και στην ηλεκτρική ταΐστρα (Εικόνα 3.23 A). Στο Μάρτυρα, παρατηρείται μεγαλύτερη πυκνότητα ψαριών στην κεντρική περιοχή του ενυδρείου, με μια σταθερή ωστόσο εμφάνιση στις ζώνες «αριστερά», «δεξιά» (Εικόνα 3.23 B).



**Εικόνα 3.23:** Απεικόνιση του αριθμού ψαριών (τσιπούρες) σε καθεμία από τις ζώνες που ορίστηκαν, κατά την έκθεσή τους σε 800 Hz για 5 ημέρες (A) και Μάρτυρας (B).

Ακολούθησε η συχνότητα των **1250 Hz** (Αναλυτικά αποτελέσματα Παράρτημα, Πίνακας 13). Στη συχνότητα αυτή τα ψάρια δείχνουν μια λιγότερο καλή απόκριση. Συγκεκριμένα, το ηχητικό ερέθισμα δεν τείνει να τα συγκεντρώσει στο ηχείο, ωστόσο περιορίζει αισθητά την κίνηση προς τα αριστερά, κάτι που δε συμβαίνει στον πληθυσμό του Μάρτυρα (Εικόνα 3.24 A και B). Σε αυτόν η κίνηση εντοπίζεται κυρίως στην κεντρική περιοχή του ενυδρείου, αλλά και στις ζώνες «αριστερά», «δεξιά» -μικρότερος αριθμός ψαριών-, ενώ όταν πέφτει η τροφή στην ηλεκτρική ταΐστρα. Η συμπεριφορά στα δύο ενυδρεία συγκλίνει περισσότερο με αυτήν τη συχνότητα.

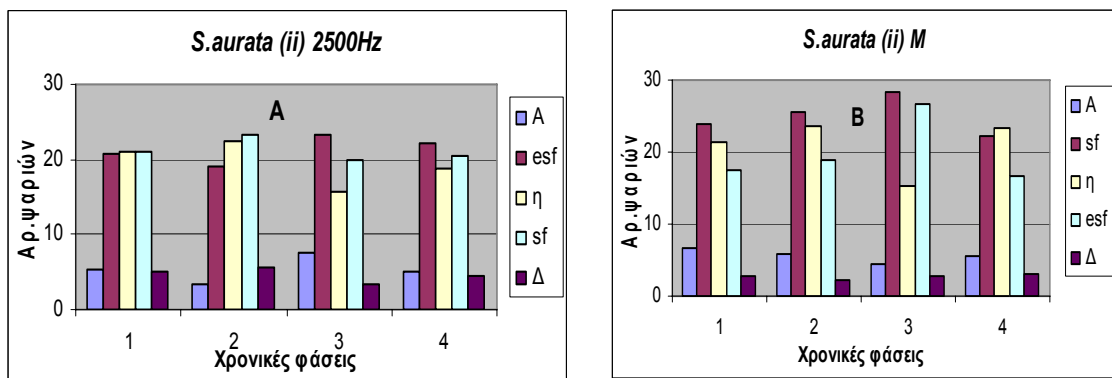




**Εικόνα 3.24 :** Απεικόνιση του αριθμού ψαριών (τσιπούρες) σε καθεμιά από τις ζώνες που ορίστηκαν, κατά την έκθεσή τους σε 1250 Hz για 5 ημέρες (A) και Μάρτυρας (B).

Στη συνέχεια δοκιμάστηκε η συχνότητα των **2500 Hz**. Για τις εγγραφές αυτές έχει αλλάξει η θέση της ηλεκτρικής ταΐστρας για το ενυδρείο με ήχο, η οποία τώρα βρίσκεται αριστερά του ηχείου, ενώ στο Μάρτυρα εξακολουθεί να βρίσκεται δεξιά. Επίσης, η δεύτερη εγγραφή της ημέρας γίνεται νωρίς το απόγευμα. Το πρωτόκολλο παραμένει το ίδιο, όπως και οι εντάσεις και οι χρονικές φάσεις.

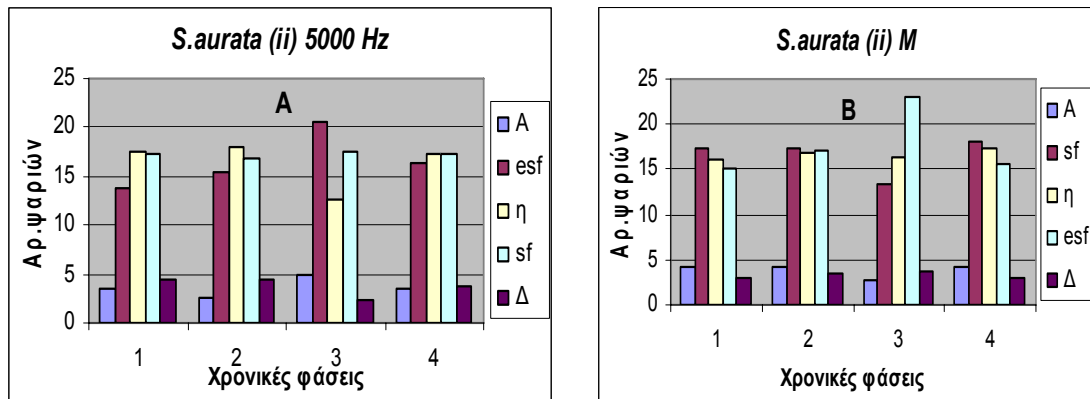
Τα αναλυτικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Παράρτημα (Πίνακας 14), ενώ σύνθεσή τους επιχειρείται στην Εικόνα 3.25. Σε αυτήν τη συχνότητα οι τσιπούρες δε φαίνεται να αποκρίνονται καθόλου στον ήχο (Εικόνα 3.25 A). Η συμπεριφορά τους ουσιαστικά δε διαφέρει ουσιαστικά από εκείνα που δεν εκτίθενται καθόλου σε ηχητικό ερέθισμα (Εικόνα 3.25 B).



**Εικόνα 3.25 :** Απεικόνιση του αριθμού ψαριών (τσιπούρες) σε καθεμιά από τις ζώνες που ορίστηκαν, κατά την έκθεσή τους σε 2500 Hz για 5 ημέρες (A) και στο Μάρτυρα (B). Η ηλεκτρική ταΐστρα στο ενυδρείο με ήχο βρίσκεται αριστερά του ηχείου.

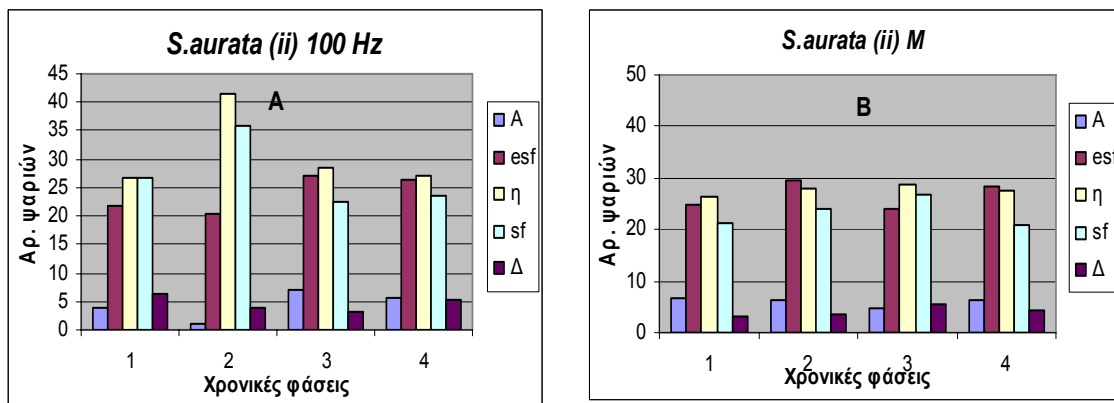
Στη συνέχεια, δοκιμάστηκε η συχνότητα των **5000 Hz**. Και πάλι η θέση της ηλεκτρικής ταΐστρας για το ενυδρείο με ήχο βρίσκεται αριστερά του ηχείου, ενώ στο Μάρτυρα βρίσκεται δεξιά. Επίσης, η δεύτερη εγγραφή της ημέρας γίνεται νωρίς το απόγευμα. Τα αναλυτικά αποτελέσματα παρατίθενται στο Παράρτημα (Πίνακας 15), ενώ από την εικόνα 3.26 (A και B), προκύπτει ότι η συχνότητα των 5000 Hz δεν προκαλεί αλλαγή στη συμπεριφορά των ψαριών, τα οποία κινούνται σε όλο το ενυδρείο και μαζεύονται στην ηλεκτρική ταΐστρα όταν πέφτει η τροφή. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι κινήσεις να εντοπίζονται προς τα αριστερά στο ενυδρείο με τον ήχο

γιατί εκεί βρίσκεται η ταΐστρα και προς τα δεξιά στο Μάρτυρα όπου βρίσκεται η αντίστοιχη ταΐστρα.



**Εικόνα 3.26:** Απεικόνιση του αριθμού ψαριών (τσιπούρες) σε καθεμιά από τις ζώνες που ορίστηκαν, κατά την έκθεσή τους σε 5000 Hz για 5 ημέρες (A) και Μάρτυρας (B). Η ηλεκτρική ταΐστρα στο ενυδρείο με ήχο βρίσκεται αριστερά του ηχείου.

Τελευταία συχνότητα που δοκιμάστηκε ήταν τα **100Hz** με τις ίδιες συνθήκες όπως και παραπάνω (ηλεκτρική ταΐστρα αριστερά του ηχείου, καταγραφές πρωί και νωρίς το απόγευμα). Στην εικόνα 3.27 φαίνεται η απόκριση των ψαριών στη συχνότητα αυτή, ενώ στο Παράρτημα βρίσκονται τα αναλυτικά αποτελέσματα (Πίνακας 16).



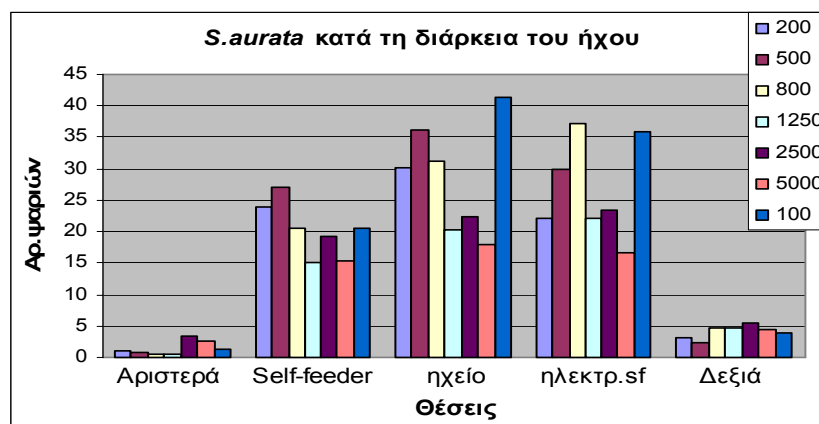
**Εικόνα 3.27:** Απεικόνιση του αριθμού ψαριών (τσιπούρες) σε καθεμιά από τις ζώνες που ορίστηκαν, κατά την έκθεσή τους σε 100 Hz για 5 ημέρες (A) και Μάρτυρας (B). Η ηλεκτρική ταΐστρα στο ενυδρείο με ήχο βρίσκεται αριστερά του ηχείου.

Η συχνότητα των 100Hz δείχνει να είναι μια συχνότητα στην οποία οι τσιπούρες ανταποκρίνονται πολύ καλά, δεδομένου ότι δοκιμάστηκε μετά από τις υψηλές συχνότητες όπου τα ψάρια φαίνεται να μην αποκρίνονται. Εξάλλου, η σύγκριση με τον πληθυσμό του Μάρτυρα τονίζει αυτήν ακριβώς την απόκριση, αφού εκείνοι χωρίς το ηχητικό ερέθισμα δεν εμφανίζουν προτίμηση για μία θέση του ενυδρείου σε δεδομένη στιγμή.

**Συνοψίζοντας** : τα πειράματα που έγιναν σε τσιπούρες (*Sparus aurata*) μέσου βάρους  $5,2 \pm 0,5$  g και συνολικού μήκους  $7,1 \pm 0,1$  cm που εκτέθηκαν σε ηχητικό ερέθισμα συχνότητας 200, 500, 800 και 1250 Hz έντασης -32, -42, -62, -20, και -10 dBu και αργότερα (μέσο βάρος  $15,0 \pm 2,0$  g και συνολικό μήκος  $10,0 \pm 0,5$  cm) σε συχνότητα 2500, 5000 και 100Hz (έντασης ομοίως με παραπάνω) έδειξαν ότι στις χαμηλές συχνότητες (100, 200, 500 και 800 Hz), τα ψάρια αντιδρούν στον ήχο και συγκεντρώνονται στο ηχείο και γύρω από αυτό (Εικόνα 3.28). Επίσης, το γεγονός ότι οι συχνότητες των 2500, 5000 και 100 Hz δοκιμάστηκαν μετά από παύση 1 μήνα, δείχνει ότι εφόσον ο ήχος γίνει αντιληπτός, τα ψάρια αποκρίνονται άμεσα χωρίς να απαιτείται επιπλέον χρόνος εκμάθησης.

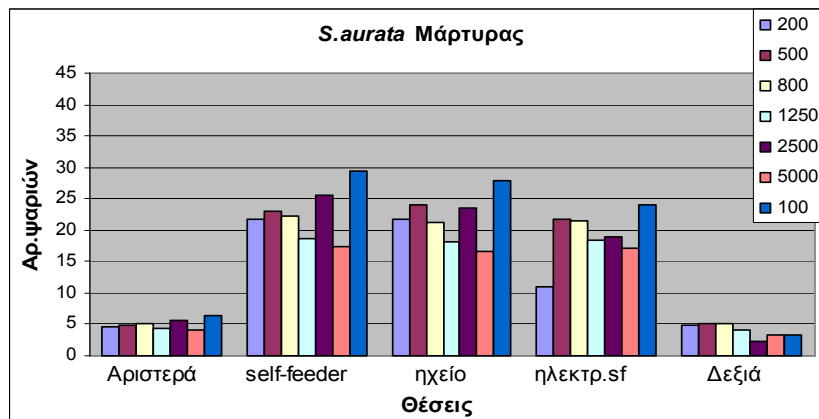
Η ένταση στις δεδομένες συνθήκες δε φαίνεται να προκαλεί διαφορετική συμπεριφορά, ούτε και η χρονική στιγμή της καταγραφής (πρωί ή απόγευμα).

Ως απόκριση στον ήχο αποδίδεται η συγκέντρωση ψαριών στο ηχείο και γύρω από αυτό όταν εκπέμπεται ηχητικό σήμα και πριν χορηγηθεί τροφή.



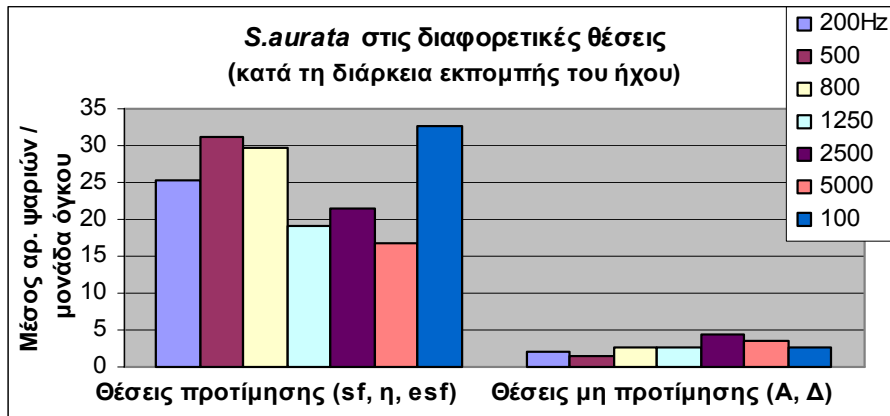
**Εικόνα 3.28:** Τσιπούρες στις ζώνες που ορίστηκαν κατά τη διάρκεια εκπομπής ηχητικού σήματος σε 7 διαφορετικές συχνότητες.

Ο πληθυσμός του **Μάρτυρα** έχει μεγαλύτερη παρουσία στην «Αριστερή» και «Δεξιά» πλευρά του ενυδρείου, σε σχέση με τα ψάρια που εκτέθηκαν σε ήχο, αν και υπάρχει σαφής προτίμηση για το κέντρο του ενυδρείου (Εικόνα 3.29). Επισημαίνεται ότι η θέση «ηχείο» για τον πληθυσμό Μάρτυρα είναι νοητή –δηλαδή δεν υπάρχει ηχείο- και ότι οι καταγραφές έγιναν με αναλογικές κάμερες και μελετήθηκαν de visu σε monitor.



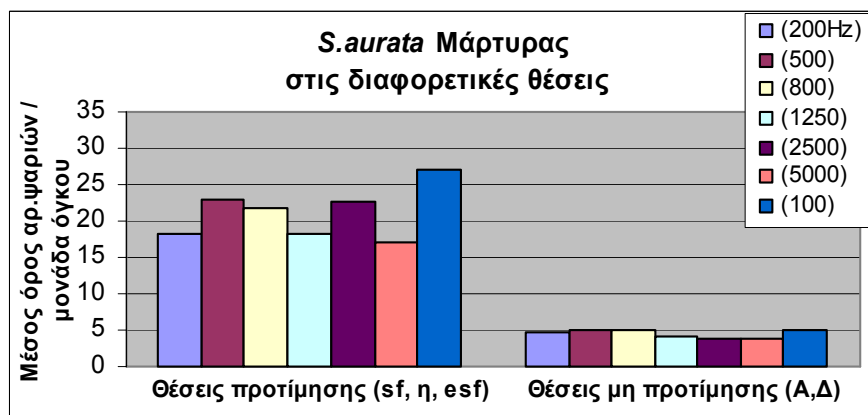
**Εικόνα 3.29:** Μάρτυρας στις ζώνες που ορίστηκαν.

Στην εικόνα 3.30 φαίνεται ο μέσος όρος του αριθμού των ψαριών στη μονάδα του όγκου, συγκριτικά για τις θέσεις προτίμησης –οι οποίες με βάση τα παραπάνω είναι η ταΐστρα αυτοδιατροφής, το ηχείο και η ηλεκτρική ταΐστρα- και τις θέσεις που δεν προτιμώνται –Αριστερά και Δεξιά- για κάθε συχνότητα. Πρόκειται για το μέσο όρο ψαριών κατά τη διάρκεια εκπομπής του ηχητικού σήματος. Αυτό που φαίνεται είναι ότι η **πυκνότητα των ψαριών είναι μεγαλύτερη στο κέντρο του ενυδρείου** στις συχνότητες **100, 200, 500 και 800Hz**. Στις υψηλότερες συχνότητες (1250, 2500 και 5000Hz) εξακολουθεί να υπάρχει προτίμηση για το κέντρο του ενυδρείου, ωστόσο, ο μέσος όρος του αριθμού των ψαριών για τις θέσεις Δεξιά – Αριστερά τείνει να είναι μεγαλύτερος σε σχέση με τις άλλες συχνότητες.



**Εικόνα 3.30:** Τσιπούρες στις θέσεις προτίμησης και μη, για τις 7 διαφορετικές συχνότητες που δοκιμάστηκαν και κατά τη διάρκεια εκπομπής του σήματος.

Στην εικόνα 3.31 απεικονίζεται ο πληθυσμός του **Μάρτυρα** και πάλι στη μονάδα του όγκου και συγκριτικά για τις θέσεις προτίμησης και μη. Η εμφάνισή τους στις θέσεις Αριστερά και Δεξιά είναι πιο ομοιόμορφη σε σχέση με τις τσιπούρες που εκθέτονται σε ήχο, ενώ υπάρχει και πάλι προτίμηση για το κέντρο του ενυδρείου. Είναι ενδιαφέρον ότι ο μέσος όρος ψαριών στις διαφορετικές θέσεις για τις υψηλές συχνότητες (1250, 2500 και 5000Hz), είναι σχεδόν όμοιος στο Μάρτυρα και στα ψάρια που εκθέτονται στον ήχο.



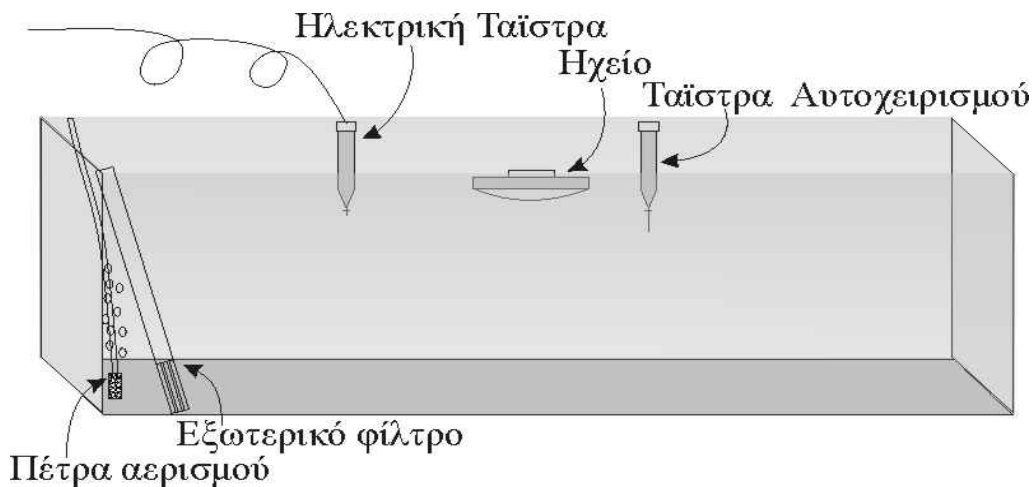
**Εικόνα 3.31:** Μάρτυρας στις θέσεις προτίμησης και μη.

### 3.2.3 Μετρήσεις με ψηφιακό σήμα

#### α) Περιγραφική στατιστική ανάλυση

Πρόκειται για τη συνέχεια των παραπάνω πειραμάτων με δοκιμή ήχων ίδιων χαρακτηριστικών (συχνότητας και έντασης) στο **λαβράκι** (*Dicentrarchus labrax*) και το **φαγκρί** (*Pagrus pagrus*). Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η ίδια σε ό,τι αφορά τις συνθήκες φωτοπεριόδου, αλατότητας, θερμοκρασίας και οξυγόνου (παράγραφος 3.1.1), καθώς και τον εγκλιματισμό των ψαριών. Η περίοδος προσαρμογής στο νέο περιβάλλον για το λαβράκι και το φαγκρί είχε διάρκεια 10 ημέρες και τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν Μάιο και Ιούνιο.

Χρησιμοποιούνται 2 ενυδρεία, όπως και στα προηγούμενα πειράματα. Όμως, η ηλεκτρική ταίστρα στο ενυδρείο με ήχο βρίσκεται 28 cm αριστερά του ηχείου, σε αντίθεση με πριν όπου η απόσταση αυτή ήταν 10 cm (Εικόνα 3.1).



**Σχήμα 3.1:** Διάταξη ενυδρείου με ήχο στα πειράματα για λαβράκια (*Dicentrarchus labrax*) και φαγκριά (*Pagrus pagrus*)

Το **πρωτόκολλο εκπομπής ήχου** είναι το ίδιο, καθώς και ο αριθμός των καταγραφών, οι οποίες τώρα πραγματοποιούνται με ψηφιακή κάμερα και φορητό υπολογιστή. Οι μετρήσεις γίνονται ηλεκτρονικά και περιλαμβάνουν :

- α) μέτρηση της μέσης απόστασης του συνόλου των ψαριών από δεδομένο σημείο (επιλέγεται το ηχείο) κάθε 1/15 του δευτερολέπτου
- β) ανάλυση της μέσης απόστασης στους άξονες X και Y
- γ) μέτρηση της μέσης ταχύτητας του συνόλου των ψαριών κάθε 1/15 του δευτερολέπτου.

Η κάθε καταγραφή διακρίνεται τώρα σε **3 χρονικές φάσεις** με ίση διάρκεια μεταξύ τους :

- πριν τον ήχο (διάρκεια 5 λεπτά)
- κατά τη διάρκεια του ήχου (3 σήματα των 30 sec με ενδιάμεσες παύσεις των 30 sec – συνολική διάρκεια της περιόδου αυτής 5 λεπτά)
- κατά τη διάρκεια χορήγησης τροφής και ήχου και μετά (διάρκεια 5 λεπτά).

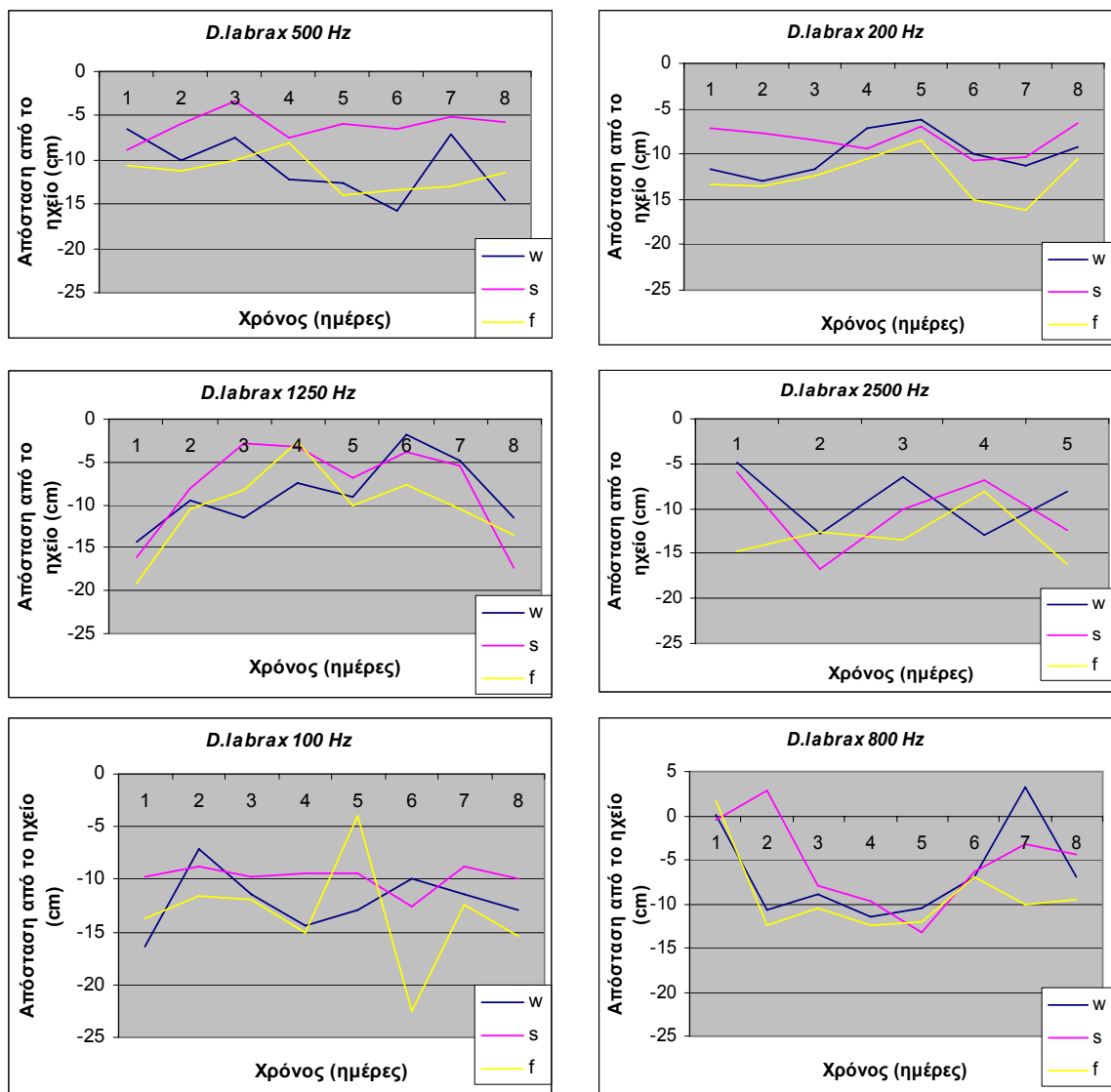
Οι μετρήσεις καταχωρήθηκαν κατά συχνότητα και ένταση, καθώς και κατά χρονική περίοδο μέσα στην ίδια εγγραφή. Πίνακες με το μέσο όρο των τιμών που πήρε η μέση απόσταση του συνόλου των ψαριών σε κάθε εγγραφή, για κάθε συχνότητα και για κάθε είδος ψαριού, βρίσκονται στο Παράρτημα (Πίνακες 3.1 - 3.19).

### A) Λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*)

Τα λαβράκια σε όλες τις χρονικές φάσεις για τις οποίες έγινε καταγραφή, είχαν μια προτίμηση για την αριστερή πλευρά του ενυδρείου, σε αντίθεση με τις τσιπούρες που προτιμούσαν την κεντρική περιοχή. Σε αυτό το είδος, η ταΐστρα αυτοδιατροφής δεν παίζει κανένα ρόλο και το ενδιαφέρον εστιάζεται καθαρά στην ηλεκτρική ταΐστρα που παρέχει την τροφή. Πιθανόν, το γεγονός ότι η απόσταση ανάμεσα στις 2 ταΐστρες είναι τώρα μεγαλύτερη, να έχει ως αποτέλεσμα αυτήν την προτίμηση. Επίσης, η απόσταση που έχει η ηλεκτρική ταΐστρα από το ηχείο είναι τώρα μεγαλύτερη.

Στα διαγράμματα που ακολουθούν φαίνεται η **μεταβολή της κίνησης των ψαριών** για κάθε μια από τις 8 καταγραφές που έγιναν και για κάθε συχνότητα με τη σειρά που αυτές δοκιμάστηκαν (500, 200, 1250, 2500, 100, 800Hz). Στα διαγράμματα διακρίνονται 3 καμπύλες που αντιστοιχούν σε καθεμιά από τις 3 χρονικές φάσεις (πριν τον ήχο, κατά τη διάρκεια και μετά τον ήχο).

Σημειώνεται ότι για τη συχνότητα των 2500 Hz έγιναν 5 καταγραφές.

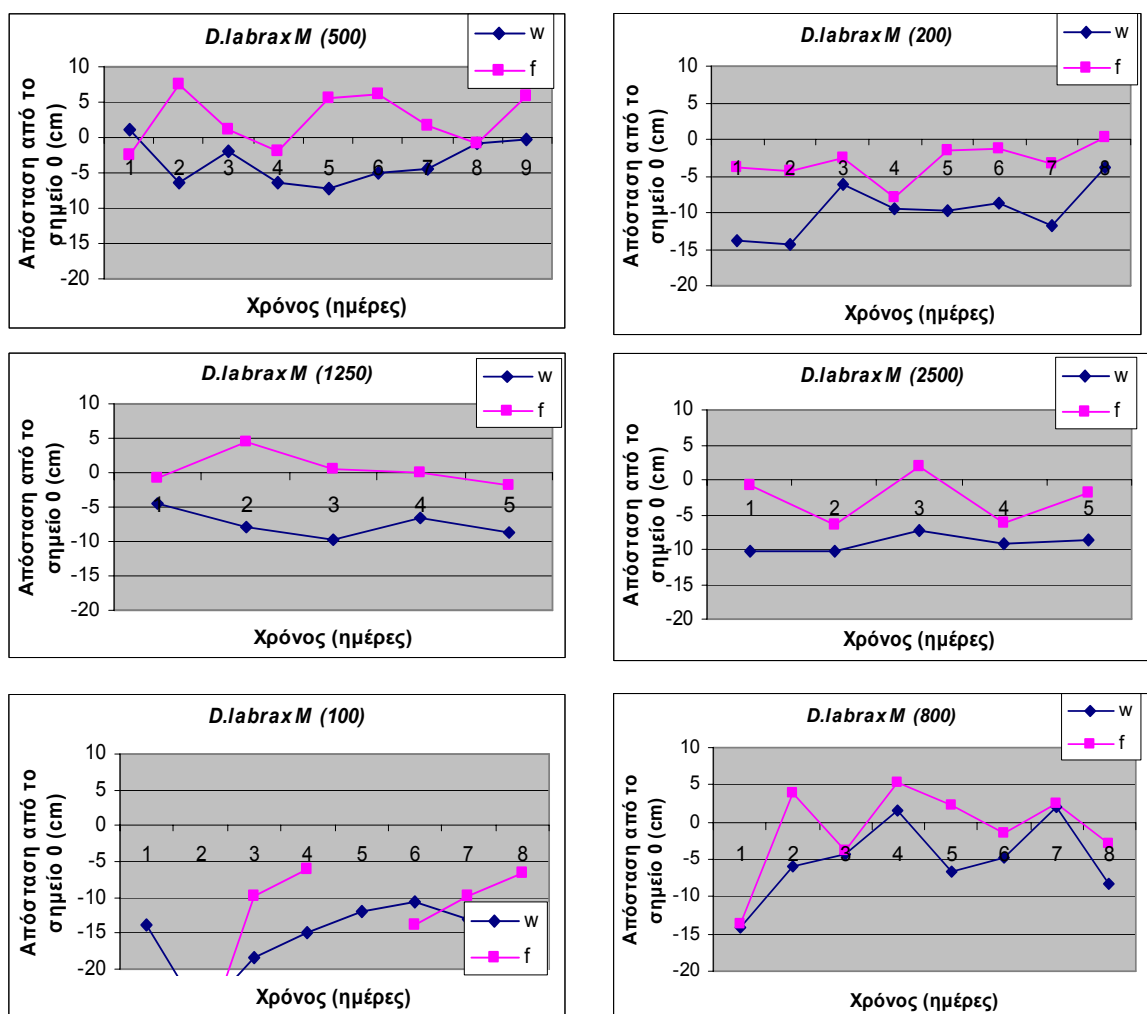


**Εικόνα 3.32:** Μεταβολή της μέσης απόστασης του συνόλου των ψαριών (λαβράκια) από το ηχείο σε 8 καταγραφές, πριν (w), κατά τη διάρκεια (s) και μετά (f) τον ήχο. Συχνότητες 500, 200, 1250, 2500, 100 και 800Hz. Οι αρνητικές τιμές δείχνουν ότι ο μέσος όρος του συνόλου των ψαριών βρίσκεται αριστερά του ηχείου, ενώ οι θετικές τιμές δεξιά του ηχείου.

Τα λαβράκια φαίνεται να αποκρίνονται γρήγορα στα 500 Hz -την πρώτη συχνότητα που δοκιμάστηκε. Γενικά, ο ήχος τα προσελκύει κοντά στο ηχείο στις συχνότητες των 500 και 200 Hz. Ας σημειωθεί ότι κάθε 2 καταγραφές μεταβάλλεται η ένταση εκπομπής του ηχητικού σήματος με τη σειρά : -20, -10, -42 και -32 dBu.

Για τη συχνότητα των 1250 Hz φαίνεται μόνο η μεγαλύτερη ένταση (-10dBu) να επηρεάζει τη θέση των ψαριών. Τα 2500 Hz δε δείχνουν να έχουν επίδραση στη συμπεριφορά των ψαριών. Η συχνότητα των 100 Hz φαίνεται ότι «οδηγεί» τα ψάρια μεταξύ της ηλεκτρικής ταΐστρας και του ηχείου, ενώ τα 800 Hz δε δείχνουν κάποιο συγκεκριμένο πρότυπο αντίδρασης.

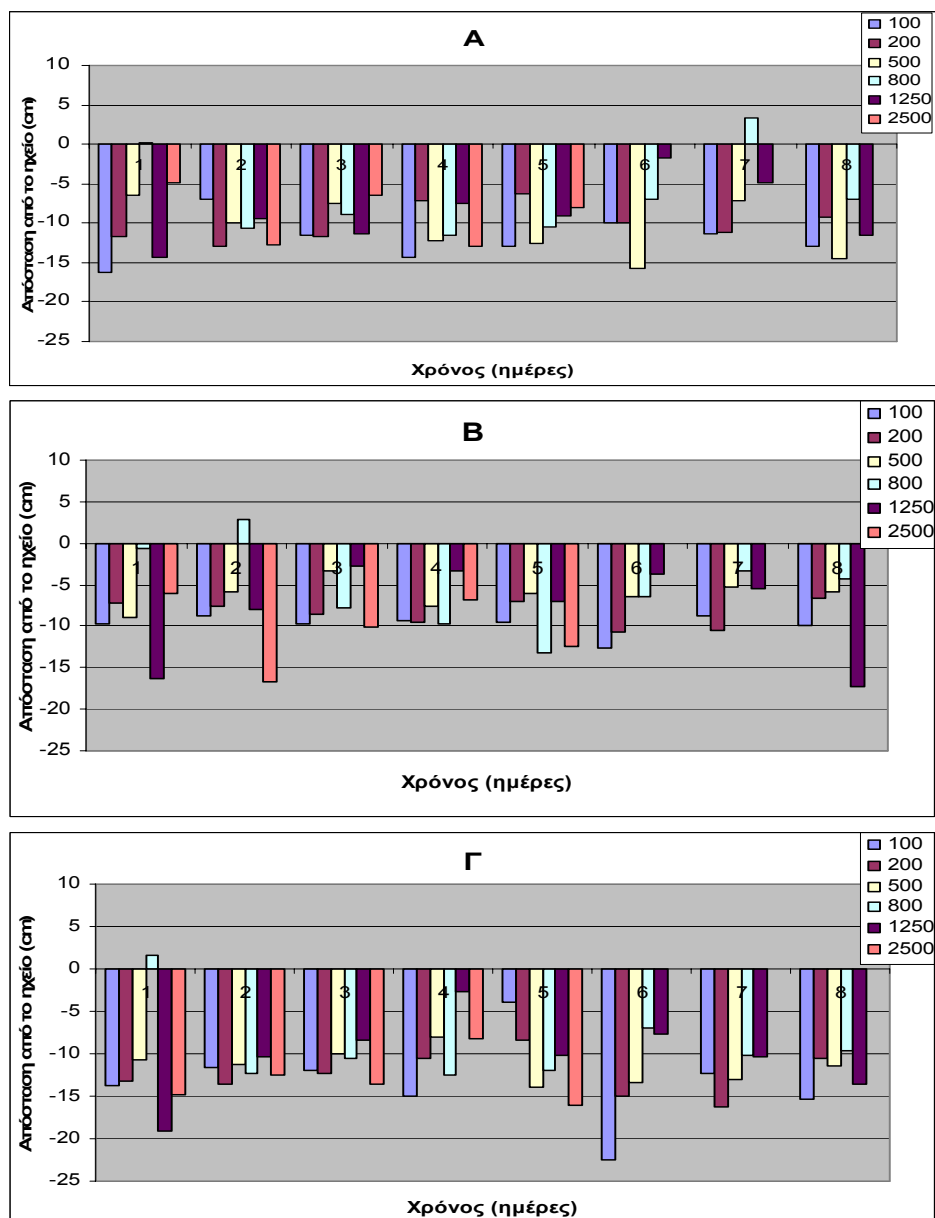
Στη συνέχεια απεικονίζεται (Εικόνα 3.33) η μεταβολή της μέσης απόστασης που είχαν τα ψάρια του πληθυσμού του **Μάρτυρα** από το σημείο 0 που ορίζεται ως η θέση εικονικού ηχείου που απέχει από την ηλεκτρική ταΐστρα τόσο όσο εκείνη στο ενυδρείο με τον ήχο από το ηχείο.



**Εικόνα 3.33: Μάρτυρας.** Μεταβολή της μέσης απόστασης του συνόλου των ψαριών (λαβράκια) από το σημείο 0 σε 8 καταγραφές, πριν (w) κατά τη στιγμή και μετά (f) που πέφτει η τροφή. Στην παρένθεση (500, 200, 1250, 2500, 100 και 800Hz) σημειώνονται οι συχνότητες που εκπέμπονται παράλληλα στο ενυδρείο με τον ήχο. Η ηλεκτρική ταΐστρα βρίσκεται δεξιά του σημείου αναφοράς (0).

Η ηλεκτρική ταΐστρα στο Μάρτυρα βρίσκεται δεξιά του ενυδρείου και σε απόσταση 20 cm από τα τοιχώματα. Αυτό απεικονίζεται στην εικόνα 3.33 όπου τα ψάρια κινούνται «δεξιά» από τη στιγμή που πέφτει η τροφή, σε αντίθεση με πριν όταν αυτά κινούνται «αριστερά» του δεδομένου σημείου. Γενικά, παρατηρείται ότι πριν την τροφή, ο μέσος όρος των ψαριών εντοπίζεται προς τα δεξιά του ενυδρείου.

Στα παρακάτω διαγράμματα (Εικόνα 3.34) φαίνεται η μέση θέση των ψαριών που εκτέθηκαν σε ηχητικό ερέθισμα, συγκριτικά για κάθε συχνότητα που δοκιμάστηκε και σε κάθε φάση (πριν τον ήχο, κατά τη διάρκεια του ηχητικού σήματος και κατά τη χορήγηση τροφής και μετά).

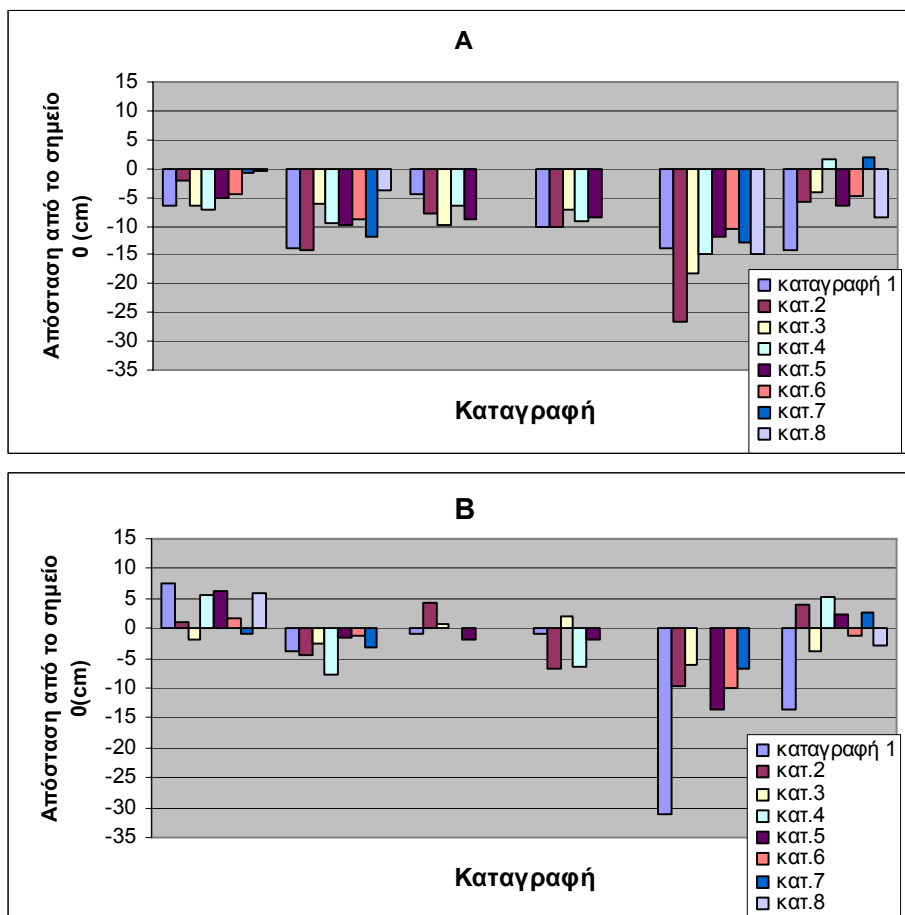


**Εικόνα 3.34:** Συγκριτική μεταβολή της μέσης απόστασης του συνόλου των ατόμων του είδους *D.labrax* (λαβράκι) από το ηχείο, πριν (Α), κατά τη διάρκεια (Β) και μετά (Γ) τον ήχο, στις διαφορετικές συχνότητες που δοκιμάστηκαν.



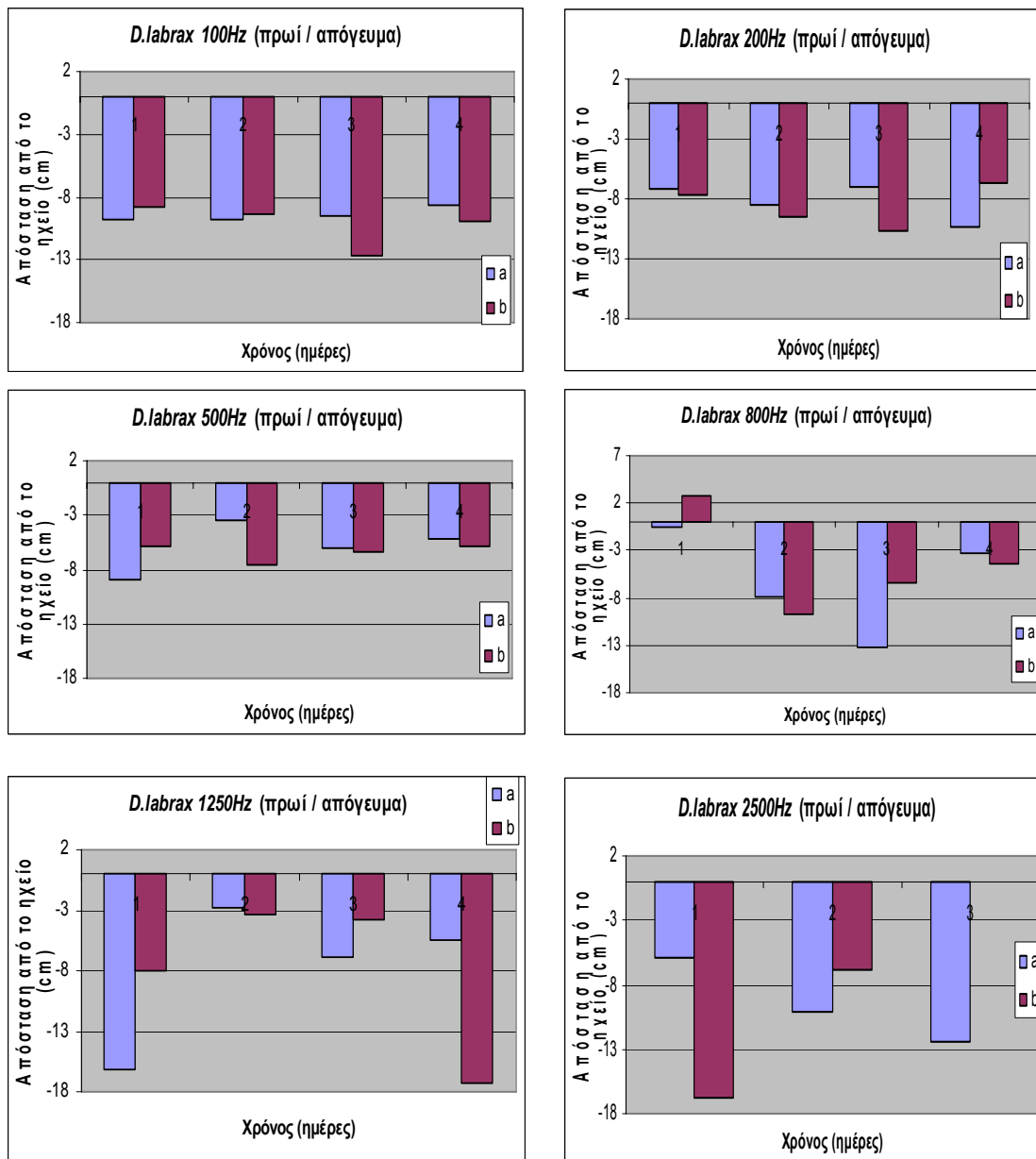
Οι καμπύλες που εμφανώς μετατοπίζονται με την **εκπομπή του ήχου** είναι αυτές των **χαμηλών συχνοτήτων**, δηλαδή στα 100, 200 και 500 Hz. Συγκεκριμένα, με την εκπομπή του ήχου τα ψάρια μετατοπίζονται πιο **κοντά στη θέση του ηχείου** και ειδικότερα κοντά στην ηλεκτρική ταΐστρα (28cm αριστερά του ηχείου). Για τις υψηλότερες συχνότητες (800, 1250 και 2500 Hz) δε φαίνεται να υπάρχει κάποιο πρότυπο συμπεριφοράς μετά την εκπομπή του ήχου. Η κίνηση των ψαριών κατά τη χορήγηση της τροφής δείχνει να είναι περισσότερο τυχαία, ανεξάρτητα από τη συχνότητα στην οποία εκτέθηκαν.

Ακολουθούν τα συγκριτικά διαγράμματα για το **Μάρτυρα** πριν την τροφή και μετά (Εικόνα 3.35). Οι καταγραφές έγιναν παράλληλα με αυτές στο ενυδρείο με ήχο. Στα διαγράμματα αυτά φαίνεται ξεκάθαρα η κίνηση των ψαριών δεξιά από το σημείο 0 όταν χορηγείται η τροφή (προς την ηλεκτρική ταΐστρα), εκτός από την περίοδο που αντιστοιχεί στην εκπομπή των 800Hz στο ενυδρείο με τον ήχο.



**Εικόνα 3.35: Μάρτυρας.** Συγκριτική μεταβολή της μέσης απόστασης του συνόλου των ατόμων του πληθυσμού Μάρτυρα του είδους *D.labrax* (λαβράκι) από το σημείο 0, πριν (Α), κατά τη διάρκεια της τροφής και μετά (Β).

Στη συνέχεια, συγκρίνεται η μεταβολή της θέσης των ψαριών ανά συχνότητα και μόνο κατά τη διάρκεια της εκπομπής του ήχου, κατά την **πρωινή** και την **απογευματινή εγγραφή**.



**Εικόνα 3.36:** Συγκριτική μεταβολή της μέσης απόστασης του συνόλου των ψαριών (λαβράκια) από το ηχείο ανά συχνότητα και κατά τη διάρκεια εκπομπής του ήχου, κατά την πρωινή (a) και την απογευματινή (b) εγγραφή.

Τα ψάρια τείνουν να αποκρίνονται καλύτερα στον ήχο κατά την πρωινή εγγραφή για τις χαμηλές συχνότητες (100, 200, 500 Hz). Για τις άλλες συχνότητες η σύγκριση των πρωινών καταγραφών με αυτές που έγιναν το απόγευμα δεν οδηγεί σε κάποιο συμπέρασμα. Πιθανόν οι μεγαλύτερες εντάσεις (-10 και -20dBu) στα 1250 Hz έχουν καλύτερο αποτέλεσμα στην απόκριση των ψαριών –κάτι που δε φαίνεται να σχετίζεται με την ώρα που γίνεται η καταγραφή. Για τις χαμηλότερες συχνότητες μάλλον δεν υπάρχει διαφοροποίηση στις διαφορετικές εντάσεις.

Σε ό,τι αφορά το **Μάρτυρα** και τις πρωινές και απογευματινές καταγραφές, δεν υπάρχει κάποιο συγκεκριμένο πρότυπο. Η πείνα φαίνεται να είναι ο παράγοντας που καθορίζει την απόκρισή τους στην τροφή και όχι η στιγμή της ημέρας (πρωί ή απόγευμα).

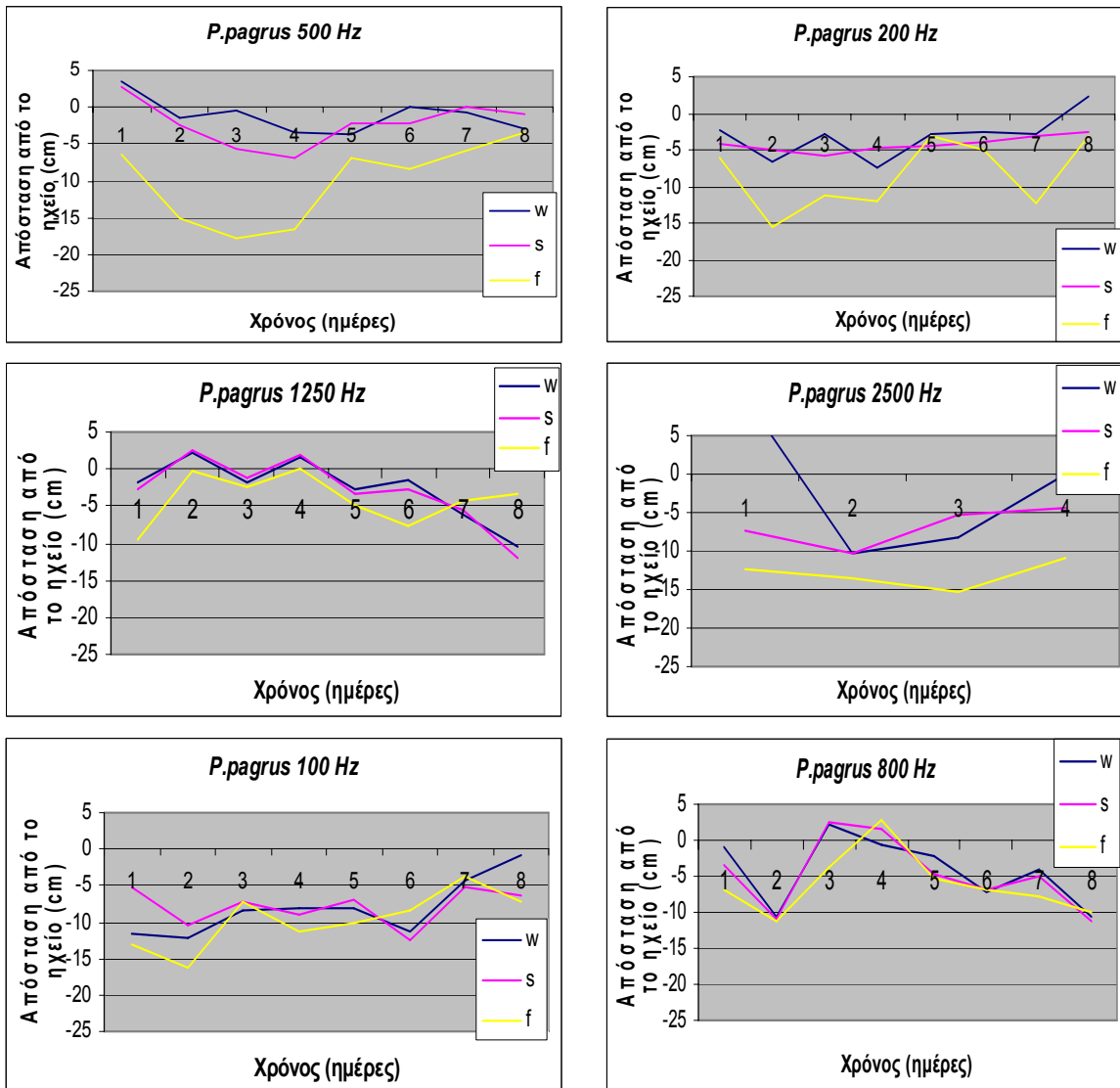
**Συνοψίζοντας:** **Λαβράκια** (*Dicentrarchus labrax*) που εκτέθηκαν σε ηχητικό ερέθισμα και συγκρίθηκαν με τα άτομα πληθυσμού Μάρτυρα, έδειξαν να **αντιλαμβάνονται τις συχνότητες των 100, 200 και 500 Hz**. Τα ψάρια κατά τη διάρκεια εκπομπής του ήχου, βρίσκονται κυρίως ανάμεσα στο ηχείο και την ταΐστρα από την οποία χορηγείται τροφή μετά τη λήξη εκπομπής του ηχητικού σήματος, ενώ πριν και μετά τον ήχο κινούνται σε όλο το ενυδρείο με προτίμηση την αριστερή πλευρά στην οποία βρίσκεται η ηλεκτρική ταΐστρα.

## Β) Φαγκρί (*Pagrus pagrus*)

Στο είδος αυτό τα άτομα έχουν την τάση να βρίσκονται γύρω από το ηχείο πριν ακουστεί ο ήχος. Σε αντίθεση με τα δύο άλλα είδη (λαβράκι και τσιπούρα) η κίνησή τους γίνεται σε όλη τη στήλη του νερού (πάνω – κάτω) και η περιοχή προτίμησης φαίνεται να είναι το κέντρο του ενυδρείου –όπως και για τις τσιπούρες.

Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνεται η μεταβολή της απόστασης που είχαν τα φαγκριά από το ηχείο για κάθε μια από τις 8 καταγραφές που έγιναν και για κάθε συχνότητα με τη σειρά που αυτές δοκιμάστηκαν (500, 200, 1250, 2500, 100, 800Hz). Στα διαγράμματα διακρίνονται 3 καμπύλες που αντιστοιχούν σε καθεμιά από τις 3 χρονικές φάσεις (πριν τον ήχο, κατά τη διάρκεια και μετά τον ήχο).

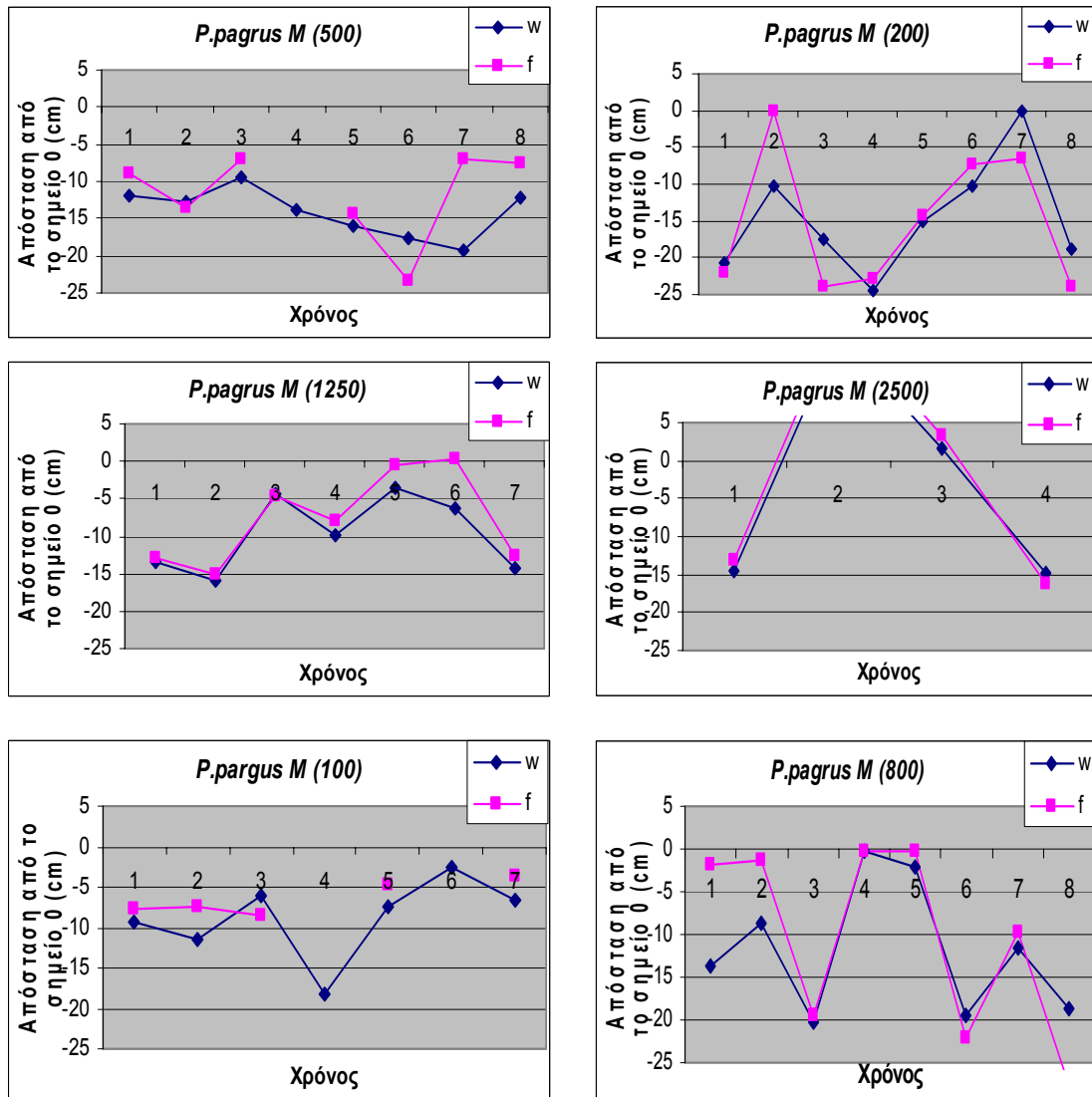
Σημειώνεται ότι για τη συχνότητα των 2500 Hz έγιναν 5 καταγραφές.



**Εικόνα 3.37:** Μεταβολή της μέσης απόστασης του συνόλου των ψαριών (φαγκριά) από το ηχείο σε 8 καταγραφές, πριν (w), κατά τη διάρκεια (s) και μετά (f) τον ήχο. Συχνότητες 500, 200, 1250, 2500, 100 και 800Hz. Το μηδέν αντιστοιχεί στο ηχείο, οι θετικές τιμές στην περιοχή δεξιά του ηχείου και οι αρνητικές τιμές στην περιοχή αριστερά του ηχείου.

Τα φαγκριά δείχνουν μια ξεκάθαρη **μετακίνηση προς** την ηλεκτρική ταΐστρα όταν πέφτει η **τροφή**. Όμως, στα 1250 Hz, στα 800 Hz καθώς και σε κάποιες καταγραφές των 100 Hz, η μεταβολή της μέσης απόστασης από το ηχείο δε δείχνει να είναι διαφορετική κατά τη διάρκεια των 3 χρονικών φάσεων (πριν, ήχος, τροφή). Επίσης, από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται ότι η συμπεριφορά των ψαριών πριν και κατά τη διάρκεια του ήχου είναι σχεδόν πάντα πολύ σχετική. Οι παρεκκλίσεις από την παρατήρηση αυτή είναι μάλλον λίγες και πιθανόν τυχαίες.

Η κίνηση που έχουν τα ψάρια στον πληθυσμό του **Μάρτυρα** απεικονίζεται στην εικόνα 3.38:

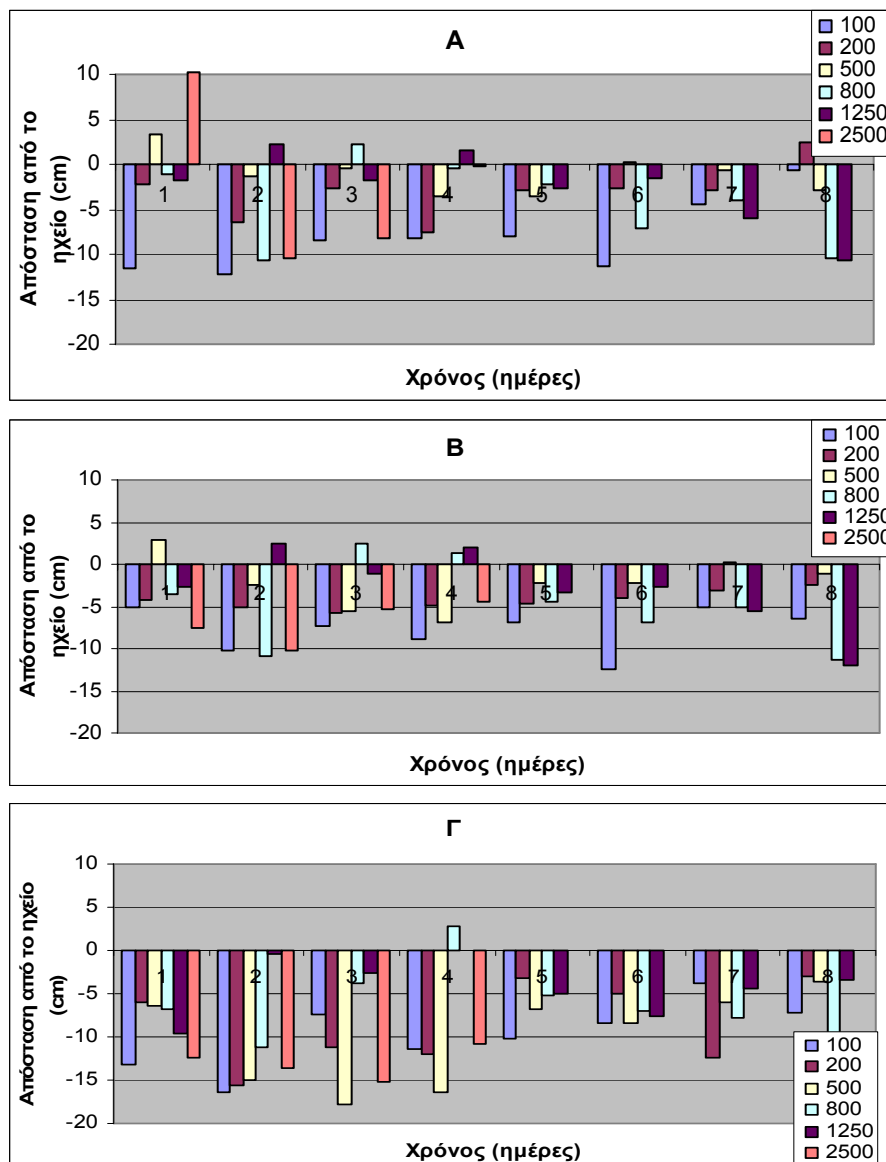


**Εικόνα 3.38: Μάρτυρας.** Μεταβολή της μέσης απόστασης του συνόλου των ψαριών (φαγκριά) από το σημείο 0 σε 8 καταγραφές, πριν (w), τη στιγμή και μετά (f) που πέφτει η τροφή. Στην παρένθεση (500, 200, 1250, 2500, 100 και 800Hz) σημειώνονται οι συχνότητες που εκπέμπονται παράλληλα στο ενυδρείο με τον ήχο.

Τα φαγκριά δε φαίνεται να παρουσιάζουν σημαντική διαφορά στη θέση που βρίσκονται πριν, κατά τη διάρκεια και μετά το φαγητό. Όταν χορηγείται η τροφή μετατοπίζονται δεξιότερα όπου βρίσκεται η ηλεκτρική ταΐστρα, αν και γενικά έχουν την τάση να βρίσκονται προς τα δεξιά. Η συμπεριφορά τους δείχνει σαν να είναι ήδη

προετοιμασμένα για το τάισμα ή το γεγονός της χορήγησης τροφής να μην αλλάζει δραματικά την κίνησή τους στο βαθμό που αυτή απεικονίζεται ως μέση απόσταση του συνολικού αριθμού των ψαριών από δεδομένο σημείο. Επίσης, η συμπεριφορά αυτή εμφανίζει διαφορές –με την έννοια τα ψάρια να εντοπίζονται δεξιά ή αριστερότερα- από τη μία καταγραφή στην άλλη, πράγμα που σημαίνει ότι δεν υπάρχει κάτι συγκεκριμένο που τη διαμορφώνει κατά ένα επαναλαμβανόμενο πρότυπο.

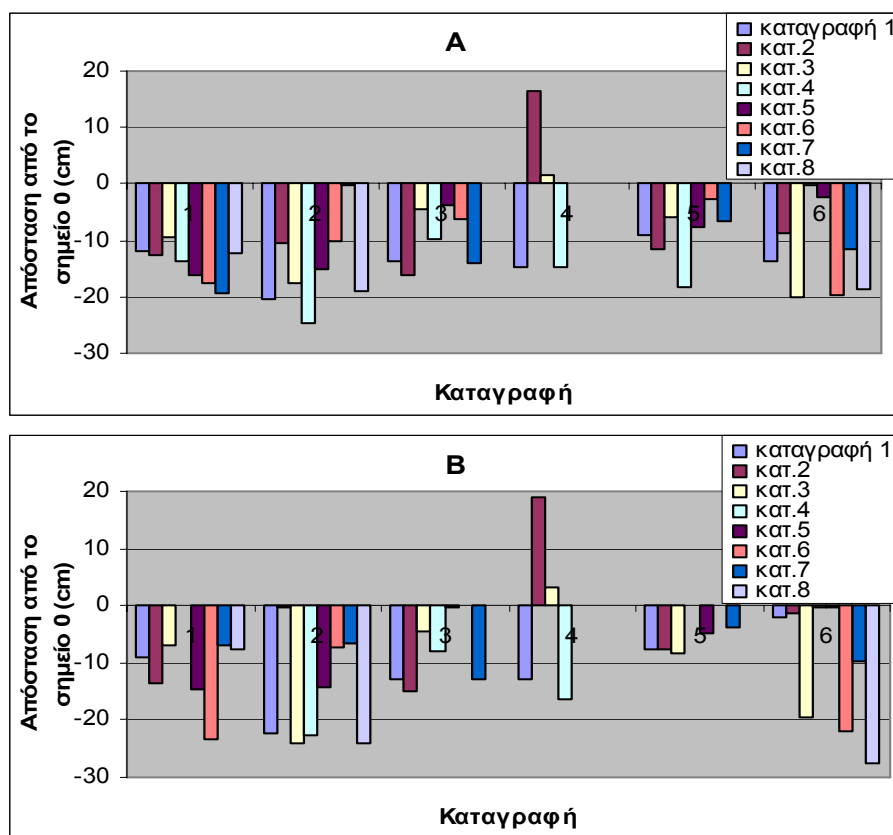
Ακολουθούν συγκριτικά διαγράμματα (Εικόνα 3.39), όπου φαίνεται η μέση θέση των ψαριών για κάθε συχνότητα που δοκιμάστηκε. Κάθε χρονική περίοδος (πριν τον ήχο, κατά τη διάρκεια του ηχητικού σήματος και κατά τη χορήγηση τροφής και μετά) απεικονίζεται σε ξεχωριστό διάγραμμα.



**Εικόνα 3.39:** Συγκριτική μεταβολή της μέσης απόστασης του συνόλου των ατόμων του είδους *P.pagrus* (φαγκρί) από το ηχείο, πριν (Α), κατά τη διάρκεια (Β) και μετά (Γ) τον ήχο, στις διαφορετικές συχνότητες που δοκιμάστηκαν.

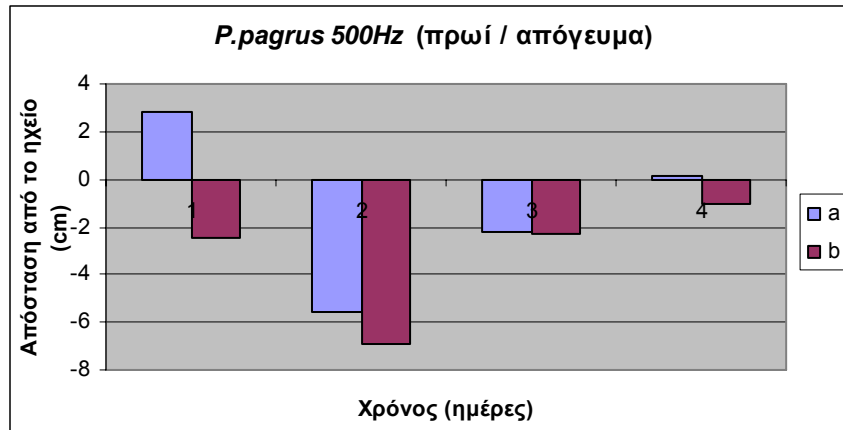
Συγκρίνοντας τις διαφορετικές συχνότητες στις 3 φάσεις των καταγραφών δε φαίνεται να υπάρχει κάποια η οποία ξεκάθαρα να δηλώνει απόκριση των ψαριών και αλλαγή της συμπεριφοράς τους. Όταν χορηγείται η τροφή γενικά κινούνται προς την ηλεκτρική ταΐστρα, αν και υπάρχουν κάποιες καταγραφές όπου τα ψάρια παραμένουν στη θέση τους –π.χ. 4<sup>η</sup> καταγραφή στα 800 Hz ή 5<sup>η</sup> καταγραφή στα 200 Hz.

Βλέποντας τον πληθυσμό του **Μάρτυρα** συγκριτικά για όλες τις καταγραφές πριν και μετά το φαγητό (Εικόνα 3.40) επιβεβαιώνεται η παρατήρηση ότι ουσιαστικά δεν εμφανίζουν διαφορά στη συμπεριφορά τους, σε αντίθεση με τον πληθυσμό του Μάρτυρα στα λαβράκια (Εικόνα 3.33) ο οποίος μετακινείται εμφανώς δεξιάτερα κατά τη χορήγηση της τροφής και μετά.



**Εικόνα 3.40: Μάρτυρας.** Συγκριτική μεταβολή της μέσης απόστασης του συνόλου των ατόμων του πληθυσμού Μάρτυρα του είδους *P. ragrus* (φαγκρί) από το σημείο 0, πριν (A), κατά τη διάρκεια της τροφής και μετά (B).

Σύγκριση των πρωινών με τις απογευματινές καταγραφές δε δείχνει κάποια σημαντική διαφορά στη συμπεριφορά των ψαριών με εξαίρεση αυτές των 500 Hz (Εικόνα 3.41).



**Εικόνα 3.41:** Συγκριτική μεταβολή της μέσης απόστασης του συνόλου των ατόμων του είδους *P.pagrus* (φαγκρί) από το ηχείο στη συχνότητα των 500 Hz και κατά τη διάρκεια εκπομπής του ήχου, κατά την πρωινή (a) και την απογευματινή (b) εγγραφή.

Η συχνότητα των 500 Hz είναι η πρώτη που δοκιμάζεται και παρόλη την περιορισμένη απόκριση των ψαριών δείχνει μια εξέλιξη με την πάροδο των ημερών. Έτσι, ενώ τα ψάρια αρχικά είναι προσανατολισμένα δεξιά του ηχείου, στη συνέχεια προσανατολίζονται αριστερά (αρνητικές τιμές) όπου βρίσκεται και η ηλεκτρική ταΐστρα. Την 3<sup>η</sup> ημέρα πλησιάζουν περισσότερο στο ηχείο, ενώ την 4<sup>η</sup> εντοπίζονται ακριβώς στη θέση του ηχείου. Η 4<sup>η</sup> ημέρα έκθεσης στο ηχητικό ερέθισμα δείχνει να είναι καθοριστική και για τα 2 άλλα είδη που εξετάστηκαν (λαβράκι, τσιπούρα), ενώ η συχνότητα των 500 Hz γίνεται αντιληπτή και από τα 3 είδη.

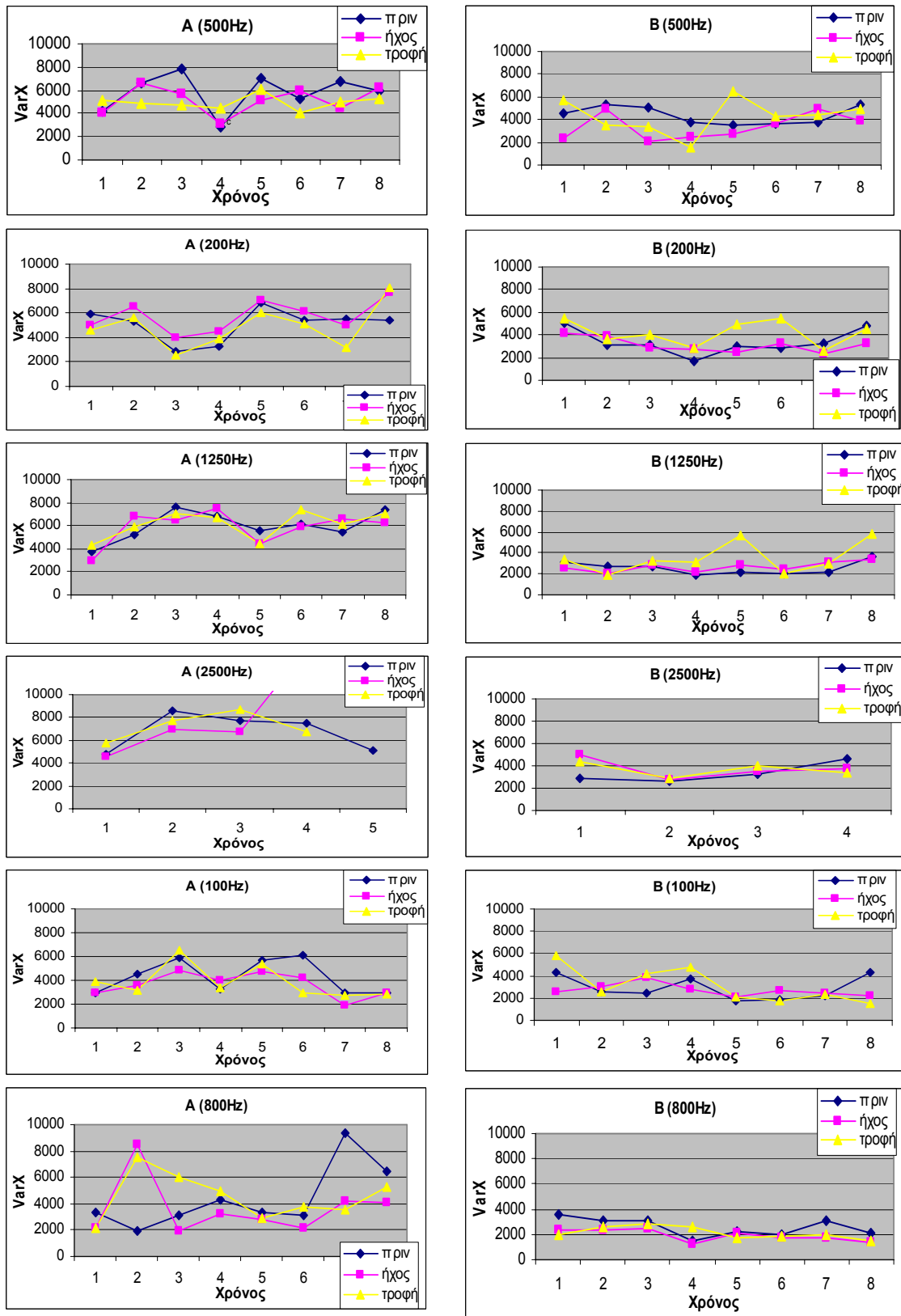
Ο πληθυσμός του Μάρτυρα εμφανίζει μια σχεδόν ανεξάρτητη συμπεριφορά κατά τις καταγραφές που πραγματοποιήθηκαν. Έτσι, ούτε η ώρα της ημέρας (πρωί, απόγευμα) δεν είναι αυτή που διαφοροποιεί τη συμπεριφορά τους εμφανώς.

**Συνοψίζοντας:** Φαγκριά (*Pagrus pagrus*) μέσου βάρους  $1,7 \pm 0,1$  g που εκτέθηκαν σε 6 διαφορετικές συχνότητες (100, 200, 500, 800, 1250 και 2500Hz) δε δείχνουν να μεταβάλλουν σημαντικά τη θέση τους (μέση απόσταση του συνόλου των ψαριών από το ηχείο) κατά τη διάρκεια εκπομπής του σήματος, πλην τη συχνότητα των 500 Hz που φαίνεται να γίνεται αντιληπτή. Κατά τη χορήγηση της τροφής μετατοπίζονται προς την ηλεκτρική ταΐστρα. Ο πληθυσμός του Μάρτυρα δείχνει μια σχετικά ομοιόμορφη μετακίνηση πριν και μετά το φαγητό, περιορίζοντας σχεδόν τις κινήσεις του στη μία πλευρά του ενυδρείου όπου βρίσκεται και η ταΐστρα .

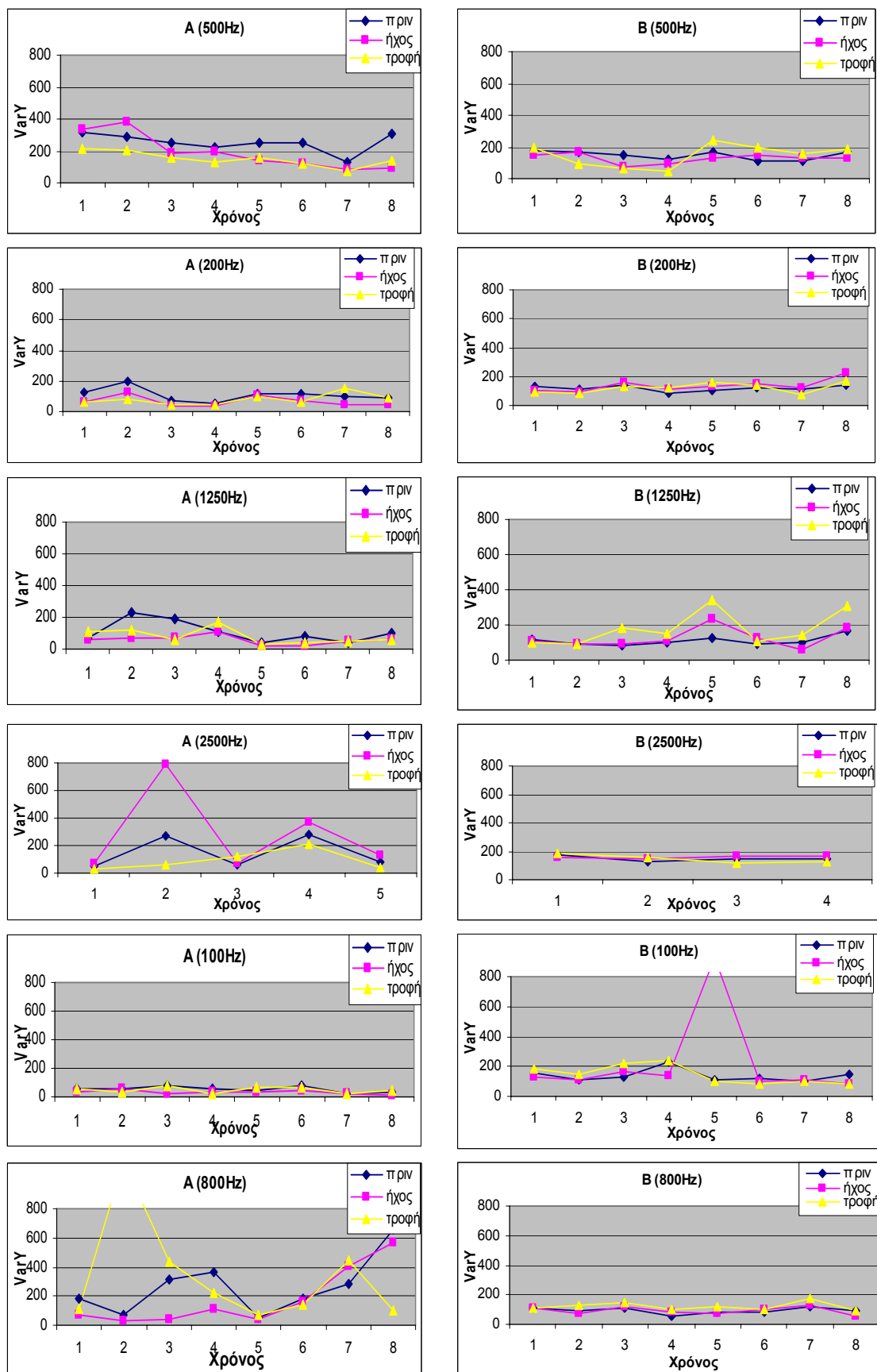


Στην εικόνα 3.42 συγκρίνεται η **συνολική διακύμανση (Variance)** των τιμών της απόστασης από το ηχείο στον **άξονα X** μεταξύ των 2 ειδών (**λαβράκι και φαγκρί**) και για κάθε συχνότητα που δοκιμάστηκε. Από τα διαγράμματα αυτά προκύπτει ότι η συνολική διακύμανση είναι μεγαλύτερη για το λαβράκι. Γενικά, το λαβράκι κατά τη διάρκεια των πειραματικών καταγραφών εμφανίζεται πιο κινητικό, κολυμπώντας γρήγορα από τη μία στην άλλη πλευρά του ενυδρείου. Αντίθετα, το φαγκρί φαίνεται να κινείται πιο αργά και να κάνει λιγότερα «πήγαινε-έλα» στον άξονα των X.

Η συνολική διακύμανση των τιμών της μέσης απόστασης στον **άξονα Y** φαίνεται στην εικόνα 3.43 και πάλι συγκριτικά για τα δύο είδη (λαβράκι και φαγκρί). Πιθανόν εδώ η συνολική διακύμανση να παίρνει μεγαλύτερες τιμές για το φαγκρί, χωρίς ωστόσο η διαφορά αυτή να είναι τόσο εμφανής. Παρατηρώντας κανείς τις εγγραφές οπτικά, βλέπει ότι τα φαγκριά έχουν την τάση να κινούνται προς τα πάνω και προς τα κάτω στο ενυδρείο, πιο έντονα από τα λαβράκια που κινούνται κυρίως από τη μία στην άλλη πλευρά, γεγονός που επιβεβαιώνει την αρχική μας de visu παρατήρηση.



**Εικόνα 3.42:** Συγκριτική μεταβολή της συνολικής διακύμανσης (Variance) των τιμών της μέσης απόστασης από το ηχείο για το λαβράκι (*D.labrax*) (A) και το φαγκρί (*P.pagrus*) (B) και για κάθε συχνότητα στον **άξονα των X**.



**Εικόνα 3.43:** Συγκριτική μεταβολή της συνολικής διακύμανσης (Variance) των τιμών της μέσης απόστασης από το ηχείο για το λαβράκι (*D.labrax*) (A) και το φαγκρί (*P.pagrus*) (B) και για κάθε συχνότητα στον **άξονα των Y**.

### Γ) Τσιπούρα (*Sparus aurata*)

Στην παράγραφο 3.2.2 παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα της δεύτερης σειράς πειραμάτων που έγιναν σε τσιπούρες με αναλογική καταγραφή. Όπως, όμως, αναφέρθηκε και στην παράγραφο 2.2.1 στο κεφάλαιο 2 για τα Υλικά και τις Μεθόδους, κατά τη διάρκεια αυτής της σειράς πειραμάτων, ξεκίνησε να γίνεται και καταγραφή με **φορητή ψηφιακή κάμερα** στο ενυδρείο με ήχο, παράλληλα με αυτήν που γίνονταν με την αναλογική κάμερα. Αρχικά, γίνονταν μόνο μία ψηφιακή εγγραφή τη μέρα, ενώ στη συνέχεια 2. Έτσι, τα ψηφιακά δεδομένα παρουσιάζουν κάποιες ελλείψεις, κυρίως στην αρχή αυτής της σειράς πειραμάτων. Επίσης, για λόγους που αναφέρονται στην παράγραφο 2.2.1 δεν υπάρχουν ψηφιακά δεδομένα για το Μάρτυρα. Η ανάλυση αυτών των δεδομένων έγινε όπως και εκείνα που αφορούν τον πληθυσμό του Μάρτυρα στα λαβράκια και τα φαγκριά.

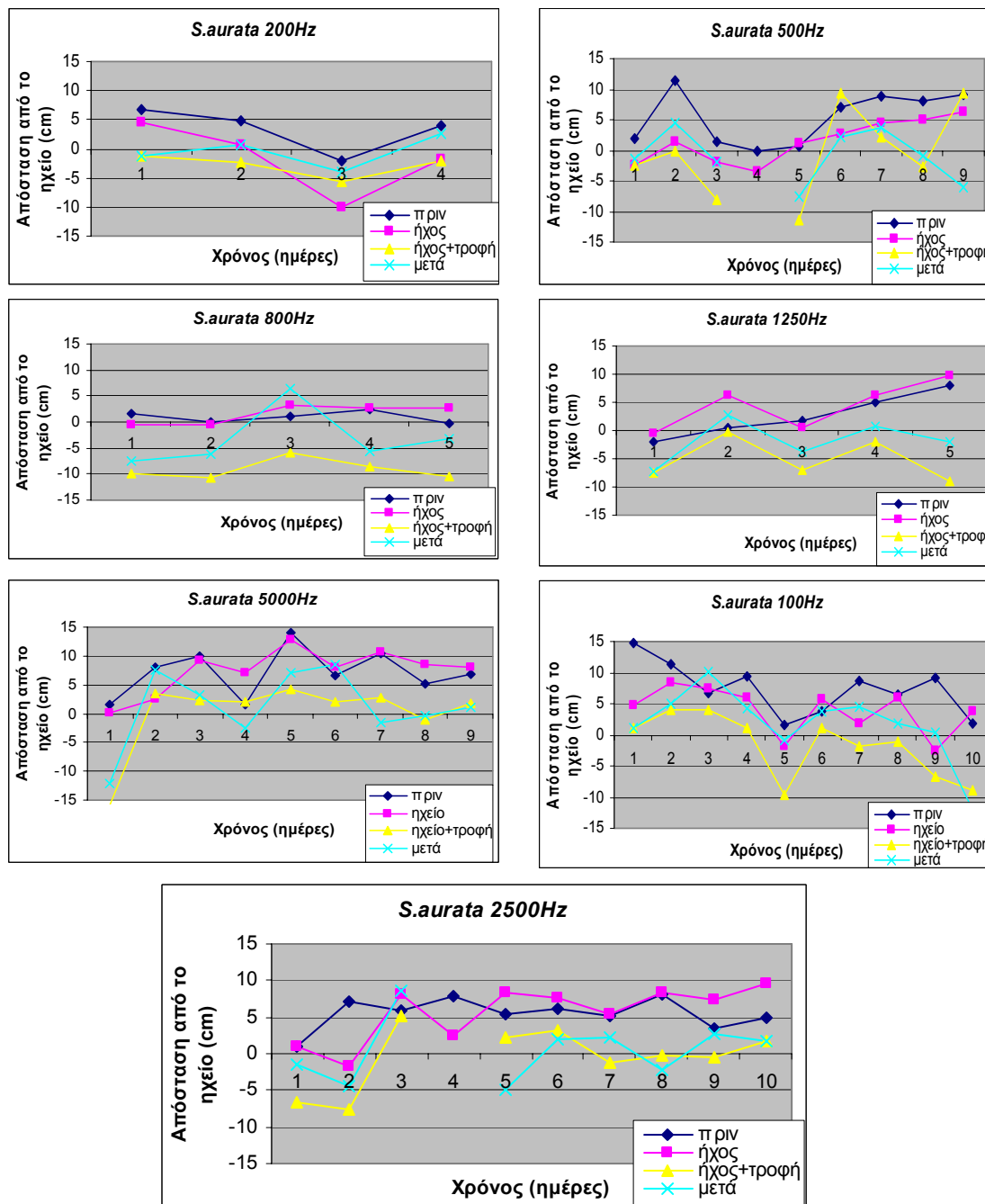
Αρχικά, δοκιμάστηκαν οι **συχνότητες** 200, 500, 800 και 1250 Hz. Ακολούθησε μια παύση 20 ημερών και συνέχιση του πειράματος με τις συχνότητες των 5000, 100 και 2500 Hz. Οι καταγραφές γίνονταν πρωί και νωρίς το απόγευμα και κατά τη διάρκεια χορήγησης τροφής δεν ακούγονταν πια ήχος.

Ακολουθούν διαγράμματα (Εικόνα 3.44) που απεικονίζουν τη μεταβολή της μέσης απόστασης του συνόλου των ψαριών από το ηχείο για κάθε συχνότητα με τη σειρά που δοκιμάστηκαν. Οι 4 καμπύλες σε κάθε διάγραμμα αφορούν τις 4 χρονικές φάσεις της καταγραφής: πριν τον ήχο, κατά τη διάρκεια του ήχου, όταν πέφτει η τροφή και μετά.

Στις **μικρότερες συχνότητες** των 100, 200 και 500 Hz εμφανίζεται το εξής **πρότυπο**: η μέση απόσταση του συνόλου των ψαριών πριν τον ήχο είναι θετική και μετατοπισμένη δεξιά του ηχείου. Όταν ακουστεί το ηχητικό σήμα η μέση απόσταση μετατοπίζεται προς το ηχείο. Όταν πέφτει η τροφή η μέση απόσταση μετατοπίζεται ακόμα αριστερότερα, ενώ μετά την τροφή και τον ήχο μπορεί να είναι σε διαφορετικές θέσεις στο ενυδρείο.

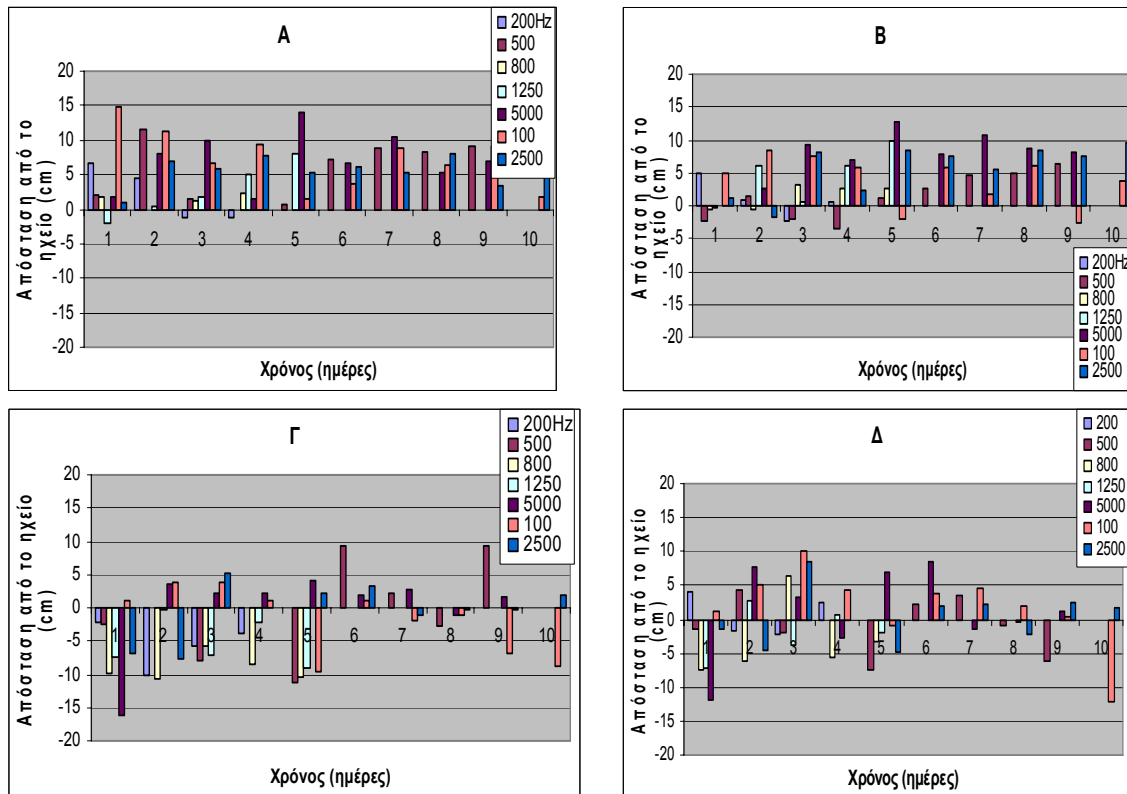
Στις **ψηλότερες συχνότητες** των 800, 1250, 2500 και 5000 Hz η εκπομπή του ηχητικού σήματος δε φαίνεται να μεταβάλλει ιδιαίτερα τη μέση απόσταση των ψαριών η οποία σε γενικές γραμμές μοιάζει με εκείνη που έχουν οι τσιπούρες πριν την εκπομπή του σήματος. Όταν πέσει η τροφή τα ψάρια μετατοπίζονται προς τα αριστερά, ενώ μετά μπορούν να βρεθούν πιο δεξιά, κοντά στο ηχείο ή να εξακολουθήσουν να βρίσκονται αριστερά.

Έτσι, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα που πήραμε από τις αναλογικές καταγραφές και εκείνα των ψηφιακών καταγραφών, διαπιστώνουμε ότι καταλήγουμε στις ίδιες παρατηρήσεις.



**Εικόνα 3.44:** Μεταβολή της μέσης απόστασης του συνόλου των ψαριών (**τσιπούρες**) από το ηχείο πριν, κατά τη διάρκεια του ήχου, όταν πέφτει η τροφή και παράλληλα εκπέμπεται ήχος και μετά. Συχνότητες 200, 500, 800, 1250, 5000, 100 και 2500 Hz.

Ακολουθούν συγκριτικά διαγράμματα (Εικόνα 3.45) όπου φαίνεται η μέση θέση των ατόμων τσιπούρας για κάθε συχνότητα που δοκιμάστηκε. Κάθε χρονική φάση (πριν τον ήχο, κατά τη διάρκεια του ηχητικού σήματος, κατά τη χορήγηση τροφής και μετά) απεικονίζεται σε ξεχωριστό διάγραμμα.



**Εικόνα 3.45:** Συγκριτική μεταβολή της μέσης απόστασης του συνόλου των ψαριών (τσιπούρες) από το ηχείο, πριν (Α), κατά τη διάρκεια του ήχου (Β), όταν πέφτει η τροφή και μετά (Δ), στις διαφορετικές συχνότητες που δοκιμάστηκαν.

Αυτό που φαίνεται καθαρά στα συγκριτικά διαγράμματα είναι ότι πριν και κατά τον ήχο οι τσιπούρες βρίσκονται δεξιά του ηχείου. Η τροφή τις μετατοπίζει προς τα αριστερά και μετά την τροφή δείχνουν μια κατανομή σε όλο το ενυδρείο. Επίσης, οι χαμηλές συχνότητες (100, 200, 500Hz) είναι αυτές που δείχνουν να επηρεάζουν τη θέση των ψαριών, ενώ οι υπόλοιπες συχνότητες που δοκιμάστηκαν δε φαίνεται να έχουν μια ξεκάθαρη επίδραση.

**Συνοψίζοντας:** Δοκιμάστηκαν 6 διαφορετικές συχνότητες (100, 200, 500, 800, 1250 και 2500 Hz) σε 3 είδη ψαριών που εκτρέφονται, την τσιπούρα (*Sparus aurata*), το λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*) και το φαγκρί (*Pagrus pagrus*). Στην τσιπούρα δοκιμάστηκε επιπλέον η συχνότητα των 5000 Hz. Η ηλικία που είχαν το λαβράκι και το φαγκρί ήταν ίδια (με βάση το μήκος και το βάρος τους), ενώ οι τσιπούρες ήταν λίγο μεγαλύτερες. Τα σημαντικότερα αποτελέσματα από τα πειράματα αυτά δείχνουν ότι οι **τσιπούρες και τα λαβράκια** τείνουν να μετακινηθούν προς το ηχείο στις **χαμηλές συχνότητες (100, 200 και 500 Hz)**. Για τη συχνότητα των 800 Hz η απόκριση δεν είναι ξεκάθαρη, ενώ για τις υπόλοιπες συχνότητες δε φαίνεται να υπάρχει ανταπόκριση. Τα **φαγκριά** δε δείχνουν να έχουν ένα σαφές πρότυπο συμπεριφοράς που να μπορεί να συσχετιστεί με την εκπομπή του ηχητικού σήματος, εκτός από τα 500 Hz όπου μετακινούνται προς το ηχείο.

### β) Παλινδρόμηση δεδομένων

Στα δεδομένα έγινε παλινδρόμηση (Πίνακες 3.3-3.7) προκειμένου να ελεγχθεί αν η κίνηση των ψαριών εμφανίζει κάποια τάση στις διαφορετικές χρονικές φάσεις δηλαδή πριν τον ήχο, κατά την εκπομπή του ήχου και κατά τη διάρκεια χορήγησης τροφής και μετά. Οι μεταβλητές της παλινδρόμησης είναι ο χρόνος και η τιμή της μέσης απόστασης που έχει το σύνολο των ψαριών από το ηχείο.

Στους Πίνακες αυτούς φαίνεται η τιμή του παράγοντα F για κάθε εγγραφή και σε κάθε χρονική φάση. Για  $p < 0,05$  σημαίνει ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική αλληλεπίδραση ανάμεσα στο χρόνο και τη μεταβολή της απόστασης, δηλαδή τα ψάρια εμφανίζουν κάποια τάση στην κίνησή τους που ενδεχομένως σχετίζεται με κάποιο ερέθισμα.

Η σειρά που παρατίθενται οι συχνότητες είναι αυτή με την οποία δοκιμάστηκαν, ώστε να είναι δυνατός ο έλεγχος της διαδικασίας εκπαίδευσης στο ηχητικό ερέθισμα με την πάροδο του χρόνου.

### A) Λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*)

**Πίνακας 3.3:** Τιμή του παράγοντα F που προκύπτει από την Παλινδρόμηση των δεδομένων της μέσης απόστασης από το ηχείο –στο ενυδρείο με ήχο-και το νοητό «ηχείο» -στο Μάρτυρα-, για το είδος *D.labrax* (λαβράκι) σε όλες τις συχνότητες που δοκιμάστηκαν και για όλες τις καταγραφές

#### *D.labrax* 500 Hz

Καταγραφή	πριν	ήχος	τροφή	Μάρτυρας πριν	Μάρτυρας τροφή
1a	0,506337	0,329905	0,528342	<b>5,06E-06</b>	<b>0,031945</b>
1b	<b>1,66E-08</b>	<b>0,001895</b>	<b>0,037423</b>	<b>0,014164</b>	<b>0,000294</b>
2a	<b>0,008087</b>	<b>0,007109</b>	<b>0,007985</b>	<b>1,36E-05</b>	<b>0,007979</b>
2b	<b>1,14E-08</b>	<b>0,000379</b>	0,637225	<b>3,49E-10</b>	0,150015
3a	<b>9,05E-12</b>	0,776756	<b>2,24E-05</b>	<b>0,000323</b>	<b>3,37E-05</b>
3b	<b>1,46E-06</b>	<b>0,000814</b>	<b>0,033238</b>	0,113268	<b>3,9E-11</b>
4a	0,928125	<b>9,45E-06</b>	0,229132	<b>2,25E-07</b>	<b>3,75E-15</b>
4b	<b>0,005024</b>	<b>0,048778</b>	0,211451	<b>4,04E-08</b>	<b>9,05E-08</b>
Στατιστικά σημαντικός	6 στις 8	6 στις 8	4 στις 8	7 στις 8	7 στις 8

#### *D.labrax* 200 Hz

Καταγραφή	πριν	ήχος	τροφή	Μάρτυρας πριν	Μάρτυρας τροφή
1a	<b>0,025999</b>	0,529023	0,425316	0,067898	<b>0,001765</b>
1b	0,885169	0,759489	0,422332	0,928536	<b>0,000107</b>
2a	0,461531	0,308495	0,308495	<b>0,001834</b>	0,22396
2b	<b>0,026294</b>	<b>0,011709</b>	0,150245	<b>4,98E-22</b>	<b>0,013867</b>
3a	<b>0,084152</b>	0,544566	<b>8,8E-13</b>	<b>0,047518</b>	<b>1,81E-11</b>
3b	0,189078	0,171893	<b>0,001563</b>	0,4229	<b>0,029122</b>
4a	<b>0,021387</b>	0,132292	0,865921	0,203165	0,073717
4b	0,795336	0,762532	<b>1,51E-06</b>	0,241931	<b>8,85E-13</b>
Στατιστικά σημαντικός	4 στις 8	1 στις 8	3 στις 8	3 στις 8	6 στις 8

*D.labrax 1250Hz*

Καταγραφή	πριν	ήχος	τροφή	Μάρτυρας πριν	Μάρτυρας τροφή
1a	0,82594	0,27483	<b>0,006196</b>		
1b	0,12646	<b>2,29E-06</b>	0,233476	<b>2,48E-13</b>	<b>2,08E-05</b>
2a	0,051624	<b>1,29E-07</b>	0,690515	<b>8,88E-05</b>	<b>2,49E-12</b>
2b	0,175774	0,653077	<b>0,024756</b>		
3a	0,640307	0,317509	0,336541	0,650702	<b>0,009324</b>
3b	<b>0,000695</b>	<b>4,99E-06</b>	<b>9,74E-07</b>	<b>1,64E-19</b>	<b>1,04E-30</b>
4a	0,282692	0,112614	0,495734	<b>0,011073</b>	<b>1,49E-11</b>
4b	<b>0,002012</b>	0,1835	0,074493		
Στατιστικά σημαντικός	2 στις 8	3 στις 8	3 στις 8	4 στις 5	5 στις 5

*D.labrax 2500Hz*

Καταγραφή	πριν	ήχος	τροφή	Μάρτυρας πριν	Μάρτυρας τροφή
1a	0,351335	0,468116	<b>0,003153</b>	<b>0,002996</b>	<b>6,31E-08</b>
1b	<b>3,61E-05</b>	0,170355	0,793704	<b>4,19E-20</b>	<b>3,64E-15</b>
2a	0,780425	0,639596	0,516798	0,744511	<b>2,17E-12</b>
2b	0,167847	0,09212	<b>0,02981</b>	<b>1,52E-07</b>	0,049142
3a	<b>1,32E-06</b>	0,739205	<b>1,83E-13</b>	0,704659	<b>1,81E-23</b>
Στατιστικά σημαντικός	2 στις 5	0 στις 5	3 στις 5	3 στις 5	4 στις 5

*D.labrax 100Hz*

Καταγραφή	πριν	ήχος	τροφή	Μάρτυρας πριν	Μάρτυρας τροφή
1a	0,496839	0,729512	<b>0,019104</b>	<b>0,027843</b>	
1b	0,640351	<b>0,075145</b>	<b>0,000343</b>	<b>0,005096</b>	<b>0,000219</b>
2a	0,110216	0,228043	<b>0,008593</b>	<b>5,29E-27</b>	<b>5,6E-06</b>
2b	0,452793	0,379782	<b>1,58E-08</b>	0,123941	<b>0,001455</b>
3a	0,606466	0,100481	<b>3,05E-27</b>	<b>0,001051</b>	
3b	<b>0,067279</b>	0,146489	0,314177	<b>0,047025</b>	<b>5,98E-18</b>
4a	<b>0,028446</b>	0,225887	<b>1,11E-08</b>	0,739723	<b>1,02E-40</b>
4b	0,051539	0,87837	<b>4,9E-09</b>	<b>3,62E-21</b>	0,757578
Στατιστικά σημαντικός	2 στις 8	1 στις 8	7 στις 8	6 στις 8	5 στις 6

*D.labrax 800Hz*

Καταγραφή	πριν	ήχος	τροφή	Μάρτυρας πριν	Μάρτυρας τροφή
1a	0,142689	<b>1,68E-08</b>	<b>5,91E-10</b>	<b>1,08E-05</b>	0,683656
1b	0,099044	<b>3,88E-11</b>	<b>0,006319</b>	<b>2,43E-26</b>	<b>3,83E-33</b>
2a	<b>0,037403</b>	0,261964	<b>1,21E-12</b>	0,938198	0,267702
2b	<b>0,002091</b>	<b>0,000198</b>	<b>3,19E-13</b>	<b>3,39E-09</b>	<b>4,58E-11</b>
3a	0,640012	0,198118	<b>1,59E-05</b>	0,179953	<b>3E-17</b>
3b	<b>9,43E-11</b>	0,945461	<b>0,045288</b>	<b>0,000126</b>	<b>3,24E-17</b>
4a	<b>1,95E-10</b>	<b>1,55E-09</b>	<b>2,94E-20</b>	<b>9,24E-28</b>	<b>3,57E-14</b>
4b	<b>9,18E-13</b>	0,747535	0,257224	0,079967	0,060139
Στατιστικά σημαντικός	5 στις 8	4 στις 8	7 στις 8	5 στις 8	5 στις 8



Τα αποτελέσματα που δίνει η παλινδρόμηση των δεδομένων στον πληθυσμό του Μάρτυρα και στα ψάρια που υποβάλλονται σε ηχητικό ερέθισμα εμφανίζουν διαφορές. Στο **Μάρτυρα** υπάρχει στατιστικά σημαντική σχέση ανάμεσα στο χρόνο και την απόσταση που έχουν τα λαβράκια από το σημείο 0 (νοητό «ηχείο»), τόσο πριν όσο και όταν πέσει η τροφή και μετά.

Στα ψάρια με τον ήχο εμφανίζεται σχεδόν η εικόνα που έχουν τα άτομα στο Μάρτυρα για τις μεσαίες συχνότητες των 500 και 800 Hz. Στα 500Hz κατά τη διάρκεια του ήχου φαίνεται να υπάρχει σχέση ανάμεσα στην απόσταση από το ηχείο και το χρόνο. Στα 800Hz κατά τη διάρκεια του ήχου η σχέση αυτή δεν είναι ξεκάθαρη. Για τις ακραίες συχνότητες που δοκιμάστηκαν (100 και 2500Hz) η παλινδρόμηση δείχνει στατιστικά σημαντική σχέση ανάμεσα στο χρόνο και τη συνολική απόσταση από το ηχείο όταν πέφτει η τροφή. Κατά τη διάρκεια εκπομπής του ήχου και πριν δεν υπάρχει τέτοια σχέση. Στη συχνότητα των 1250Hz ο χρόνος δε φαίνεται να σχετίζεται με την συνολική απόσταση από το ηχείο σε καμιά χρονική περίοδο (πριν, ήχος, τροφή). Τέλος, στα 200Hz κατά τη διάρκεια του ήχου και όταν πέφτει η τροφή επίσης δεν υπάρχει σχέση μεταξύ των δύο παραμέτρων, ενώ πριν η εικόνα δεν είναι ξεκάθαρη.

Παλινδρόμηση έγινε και στα δεδομένα της τυπικής απόκλισης (SD) που είχε η μέση απόσταση των ψαριών από το ηχείο (Πίνακας 3.4). Εξετάζεται ο παράγοντας F (significance F) προκειμένου να ελεγχθεί αν υπάρχει στατιστικά σημαντική σχέση μεταξύ του χρόνου και της τυπικής απόκλισης ( $p < 0,05$ ). Εξετάζονται μόνο τα ψάρια που είχαν ήχο.

**Πίνακας 3.4:** Τιμή του παράγοντα F που προκύπτει από την Παλινδρόμηση των δεδομένων της τυπικής απόκλισης (SD) της μέσης απόστασης από το ηχείο, για το είδος *D.labrax* (λαβράκι) σε όλες τις συχνότητες που δοκιμάστηκαν και για όλες τις καταγραφές

***D.labrax* 500Hz**

Καταγραφή	πριν	ήχος	τροφή
1a	0,018113	0,00726	0,029228
1b	5,23E-06	0,586133	9,92E-08
2a	0,010479	0,002804	1,15E-07
2b	0,90427	0,04425	0,001093
3a	1,69E-07	0,571987	0,00107
3b	0,003097	0,007763	4,56E-09
4a	0,315755	1,04E-05	0,127487
4b	0,1092	0,009805	0,183143
Στατιστικά σημαντικός	5 στις 8	6 στις 8	6 στις 8

***D.labrax* 200Hz**

Καταγραφή	πριν	ήχος	τροφή
1a	0,04489	0,000187	0,02356
1b	0,243892	9,34E-06	0,1814
2a	0,268634	0,084526	0,488644
2b	0,114833	2,05E-05	0,372435
3a	0,315888	0,080741	2,45E-20
3b	0,003847	9,6E-16	0,012038
4a	0,026188	0,31838	0,74733
4b	0,672742	0,848213	0,003398

Στατιστικά σημαντικός	3 στις 8	4 στις 8	4 στις 8
--------------------------	----------	----------	----------

*D.labrax 1250Hz*

Καταγραφή	πριν	ήχος	τροφή
1a	<b>0,047765</b>	0,141457	<b>0,013005</b>
1b	<b>0,001104</b>	0,205376	<b>0,001965</b>
2a	0,634559	0,255162	0,252037
2b	0,10184	<b>0,000453</b>	<b>9,4E-05</b>
3a	0,533641	0,521851	<b>0,005134</b>
3b	0,057402	<b>0,046661</b>	0,138581
4a	0,050464	<b>0,000171</b>	0,158024
4b	0,281439	0,052699	<b>5,13E-06</b>
Στατιστικά σημαντικός	2 στις 8	3 στις 8	5 στις 8

*D.labrax 2500Hz*

Καταγραφή	πριν	ήχος	τροφή
1a	<b>0,049085</b>	0,416611	<b>0,044676</b>
1b	0,300306	0,440315	0,774372
2a	<b>0,002842</b>	0,430885	0,059268
2b	0,185675	0,396004	0,345927
3a	<b>5,19E-06</b>	0,753382	<b>0,015349</b>
Στατιστικά σημαντικός	3 στις 5	0 στις 5	2 στις 5

*D.labrax 100Hz*

Καταγραφή	πριν	ήχος	τροφή
1a	0,306953	<b>0,028586</b>	0,876607
1b	<b>0,000209</b>	<b>0,040259</b>	0,201167
2a	<b>0,001088</b>	<b>0,000443</b>	0,175152
2b	0,409221	<b>7,75E-06</b>	<b>4,91E-19</b>
3a	<b>0,005276</b>	0,094062	<b>4,26E-11</b>
3b	<b>0,00162</b>	0,743723	0,2265
4a	<b>0,011334</b>	<b>0,032795</b>	<b>0,004849</b>
4b	<b>0,000259</b>	0,345666	<b>0,002852</b>
Στατιστικά σημαντικός	6 στις 8	5 στις 8	4 στις 8

*D.labrax 800Hz*

Καταγραφή	πριν	ήχος	τροφή
1a	0,92926	<b>9,56E-05</b>	<b>2,17E-08</b>
1b	0,101986	<b>0,006219</b>	<b>1,58E-05</b>
2a	0,097717	0,470255	<b>0,001084</b>
2b	<b>4,92E-08</b>	<b>0,004483</b>	<b>3,75E-08</b>
3a	0,243892	<b>5,32E-06</b>	<b>8,09E-14</b>
3b	0,099723	0,216916	<b>0,036288</b>
4a	0,562908	0,331839	<b>0,017514</b>
4b	0,891527	0,34295	<b>1,28E-05</b>
Στατιστικά σημαντικός	1 στις 8	4 στις 8	8 στις 8

Η τιμή της τυπικής απόκλισης δείχνει την τάση που μπορεί να έχουν τα λαβράκια για να σχηματίσουν κοπάδι. Οι παρατηρήσεις που έγιναν de visu έδειχναν ότι υπάρχει μία τέτοια τάση όταν εκπέμπεται το ηχητικό σήμα και όταν χορηγείται η τροφή. Η παλινδρόμηση δείχνει ότι στις συχνότητες των 100, 200, 500 και 800 Hz, υπάρχει στατιστικά σημαντική σχέση μεταξύ της τυπικής απόκλισης και του χρόνου, τόσο όταν εκπέμπεται ο ήχος, όσο και όταν πέφτει η τροφή. Δηλαδή, τα ψάρια μαζεύονται και κινούνται όλα μαζί. Στα 100 και 500 Hz, μια τέτοια τάση φαίνεται να υπάρχει και πριν την εκπομπή του ήχου. Στις υψηλότερες συχνότητες (1250 και 2500 Hz), δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική σχέση μεταξύ της τυπικής απόκλισης και του χρόνου όταν εκπέμπεται ο ήχος, ενώ στα 1250 Hz αυτή η σχέση είναι σημαντική όταν χορηγείται η τροφή, ενώ στα 2500Hz πριν τον ήχο.

### B) Φαγκρί (*Pagrus pagrus*)

**Πίνακας 3.5:** Τιμή του παράγοντα F που προκύπτει από την Παλινδρόμηση των δεδομένων της μέσης απόστασης από το ηχείο –στο ενυδρείο με ήχο- και το νοητό «ηχείο» -στο Μάρτυρα-, για το είδος *P.pagrus* (φαγκρί) σε όλες τις συχνότητες που δοκιμάστηκαν και για όλες τις καταγραφές.

#### *P.pagrus* 500Hz

Καταγραφή	πριν	ήχος	τροφή	Μάρτυρας πριν	Μάρτυρας τροφή
1a	0,131268	<b>4,33E-05</b>	<b>0,004361</b>	<b>4,92E-05</b>	0,698512
1b	<b>7,34E-05</b>	0,299246	0,490189	<b>1,16E-12</b>	0,784077
2a	0,099906	0,701079	<b>4,88E-10</b>	<b>4,24E-12</b>	<b>1,24E-08</b>
2b	<b>0,010938</b>	0,317234	0,930242	0,294775	
3a	<b>0,003997</b>	0,250436	0,054677	<b>1,96E-05</b>	<b>0,019607</b>
3b	0,497543	0,752928	0,777843	0,220597	<b>0,000161</b>
4a	0,726856	<b>9,8E-13</b>	0,818842	<b>0,000131</b>	<b>1,66E-31</b>
4b	<b>0,023841</b>	0,899314	<b>4,99E-05</b>	<b>1,95E-05</b>	<b>0,028087</b>
Στατιστικά σημαντικός	4 στις 8	2 στις 8	3 στις 8	6 στις 8	5 στις 7

#### *P.pagrus* 200Hz

Καταγραφή	πριν	ήχος	τροφή	Μάρτυρας πριν	Μάρτυρας τροφή
1a	<b>0,000308</b>	<b>0,044313</b>	0,226688	<b>0,000252</b>	0,282434
1b	<b>0</b>	0,570377	<b>0,039969</b>		
2a	0,839466	0,272448	0,234112	0,258067	<b>7,98E-07</b>
2b	0,180506	<b>0,000881</b>	0,483103	0,531339	<b>2,55E-05</b>
3a	<b>0,004149</b>	<b>1,51E-05</b>	0,100272	<b>0,00011</b>	<b>8,34E-12</b>
3b	<b>0,007618</b>	<b>0,011527</b>	<b>0,000214</b>	0,401498	0,051718
4a	<b>8,43E-05</b>	0,438867	<b>0,000884</b>	<b>0,027048</b>	<b>0,025632</b>
4b	0,699027	<b>0,043656</b>	0,276391	0,080902	<b>0,035241</b>
Στατιστικά σημαντικός	5 στις 8	5 στις 8	3 στις 8	3 στις 7	5 στις 7

#### *P.pagrus* 1250Hz

Καταγραφή	πριν	ήχος	τροφή	Μάρτυρας πριν	Μάρτυρας τροφή
1a	0,080673	0,773993	<b>0,023937</b>	0,078682	0,684965

1b	0,001976	0,520437	2,69E-07		
2a	0,393278	0,047019	0,881138	0,815298	0,009046
2b	0,035383	0,165313	0,308896	0,038409	0,003148
3a	0,002319	0,106736	0,203769	0,251615	0,001765
3b	0,860795	0,014216	0,227802	0,528074	0,961798
4a	0,006282	0,694098	1,54E-11	0,906847	0,962916
4b	0,049474	0,888583	4,46E-08	5,95E-12	0,672994
Στατιστικά σημαντικός	5 στις 8	2 στις 8	4 στις 8	2 στις 7	3 στις 7

*P.pagrus 2500Hz*

Καταγραφή	πριν	ήχος	τροφή	Μάρτυρας πριν	Μάρτυρας τροφή
1a	6,38E-07	0,096297	0,156494	0,023694	0,170265
1b	0,000505	8,63E-07	1,55E-10	0,459659	8,05E-06
2a	0,000548	1,99E-05	0,520528	7,77E-11	1,38E-08
2b	0,001915	0,120591	2,83E-10	0,262847	0,012899
Στατιστικά σημαντικός	4 στις 4	2 στις 4	2 στις 4	2 στις 4	3 στις 4

*P.pagrus 100Hz*

Καταγραφή	πριν	ήχος	τροφή	Μάρτυρας πριν	Μάρτυρας τροφή
1a	0,003514	0,415821	1,38E-10	0,082272	7,06E-18
1b	0,345993	2,03E-08	0,00015	0,822765	
2a	0,210673	2,66E-11	0,000398	0,000451	
2b	0,004321	0,005575	2,57E-10	0,000638	0,014233
3a	0,541437	0,173534	0,036712	1,81E-05	
3b	0,00209	0,015251	1,35E-14	0,223844	0,775108
4a	1,45E-08	0,31512	0	0,028589	
4b	0,530359	0,356114	1,12E-06	0,001098	0,376824
Στατιστικά σημαντικός	4 στις 8	4 στις 8	8 στις 8	5 στις 8	2 στις 4

*P.pagrus 800Hz*

Καταγραφή	πριν	ήχος	τροφή	Μάρτυρας πριν	Μάρτυρας τροφή
1a	0,006427	0,642856	0,118953	0,078192	0,317874
1b	0,006452	0,732435	0,897998	0,537001	0,729757
2a	0,894892	0,43989	0,40743	3,25E-15	8,3E-05
2b	0,097299	0,184585	0,002418	0,000455	0,143579
3a	0,140211	0,388545	0,77574	0,127255	0,125372
3b	1,39E-08	0,510309	0,093742	0,007039	1,52E-11
4a	0,0045	0,447066	0,461543	0,872572	0,71539
4b	5,54E-05	0,928	0,000114	0,000219	6,73E-06
Στατιστικά σημαντικός	5 στις 8	0 στις 8	2 στις 8	4 στις 8	3 στις 8

Η σχέση ανάμεσα στο χρόνο και την απόσταση από το σημείο 0 –νοητό «ηχείο» για τον πληθυσμό Μάρτυρα στα φαγκριά δεν είναι σαφής, αφού σχεδόν στις μισές καταγραφές είναι στατιστικά σημαντική και στις υπόλοιπες όχι. Η παρατήρηση αυτή ισχύει τόσο για το διάστημα πριν τη χορήγηση της τροφής όσο και για μετά.

Κατά τη διάρκεια του ήχου στα 500, 800 και 1250Hz δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική σχέση ανάμεσα στο χρόνο και την απόσταση από το ηχείο, ενώ στα 2500Hz η εικόνα δεν είναι ξεκάθαρη. Πριν τον ήχο και για τις παραπάνω συχνότητες φαίνεται να υπάρχει στατιστικά σημαντική σχέση ανάμεσα στις δύο μεταβλητές. Όταν πέφτει η τροφή για τα 500 και 800Hz δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική σχέση, ενώ για τις 2 μεγαλύτερες συχνότητες η εικόνα δεν είναι ξεκάθαρη. Στις χαμηλές συχνότητες που δοκιμάστηκαν (100 και 200Hz) πριν και κατά τη διάρκεια του ήχου η σχέση μεταξύ του χρόνου και της απόστασης είναι στατιστικά σημαντική για τα 200Hz και όχι ξεκάθαρη για τα 100Hz. Όταν πέφτει η τροφή στα 100Hz τα ψάρια δείχνουν να έχουν στατιστικά σημαντική σχέση χρόνου – απόστασης, όχι όμως αυτά στα 200Hz.

Παλινδρόμηση στις τιμές της τυπικής απόκλισης (SD) της μέσης απόστασης που είχαν τα ψάρια από το ηχείο, γίνεται και για το φαγκρί. Εξετάζεται μόνο το ενυδρείο με ήχο και τίθεται επίπεδο σημαντικότητας  $p < 0,05$ .

**Πίνακας 3.6:** Τιμή του παράγοντα F που προκύπτει από την Παλινδρόμηση των δεδομένων της τυπικής απόκλισης (SD) της μέσης απόστασης από το ηχείο, για το είδος *P.pagrus* (φαγκρί) σε όλες τις συχνότητες που δοκιμάστηκαν και για όλες τις καταγραφές

#### *P.pagrus* 500Hz

Καταγραφή	πριν	ήχος	τροφή
1a	0,932762	0,382819	0,817279
1b	0,493049	0,115225	<b>9,42E-08</b>
2a	<b>0,03514</b>	<b>0,001373</b>	<b>6,39E-12</b>
2b	<b>0,001885</b>	0,05368	<b>0,000119</b>
3a	0,262517	0,095404	0,395459
3b	0,424571	<b>0,004169</b>	0,733136
4a	0,184793	0,51322	0,100164
4b	0,575219	0,348844	<b>0,001112</b>
Στατιστικά σημαντικός	2 στις 8	2 στις 8	4 στις 8

#### *P.pagrus* 200Hz

Καταγραφή	πριν	ήχος	τροφή
1a	0,583933	<b>0,006229</b>	0,490747
1b	0,448271	0,093992	<b>7,93E-09</b>
2a	<b>0,011057</b>	0,239456	<b>0,034364</b>
2b	0,082282	<b>0,026448</b>	<b>0,000233</b>
3a	<b>8,69E-05</b>	<b>8,58E-05</b>	<b>0,001107</b>
3b	0,13465	0,07401	<b>0,011867</b>
4a	0,501145	0,256777	<b>2,05E-05</b>
4b	0,052295	<b>0,038562</b>	0,72049
Στατιστικά σημαντικός	2 στις 8	4 στις 8	6 στις 8

#### *P.pagrus* 1250Hz

Καταγραφή	πριν	ήχος	τροφή
1a	0,910895	<b>0,038464</b>	0,74363
1b	0,467397	0,881585	0,077886
2a	<b>0,004985</b>	0,165083	0,228728

2b	0,865258	0,130389	<b>0,025506</b>
3a	<b>0,001874</b>	0,956856	0,454065
3b	<b>0,000179</b>	<b>0,017693</b>	<b>0,03895</b>
4a	0,17081	<b>0,010196</b>	<b>0,000281</b>
4b	0,685519	0,223303	0,143786
Στατιστικά σημαντικός	<b>3 στις 8</b>	<b>3 στις 8</b>	<b>3 στις 8</b>

*P.pagrus 2500Hz*

Καταγραφή	πριν	ήχος	τροφή
1a	<b>1,57E-11</b>	<b>0,004887</b>	<b>0,005558</b>
1b	0,31674	0,099586	0,347528
2a	<b>0,000139</b>	0,658932	<b>0,022363</b>
2b	0,107896	<b>0,002108</b>	<b>0,009582</b>
Στατιστικά σημαντικός	<b>2 στις 4</b>	<b>2 στις 4</b>	<b>3 στις 4</b>

*P.pagrus 100Hz*

Καταγραφή	πριν	ήχος	τροφή
1a	0,847642	0,103169	<b>2,1E-08</b>
1b	0,129081	<b>6,51E-05</b>	0,115417
2a	<b>1,28E-05</b>	<b>4,57E-10</b>	<b>1,86E-09</b>
2b	<b>0,008233</b>	<b>3,76E-05</b>	<b>0,005206</b>
3a	0,144641	<b>3,55E-06</b>	0,886463
3b	0,73234	0,823115	<b>8,19E-05</b>
4a	0,763147	0,177735	<b>0,002844</b>
4b	0,434978	0,644933	<b>5,8E-25</b>
Στατιστικά σημαντικός	<b>2 στις 8</b>	<b>4 στις 8</b>	<b>6 στις 8</b>

*P.pagrus 800Hz*

Καταγραφή	πριν	ήχος	τροφή
1a	<b>0,005302</b>	<b>2,42E-05</b>	<b>7,45E-06</b>
1b	0,945084	0,542642	0,088272
2a	<b>0,004137</b>	0,727449	<b>7,91E-05</b>
2b	<b>0,036463</b>	<b>2,47E-07</b>	<b>9,42E-13</b>
3a	0,077499	0,392459	0,672971
3b	<b>0,027564</b>	0,684789	0,488729
4a	<b>0,006092</b>	0,464567	0,209215
4b	0,993646	0,359605	<b>0,029833</b>
Στατιστικά σημαντικός	<b>5 στις 8</b>	<b>2 στις 8</b>	<b>4 στις 8</b>

Γενικά, η τυπική απόκλιση δείχνει να έχει στατιστικά σημαντική σχέση με το χρόνο όταν πέφτει η τροφή. Όταν εκπέμπεται ο ήχος η σχέση αυτή είτε δεν είναι ξεκάθαρη, είτε δεν είναι στατιστικά σημαντική. Πριν τον ήχο, μόνο στα 800 Hz, φαίνεται να υπάρχει στατιστικά σημαντική σχέση μεταξύ της τυπικής απόκλισης και του χρόνου. Η οπτική παρατήρηση στα φαγκριά δείχνει ότι εμφανίζουν μικρότερη τάση για κοπάδιασμα σε σχέση με τα λαβράκια. Αυτό είναι κάτι που επιβεβαιώνεται και από την παλινδρόμηση των δεδομένων της τυπικής απόκλισης για τα δύο αυτά είδη.

Γ) Τσιπούρα (*Sparus aurata*)

Πίνακας 3.7: Τιμή του παράγοντα F που προκύπτει από την Παλινδρόμηση των δεδομένων της μέσης απόστασης από το ηχείο –στο ενυδρείο με ήχο- , για το είδος *S.aurata* (τσιπούρα) σε όλες τις συχνότητες που δοκιμάστηκαν και για όλες τις καταγραφές

*S.aurata* 500Hz

Καταγραφή	πριν	ήχος	ήχος +τροφή	μετά
1a	0,153304	0,583814	0,436479	0,340565
2a	0,096025	<b>4,68E-10</b>	0,340363	<b>0,004281</b>
3a	0,440875	<b>0,01727</b>	0,51702	<b>3,89E-43</b>
4a	0,858466	<b>0,00042</b>		
5a	0,173935	0,674178	<b>0,02295</b>	0,410484
6a	<b>0,045345</b>	0,36341	0,659739	<b>5,58E-23</b>
6b	<b>0,021762</b>	<b>0,000428</b>	<b>0,00071</b>	0,570673
7a	<b>0,001957</b>	<b>1,65E-13</b>	<b>1,34E-08</b>	0,995426
7b	0,5438	<b>2,21E-05</b>	0,449183	<b>7,22E-07</b>
Στατιστικά σημαντικός	3 στις 9	6 στις 9	3 στις 8	4 στις 8

*S.aurata* 200Hz

Καταγραφή	πριν	ήχος	ήχος +τροφή	μετά
1a	<b>6,75E-05</b>	<b>0,00024</b>	<b>3,96E-06</b>	0,521349
2	<b>0,007391</b>	0,782914	0,181215	<b>0,000115</b>
3a	0,662046	<b>0,000332</b>	<b>4,27E-05</b>	0,051632
4a	0,704527	<b>2,29E-07</b>	<b>0,011235</b>	<b>5,24E-05</b>
Στατιστικά σημαντικός	2 στις 4	3 στις 4	3 στις 4	2 στις 4

*S.aurata* 1250Hz

Καταγραφή	πριν	ήχος	ήχος +τροφή	μετά
1a	0,081018	0,421251	0,594453	<b>0,016871</b>
2a	<b>1,01E-13</b>	<b>2,97E-10</b>	0,061794	0,464631
3a	<b>0,001532</b>	<b>8,55E-09</b>	0,144306	0,876365
4a	0,119129	0,723349	0,843633	0,886229
5a	0,608559	0,062618	<b>3,16E-08</b>	<b>5,71E-08</b>
Στατιστικά σημαντικός	2 στις 5	2 στις 5	1 στις 5	2 στις 5

*S.aurata* 2500Hz

Καταγραφή	πριν	ήχος	ήχος +τροφή	μετά
1a	0,7848	<b>0,01304</b>	0,081225	0,300155
1b	0,883129	<b>0,00066</b>	0,677066	<b>0,008919</b>
3a	0,504725	0,665626	<b>3,73E-11</b>	<b>0,01454</b>
3b	0,116876	0,178655		
4a	0,967484	0,671907	<b>0,0007</b>	<b>1,65E-32</b>
4b	0,126901	<b>0,000898</b>	<b>0,034746</b>	0,481119
5a	0,974044	0,831789	0,483855	0,085637
5b	0,613038	0,537137	<b>8,19E-05</b>	<b>4,24E-05</b>
6a	<b>0,026557</b>	<b>0,001635</b>	0,441051	<b>3,79E-13</b>
6b	<b>0,000632</b>	<b>0,002959</b>	<b>4,57E-08</b>	<b>0,017986</b>
Στατιστικά	2 στις 10	5 στις 10	5 στις 10	6 στις 10

σημαντικός				
------------	--	--	--	--

*S.aurata 100Hz*

Καταγραφή	πριν	ήχος	ήχος +τροφή	μετά
1a	0,072612	<b>1,61E-08</b>	<b>0,045741</b>	<b>6,36E-14</b>
1b	<b>0,035513</b>	<b>4,91E-09</b>	<b>0,000535</b>	<b>1,44E-09</b>
2a	0,630915	<b>1,95E-11</b>	<b>0,004367</b>	<b>0,010376</b>
2b	0,29283	<b>0,004932</b>	<b>3,46E-22</b>	0,461406
3a	0,353985	<b>3,95E-06</b>	<b>0,03275</b>	<b>0,00239</b>
3b	<b>0,000691</b>	0,079624	<b>1,86E-09</b>	0,82016
4a	0,104536	0,231097	<b>1,18E-07</b>	<b>2,45E-24</b>
4b	0,641299	0,441038	<b>0,001568</b>	0,220291
5a	0,196742	<b>2,34E-14</b>	<b>1,07E-18</b>	0,136245
5b	0,089574	<b>0,004107</b>	<b>5,83E-05</b>	<b>9,78E-35</b>
Στατιστικά σημαντικός	<b>2 στις 10</b>	<b>7 στις 10</b>	<b>10 στις 10</b>	<b>6 στις 10</b>

*S.aurata 800Hz*

Καταγραφή	πριν	ήχος	ήχος +τροφή	μετά
1a	<b>0,036967</b>	<b>3,04E-07</b>	<b>0,030584</b>	<b>0,002729</b>
2a	0,301723	<b>5,83E-14</b>	0,335195	0,15736
3a	0,213953	<b>2,74E-15</b>	0,788855	<b>4,89E-08</b>
4a	<b>0,005735</b>	<b>1,6E-07</b>	0,104321	0,600094
5a	<b>0,028137</b>	0,076309	<b>0,038539</b>	0,217607
Στατιστικά σημαντικός	<b>3 στις 5</b>	<b>4 στις 5</b>	<b>2 στις 5</b>	<b>2 στις 5</b>

*S.aurata 5000Hz*

Καταγραφή	πριν	ήχος	ήχος +τροφή	μετά
1a	0,572687	0,778278	0,129584	<b>3,62E-09</b>
2a	0,94111	<b>2,47E-08</b>	<b>3,87E-11</b>	<b>1,74E-05</b>
2b	0,528493	0,865563	<b>0,017646</b>	<b>0,03007</b>
3a	0,614974	0,689372	0,057775	<b>4,31E-15</b>
3b	0,885833	0,158977	<b>0,002648</b>	<b>4,36E-08</b>
4a	<b>0,001556</b>	0,68885	0,052164	<b>0,025562</b>
4b	0,217936	0,157167	0,0926	0,824565
5a	0,150036	0,862403	<b>0,00165</b>	<b>6,66E-08</b>
5b	0,422945	<b>0,002014</b>	0,157263	<b>0,000543</b>
Στατιστικά σημαντικός	<b>1 στις 9</b>	<b>2 στις 9</b>	<b>4 στις 9</b>	<b>8 στις 9</b>

Τα αποτελέσματα της παλινδρόμησης για τις **τσιπούρες** ανάμεσα στο χρόνο και τη μέση απόσταση του συνόλου των ψαριών από το ηχείο αφορούν μόνο το ενυδρείο όπου έγινε εκπομπή ηχητικού σήματος. Σε αυτά φαίνεται να υπάρχει στατιστικά σημαντική σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών όταν εκπέμπεται ήχος χαμηλών συχνοτήτων (100, 200, 500 και 800 Hz). Στις υψηλότερες συχνότητες (1250, 2500 και 5000 Hz) η σχέση αυτή δεν είναι στατιστικά σημαντική. Όταν πέφτει η τροφή, ο χρόνος και η μέση απόσταση σχετίζονται με τιμές στατιστικά σημαντικές για τα 100 και 200 Hz, αλλά όχι για τις υπόλοιπες συχνότητες. Πριν την εκπομπή του ηχητικού σήματος γενικά, δε φαίνεται να υπάρχει στατιστικά σημαντική σχέση ανάμεσα στο χρόνο και τη μέση απόσταση, ενώ μετά τον ήχο και την τροφή η εικόνα δεν είναι σαφής.



**Συνοψίζοντας:** Έγινε παλινδρόμηση στα ψηφιακά δεδομένα ανάμεσα στο χρόνο (διάρκεια καταγραφής) και τη μέση απόσταση που έχει το σύνολο των ψαριών από το ηχείο (ή το σημείο 0 -νοητό «ηχείο»- για το Μάρτυρα) για 3 είδη ψαριών (τσιπούρα, λαβράκι, φαγκρί). Τα **λαβράκια** (*Dicentrarchus labrax*) τείνουν να έχουν προσανατολισμένη κίνηση πριν τον ήχο και όταν πέφτει η τροφή. Αυτό ισχύει για τον πληθυσμό του Μάρτυρα και για τα ψάρια που υποβάλλονται σε ηχητικό ερέθισμα. Η τάση αυτή υπάρχει και για τις μεσαίες συχνότητες του ήχου (500 και 800 Hz).

Τα **φαγκριά** (*Pagrus pagrus*) τείνουν κάποιες φορές να έχουν μία τάση προσανατολισμένης κίνησης πριν την τροφή και μετά από αυτή, ενώ άλλες φορές όχι. Αυτό συμβαίνει τόσο στον πληθυσμό του Μάρτυρα όσο και στο ενυδρείο με ήχο. Κατά την εκπομπή του ηχητικού σήματος δε, ίσως υπάρχει κάποια τάση στις χαμηλές συχνότητες των 100 και 200 Hz.

Οι **τσιπούρες** (*Sparus aurata*) δε δείχνουν ξεκάθαρα να έχουν κάποια τάση προσανατολισμένης κίνησης πριν τον ήχο. Όταν εκπέμπεται ηχητικό σήμα φαίνεται ότι τα ψάρια εμφανίζουν κάποια τάση προσανατολισμένης κίνησης στις συχνότητες των 100, 200, 500 και 800 Hz. Στις υψηλότερες από αυτές συχνότητες που δοκιμάστηκαν δε φαίνεται να υπάρχει τάση. Επίσης, η χορήγηση τροφής δε δείχνει να διαμορφώνει κάποια συγκεκριμένη τάση στην κίνηση των ψαριών.

### 3.3 Καταγραφή και ποιοτική εκτίμηση με ψηφιακό σήμα σε δεξαμενές

Πειράματα εκπομπής ήχου σε τσιπούρες (*Sparus aurata*), πραγματοποιήθηκαν και σε δεξαμενές χωρητικότητας 10 cm<sup>3</sup> στις χερσαίες εγκαταστάσεις του Ελληνικού Κέντρου Θαλασσιών Ερευνών (ΕΛΚΕΘΕ). Τα ψάρια είχαν μέσο βάρος 250 ± 30 gr και προέρχονταν από τη μονάδα ιχθυοκαλλιέργειας «Ανδρομέδα» (Αμβρακικός). Μετά την εγκατάστασή τους στις πειραματικές δεξαμενές παρέμειναν για εγκλιματισμό στο νέο περιβάλλον 1 μήνα. Οι αρχικοί έλεγχοι και η έναρξη της πειραματικής διαδικασίας έγιναν μετά από την απαραίτητη αυτή περίοδο προσαρμογής.

Οι καταγραφές έγιναν με το φορητό ψηφιακό σύστημα (Υλικά και Μέθοδοι, παράγραφος 2.3.1), ενώ οι συνθήκες φωτοπεριόδου, αλατότητας, θερμοκρασίας και οξυγόνου που επικρατούσαν κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας συνοψίζονται στον Πίνακα 3.6.

**Πίνακας 3.8:** Μέσοι όροι (± σταθερή απόκλιση) των κυριότερων αβιοτικών παραγόντων του πειράματος ελέγχου ηχητικής απόκρισης σε δεξαμενές με καταγραφή ψηφιακού σήματος

Φωτοπερίοδος	Αλατότητα	Θερμοκρασία	Οξυγόνο	pH
10 h φως 14 h σκοτάδι	29 ± 1‰	20 ± 0,4°C	95 ± 2 %	7,5

Σε όλη τη διάρκεια των πειραμάτων το ηχείο βρίσκεται στη μία γωνία της τετράγωνης δεξαμενής 50 cm από τα τοιχώματα. Η κάμερα που καταγράφει τη συμπεριφορά των ψαριών βυθίζεται 30 cm κάτω από την επιφάνεια του νερού και βρίσκεται απέναντι από το ηχείο. Το γεγονός της ύπαρξης ενός κυλινδρικού σωλήνα στο κέντρο της δεξαμενής –ο οποίος αποτελεί την έξοδο του νερού– τη χωρίζει οπτικά σε 2 πεδία, τα οποία προκειμένου να καλυφθούν απαιτούν 2 κάμερες. Τεχνικά προβλήματα δεν επέτρεψαν την πλήρη οπτική κάλυψη της δεξαμενής, με αποτέλεσμα οι καταγραφές να έχουν γίνει με πάγια 1 κάμερα και απόδοση οπτικά της μισής δεξαμενής.

Τα πειράματα αυτά ήταν τα τελευταία που έλαβαν χώρα χρονικά, οπότε υπήρχαν ήδη τα δεδομένα από τα πειράματα στα ενυδρεία, και στο πεδίο. Από αυτά ήταν φανερό ότι οι τσιπούρες αντιλαμβάνονται τον ήχο και ιδιαίτερα κάποιες από τις συχνότητες που δοκιμάστηκαν. Έτσι, τέθηκε ως στόχος η απευθείας εκπαίδευση των ψαριών σε αυτές τις συχνότητες, ώστε να ελεγχθεί αν είναι δυνατή η συσχέτιση του ήχου με τη χορήγηση τροφής.

Άρα, ουσιαστικά η περιοχή της δεξαμενής που συγκεντρώνει το επίκεντρο του ενδιαφέροντος είναι αυτή όπου βρίσκεται το ηχείο και πέφτει η τροφή. Κατά αυτόν τον τρόπο, «αντιμετωπίζεται» η τεχνική αδυναμία των συγκεκριμένων καταγραφών να καλύψουν οπτικά ολόκληρη τη δεξαμενή. Τα ηχητικά σήματα που δοκιμάστηκαν είχαν διαφορετική διάρκεια όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.9.

**Πίνακας 3.9:** Διάρκεια ηχητικών σημάτων στις διαφορετικές συχνότητες που δοκιμάστηκαν σε δεξαμενές 10cm<sup>3</sup>.

Αρ. καταγραφής	Συχνότητα (Hz)	Ένταση (dBu)	Διάρκεια ηχητικού σήματος
1-10	200	-20	60s / 60s / 60s
12-13	200	-20	30s / 15s / 15s
14-17	200	-20	15s / 5s / 5s
18-19	200	-20	30s / 15s / 15s
20-23	200	-20	30s ( <b>1 σήμα</b> )
<b>1-6</b>	<b>500</b>	<b>-20</b>	<b>60s / 60s / 60s</b>
7-9	500	-20	30s / 30s / 30s
10-15	500	-10	30s / 30s / 30s
16-19	500	-10	30s ( <b>1 σήμα</b> )
<b>1-5</b>	<b>800</b>	<b>-20</b>	<b>30s / 30s / 30s</b>

Η πειραματική διαδικασία ξεκίνησε με εκπομπή ηχητικού σήματος **200 Hz** σε ένταση -20dBu. Για τις πρώτες 5 ημέρες (10 καταγραφές) η διάρκεια του σήματος ήταν 60 s. Κατά την 4<sup>η</sup> ημέρα της πειραματικής διαδικασίας, οι τσιπούρες έδειξαν ότι αποκρίνονται στον ήχο και τον έχουν συνδυάσει με την επικείμενη χορήγηση τροφής (Εικόνα 3.46). Έτσι, πριν τον ήχο οι τσιπούρες κινούνται σε όλη τη δεξαμενή μάλλον αργά και κοντά στον πυθμένα. Μόλις ακούγεται το ηχητικό σήμα, τα ψάρια κινούνται προς την επιφάνεια και μαζεύονται κοντά στο ηχείο, όπου μετά το τέλος του ήχου πέφτει τροφή. Η αντίδραση αυτή είναι εντονότερη κατά το πρώτο ηχητικό σήμα, καθότι μετά διατηρούν μια σχετική εγρήγορση η οποία δεν προλαβαίνει να μειωθεί στο χρόνο που μεσολαβεί ανάμεσα στα ηχητικά σήματα (2 min). Οι τσιπούρες διατήρησαν τη συμπεριφορά αυτή σε όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας, σε αντίθεση με τον πληθυσμό στο **Μάρτυρα**, ο οποίος δε λαμβάνει καμία προειδοποίηση και απλά πηγαίνει στην τροφή όταν αυτή πέσει (Εικόνα 3.47).



πριν



1ο ηχητικό σήμα



τροφή 1



μετά την τροφή 1



2ο ηχητικό σήμα



τροφή 2



μετά την τροφή 2



3ο ηχητικό σήμα

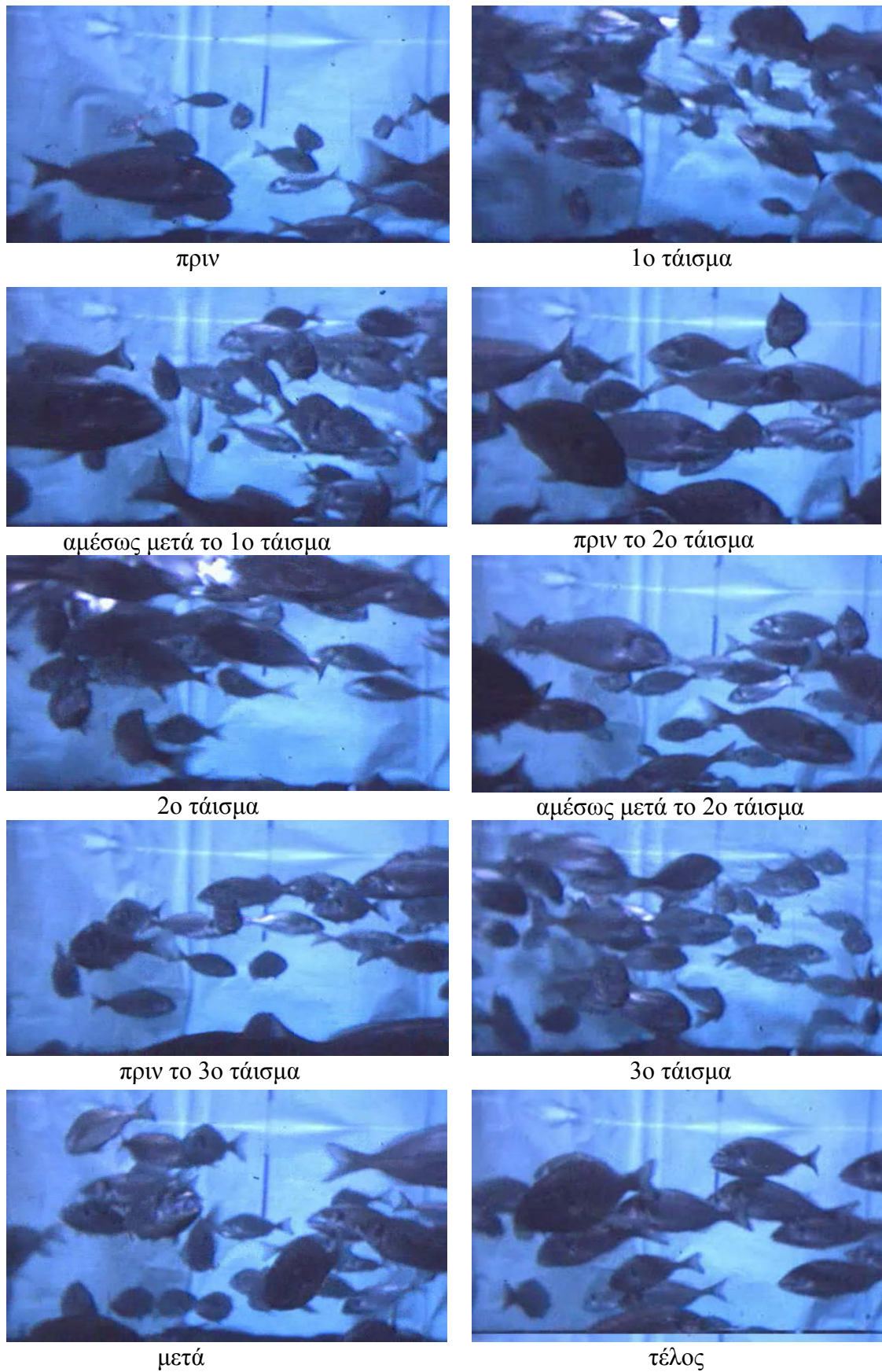


τροφή 3



μετά

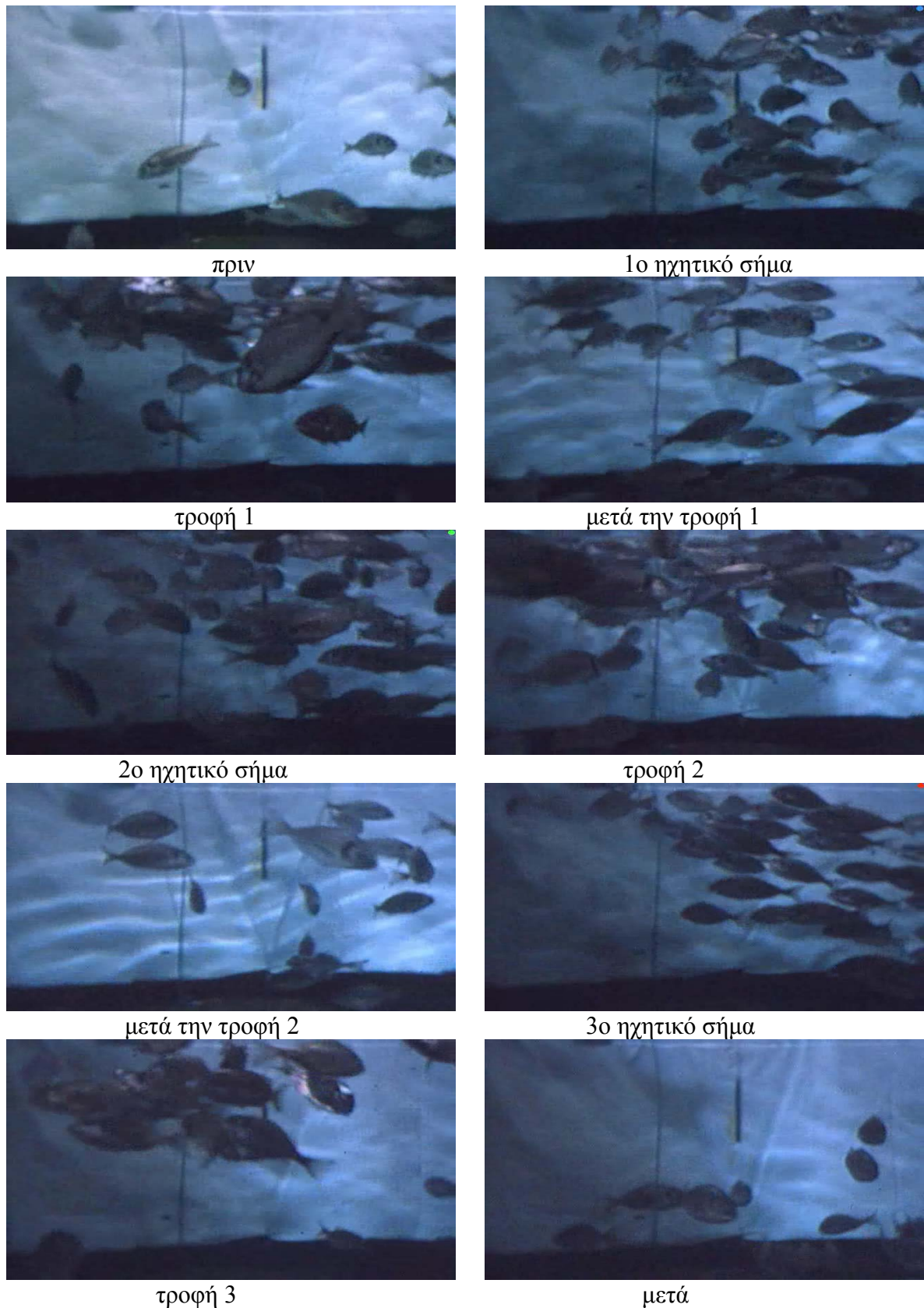
**Εικόνα 3.46:** Τσιπούρες (*S. aurata*) σε δεξαμενή 10 m<sup>3</sup> κατά την εκπομπή ήχου 200Hz και έντασης -20dBu . Κατά την εκπομπή ήχου διακρίνεται στην εικόνα έγχρωμη μικρή τελεία επάνω δεξιά.



Εικόνα 3.47: Πληθυσμός Μάρτυρα για το είδος (*S.aurata*) σε δεξαμενή 10 m<sup>3</sup>.

Η παρατήρηση ότι τα ψάρια μαζεύονται στο ηχείο ήδη στα πρώτα 15 sec εκπομπής του ήχου, οδήγησε στον έλεγχο της αντίδρασής τους όταν η διάρκεια των σημάτων μειωθεί σε 30, 15 και 5 sec. Οι τσιπούρες δείχνουν να εξακολουθούν να συνδυάζουν τον ήχο με την τροφή –μαζεύονται ακόμα και με το πιο σύντομο 5s σήμα. Παρόλα αυτά η παρατήρηση που έγινε de visu στις καταγραφές δείχνει ότι η βέλτιστη διάρκεια ηχητικού σήματος, προκειμένου να εκπαιδευτούν τσιπούρες, είναι 15-30s. Επίσης, το πρώτο σήμα είναι το καθοριστικό για τη διαμόρφωση μιας συμπεριφοράς. Τα επόμενα 2 ηχητικά σήματα (2<sup>ο</sup> και 3<sup>ο</sup>) πιθανόν δεν είναι απαραίτητα από τη στιγμή που τα ψάρια έχουν εκπαιδευτεί.

Η συνολική διάρκεια εκπαίδευσης και έκθεσης των ψαριών στη συχνότητα των 200 Hz ήταν 23 ημέρες, με ενδιάμεσες παύσεις τις ημέρες Σάββατο και Κυριακή. Στη συνέχεια, και για λιγότερες συνολικά ημέρες (19), οι τσιπούρες εκτέθηκαν σε συχνότητα **500 Hz**, αυτή τη φορά σε 2 διαφορετικές εντάσεις (-20 και -10 dBu). Την 1<sup>η</sup> μέρα εκπομπής της νέας συχνότητας, η αντίδραση των ψαριών ήταν λίγο συγκρατημένη - αν και σε γενικές γραμμές ακολούθησαν το πρότυπο συμπεριφοράς στο οποίο ήταν εκπαιδευμένα. Από την 3<sup>η</sup> ημέρα και για όλες τις επόμενες, η συμπεριφορά απόκρισης στον ήχο και αναμονής για τη χορήγηση τροφής επανέρχεται –χωρίς σαφείς διαφορές με εκείνη στα 200 Hz (Εικόνα 3.48). Το ίδιο πρότυπο –μιας αρχικά συγκρατημένης αντίδρασης- ακολουθούν οι τσιπούρες την πρώτη ημέρα εφαρμογής της μεγαλύτερης έντασης στο ηχητικό ερέθισμα (-10dBu)- χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν αποκρίνονται στο «κάλεσμα» του ήχου. Από την 3<sup>η</sup> ημέρα εφαρμογής της μεγαλύτερης έντασης, τα ψάρια έχουν προσαρμοστεί πλήρως. Ο πληθυσμός του **Μάρτυρα**, από τη μεριά του, δε φαίνεται να μεταβάλλει το δικό του πρότυπο συμπεριφοράς, δηλαδή κινείται σε όλη τη δεξαμενή μέχρι να πέσει η τροφή οπότε πηγαίνει στην επιφάνεια και στο συγκεκριμένο σημείο προκειμένου να φάει (Εικόνα 3.49).



**Εικόνα 3.48:** Τσιπούρες (*S.aurata*) σε δεξαμενή 10 m<sup>3</sup> κατά την εκπομπή ήχου 500 Hz και έντασης -10dBu . Κατά την εκπομπή ήχου διακρίνεται στην εικόνα έγχρωμη μικρή τελεία επάνω δεξιά.



πριν



1ο τάισμα



αμέσως μετά το 1ο τάισμα



πριν το 2ο τάισμα



2ο τάισμα



αμέσως μετά το 2ο τάισμα



πριν το 3ο τάισμα



3ο τάισμα



μετά



τέλος

Εικόνα 3.49: Πληθυσμός Μάρτυρα για το είδος (*S.aurata*) σε δεξαμενή 10 m<sup>3</sup>.



Η τελευταία συχνότητα που δοκιμάστηκε και για διάρκεια μόλις 3 ημερών, ήταν τα **800 Hz**, όπου οι εκπαιδευμένες τσιπούρες αποκρίθηκαν αμέσως και για κάθε σήμα (Εικόνες 3.50 και 3.51).



πριν



1ο ηχητικό σήμα



τροφή 1



μετά την τροφή 1



2ο ηχητικό σήμα



τροφή 2



μετά την τροφή 2



3ο ηχητικό σήμα



τροφή 3

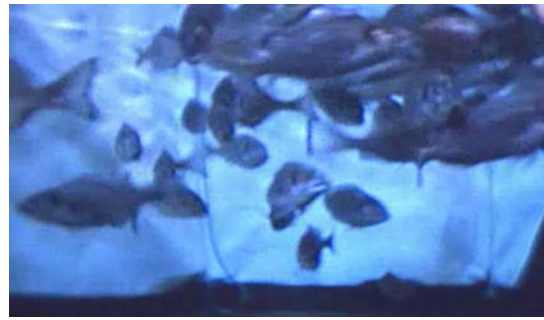


μετά

**Εικόνα 3.50:** Τσιπούρες (*S.aurata*) σε δεξαμενή 10 m<sup>3</sup> κατά την εκπομπή ήχου 800 Hz και έντασης -20dBu . Κατά την εκπομπή ήχου διακρίνεται στην εικόνα έγχρωμη μικρή τελεία επάνω δεξιά.



πριν



1ο τάισμα



αμέσως μετά το 1ο τάισμα



πριν το 2ο τάισμα



2ο τάισμα



αμέσως μετά το 2ο τάισμα



πριν το 3ο τάισμα



3ο τάισμα



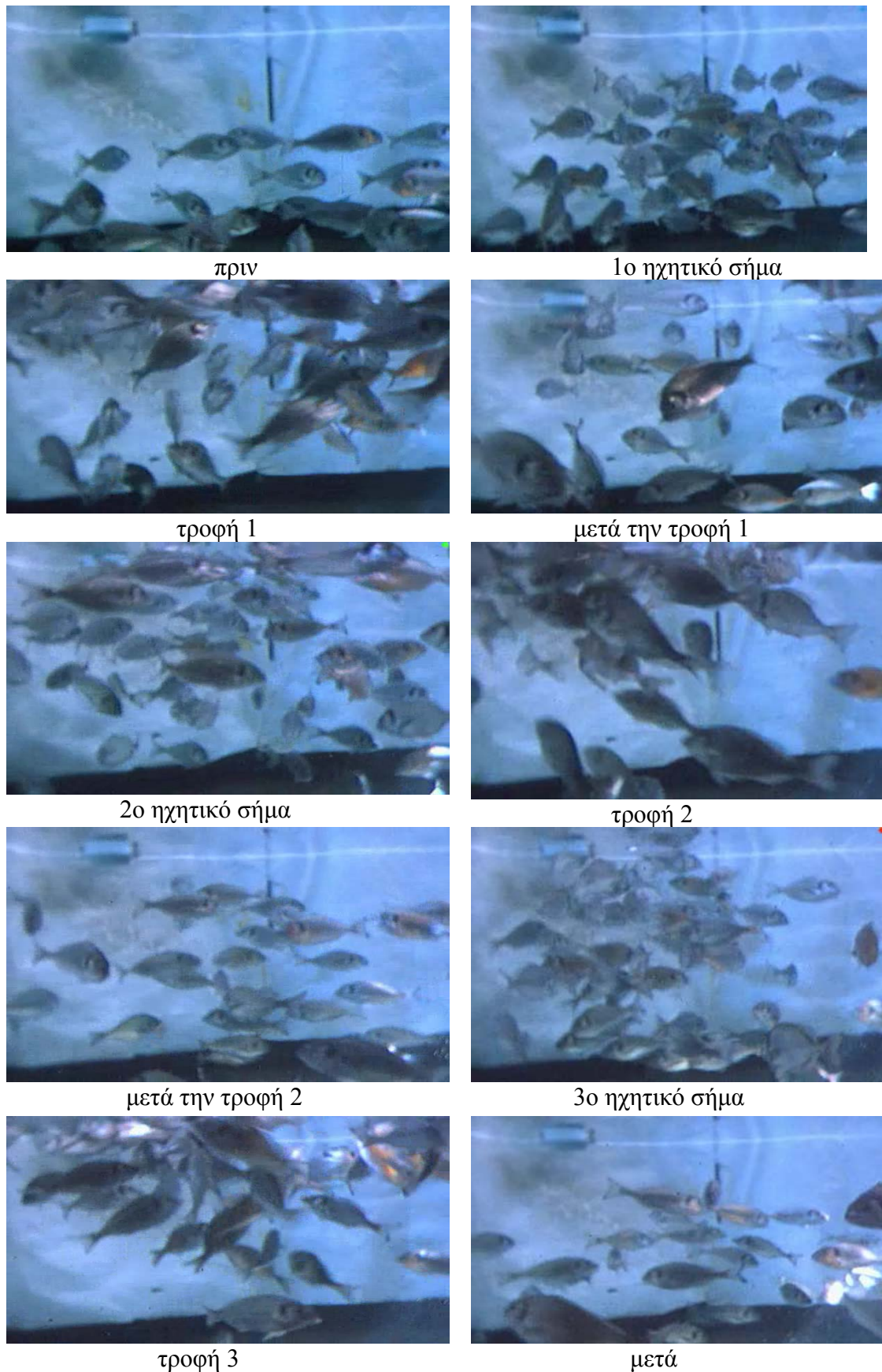
μετά



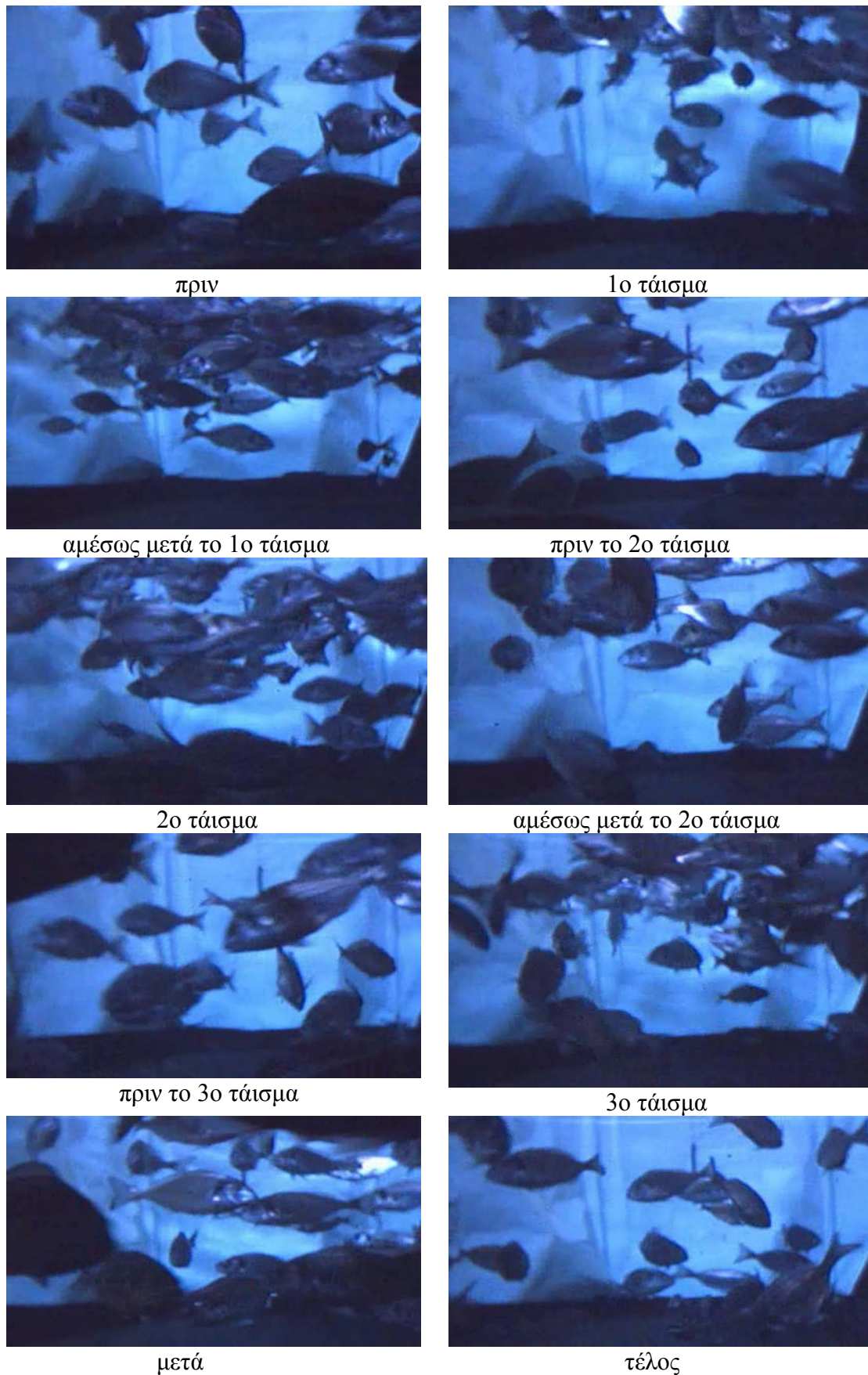
τέλος

**Εικόνα 3.51:** Πληθυσμός Μάρτυρα για το είδος (*S.aurata*) σε δεξαμενή 10 m<sup>3</sup>.

Τις τελευταίες 8 μέρες των περαμάτων στις δεξαμενές, δοκιμάστηκαν **σύνθετοι ήχοι** –με τη μορφή διαφορετικών ειδών μουσικής- καθώς και ζωντανή μουσική στα εκπαιδευμένα ψάρια. Οι σύνθετοι ήχοι που έφτασαν στη δεξαμενή μέσω του ηχείου, φάνηκε να προκαλούν τη στερεότυπη απόκριση των ψαριών στον ήχο, ανεξάρτητα από το είδος τους –έγχορδα, πνευστά, κρουστά ή ηλεκτρικός ήχος (Εικόνα 3.52). Αντίθετα, η ζωντανή μουσική πιθανόν δεν έγινε αντιληπτή, αφού δεν προκάλεσε καμία αλλαγή στη συμπεριφορά των ψαριών, με αποτέλεσμα ο μάρτυρας και οι τσιπούρες με το ηχείο να έχουν την ίδια αντίδραση που αφορούσε αποκλειστικά τη συγκέντρωσή τους στο σημείο χορήγησης της τροφής.



**Εικόνα 3.52:** Τσιπούρες (*S.aurata*) σε δεξαμενή 10 m<sup>3</sup> κατά την εκπομπή μέρους από τη Sonata No 1 για βιολί και continuo του A. Vivaldi (ένταση -20dBu). Κατά την εκπομπή ήχου διακρίνεται στην εικόνα έγχρωμη μικρή τελεία επάνω δεξιά.



**Εικόνα 3.53:** Πληθυσμός Μάρτυρα σε δεξαμενή 10 m<sup>3</sup> –στη δεξαμενή με ήχο εκπέμπεται μέρος από τη Sonata No 1 για βιολί και continuo του A. Vivaldi.

### 3.4 Καταγραφή και ποιοτική εκτίμηση με ψηφιακό σήμα σε ιχθυοκλωβούς και κλειστό κόλπο

#### 3.4.1 Εκπομπή ηχητικού σήματος σε ιχθυοκλωβό

Το φορητό ψηφιακό σύστημα καταγραφής της συμπεριφοράς και εκπομπής ήχου μέσα στο νερό (Υλικά και Μέθοδοι, παράγραφος 2.3.1), δοκιμάστηκε και στο πεδίο, στη μονάδα ιχθυοκαλλιέργειών «Ευρύαλος», η οποία βρίσκεται σε κλειστό όρμο του Αμβρακικού κόλπου, στην περιοχή Μενίδι Αιτωλοακαρνανίας. Έγιναν πειράματα σε τσιπούρες (*Sparus aurata*) μέσου βάρους  $150 \pm 30$  gr, που τοποθετήθηκαν στους πειραματικούς ιχθυοκλωβούς 1 εβδομάδα πριν την έναρξη της πειραματικής διαδικασίας, προκειμένου να εγκλιματιστούν.

Οι συνθήκες φωτοπεριόδου, αλατότητας, θερμοκρασίας και οξυγόνου που επικρατούσαν κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας συνοψίζονται στον Πίνακα 3.8.

Φωτοπερίοδος	Αλατότητα	Θερμοκρασία	Οξυγόνο	pH
14 h φως 10 h σκοτάδι	30‰	$28 \pm 1^\circ\text{C}$	100 %	7,5

**Πίνακας 3.10:** Μέσοι όροι ( $\pm$  σταθερή απόκλιση) των κυριότερων αβιοτικών παραγόντων του πειράματος ελέγχου ηχητικής απόκρισης σε ιχθυοκλωβούς με καταγραφή ψηφιακού σήματος.

Να σημειωθεί ότι το γεγονός ότι τα πειράματα γίνονται μέσα στη θάλασσα, έχει ως συνέπεια μία πρόσθετη μεταβλητή στους αβιοτικούς παράγοντες, εκείνη της διαύγειας του νερού. Η οπτική διακριτικότητα μέσα στο νερό, μεταβάλλεται κάθε μέρα και εξαρτάται από την ποσότητα των αιωρούμενων σωματιδίων, τον άνεμο και τα ρεύματα που επικρατούν.

Σε όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας το ηχείο βρίσκεται περίπου στο κέντρο του ενός κλωβού. Η κάμερα τοποθετείται στη μία άκρη του κλωβού και βυθίζεται σε βάθος περίπου 1 μέτρου. Αν και, σε γενικές γραμμές, είναι δυνατή η οπτική εικόνα μέχρι το απέναντι άκρο του κλωβού (4 μέτρα), ωστόσο δεν είναι δυνατή η οπτική παρακολούθηση σε όλο το βάθος αυτού (7μέτρα). Αυτό θα μπορούσε να γίνει εφόσον υπήρχε και μία δεύτερη κάμερα τοποθετημένη στην επιφάνεια η οποία θα κοίταζε το βυθό.

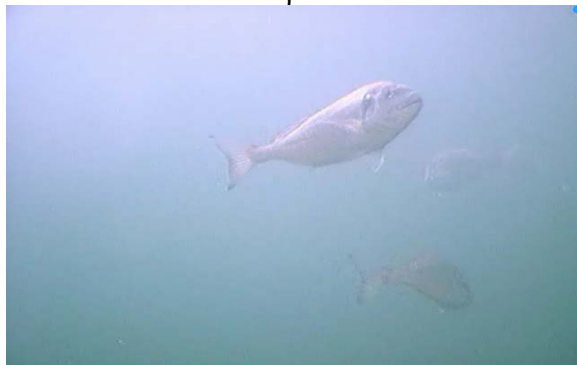
Δοκιμάστηκαν 6 διαφορετικές συχνότητες (500, 200, 1250, 2500, 100 και 800Hz), όπως αυτές ελέγχθηκαν και για τις μικρές τσιπούρες σε ενυδρείο. Όταν εκπέμπονται οι συχνότητες των 100 και 200 Hz, μάλλον οι τσιπούρες εμφανίζουν μια τάση να μεταβάλλουν τη συμπεριφορά τους κατά την εκπομπή του ήχου –είτε ανεβαίνουν στην επιφάνεια, είτε πλησιάζουν το ηχείο (Εικόνες 3.54 και 3.55). Ο πληθυσμός στο Μάρτυρα εμφανίζεται κυρίως όταν πέφτει η τροφή, ή τυχαία (Εικόνα 3.56). Γενικά, η κίνησή τους είναι στα βαθύτερα στρώματα, ενώ ανεβαίνουν στην επιφάνεια όταν πεινάνε ή κάτι τους έχει προειδοποιήσει ότι πρόκειται να φάνε –π.χ. η κίνηση του κανώ.



πριν



πριν



1ο ηχητικό σήμα



μετά την τροφή 1



2ο ηχητικό σήμα



μετά την τροφή 2



3ο ηχητικό σήμα



μετά

**Εικόνα 3.54:** Τσιπούρες (*S. aurata*) σε ιχθυοκλωβό κατά την εκπομπή ηχητικού σήματος 100Hz και έντασης -10dBu . Το ηχείο βρίσκεται επάνω δεξιά. Στην ίδια θέση επάνω στην εικόνα διακρίνεται έγχρωμη μικρή τελεία κατά την εκπομπή ήχου.



αμέσως μετά το 1ο ηχητικό σήμα



μετά την τροφή 1



τροφή 2



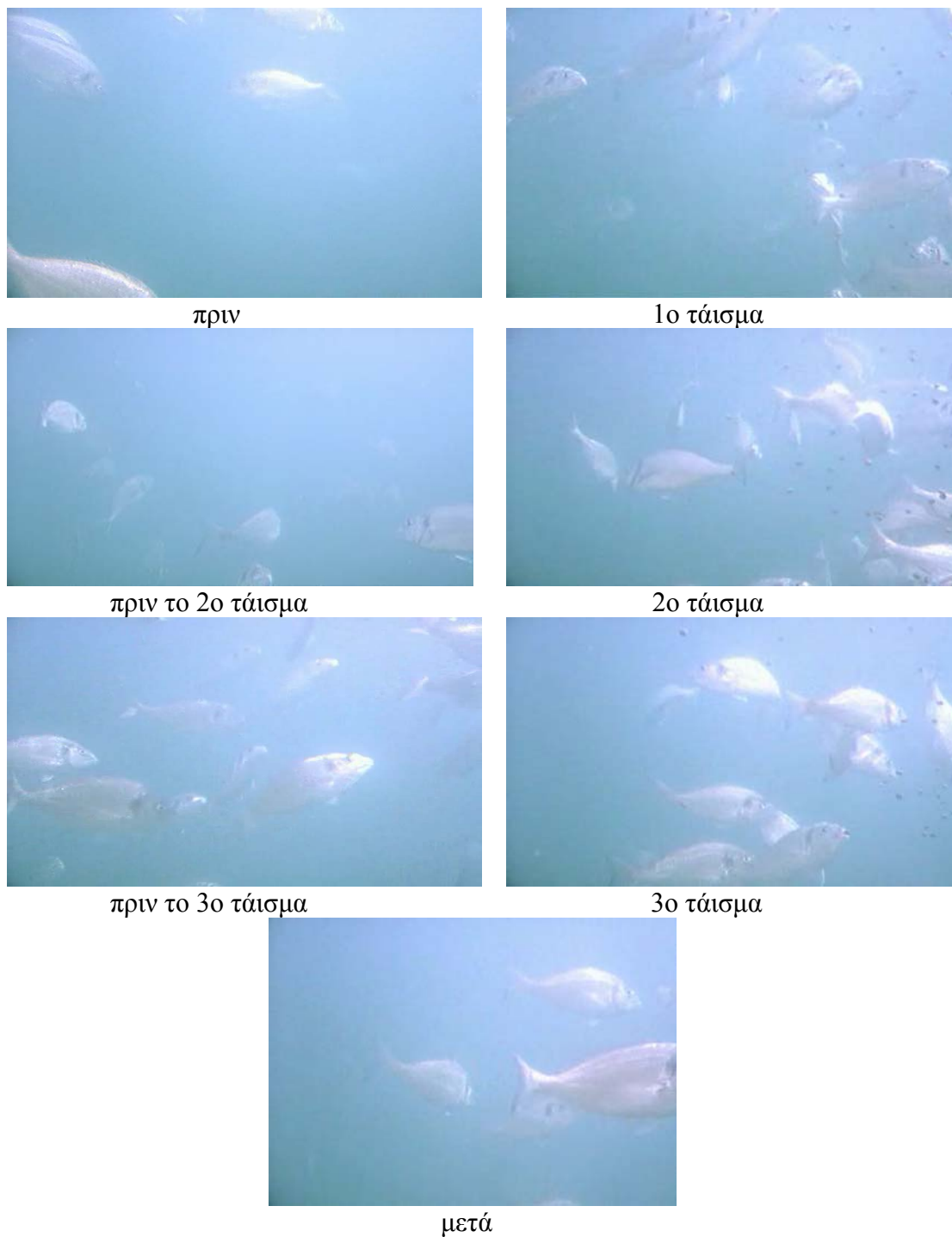
τροφή 3



μετά (επισκέπτες)

**Εικόνα 3.55:** Τσιπούρες (*S. aurata*) σε ιχθυοκλωβό κατά την εκπομπή ηχητικού σήματος 200Hz και έντασης -10 dBu. Το ηχείο βρίσκεται επάνω δεξιά. Στην τελευταία εικόνα διακρίνεται επισκέπτης (κέφαλος).





**Εικόνα 3.56:** Πληθυσμός Μάρτυρα (*S.aurata*) σε ιχθυοκλωβό. Δεν εκπέμπεται ηχητικό σήμα.

Για τις υπόλοιπες συχνότητες δεν υπάρχει ξεκάθαρη εικόνα. Πάντως, οι συνθήκες στο πεδίο είναι συχνά μεταβλητές και αυτό φάνηκε να επηρεάζει τη συμπεριφορά των ψαριών. Έτσι, ο άνεμος αλλά και η συννεφιά που επικράτησαν κάποιες μέρες, είχαν ως αποτέλεσμα οι τσιπούρες να μετακινηθούν από την επιφάνεια στα βαθύτερα στρώματα και να ανέβουν μόνο για να φάνε. Το ίδιο αποτέλεσμα είχε και η πολύ υψηλή θερμοκρασία που επικράτησε κάποιες μέρες. Να σημειωθεί ότι έχουμε χαμηλή ιχθυοφόρτιση η οποία διαμορφώνει τις συνθήκες του πειράματος, σαν αυτό να πραγματοποιείται στον κόλπο –εκτός κλωβού.

### 3.4.2 Εκπομπή ηχητικού σήματος έξω από τον ιχθυοκλωβό

Μετά από 15 μέρες εκπομπής ήχου στον ιχθυοκλωβό, οι τσιπούρες αφέθηκαν ελεύθερες. Στη συνέχεια, και για τις επόμενες μέρες, έγινε εκπομπή ηχητικού σήματος των χαμηλών συχνοτήτων (100, 200 και 500Hz) σε 3 διαφορετικές θέσεις:

- στον ιχθυοκλωβό, οι τσιπούρες δεν επέστρεψαν. Σε τυχαίες, μάλλον, στιγμές σε ότι αφορά την εκπομπή του ήχου, εμφανίστηκαν κάποιοι κέφαλοι και αθερίνες
- σε θέση κοντά στη βραχώδη ακτή, δεν εμφανίστηκαν τσιπούρες, αλλά κοπάδι αθερίνας και κάθε φορά που επαναλήφθηκε το πείραμα στη θέση αυτή
- κοντά στους άλλους κλωβούς και πάλι δεν εμφανίστηκαν τσιπούρες, αλλά κάποιοι κέφαλοι σποραδικά και μία φορά ένα κοπάδι αθερίνας.

Να σημειωθεί ότι αφού απελευθερώθηκαν οι τσιπούρες το απόγευμα έπνεε δυνατός άνεμος, ο οποίος συνεχίστηκε και τα επόμενα απογεύματα, με συνέπεια οι καταγραφές και εκπομπές ήχου στις διάφορες θέσεις που δοκιμάστηκαν, να είναι δυνατές μόνο τις πρωινές ώρες. Ο άνεμος αφενός δυσκόλευε την πρόσβαση στη θέση πειραματισμού, αφετέρου μείωνε αισθητά τη διαύγεια του νερού και άρα την οπτική εικόνα μέσα σε αυτό. Επίσης, ωθούσε τα ψάρια σε βαθύτερα στρώματα.

#### 4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Κατά τη διάρκεια της παρούσας εργασίας έγινε προσπάθεια **ανάπτυξης μιας σύγχρονης μεθόδου**, για τη μελέτη της επίδρασης που έχει ο ήχος στη συμπεριφορά εκτρεφόμενων ειδών. Ο μεγαλύτερος όγκος πειραμάτων πραγματοποιήθηκε σε ενυδρεία, όπου δοκιμάστηκαν διαφορετικά εργαλεία καταγραφής της συμπεριφοράς και πρωτόκολλα σε 3 είδη ψαριών : την τσιπούρα (*Sparus aurata*), το λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*) και το φαγκρί (*Pagrus pagrus*). Το βελτιωμένο σύστημα παρακολούθησης και καταγραφής της συμπεριφοράς που προέκυψε από τον πειραματισμό στα ενυδρεία, δοκιμάστηκε στο πεδίο –σε κλειστό κόλπο στην περιοχή του Αμβρακικού- σε ιχθυοκλωβό με τσιπούρες και απευθείας στον κόλπο. Τέλος, το ίδιο σύστημα και με το βέλτιστο πρωτόκολλο που προέκυψε από όλους τους προηγούμενους πειραματισμούς δοκιμάστηκε σε δεξαμενές 10m<sup>3</sup> με τσιπούρες.

Η εκπομπή του ηχητικού σήματος, συνδέθηκε με τη χορήγηση τροφής, βάση της **θεωρίας της εξαρτημένης αντανακλαστικής μάθησης** (classical conditioning), σύμφωνα με την οποία συνδυάζεται ένα ουδέτερο ερέθισμα –όπως ο ήχος- αφενός με μια αντίδραση των ψαριών, αφετέρου με ένα μη εξαρτημένο ερέθισμα, όπως η τροφή. Έτσι, η χορήγηση τροφής, μπορεί να ενισχύσει τη σύνδεση μεταξύ του ήχου και της αντίδρασης των ψαριών –όπως η συγκέντρωσή τους σε δεδομένο σημείο- σε βαθμό τέτοιο ώστε τα ψάρια να εκπαιδευτούν για αυτή την αντίδραση και να είναι σε θέση να την επαναλάβουν, κάθε φορά που ακούγεται ήχος. Αποτέλεσμα είναι η υιοθέτηση ενός νέου τρόπου πρόσληψης τροφής, ο οποίος απαιτεί εκπομπή ηχητικού σήματος. Η **δοκιμή διαφορετικών συχνοτήτων** δίνει τις πρώτες ενδείξεις για τις «ακουστές» ή τις συχνότητες εκείνες που γίνονται καλύτερα αντιληπτές από τα είδη που μελετώνται, σε σχέση με την ηλικία τους, αλλά και το περιβάλλον πειραματισμού. Κάτι τέτοιο είναι αναγκαίο, από τη στιγμή που δεν είναι διαθέσιμο από τη βιβλιογραφία, ακουόγραμμα με τις αντιληπτές συχνότητες για την τσιπούρα και το φαγκρί, ενώ υπάρχουν κάποια δεδομένα για το λαβράκι. Επίσης, σχετικά πρόσφατα, έγινε προσπάθεια καθορισμού των ακουστικών ορίων (auditory thresholds) της ιαπωνικής τσιπούρας (*Pagrus major*), με μέτρηση της μεταβολής του καρδιακού ρυθμού, από τους Iwashita et al., (1999). Αυτοί βρήκαν ότι για την ηλικία 0 έως 1 έτους η καλύτερα αντιληπτή συχνότητα είναι αυτή των 300 Hz, ενώ για την ηλικία των 2 ετών είναι τα 200 Hz. Η ιαπωνική τσιπούρα είναι ένα είδος που εκτρέφεται με επιτυχία σε μεγάλη κλίμακα στην Ιαπωνία, και αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο προσελκύει το ενδιαφέρον των ερευνητών, προκειμένου να αξιοποιηθούν οι ικανότητες μάθησης αλλά και απόκρισης σε ήχο που εμφανίζει το είδος αυτό, ώστε να βελτιωθούν οι τεχνικές εκτροφής και να μειωθεί το κόστος (Fujiya et al., 1980, Okamoto, 1982, Anraku et al., 1997, Iwashita et al., 1999). Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε στα περισσότερα πειράματα εκπαίδευσης του είδους αυτού σε θετική απόκριση με ηχητικό ερέθισμα (**acoustic conditioning**), είναι η απευθείας παρατήρηση –εξωτερικά ή με κατάδυση- και σε κάποιες περιπτώσεις η χρήση υποβρύχιας κάμερας για λήψη φωτογραφιών (36 περίπου φωτογραφίες το λεπτό).

Το *Pagrus major* ανήκει στο ίδιο γένος με το φαγκρί (*Pagrus pagrus*), ένα από τα τρία είδη που μελετήσαμε στην παρούσα εργασία. Με αυτή την έννοια, είναι από τα σχετικά είδη που αναφέρονται στη βιβλιογραφία να έχουν εκπαιδευτεί σε ηχητικό ερέθισμα. Παρόλα αυτά, είναι αρκετά διαφορετικό, και αυτό εξηγεί ίσως, το γιατί δεν εκτρέφεται στην Ελλάδα.

#### 4.1 Ανάπτυξη μεθόδου διεξαγωγής των πειραμάτων

##### Α) Σύστημα καταγραφής και λήψης εικόνας

Η καταγραφή της συμπεριφοράς ατόμων τσιπούρας (*Sparus aurata*), που εκθέτονται σε ηχητικό ερέθισμα, έγινε αρχικά με σταθερές κάμερες αναλογικού σήματος, στα επόμενα πειράματα χρησιμοποιήθηκε φορητή ψηφιακή κάμερα και τελικά σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε ειδικό αδιάβροχο κουτί στο οποίο τοποθετήθηκε μικρή ψηφιακή κάμερα. Γνώμονας για την εξέλιξη αυτή στο σύστημα καταγραφής ήταν, αφενός οι τεχνικές δυσκολίες διεξαγωγής των πειραμάτων, αφετέρου οι ανάγκες που προέκυψαν κατά τη διάρκεια αυτών.

Προκειμένου να μελετηθεί η συμπεριφορά ενός οργανισμού, απαραίτητη πληροφορία είναι ο **προσδιορισμός της θέσης** που έχει στο χώρο κάθε χρονική στιγμή. Οι συσκευές που είναι διαθέσιμες για το σκοπό αυτό περιλαμβάνουν εκτός από τις video κάμερες, φωτοκτύπαρα, διακόπτες και άλλα εξειδικευμένα εργαλεία ανάλογα με τον μελετούμενο οργανισμό. Γενικά, η τεχνολογία που έχει αναπτυχθεί για τη μελέτη της συμπεριφοράς στα ψάρια, περιλαμβάνει δύο μεγάλες κατηγορίες εργαλείων: τα οπτικά συστήματα και τα ακουστικά. Τα τελευταία χρόνια έχουν επιτευχθεί σημαντικές βελτιώσεις και στις δύο αυτές κατηγορίες τόσο σε ότι αφορά τον καθαυτό εξοπλισμό, όσο και το λογισμικό που τον συνοδεύει. Παρόλα αυτά, το νερό εξακολουθεί να είναι δύσκολο και εχθρικό περιβάλλον για κάθε εξοπλισμό. Έτσι, η χρήση κάμερας χωρίς τεχνητό φωτισμό θα περιορίζεται πάντα από τη θολερότητα και τις συνθήκες χαμηλού φωτισμού που συχνά επικρατούν στο θαλάσσιο περιβάλλον (Graham et al., 2004). Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια γίνονται σημαντικές προσπάθειες ποσοτικοποίησης της συμπεριφοράς σε χαμηλά επίπεδα φωτός και σε μεγαλύτερα βάθη.

Σε ό,τι αφορά τις πειραματικές δοκιμές που πραγματοποιήσαμε, έγιναν σε βάθος και συνθήκες όπου η ένταση φωτός δεν αποτελούσε περιοριστικό παράγοντα και έτσι η **χρήση κάμερας** ήταν το βέλτιστο εργαλείο για την **απεικόνιση και καταγραφή της συμπεριφοράς**. Εξάλλου, οι κάμερες είναι ιδιαίτερα χρήσιμες λόγω του ότι δε μεταβάλλουν το μέγεθος του οργανισμού και για το λόγο αυτό έχουν χρησιμοποιηθεί ακόμα και για την εκτίμηση του μήκους ψαριών απευθείας στο πεδίο (Harvey et al., 2001) καθώς και τη συμπεριφορά ψαριών τη στιγμή της αλίευσής τους με τράτα (O'Neill et al., 2003). Επίσης, δεν αποτελούν πηγή stress για τους οργανισμούς (Kato et al., 1996), αν και αναφέρεται ότι κάποια είδη όπως το *Oncorhynchus tshawytscha* αντιλαμβάνονται την παρουσία της κάμερας και μόλις αυτή εμφανιστεί, αλλάζουν την κολυμβητική τους συμπεριφορά, δηλαδή σχηματίζουν πυκνό κοπάδι και φεύγουν μακριά από αυτήν, διατηρώντας στη συνέχεια μια απόσταση 1,5 – 2 m από την κάμερα (Petrell et al., 1997). Τα πειράματα που πραγματοποιήσαμε σε δεξαμενές και στο πεδίο και όπου ήταν απαραίτητη υποβρύχια λήψη, αφορούσαν τσιπούρες οι οποίες δεν έδειξαν να μεταβάλλουν τη συμπεριφορά τους λόγω της κάμερας. Οι λήψεις που έγιναν στα ενυδρεία ήταν εξωτερικές για να καλυφθεί οπτικά ολόκληρο το ενυδρείο. Έτσι, δεν τέθηκε θέμα περιορισμού για τη χρήση ενός τέτοιου εργαλείου και το ενδιαφέρον μας στράφηκε εξ αρχής στον τύπο εκείνο της κάμερας που θα απεικόνιζε με τον καλύτερο τρόπο τη θέση των ψαριών στις εκάστοτε συνθήκες.

Οι αναλογικές κάμερες που χρησιμοποιήθηκαν έστελναν το σήμα σε ένα video όπου καταγράφονταν σε κασέτα. Η καταγραφή της φορητής ψηφιακής κάμερας, γίνονταν επίσης σε κασέτα μικρού μεγέθους. Η αδιάβροχη ψηφιακή κάμερα κατέγραφε σε φορητό υπολογιστή με τη βοήθεια λογισμικού που σχεδιάστηκε για την

περίσταση και επομένως τα δεδομένα ήταν άμεσα διαθέσιμα σε ψηφιακή μορφή. Κάθε σύστημα καταγραφής και λήψης εικόνας εμφάνιζε πλεονεκτήματα και διακριτά μειονεκτήματα, τα οποία καθόριζαν την εξέλιξη και βελτίωση του συστήματος.

Το αρχικό σύστημα καταγραφής εικόνας με τις **αναλογικές κάμερες**, είχε το **πλεονέκτημα** ότι ήταν άμεσα διαθέσιμο. Έτσι, έδινε τη δυνατότητα έναρξης των πειραματικών δοκιμών, προκειμένου να διερευνηθεί αρχικά η συμπεριφορά των ψαριών σε σχέση με την εκπομπή ηχητικού σήματος. Επίσης, είχε τη δυνατότητα αυτόματου προγραμματισμού για την έναρξη και λήξη εγγραφής, γεγονός που επέτρεπε καταγραφές σε διαφορετικές ώρες της ημέρας, χωρίς ο χειριστής να γίνεται αντιληπτός στο χώρο διεξαγωγής των πειραμάτων.

Τα **μειονεκτήματα** που εμφάνιζε η καταγραφή με αναλογικές κάμερες αφορούσαν κυρίως την ποιότητα εικόνας και κατ' επέκταση τη δυνατότητα ανάλυσης των αποτελεσμάτων. Επίσης, οι συγκεκριμένες κάμερες δεν ήταν δυνατό να χρησιμοποιηθούν σε διαφορετικά περιβάλλοντα – πέρα των ενυδρείων- λόγω του μεγάλου όγκου τους και κυρίως λόγω του ότι δεν είναι αδιάβροχες και η λήψη θα έπρεπε να είναι πάντα εξωτερική. Τέλος, ενώ ήταν διαθέσιμες 2 κάμερες –μία για κάθε ενυδρείο-, υπήρχε μονάχα ένα video, δηλαδή υπήρχε εναλλαγή εικόνας με αποτέλεσμα η καταγραφή να μην μπορεί να είναι συνεχόμενη και αποκλειστική για ένα μόνο ενυδρείο.

Συγκεκριμένα, η εικόνα που καταγράφονταν με τις αναλογικές κάμερες ήταν ασπρόμαυρη και η ανάλυσή της πολύ χαμηλή. Αυτό σημαίνει ότι η ποιότητα της εικόνας ήταν κακή, γεγονός που καθιστούσε συχνά ιδιαίτερα δύσκολο τον εντοπισμό των ψαριών. Είναι φανερό, πως σε πειράματα συμπεριφοράς όπου ελέγχεται η αντίδραση των ψαριών σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή, η ποιότητα της εικόνας και η ευκρίνεια της λεπτομέρειας είναι ύψιστης σημασίας. Επιπλέον, δεδομένα που καταγράφονται με αυτόν τον τρόπο, είναι δυνατό να αναλυθούν μόνο οπτικά (de visu) από τον παρατηρητή και όχι αυτόματα. Αυτό σημαίνει, ότι η ανάλυσή τους αναπόφευκτα, εξαρτάται από τον συγκεκριμένο παρατηρητή και άρα σε κάποιο βαθμό είναι υποκειμενική. Έτσι, η ποιότητα της εικόνας σε συνδυασμό με την περαιτέρω ανάλυση των αποτελεσμάτων κατέστησε τη χρήση ενός τέτοιου εργαλείου για τα συγκεκριμένα πειράματα, ανεπαρκή.

Προκειμένου να αντιμετωπιστούν τα παραπάνω προβλήματα, χρησιμοποιήθηκε για τις καταγραφές **φορητή ψηφιακή κάμερα**. Η ποιότητα της εικόνας σε αυτές τις καταγραφές ήταν σαφώς υψηλότερη –μεγάλη ανάλυση- και επομένως το τελικό αποτέλεσμα ήταν εμφανώς βελτιωμένο. Οι καταγραφές ήταν έγχρωμες, γεγονός που διευκόλυνε τον εντοπισμό των ψαριών και συνεχόμενες – χωρίς να υπάρχει ανάγκη εναλλαγής εικόνας. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η φορητή ψηφιακή κάμερα, κατέγραφε σε μικρές κασέτες, οι οποίες μπορούσαν να αναπαραχθούν στη συγκεκριμένη κάμερα, αλλά ταυτόχρονα υπήρχε η δυνατότητα μεταφοράς των δεδομένων σε υπολογιστή. Αυτό αποτελούσε σημαντικό πλεονέκτημα, αφού η ανάλυση των δεδομένων μπορούσε πια να γίνει με δύο τρόπους: α) οπτικά από τον παρατηρητή β) αυτόματα από ειδικό λογισμικό πρόγραμμα ανάλυσης δεδομένων στον υπολογιστή. Η δεύτερη επιλογή προϋποθέτει τη μετατροπή των δεδομένων σε συγκεκριμένο τύπο αρχείου.

Έτσι, τα **πλεονεκτήματα** καταγραφής με φορητή ψηφιακή κάμερα συνοψίζονται στα εξής: έγχρωμη εικόνα καλής ευκρίνειας, δυνατότητα μεταφοράς των δεδομένων σε υπολογιστή και αυτόματη ανάλυσή τους, συνεχόμενη καταγραφή,

κάμερα φορητή μικρού βάρους με ευελιξία στην τοποθέτηση και δυνατότητα εστίασης για λήψη κοντινού ή μακρινού πλάνου και τέλος λήψη περιορισμένης διάρκειας χωρίς καλώδιο –με μπαταρία.

Τα **μειονεκτήματα** καταγραφής με φορητή ψηφιακή κάμερα αφορούν στο γεγονός ότι πρόκειται για μη αδιάβροχη κάμερα και άρα οι λήψεις μπορούν να γίνονται μόνο εξωτερικά, που σημαίνει ότι το περιβάλλον λήψης περιορίζεται και πάλι στα ενυδρεία, ενώ αποκλείονται καταγραφές σε δεξαμενές ή το πεδίο. Επίσης, η διάρκεια καταγραφής περιορίζεται στη διάρκεια της εγγράψιμης κασέτας (60 min). Για καταγραφή μεγαλύτερης διάρκειας απαιτείται διακοπή, αλλαγή της κασέτας και αναπόφευκτη παρουσία στο χώρο διεξαγωγής του πειράματος. Οι δυνατότητες ρύθμισης της εικόνας περιορίζονται στην εστίαση κοντά ή μακριά, χωρίς καμιά περαιτέρω επιλογή σε ότι αφορά τη φωτεινότητα ή την έκθεση (integration) της εικόνας. Επιπλέον, η μετατροπή των δεδομένων προκειμένου να αναλυθούν αυτόματα είναι χρονοβόρα και σε κάποιες περιπτώσεις μη εφικτή, με συνέπεια απώλεια δεδομένων.

Από τις καταγραφές που έγιναν με τους δύο παραπάνω τύπους κάμερας και τις απαιτήσεις των συγκεκριμένων πειραματικών δοκιμών, προέκυψαν τα χαρακτηριστικά του ιδεώδους συστήματος καταγραφής και λήψης εικόνας προκειμένου να ελεγχθεί η συμπεριφορά ψαριών που εκθέτονται σε ηχητικό ερέθισμα: απαιτείται κάμερα ψηφιακή, αδιάβροχη και φορητή με δυνατότητα λειτουργίας χωρίς άμεση σύνδεση με ηλεκτρική πηγή. Με βάση αυτά τα χαρακτηριστικά σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε το **φορητό και αδιάβροχο σύστημα απεικόνισης** που περιγράφεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 2 (παράγραφος 2.2.2α) και το οποίο καταγράφει σε 2 διαστάσεις τη θέση των ψαριών σε συνάρτηση με το χρόνο. Οι καταγραφές που έγιναν με αυτό το σύστημα **πλεονεκτούν** έναντι όλων των προηγούμενων στην ποιότητα της εικόνας η οποία είναι η βέλτιστη με δυνατότητα επιλογής για έγχρωμη ή ασπρόμαυρη απεικόνιση. Το σύστημα υποστηρίζεται από ειδικό λογισμικό το οποίο προσφέρει τη δυνατότητα ρύθμισης της εικόνας στις εκάστοτε συνθήκες, παρέχοντας έτσι μεγάλη ευελιξία στη χρήση του σε διαφορετικά περιβάλλοντα. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με το ότι η κάμερα είναι αδιάβροχη, επιτρέπει τη χρήση του σε δεξαμενές καθώς και στο πεδίο, ενώ το συγκεκριμένο εργαλείο μπορεί κάλλιστα να χρησιμοποιηθεί γενικότερα σε πειράματα συμπεριφοράς οργανισμών εντός ή εκτός νερού.

Επιπλέον, η εγγραφή γίνεται απευθείας σε φορητό υπολογιστή και σε τύπο αρχείου που μπορεί άμεσα να χρησιμοποιηθεί για ανάλυση των δεδομένων. Άρα, παρακάμπτεται η χρονοβόρα και κάποιες φορές αδύνατη διαδικασία μεταφοράς και μετατροπής των δεδομένων. Η καταγραφή είναι συνεχόμενη και δεν υπάρχει χρονικός περιορισμός σε ότι αφορά τη διάρκεια αυτής. Συνοψίζοντας, μπορούμε να πούμε ότι το σύστημα απεικόνισης που σχεδιάστηκε έχει τα εξής **πλεονεκτήματα**: **α)** υψηλή ανάλυση εικόνας **β)** ανάλυση σε πραγματικό χρόνο **γ)** χαμηλό κόστος **δ)** εύκολα διαθέσιμο **ε)** εύκολη χρήση και συντήρηση **στ)** εφαρμογή σε μεγάλο εύρος συνθηκών εκτροφής (ενυδρείο, δεξαμενή, ιχθυοκλωβό, θάλασσα).

Απεικόνιση που γίνεται με μία κάμερα είναι δύο διαστάσεων. Αυτό ενδεχομένως, δεν αποτελεί περιορισμό στην περίπτωση του ενυδρείου, όπου το πλάτος είναι μικρό και ο εντοπισμός της θέσης των ψαριών δεν επηρεάζεται σημαντικά από αυτό. Στην περίπτωση των δεξαμενών και φυσικά στο πεδίο, η τρίτη διάσταση είναι ιδιαίτερα σημαντική, αφού διαφορετικά δεν είναι δυνατό να οριστεί η θέση του ψαριού στο χώρο. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται εύκολα αν η

απεικόνιση γίνει με 2 κάμερες, έτσι τοποθετημένες ώστε να είναι δυνατός ο προσδιορισμός της θέσης του αντικειμένου σε **3 διαστάσεις**. Μια άλλη αδυναμία της απεικόνισης σε δύο διαστάσεις είναι η **επικάλυψη ψαριών**, όταν δηλαδή, ένα ψάρι μπαίνει μπροστά σε ένα άλλο με αποτέλεσμα να φαίνονται σαν ένα. Αυτό είναι ένα θέμα που υπάρχει σε όλα τα περιβάλλοντα (ενυδρείο, δεξαμενή, πεδίο) και είναι εντονότερο κυρίως όταν η ιχθυοφόρτιση είναι μεγάλη, αλλά και όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος των ψαριών, αφού σε αυτή την περίπτωση ένα μόνο ψάρι που πηγαίνει μπροστά στην κάμερα κρύβει το οπτικό πεδίο. Λόγω του ότι αυτό είναι ένα γνωστό πρόβλημα, και μπορεί να συμβεί ακόμα και σε στερεοσκοπική απεικόνιση -3 διαστάσεων- οι Petrell et al. (1997), στα πειράματα που πραγματοποίησαν σε πέστρφες μέσα σε δεξαμενές με διάμετρο 7,62 m, χρησιμοποίησαν ένα είδος σκούπας που κινούνταν μπροστά και πάνω από τις κάμερες, ώστε να αποτρέπει τα ψάρια να πηγαίνουν μπροστά στις κάμερες, κρύβοντας έτσι το οπτικό πεδίο.

Στα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στις δεξαμενές των 10 m<sup>3</sup>, το πρόβλημα της επικάλυσης ψαριών ήταν έντονο, καταρχήν γιατί είχαμε πολλά ψάρια και κατά δεύτερον γιατί αυτά ήταν μεγάλα και όλο και κάποιο περνούσε μπροστά από την κάμερα κλείνοντας το οπτικό πεδίο. Αντίθετα, στο πεδίο, το πρόβλημα ήταν εμφανώς μικρότερο αφού είχαμε λιγότερα ψάρια σε μεγαλύτερο όγκο νερού (χαμηλή ιχθυοφόρτιση) και οι περιπτώσεις όπου συνέβη επικάλυση ήταν εμφανώς λιγότερες. Στα ενυδρεία, η επικάλυση αφορούσε μόνο την παράλληλη κίνηση δύο ψαριών, αφού η κάμερα ήταν τοποθετημένη εξωτερικά. Επομένως, για τα πειράματα που πραγματοποιούνται σε ενυδρείο και εφόσον η κάμερα τοποθετείται εξωτερικά, το πρόβλημα λύνεται με τη χρήση μιας δεύτερης κάμερας η οποία θα δίνει τη δυνατότητα προσδιορισμού της τρίτης διάστασης. Σε ότι αφορά τα πειράματα στις δεξαμενές και στο πεδίο, η επικάλυση είναι ένα θέμα που πρέπει να αντιμετωπιστεί, προκειμένου να είναι δυνατή η παρακολούθηση της κίνησης όλων των ψαριών.

## **B) Σύστημα ανάλυσης δεδομένων**

Η βελτίωση του συστήματος καταγραφής και απεικόνισης της συμπεριφοράς των ψαριών συνοδεύτηκε από μια εξίσου σημαντική βελτίωση στον τρόπο ανάλυσης των δεδομένων. Αυτό αποτελεί καίριο ζήτημα της επεξεργασίας των αποτελεσμάτων στα πειράματα συμπεριφοράς, αφού η ποσοτικοποίηση των δεδομένων ήταν πάντα το «ευαίσθητο» σημείο, ιδιαίτερα δε όταν οι οργανισμοί που εξετάζονται είναι ψάρια, τα οποία αφενός κινούνται συνεχώς, και αφετέρου βρίσκονται μέσα στο νερό.

Ο κύριος τρόπος ποσοτικοποίησης των δεδομένων που προκύπτουν σε πειράματα όπου ελέγχεται η απόκριση κάποιου είδους σε ηχητικό ερέθισμα, είναι η **καταμέτρηση των ατόμων** που εμφανίζονται όταν εκπέμπεται ο ήχος. Οι μετρήσεις αυτές γίνονται κατά κύριο λόγο από τον παρατηρητή και αφορούν ένα μεγάλο μέρος εργασιών που έχουν γίνει σε διαφορετικά είδη (Richard, 1968, Larson & Donaldson, 1969, Abbott, 1972, Chapman et al., 1974, Fujiya et al., 1980, Okamoto, 1982, Wright & Eastcott, 1982, Choo et al., 1988, Wang & Takemura, 1992, Knudsen et al., 1997, Anraku et al., 1997, Zhang et al., 2004(a), Zhang et al., 2004(b)).

Ο τρόπος αυτός, αν και εμφανίζει το μειονέκτημα της υποκειμενικής εκτίμησης των αποτελεσμάτων, εξακολουθεί να αποτελεί το κύριο μέσο με το οποίο μπορεί να γίνει η αριθμητική περιγραφή της οπτικής παρατήρησης. Οι Wang & Takemura, σε εργασία τους το 1992 δείχνουν πώς ο ήχος μπορεί να προσελκύσει χρυσόψαρα και πώς αυτή η συμπεριφορά ενισχύεται από ταυτόχρονη χορήγηση τροφής. Για την περιγραφή της συμπεριφοράς, περιλαμβάνουν και εκτίμηση της

ταχύτητας κολύμβησης, η οποία όμως αφορά οπτική παρατήρηση και όχι ακριβή μέτρηση του μεγέθους αυτού.

Έτσι, μπορούμε να πούμε ότι σε ό,τι αφορά τα πειράματα απόκρισης ψαριών σε ηχητικά ερεθίσματα, η τεχνολογική εξέλιξη των απεικονιστικών συστημάτων βελτίωσε σαφώς την παρατήρηση, αλλά τα δεδομένα σε μεγάλο βαθμό αναλύονται στη συνέχεια οπτικά. Αυτό σημαίνει, ότι αναπόφευκτα υπάρχει υποκειμενικότητα, περιορισμός στον όγκο δεδομένων που μπορούν να αναλυθούν, αλλά και στην ακρίβεια των μετρήσεων, ενώ ταυτόχρονα είναι μια διαδικασία επίπονη και χρονοβόρα.

Για την ανάλυση των δεδομένων που πήραμε από τις πειραματικές δοκιμές, εφαρμόσαμε τον κλασικό τρόπο μέτρησης των ψαριών για τις καταγραφές που έγιναν με αναλογικό τρόπο. Οι ψηφιακές καταγραφές μας έδωσαν τη δυνατότητα να βελτιώσουμε τον τρόπο ανάλυσης των δεδομένων. Το **λογισμικό πρόγραμμα** που σχεδιάστηκε για αυτόν το σκοπό –και το οποίο περιγράφεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 2 (παράγραφος 2.2.2γ) - μπορεί να διαχειριστεί μεγάλο όγκο δεδομένων που σημαίνει ότι είναι δυνατή η ποσοτική έκφραση της συμπεριφοράς των ψαριών συνεχόμενα – για κάθε 1/15 του δευτερολέπτου, κάτι το οποίο δεν μπορεί να γίνει οπτικά. Πέρα από την καταμέτρηση των ψαριών, είναι δυνατή και η εκτίμηση άλλων μεγεθών. Έτσι, μπορεί να αποδοθεί η **απόσταση** που αυτά έχουν **από δεδομένο σημείο**, το οποίο στα πειράματα που πραγματοποιήσαμε ήταν το ηχείο. Στηριζόμενοι σε αυτή τη μέτρηση, μπορούμε να κάνουμε μια καλή εκτίμηση της συμπεριφοράς των ψαριών ως προς την ηχητική πηγή, ιδιαίτερα δε, από τη στιγμή που το πρόσημο της τιμής της μέσης απόστασης, ορίζει αν τα ψάρια βρίσκονται αριστερά ή δεξιά του ηχείου. Αυτή η παράμετρος έχει σημασία όταν θέλουμε να ελέγξουμε την επίδραση που μπορεί να έχει η οπτική εικόνα της αυτόματης ταΐστρας, ή την ικανότητα των ψαριών να συγκεντρώνονται εκεί όπου θα πέσει η τροφή, εφόσον βέβαια, το ηχητικό ερέθισμα συνδυάζεται με τη χορήγηση τροφής. Οι γραφικές παραστάσεις που δείχνουν τη μεταβολή των τιμών της μέσης απόστασης, απεικονίζουν ικανοποιητικά τη μεταβολή της θέσης του συνόλου των ψαριών μέσα στο ενυδρείο κατά τη διάρκεια του χρόνου καταγραφής, οπότε φαίνονται οι αλλαγές που προκύπτουν με την εκπομπή του ήχου.

Εφόσον υπολογίζεται η μέση απόσταση από δεδομένο σημείο, είναι δυνατό να υπολογιστεί και η **μέση ταχύτητα** που έχουν τα ψάρια στις διαφορετικές χρονικές στιγμές, ως προς αυτό το σημείο. Έτσι, αν κάποιος ήχος τα προσελκύει θα τείνουν να αυξάνουν την ταχύτητά τους προς την πηγή, όταν αυτός ακούγεται. Επομένως, η ποιοτική παρατήρηση της εγρήγορσης λόγω εκπομπής ηχητικού σήματος, γίνεται ποσοτική και απεικονίζεται γραφικά με τη χρήση του συγκεκριμένου λογισμικού. Ο λόγος που δεν χρησιμοποιήθηκε η μέτρηση αυτή στην ανάλυση των αποτελεσμάτων μας ήταν ότι μέσα στο ενυδρείο υπήρχαν 10 ψάρια, χωρίς να υπάρχει η δυνατότητα ταυτοποίησης αυτών. Το λογισμικό πρόγραμμα μπορεί να υπολογίσει τη μέση συνολική ταχύτητα όλων των ψαριών, που σημαίνει ότι η εκάστοτε τιμή μπορεί να είναι παραπλανητική, αφού όταν τα ψάρια κινούνται προς αντίθετες κατευθύνσεις, η τιμή αυτή θα τείνει προς το μηδέν, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι αυτά κινούνται αργά. Η συγκεκριμένη μέτρηση θα είχε νόημα στην περίπτωση που τα ψάρια είναι σημασμένα –για παράδειγμα έχουν τοποθετηθεί μάρκες- και παρακολουθείται η μεταβολή της ταχύτητας για καθένα από αυτά. Επίσης, αν ελέγχεται η συμπεριφορά ενός μόνο ψαριού.

Ο υπολογισμός των παραπάνω μεγεθών γίνεται αυτόματα για κάθε 1/15 του δευτερολέπτου, ή για κάθε 1 sec, προκειμένου να μειωθεί ο όγκος των μετρήσεων. Το



γεγονός ότι υπάρχει μεγάλος αριθμός δεδομένων δίνει τη δυνατότητα αξιόπιστης στατιστικής ανάλυσης. Επίσης, λόγω του ότι όλες οι μετρήσεις γίνονται αυτόματα, παρακάμπτεται η ιδιαίτερα επίπονη και χρονοβόρα μεταφορά των δεδομένων σε υπολογιστή, η οποία απαιτείται στην περίπτωση που οι μετρήσεις γίνουν οπτικά από τον παρατηρητή.

Συνοψίζοντας τα **πλεονεκτήματα** που προσφέρει το παραπάνω σύστημα ανάλυσης, μπορούμε να πούμε ότι: **α)** παρακολουθεί την κίνηση των ψαριών συνεχόμενα σε πραγματικό χρόνο **β)** υπολογίζει τη μέση απόσταση και τη μέση ταχύτητα που αυτά έχουν από δεδομένο σημείο, αποδίδοντας με αυτόν τον τρόπο ποσοτικά τη συμπεριφορά τους **γ)** οι μετρήσεις γίνονται αυτόματα, διασφαλίζοντας αντικειμενικότητα και ακρίβεια και **δ)** δίνει τη δυνατότητα αξιόπιστης στατιστικής ανάλυσης.

Ωστόσο, το λογισμικό αυτό πρόγραμμα με τις παρούσες ρυθμίσεις δεν μπορεί να αναλύσει τα δεδομένα των καταγραφών που έγιναν στο πεδίο και στις δεξαμενές. Ο λόγος είναι ότι το μέγεθος το ψαριών είναι διαφορετικό, όπως επίσης και οι συνθήκες φωτισμού. Ο εντοπισμός του στόχου –που είναι το ψάρι- κάθε χρονική στιγμή, επιτυγχάνεται με βάση το σχήμα του και την αντίθεση –contrast- που αυτό έχει με το υπόβαθρο. Αυτό σημαίνει ότι προκειμένου το συγκεκριμένο λογισμικό να αναλύσει καταγραφές που έγιναν σε άλλο περιβάλλον, πρέπει να γίνει νέα ρύθμιση για τον εντοπισμό των στόχων. Μια επιπλέον δυσκολία στη ρύθμιση αυτή, είναι οι μεταβαλλόμενες συνθήκες φωτισμού –ηλιοφάνεια, συννεφιά- αλλά και διαύγειας του νερού –κυρίως στο πεδίο. Τέλος, το πρόβλημα επικάλυψης ψαριών –όπου ένα ψάρι κρύβει το οπτικό πεδίο- είναι μεγαλύτερο, από τη στιγμή που τα ψάρια είναι πιο μεγάλα. Παρόλα αυτά, οι ρυθμίσεις που απαιτούνται είναι εφικτές, και θα οδηγήσουν σε ένα ακόμα πιο ισχυρό εργαλείο για την παρακολούθηση της κίνησης και της συμπεριφοράς των ψαριών στο φυσικό τους περιβάλλον.

**Συστήματα** που υπάρχουν για την παρακολούθηση της συμπεριφοράς ψαριών γενικότερα –χωρίς να σχετίζονται με την εκπομπή ήχου- και την ποσοτική της έκφραση μέσω συγκεκριμένων μεγεθών αφορούν :

**α)** τη μέτρηση του μήκους ψαριών γλυκού ή αλμυρού νερού καθώς και της ταχύτητας κολύμβησης (Petrell et al., 1997, Shich & Petrell, 1998, Harvey et al., 2002)

**β)** την παρακολούθηση της μεταβολής της συμπεριφοράς ψαριών που εκθέτονται σε χημικές ουσίες που προκαλούν stress (Kane et al., 2004)

**γ)** την ποσοτική έκφραση των προτύπων συμπεριφοράς κατά την αλίευση με τράτα (Bublitz, 1996)

**δ)** την ποσοτική περιγραφή της συμπεριφοράς ενός ψαριού σε ενυδρείο (Kato et al., 1996)

**ε)** την κολυμβητική συμπεριφορά και τη χρήση του χώρου ψαριών μέσα σε δεξαμενές (Lagardère et al., 1990, Bégout & Lagardère, 1995, Bégout Anras & Lagardère, 2004)

**στ)** το σχηματισμό κοπαδιού σε συγκεκριμένο χώρο (Suzuki et al., 2003).

Για τη μέτρηση του μήκους ψαριών οι Petrell et al., (1997), σχεδίασαν ένα σύστημα απεικόνισης και μέτρησης ιχθύων (Fish Imaging Capturing and Sizing System (FICASS)), κατά το οποίο οι εικόνες καταγράφονται με video κάμερα, μεταφέρονται σε υπολογιστή και με ειδικό πρόγραμμα υπολογίζεται το μήκος των ψαριών. Το ίδιο σύστημα χρησιμοποιήθηκε και από τους Shich & Petrell (1998), για τη μέτρηση σολομών μέσα σε ιχθυοκλωβό. Αν και το σύστημα των Harvey et al., (2002) ήταν

διαφορετικό, η καταγραφή των εικόνων γίνεται και πάλι με video κάμερα. Το πλεονέκτημα που εμφανίζει το σύστημα απεικόνισης και ανάλυσης που σχεδιάσαμε έναντι των προηγούμενων, είναι ότι καταγράφει απευθείας σε υπολογιστή, παρακάμπτοντας τη μεταφορά των δεδομένων.

Το σύστημα των Kane et al., (2004), καταγράφει τη συμπεριφορά με αναλογικές κάμερες, και στη συνέχεια ψηφιοποιεί τα δεδομένα, σε αντίθεση με το σύστημα που σχεδιάσαμε όπου τα δεδομένα είναι απευθείας ψηφιακά.

Για την περιγραφή της συμπεριφοράς των αλιευμάτων σε τράτα ο Bublitz το 1996, χρησιμοποίησε video κάμερα για την απεικόνιση των ψαριών, ενώ στη συνέχεια ποσοτικοποίησε τα δεδομένα, μετρώντας 6 διαφορετικές παραμέτρους απευθείας πάνω στην οθόνη του video, με τη βοήθεια ενός προγράμματος ανάλυσης σε υπολογιστή. Η ανάλυση γίνεται από τον παρατηρητή και όχι αυτόματα.

Οι Kato et al., απεικόνισαν και μέτρησαν το 1996, την κίνηση του χρυσόψαρου με ένα αρκετά ενδιαφέρον σύστημα, το οποίο όμως, παρακολουθεί ένα μόνο ψάρι αφενός, και αφετέρου καταγράφει σε video. Τα δεδομένα μεταφέρονται σε υπολογιστή και αναλύονται με ειδικό λογισμικό πρόγραμμα.

Μια τεχνική εντοπισμού της θέσης εκτρεφόμενων ψαριών είναι η **ακουστική τηλεμετρία** η οποία αρχικά αναπτύχθηκε από τους Hawkins et al. (1974) και Holand et al. (1974) και σύμφωνα με την οποία ένας μικροσκοπικός πομπός τοποθετείται επάνω στο ψάρι, ενώ το ηχητικό σήμα λαμβάνεται από υδρόφωνα κατάλληλα τοποθετημένα. Ανάλογα με το χρόνο που κάνει το σήμα να φτάσει στο δέκτη (υδρόφωνο) εκτιμάται η θέση που έχει το ψάρι. Η τεχνική αυτή βελτιώθηκε και εφαρμόστηκε εκτενώς από τους Lagardère et al. προκειμένου να ποσοτικοποιηθεί η κολυμβητική συμπεριφορά εκτρεφόμενων ειδών, μεταξύ των οποίων και η τσιπούρα (*Sparus aurata*) (Lagardère et al., 1990, Bégout & Lagardère, 1995, Bégout Anras & Lagardère, 2004). Αν και τα αποτελέσματα που προκύπτουν με τη μέθοδο αυτή είναι εντυπωσιακά, ωστόσο η τοποθέτηση του πομπού στα ψάρια απαιτεί αναισθησία και άρα επιπλέον χειρισμούς, οι οποίοι πιθανόν να αποτελούν περιορισμό στη μελέτη της συμπεριφοράς τους αφενός, αφετέρου συχνά οι χειρισμοί που γίνονται στα εκτρεφόμενα είδη, θεωρούνται αιτία θνησιμότητας των ψαριών. Πρόσφατα, οι Conti et al., (2006) χρησιμοποίησαν την τεχνική της ακουστικής τηλεμετρίας, προκειμένου να παρακολουθούν την πυκνότητα, τη συμπεριφορά και το ρυθμό αύξησης ψαριών μέσα σε δεξαμενή 1 m<sup>3</sup>. Η καινοτομία του συστήματός τους, είναι ότι δε χρησιμοποιούν πομπό πάνω στο ψάρι, αλλά μετρούν τη συνολική σκέδαση του ήχου που εκπέμπεται, πάνω σε κάθε ψάρι, ενώ οι παρατηρήσεις συμπεριφοράς αφορούν το σχηματισμό κοπαδιού.

Η τεχνική της ακουστικής τηλεμετρίας, χρησιμοποιεί τον ήχο για εντοπισμό του στόχου –που είναι τα ψάρια- και παρέχει τη δυνατότητα παρακολούθησης της κίνησης καθενός από τα ψάρια στη δεξαμενή. Στην περίπτωση των πειραμάτων που πραγματοποιήσαμε ο ήχος είναι το ερέθισμα και εμείς ερευνούμε την απόκριση σε αυτόν, μέσω των αλλαγών της κίνησης των ψαριών. Αρχικά τουλάχιστον, είναι σημαντικό να εκφραστεί ποσοτικά η συνολική κίνηση μέσα στο ενυδρείο, στις διαφορετικές χρονικές φάσεις, οι οποίες συνδέονται με την εκπομπή του ηχητικού σήματος. Η παρακολούθηση κάθε ψαριού χωριστά, θα μπορούσε να αποτελέσει μελλοντική βελτίωση του συστήματος που σχεδιάστηκε, διευρύνοντας έτσι, τις δυνατότητές του.

Το σύστημα που σχεδιάστηκε από τους Suzuki et al., (2003), παρακολουθεί την κίνηση των ψαριών μέσα σε ρηχή δεξαμενή, με κάμερα που συνδέεται με

υπολογιστή και καταγράφει κάθε 3/10 του δευτερολέπτου. Για την ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιείται ένα **μαθηματικό μοντέλο**, το οποίο προβλέπει τη συμπεριφορά κοπαδιάσματος ανάλογα με τον αριθμό ψαριών και τη δομή της δεξαμενής. Ο τρόπος αυτός ανάλυσης παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον, αλλά προϋποθέτει ότι υπάρχει ήδη η βασική πληροφορία –στην προκειμένη περίπτωση ότι τα ψάρια σχηματίζουν κοπάδι. Στην περίπτωση των πειραμάτων που πραγματοποιήσαμε ο τρόπος απόκρισης των ψαριών στον ήχο δεν ήταν γνωστός.

Τελικά, το σύστημα απεικόνισης που σχεδιάστηκε για τις ανάγκες των πειραματικών δοκιμών, μαζί με τα δύο λογισμικά προγράμματα που το συνοδεύουν και αφορούν την καταγραφή και ανάλυση των δεδομένων, είναι **πρωτότυπο**, και δείχνει να καλύπτει ένα κενό που υπάρχει στην ποσοτική έκφραση της συμπεριφοράς ιχθύων. Οι διαφορές που εμφανίζει σε σύγκριση με τα υπάρχοντα συστήματα για την παρακολούθηση της συμπεριφοράς ψαριών γενικότερα, επικεντρώνονται στα εξής σημεία :

- 1) Δεν απαιτεί **μεταφορά δεδομένων** από την κάμερα στον υπολογιστή – τα δεδομένα καταγράφονται άμεσα στον υπολογιστή
- 2) Δεν απαιτεί **μετατροπή δεδομένων** από αναλογικά σε ψηφιακά – τα δεδομένα είναι σε ψηφιακή μορφή
- 3) Οι **μετρήσεις γίνονται αυτόματα**
- 4) Μπορεί να γίνει ανάλυση δεδομένων για **περισσότερα από ένα ψάρια**
- 5) Δεν απαιτεί **τοποθέτηση πομπού** πάνω στο ψάρι.

Οι **βελτιώσεις** που επιδέχεται αφορούν τη ρύθμιση του λογισμικού ανάλυσης ώστε να μπορεί να εφαρμοστεί και σε καταγραφές μεγάλων ψαριών σε δεξαμενές ή στο πεδίο. Επίσης, στη δυνατότητα συνδυασμένης ανάλυσης δεδομένων από δύο κάμερες, ώστε να ορίζεται η θέση του ψαριού τρισδιάστατα στο χώρο. Κάτι που θα διευκόλυνε την πραγματοποίηση των πειραμάτων σε όλα τα περιβάλλοντα, είναι η δυνατότητα λειτουργίας και ελέγχου του συστήματος από μακριά –remote control-, το οποίο είναι εφικτό και θα μπορούσε επίσης, να αποτελέσει ενδιαφέρουσα μελλοντική βελτίωση του συστήματος. Τέλος, ο **σχεδιασμός μαθηματικού μοντέλου** πρόβλεψης της συμπεριφοράς των ψαριών σε ήχο, θα μπορούσε να αποτελέσει **μελλοντικό στόχο**.

#### 4.2 Απόκριση των ειδών τσιπούρα (*Sparus aurata*), λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*) και φαγκρί (*Pagrus pagrus*) σε ηχητικό ερέθισμα

##### A) Ενυδρείο

Τα πρώτα πειράματα που πραγματοποιήσαμε αφορούσαν τσιπούρες και είχαν καταρχήν διερευνητικό χαρακτήρα, σε ότι αφορά τη συμπεριφορά των ψαριών κατά την εκπομπή ηχητικού σήματος, στο συγκεκριμένο περιβάλλον. Για την **επιλογή της συχνότητας του ηχητικού σήματος** υπήρχαν διαθέσιμες 2 πηγές :

α) **ακουογράμματα άλλων οστεϊχθύων**

β) εργασίες πάνω στην **εξαρτημένη απόκριση οστεϊχθύων σε ηχητικό ερέθισμα**

Το φάσμα των ακουστών συχνοτήτων για ένα είδος απεικονίζεται με το λεγόμενο ακουόγραμμα, το οποίο κατασκευάζεται μετά από έκθεση του ψαριού που μελετάται, σε μια γκάμα διαφορετικών συχνοτήτων. Υπάρχουν διαφορετικά κριτήρια αξιολόγησης της απόκρισης των ψαριών για κάθε συχνότητα, προκειμένου να καταγραφεί το όριο ακουστικής αντίληψης (threshold), τα οποία έχουν ως κοινό στόχο τον καθορισμό του ακουστού φάσματος και το βαθμό ευαισθησίας που εμφανίζουν τα ψάρια σε κάθε συχνότητα.

Το γενικό συμπέρασμα που προκύπτει από τη μελέτη των ακουογραμμάτων που είναι διαθέσιμα, είναι ότι συχνότητες μεγαλύτερες των 2000 Hz, δε γίνονται αντιληπτές από τους οστεϊχθύες, ενώ η υψηλότερη συχνότητα στην οποία μπορεί δυνητικά να παρατηρηθεί ακουστική ευαισθησία είναι τα 1000 Hz. Εξαίρεση σε αυτήν την παρατήρηση, αποτελούν οι Οσταριόφυσοι, οι οποίοι λόγω της διαφορετικής δομής των ακουστικών οργάνων που διαθέτουν –συσκευή του Weber-μπορούν να αντιληφθούν συχνότητες μέχρι 5000 Hz (Hawkins, 1973).

Όσο γνωρίζουμε δεν υπάρχει ακουόγραμμα για την τσιπούρα (*Sparus aurata*) και το φαγκρί (*Pagrus pagrus*), ενώ για το λαβράκι υπάρχουν κάποια δεδομένα για τις συχνότητες που αντιλαμβάνεται και οι οποίες εντοπίζονται στην περιοχή από 50-700 Hz (Lovell et al., 2005). Ο σκοπός μας δεν ήταν η κατασκευή ενός τέτοιου ακουογράμματος για τα 3 είδη που μελετήσαμε, μια και η μέθοδος πειραματισμού που απαιτείται είναι τελείως διαφορετική. Με βάση , όμως, τα ακουογράμματα που υπάρχουν διαθέσιμα στη βιβλιογραφία, επιλέξαμε να δοκιμάσουμε αρχικά, την επίδραση που έχουν στις **τσιπούρες** συχνότητες που βρίσκονται στο φάσμα από 200 – 1250 Hz. Η αντίδραση που εμφανίζουν τα ψάρια κατά την εκπομπή του ήχου, σχετίζεται με τον προσανατολισμό της κίνησής τους προς την αυτόματη ταΐστρα, σε αντίθεση με το Μάρτυρα όπου δεν παρατηρείται κάτι τέτοιο. Επίσης, η αντίδραση αυτή των ψαριών στον ήχο, μειώνεται καθώς αυξάνει η συχνότητα από τα 200 στα 1250 Hz.

Η πρώτη αυτή παρατήρηση ταιριάζει με τα αποτελέσματα των πειραμάτων του Poggendorf (1952), πάνω στο είδος *Amiurus nebulosus*, το οποίο φαίνεται να αντιλαμβάνεται καλά ήχους από 60 ως 1600 Hz, η ευαισθησία του όμως είναι αντίστροφα ανάλογη με την αύξηση της συχνότητας. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα πειράματα του Poggendorf, ήταν από τα πρώτα που έγιναν για την καταγραφή ακουογράμματος και στα οποία δίνεται ιδιαίτερη σημασία στην κατασκευή του πειραματικού ενυδρείου, και τα χαρακτηριστικά των ήχων που δοκιμάζονται, οι οποίοι καλύπτουν ένα ευρύτατο φάσμα συχνοτήτων από 60 – 10000 Hz. Στη Γερμανία συσσωρεύτηκε σημαντική γνώση που αφορούσε την υποβρύχια ακουστική, κατά τη διάρκεια του 2<sup>ου</sup> Παγκοσμίου Πολέμου, η οποία στη συνέχεια αξιοποιήθηκε

σε πλήθος πειραμάτων ακουστικής και ουσιαστικά έθεσε τις βάσεις για την έρευνα της ακουστικής αντίληψης των ψαριών.

Μια μέθοδος που αναπτύχθηκε και χρησιμοποιήθηκε ευρέως σε διάφορες παραλλαγές προκειμένου να ληφθούν τα ακουστικά όρια (hearing thresholds) διαφορετικών οργανισμών, ήταν αυτή της **εξαρτημένης αντίδρασης (conditioning)**, η οποία περιλαμβάνει εκπαίδευση των ατόμων να αντιδρούν θετικά ή αρνητικά εφόσον αντιλαμβάνονται τον ήχο. Η εργασία των Myrberg και Spires (1980), πάνω στην ακουστική ικανότητα ειδών του γένους *Eupomacentrus*, θεωρήθηκε μοντέλο για τέτοιου είδους μελέτες. Ο Myrberg χρησιμοποίησε τη μέθοδο της εξαρτημένης αντίδρασης σε συνδυασμό με την καλύτερη τότε τεχνολογία, σχεδιάζοντας ένα εξαιρετικό εργαστήριο ψυχοακουστικής το οποίο ακόμα και σήμερα παραμένει υπόδειγμα, για τους ερευνητές αυτού του πεδίου (Fay, 2006).

Σε όλα σχεδόν τα πειράματα που πραγματοποιήσαμε, η εκπομπή ήχου συνοδεύεται από χορήγηση τροφής και έτσι ουσιαστικά, το γεγονός αυτό είναι η επιβράβευση που θα ενισχύσει μια θετική συμπεριφορά, εφόσον ο ήχος γίνεται αντιληπτός. Η παρατήρηση ότι οι τσιπούρες στο ενυδρείο προσανατολίζονται στην ηλεκτρική ταινία, μόλις ακουστεί ο ήχος, αποτελεί θετική συμπεριφορά, η οποία απουσιάζει στο Μάρτυρα. Φαίνεται πως το ηχητικό ερέθισμα προειδοποιεί ότι θα πέσει τροφή και τα ψάρια προετοιμάζονται, ενώ αντίθετα στο Μάρτυρα ξαφνικά ανοίγει η ηλεκτρική ταινία χωρίς καμία προηγούμενη ένδειξη.

Γενικά, η **μεταβολή** που παρατηρείται **στη συμπεριφορά** των ψαριών στο ενυδρείο λόγω έκθεσής τους σε ηχητικό ερέθισμα, εμφανίζεται ανάμεσα στη 2<sup>η</sup> και την 4<sup>η</sup> ημέρα εφαρμογής του ήχου, και βελτιώνεται σταδιακά όσο εκπέμπεται ήχος, ακόμα και αν αλλάξει η συχνότητα. Έτσι, δεν απαιτείται επιπλέον χρόνος εκπαίδευσης προκειμένου να υπάρξει θετική απόκριση στη νέα συχνότητα. Αντίθετα, όταν αυτή δε γίνεται αντιληπτή, τα ψάρια δεν αποκρίνονται – λειτουργούν όπως ο Μάρτυρας. Εκπομπή εκ νέου συχνότητας που μπορούν να την αντιληφθούν επαναφέρει τη συμπεριφορά που είχαν υιοθετήσει.

Σύμφωνα με τη μέθοδο της εξαρτημένης αντίδρασης, καθορίστηκαν οι ακουστικές ικανότητες 9 θαλασσινών ειδών από διαφορετικές οικογένειες (Holocentridae, Labridae, Pomacentridae, Pomadasyidae, Lutjanidae, Serranidae, Triglidae και Sciaenidae), στην εργασία των Tavalga και Wodinsky το 1963. Τα ψάρια εκπαιδεύτηκαν να περνούν ένα εμπόδιο όταν ακούνε ήχο, προκειμένου να αποφύγουν ηλεκτρικό σοκ (avoidance conditioning). Γενικά, σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτής της εργασίας, τα θαλασσινά είδη που μελετήθηκαν φάνηκε ότι δεν είναι δυνατό να αντιληφθούν συχνότητες μεγαλύτερες των 2000 Hz, ενώ η περιοχή βέλτιστης ηχητικής αντίληψης εντοπίζεται κάτω από τα 1000 Hz. Στα πειράματα που πραγματοποιήσαμε σε ενυδρείο, η απόκριση ατόμων τσιπούρας μέσου μήκους 7,1 και 9,2 cm, ήταν θετική για τις συχνότητες των 200, 500 και 800 Hz, αλλά δεν υπήρξε απόκριση για τα 1250 Hz. Επίσης, τσιπούρες μέσου μήκους 10,0 cm, αποκρίθηκαν θετικά στα 100 Hz, αλλά όχι στα 2500 και 5000 Hz. Τα αποτελέσματα αυτά, έρχονται σε συμφωνία με την εργασία των Tavalga και Wodinsky.

Το 1973 ο Chapman, δημοσίευσε μία εργασία όπου καθορίστηκε το ακουστικό φάσμα σε 3 είδη (*Melanogrammus aeglefinus*, *Pollachius pollachius* και *Molva molva*), με μέτρηση του καρδιακού ρυθμού κατά την εκπομπή ήχου και πριν την εφαρμογή ηλεκτρικού σοκ. Τα είδη αυτά, αποδείχτηκε ότι είναι ευαίσθητα σε συχνότητες από 30 ως 500 Hz και ιδιαίτερα στην περιοχή 100 με 300 Hz. Τον

επόμενο χρόνο, οι Charpman και Sand, (1974) δημοσίευσαν εργασία με το ακουστικό φάσμα 2 ειδών της οικογένειας Pleuronectidae, τα οποία είναι ευαίσθητα στις συχνότητες 30 – 250 Hz, με μεγαλύτερη ευαισθησία μεταξύ των 110 και 160 Hz.

Το σύστημα ανάλυσης των ψηφιακών δεδομένων που σχεδιάστηκε για τις ανάγκες των πειραμάτων που έγιναν σε ενυδρείο, μας έδωσε τη δυνατότητα να εντοπίσουμε καλύτερα τη θέση των ψαριών στις διαφορετικές χρονικές φάσεις (πριν τον ήχο, κατά τη διάρκεια αυτού και μετά). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτά, οι τσιπούρες και τα λαβράκια μετακινούνται προς την πηγή του ήχου, όταν εκπέμπεται σήμα συχνότητας 100, 200 και 500 Hz. Η βέλτιστη λοιπόν απόκρισή τους εστιάζεται σε ένα πιο περιορισμένο φάσμα συχνοτήτων, όπως παρατηρείται και για τα είδη που αναφέρθηκαν παραπάνω στις εργασίες των Charpman (1973) και Charpman και Sand (1974).

Το αποτέλεσμα αυτό, μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι τόσο η **τσιπούρα** (*Sparus aurata*) όσο και το **λαβράκι** (*Dicentrarchus labrax*) ανήκουν στους «γενικούς ακροατές», κάτι που ήταν αναμενόμενο από τη στιγμή που δεν είναι γνωστή η ύπαρξη ειδικής δομής μεταξύ του αυτιού και της νηκτικής κύστης. Επιπλέον, η μελέτη των τριχοειδών αισθητικών κυττάρων του σακιδίου για το λαβράκι (Lovell et al., 2005), έδειξε ότι η δομή του εσωτερικού αυτιού του είναι όμοια με εκείνη των «γενικών ακροατών». Έχει πια αποδειχτεί ότι σε αυτή την κατηγορία «ακροατών» η αλληλεπίδραση ανάμεσα στον ωτόλιθο και τα τριχοειδή αισθητικά κύτταρα, προκαλείται από την κίνηση των μορίων νερού στο ηχητικό πεδίο, και όχι από την πίεση του ήχου.

Για το **φαγκρί** (*Pagrus pagrus*) τα αποτελέσματα που πήραμε δεν ήταν ξεκάθαρα για την ικανότητα του είδους αυτού να αντιλαμβάνεται τον ήχο και να τον συνδυάζει με τη χορήγηση τροφής. Αν και φαίνεται να υπάρχει κάποια τάση να μαζεύονται ή να γίνονται πιο κινητικά κατά την εκπομπή του ηχητικού σήματος, ωστόσο οι μετρήσεις που έχουμε δε μας επιτρέπουν την εξαγωγή κάποιου ασφαλούς συμπεράσματος. Δύο μπορεί να είναι οι πιθανές εξηγήσεις για αυτό το αποτέλεσμα α) αδυναμία του είδους αυτού να μεταβάλλει ξεκάθαρα τη συμπεριφορά του, λόγω περιορισμένης ικανότητας μάθησης – μνήμης β) μη επαρκής χρόνος να εκδηλωθούν οι αναμενόμενες αντιδράσεις του οργανισμού.

Το φαγκρί είναι παρόλα αυτά ένα είδος με ικανότητα μάθησης και μνήμης (Μαραγκουδάκη, 2002), που θεωρητικά μπορεί να ανταποκριθεί καλά σε πειράματα που βασίζονται στη μέθοδο της εξαρτημένης αντίδρασης (conditioning). Ο Fujiiya και οι συνεργάτες του, δημοσίευσαν το 1980 τα αποτελέσματα της εργασίας τους πάνω σε νεαρά ιχθύδια –μήκους 2 cm- ιαπωνικής τσιπούρας (*Pagrus major*), τα οποία εκπαίδευσαν, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της εξαρτημένης αντίδρασης, να συγκεντρώνονται γύρω από υποβρύχια ηχητική πηγή προκειμένου να φάνε. Δοκίμασαν συχνότητες από 20 μέχρι 1000 Hz, και βρέθηκε ότι οι πιο κατάλληλες συχνότητες για το σκοπό αυτό είναι από τα 200 μέχρι τα 700 Hz. Οι Tateda et al., το 1985, αναφέρουν ότι άτομα του είδους *Pagrus major*, μήκους 1,5 μέχρι 6,0 cm, δεν παρουσιάζουν σημαντική διαφορά στο χρόνο που χρειάζεται για να εκπαιδευτούν σε συχνότητα 400 Hz προκειμένου να φάνε. Η εργασία των Anraku et al. το 1997, στο ίδιο είδος (*Pagrus major*), έδειξε ότι ψάρια ηλικίας 1 έτους αποκρίνονται αρχικά με αποφυγή στα 100 Hz, κάτι που δε συμβαίνει σε νεαρά ιχθύδια και το οποίο αποδίδουν στο ότι η πλευρική γραμμή που αποτελεί το μέσο μετάδοσης του ήχου, στα νεαρά άτομα δεν είναι ακόμα πλήρως αναπτυγμένη. Από τα παραπάνω, συμπεραίνουμε ότι η υπόθεση περί αδυναμίας ικανότητας μάθησης και μνήμης του φαγκριού δεν ισχύει, άρα μάλλον ο χρόνος διάρκειας των πειραματικών δοκιμών δεν ήταν επαρκής, προκειμένου τα ψάρια να μεταβάλλουν τη συμπεριφορά τους, ή η ηλικία των ατόμων

αποτελέσει περιοριστικό παράγοντα. Εξάλλου, το είδος αυτό πιθανόν να δυσκολεύεται να προσαρμοστεί σε συνθήκες ενυδρείου, ενώ με βάση την οικολογία του, συναντάται σε μεγαλύτερα βάθη από το λαβράκι και την τσιπούρα, που σημαίνει ότι είναι λιγότερο εκτεθειμένο στα επιφανειακά ηχητικά ερεθίσματα. Σε κάθε περίπτωση, επανάληψη των πειραματικών δοκιμών, ή και πειραματισμός με διαφορετικές ηλικίες του είδους αυτού, πιθανόν να οδηγήσει σε κάποιο συμπέρασμα αναφορικά με την απόκρισή του στον ήχο.

Η πιο σύγχρονη μέθοδος που εφαρμόζεται για τη μελέτη της ακουστικής ικανότητας των ψαριών είναι η Ακουστική Απόκριση του Στελέχους του εγκεφάλου (Auditory Brainstem Response (ABR)), η οποία έχει δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα για διάφορα είδη (χρυσόψαρο, όσκαρ (Kenyon et al., 1998), gouramis (Ladich & Yan, 1998), gobies (Lugli et al., 2003). Αυτή είναι η μέθοδος που χρησιμοποίησαν οι Lovell et al. το 2005(b), για να ορίσουν το φάσμα ακουστικών συχνοτήτων για τη γαρίδα *Palaemon serratus* και σε άλλη εργασία τους για το λαβράκι (Lovell et al., 2005(a)). Τα αποτελέσματα που είχαμε είναι μέσα στο ακουστό φάσμα του είδους αυτού, με τη διαφορά ότι η χαμηλότερη συχνότητα που δοκιμάσαμε είναι αυτή των 100 Hz. Ωστόσο, υπάρχουν σαφείς ενδείξεις και αναφορές για την απόκριση των οστεϊχθύων και σε χαμηλότερες συχνότητες, κατά τρόπο θετικό (Charman, (1973), Charman και Sand (1974)) ή αρνητικό (απόκριση αποφυγής –Knudsen et al., 1997).

Πολλά ψάρια φαίνεται να είναι το ίδιο ευαίσθητα σε ήχους 20 Hz, όσο και ο άνθρωπος, αν και ο ήχος στο νερό παρουσιάζει εντελώς διαφοροποιημένα χαρακτηριστικά: το νερό είναι πολύ πυκνότερο από τον αέρα και δε συμπιέζεται εύκολα. Τα χαρακτηριστικά αυτά έχουν ως αποτέλεσμα, υψηλότερη αντίσταση στη ροή της ακουστικής ενέργειας, παρά το γεγονός ότι η ταχύτητα διάδοσης του ήχου μέσα στο νερό είναι μεγαλύτερη. Γενικά, στις χαμηλές συχνότητες – κάτω από 800 Hz - και σε μικρή ακτίνα γύρω από την πηγή του ήχου, σημαντικό ρόλο στην αντίληψή του παίζει η μετατόπιση των σωματιδίων που συμβαίνει λόγω της παλμικής κίνησης των μορίων του νερού (Tavolga, 1987). Αν συνδυάσουμε αυτήν την πληροφορία με τα αποτελέσματα που είχαμε στα πειράματα μέσα σε ενυδρείο, οι συχνότητες των 100, 200 και 500 Hz προκαλούσαν στις τσιπούρες και τα λαβράκια συγκέντρωση κάτω ή γύρω από το ηχείο. Αυτή η συμπεριφορά πιθανόν σχετίζεται με τη δημιουργία παλμών κάτω από αυτό, οι οποίοι προσελκύουν τα ψάρια. Όταν το **ηχείο μετατοπίστηκε** αριστερά, στο ενυδρείο με τις τσιπούρες, τότε για τη συχνότητα των 200 Hz, τα ψάρια μετακινήθηκαν προς τη νέα θέση της ηχητικής πηγής όταν εκείνη ενεργοποιήθηκε, ανεξάρτητα από το γεγονός ότι η ηλεκτρική ταινία παρέμεινε δεξιά. Η ίδια μετατόπιση του ηχείου αριστερά στις συχνότητες των 500 και 800 Hz, είχε ως αποτέλεσμα μετακίνηση των ψαριών προς αυτό πριν ακόμα ακουστεί ο ήχος. Η πιθανή ερμηνεία αυτής της συμπεριφοράς, σχετίζεται με τη δυνατότητα απόκρισης του συγκεκριμένου είδους στις διαφορετικές συχνότητες αφενός, και με την ικανότητα μάθησης και μνήμης αφετέρου. Έτσι, η δημιουργία παλμικών κυμάτων κάτω από το ηχείο κατά την εκπομπή σήματος 200 Hz, προσελκύει τις τσιπούρες με τη λεγόμενη επίδραση κοντινού πεδίου (near-field effect). Όταν το ηχείο μετατοπίζεται αριστερά για τη συχνότητα των 500 Hz, τα ψάρια έχουν ήδη εκπαιδευτεί να συγκεντρώνονται όταν εκπέμπεται ο ήχος. Η αλλαγή της θέσης του ηχείου, πιθανόν τα ενεργοποιεί ώστε να το ακολουθήσουν οπτικά, περιμένοντας την εκπομπή του σήματος, και άρα να προσανατολιστούν σε αυτό πριν ακόμα ενεργοποιηθεί. Αυτό ισχύει και για τη συχνότητα των 800 Hz. Οι Wright και Eastcott (1982), στην εργασία τους για τη συσχέτιση ηχητικού ερεθίσματος και τροφής στα είδη *Crenimugil labrosus* και *Cyprinus carpio*, αναφέρουν ότι η

μετακίνηση του ηχείου στην άλλη άκρη της δεξαμενής δεν επηρέασε τη συμπεριφορά των ψαριών, τα οποία είχαν εκπαιδευτεί με το άκουσμα του ήχου να κατευθύνονται στην ταΐστρα και να ενεργοποιούν το μοχλό για να πέσει τροφή. Προφανώς, όταν τα ψάρια έχουν εκπαιδευτεί, έχουν μάθει –μεταβάλλοντας τη συμπεριφορά τους– μια συγκεκριμένη απόκριση την οποία δεν αλλάζουν εφόσον το κύριο ερέθισμα που είναι η τροφή παραμένει σταθερό. Στην περίπτωση των πειραματικών μας δοκιμών, το ηχείο μετακινήθηκε πριν να εκπαιδευτούν τα ψάρια και επιπλέον, τα πειράματα που έγιναν με το ηχείο αριστερά, ήταν περιορισμένα, με συνέπεια τα ψάρια αφενός να μη μπορέσουν να οριστικοποιήσουν την αντίδρασή τους με βάση τη νέα θέση του ηχείου, και αφετέρου να μη μπορούμε να βγάλουμε ασφαλή συμπεράσματα για τον αμιγή ρόλο που μπορεί να έχει ο ήχος, χωρίς την επίδραση της ανταμοιβής (τροφή). Εξάλλου, το οπτικό ερέθισμα είναι ιδιαίτερα σημαντικό στα είδη που μελετάμε και τα οποία είναι θηρευτές (Chatain et al., 1991).

Όταν εκπέμπεται ήχος 800 Hz, οι τσιπούρες και τα λαβράκια τείνουν άλλοτε να συγκεντρωθούν κάτω ή γύρω από το ηχείο, και άλλοτε όχι. Αν θεωρήσουμε τα 800 Hz το όριο πάνω από το οποίο τα ψάρια αντιλαμβάνονται τον ήχο μόνο σαν κύμα πίεσης – σύμφωνα με την παρατήρηση του Tavalga (1987)- εξηγείται ίσως το γεγονός ότι στη συχνότητα αυτή η συμπεριφορά δεν είναι πάντα η ίδια.

Μία άλλη περίπτωση εντοπισμένης κίνησης κάτω από το ηχείο, αφορά συμπεριφορά διεκδίκησης του χώρου του ηχείου, η οποία παρατηρήθηκε από ένα ψάρι (τσιπούρα) κατά τη διάρκεια πειραματισμών για τη συχνότητα των 1250 Hz. Το γεγονός ότι αυτή η **χωροκρατική συμπεριφορά** συμβαίνει ήδη πριν την εκπομπή του ήχου – παρατηρείται από τη στιγμή που αρχίζει η καταγραφή, αλλά και σε άλλες στιγμές της ημέρας– και σταματά όταν πέσει η τροφή, καθώς και το ότι επαναλαμβάνεται σταθερά σε κάθε δοκιμή αυτής της συχνότητας, μας οδηγεί στο εξής συμπέρασμα: η συγκεκριμένη συχνότητα δε μπορεί να γίνει αντιληπτή, αλλά λόγω του ότι έχουν προηγηθεί οι χαμηλότερες συχνότητες που δοκιμαστήκαν, το άτομο που εμφανίζει τη χωροκρατική συμπεριφορά, έχει μάθει ότι η διαδικασία χορήγησης τροφής αρχίζει από το ηχείο. Έτσι, κινείται γύρω από αυτό περιμένοντας την τροφή. Επειδή, ο ήχος δε γίνεται αντιληπτός, τελικά αυτό που το κατευθύνει προς την τροφή είναι ο ήχος της όταν πέφτει στο νερό και το οπτικό ερέθισμα –κόκκοι στην επιφάνεια του νερού. Τέλος, η εμφάνιση χωροκρατικής συμπεριφοράς από ένα άτομο μέσα στο ενυδρείο, είναι ένδειξη κοινωνικής συμπεριφοράς, η οποία μάλιστα, σχετίζεται με ένα κυρίαρχο ψάρι –leader– το οποίο αφενός διεκδικεί το ηχείο, αφετέρου ηγείται στο νέο τρόπο χορήγησης τροφής. Τέτοια πρότυπα συμπεριφοράς είναι γνωστά τόσο για το λαβράκι, όσο και για την τσιπούρα και έχουν περιγραφεί από τους Anthouard et al., (1986), ενώ οι Tateda et al., (1985) αναφέρουν ότι η συμπεριφορά ενός συνόλου ψαριών αποσταθεροποιείται όταν εμφανιστεί ένα κυρίαρχο άτομο (leader) το οποίο παρεμβαίνει στις κινήσεις των άλλων.

Κυκλικές κινήσεις γύρω από το ηχείο παρατηρούνται για πρώτη φορά κατά την εκπομπή ήχου 800 Hz, και μάλιστα είναι πιο έντονες στην υψηλότερη από τις εντάσεις που δοκιμάστηκαν. Η παρατήρηση αυτή έχει ενδιαφέρον για 2 λόγους: α) λόγω του ότι τα 800 Hz είναι η τρίτη συχνότητα που δοκιμάζεται, φαίνεται ότι τα ψάρια έχουν εκπαιδευτεί κατά το πρότυπο της εξαρτημένης αντίδρασης και έχουν συνδυάσει τον ήχο με την ανταμοιβή (τροφή) και β) σύμφωνα με όσα υποστηρίζει ο Tavalga (1987), τα 800 Hz είναι το όριο, κάτω από το οποίο ο ήχος γίνεται αντιληπτός από τα ψάρια κυρίως λόγω των παλμικών κινήσεων του νερού κάτω από το ηχείο. Κυκλική κίνηση ψαριών κάτω από την ηχητική πηγή, όταν ακούγεται το σήμα, δηλώνει ότι ο παλμός γίνεται αντιληπτός, ιδιαίτερα δε στις υψηλότερες



εντάσεις, αν δεχτούμε ότι η συχνότητα αυτή είναι το όριο αντίληψης του ήχου με αυτόν τον τρόπο.

Στη δεύτερη σειρά πειραμάτων με τσιπούρες μέσου μήκους 7,0 cm σε ενυδρείο, δεν παρατηρήθηκε χωροκρατική συμπεριφορά, ούτε φάνηκε να υπάρχει κάποιος leader για καμία από τις συχνότητες που δοκιμάστηκαν. Συγκρίνοντας τη συμπεριφορά των ατόμων στα 1250 Hz, με το πείραμα όπου εμφανίστηκε ο leader, οι τσιπούρες δε μεταβάλλουν τη συμπεριφορά τους κατά την εκπομπή του ήχου, - επιβεβαιώνοντας ότι η συγκεκριμένη συχνότητα δε γίνεται αντιληπτή- ενώ η κίνησή τους εντοπίζεται στον ευρύτερο κεντρικό χώρο και όχι στο στενότερο του ηχείου – όπως παρατηρήθηκε για τον leader.

Γενικά, η **κεντρική περιοχή του ενυδρείου**, φαίνεται να συγκεντρώνει το ενδιαφέρον του είδους *S. aurata*, τόσο στο ενυδρείο με το ηχείο, όσο και στο Μάρτυρα. Η παρατήρηση αυτή, αποκλείει την πιθανότητα το ηχείο αυτό καθαυτό να αποτελεί αντικείμενο έλξης για τα ψάρια. Πιθανόν, το ίδιο το σχήμα του ενυδρείου – παραλληλόγραμμο- να προτρέπει τον εντοπισμό των ψαριών στο κέντρο. Οι κυκλικές δεξαμενές δίνουν τη δυνατότητα στα ψάρια να κινούνται διαρκώς, χωρίς να πρέπει να αλλάξουν κατεύθυνση μόλις φτάσουν στη μία άκρη, όπως συμβαίνει σε παραλληλόγραμμη διάταξη. Επίσης, οι δυνάμεις συνοχής που αναπτύσσονται σε ένα κοπάδι ψαριών είναι μεγαλύτερες σε κυκλική δεξαμενή. Γενικά, η συμπεριφορά των κοπαδιών τείνει να μην είναι φυσιολογική μέσα σε τετράγωνες δεξαμενές οι οποίες προκαλούν stress, και τότε τα ψάρια τείνουν να κρύβονται στις γωνίες (Takagi et al., 2004). Αν συνδυάσουμε τα παραπάνω με το γεγονός ότι οι 2 ταΐστρες (ηλεκτρική και αυτοδιατροφής) στο Μάρτυρα βρίσκονται στην άκρη του ενυδρείου, αλλά παρόλα αυτά τα ψάρια εντοπίζονται με μεγαλύτερη συχνότητα στην ευρύτερη περιοχή του κέντρου, ενισχύεται η άποψη ότι αυτή είναι η περιοχή που προτιμούν. Στο ενυδρείο με ήχο, έχουμε επιπλέον 3 αντικείμενα ενδιαφέροντος σε αυτή τη ζώνη: το ηχείο και τις 2 ταΐστρες.

Σε όλα τα πειράματα που έγιναν σε ενυδρείο, βρίσκονταν μέσα σε αυτό **2 ταΐστρες (1 ηλεκτρική και 1 αυτοδιατροφής)**, αλλά κατά τη διάρκεια των πειραματισμών, τροφή χορηγούνταν μόνο από την ηλεκτρική. Κάποιες καταγραφές που έγιναν αρχικά εστιάζοντας στο μοχλό της ταΐστρας αυτοδιατροφής, έδειξαν ότι ενίοτε οι τσιπούρες τον κινούν, τόσο στο Μάρτυρα, όσο και στο ενυδρείο με ήχο. Το γεγονός αυτό μας οδηγεί στο εξής συμπέρασμα: α) στο ενυδρείο με ήχο, οι τσιπούρες φαίνεται να αντιλαμβάνονται ότι πρώτα ενεργοποιείται το ηχείο και μετά η ταΐστρα, διατηρούν όμως στη μνήμη τους ότι η ταΐστρα αυτοδιατροφής λειτουργεί κατά καιρούς (ημέρες παύσης), και συνεπώς προσέρχονται σε αυτήν είτε διότι δεν έχουν πλήρως εξοικειωθεί με την ηλεκτρική ταΐστρα, είτε διότι έτσι κι αλλιώς αυτήν δεν μπορούν να την ενεργοποιήσουν β) ο πληθυσμός του Μάρτυρα δε διαθέτει σαφές σημείο αναφοράς –τουλάχιστον χρονικά- για τη στιγμή χορήγησης της τροφής, ενώ επιπλέον, σε ότι αφορά την οπτική εικόνα, διατηρούν τη μνήμη ότι η ταΐστρα αυτοδιατροφής κατά καιρούς λειτουργεί ως εργαλείο χορήγησης τροφής.

Τα παραπάνω συμβαίνουν τις πρώτες ημέρες διεξαγωγής των πειραμάτων, ενώ όσο προχωρά η διαδικασία, ο ρόλος των αντικειμένων αποσαφηνίζεται και τυχόν χτυπήματα του μοχλού στην ταΐστρα αυτοδιατροφής, θα πρέπει να θεωρηθούν μάλλον τυχαία. Δοκιμές που έγιναν σε ενυδρείο, όπου εκπέμπεται για πρώτη φορά ηχητικό σήμα και τα ψάρια έχουν τη δυνατότητα να φάνε από την ταΐστρα αυτοδιατροφής, δείχνουν ότι και τα 2 ερεθίσματα γίνονται αντιληπτά, δεν υπάρχει όμως, σύνδεση μεταξύ των δύο, ούτε ιεράρχηση στις διαδικασίες. Αυτό συμβαίνει μετά από μερικές επαναλήψεις και μάλιστα, αλλαγή της συχνότητας του ηχητικού

ερεθίσματος –εφόσον γίνεται αντιληπτή- λειτουργεί αθροιστικά στη διαδικασία μάθησης της νέας συμπεριφοράς. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο στα αποτελέσματα οι συχνότητες εμφανίζονται πάντα με τη σειρά που δοκιμάστηκαν. Έτσι, όταν οι τσιπούρες εκτέθηκαν σε ήχο 800 Hz, είχαν ήδη την εμπειρία των 200 και 500 Hz. Η παρατήρηση αυτή ενισχύει την υπόθεση ότι συχνότητες μεγαλύτερες των 1000 Hz, δε γίνονται αντιληπτές, αφού τα ψάρια ενώ έχουν ήδη την εμπειρία, δεν αποκρίνονται στις υψηλές συχνότητες, αλλά διατηρούν τη μνήμη της νέας συμπεριφοράς και την ανακαλούν όταν ακουστεί χαμηλή συχνότητα. Αυτό έγινε με τα 100 Hz, συχνότητα που δοκιμάστηκε τελευταία σε τσιπούρες που αρχικά εκτέθηκαν σε ηχητικό ερέθισμα για 24 ημέρες, ακολούθησε παύση κάθε ήχου για 22 ημέρες, έκθεση εκ νέου σε ήχο 5000 Hz –όπου δεν υπήρξε καμία διαφορά στη συμπεριφορά- και τέλος εκπομπή συχνότητας 100 Hz, όπου τα ψάρια συγκεντρώθηκαν αμέσως στο ηχείο και γύρω από αυτό.

Γενικά, οι εργασίες που έχουν γίνει και αφορούν την απόκριση ή την εκπαίδευση διαφορετικών ειδών ψαριών σε συγκεκριμένες συχνότητες, μέσω της εξαρτημένης αντίδρασης, καταλήγουν ότι χαμηλές συχνότητες είναι οι πλέον κατάλληλες. Έτσι, σύμφωνα με τη μελέτη του Abbott (1972), πέστροφες του είδους *Salmo gairdneri*, είναι δυνατό να εκπαιδευτούν, ώστε να πηγαίνουν να τρώνε στην πηγή υποβρύχιου ακουστικού ερεθίσματος συχνότητας 150 Hz. Εξάλλου, το 1976 ο Landless, επιχείρησε να εφαρμόσει τη μέθοδο της εξαρτημένης αντίδρασης σε εκτρεφόμενες πέστροφες, προκειμένου να αποκρίνονται σε ηχητικό ερέθισμα που εκπέμπεται πριν τη χορήγηση τροφής. Η συχνότητα που δοκίμασε και η οποία φάνηκε να έχει θετική απόκριση ήταν τα 100 Hz. Οι Willis et al. (2002) κατέληξαν στο ότι συχνότητα 600 Hz, μπορεί να συγκεντρώσει κυπρίνους του είδους *Ctenopharyngodon idellus* σε ποσοστό 94%, εφόσον έχουν εκπαιδευτεί στην εκπομπή ήχου, ενώ οι Zhang et al., (2004) για το ίδιο είδος πέτυχαν συγκέντρωση 100% με συχνότητα 400 Hz. Και στις δύο εργασίες, η εκπομπή του ήχου συνδυάζεται με την ανταμοιβή τροφής.

Μια έμμεση **απόδειξη** που αφορά την **ακουστική προτίμηση** των ψαριών για τις **χαμηλές συχνότητες**, αποτελεί το μήκος των βλεφαρίδων που βρίσκονται στην κορυφή των αισθητικών κυττάρων. Είναι γνωστό ότι στις σαύρες και τα πουλιά, οι περιοχές που έχουν μακρύτερες βλεφαρίδες είναι υπεύθυνες για τον εντοπισμό ήχων χαμηλής συχνότητας, ενώ κοντύτερες βλεφαρίδες σχετίζονται με την ανίχνευση υψηλόσυχνων σημάτων. Τα ψάρια που έχουν μελετηθεί διαθέτουν μακριές βλεφαρίδες και δείχνουν να αντιλαμβάνονται καλύτερα τις χαμηλές συχνότητες (Lovell et al., 2005).

Μία άλλη πιθανή εξήγηση για το γεγονός ότι τα περισσότερα είδη που έχουν μελετηθεί αποκρίνονται καλύτερα στις χαμηλές συχνότητες, ιδιαίτερα δε όταν η εκπομπή του ήχου συνοδεύεται με ανταμοιβή τροφής, βρίσκεται στο είδος των ήχων που εκπέμπουν τα ψάρια όταν τρώνε. Οι Choo et al. (1988), κατέγραψαν τους ήχους που παράγουν 7 είδη ψαριών –μεταξύ των οποίων και το *Lateolabrax japonicus*- κατά την τροφοληψία και οι οποίοι εντοπίζονται μέσα στο φάσμα 11 – 430 Hz. Οι Lagardère και Mallekh κατέγραψαν το 2000 τους ήχους που παράγει κατά την πρόσληψη τροφής το καλκάνι (*Scophthalmus maximus*). Στην εργασία αυτή γίνεται ανάλυση του φάσματος των ήχων που καταγράφονται, οι οποίοι περιλαμβάνονται σε ένα ευρύτατο φάσμα συχνοτήτων (20 – 25.000 Hz). Το ίδιο ευρύ είναι και το φάσμα συχνοτήτων που έχουν οι ήχοι τροφοληψίας της πέστροφας. Γενικά, ήχοι που οφείλονται στην ξαφνική επιτάχυνση του ψαριού προκειμένου να αρπάξει την τροφή, βρίσκονται μέσα στο φάσμα 40 – 160 Hz. Ο ήχος από τον παφλασμό της επιφάνειας

του νερού (splashing) είναι από 20 – 380 Hz, ενώ οι ήχοι που σχετίζονται με την αλλαγή πίεσης μέσα στη στοματική κοιλότητα, όταν αυτή ανοίγει, καθώς και με το τρίψιμο ανάμεσα στα δόντια και τα κόκαλα μπορεί να καλύπτουν ένα φάσμα από 2.000 ως 20.000 Hz. Άρα, τα ψάρια εκπέμπουν ήχους χαμηλών συχνοτήτων όταν αρπάζουν την τροφή, ενώ κι αυτός ακόμα ο ήχος των κόκκων τροφής όταν πέφτουν στο νερό αρχικά εντοπίζεται στη ζώνη από 500 μέχρι 1000 Hz, και στη συνέχεια ξανά γύρω στα 6.000 Hz. Σύμφωνα με τα παραπάνω, όταν εκπέμπονται ήχοι χαμηλής συχνότητας, πιθανόν ενεργοποιούν τα ψάρια για τη διαδικασία της λήψης τροφής. Αντίθετα, ήχοι υψηλών συχνοτήτων, αφορούν την επεξεργασία της τροφής αφού έχει προσληφθεί και δεν παρουσιάζουν το ίδιο ενδιαφέρον.

Επιπλέον, όσο χαμηλότερη είναι η συχνότητα, τόσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση που μπορεί να ταξιδέψει ο ήχος. Η πρόσληψη τροφής είναι ζωτικής σημασίας και άρα η διάδοση της πληροφορίας για τον εντοπισμό τροφής, αποτελεί σαφώς εξελικτικό πλεονέκτημα για τους οργανισμούς που μπορούν να την αξιοποιήσουν. Αντίθετα, ήχοι υψηλών συχνοτήτων δε φαίνεται να σχετίζονται άμεσα με ζωτικές ανάγκες των τελεόστων, οι οποίοι για παράδειγμα, δεν αντιλαμβάνονται τα σήματα αυτής της κατηγορίας που εκπέμπουν τα θαλάσσια θηλαστικά, και τα οποία συνήθως δε σχετίζονται με την πρόσληψη τροφής (Tavolga & Wodinsky, 1963, Hawkins, 1973).

Στα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν σε ενυδρείο, δε φάνηκε να παίζει ρόλο στην απόκριση των ψαριών στον ήχο, το χρονικό διάστημα της ημέρας –**πρωί, μεσημέρι, απόγευμα**- κατά το οποίο γίνονταν η εκπομπή του σήματος. Αν και τόσο η τσιπούρα, όσο και το λαβράκι, από τη φύση τους αναζητούν τροφή κυρίως τις ώρες της ημέρας με χαμηλό φωτισμό –πρωί και το δειλινό- (Marchesan et al., 2005), εντούτοις οι συνθήκες εκτροφής, τα αναγκάζουν να προσαρμόζονται και να διαμορφώνουν τον τρόπο αντίδρασής τους στα εξωτερικά ερεθίσματα, μέσω της διαδικασίας μάθησης-μνήμης. Το λαβράκι, η τσιπούρα και το φαγκρί, δείχνουν να έχουν την απαιτούμενη «ελαστικότητα» προκειμένου να διαμορφώσουν τη συμπεριφορά τους στις εκάστοτε συνθήκες, ιδιότητα που τα κατατάσσει ανάμεσα στα πλέον επιτυχημένα είδη των ιχθυοκαλλιεργειών. Έτσι, αποκρίνονται στο νέο τρόπο χορήγησης τροφής, αφού το αίσθημα της πείνας κυριαρχεί έναντι των άλλων προτιμήσεων.

Επίσης, οι **εντάσεις** που δοκιμάστηκαν δε φάνηκε να έχουν διαφορές στη διαμόρφωση της συμπεριφοράς των ειδών. Αυτό μπορεί να σημαίνει, αφενός ότι το αίσθημα της πείνας είναι πρωτεύον και εφόσον ο ήχος σχετίζονταν με αυτό, όταν γινόταν αντιληπτός τα ψάρια αντιδρούσαν άμεσα. Επίσης, πιθανώς το ενυδρείο να αποτελεί περιορισμένο περιβάλλον για τη μελέτη διαφορετικών εντάσεων, ή το φάσμα των εντάσεων που δοκιμάστηκε είναι στο μέσο της ακουστικής ικανότητας των ψαριών με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν διαφορές στη συμπεριφορά ή αν υπάρχουν να μην είναι εύκολα αναγνωρίσιμες. Εξάλλου, στα πειράματα που πραγματοποιήσαμε ο σκοπός ήταν να ανιχνευτούν αλλαγές στη συμπεριφορά, που σχετίζονται με την εκπομπή ήχου και όχι να μετρηθεί η ακουστική ευαισθησία των ειδών που μελετήσαμε.

Τα **λαβράκια** μέσα στο ενυδρείο, έτειναν να σχηματίζουν **κοπάδι** μόλις ακούγονταν το ηχητικό σήμα και κινούνταν όλα μαζί ανάμεσα στο ηχείο και την ταΐστρα. Άρα, ο αρχικός σκοπός των πειραματικών δοκιμών για αυτό το είδος, επιτεύχθηκε εν μέρει, με την έννοια ότι εφόσον ακούγονταν κατάλληλος ήχος, τα ψάρια μαζεύονταν –και μάλιστα σε κοπάδι- αλλά δεν είναι σαφές αν η απόκριση

αυτή αφορά το ηχητικό ερέθισμα ή την επικείμενη χορήγηση τροφής. Αυτό που μπορούμε να πούμε με σιγουριά είναι ότι τα λαβράκια μπορούν να εκπαιδευτούν με χρήση κατάλληλου ηχητικού σήματος, ώστε να συγκεντρωθούν προκειμένου να φάνε (conditioned response). Σε ότι αφορά την κίνησή τους, είναι γρήγορη και γίνεται κυρίως οριζόντια, ενώ μετακινούνται κάθετα (στη στήλη του νερού) όταν υπάρχει κάποιο ερέθισμα (ήχος, ή τροφή). Χαρακτηριστικό της οικολογίας του είδους αυτού, είναι η αναζήτηση περιοχών με έντονη ανατάραξη νερού, όπως παραλίες με μεγάλα κύματα ή βραχώδεις ακτές. Γενικά, άτομα που ζουν σε περιβάλλον όπου το νερό έχει έντονη ροή τείνουν να έχουν επίμηκες, υδροδυναμικό σχήμα σώματος και μεγάλο ουραίο πτερύγιο (McLaughlin & Grant, 1994). Τα χαρακτηριστικά αυτά ορίζουν γρήγορη προώθηση σώματος και ταιριάζουν σε θηρευτή όπως είναι το λαβράκι. Εξάλλου, ο σχηματισμός κοπαδιού αυξάνει την κατευθυντικότητα και το συντονισμό της απόκρισης του συνόλου των ατόμων (Domanici & Batty, 1996).

Η κίνηση που έχουν τα **φαγκριά**, είναι γρήγορη και παράλληλα με την οριζόντια μετακίνησή τους, κινούνται διαρκώς πάνω - κάτω στη στήλη του νερού. Το σώμα τους είναι πλευρικά πιεσμένο και λιγότερο επίμηκες το οποίο παίζει ρόλο στον τρόπο κολύμβησης. Εξάλλου, πρόκειται για είδος που τρέφεται με καρκινοειδή τα οποία θηρεύει στο βυθό και αυτή την ιδιότητα διατηρεί ακόμα και σε συνθήκες εκτροφής, όπως αναφέρει ο Okamoto στην εργασία του για το είδος *Pagrus major* (1982). Αυτή ακριβώς η ιδιότητα, είναι πιθανώς η ερμηνεία για την κίνηση πάνω-κάτω που παρατηρείται στα φαγκριά μέσα σε ενυδρείο.

Τέλος, η **τσιπούρα** κινείται σε όλο το ενυδρείο, χωρίς επαναλαμβανόμενες κινήσεις πάνω και κάτω στη στήλη του νερού. Σε αντίθεση με όσα αναφέρθηκαν για το φαγκρί, δεν τρέφεται από το βυθό. Κατά την εκπομπή κατάλληλου ηχητικού σήματος, οι τσιπούρες συγκεντρώνονται στην περιοχή του ηχείου, αλλά δε σχηματίζουν κοπάδι, με την έννοια ότι δεν κινούνται όλες μαζί μέχρι να πέσει τροφή.

**Συνοψίζοντας** : τα πειράματα εξαρτημένης αντίδρασης που έγιναν σε ενυδρείο, συνδυάζοντας την εκπομπή ηχητικού σήματος με τη χορήγηση τροφής, έδειξαν ότι **α)** με τη μέθοδο της εξαρτημένης αντανακλαστικής αντίδρασης επιτυγχάνεται σύνδεση του ηχητικού ερεθίσματος με τη χορήγηση τροφής και για τα 3 είδη που μελετήθηκαν **β)** οι τσιπούρες και τα λαβράκια είναι γενικοί ακροατές, που αντιλαμβάνονται καλά ήχους 100, 200 και 500 Hz, ενώ λιγότερο καλά 800 Hz **γ)** γενικός ακροατής δείχνει να είναι και το φαγκρί, για το οποίο, όμως, απαιτούνται επιπλέον πειραματικές δοκιμές **δ)** οι τσιπούρες, τόσο στο ενυδρείο με ήχο όσο και στο Μάρτυρα, εμφανίζουν σαφή προτίμηση για την κεντρική περιοχή του ενυδρείου, τα λαβράκια κινούνται κυρίως οριζόντια και σχηματίζουν κοπάδι όταν ακούγεται ο ήχος, ενώ τα φαγκριά κινούνται πάνω - κάτω και τείνουν επίσης να σχηματίσουν κοπάδι **ε)** η συμπεριφορά που διαμορφώνουν τα ψάρια που εκτίθενται σε ηχητικό ερέθισμα παρουσιάζεται σταθερή κατά τη διάρκεια της ημέρας (πρωί- μεσημέρι- βράδυ), και υπάρχει στη μνήμη, έτσι ώστε να είναι δυνατή η ανάκλησή της, ακόμα και μετά από παύση.

## **B) Δεξαμενές**

Το πρωτόκολλο διεξαγωγής των πειραμάτων στις δεξαμενές περιλάμβανε δύο σημαντικές **βελτιώσεις** : **α)** με δεδομένο ότι οι τσιπούρες είχαν ανταποκριθεί στο ηχητικό ερέθισμα στο ενυδρείο, ο κύριος στόχος των πειραματικών δοκιμών στις δεξαμενές ήταν **να εκπαιδευτούν** σε 3 συχνότητες (200, 500 και 800 Hz), ώστε να

μαζεύονται γύρω από το υποβρύχιο ηχείο για να φάνε **β**) η τροφή χορηγείται **αμέσως μετά** από κάθε εκπομπή ηχητικού σήματος.

Οι 3 διαφορετικές συχνότητες δοκιμάστηκαν με τη σειρά 200 Hz, 500 Hz και τέλος τα 800 Hz. Δεδομένου ότι η εκπαίδευση έγινε σε έναν πληθυσμό ψαριών –τον ίδιο και για τις 3 συχνότητες- κρίσιμη ήταν η αντίδραση των εκπαιδευόμενων τσιπούρων για τα 200 Hz. Μετά από 4 ημέρες πειραματισμού, τα ψάρια φάνηκε ότι έχουν συνδυάσει την εκπομπή του ήχου με τη χορήγηση τροφής στο σημείο που βρίσκονταν το ηχείο. Στα πειράματα που έκαναν οι Fujiya et al., (1980), με ιαπωνικές τσιπούρες (*Pagrus major*) 2 cm και με ήχο συχνότητας 200 Hz, αναφέρουν ότι κάποια ψάρια εκπαιδεύονται ήδη μέσα σε 2 ημέρες –η εκπομπή του σήματος και το τσίγμα γίνονταν 4 φορές τη μέρα-, ενώ μέσα σε 2 εβδομάδες το σύνολο των ψαριών μαζεύεται γύρω από το ηχείο αμέσως μετά την εκπομπή του σήματος. Επίσης, η απόκριση αυτή παραμένει ακόμα και αν αλλάξει η συχνότητα του ηχητικού σήματος, αλλά δεν είναι το ίδιο έντονη. Στα πειράματα που πραγματοποιήσαμε, όταν άλλαξε η συχνότητα, οι τσιπούρες αποκρίθηκαν αμέσως –αν και ελαφρά συγκρατημένες την 1<sup>η</sup> ημέρα- χωρίς να γίνει εκπαίδευση εκ νέου. Παρόλα αυτά, οι Larson και Donaldson (1969), αναφέρουν ότι 10 ημέρες δεν είναι αρκετές για να εκπαιδευτεί σε ήχο το σύνολο των ψαριών (*Salmo gairdneri*), αν και στο διάστημα αυτό αποκρίνονται περίπου οι μισές πέστροφες. Προφανώς, ο χρόνος εκπαίδευσης εξαρτάται από την ικανότητα του είδους για μάθηση και μνήμη, αλλά και από τις συνθήκες κάτω από τις οποίες γίνεται αυτή.

Οι τσιπούρες εκτέθηκαν στη συχνότητα των 200 Hz, για 23 ημέρες. Αν και κατά τη διάρκεια αυτού του διαστήματος μεσολάβησαν κάποιες **ημέρες παύσης** –κατά τις οποίες δεν έγινε εκπομπή ήχου- τα ψάρια δεν παρουσίασαν καμία μεταβολή στη συμπεριφορά που είχαν υιοθετήσει. Οι Fujiya et al., (1980), αναφέρουν ότι η απόκριση των ψαριών που εκπαιδεύσαν στα 200 Hz, διατηρήθηκε για διάστημα 2 μηνών, και δε μεταβλήθηκε από τους χειρισμούς που έγιναν μέσα σε αυτή την περίοδο (αναισθησία, θεραπεία για πρόληψη ασθενειών). Αυτό σημαίνει ότι η νέα συμπεριφορά αποτελεί μόνιμη μεταβολή, την οποία για κάποιο διάστημα τα ψάρια έχουν την ικανότητα να ανακαλέσουν εφόσον υπάρχει το ερέθισμα, ακόμα και αν παρεμβάλλονται ημέρες χωρίς αυτό.

Η **συσχέτιση** του ήχου με τη χορήγηση **τροφής**, είναι ευκολότερη όταν η τροφή ακολουθεί αμέσως ή και κατά τη διάρκεια του ήχου. Οι Tanyolga και Wodinsky (1963), αναφέρουν ότι αν ο χρόνος μεταξύ του ερεθίσματος και της ανταμοιβής είναι μεγάλος, δεν μπορεί να γίνει η σύνδεση των δύο, ενώ όταν είναι πολύ σύντομος τα άτομα που είναι αργά δεν προλαβαίνουν να αντιδράσουν. Επίσης, οι Wang και Takemura στην εργασία τους πάνω στην εξαρτημένη αντίδραση του χρυσόψαρου το 1992, διαπιστώνουν ότι εφόσον τα ψάρια έχουν εκπαιδευτεί να συγκεντρώνονται όταν εκπέμπεται ήχος και αμέσως μετά να τρώνε, αν γίνει εκπομπή του ήχου χωρίς να δοθεί τροφή, μετά από 6 φορές σταματούν να συγκεντρώνονται. Όταν μετά το σήμα ξαναδόθηκε τροφή, τα ψάρια μαζεύτηκαν και πάλι. Όταν διακόπηκε η χορήγηση τροφής ενώ ακόμα ακουγόταν το σήμα, τα ψάρια αρχικά παρέμειναν για 6 με 8 λεπτά στη θέση ταΐσματος και στη συνέχεια διασκορπίστηκαν. Το τελικό συμπέρασμα ήταν ότι σε εκπαιδευμένα χρυσόψαρα, η απόκριση στον ήχο προκειμένου να φάνε, εξασθενεί μέσα σε 1 με 3 λεπτά όταν διακοπεί αυτή η συσχέτιση, αλλά επανέρχεται όταν ξαναγίνει ο συνδυασμός των 2 ερεθισμάτων.

Για τα πειράματα που έγιναν στις δεξαμενές, επιλέχτηκε να γίνεται εκπομπή ηχητικού σήματος 3 φορές κατά τη διάρκεια της καταγραφής και να χορηγείται τροφή μετά από κάθε σήμα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι τσιπούρες αποκρίνονται

ήδη από το πρώτο σήμα και πιθανόν ένα σήμα να είναι αρκετό για να ταϊστούν τα ψάρια, τουλάχιστον μέσα σε δεξαμενή. Εξάλλου, ο χρόνος που μεσολαβεί ανάμεσα στα σήματα (2 min), δεν είναι αρκετός για να επανέλθει η συμπεριφορά των ψαριών, ενώ αυτό που παρατηρείται είναι, μεταξύ των σημάτων τα άτομα να ψάχνουν ακόμα την τροφή που έπεσε.

Το ερώτημα που προκύπτει είναι αν οι τσιπούρες ανταποκρίνονται στον ήχο, ή αν πλησιάζουν το ηχείο διότι περιμένουν την ανταμοιβή (τροφή). Αν και μάλλον το κίνητρο για την απόκριση στον ήχο είναι η τροφή, εντούτοις τα συγκεκριμένα πειράματα δεν μπορούν να δώσουν σαφή απάντηση στο ερώτημα αυτό. Προκειμένου να συμπεράνουμε ποια είναι η αντίδραση των ψαριών σε αμιγές ηχητικό ερέθισμα, θα πρέπει να γίνουν πειράματα χωρίς να υπάρχει ανταμοιβή. Το σίγουρο πάντως είναι ότι ενήλικα άτομα τσιπούρας, μπορούν να εκπαιδευτούν με χρήση ήχου για να συγκεντρώνονται σε ένα σημείο όπου θα φάνε. Αντίθετα, ο Μάρτυρας ο οποίος δεν εκτίθεται σε ηχητικό ερέθισμα, χρησιμοποιεί την όραση για να προσέλθει στο σημείο χορήγησης της τροφής, χωρίς να υπάρχει άλλη προειδοποίηση. Τα εκτρεφόμενα είδη, έχουν την ικανότητα να εντοπίζουν γρήγορα τους κόκκους τροφής, όταν αυτοί πέφτουν στο νερό. Επιπλέον, οι κόκκοι αυτοί λόγω της χαμηλής περιεκτικότητας σε υγρασία, αλλά και της παρουσίας συνεκτικών συστατικών – όπως η κυτταρίνη- διατηρούν αναλλοίωτο το σχήμα τους για λίγο, όταν πέφτουν στο νερό (Πασπάτης, 1992). Έτσι, οι τσιπούρες βλέπουν την τροφή που πέφτει και πηγαίνουν να φάνε. Η παρατήρηση αυτή ισχύει και για το ενυδρείο και επιβεβαιώνει ότι η συσχέτιση του ήχου με την τροφή με σκοπό το τάισμα εκτρεφόμενων ειδών, έχει κυρίως νόημα σε περιβάλλοντα όπου τα ψάρια ενδέχεται να μην μπορούν να δουν την τροφή και άρα αν με κάποιο τρόπο συγκεντρώνονται στο σημείο και τη στιγμή όπου αυτή θα πέσει, εξοικονομείται αφενός ενέργεια και αφετέρου καταναλώνεται όλη η τροφή που χορηγείται.

Κατά τη διάρκεια των πειραματικών δοκιμών στις δεξαμενές και εφόσον τα ψάρια αποκρίνονταν στον ήχο, μεταβλήθηκε η **διάρκεια εκπομπής του σήματος** – από 30 s, σε 60 s, 15 s και 5 s. Όποια και να ήταν η διάρκειά του, ακολουθούσε τροφή. Διαπιστώθηκε ότι η βέλτιστη διάρκεια ηχητικού σήματος στις συνθήκες του πειράματος φαίνεται να είναι από 15 μέχρι 30 s. Οι Zhang et al., (2004 (b)), εκπαίδευσαν κυπρίνους να προσέρχονται σε σήμα 400 Hz διάρκειας 30 s. Μεγαλύτερη διάρκεια σήματος φαίνεται ότι δεν έχει πια την έννοια της προειδοποίησης, με αποτέλεσμα η απόκριση των ψαριών να εξασθενεί, κάτι που ενισχύει την υπόθεση ότι αυτό που τα προτρέπει να αντιδράσουν, είναι η ανταμοιβή. Οι Wang και Takemura (1992), αναφέρουν ότι όσο συντομότερο είναι το ερέθισμα, τόσο καλύτερα αποκρίνονται τα ψάρια.

Είναι ενδιαφέρον, ότι οι εκπαιδευμένες τσιπούρες στη συχνότητα των 200 Hz και στη συνέχεια των 500 και 800 Hz, εξακολούθησαν να αποκρίνονται με συγκέντρωση στο ηχείο, κατά την εκπομπή σύνθετων ήχων, με τη μορφή διαφορετικών ειδών μουσικής. Αυτό μπορεί να σημαίνει ότι ο τρόπος αντίληψης του ήχου δεν αλλάζει και εφόσον υφίσταται –μέσω ενεργοποίησης της πλευρικής γραμμής ή του έσω αυτιού- τα εκπαιδευμένα ψάρια αποκρίνονται με τον τρόπο που έχουν μάθει. Κάτι τέτοιο δε συμβαίνει όταν ακούγεται ζωντανή μουσική. Προφανώς, η εκπομπή του ήχου εξωτερικά –και όχι μέσα στο νερό- δε γίνεται αντιληπτή και έτσι δεν υφίσταται το ερέθισμα. Το ερώτημα που τίθεται είναι επομένως, αν μπορεί και η μουσική γενικότερα, να αποτελέσει ερέθισμα ικανό να συγκεντρώσει τσιπούρες. Με

δεδομένο ότι η **μουσική** αποτελεί συνδυασμό αισθητηριακής και νοητικής εμπειρίας, που στηρίζεται ακριβώς στην πολυπλοκότητα των ήχων, δε θεωρείται το καταλληλότερο ερέθισμα για την πρόκληση εξαρτημένης αντίδρασης σε κάποιον οργανισμό –για παράδειγμα στα ψάρια- ο οποίος αφενός δεν έχει ανάγκη μίας τόσο σύνθετης εμπειρίας, αφετέρου δεν μπορεί πιθανόν να την αντιληφθεί σαν τέτοια. Άρα, για την εκπαίδευση των ψαριών σε ηχητικό ερέθισμα, κρίνεται καταλληλότερη η εκπομπή απλών συχνοτήτων, και εφόσον τα ψάρια εκπαιδευτούν, προκειμένου να υπάρχει σαφής και σταθερή απόκριση, οι απλές συχνότητες είναι οι βέλτιστες.

Ένα σημαντικό θέμα που προκύπτει κυρίως στις δεξαμενές και αφορά τις συνθήκες πειραματισμού είναι ο **θόρυβος** που υπάρχει στο περιβάλλον. Πρόκειται για συνδυασμό ενός σφυρίγματος υψηλής συχνότητας, που οφείλεται στην παροχή νερού στις δεξαμενές και δονήσεων του εδάφους που προκαλούν θόρυβο χαμηλών συχνοτήτων. Οι Bart et al., (2001) αναφέρουν ότι η εντατικοποίηση στις ιχθυοκαλλιέργειες επιβάλλει τη χρήση αντλιών αέρα και νερού, καθώς και μηχανημάτων για το τάισμα και τη συντήρηση. Ιδιαίτερα όπου υπάρχει κλειστό σύστημα ανακύκλωσης νερού, τα επίπεδα θορύβου είναι υψηλά και οφείλονται στις ηλεκτρικές γεννήτριες, στα μηχανικά συστήματα καθαρισμού του νερού και στις αντλίες αέρα και νερού, που αναπόφευκτα βρίσκονται κοντά στα εκτρεφόμενα είδη. Χρόνια έκθεση σε τόσο υψηλά επίπεδα θορύβου, αναφέρεται ότι μπορεί να προκαλέσει μείωση στην αύξηση και την αναπαραγωγή, καθώς και αυξημένα ποσοστά θνησιμότητας. Επίσης κατά τους Bart et al., (2001), τα υψηλότερα επίπεδα θορύβου ανιχνεύονται σε μεγάλες πολυεστερικές δεξαμενές (διάμετρος 14 m), όπου ο θόρυβος που αντιστοιχεί στις χαμηλές συχνότητες, αποδίδεται στον παλμό των πολυεστερικών τοιχωμάτων, πιθανόν λόγω της παλμικής κίνησης από τη λειτουργία της αντλίας, η οποία μεταφέρεται στη δεξαμενή μέσω του εδάφους. Εκτός από τις χαμηλές συχνότητες, ανιχνεύονται και αρκετοί υπέρηχοι και ήχοι υψηλών συχνοτήτων μέσα και πέρα από τα ακουστά όρια που αποδίδονται στις αντλίες και την είσοδο νερού στις δεξαμενές. Γενικά, έχουν βρεθεί ανατομικές δυσλειτουργίες του έσω αυτιού σε ψάρια, που σχετίζονται με την έκθεση τους σε έντονο θόρυβο (Scholik & Yan, 2002), ενώ οι Wysocki και Ladich (2005) αναφέρουν ότι αυξημένα επίπεδα θορύβου μπορούν να διαταράξουν την ικανότητα εντοπισμού ήχων που σχετίζονται με τον προσανατολισμό, την ενδοειδική ακουστική επικοινωνία, τη σύλληψη τροφής ή τη διαφυγή θήρευσης, απλά και μόνο γιατί καλύπτουν τα ακουστικά σήματα. Οι ίδιοι καταλήγουν στο ότι η ακουστική ευαισθησία των «ειδικών ακροατών», μειώνεται αμέσως μετά την έκθεσή τους σε θόρυβο, ιδιαίτερα στο πεδίο των πιο ευαίσθητων συχνοτήτων. Ωστόσο, τα ψάρια είναι ικανά να ανακτούν την ακουστική τους ευαισθησία μετά από μερικές μέρες, πιθανώς λόγω αναγέννησης των τριχοειδών αισθητηρίων κυττάρων. Ο Hawkins το 1973, αναφέρει την ικανότητα των ψαριών να φιλτράρουν τον περιβάλλοντα θόρυβο, δηλαδή να διακρίνουν ηχητικά σήματα χαμηλής έντασης μέσα σε αυτόν. Ο Fay το 1995 (workshop), επισημαίνει ότι η ανίχνευση ηχητικών μηνυμάτων ορίζεται μάλλον όχι τόσο ως η ευαισθησία σε ένα ήσυχο περιβάλλον, αλλά ως η ικανότητα εξαγωγής σημάτων μέσα στο θόρυβο. Έχουν γίνει πολλά πειράματα σε διαφορετικά είδη ψαριών, σε συνθήκες εργαστηρίου και στο πεδίο και αυτό που παρατηρείται πάντα είναι το φαινόμενο του «cocktail party», δηλαδή τα ψάρια μπορούν να εστιάζουν στην πηγή που παράγει το σήμα και να απορρίπτουν το θόρυβο. Κάτι τέτοιο πρέπει να συμβαίνει και στις δεξαμενές, όπου ενώ τα επίπεδα θορύβου είναι πολύ υψηλά, εντούτοις τα ψάρια εντοπίζουν και αξιοποιούν τον καινούριο ήχο. Επίσης, αυτή είναι πιθανώς και η ερμηνεία για την αντίδραση των εκπαιδευμένων τσιπούρων στο

ερέθισμα της σύνθετης μουσικής, όπου από το πολύπλοκο σήμα ανιχνεύουν τις συχνότητες που έχουν συνδυαστεί με τη χορήγηση τροφής και αποκρίνονται. Αυτό αν συνδυαστεί με το οπτικό ερέθισμα του ηχείου που παραμένει σταθερό, εξηγεί την άμεση απόκρισή τους, παρά την πολυπλοκότητα του ερεθίσματος.

**Συνοψίζοντας** : τσιπούρες (*Sparus aurata*), μέσου βάρους 250g, εκπαιδεύτηκαν με τη μέθοδο της εξαρτημένης απόκρισης να συσχετίζουν ηχητικό σήμα 200, 500 και 800 Hz με τη χορήγηση τροφής, μέσα σε δεξαμενές 10 m<sup>3</sup>. Προϋπόθεση για την εκπαίδευσή τους αποτελεί η τροφή να χορηγείται αμέσως μετά το σήμα, ενώ φάνηκε ότι 1 σήμα διάρκειας 15 με 30 s είναι αρκετό. Μετά από 4 ημέρες σχεδόν το σύνολο του πληθυσμού αποκρινόταν στην εκπομπή του ήχου, ενώ τα ψάρια ήταν ικανά να ανακαλούν τη νέα συμπεριφορά ακόμα και μετά από 2 ημέρες παύσης. Όταν εκτέθηκαν σε σύνθετη μουσική ανταποκρίθηκαν, όχι όμως σε ζωντανή μουσική που εκπέμπεται στον αέρα και όχι στο νερό. Τα ψάρια φαίνεται πως έχουν την ικανότητα να φιλτράρουν το θόρυβο που υπάρχει στον περιβάλλοντα χώρο, και να εντοπίζουν το «καινούριο» ηχητικό σήμα.

### Γ) Πεδίο

Το πεδίο αποτελεί τον απώτερο στόχο όλων των προηγούμενων πειραματικών δοκιμών. Η εξαρτημένη αντίδραση εκτρεφόμενων ειδών έχει μεγαλύτερη οικονομική σημασία –εφόσον συσχετίζεται ήχος με τροφή– σε κλειστό κόλπο όπου τα ψάρια είναι ελεύθερα, αλλά υπάρχει αποτελεσματικός τρόπος να συγκεντρώνονται. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μόνο εφόσον τα ψάρια εκπαιδευτούν για ικανό χρονικό διάστημα και υιοθετήσουν συγκεκριμένη συμπεριφορά, την οποία ανακαλούν μόλις ακούγεται το κατάλληλο σήμα. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο, οι πειραματικές δοκιμές που πραγματοποιήσαμε στο πεδίο, περιλαμβάνουν 2 μέρη : **α)** εκπαίδευση σε ιχθυοκλωβούς και **β)** απελευθέρωση του πληθυσμού.

Στους ιχθυοκλωβούς, δοκιμάστηκαν 6 διαφορετικές συχνότητες, οι οποίες ήταν πολλές για το χρονικό διάστημα που διαθέταμε. Η **εκπαίδευση** είναι τόσο πιο αποτελεσματική, όσο πιο συγκεκριμένο και σταθερά επαναλαμβανόμενο είναι το ερέθισμα (Αμοτζ & Αβισάγκ Ζαχάβι, 2000). Οι Zhang et al., (2004 (c)), εκπαίδευσαν κυπρίνους αρχικά να προσέρχονται σε σταθερό σήμα συχνότητας 400 Hz, και στη συνέχεια να το ακολουθούν όταν αυτό κινείται –εκπομπή από σκάφος που κινείται. Οι ίδιοι αναφέρουν ότι ενώ αρχικά, όταν ακουγόταν το σήμα τα ψάρια απομακρύνονταν από την ηχητική πηγή, μετά από 6 ημέρες εκπαίδευσης, μόλις ακουγόταν ο ήχος οι κυπρίνοι κολυπούσαν γρήγορα προς την πηγή του ήχου, όπου ανέβαιναν προς την επιφάνεια και κολυπούσαν σχηματίζοντας κοπάδι γύρω της μέχρι να πέσει η τροφή. Είναι χαρακτηριστικό, ότι σε όλη τη διάρκεια των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκε σταθερά η ίδια συχνότητα.

Οι καλύτερα **αντιληπτές συχνότητες** είναι οι **χαμηλές** –όπως αναφέρθηκε εκτενώς για τις πειραματικές δοκιμές που έγιναν σε ενυδρείο και δεξαμενή. Οι Charman et al., (1974), διαπίστωσαν ότι οι χαμηλές συχνότητες ανάμεσα στα 30 και 110 Hz, που παράγονταν από τον εκπνεόμενο αέρα υποβρύχιων δυτών, προσέλκυαν ψάρια τα οποία είχαν συνδυάσει αυτούς τους ήχους με την παρουσία οργανισμών που αιωρούνταν λόγω της ανατάραξης του πυθμένα από τους δύτες.

Μια σημαντική δυσκολία στο πεδίο είναι ότι κανένας από τους **αβιοτικούς παράγοντες** δεν μπορεί να διατηρήσει σταθερές και απόλυτα προβλέψιμες τιμές. Έτσι, κατά την περίοδο πειραματισμού στον Αμβρακικό κόλπο, τα καιρικά



φαινόμενα που επικράτησαν επηρέασαν άμεσα τις συνθήκες διεξαγωγής του πειράματος. Κατά τις ημέρες που επικράτησαν πολύ υψηλές θερμοκρασίες, τα ψάρια δεν ανέβηκαν στην επιφάνεια σχεδόν καθόλου, ενώ όταν επικράτησαν ισχυροί άνεμοι, με την ανατάραξη του νερού υπήρχαν πολλά αιωρούμενα σωματίδια –τα οποία μείωναν την οπτική ευκρίνεια της κάμερας- και πάλι τα ψάρια προτίμησαν να είναι σε βαθύτερα στρώματα –στον ιχθυοκλωβό είχαν τη δυνατότητα να κατέβουν μέχρι 7 μέτρα βάθος. Το ίδιο φαινόμενο ανατάραξης του νερού προκάλεσε και η βροχή. Οι Fujiya et al., (1980) στα πειράματα που έκαναν στο πεδίο, σε ιαπωνικές τσιπούρες (*Pagrus major*) με τη μέθοδο της εξαρτημένης αντίδρασης, διαπίστωσαν ότι η απόκριση των ψαριών άλλαζε λόγω μεταβολών στη θερμοκρασία του νερού, στην αλατότητα, κατά τη διάρκεια βροχής ή θύελλας, η σημαντικότερη όμως αλλαγή στην απόκρισή τους σε ηχητικό ερέθισμα συνέβηκε όταν η θερμοκρασία του νερού έπεσε κάτω από τους 10° C. Μπορεί κατά τη διάρκεια διεξαγωγής των πειραματικών δοκιμών στον Αμβρακικό να μην είχαμε τόσο ακραία φαινόμενα, ωστόσο η μεταβλητότητα των αβιοτικών παραγόντων ήταν ένα σοβαρό θέμα, που συνδυαζόταν άμεσα με την απόκριση των τσιπύρων. Έτσι, ενώ φάνηκε να υπάρχει κάποια απόκριση κατά την 3<sup>η</sup> ημέρα εφαρμογής του ήχου, δεν επαναλήφθηκε σταθερά, γεγονός που συνδυάστηκε με τις αλλαγές των αβιοτικών παραμέτρων.

Τέλος, μέσα στον ιχθυοκλωβό είχαμε **χαμηλή ιχθυοφόρτιση**, γεγονός που παίζει ρόλο στη συμπεριφορά των ατόμων. Αφενός, δεν υπάρχει το stress του «συνωστισμού» -πολύς χώρος για λίγα άτομα- και αφετέρου, τα ψάρια κινούνται μάλλον ανεξάρτητα παρά οργανωμένα σε κοπάδι.

**Συνοψίζοντας**, μπορούμε να πούμε ότι στις δοκιμές που έγιναν σε **ιχθυοκλωβό** η απόκριση των ψαριών ήταν ασθενής για τους εξής λόγους:

- α) δοκιμάστηκαν πολλές συχνότητες σε σύντομο χρονικό διάστημα
- β) ο χρόνος διεξαγωγής του πειράματος δεν ήταν αρκετός
- γ) είχαμε πολύ χαμηλή ιχθυοφόρτιση
- δ) η μεταβολή των αβιοτικών παραμέτρων επηρέαζε την απόκριση

Όταν οι τσιπούρες **απελευθερώθηκαν στον κόλπο**, ουσιαστικά δεν είχε επιτευχθεί η εκπαίδευσή τους στην εκπομπή ηχητικού σήματος, με αποτέλεσμα η απόκρισή τους να μην έχει το χαρακτήρα μιας σταθερά επαναλαμβανόμενης αντίδρασης στο ερέθισμα του ήχου. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τον άνεμο που έπνεε μετά την απελευθέρωσή τους, δεν βοήθησε ώστε οι τσιπούρες να επιστρέψουν σε κάποια από τις θέσεις που ελέγχθηκαν. Παρόλο που τα αποτελέσματά μας δεν το επιβεβαίωσαν, υπάρχουν σημαντικές **ενδείξεις** ότι η τσιπούρα (*Sparus aurata*), είναι ένα είδος που μπορεί να εκπαιδευτεί με τη μέθοδο της εξαρτημένης αντίδρασης, ώστε να συγκεντρώνεται όταν ακούγεται ηχητικό σήμα ακόμα και στο πεδίο. Οι ενδείξεις προέρχονται : **α)** από τις δοκιμές στο ενυδρείο που δίνουν τις πληροφορίες για τη βέλτιστη συχνότητα του εκπεμπόμενου σήματος **β)** από τα πειράματα στις δεξαμενές που αποδεικνύουν ότι η εκπαίδευση του συγκεκριμένου είδους στον ήχο είναι εφικτή και **γ)** από τη συμπεριφορά των ψαριών στους ιχθυοκλωβούς που δείχνουν να αντιλαμβάνονται τον ήχο.

Το 1968 ο Richard διερεύνησε την απόκριση των ψαριών σε ηχητικό ερέθισμα στο πεδίο, δοκιμάζοντας συνδυασμό συχνοτήτων από 25 – 50 Hz και από 100 – 200 Hz και παρακολούθησε ποια είναι τα είδη των ψαριών που μαζεύονται. **Βαθύβιοι θηρευτές** των οικογενειών Serranidae, Lutjanidae, και Pomadasyidae ήταν εκείνοι που προσελκύνονταν κατά κύριο λόγο, όπως επίσης και καρχαρίες. Τα φυτοφάγα ψάρια των κοραλλιογενών υφάλων, αν και βρίσκονταν σε μεγάλο αριθμό

γύρω από τη θέση πειραματισμού, δεν προσέρχονταν με την εκπομπή του ήχου. Αν και η τσιπούρα δεν ανήκει σε κάποια από τις παραπάνω οικογένειες, εντούτοις τόσο αυτή, όσο και το λαβράκι και το φαγκρί είναι θηρευτές που συνήθως ανταποκρίνονται με προθυμία όταν το αντάλλαγμα είναι τροφή.

Κατά τη διάρκεια εκπομπής ηχητικού σήματος στις 3 θέσεις που επιλέχθηκαν μετά την απελευθέρωση των τσιπούρων, εμφανίστηκαν κέφαλοι και αθερίνες, είδη που υπήρχαν σε αφθονία στη συγκεκριμένη περιοχή και τρέφονταν γύρω και μέσα στους ιχθυοκλωβούς. Η εκπομπή ήχου και η ανταμοιβή της τροφής είναι σίγουρο ότι θα προσελκύσουν και **άλλα είδη**, όπως χαρακτηριστικά αναφέρει στην εργασία του ο Okamoto (1982). Τα αποτελέσματά του αφορούν το είδος *Pagrus major*, το οποίο εκπαίδευσε να τρώει αμέσως μόλις ακούγεται ήχος από Japanese drum συχνότητας 250-300 Hz. Όταν στη συνέχεια, τα ψάρια απελευθερώθηκαν με την εκπομπή του ίδιου ηχητικού σήματος, επανέρχονταν κοντά στην ταΐστρα μόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας. Ταυτόχρονα, έρχονταν και άλλα είδη, ενώ οι εκπαιδευμένες ιαπωνικές τσιπούρες που αποκρίνονταν, καταλάωναν 20% περίπου της παρεχόμενης τροφής. Παρόλα αυτά, ο ήχος είναι ένα πολύ καλό μέσο για τον έλεγχο ενός εκπαιδευμένου πληθυσμού από τη στιγμή που υπάρχουν πολλές πιθανότητες τα ψάρια να επιστρέψουν με συνέπεια για να φάνε. Οι Fujiya et al., (1980), αναφέρουν ότι οι εκπαιδευμένες ιαπωνικές τσιπούρες (*Pagrus major*), συνήθως παραμένουν σε ακτίνα 1 χιλιομέτρου από το σημείο απελευθέρωσης, ενώ περιστασιακά μπορούν να απομακρυνθούν μέχρι και 5 χιλιόμετρα. Αντίθετα, τα άγρια άτομα του είδους μπορούν να μεταναστεύσουν σε πολύ μακρύτερες αποστάσεις.

Το **πεδίο** στο οποίο θα απελευθερωθούν τα εκπαιδευμένα άτομα, καθώς και η **φύση του ηχητικού σήματος**, είναι καθοριστικής σημασίας για την απόκριση στο «κάλεσμα». Το πεδίο θα πρέπει να είναι ένας προστατευμένος κόλπος από θαλάσσια ρεύματα ή υψηλά επίπεδα θορύβου, με φυσικο-χημικές συνθήκες τέτοιες που να ευνοούν την ανάπτυξη του είδους που εκπαιδεύεται. Ο θόρυβος στη θάλασσα προέρχεται από τα σκάφη (αλιευτικά και αναψυχής), τα πλοία και τυχόν εργασίες επισκευής τους στον περιβάλλοντα χώρο, από υποβρύχιες εκρήξεις και τις πτήσεις αεροσκαφών. Αν και φαίνεται ότι τα ψάρια έχουν την ικανότητα να απομονώνουν τα ηχητικά σήματα που τα ενδιαφέρουν, ωστόσο είναι γεγονός ότι ο θόρυβος επιβαρύνει την ακουστική τους ευαισθησία.

Το **ηχητικό σήμα** θα πρέπει αφενός να είναι κατάλληλης συχνότητας, κυρίως όμως θα πρέπει να έχει ένταση τέτοια ώστε να μπορεί να γίνει αντιληπτό. Αυτό προϋποθέτει ηχείο με την απαιτούμενη ισχύ. Σε ότι αφορά το **ρυθμικό πρότυπο** του ηχητικού σήματος, οι Wysocki και Ladich (2005), αναφέρουν ότι διακοπόμενα σήματα με κάποιο ρυθμικό επαναλαμβανόμενο μοτίβο, μπορούν να διαδοθούν πιο αξιόπιστα σε μεγάλη απόσταση, από ότι οι συχνότητες που περιέχουν και οι οποίες παραμορφώνονται ανάλογα με τα φυσικά χαρακτηριστικά του μέσου και τα φυσικά εμπόδια. Η κωδικοποιημένη πληροφορία στο επίπεδο του χρόνου παρά της συχνότητας, παρέχει την πιο αξιόπιστη βάση για διατήρηση της πληροφορίας που περιέχει ένα ερέθισμα. Από την άλλη, οι Wang και Takemura το 1992, ανέφεραν ότι ήχοι συνεχόμενης διάρκειας είχαν καλύτερα αποτελέσματα στην ακουστική ικανότητα των ψαριών.

**Συμπερασματικά**, μπορούμε να πούμε ότι το πεδίο είναι το πιο απαιτητικό περιβάλλον –σε σχέση με το ενυδρείο ή τη δεξαμενή– λόγω της μεταβλητότητας των αβιοτικών παραμέτρων, έχει όμως το σημαντικό πλεονέκτημα ότι είναι το φυσικό περιβάλλον των ψαριών και άρα αποκλείονται τα προβλήματα που μπορούν να προκύψουν κατά την εντατική εκτροφή. Έτσι, μπορεί να επιτευχθεί έλεγχος ενός οικονομικά σημαντικού πληθυσμού στο φυσικό του περιβάλλον.

### 4.3 Επίλογος

Η επιθυμία μας ήταν να «επικοινωνήσουμε» με τα 3 εκτρεφόμενα είδη που μελετήσαμε. Κάθε είδους επικοινωνία απαιτεί συνεργασία και για να πραγματοποιηθεί, θα πρέπει να ωφελούνται τόσο αυτός που εκπέμπει το σήμα όσο και αυτός που το λαμβάνει. Με αυτό το δεδομένο, υποθέσαμε ότι η επικοινωνία μέσω ηχοαπόκρισης, θα ήταν ευκολότερη αν υπήρχε ανταμοιβή. Έτσι, από την πλευρά μας θα εξασφαλίσαμε μια θετική απόκριση, ενώ τα ψάρια από την πλευρά τους θα εξασφάλιζαν τροφή. Με αυτή την έννοια, η αρχική μας επιθυμία ικανοποιήθηκε, δηλαδή η τσιπούρα (*Sparus aurata*), το λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*) και το φαγκρί (*Pagrus pagrus*), αποκρίθηκαν στο «κάλεσμα» και έφαγαν. Από εδώ και πέρα ξεκινάει μια μεγάλη πρόκληση: ο σχεδιασμός πειραμάτων που θα επιτρέψουν τον έλεγχο υποθέσεων κάτω από συνθήκες στις οποίες η παρατήρηση και ποσοτικοποίηση της συμπεριφοράς είναι ιδιαίτερα δύσκολη. Για να αντιμετωπιστεί αυτή η σημαντική δυσκολία, αναπτύξαμε ένα ψηφιακό σύστημα απεικόνισης και καταγραφής εικόνας, φορητό, αδιάβροχο, εύκολο στη χρήση, το οποίο δοκιμάστηκε με επιτυχία σε ενυδρείο, σε δεξαμενή και στο πεδίο, εξασφαλίζοντας αντικειμενική και υψηλής ποιότητας παρατήρηση της συμπεριφοράς. Για την ποσοτικοποίηση της συμπεριφοράς σχεδιάστηκε ειδικό λογισμικό, που δίνει τη δυνατότητα παρακολούθησης της κίνησης των ψαριών, και το οποίο εφαρμόζεται σε ενυδρείο, αλλά απαιτεί διαφορετικό πειραματικό σχεδιασμό προκειμένου να εφαρμοστεί σε άλλα περιβάλλοντα.

Η εμπειρία που αποκομίσαμε από την πρωτότυπη αυτή «επικοινωνία», οδήγησε σε πολλά επιμέρους ερωτήματα, όπως: τι είναι αυτό που τελικά προτιμούν τα ψάρια, ο ήχος ή η τροφή; ποιο ερέθισμα υπερισχύει, το ακουστικό ή το οπτικό; για πόσο καιρό διατηρείται στη μνήμη η νέα συμπεριφορά; παίζει ρόλο η ηλικία στη διάρκεια εκπαίδευσης; μπορούν εκπαιδευμένα άτομα να «διδάξουν» την εμπειρία τους σε άλλα μη εκπαιδευμένα;

Παράλληλα, η εμπειρία επικοινωνίας μέσω ηχοαπόκρισης, αποτελεί πολλά υποσχόμενη διαχειριστική μέθοδο, για τη νέα εποχή, όπου οι ιχθυοκαλλιέργειες καλούνται να καλύψουν την αυξανόμενη ζήτηση σε θαλασσινά προϊόντα αφενός, και να βελτιώσουν τις καλλιεργητικές μεθόδους αφετέρου. Έτσι, ανοίγονται δύο δρόμοι: α) ο ένας αφορά την πρακτική εφαρμογή της μεθόδου εκπομπής ήχου και χορήγησης τροφής στο πεδίο, με χρήση των εργαλείων που σχεδιάστηκαν κατά τη διάρκεια αυτής της έρευνας β) ο άλλος αφορά την απάντηση των ερωτημάτων που προέκυψαν, ώστε να βελτιωθεί η μέθοδος.

Η μελέτη της συμπεριφοράς των οργανισμών είναι μια περιπέτεια με πολλά απρόβλεπτα, αλλά καταλήγει σχεδόν πάντα στη διαπίστωση ότι όλα τα ζώα μπορούν να συμπεριφέρονται σοφά, χωρίς να έχουν συνείδηση της σοφίας των πράξεών τους (Δαρβίνος, 1859). Έτσι, τα ψάρια αποκρίνονται στον ήχο συνδυάζοντας τις πληροφορίες που διαθέτουν και αυτή είναι μια διαπίστωση ιδιαίτερα χρήσιμη για αυτόν που στέλνει το μήνυμα προσπαθώντας να «επικοινωνήσει» μαζί τους.



## 5. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να αναπτύξει μια σύγχρονη μέθοδο με την οποία θα μπορούν να πραγματοποιηθούν πειράματα που θα ελέγχουν και στη συνέχεια θα χρησιμοποιούν την επίδραση που έχει ο ήχος στη συμπεριφορά εκτρεφόμενων ειδών. Εξετάζονται 3 είδη: η τσιπούρα (*Sparus aurata*), το λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*) και το φαγκρί (*Pagrus pagrus*).

Σχεδιάστηκε ψηφιακό σύστημα απεικόνισης που καταγράφει σε 2 διαστάσεις τη θέση των ψαριών σε συνάρτηση με το χρόνο και συνοδεύεται με 2 ειδικά λογισμικά προγράμματα για την άμεση καταγραφή και επεξεργασία των δεδομένων σε φορητό υπολογιστή. Το παραπάνω σύστημα συνδέεται με το σύστημα εκπομπής ήχου που περιλαμβάνει γεννήτρια παραγωγής ήχων, ενισχυτή και αδιάβροχο ηχείο που τοποθετείται μέσα στο νερό. Έτσι, προκύπτει ένα πλήρες, φορητό, αδιάβροχο, εύχρηστο σύστημα μελέτης της συμπεριφοράς ψαριών που εκτίθενται σε ηχητικό ερέθισμα. Το σύστημα αυτό δοκιμάστηκε με επιτυχία σε ενυδρείο, δεξαμενή, ιχθυοκλωβό και στο πεδίο. Η ποιότητα της εικόνας που καταγράφεται μπορεί να ρυθμιστεί ανάλογα με τις συνθήκες φωτισμού. Το λογισμικό πρόγραμμα ανάλυσης και επεξεργασίας των δεδομένων αποδίδει τη θέση που έχουν τα ψάρια και τον τρόπο που αυτή μεταβάλλεται, συνεχόμενα στο χρόνο (κάθε 1/15 του δευτερολέπτου). Το πλήρες σύστημα έχει τη δυνατότητα λειτουργίας με φορητή, επαναφορτιζόμενη μπαταρία.

Πραγματοποιήθηκαν πειράματα **α)** σε ενυδρείο (110 lt), με 2 πληθυσμούς *S. aurata* (τσιπούρες) μέσου βάρους 5,2g και 12,0g , με 1 πληθυσμό *D. labrax* (λαβράκια) μέσου βάρους 1,6g και με 1 πληθυσμό *P. pagrus* (φαγκριά) μέσου βάρους 1,7g **β)** σε δεξαμενή (10 m<sup>3</sup>) με πληθυσμό *S. aurata* μέσου βάρους 250g **γ)** σε ιχθυοκλωβό εντατικής μονάδας ιχθυοκαλλιέργειας με πληθυσμό *S. aurata* μέσου βάρους 150g και **δ)** απευθείας σε κλειστό κόλπο (Μενίδι, Αμβρακικός), μετά την απελευθέρωση του πληθυσμού *S. aurata* που βρίσκονταν στον ιχθυοκλωβό. Εφαρμόστηκε η μέθοδος της εξαρτημένης αντίδρασης (conditioned response), όπου το νέο ερέθισμα -ο ήχος- ακολουθείται από ανταμοιβή -χορήγηση τροφής. Στο ενυδρείο δοκιμάστηκαν 6 συχνότητες (100, 200, 500, 800, 1250 και 2500 Hz), -και επιπλέον τα 5000 Hz για τις τσιπούρες- σε 5 εντάσεις (-62, -42, -32, -20 και -10 dBu). Στη δεξαμενή ελέγχθηκαν 3 συχνότητες (200, 500 και 800 Hz) σε 1 ένταση (-20 dBu), αλλά και σύνθετος ήχος (μουσική) με 4 διαφορετικές χροιές οργάνων: έγχορδα, πνευστά, κρουστά, ηλεκτρικά όργανα. Στον ιχθυοκλωβό δοκιμάζονται 5 συχνότητες (100, 200, 500, 800 και 1250 Hz) σε 1 ένταση (-10 dBu), και στον κόλπο 3 (100, 200 και 500 Hz) σε -10 dBu.

Η απόκριση στον ήχο εκτιμήθηκε με βάση τη θέση που έχουν τα ψάρια πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την εκπομπή του ήχου, σε σχέση με την ηχητική πηγή. Αποδεικνύεται η θετική απόκριση και των 3 ειδών στα στάδια ανάπτυξης που μελετήθηκαν. Ως θετική απόκριση λαμβάνεται η συγκέντρωση των ψαριών με την εκπομπή του σήματος, στη θέση όπου θα πέσει η τροφή. Στα περισσότερα πειράματα η θέση της ηχητικής πηγής συμπίπτει με τη θέση χορήγησης τροφής. Όταν ωστόσο, μετακινήθηκε το ηχείο μέσα στο ενυδρείο, οι τσιπούρες το εντόπισαν οπτικά και ηχητικά -όταν αυτό ενεργοποιήθηκε. Η συσχέτιση του ήχου με τη χορήγηση τροφής είναι ευκολότερη όταν η τροφή χορηγείται αμέσως μετά ή και κατά τη διάρκεια του

ήχου. Με αυτή την προϋπόθεση, ένα σήμα διάρκειας 15-30 s και κατάλληλης συχνότητας, είναι ιδανικό ώστε τα ψάρια να αποκριθούν θετικά.

Τα είδη *S. aurata* και *D. labrax* είναι «γενικοί ακροατές», δηλαδή ανταποκρίνονται θετικά στις χαμηλές συχνότητες μέχρι τα 800 Hz. Το είδος *P. pagrus* δείχνει να αποκρίνεται θετικά μόνο στα 500 Hz. Οι διαφορετικές εντάσεις δε φαίνεται να παίζουν ρόλο μέσα στο ενυδρείο, ενώ στη δεξαμενή και το πεδίο χρησιμοποιήθηκε μόνο η υψηλότερη από τις εντάσεις που δοκιμάστηκαν στο ενυδρείο. Σύνθετοι ήχοι που εκπέμπονται σε εκπαιδευμένα άτομα, προκαλούν θετική απόκριση. Όταν, όμως, έγινε εκπομπή τέτοιων ήχων εξωτερικά (στον αέρα) δεν έγιναν αντιληπτοί. Η απόκριση στον ήχο επηρεάζεται από τους αβιοτικούς παράγοντες –ιδιαιτέρα στο πεδίο–, αλλά όχι από την ώρα της ημέρας.

Στα πειράματα που έγιναν σε ενυδρείο η **μεταβολή της συμπεριφοράς** που οφείλεται στην εκπομπή ηχητικού σήματος εμφανίζεται ανάμεσα στην 2<sup>η</sup> και την 4<sup>η</sup> ημέρα εφαρμογής του ήχου με σταδιακή βελτίωση της απόκρισης όσο συνεχίζεται η εκπομπή του ήχου, και εφόσον η συχνότητα γίνεται αντιληπτή. Στον πληθυσμό του είδους *S. aurata* η συμπεριφορά αυτή, διατηρήθηκε στη μνήμη των ψαριών για 1 μήνα, οπότε επανεμφανίστηκε όταν ο πληθυσμός εκτέθηκε ξανά σε κατάλληλο ηχητικό ερέθισμα. Στα πειράματα που έγιναν στη δεξαμενή, η μεταβολή της συμπεριφοράς εμφανίστηκε την 4<sup>η</sup> ημέρα έκθεσης του πληθυσμού στο ηχητικό ερέθισμα και διατηρήθηκε όταν εφαρμόστηκαν οι επόμενες 2 συχνότητες. Στον ιχθυοκλωβό εμφανίστηκε κάποια απόκριση κατά την 3<sup>η</sup> ημέρα η οποία όμως, δεν ήταν σταθερά επαναλαμβανόμενη και φάνηκε να επηρεάζεται δραματικά από τις αλλαγές των αβιοτικών παραγόντων (θερμοκρασία, κυματισμός, θολερότητα).

Ο ήχος γίνεται αντιληπτός ακόμα και σε περιβάλλον με υψηλά **επίπεδα θορύβου** (που προκαλείται από αντλίες νερού, την παροχή νερού μέσα στη δεξαμενή, γεννήτριες, χαμηλή πτήση αεροσκαφών) εφόσον συνδυάζεται με ανταμοιβή.

Η **κίνηση** των 3 ειδών **μέσα στο ενυδρείο** παρουσιάζει διαφορές σε ότι αφορά την οριζόντια και κατακόρυφη μετακίνησή τους. Τα λαβράκια κινούνται γρήγορα κυρίως οριζόντια, ενώ η κάθετη μετακίνησή τους συνδυάζεται με την παρουσία ερεθίσματος (ήχου ή τροφής). Μόλις ακούγεται το ηχητικό σήμα σχηματίζουν κοπάδι και κινούνται όλα μαζί από το ηχείο στην ταϊστρα. Η κίνηση που έχουν τα φαγκριά είναι γρήγορη και γίνεται κατακόρυφα (πάνω –κάτω) με ταυτόχρονη μετατόπιση και οριζόντια. Τείνουν να σχηματίσουν κοπάδι, όταν ακουστεί το ηχητικό σήμα. Οι τσιπούρες κινούνται σε όλο το ενυδρείο χωρίς επαναλαμβανόμενες κινήσεις πάνω –κάτω και εμφανίζουν σαφή προτίμηση για την κεντρική περιοχή του ενυδρείου. Κατά την εκπομπή κατάλληλου ηχητικού σήματος συγκεντρώνονται στην περιοχή του ηχείου χωρίς να σχηματίζουν κοπάδι.

## SUMMARY

The aim of this work is to develop a novel experimental technique to investigate the effect of sound on the behavior of various cultured species of fish, at first, and subsequently to demonstrate the usefulness of this effect. Three species are investigated: gilthead seabream (*Sparus aurata*), seabass (*Dicentrarchus labrax*), and red porgy (*Pagrus pagrus*).

A **digital imaging system** was developed to monitor fish position in 2 dimensions as a function of time. The system includes 2 dedicated software packages for the storage and analysis of the data directly on a laptop and can be connected to a sound production system including a sound generator, an amplifier and a water-proof loudspeaker set in the water. Altogether, these constitute a portable, water-proof, easily-used instrument for the study of the effect of sound on fish behavior, and it was successfully tested in a small tank, large tank, sea cage, and in the field. The contrast of the image can be adjusted according to lighting conditions. The data-collection software records the positions of the fish as a function of time (every 1/15 of a second). The instrument can also operate with a portable, rechargeable battery.

The experiments were conducted in **a**) a small tank (110 l) with 2 populations of *S. aurata* (gilthead seabream) weighing 5.2 g and 12.0 g respectively, 1 population of *D. labrax* (seabass) (~1.6 g) and 1 population of *P. pagrus* (red porgy) (~1.7 g) **b**) a large tank (10 m<sup>3</sup>) with a population of *S. aurata* (~250 g) **c**) in a sea cage of an aquaculture establishment with a population of *S. aurata* (~150 g), and **d**) the Amvrakikos gulf (Menidi) after the release of the population of *S. aurata* being in the sea cage. The method of the **conditioned response** was applied, whereby the new stimulus, the sound, is followed by a reward: feeding. In the small tank, experiments were conducted at 6 different frequencies (100, 200, 500, 800, 1250, and 2500 Hz), and additionally also at 5000 Hz for the gilthead seabream, and at 5 levels of sound (-62, -42, -32, -20 και -10 dBu). In the large tank, experiments were conducted with 3 different frequencies (200, 500, and 800 Hz), and at 1 level of sound (-20 dBu), but also using sound with the timbre from 4 different groups of instruments: strings, woodwind, percussion, and electric instruments. In the sea cage, experiments were conducted with 5 different frequencies (100, 200, 500, 800, and 1250 Hz) and at 1 level of sound (-10 dBu), whereas in the gulf 3 frequencies were used (100, 200, and 500 Hz) at -10 dBu.

The **response to the sound** was judged by the location of the fish with respect to the sound source before, during, and after production of sound. A positive response was observed for all three species of fish and in all developmental stages studied. The aggregation of the fish at the point of feeding is judged as a positive response. In the experimental setup used for most measurements, the feeding point and the sound source were located closely to each other. However, when the sound source was moved to other locations within the tank, the gilthead seabream located it both optically and by sound (during operation). A positive response was obtained more often when the feeding was accompanied or immediately followed by the sound and in that case a sound burst lasting 15-30 s was ideal.

We determine that *D. labrax* and *S. aurata* are “**hearing generalists**” (non-specialists), that is they respond positively at low frequencies until 800 Hz. *P. pagrus* responded positively only at 500 Hz. The responses are independent of the sound

levels in the small tank. In the large tank we chose to use our loudest setting only. Sounds from musical instruments produce a positive response on fish which have been previously conditioned at a single frequency. However, fish did not respond, when music was played in the air (not transmitted with the underwater loudspeaker). The response to the sound is affected by abiotic factors (especially in the field), but not by the time of day.

The **change in behavior** caused by the application of the sound pulses in the small tank appears between the 2<sup>nd</sup> and the 4<sup>th</sup> day of the experiments, with a progressive improvement of the response as long as the conditioning is going on. For the gilthead seabream positive responses can be observed even after 1 month without any stimulation. The change in behavior caused by sound stimulus in the large tank appears on the 4<sup>th</sup> day of the experiment and is not affected by the change to the other two frequencies tested. In the sea cage a weak response was observed on the 3<sup>rd</sup> day, which, however, was not repeated on subsequent days, likely due to the abiotic factors.

The sound produces a positive response even in the presence of high levels of **noise** (caused by water pumps, water intake of the tank, generators, and low-flying aircrafts) as long as feeding is offered.

The **movement of the 3 species** in the small tank shows some differences. The seabasses move quickly, mainly horizontally and they move vertically during stimulation (either sound or feeding). Once the sound begins they form a school and they move together from the sound source to the feeder. The red porgies move quickly up and down and they tend to form a school when the sound is produced. The gilthead seabreams move about the tank without a repeated up-down movement, and they show a definite preference to reside in the central regions of the tank. When the sound is produced, they gather at the sound source without forming a school.



**6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- ABBOTT R.R., 1972. Induced aggregation of pond-reared rainbow trout (*Salmo gairdneri*) through acoustic conditioning. Transactions of the American Fisheries Society, 101(1): 35-43.
- AGOSTA W.C., 2000. Χημική Επικοινωνία, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, σελ. 111-124.
- ALLEN, J.M., J.H.S. BLAXTER & E.J. DENTON, 1976. The functional anatomy and development of the swimbladder – inner ear – lateral line system in herring and sprat. J. Mar. Biol. Assoc., UK 56: 471-486.
- AMORIM, M.C.P., and A.D. HAWKINS, 2000. Growling for food: acoustic emissions during competitive feeding of the streaked gurnard. Journal of Fish Biology, 57: 895-907.
- ANRAKU K., M. MATSUDA, M. NAKAHARA, N. SHIGESATO & G. KAWAMURA, 1997. Sound learned by red sea bream conditioned to intermittent 300 Hz sound. Nippon Suisan Gakkaishi, 63(6): 934-938.
- ANTHOUARD M., 1973. Conditionnement operant à renforcement social chez le carassin (*Carassius auratus* L.): Influence de la nature du renforcement. Rev. Comportement Anim. 7(3) : 191-196.
- ANTHOUARD M., C. DESPORTES, M. KENTOURI, P. DIVANACH and J. PARIS, 1986. A study of behavioral patterns of *Dicentrarchus labrax*, *Diplodus sargus*, *Puntazzo puntazzo*, *Sparus aurata* and *Lithognathus mormyrus* (Teleostei fishes), in a self-feeding situation. Biol. Behav. /Biol. Comport. 11(2): 97-110.
- ARONSON L.R., 1970. Functional Evolution of the Forebrain in lower Vertebrates In: *Development and Evolution of Behavior*, L. R. Aronson, E. Tobach, D. S. Lehrman & J. S. Rosenblatt (eds), W.H. Freeman and Company, San Francisco, pg. 75-107.
- ASHLEY P.J., 2007. Fish welfare: current issues in aquaculture. Applied animal behaviour Science, 104: 199-235.
- BALDWIN J.D. & J. I. BALDWIN, 1998. Behavior Principles in Everyday life. Prentice Hall, New Jersey, pg. 390.
- BARAS E., & J.P. LAGARDÈRE, 1995. Fish telemetry in aquaculture : review and perspectives. Aquac. Int., 3: 77 – 102.
- BARNABÉ G., 1978. Etude dans le Milieu Naturel et en Captivité de l' Eco – Ethologie du Loup *Dicentrarchus labrax* (L.) (Poisson Serranidae) à l' Aide de Nouvelles Techniques. Annal. Sci. Natur. Zool., 12(20) : 423- 502.
- BART A.N., J.CLARK, J. YOUNG and Y. ZOHAR, 2001. Underwater ambient noise measurements in aquaculture systems: a survey. Aquacultural Engineering, 25: 99-110.
- BAUCHOT, M.-L. and J.C. HUREAU, 1990. Sparidae. In: *Check-list of the fishes of the eastern tropical Atlantic (CLOFETA)*, J.C. Quero, J.C. Hureau, C. Karrer, A. Post and L. Saldanha (eds.), JNICT, Lisbon; SEI, Paris; and UNESCO, Paris. Vol. 2, pp. 790-812.
- BAUCHOT, M.-L., 1987. Poissons osseux. In: *Fiches FAO d'identification pour les besoins de la pêche. (rev. 1). Méditerranée et mer Noire. Zone de pêche 37*, W. Fischer, M.L. Bauchot and M. Schneider (eds.), Commission des Communautés Européennes and FAO, Rome, pp 891-1421.

- BEGOUT ANRAS M-L. & J-P. LAGARDERE, 2004. Measuring cultured fish swimming behaviour: first results on rainbow trout using acoustic telemetry in tanks. *Aquaculture*, 240: 175-186.
- BEGOUT M-L. & J-P. LAGARDERE, 1995. An acoustic telemetry study of seabream (*Sparus aurata*, L.): first results on activity rhythm, effects of environmental variables and space utilization. *Hydrobiologia*, 300/301: 417-423.
- BROWN C. & K.N. LALAND, 2003. Social learning in fishes: a review. *Fish and Fisheries*, 4: 280-288.
- BUBLITZ C.G., 1996. Quantitative evaluation of flatfish behavior during capture by trawl gear. *Fisheries Research*, 25: 293-304.
- CARLSON T., 1997. Historical Review of the Use of Sound to Modify Fish Behavior. In: *Using Sound to Modify Fish Behavior at a Power – Production and Water – Control Facilities: a Workshop Dec. 12-13, 1995*, Carlson T.J. and A.N. Popper (eds.), Bonneville Power Administration, Portland, Oregon, pp. 3-5.
- CERVIGÓN, F., R. CIPRIANI, W. FISCHER, L. GARIBALDI, M. HENDRICKX, A.J. LEMUS, R. MARQUEZ, J.M. POUTIERS, G. ROBAINA and B. RODRIGUEZ, 1992. Fichas FAO de identificación de especies para los fines de la pesca. Guía de campo de las especies comerciales marinas y de aguas salobres de la costa septentrional de Sur América.. FAO, Rome. 513 p. Preparado con el financiamiento de la Comisión de Comunidades Europeas y de NORAD.
- CETINIĆ P., A. SOLDÓ, J. DULČIĆ and A. PALLAORO, 2002. Specific method of fishing for Sparidae species in the eastern Adriatic. *Fisheries Research* 55: 131-139.
- CHAPMAN C.J. & O. SAND, 1974. Field studies of hearing in two species of flatfish *Pleuronectes platessa* (L.) and *Limanda limanda* (L.) (family Pleuronectidae). *Comp. Biochem. Physiol.*, 47(A): 371-385.
- CHAPMAN C.J., 1973. Field studies of hearing in teleost fish. *Helgoländer wiss. Meeresunters.*, 24: 371-390.
- CHAPMAN C.J., 1976. Some observations on the reactions of fish to sounds. In: *Sound Reception in Fish*. A. Schuijf & A.D. Hawkins (eds), Elsevier, Amsterdam, pp. 241-255.
- CHAPMAN C.J., A.D.F. JOHNSTONE, J.R. DUNN & D.J. CREASEY, 1974. Reactions of Fish to Sound Generated by Divers Open-Circuit Underwater Breathing Apparatus. *Marine Biology*, 27: 357-366.
- CHATAIN B., N. OUNAIS-GUSCHEMANN, P. LAVENS, P. SORGELOOS, E. JASPERS and F. OLLEVIER, 1991. The relationships between light and larvae of *Sparus aurata*. Special Publication, European Aquaculture Society.
- CHOO H.D., H.C. AN & H.K. OH, 1988. Study on acoustical fishing method – III- Underwater Sound of Fish. *Bulletin of National Fisheries Research and Development Agency (Korea)*, Yangsan, 42: 119-124.
- CONTI S.G, P. ROUX, C. FAUVEL, B.D. MAURER and D.A. DEMER, 2006. Acoustical monitoring of fish density, behavior and growth rate in a tank. *Aquaculture*, 251: 314-323.
- COOMBS, S., 1997. Structure and Function of the fish lateral line system with special emphasis on Columbia River fishes. In: *Using Sound to Modify Fish Behavior at a Power – Production and Water – Control Facilities: a Workshop Dec. 12-13, 1995*, Carlson T.J. and A.N. Popper (eds.), Bonneville Power Administration, Portland, Oregon, pp.41-52.

- D' ANCONA U., 1949. Ermaphroditismo ed intersesualita nei Teleostei. *Exper.*, 5: 381-389.
- ΔΑΡΒΙΝΟΣ Κ., 1859. Η καταγωγή των ειδών. Εκδ. Πανεπιστημίου Πατρών, 1997, Πάτρα, σελ. 291-330.
- DENTON E.J. & 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.
- DIVANACH P., M. KENTOURI, G. CHARALAMBAKIS, F. POUGET and A. STERIOTI, 1993. Comparison of growth performance of six Mediterranean fish species reared under intensive farming conditions in Crete (Greece), in raceways with the use of self-feeders. In: *Production, Environment and Quality, Bordeaux Aquaculture '92*, G. Barnabé and P. Kestemont (eds). European Aquaculture '92. Special publication no 18, Ghent, Belgium, pp. 287-297.
- DOMENICI P. & BATTY R.S., 1994. Escape manoeuvres of schooling *Clupea harengus*. *Journal of Fish Biology*, 45(a): 97-110.
- DUDZINSKI, K.M., 1996. Examination of intraspecific communication in atlantic spotted dolphins – with reference to a mobile video / acoustic system to record dolphin behaviour and vocalizations simultaneously. In: *Underwater Acoustics: Proceedings of the 3<sup>rd</sup> European Conference*, Papadakis J.S. (ed.), FORTH – IACM, Heraklion, Crete, pp. 717-722.
- EJIRI M., 1996. Towards meaningful robotics for the future: are we headed in the right direction? *Robotics and Autonomous Systems*, 18: 1-5.
- FAY R.R., 2006. Art Myrbergs contribution to the study of hearing in fishes. *J. Acoust. Soc. Am.*, 120(5): 3055.
- FAY, R., 1997. What Fish Hear. In: *Using Sound to Modify Fish Behavior at a Power – Production and Water – Control Facilities: a Workshop Dec. 12-13, 1995*, Carlson T.J. and A.N. Popper (eds.), Bonneville Power Administration, Portland, Oregon, pp.84.
- FRANTZIS, A., P.ALEXIADOU, G. PAXIMADIS, E. POLITI, A.GANNIER and M. CORSINI-FOKA, 2003. Current knowledge of the cetacean fauna of the Greek Seas. *The Journal of Cetacean Research Management*, 5(3): 219-232.
- FUJIEDA S., Y. MATSUNO, Y. YAMANAKA, Y-j. CHUNG and C. KISHIMOTO, 1993. Feature of the swimming sound for fishes in the netting cages at the culture ground. *Memoirs of the Faculty of Fisheries, Kagoshima University*, 42: 1-9.
- FUJIYA M., S. SAKAGUCHI & O. FUKUHARA, 1980. Training of Fishes Applied to Ranching of Red Sea Bream in Japan. In: *Fish Behavior and its use in the Capture and Culture of Fishes: ICLARM Conference Proceedings Nov. 3-8, 1977*, Bardach J.E., J.J. Magnuson, R.C. May and J.M. Reinhart (eds.), Bellagio, Italy, pp.200-209.
- FUJIYA M., S. SAKAGUCHI and O. FUKUHARA, 1974. Audio – signal training of red seabream. In: *Proceedings of the Third Japan-Soviet Joint Symposium on Aquaculture*, Tokai University, Tokyo.
- FURUSAWA M., K. ISHII and Y. MIYANO HANA, 1992. Attenuation of sound by schooling fish. *Journal of the Acoustical Society of America*, 92(2): 987-994.
- GARNIER, B., J. MILLET, G.GOULLET and P. QUETEL, 1996. Spatial Localization of Transient Underwater Noise Sources. In: *Underwater Acoustics: Proceedings of the 3<sup>rd</sup> European Conference*, Papadakis J.S. (ed.), FORTH – IACM, Heraklion, Crete, pp. 391-396.

- GRAHAM, N., G. JONES and D.G. REID, 2004. Review of technological advances for the study of fish behaviour in relation to demersal fishing trawls. *ICES Journal of Marine Science*, 61: 1036-1043.
- HARVEY, E., D. FLETCHER and M. SHORTIS, 2002. Estimation of reef fish length by divers and by stereo – video. A first comparison of the accuracy and precision in the field on living fish under operational conditions. *Fisheries Research*, 57: 255-265.
- HASTINGS M., 1997. The acoustic Environment of Fishes. In: *Using Sound to Modify Fish Behavior at a Power – Production and Water – Control Facilities: a Workshop Dec. 12-13, 1995*, Carlson T.J. and A.N. Popper (eds.), Bonneville Power Administration, Portland, Oregon, pp.15.
- HAWKINS A.D., 1973. The sensitivity of fish to sounds. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 11: 291-340.
- HAWKINS A.D., D.N. McLENNAN, G.G. URQUHART & C. ROBB, 1974. Tracking cod *Gadus morhua* L., in a Scottish sea loch. *J. Fish Biol.*, 6: 225-236.
- HERNANDEZ-CRUZ C.M., M. SALHI, M. BESSONARD, M.S. IZQUIERDO, M.M. GONZALEZ & H. FERNANDEZ – PALACIOS, 1999. Rearing techniques for red porgy (*Pagrus pagrus*) during larval development. *Aquaculture* 179: 489-497.
- HERSKIN J. & J.F. STEFFENSEN, 1998. Energy savings in sea bass swimming school: measurements of tail beat frequency and oxygen consumption at different swimming speeds. *Journal of Biology*, 53(2): 366-376.
- HOAR W.S., 1962. Reproductive behaviour of fish. *General & Comparative Endocrinology*, 1 (suppl. 1), 206-212.
- HOLAND B., I. MOHUS & R. BERNTSEN, 1974. Fish telemetry, Foundation for Scientific and Industrial Research at the Norwegian Institute of Technology, Trondheim. SINTEF Rep. STF 48 (A 74049), 89 pp.
- HOLDEN C., 2004. Fish Consciousness. *Science*, 306: 1888.
- ISHIOKA H., Y. HATAKEYAMA and S. SAKAGUCHI, 1987. Development of the startle response to sound stimuli in the red sea bream, *Pagrus major* Temminck at Schlegel. *Bulletin of the Nansei National Fisheries Research Institute*, 21: 17-23.
- ISHIOKA H., Y. HATAKEYAMA, S. SAKAGUCHI and S. YAJIMA, 1986. The effect of sound stimulus on the behavioural disturbance of red sea bream, *Pagrus major*. *Bulletin of the Nansei National Fisheries Research Institute*, 20: 59-71.
- IWASHITA, A., M. SAKAMOTO, T. KOJIMA, Y. WATANABE and H. SOEDA, 1999. Growth effects of the auditory threshold of red sea bream. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 65 (5): 833-838.
- KANDEL E.R., J.H. SCHWARTZ & T.M. JESSEL, 2003. *Νευροεπιστήμη και Συμπεριφορά*. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο, σελ. 659-698.
- KANE A.S., J.D. SALIERNO, G.T. GIPSON, T.C.A. MOLTENO and C. HUNTER, 2004. A video-based movement analysis system to quantify behavioral stress responses of fish. *Water Research*, 38: 3993-4001.
- KATO S., K. TAMADA, Y. SHIMADA and T. CHUJO, 1996. A quantification of goldfish behavior by an image processing system. *Behavioural Brain Research*, 80: 51-55.
- KELLEY D.F., 1988. The importance of estuaries for sea bass, *Dicentrarchus labrax* (L.). *J. Fish Biol.*, 33 (suppl.A): 25-33.

- KENYON T.N., F. LADICH and H.Y. YAN, 1998. A comparative study of hearing ability in fishes: the auditory brainstem response approach. *J. Comp. Physiol. A*, 182: 307-318.
- KNUDSEN F.R., C.B. SCHRECK, S.M. KNAPP, P.S. ENGER & O. SAND, 1997. Infrasound produces flight and avoidance responses in Pacific juvenile salmonids. *Journal of Fish Biology*, 51: 824-829.
- LADICH F. & H.Y. YAN, 1998. Correlation between auditory sensitivity and vocalization in anabantoid fishes. *Journal of Comparative Physiology A*, 182(6): 737-746.
- LAGARDERE J.P. & R. MALLEKH, 2000. Feeding sounds of turbot (*Scophthalmus maximus*) and their potential use in the control of food supply in aquaculture I. Spectrum analysis of the feeding sounds. *Aquaculture*, 189: 251-258.
- LAGARDERE J-P., J-J. DUCAMP, L. FAVRE, J. MOSNERON DUPIN and M. SPERANDIO, 1990. A method for the quantitative evaluation of fish movements in salt ponds by acoustic telemetry. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 141: 221-236.
- LANDLESS P.J., 1976. Exploiting conditioned responses in fish farming. *Proc. R. Soc. Edinb.*, 75(B): 233-240.
- LARSON D.W. & J.R. DONALDSON, 1969. The ability of conditioned rainbow trout to distinguish between neighbouring tones. *Progr. Fish-Cult.*, 31 (3): 169-171.
- LEHRMAN D.S., 1970. Semantic and Conceptual Issues in the Nature – Nurture Problem. In: *Development and Evolution of Behavior*, L. R. Aronson, E. Tobach, D. S. Lehrman & J. S. Rosenblatt (eds), W.H. Freeman and Company, San Francisco, pg. 20 – 54.
- LIANG X.F., J.K. LIU and B.Y. HUANG, 1998. The role of sense organs in the feeding behavior of Chinese perch. *Journal of Fish Biology*, 52: 1058-1067.
- LORENZ K.Z., 1981. Adaptive Modification of Behavior In: *The Foundations of Ethology*, Springer – Verlag New York, Wien, pg: 255-363.
- LOVELL J.M., M.M. FINDLAY, G. HARPER, R.M. MOATE and D.A. PILGRIM, 2005(a). The polarisation of hair cells from the ear of the European bass (*Dicentrarchus labrax*). *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A* 141: 116-121.
- LOVELL J.M., M.M. FINDLAY, R.M. MOATE and H.Y. YAN, 2005(b). The hearing abilities of the prawn *Palaemon serratus*. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A* 140: 89-100.
- LUGLI M., H.Y. YAN and M.L. FINE, 2003. Acoustic communication in two freshwater gobies: the relationship between ambient noise, hearing thresholds and sound spectrum. *J. Comp. Physiol. A*, 189: 309-320.
- MANIWA Y., 1976. Attraction of bony fish, squid and crab by sound. In: *Sound Reception in Fish*. A. Schuijff & A.D. Hawkins (eds), Elsevier, Amsterdam, pp. 271-283.
- MANOOCH III C.S. & W.W. HASSLER, 1978. Synopsis of biological data on the red porgy, *Pagrus pagrus* (Linnaeus). *FAO Fisheries Synopsis*, 116: pg 19.
- ΜΑΡΑΓΚΟΥΔΑΚΗ Δ., 2001. Επίδραση του χρονικού διαστήματος τροφοληψίας στην ανάπτυξη και βιοχημική σύσταση του φαγκριού *Pagrus pagrus* υπό δύο συνθήκες διαφορετικής ιχθυοφόρτισης. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Κρήτης, σελ. 105-106.

- MARCHESAN M., M. SPOTO, L. VERGINELLA and E.A. FERRERO, 2005. Behavioural effects of artificial light on fish species of commercial interest. *Fisheries Research*, 73: 171-185.
- McLAUGHLIN R.L. & J.W.A. GRANT, 1994. Morphological and behavioural differences among recently emerged brook charr *Salvelinus fontinalis*, foraging in slow – vs. fast-running water. *Environmental Biology of Fishes*, 39(3): 289-300.
- MICHELS, U., 1994. Ακουστική. Στον: *Άτλας της Μουσικής*, Νάκας Φ. (εκδ.), Ινστιτούτο Έρευνας Μουσικής και Ακουστικής, Αθήνα, σσ. 14-16.
- MONTGOMERY J.C., N. TOLIMIERI & O.S. HAINE, 2001. Active habitat selection by pre – settlement reef fishes. *Fish and Fisheries*, 2: 261 – 277.
- MOULTON J.M., 1960. Swimming sounds and the schooling of fishes. *Biol. Bull.*, 119: 210-223.
- MYRBERG A.A. & J.Y. SPIRES, 1980. Hearing in damselfishes: an analysis of signal detection among closely related species. *J. Comp. Physiol.* 140: 135-144.
- NELSON J.S., 1994. *Fishes of the world*. Third Edition, J. Wiley & sons Inc. (eds), New York, 600 pg.
- ΟΙΚΟΝΟΜΙΔΗΣ Π.Σ., 1997. *Ιχθυολογία*, Εκδ. Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Αριστοτελείου Πανεπιστημίου, Θεσσαλονίκη, σελ. 204.
- O'NEILL F.G., S.J. McKAY, J.N. WARD, A. STRICKLAND, R.J. KYNOCH and A.F. ZUUR, 2003. An investigation of the relationship between sea state induced vessel motion and cod – end selection. *Fisheries Research*, 60: 107-130.
- OKAMOTO M., 1982. Studies on the community ecology of fishes near the experimental fish nursery of *Pagrus major* using acoustic conditioning. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 48(8): 1113-1119.
- OLIVA –TELES A., 2000. Recent advances in European sea bass and gilthead sea bream nutrition. *Aquaculture International*, 8: 477- 492.
- PARKER G.H., 1902. Hearing and allied senses in fishes. *Bull. U.S. Fish Comm*, 22: 45-64.
- PASPATIS M., C. BATARIAS, P. TIANGOS & M. KENTOURI, 1999. Feeding and growth responses of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) reared by four feeding methods. *Aquaculture*, 175: 293-305.
- PASPATIS M., D. MARAGOUDAKI & M. KENTOURI, 2000. Self-feeding activity patterns in gilthead sea bream (*Sparus aurata*), red porgy (*Pagrus pagrus*) and their reciprocal hybrids. *Aquaculture*, 190: 389-401.
- PASPATIS M., T. BOUJARD, D. MARAGOUDAKI, G. BLANCHARD & M. KENTOURI, 2003. Do stocking density and feed reward level affect growth and feeding of self-fed juvenile European sea bass? *Aquaculture*, 216: 103-113.
- ΠΑΣΠΑΤΗΣ Μ., 1992. Οπτική και Χημική Διακριτικότητα στο Λαβράκι, *Dicentrarchus labrax* (Linnaeus, 1758) (Percoidea, Serranidae). Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Κρήτης, σελ. 135.
- PAYNE, K., 2000. The Progressively Changing Songs of Humpback Whales : A Window on the Creative Process in a Wild Animal. In: *The Origins of Music*, Wallin N.L., B. Merker & S. Brown (eds.), The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, England, pp. 135-150.
- PETRELL R.J., X. SHI, R.K. WARD, A. NAIBERG and C.R. SAVAGE, 1997. Determining fish size and swimming speed in cages and tanks using simple video techniques. *Aquaculture Engineering*, 16: 63-84.

- POGGENDORF D., 1952. Die absoluten Hörschwellen des Zwergwelses (*Amiurus nebulosus*) und Beiträge zur Physik des Weberschen Apparates der Ostariophyten. Zeitschrift für vergleichende Physiologie, 34: 222-257.
- POPPER, A.N. and Z. LU, 2000. Structure – function relationships in fish otolith organs. Fisheries Research, 46: 15-25.
- POPPER, A.N., 1997. Introduction to Fish Bioacoustics. In: *Using Sound to Modify Fish Behavior at a Power – Production and Water – Control Facilities: a Workshop Dec. 12-13, 1995*, Carlson T.J. and A.N. Popper (eds.), Bonneville Power Administration, Portland, Oregon, pp.7-12.
- POPPER, A.N., 1997. Sound Detection by Fish: Structure and Function. In: *Using Sound to Modify Fish Behavior at a Power – Production and Water – Control Facilities: a Workshop Dec. 12-13, 1995*, Carlson T.J. and A.N. Popper (eds.), Bonneville Power Administration, Portland, Oregon, pp.65-76.
- RICHARD J.D., 1968. Fish attraction with pulsed low-frequency sound. Journal of the Fisheries Research board of Canada, 25: 1441-1452.
- ROO F.J., J. SOCORRO, M.S. IZQUIERDO, M.J. CABALLERO, C.M. HERNANDEZ-CRUZ, A. FERNANDEZ & H. FERNANDEZ – PALACIOS, 1999. Development of red porgy (*Pagrus pagrus*) visual system in relation with changes in the digestive tract and larval feeding habits. Aquaculture 179: 499-512.
- ROTTLANT J., L. TORT, D. MONTERO, M. PAVLIDIS, M. MARTINEZ, S.E. WENDELAAR BONGE, and P.H.M. BALM, 2003. Background colour influence on the stress response in cultured red porgy *Pagrus pagrus*. Aquaculture, 223 (1-4): 129-139.
- SANTIAGO J.A. & CASTRO J.J., 1997. Acoustic behaviour of *Abudefduf luridus*. Journal of Fish Biology, 51: 952-959.
- SCHNEIDER, W., 1990. FAO species identification sheets for fishery purposes. Field guide to the commercial marine resources of the Gulf of Guinea. Prepared and published with the support of the FAO Regional Office for Africa. FAO, Rome. 268 p.
- SCHOLIK A.R. & H.Y. YAN, 2002. Effects of boat engine noise on the auditory sensitivity of the fathead minnow, *Pimephales promelas*. Environmental Biology of Fishes, 63: 203-209.
- SCHOLZ A.T., HERRALL R.M., COOPER J.C. & HASLER A.D., 1976. Imprinting to Chemical Cues: The Basis for Home Stream Selection in Salmon. Science, New Series, 192 (4245): 1247-1249.
- SHICH A.C.R. & R.J. PETRELL, 1998. Measurement of fish size in atlantic salmon (*Salmo salar* L.) cages using stereographic techniques. Aquaculture Engineering, 17: 29-43.
- SOKAL R. & F.J. ROHLF, 1995. Biometry, W.H. Freeman and Co., New York, pg. 863.
- ΣΠΥΡΙΔΗΣ Χ., 1988. Μια εισαγωγή στη Φυσική της Μουσικής, Εκδ. Π.ΖΗΤΗ & Σια Ο.Ε., Θεσσαλονίκη, σελ. 28-70.
- SUBOSKI M. & J.J. TEMPLETON, 1989. Life skills Training for Hatchery Fish: Social Learning and Survival. Fisheries Research, 7: 343-352.
- SUBOSKI M., 1988. Acquisition and Social Communication of Stimulus Recognition by Fish. Behavioural Processes, 16: 213-244.
- SUBOSKI M., 1992. Review : Releaser - induced recognition learning by gastropod molluscs. Behavioural Processes, 27: 1-26.

- SUZUKI K., T. TAKAGI and T. HIRAISHI, 2003. Video analysis of fish schooling behavior in finite space using a mathematical model. *Fisheries Research*, 60: 3-10.
- TAKAGI T., Y. MORITOMI, J. IWATA, H. NAKAMINE and N. SANNOMIYA, 2004. Mathematical model of fish schooling behaviour in a set-net. *ICES Journal of Marine Science*, 61: 1214-1223.
- TATEDA Y., A. NAKAZONO & H. TSUKAHARA, 1985. Acoustic conditioning of young red sea bream, *Pagrus major*. Report of Fishery Research Laboratory, Kyushu University, Fukuoka, 7: 27-36.
- ΤΑΤΣΗΣ Τ., 1986. Θέματα Μουσικής Μορφολογίας σε συνάρτηση με τη φυσική και τα μαθηματικά. Εκδ. Κ. Παπαρηγορίου – Χ. Νάκας, Αθήνα, σελ. 261.
- TAVOLGA W.N, 1987. Psychophysics and Hearing in Fish. In: *The Natural History Reader in Animal Behavior*, Topoff H. (ed.), Columbia University Press, New York, pp. 66-74.
- TAVOLGA W.N., 1980. Hearing and Sound Production in Fishes in Relation to Fisheries Management. . In: *Fish Behavior and its use in the Capture and Culture of Fishes: ICLARM Conference Proceedings Nov. 3-8, 1977*, Bardach J.E., J.J. Magnuson, R.C. May and J.M. Reinhart (eds.), Bellagio, Italy, pp.102-123.
- TAVOLGA, W.N. and J. WODINSKY, 1963. Auditory Capacities in Fishes. Pure Tone Thresholds in nine Species of Marine Teleosts. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, vol.126, article 2, pp. 177-240.
- TINBERGEN N., 1952. The curious behaviour of the stickle back. *Sci. Amer.*, 187: 22-26.
- TOLIMIERI N., A. JEFFS & J.C. MONTGOMERY, 2000. Ambient sound as a cue for navigation by the pelagic larvae of reef fishes. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 207: 219-224.
- VON FRISCH, K., 1936. Über den Gehörsinn der Fische. *Biol. Rev. Cambridge Philos. Soc.*, 11: 210-246.
- WANG J. & A. TAKEMURA, 1992. On the Underwater Sound as the attractive stimulus for Goldfish. *Bull. Fac. Fish. Nagasaki Univ.*, 72: 1-3.
- WILLIS D.J., M.V. HOYER, D.E. CANFIELD J. and W.J. LINDBERG, 2002. Training grass carp to respond to sound for potential lake management uses. *North American Journal of Fisheries Management*, 22(1): 208-212.
- WRIGHT D.E. and A. EASTCOTT, 1982. Association of an acoustic signal with operant conditioned feeding responses in thicklipped mullet, *Crenimugil labrosus* (Risso) and common carp, *Cyprinus carpio* (L.). *Journal of Fish Biology*, 21(5): 693-698.
- WYSOCKI L.E. & F. LADICH, 2005. Effects of noise exposure on click detection and the temporal resolution ability of the goldfish auditory system. *Hearing Research*, 201: 27-36.
- WYSOCKI L.E. & LADICH F., 2001. The ontogenetic development of auditory sensitivity, vocalization and acoustic communication in the labyrinth fish *Trichopsis vittata*. *J. Comp. Physiol. (A)*, 187: 177-187.
- YAN H.Y., M.L. FINE, N.S. HORN and W.E. COLON, 2000. Variability in the role of the gasbladder in fish audition. *J. Comp. Physiol. (A)*, 186(5): 435-445.
- ΖΑΧΑΒΙ Α. & Α., 2000. Η αρχή της Μειονεξίας, ένα κομμάτι που έλειπε από το παζλ του Δαρβίνου. Εκδ. Καστανιώτη, Αθήνα, σελ. 117-136.



- ZHANG G., T. TIAN, C. XU, Z. JIANG & S. YU, 2004(c). Increase in feed conversion efficiency in *Sparus macrocephalus* by acoustic behaviours control. Journal of Dalian Fisheries University, 19(3): 204-207.
- ZHANG P., G. ZHANG & X. ZHANG, 2004(b). Attraction of common carp by moving sound. Journal of Fishery Sciences of China, 11(4): 339-343.
- ZHANG P., G. ZHANG, X. ZHANG & XU C., 2004(a). The attraction effect of acoustic taming on *Cyprinus carpio* and *Ctenopharyngodon idellus*. Journal of Jimei University. Natural Science, 9(2): 110-115.
- ZOHAR Y., M. HAREL, S. HASSIN and A. TANDLER, 1995. Gilthead seabream (*Sparus aurata*). In: *Broodstock management and egg and larval quality*, N.R. Bromage and R.J. Roberts (eds), Chapter 5, Blackwell Science Ltd, London, pg. 94-117.



**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ**

## 1. Πίνακες μετρήσεων για τα πειράματα αναλογικού σήματος σε ενυδρείο

**Πίνακας 1:** Μετακινήσεις ψαριών που εκτίθενται σε ήχο 200Hz έντασης -30dBu. Λήψη όλου του ενυδρείου. Στην παρένθεση η συνολική μέρα του πειράματος, εκτός παρενθέσεως η ημέρα έκθεσης σε αυτή τη συχνότητα.

Ενυδρείο	Ημέρα		Πριν			Ήχος			Τροφή + ήχο			Μετά			
	Π	B	A	A/Δ	Δ	A	A/Δ	Δ	A	A/Δ	Δ	A	A/Δ	Δ	
<b>Με ήχο</b>	1		0	1	0	0	0,71 4	0,2 85	0	0,43 7	0,5 62	0	0,77 7	0,222	
		1	0,2	0,4	0,4	0	0,5	0,5	0	0,42 8	0,5 71	0	0,5	0,5	
	2		0	0,37 5	0,6 25	0	0,25	0,7 5	0	0,44 4	0,5 55	0	0,4	0,6	
		2	0	0	1	0	0,16 6	0,8 33	0	0,28 5	0,7 14	0	0,15 3	0,846	
	5		0	0,88 8	0,1 11	0	0,3	0,7	0	0,33 3	0,6 66	0	0,21 4	0,785	
		5	0	0,55 5	0,4 44	0	0,3	0,7	0	0,62 5	0,3 75	0	0,28 5	0,714	
		<b>Π</b>	<b>0</b>	<b>2,26 3</b>	<b>0,7 36</b>	<b>0</b>	<b>1,26 4</b>	<b>1,7 35</b>	<b>0</b>	<b>1,21 4</b>	<b>1,7 83</b>	<b>0</b>	<b>1,39 1</b>	<b>1,607</b>	
		<b>B</b>	<b>0,2</b>	<b>0,95 5</b>	<b>1,8 44</b>	<b>0</b>	<b>0,96 6</b>	<b>2,0 33</b>	<b>0</b>	<b>1,33 8</b>	<b>1,6 6</b>	<b>0</b>	<b>0,93 8</b>	<b>2,06</b>	
	6*		0	0,91 6	0,0 83	0,1 66	0,83 3	0	0,1 25	0,5	0,3 75	0,0 83	0,83 3	0,083	
		7*		0	1	0	0	1	0	0,2 85	0,28 5	0,4 28	0,1 81	0,72 7	0,09
	7*	0	0,66 6	0,3 33	0,1 81	0,81 8	0	0	0,57 1	0,4 28	0	0,71 4	0,285		
	<b>Σύνολο Π</b>	<b>0</b>	<b>1,91 6</b>	<b>0,0 83</b>	<b>0,1 66</b>	<b>1,83 3</b>	<b>0</b>	<b>0,4 1</b>	<b>0,78 5</b>	<b>0,8 03</b>	<b>0,2 64</b>	<b>1,56 4</b>	<b>0,173</b>		
	<b>Σύνολο B</b>	<b>0</b>	<b>0,66 6</b>	<b>0,3 33</b>	<b>0,1 81</b>	<b>0,81 8</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,57 1</b>	<b>0,4 28</b>	<b>0</b>	<b>0,71 4</b>	<b>0,285</b>		
<b>-62 dBu</b>	8 (36)		0	0,62 5	0,3 75	0	0,25	0,7 5	0	0,16 6	0,8 33	0	0,41 6	0,583	
		8 (36)	0	0,5	0,5	0	0	1	0	0	1	0	0,4	0,6	
<b>-42 dBu</b>	9 (40)		0	0,57 1	0,4 28	0	0	1	0	0	1	0	0,36 3	0,636	
		9 (40)	0	0,25	0,7 5	0	0	1	0	0,16 6	0,8 33	0	0,37 5	0,625	
<b>-20 dBu</b>	10 (41)		0	1	0	0	0	1	0	0,33 3	0,6 66	0	0,53 8	0,461	
		10 (41)	0	0,33 3	0,6 66	0	0	1	0	0	1	0	0,33 3	0,666	
<b>-10 dBu</b>	11 (42)		0	0,37 5	0,6 25	0	0	1	0	0	1	0	0	1	
		11 (42)	0	0,14 2	0,8 57	0	0	1	0	0	1	0	0,42 8	0,571	

<b>Μάρτυρας</b>	1		0	0,6	0,4	<b>0</b>	0,6	0,4	<b>0</b>	0,5	0,5	<b>0</b>	0,769	0,23
		1	0	0,5	0,5	<b>0</b>	0,666	0,333	<b>0</b>	0,444	0,555	<b>0</b>	0,428	0,571
	2		0	0,333	0,666	<b>0</b>	0,571	0,428	<b>0</b>	0,5	0,5	<b>0</b>	0,785	0,214
		2	0	1	0	<b>0</b>	0,5	0,5	<b>0</b>	0	1	<b>0,666</b>	0	0,333
	5		0	0,777	0,222	<b>0</b>	0,571	0,428	<b>0,125</b>	0,875	0	<b>0</b>	0,785	0,214
		5	0	0,333	0,666	<b>0</b>	0	1	<b>0</b>	0,833	0,166	<b>1</b>	0,769	0,23
		<b>Π</b>	<b>0</b>	<b>1,71</b>	<b>1,288</b>	<b>0</b>	<b>1,742</b>	<b>0,856</b>	<b>0,125</b>	<b>1,875</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>2,339</b>	<b>0,658</b>
		<b>B</b>	<b>0</b>	<b>1,833</b>	<b>1,166</b>	<b>0</b>	<b>1,166</b>	<b>1,833</b>	<b>0</b>	<b>1,277</b>	<b>1,721</b>	<b>1,666</b>	<b>1,197</b>	<b>1,134</b>
	6*		0	1,571	0,363	<b>0</b>	1	0	<b>0,111</b>	0,666	0,222	<b>0,090</b>	0,818	0,090
	7*		0	0,5	0,5	<b>0,1</b>	0,6	0,3	<b>0,25</b>	0,5	0,25	<b>0</b>	0,5	0,5
		7*	0	0,555	0,444	<b>0</b>	0,875	0,125	<b>0,125</b>	0,375	0,5	<b>0</b>	0,769	0,23
<b>Σύνολο Π</b>		<b>Π</b>	<b>0</b>	<b>2,071</b>	<b>0,863</b>	<b>0,1</b>	<b>1,6</b>	<b>0,3</b>	<b>0,361</b>	<b>1,166</b>	<b>0,472</b>	<b>0,090</b>	<b>1,318</b>	<b>0,59</b>
<b>Σύνολο B</b>		<b>B</b>	<b>0</b>	<b>0,555</b>	<b>0,444</b>	<b>0</b>	<b>0,875</b>	<b>0,125</b>	<b>0,125</b>	<b>0,375</b>	<b>0,5</b>	<b>0</b>	<b>0,769</b>	<b>0,23</b>
-62 dBu	8 (36)		0	0,777	0,222	<b>0</b>	1	0	<b>0</b>	0,5	0,5	<b>0</b>	0,923	0,076
		8 (36)	0	0,714	0,285	<b>0</b>	1	0	<b>0</b>	0,166	0,833	<b>0</b>	0,909	0,090
-42 dBu	9 (40)		0	0,625	0,375	<b>0</b>	1	0	<b>0</b>	0,142	0,857	<b>0</b>	0,428	0,571
		9 (40)	0	0,777	0,222	<b>0</b>	0,9	0,1	<b>0</b>	0	1	<b>0</b>	0,461	0,538
-20 dBu	10 (41)		0	0,857	0,142	<b>0</b>	0,9	0,1	<b>0</b>	0,142	0,857	<b>0</b>	0,153	0,846
		10 (41)	0	0,857	0,142	<b>0</b>	0,888	0,111	<b>0</b>	0,25	0,75	<b>0</b>	0,416	0,583
-10 dBu	11 (42)		0	1	0	<b>0</b>	1	0	<b>0</b>	0	1	<b>0</b>	0,222	0,77
		11 (42)	0	0,833	0,166	<b>0</b>	1	0	<b>0</b>	0,142	0,857	<b>0</b>	0,333	0,666

\*(6,7) : το ηχείο βρίσκεται αριστερά

**Πίνακας 2:** Μετακινήσεις ψαριών που εκτίθενται σε ήχο 200Hz έντασης -30dBu. Κοντινή λήψη.

Ενυδρείο	Ημέρα		Πριν		Ήχος		Τροφή + ήχο		Μετά	
	Π	B	Δ	sf	Δ	sf	Δ	sf	Δ	sf
<b>Με ήχο</b>	3		1	0	0,9	0,1	1	0	0,75	0,25
		3	1	0	0,9	0,1	0,833	0,166	0,857	0,142
	4		0,8	0,2	0,888	0,111	0,2	0,285	0,769	0,23
		4	1	0	0,888	0,111	1	0	0,666	0,333
	<b>Σύνολο Π</b>		<b>1,8</b>	<b>0,2</b>	<b>1,788</b>	<b>0,211</b>	<b>1,2</b>	<b>0,285</b>	<b>1,519</b>	<b>0,48</b>
	<b>Σύνολο B</b>		<b>2</b>	<b>0</b>	<b>1,788</b>	<b>0,211</b>	<b>1,833</b>	<b>0,166</b>	<b>1,523</b>	<b>0,475</b>
<b>Μάρτυρας</b>	3		0,75	0,25	0,666	0,333	0,666	0,333	1	0
		3	1	0	1	0	0	0	0	0
	4		0,833	0,166	1	0	1	0	0,916	0,083
		4	0	0	1	0	0,933	0,066	1	0
	<b>Σύνολο Π</b>		<b>1,583</b>	<b>0,416</b>	<b>1,666</b>	<b>0,333</b>	<b>1,666</b>	<b>0,333</b>	<b>1,916</b>	<b>0,083</b>
	<b>Σύνολο B</b>		<b>1</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0,933</b>	<b>0,066</b>	<b>1</b>	<b>0</b>

0 : Η ταίστρα στο M είχε αδειάσει

**Πίνακας 3:** Μετακινήσεις ψαριών κατά τις ημέρες παύσης.

Ημέρα	Ενυδρείο «με ήχο»				Μάρτυρας			
	A	A/Δ	Δ	sf	A	A/Δ	Δ	sf
8			0,447	0,552			0,722	0,277
13 (Π)	0	0,578	0,421		0	0,4	0,6	
Τροφή	0	0,375	0,625		0,095	0,285	0,619	
13 (B)	0	0,588	0,411		0	0,461	0,538	
Τροφή	0	0,235	0,764		0	0,45	0,55	
15 (ηχείο αριστερά)	0	0,45	0,55		0,162	0,513	0,324	
22	0	0,361	0,638		0	0,576	0,423	
<b>Σύνολο</b>	<b>0</b>	<b>2,587</b>	<b>3,856</b>	<b>0,552</b>	<b>0,257</b>	<b>2,685</b>	<b>3,776</b>	<b>0,277</b>

**Πίνακας 4:** Μετακινήσεις ψαριών που εκτίθενται σε ήχο 500Hz έντασης -30dBu. Κοντινή λήψη.

Ενυδρείο	Ημέρα		Πριν		Ήχος		Τροφή + ήχο		Μετά	
	Π	B	Δ	sf	Δ	sf	Δ	sf	Δ	sf
<b>Με ήχο</b>	1 (9)		0,875	0,125	0,666	0,333	0,857	0,142	0,727	0,272
		1 (9)	1	0	1	0	1	0	0,615	0,384
	4(12)		0,9	0,1	0,888	0,111	1	0	1	0
		4(12)	1	0	1	0	1	0	0,846	0,153
	<b>Σύνολο Π</b>		<b>1,775</b>	<b>0,225</b>	<b>1,554</b>	<b>0,444</b>	<b>1,857</b>	<b>0,142</b>	<b>1,727</b>	<b>0,272</b>
	<b>Σύνολο B</b>		<b>2</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>1,461</b>	<b>0,537</b>
<b>Μάρτυρας</b>	1 (9)		1	0	1	0	0,375	0,625	0,833	0,166
		1 (9)	1	0	1	0	0,875	0,125	0,785	0,214
	4(12)		0,8	0,2	1	0	0,75	0,25	0,928	0,071
		4(12)	0,875	0,125	0,909	0,090	1	0	0,727	0,272
	<b>Σύνολο Π</b>		<b>1,8</b>	<b>0,2</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>1,125</b>	<b>0,875</b>	<b>1,761</b>	<b>0,237</b>
	<b>Σύνολο B</b>		<b>1,875</b>	<b>0,125</b>	<b>1,909</b>	<b>0,090</b>	<b>1,875</b>	<b>0,125</b>	<b>1,512</b>	<b>0,486</b>

**Πίνακας 5:** Μετακινήσεις ψαριών που εκτίθενται σε ήχο 500Hz έντασης -30dBu. Λήψη όλου του ενυδρείου.

Ενυδρείο	Ημέρα		Πριν			Ήχος			Τροφή + ήχο			Μετά		
	Π	B	A	A/Δ	Δ	A	A/Δ	Δ	A	A/Δ	Δ	A	A/Δ	Δ
<b>Με ήχο</b>	2 (10)		0	0,8	0,2	0	0,444	0,555	0	0	1	0	0,071	0,928
		2 (10)	0,111	0,454	0,272	0	0,3	0,7	0	0	1	0	0,357	0,642
	3 (11)		0	0,444	0,555	0	0,6	0,4	0	0,333	0,666	0	0,214	0,785
		3 (11)	0,125	0,625	0,255	0	0,555	0,444	0	0,25	0,75	0	0,333	0,666
	<b>Σύνολο Π</b>		<b>0</b>	<b>1,244</b>	<b>0,755</b>	<b>0</b>	<b>1,044</b>	<b>0,955</b>	<b>0</b>	<b>0,333</b>	<b>1,666</b>	<b>0</b>	<b>0,285</b>	<b>1,713</b>
	<b>Σύνολο B</b>		<b>0,236</b>	<b>1,079</b>	<b>0,522</b>	<b>0</b>	<b>0,855</b>	<b>1,144</b>	<b>0</b>	<b>0,25</b>	<b>1,75</b>	<b>0</b>	<b>0,69</b>	<b>1,308</b>
	5 (14)		0	0,444	0,555	0,058	0,764	0,176	-	-	-	0	0,428	0,571
		5 (14)	0,45	0,55	0	0,473	0,052	-	-	-	0	0,454	0,545	
<b>-62 dBu</b>	6 (32)		0	0,6	0,4	0	1	0	0	0	1	0	0,444	0,555
		6 (32)	0	0,4	0,6	0	0,333	0,666	0	0	1	0	0,545	0,454
<b>-42 dBu</b>	7 (33)		0	0,6	0,4	0	0,333	0,666	0	0	1	0	0,545	0,454
		7 (33)	0	0,166	0,454	0	0	1	0	0	1	0	0,285	0,714
<b>-20 dBu</b>	8 (34)		0	0,428	0,571	0	0	1	0	0	1	0	0,25	0,75
		8 (34)	0	0,4	0,6	0	0,2	0,8	0	0,25	0,75	0	0,23	0,769
<b>-10 dBu</b>	9 (35)		0	0,333	0,666	0	0,5	0,5	0	0,5	0,5	0	0,1	0,9
		9 (35)	0	0,2	0,8	0	0	1	0	0	1	0	0,545	0,454
<b>Μάρτυρας</b>	2 (10)		0	0,8	0,2	0	0,875	0,125	0	0,714	0,285	0	0,384	0,615
		2 (10)	0	0,625	0,375	0	0,375	0,625	0	0,875	0,125	1	0,615	0,384
	3 (11)		0	0,7	0,3	0	0,777	0,222	0,125	0,375	0,5	0,071	0,357	0,571
		3 (11)	0	0	0	0	0	0	0	0,625	0,375	0	0,384	0,615
	<b>Σύνολο Π</b>		<b>0</b>	<b>1,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0</b>	<b>1,652</b>	<b>0,347</b>	<b>0,125</b>	<b>1,089</b>	<b>0,785</b>	<b>0,071</b>	<b>0,741</b>	<b>1,186</b>
	<b>Σύνολο B</b>		<b>0</b>	<b>0,625</b>	<b>0,375</b>	<b>0</b>	<b>0,375</b>	<b>0,625</b>	<b>0</b>	<b>1,5</b>	<b>0,5</b>	<b>1</b>	<b>0,999</b>	<b>0,999</b>
	5 (14)		0	0,4	0,6	0	0,437	0,562	-	-	-	0	0,428	0,571
		5 (14)	0,15	0,75	0,1	0	1	0	-	-	-	0	0,4	0,6
<b>-62 dBu</b>	6 (32)		0	0,666	0,333	0	0,75	0,25	0	0,875	0,125	0	1	0
		6 (32)	0	0,833	0,166	0	1	0	0	0,5	0,5	0	0,5	0,5
<b>-42 dBu</b>	7 (33)		0	0,8	0,2	0	1	0	0	0,125	0,875	0	0,666	0,333
		7 (33)	0	0,666	0,333	0	0,75	0,25	0	0,333	0,666	0	0,818	0,181

-20 dBu	8 (34)		0	0,777	0,222	0	0,888	0,111	0	0	1	0	0,166	0,833
		8 (34)	0	0,888	0,111	0	1	0	0	0,428	0,571	0	1	0
-20 dBu	9 (35)		0	1	0	0	0,8	0,2	0	0	1	0	0,25	0,75
		9 (35)	0	0,888	0,111	0	0,875	0,125	0	0,5	0,5	0	0,153	0,846

5(14) : χωρίς τροφοί, το ηχείο αριστερά

**Πίνακας 6:** Μετακινήσεις ψαριών που εκτίθενται σε ήχο 800Hz έντασης -30dBu. Λήψη όλου του ενυδρείου.

Ενυδρείο	Ημέρα		Πριν			Ήχος			Τροφοί + ήχο			Μετά		
	Π	B	A	A/Δ	Δ	A	A/Δ	Δ	A	A/Δ	Δ	A	A/Δ	Δ
Με ήχο	1 (16)		0	0,444	0,555	0	0,4	0,6	0	0,4	0,6	0	0,076	0,923
		1 (16)	0	0,428	0,571	0	0,272	0,727	0	0	1	0	0,285	0,714
		4 (19)	0	0,875	0,125	0	0,3	0,7	0	0	1	0	0,461	0,538
	<b>Σύνολο B</b>		<b>0</b>	<b>1,303</b>	<b>0,696</b>	<b>0</b>	<b>0,572</b>	<b>1,427</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0,745</b>	<b>1,252</b>
	5 (20)		0,4	0,5	0,1	0,625	0,375	0	0	0	1	0	0,545	0,454
		5 (20)	0,352	0,588	0,058	0,3	0,7	0	0	0,4	0,6	0	0,75	0,25
	6 (21)*		0,4	0,6	0	0,333	0,666	0	0	1,333	0,666	0	0,923	0,076
		6 (21)*	0,4	0,6	0	0,5	0,375	0,125	0	0,666	0,333	0	0,916	0,083
<b>Σύνολο Π</b>		<b>0,8</b>	<b>1,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,958</b>	<b>1,041</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1,333</b>	<b>1,666</b>	<b>0</b>	<b>1,468</b>	<b>0,53</b>	
<b>Σύνολο B</b>		<b>0,752</b>	<b>1,188</b>	<b>0,058</b>	<b>0,8</b>	<b>1,075</b>	<b>0,125</b>	<b>0</b>	<b>1,066</b>	<b>0,933</b>	<b>0</b>	<b>1,666</b>	<b>0,333</b>	
-62 dBu	7 (28)		0	0,8	0,2	0	0,5	0,5	0	0	1	0	0,545	0,454
		7 (28)	0	0,888	0,111	0	1	0	0	0	1	0	0,615	0,384
-42 dBu	8(29)		0	0,4	0,3	0	0,857	0,142	0	0	1	0	0,25	0,75
		8 (29)	0	0,5	0,5	0	0,2	0,8	0	0	1	0	0,357	0,642
-20 dBu	9 (30)		0	0,333	0,666	0	0	1	0	0	1	0	0,307	0,692
		9 (30)	0	0,333	0,666	0	0,125	0,875	0	0	1	0	0,583	0,416
-10 dBu	10 (31)		0	0,5	0,5	0	0	1	0	0	1	0	0,416	0,583
		10 (31)	0	0,285	0,714	0	0,285	0,714	0	0	1	0	0,142	0,857
<b>Μάρτυρας</b>	1 (16)		0	0,555	0,444	0	0,9	0,1	0	0,625	0,375	0	0,571	0,428



	1 (16)	0	0,88 8	0,1 11	<b>0,1</b> <b>25</b>	0,62 5	0,2 5	<b>0</b>	0,5	0,5	<b>0</b>	0,14 2	0,857	
	4 (19)	0	0,87 5	0,1 25	<b>0,1</b> <b>42</b>	0,57 1	0,2 85	<b>0</b>	0,44 4	0,5 55	<b>0</b>	0,58 3	0,416	
	<b>Σύνολο Β</b>		<b>0</b>	<b>1,75</b> <b>5</b>	<b>0,2</b> <b>36</b>	<b>0,2</b> <b>67</b>	<b>1,19</b> <b>6</b>	<b>0,5</b> <b>35</b>	<b>0</b>	<b>0,94</b> <b>4</b>	<b>1,0</b> <b>55</b>	<b>0</b>	<b>0,72</b> <b>5</b>	<b>1,273</b>
	5 (20)*	0	0,14 2	0,8 57	<b>0</b>	0,4	0,6	<b>0</b>	0,12 5	0,8 75	<b>0</b>	0,61 5	0,384	
	5 (20)*	0	0,18 7	0,8 12	<b>0</b>	0,22 2	0,7 77	<b>0</b>	0,66 6	0,3 33	<b>0</b>	0,6	0,4	
	6 (21)*	0	0,44 4	0,5 55	<b>0</b>	0,62 5	0,3 75	<b>0</b>	0,5	0,5	<b>0</b>	0,38 4	0,615	
	6 (21)*	0,1 25	0,75	0,1 25	<b>0</b>	0,5	0,5	<b>0</b>	0,57 1	0,4 28	<b>0,1</b> <b>66</b>	0,66 6	0,166	
	<b>Σύνολο Π</b>		<b>0</b>	<b>0,58</b> <b>6</b>	<b>1,4</b> <b>12</b>	<b>0</b>	<b>1,02</b> <b>5</b>	<b>0,9</b> <b>75</b>	<b>0</b>	<b>0,62</b> <b>5</b>	<b>1,3</b> <b>75</b>	<b>0</b>	<b>0,99</b> <b>9</b>	<b>0,999</b>
	<b>Σύνολο Β</b>		<b>0,1</b> <b>25</b>	<b>0,93</b> <b>7</b>	<b>0,9</b> <b>37</b>	<b>0</b>	<b>0,72</b> <b>2</b>	<b>1,2</b> <b>77</b>	<b>0</b>	<b>1,23</b> <b>7</b>	<b>1,9</b> <b>98</b>	<b>0,1</b> <b>66</b>	<b>1,26</b> <b>6</b>	<b>0,566</b>
-62 dBu	7 (28)	0	0,87 5	0,1 25	<b>0</b>	0,85 7	0,1 42	<b>0</b>	0,71 4	0,2 85	<b>0</b>	1	0	
	7 (28)	0	1	0	<b>0</b>	0,9	0,1	<b>0</b>	0,28 5	0,7 14	<b>0</b>	1	0	
-42 dBu	8 (29)	0	0,83 3	0,1 66	<b>0</b>	1	0	<b>0</b>	0,45 4	0,5 45	<b>0</b>	0,81 8	0,181	
	8 (29)	0	1	0	<b>0</b>	0,85 7	0,1 42	<b>0</b>	0,25	0,7 5	<b>0</b>	0,15 3	0,846	
-20 dBu	9 (30)	0	0,55 5	0,4 44	<b>0</b>	0,62 5	0,3 75	<b>0</b>	0,5	0,5	<b>0</b>	0,18 1	0,818	
	9 (30)	0	0,57 1	0,4 28	<b>0</b>	0,57 1	0,4 28	<b>0</b>	0	1	<b>0</b>	0,41 6	0,583	
-10 dBu	10 (31)	0	0,87 5	0,1 25	<b>0</b>	0,9	0,1	<b>0</b>	0	1	<b>0</b>	0,38 4	0,615	
	10 (31)	0,1 66	0,83 3	0	<b>0</b>	0,77 7	0,2 22	<b>0</b>	0,33 3	0,6 66	<b>0</b>	0,69 2	0,307	

(20), 6(21) : ηχείο αριστερά

Πίνακας 7: Μετακινήσεις ψαριών που εκτίθενται σε ήχο 800Hz έντασης -30dBu. Κοντινή λήψη.

Ενυδρείο	Ημέρα		Πριν		Ήχος		Τροφή + ήχο		Μετά	
	Π	B	Δ	sf	Δ	sf	Δ	sf	Δ	sf
Με ήχο	2(17)		0,666	0,333	0,9	0,1	0,7	0,3	0,875	0,125
		2(17)	0,6	0,4	0,7	0,3	1	0	0,75	0,25
	3(18)		0,875	0,125	0,6	0,4	1	0	1	0
		3(18)	0,875	0,125	0,75	0,25	0,875	0,125	0,692	0,307
	<b>Σύνολο Π</b>		<b>1,541</b>	<b>0,458</b>	<b>1,5</b>	<b>0,5</b>	<b>1,7</b>	<b>0,3</b>	<b>1,875</b>	<b>0,125</b>
	<b>Σύνολο Β</b>		<b>1,475</b>	<b>0,525</b>	<b>1,45</b>	<b>0,55</b>	<b>1,875</b>	<b>0,125</b>	<b>1,442</b>	<b>0,557</b>
Μάρτυρας	2(17)		0,7	0,3	0,875	0,125	1	0	0,285	0,714
		2(17)	1	0	0,75	0,25	0,666	0,333	0,923	0,076
	3(18)		0,75	0,25	0,777	0,222	0,6	0,4	0,666	0,333
		3(18)	1	0	1	0	0,428	0,571	0,692	0,307
	<b>Σύνολο Π</b>		<b>1,45</b>	<b>0,55</b>	<b>1,652</b>	<b>0,347</b>	<b>1,6</b>	<b>0,4</b>	<b>0,951</b>	<b>1,047</b>
	<b>Σύνολο Β</b>		<b>2</b>	<b>0</b>	<b>1,75</b>	<b>0,25</b>	<b>1,094</b>	<b>0,904</b>	<b>1,615</b>	<b>0,383</b>

**Πίνακας 8:** Μετακινήσεις ψαριών που εκτίθενται σε ήχο 1250Hz έντασης -30dBu. Λήψη όλου του ενυδρείου.

Ενυδρείο	Ημέρα		Πριν			Ήχος			Τροφή + ήχο			Μετά		
	Π	B	A	A/ Δ	Δ	A	A/Δ	Δ	A	A/Δ	Δ	A	A/Δ	Δ
Με ήχο	1 (23)		0,1 25	0, 75	0,1 25	0	0,5	0,5	0	0,428	0,5 71	0	0,416	0,5 83
		1 (23)	0	0, 33 3	0,6 66	0	0,333	0,6 66	0	0	1	0	0,6	0,4
-42 dBu	2 (24)		0	0, 8	0,2	0	1	0	0	0	1	0	0,25	0,7 5
		2 (24)	0	0, 66 6	0,3 33	0	1	0	0	0,5	0,5	0	0,285	0,7 14
-62 dBu (λιγότερες κυκλικές)	3 (25)		0	0, 2	0,8	0	0,428	0,5 71	0	0	1	0	0,615	0,3 84
		3 (25)	0	0, 66 6	0,3 33	0	0,444	0,5 55	0	0	1	0	0,090	0,9 09
-20dBu	4 (26)		0	0, 42 8	0,5 71	0	0,888	0,1 11	0	0	1	0	0,363	0,6 36
		4 (26)	0	0, 42 8	0,5 71	0	0,5	0,5	0	0,5	0,5	0	0,666	0,3 33
-10dBu	5(27)		0,1 25	0, 87 5	0	0	0,875	0,1 125	0	0	1	0	0,307	0,6 92
		5 (27)	0	0, 57 1	0,4 28	0	0,777	0,2 22	0	0,625	0,3 75	0	0,571	0,4 28
	Σύνολο Π		0,2 5	3, 05 3	1,6 96	0	5,387	1,3 07	0	0,428	4,5 71	0	1,951	3,0 45
	Σύνολο B		0	2, 66 4	2,3 31	0	3,054	1,9 43	0	1,625	3,3 75	0	2,212	2,7 84
Μάρτυρας	1 (23)		0	0, 62 5	0,3 75	0,1 25	0,625	0,2 5	0	0,125	0,8 75	0	0,5	0,5
		1 (23)	0	0, 57 1	0,4 28	0,1	0,2	0,7	0	0,285	0,7 14	0	0,75	0,2 5
		2 (24)	0	0, 6	0,4	0	0,75	0,2 5	0	0,428	0,5 71	0	0,181	0,8 18
		2 (24)	0	0, 75	0,2 5	0	0,428	0,5 71	0	0,285	0,7 14	0	0,214	0,7 85
-62 dBu	3 (25)		0	0, 71 4	0,2 85	0	0,727	0,2 72	0	0,375	0,6 25	0	0,230	0,7 69
		3 (25)	0	0, 44 4	0,5 55	0	0,7	0,3	0	0,222	0,7 77	0	0,5	0,5
-20dBu	4 (26)		0	0, 6	0,4	0	0,75	0,2 5	0	0	1	0	0,153	0,8 46
		4 (26)	0	0, 75	0,2 5	0	0,5	0,5	0	0,571	0,4 28	0	0,833	0,1 66
-10dBu	5 (27)		0	0, 44 4	0,5 55	0	0,444	0,5 55	0	0	1	0	0,071	0,9 28
		5 (27)	0	0, 83 3	0,1 66	0	0,727	0,2 72	0	0,333	0,6 66	0	0,818	0,1 81
	Σύνολο Π		0	2, 98 3	2,0 15	0,1 25	3,296	1,5 77	0	0,928	4,9 99	0	1,135	3,8 61
	Σύνολο B		0	3, 34 8	1,6 49	0,1	2,555	2,3 43	0	1,696	3,2 99	0	3,115	1,8 82

2 : πολλές κυκλικές κινήσεις γύρω από το ηχείο

Πίνακας 9: Μεταφορά του ηχείου στο ενυδρείο με τους μάρτυρες (500 Hz, -32dBu ).

Ενυδρείο	Ημέρα		Πριν			Ήχος			Τροφή + ήχο			Μετά		
	Π	B	A	A/Δ	Δ	A	A/Δ	Δ	A	A/Δ	Δ	A	A/Δ	Δ
<b>Με ήχο (M)</b>	1 (46)		0	0	0	<b>0</b>	0	0	<b>0</b>	0	1	<b>0</b>	0	1
		1 (46)	0	0,25	0,75	<b>0</b>	0,71	0,285	<b>0</b>	0,25	0,75	<b>0</b>	0,428	0,571
	2 (47)		0	0,75	0,25	<b>0</b>	0,5	0,5	<b>0</b>	0,571	0,428	<b>0</b>	0,714	0,285
		2 (47)	0	0,75	0,25	<b>0</b>	0,555	0,444	<b>0</b>	0	1	<b>0</b>	0,384	0,615
	<b>Σύνολο Π</b>		<b>0</b>	<b>0,75</b>	<b>0,25</b>	<b>0</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0</b>	<b>0,571</b>	<b>1,428</b>	<b>0</b>	<b>0,714</b>	<b>1,285</b>
	<b>Σύνολο B</b>		<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1,269</b>	<b>0,729</b>	<b>0</b>	<b>0,25</b>	<b>1,75</b>	<b>0</b>	<b>0,812</b>	<b>1,186</b>
<b>Χωρίς τροφή</b>	3 (48)		0	0,888	0,111	<b>0</b>	0,142	0,857	<b>0</b>	0,285	0,714	<b>0</b>	0,666	0,333
<b>Μάρτυρας (πρώην με ήχο)</b>	1 (46)		0	0,888	0,111	<b>0</b>	0,666	0,333	<b>0</b>	0	1	<b>0</b>	0,222	0,777
		1 (46)	0	0,666	0,222	<b>0</b>	0,833	0,166	<b>0</b>	0,25	0,75	<b>0</b>	0,090	0,909
	2 (47)		0	0,6	0,4	<b>0</b>	0,666	0,333	<b>0</b>	0	1	<b>0</b>	0,428	0,571
		2 (47)	0	0,142	0,857	<b>0</b>	0	1	<b>0</b>	0	1	<b>0</b>	0,3	0,7
	<b>Σύνολο Π</b>		<b>0</b>	<b>1,488</b>	<b>0,511</b>	<b>0</b>	<b>1,332</b>	<b>0,666</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0,65</b>	<b>1,348</b>
	<b>Σύνολο B</b>		<b>0</b>	<b>0,808</b>	<b>1,079</b>	<b>0</b>	<b>0,833</b>	<b>1,166</b>	<b>0</b>	<b>0,25</b>	<b>1,75</b>	<b>0</b>	<b>0,39</b>	<b>1,609</b>
<b>Χωρίς τροφή</b>	3 (48)		0,333	0,666	0	<b>0</b>	0,666	0,333	<b>0</b>	0,6	0,4	<b>0</b>	0,4	0,6

## 2. Πίνακες μετρήσεων για τα πειράματα αναλογικού σήματος σε ενυδρείο (2<sup>η</sup> σειρά πειραμάτων)

**Πίνακας 10:** Θέσεις ψαριών που εκτίθενται σε ήχο 200 Hz. (Εν = ενυδρείο, Η = ηχείο, Μ = μάρτυρες, π = πρωί, β = βράδυ, Α = αριστερά, sf = self-feeder, η = ήχος, esf = electrical self-feeder, Δ = δεξιά, Σπ = σύνολο πρωί, Σβ = σύνολο βράδυ).

Εν	Ημέρα		Πριν					Ήχος					Τροφή + ήχος					Μετά						
	π	β	Α	sf	η	esf	Δ	Α	sf	η	esf	Δ	Α	sf	η	esf	Δ	Α	sf	η	esf	Δ		
Η	1α		0,25	2	2,66	2,33	0,5	0,93	2,33	2,5	0,5	0,93	2,33	2,5	0,5	0,93	2,33	0,5	0,93	2,33	2,5	0,5	0,93	2,33
		1β	0,5	1	2	2,33	0,5	0,21	0,85	1,6	1,5	0,48	0,15	2	1,8	1,8	2,25	0,65	0,15	1,8	1,8	2	0,9	
	2	1	0,82	1,66	1	1,66	0,33	0,46	2,33	2,5	0,46	0,68	2,5	0,22	2,5	1,75	0,5	0,45	1,8	1,6	1,2	0,7		
		2α	0,58	1,66	1,33	2	0,75	0,15	1,33	1,6	2	0,75	0,15	1,33	1,6	2	3,125	1	0,25	1,4	1,4	2,4	0,75	
	3	2β	0,16	2,33	2	2	0,5	0,21	1,75	2,625	0,62	0,55	1,6	0,5	1,75	1	0,93	0,45	2,8	1,8	1,4	0,3		
			2	0,88	1,66	2	2,66	0,83	0	1,33	2,25	0,62	0,22	3,75	2,5	1,375	0,15	0,55	2,2	1,6	1,6	0,55		
	4	3α	0,82	1,33	1,66	1,33	0,41	0,93	2,33	2,375	0,23	0,33	1,75	0,33	1,75	0,33	0,33	0,33	2,6	1	1,6	0,45		
		3β	0,16	1,66	1,66	2	0,83	0,33	1,5	2	0,96	0,68	2	0,15	2,33	2	0,5	0,5	1,6	2,4	2,4	0,7		
	4	3		0,25	1,33	1,66	2	0,83	0,28	2,625	1,625	0,43	0,33	1,375	0,33	1,375	0,33	0,33	2,2	2,2	1,6	0,45		
			4	0,88	1,33	1,33	1,33	0,55	0	2,625	2,625	0,28	0,33	2,125	0,33	2,125	0,33	0,33	2	2	2,2	0,5		

		4	0,4 15	2,6 6	2,6 6	1,6 6	0,1 65	0,2 81 25	3,1 25	2,7 5	1,2 5	5	5	2,8 75	1,7 5	2,1 25	0,3 12 5	0,4 4	2	1,8	2,6	0,4
		5	0,1 65	2,3 3	2,3 3	2,6 6	0,3 33 25	0,0 33 25	2,3 75	3,3 75	2	0,1 87 5	0,1 87 5	3,1 25	2,6 25	3,1 25	0,1 25	0,2 25	2,4	2,6	2,4	0,2 5
		5	0,5	2	2	2	0,5	0,0 93 75	2,2 5	3,1 25	2,6 25	0,2 25	0,3 12 5	2,1 25	2,2 5	2,3 75	0,3 75	0,5	1,8	2	1,6	0,5 5
		6	0,0 82 5	2	2	1,3 3	0,4 15 25	0,0 62 5	3	3,1 25	2,3 75	0,1 87 5	0,3 12 5	2,6 25	2	2,2 5	0,3 12 5	0,3	2,2	1,6	2,4	0,5 5
		6	0,3 32 25	1,3 3	1,3 3	1,3 3	0,3 33 25	0,0 93 75	3	3,2 5	2,2 5	0,1 87 5	0,2 87 5	2,3 75	1,6 25	2,5	0,5 31 25	0,3 5	2,2	2,4	2	0,4 5
		Σ π	0,5 77 5	9,3 2	9,3 2	8,6 5	2,2 44 25	0,4 62 5	1,1 57 5	12	1,5 31 25	1,3 34 75	1,7 5	9,5 5	10,2 5	1,1 25	2,1 25	2	12	9	10	2,0 5
		Σ β	1,5 88	8,9 8	9,6 5	9,6 5	2,6 66 25	0,6 68 5	1,1 43 75	10	1,5 93 75	1,6 87 5	1,4 75	9,6 25	9,7 5	1,6 87 5	2,2 5	10,4	1,0	9,4	2,4	
<b>M</b>	1α		0,6 66 5	1,6 6	1	3,3 3	0,3 33 25	1,1 10 7	1	0	1,7 14	0,5 71 25	0,5	2,6 25	1,1 25	2	0,3 34 75	0,8 5	0,8	1,6	1,8	0,5
	1β		0,0 82 25	1,3 3	2	2,6 6	0,7 5	0,4 42 5	1,1 44 2	3	0,1 42 5	0,3 12 5	3,6 25	0,2 25	2,8 75	0,3 34 75	0,3 5	2	1,6	1,8	0,3 5	
	1		0,3 32 5	2,3 3	2	2	0,3 33 25	0,4 44 25	3,7 14	1,8 57	2,1 42	0,7 85 5	0,3 34 75	2,8 75	1,5 25	0,3 37 5	0,3	3	1,6	2	0,3	
	2α		0,8 32 25	2,3 3	1,6 6	1,3 3	0,2 5	0,6 78 5	1,8 57 4	1,7 14	1,5 71	0,5	0,8 75	2,3 75	1,5	0,3 34 75	0,5	2	2	2	0,5	
	2β		0,5	2,3 3	2	1,6 6	0,2 5	0,4 46 4	2,5 71	1,4 28	0,3 35 7	0,3 31 2	2,6 25	2,1 2	2,5	0,3 31	0,5	2	2	2	0,5	

						2 5		2			5		5		2 5						
	2	0, 3 3 2 5	2, 3 3	2, 3 3	2,3 3	0, 3 3 2 5	0, 4 2 8 5	2, 4 2 8	2, 4 2 8	2,2 85	0, 6 0 7	0, 2 1 8 7 5	1, 6 2 5	2, 5	3,1 25	0, 3 7 5	0, 4	2,2	2, 4	2,2	0, 3 5
	3α	0, 6 6 5	2	2	1,3 3	0, 3 3 2 5	0, 4 6 4 2 5	2, 1 4 2	2	2	0, 5	0, 1 8 7 5	1, 3 7 5	2	3,2 5	0, 5 9 3 7 5	0, 3 5	1,6	2, 2	2	0, 7
	3β	0, 5 8 2 5	2	2	2	0, 4 1 5	0, 8 5 7	2	1, 2 8 5	1,5 71	0, 3 2 1 2 5	0, 5 3 1 2 5	2, 3 7 5	2, 1 2 5	1,7 5	0, 3 4 3 7 5	0, 4 5	2	2, 2	2	0, 4 5
	3	0, 5	2	2	2	0, 5	0, 3 5 7	1, 8 5 7	2, 2 8 5	2,1 42	0, 5	0, 1 8 7 5	1, 2 5	1, 7 5	3,3 75	0, 7 1 8 7 5	0, 3	2,2	2	2,4	0, 5
	4	0, 4 1 5	2	2	2,3 3	0, 5	0, 4 6 4 2 5	2	2	2,1 42	0, 5	0, 2 1 8 7 5	1, 5	2	2,5	0, 7 8 1 2 5	0, 2 5	2,2	2	2,4	0, 5
	4	0, 5	2	2	2,3 3	0, 3 3 2 5	0, 5	2, 4 2 8	2, 5 7 1	2,2 85	0, 3 5 7	0, 0 9 3 7 5	0, 8 7 5	1, 5	2,3 75	1	0, 4	2	2	2	0, 6
	5	0, 5 8 2 5	1, 6 6	1, 3 3	2	0, 5 8 2 5	0, 5 3 5	2, 4 2 8	2, 1 4 2	2,4 28	0, 5	0, 0 9 3 7 5	1, 3 7 5	2, 1 2 5	2,8 75	0, 7 5	0, 4 5	2,2	2	2,2	0, 4
	5	0, 5 8 2 5	2, 3 3	2	1,6 6	0, 3 3 2 5	0, 3 9 2 7 5	2, 1 4 2	2, 2 8 5	2,2 85	0, 3 9 2 7 5	0, 3 1 2 5	1, 7 5	1, 7 5	2,7 5	0, 5 9 3 7 5	0, 1 5	2,4	2, 8	2,6	0, 3 5
	6	0, 4 1 5	2	2	2	0, 5	0, 4 6 4 2 5	1, 8 5 7	1, 8 5 7	2	0, 5 3 5 5	0, 0 6 2 5	1	2, 1 2 5	2,8 75	0, 8 7 5	0, 1 5	2,2	2, 4	2,8	0, 4 5
	6	0, 3 3 2 5	1, 3 3	1, 3 3	1,3 3	0, 3 3 2 5	0, 4 6 4 2 5	2	2	2	0, 5	0, 1 5 6 2 5	1	2	3,1 25	0, 7 5	0, 3	2,2	2, 4	2,4	0, 4 5
	Σ π	2, 5 7 7 5	9, 9 3 3	9, 3 3	9,3 2	2, 1 6 5	2, 3 9 2 5	1, 0 9 9 8	1, 0 1 4 1	9,9 98	2, 3 9 2 5	0, 8 7 5	7, 8 7 5	1, 0 3 7 5	14	3, 3 1 2 5	1, 7	10, 2	1, 0 6	11, 4	2, 5 5
	Σ β	2, 2	9, 9	9, 6	9,6 5	1, 8	2, 1	1, 0	1, 1	10, 99	2, 3	0, 9	6, 5	9, 5	14, 75	3, 1	11	1, 1	11, 6	2, 2	

		4 7 5	9	6		3	4 2 5	8 5 5	,	7	5 6 7 5	6 8 7 5		5		4 3 7 5	5 5					2 5
--	--	-------------	---	---	--	---	-------------	-------------	---	---	------------------	------------------	--	---	--	------------------	--------	--	--	--	--	--------

1α : χωρίς τροφή, χωρίς ήχο

1β, 1 : ήχος + ταΐστρα αυτοχειρισμού

2α, 3β : ήχος, χωρίς τροφή

2β, 2, 3α : ήχος, ηλεκτρική ταΐστρα

**Πίνακας 11:** Θέσεις ψαριών που εκτίθενται σε ήχο 500 Hz. (Ev = ενυδρείο, H = ηχείο, M = μάρτυρες, π = πρωί, β = βράδυ, A = αριστερά, sf = self-feeder, η = ήχος, esf = electrical self-feeder, Δ = δεξιά, Σπ = σύνολο πρωί, Σβ = σύνολο βράδυ).

Ev	Ημέρα	Πριν						Ήχος						Τροφή + ήχος						Μετά					
		π	β	A	sf	η	esf	Δ	A	sf	η	esf	Δ	A	sf	η	esf	Δ	A	sf	η	esf	Δ		
H	1			0, 4 1 5	2, 3 3	2	2,3 3 4 1 5	0, 4 1 5	0	3	3 5	2,7 5	0, 1 2 5	0, 3 7 5	2, 3 7 5	2	2,3 75	0 3 7 5	0 0 1 5	2,2 2, 4 2,6 0 5 5	2, 4 2,6 0 5 5	2, 4 2,6 0 5 5	2,6 0 5 5	0 0 1 5	
		1	0, 1 6 5	3, 3 6	1, 6 6	3,3 3 3	0, 2 5	0	3	2 6 2 5	3,3 75	0, 2 5	0, 0 9 3 7 5	2, 6 2 5	2 1 2 5	2,7 5	0 0 3 7 5	0 0 2 5	2 2 2,4 0 6 5	2 2 2,4 0 6 5	2,4 0 6 5	2,4 0 6 5	0 0 2 5		
		2α	0, 0 8 2 5	2, 3 3	2	2,6 6	1, 7 5	0, 2 8 7 5	2, 3 7 5	2	2,6 25	0, 4 6 8 7 5	0, 2 8 7 5	2, 1 2 5	2 1 2 5	2,1 25	0 6 2 5	0 0 2,4 2, 6 3 0 4	2,4 2, 6 3 0 4	2,4 2, 6 3 0 4	2,4 2, 6 3 0 4	2,4 2, 6 3 0 4	0 0 2,4 2, 6 3 0 4		
		2β	0, 0 8 2 5	1, 6 6	2	2,6 6	2, 5	0	1, 8 7 5	3 2 5	3,8 75	0, 1 8 7 5	0, 0 6 2 5	2, 1 2 5	3 8 7 5	3,2 5	0 0 9 3 7 5	0 0 1,6 2, 8 3,2 0 5	0 0 1,6 2, 8 3,2 0 5	0 0 1,6 2, 8 3,2 0 5	0 0 1,6 2, 8 3,2 0 5	0 0 1,6 2, 8 3,2 0 5	0 0 1,6 2, 8 3,2 0 5		
		2	0, 0 8 2 5	2, 6 6	2, 6 6	2,3 3	0, 3 3 2 2 5	0, 0 6 5	2, 7 5	4	2,8 75	0	0, 3 1 2 5	1, 8 7 5	2 3 7 5	2,6 25	0 0 3 7 5	0 0 2,2 2, 2 2 0 4 5	0 0 2,2 2, 2 2 0 4 5	0 0 2,2 2, 2 2 0 4 5	0 0 2,2 2, 2 2 0 4 5	0 0 2,2 2, 2 2 0 4 5			
		3	0	1	1, 6 6	2	0, 5	0, 0 3 1 2 5	2, 1 2 5	3 7 5	2,7 5	0, 2 5	0, 4 3 7 5	2, 1 2 5	1 2 5	2,5	0 0 5 9 3 7 5	0 0 1,8 2, 2 2,6 0 6	0 0 1,8 2, 2 2,6 0 6	0 0 1,8 2, 2 2,6 0 6	0 0 1,8 2, 2 2,6 0 6	0 0 1,8 2, 2 2,6 0 6			
		3	0, 0 8 2 5	3	2, 3 3	3	0, 2 5	0, 1 5 6 2 2 5	3	2 8 7 5	2,8 75	0, 2 5	0, 4 6 8 7 5	2, 3 7 5	2 2 5	1,7 5	0 0 3 7 5	0 0 2,4 2, 6 2,2 0 2 5	0 0 2,4 2, 6 2,2 0 2 5	0 0 2,4 2, 6 2,2 0 2 5	0 0 2,4 2, 6 2,2 0 2 5				
		4	0, 2 5	1, 6 6	1, 3 3	1,3 3	0, 2 5	0, 1 2 5	2, 2 5	3 1 2 5	3,1 25	0, 8 7 5	0, 1 9 3 7 5	2, 1 2 5	1 6 2 5	1,8 75	0 0 6 2 2 5	0 0 2,6 2, 2 2,6 0 3	0 0 2,6 2, 2 2,6 0 3	0 0 2,6 2, 2 2,6 0 3	0 0 2,6 2, 2 2,6 0 3				
		4	0, 3 3 2 5	2, 6 6	2	2,3 3	0, 4 1 5	0, 0 9 3 7 5	2, 1 2 5	2 5	2,7 5	0, 1 2 5	0, 4 6 2 5	2, 2 5	2 1 2 5	2,2 5	0 0 3 1 1 2 2 5	0 0 2,4 2, 6 3,2 0 5	0 0 2,4 2, 6 3,2 0 5	0 0 2,4 2, 6 3,2 0 5	0 0 2,4 2, 6 3,2 0 5				
		5	0,	2	2,	3	0,	0,	1,	2	2,8	0,	0,	2	1	2,3	0	0	2,4	2,	3	0			

			1 6 5		3 3		4 1 5	1 8 7 5	7 5	, 2 5	75	4 6 8 7 5	4 0 6 2 5		, 6 2 5	75	, 5 6 2 5	, 1		2		, 4	
	5	0, 1 6 5	1, 3 3	1, 3 3	1,3 3	0, 4 1 5	0, 0 3 1 2 5	1, 2 5	1	, 7 5	3	0, 5 9 3 7 5	0, 5 6 2 5	1, 3 7 5	2	2	0	0	1,6	2, 2	2,2	0, 5 5	
	6	0, 5	2	2	2	0, 5	0	3, 1 2 5	4	, 6 2 5	2,2 5	0	0, 5 3 1 2 5	2, 5	1	, 3 7 5	3,2 5	0	0	1,6	1, 6	1,8	0, 4
	6	0, 3 3 2 5	1, 6 6	2, 3 3	2,3 3	0, 5 8 2 5	0, 0 6 2 5	2, 7 5	5	, 2 5	1,2 5	0, 1 2 5	0, 4 3 7 5	2, 3 7 5	1	, 5	3,5	0	0	2	2	2	0, 5
	<b>Σ π</b>	1, 3 3	8, 9 9	9, 3 2	10, 66	2, 0 4 3 7 5	0, 3 4 3 5	1 2, 2 5	1 7, 2 5		13, 75	1, 0 3 1 2 5	2, 3 4 3 7 5	1 1, 1 2 5	7 8 7 5		12, 37 5	2 1, 1 2 5	1 1	10, 6	1 0, 6	12, 6	2 2, 5
	<b>Σ β</b>	1, 1 6	1 4, 6 4	1 2, 3 1	14, 65	2, 2 4 5	0, 4	1 4, 8 7 5	1 9		16, 12 5	1, 3 4 3 7 5	2, 2 8 1 2 5	1 2, 8 7 5	1 2 3 7 5		14, 87 5	2 2, 1 8 7 5	2 1	12, 6	1 3, 6	14	2 9
<b>M</b>	1	0	4, 3 3	2, 3 3	2,6 6	0	0, 2 1 4 2 5	2, 4 2 8	2	, 1 4 2	2,4 28	0, 4 6 4 2 5	0, 0 5	2	3	5,4	1 1, 5	0 3	2,6	2, 2	2,2	0, 3 5	
	1	0, 5	2	2	2	0, 5	0, 5	2	2		2	0, 5	1	1, 4	2	, 8	4,2	1 7 5	0	2	2	0, 5	
	2α	0, 5	2	2	2	0, 5	0, 5	2	2		2	0, 5	1, 2 5	2, 2	2	, 6	4,6	1 4 4	0 4	2,2	2, 2	0, 4 5	
	2β	0, 6 6 5	2, 3 3	2, 6 6	1,6 6	0, 1 6 4 2 5	0, 4 6 4 2 5	2, 1 4 2	2	, 1 4 2	2,2 85	0, 5	0, 6	3, 2	3	, 4	3,6	0 7 5	0 5	2	1, 8	2	0, 5 5
	2	0, 5	2	2	2	0, 5	0, 4 2 8 5	2	2		2	0, 5 3 5 5	0, 2	1, 8	3	, 2	5	1 2 5	0 4 5	1,6	2	2,4	0, 5 5
	3	0, 5	2	1, 3 3	1	0, 0 8 2 5	0, 5	2	2		2	0, 5	0, 1	2, 2	2	, 8	4,4	1 5 5	0 3 5	1,8	2, 2	2,4	0, 5 5
	3	0, 4 1 5	2, 3 3	2	2	0, 4 1 5	0, 5	2, 4 2 8	2		2	0, 3 5 7	0, 1 5	2, 4	2	, 8	4,4	1 2 5	0 5	2	2	2	0, 5
	4	0, 4 1 5	2	2, 3 3	2	0, 4 1 5	0, 3 9 2 7	2	2	, 2 8 5	2	0, 5	0, 4	1, 8	1	, 6	3,8	1 6 5	0 3 5	1,8	1, 6	2,2	0, 6 5



	4	0,4 1 5	2	2	2,3 3	0,5	0,3 9 2 7 5	1,7 1 4	1,8 5 7	1,5 71	0,4 2 8 5	0,5 5	2,2	2,8	3,4	1,3 5	0,5	2	2	2	0,5
	5	0,2 5	2,3 3	2,3 3	0,4 1 5	0,4 6 4 2 5	2,1 4 2	2	2	2	0,4 6 4 2 5	0,8	3,4	3,2	0,7 5	0,5	2	2	2	2	0,5
	5	0,5 8 2 5	2,3 3	2	2	0,1 6 5	0,4 2 8 5	1,7 1 4	1,7 1 4	1,7 14	0,4 2 8 5	0,3 5	1,8	2,8	3,4	1,4 5	0,4 5	2	2	2,2	0,5
	6	0,5 8 2 5	2,6 6	2,3 3	1,6 6	0,0 8 2 5	0,5	2,1 4 2	2	2	0,4 6 4 2 5	0,7	3,4	4	3,4	0,6 4	0,4	1,8	2,2	2,2	0,5 5
	6	0,5 6	2,6 6	2,6 6	2	0,1 6 5	0,5 3 5 5	2,4 2 8	2	2	0,3 5 7	0,4	2,4	3,8	1,1 5	0,5 5	2,2	2,4	1,8	0,3 5	
	Σπ	1,7 4 7 5	1,2 9 6 5	1,0 6 3	9,6 5	0,9 9 1 2 5	2,0 7 1 2 5	1,0 7 1 2 7	1,0 4 2 7	10,4 2 8	2,3 9 2 7 5	2,0 5	1,2 8	1,4 6	20,2	5,7 9	1,9	10	1,0 2	11	2,6
	Σβ	2,9 1 2 5	1,3 3 2	1,2 6 6	12,3 33	2,2 4 5 2 5	2,7 8 5 2 4	1,2 2 8 5 7	1,3 3 5	11,2 28 5	2,6 6 0 5	2,6 5	1,2	1,8	24,2	8	2,9 5	11,8	1,2 4	12,4	2,9

2α : τροφή, χωρίς ήχο

2β : ήχος, χωρίς τροφή

5 : δεν έπεσε καθόλου τροφή. Κινήσεις περισσότερο στον πυθμένα

6 : χωρίς 5λεπτο σήμα κατά τη διάρκεια του φαγητού. Ένταση -10 dBu το πρωί, -20dBu το βράδυ.

**Πίνακας 12:** Θέσεις ψαριών που εκτίθενται σε ήχο 800 Hz. (Εν = ενυδρείο, Η = ηχείο, Μ = μάρτυρες, π = πρωί, β = βράδυ, Α = αριστερά, sf = self-feeder, η = ήχος, esf = electrical self-feeder, Δ = δεξιά, Σπ = σύνολο πρωί, Σβ = σύνολο βράδυ).

Εν	Ημέρα		Πριν					Ήχος					Τροφή + ήχος					Μετά				
	π	β	Α	sf	η	esf	Δ	Α	sf	η	esf	Δ	Α	s f	η	esf	Δ	Α	sf	η	esf	Δ
Η	1		0,0 8 2 5	1,6 6 3	1,1 3 3	1,6 6	0,4 1 5	0,0 9 3 7 5	2,1 2 5	2,7 7 5	2,3 75	0,2 5	0,4 6 8 7 5	2,1 1 2 5	1,3 7 5	2,5	0,4 0 6 2 5	0,4 4 5	1,8	1,8	2,6	0,3 5
		1	0,2 5	1,3 6 3	1,1 6 6	2,6 6	0,7 5	0,0 3 1 2 5	1,5 3 1 2 5	2,3 5	3	0,4 6 8 7 5	0,4 3 7 5	1,1 1 2 5	1,2 5	2,7 5	0,6 8 7 5	0,4	2	2	2	0,5 5
	2		0,2	1,3	2,3	2,6 6	0,5	0	2	2	2,8 75	0,4	0,5	2,1	1,1	2,2 5	0	0	2,2	1,8	2,8	0

			5	3	3		8 2 5			1 2 5		0 6 2 5	6 2 5	5	2 5		4 0 6 2 5	4 5				4
	2	0, 4 1 5	3	2, 6 6	2,3 3	0, 0 8 2 5	0, 0 9 3 7 5	2	2	2, 6 25	0, 2 1 8 7 5	0, 4 3 7 5	2, 2 5	1, 2 5	2,5	0	0	1,8	2	2,4	0, 4 5	
	3	0, 1 6 5	1, 3 3	1, 3 3	1,6 6	0, 4 1 5	0, 0 3 1 2 5	1, 7 5	2	2, 6 25	0, 4 6 8 7 5	0, 3 7 5	2, 1 2 5	1, 8 7 5	2,1 25	0	0	1,8	1, 8	2,2	0, 5	
	3	0, 2 5	2	2	2	0, 7 5	0	1	2	2, 7 5	0, 6 2 5	0, 3 1 2 5	2	1, 7 5	2,6 25	0	0	1,8	2	2,4	0, 6	
	4	0, 3 3 2 5	2	2	2,3 3	0, 5	0, 0 9 3 7 5	1, 6 2 5	3	2, 7 5	0, 3 7 5	0, 2 5	1, 7 5	1, 7 5	3	0	0	1,8	2	2,6	0, 5	
	4	0, 0 8 2 5	1, 3 3	2	2,6 6	0, 6 6 5	0, 0 3 1 2 5	3	3	2, 7 5	0, 3 7 5	0, 3 4 3 7 5	2, 2 5	1, 8 7 5	2,7 5	0	0	1,6	2, 2	2,4	0, 5 5	
	5	0, 3 3 2 5	2	2	2,6 6	0, 5	0, 0 6 2 5	1, 7 5	2	2, 2 5	0, 0 9 3 7 5	0, 6 2 5	1, 7 5	1, 7 5	2,1 25	0	0	2,6	2, 2	2,4	0, 4	
	5	0, 2 5	1, 6 6	2	2,6 6	0, 5 8 2 5	0	1	2	2, 8 75	0, 4 0 6 2 5	0, 6 2 5	1, 8 7 5	1, 2 5	2,6 25	0	0	1,6	2, 6	2	0, 5 5	
	6	0	1	3	3	0, 7 5	0	0, 7 5	3	3,5	0, 6 2 5	0, 6 8 7 5	2, 2 5	1, 6 2 5	2,2 5	0	0	2	2, 4	2,2	0, 4 5	
	6	0, 0 8 2 5	1, 3 3	3	2,6 6	0, 6 6 5	0, 0 6 2 5	2, 1 2 5	2	3,3 75	0, 4 3 7 5	0, 1 8 7 5	1, 5	2, 7 5	2,5	0	1	3	0, 4	1,8	0	
	Σ π	1, 1 6 2 5	9, 3 1, 9 9	1	13, 97	3, 1 6 2 5	0, 2 8 1 2 5	1	1	19, 75	2, 2 1 8 7 5	2, 9 6 8 7 5	1, 2 5	9, 5	14, 25	2	2	12, 2	1	14, 8	2, 6	
	Σ β	1, 3 3	1 0, 3 3 5	1 3 3 2	14, 97	3, 4 9 5	0, 2 1 8 7 5	1 0, 6 2 5	1 5 2 5	17, 37 5	2, 5 3 1 2 5	2, 3 4 3 7 5	1 1	1 0, 1 2 5	15, 75	3	3	11, 8	1 1, 2	13, 2	2, 7	
<b>M</b>	1	0,	2	2	2	0,	0,	1,	1	2	0,	0,	1	1,	2,6	0	0	2	2,	2,4	0	

		5				5	2	5	7	4	5	0	1	2	25	9	5		2			2	5
	1	0,5825	2	2	2	0,3325	0,3325	1,857	1,714	1,571	0,46425	0,21875	1,375	1,5	2,125	0,975	0,95		2	2	2	0,5	
	2	0,415	2	2	2	0,5825	0,3925	1,714	1,714	1,714	0,46425	0,25	1,25	1,25	2,75	0,78125	0,5		2	2	2	0,5	
	2	0,5	2,33	2,33	2	0,165	0,5	2	2	2	0,5	0,09375	1,25	1,625	3	0,875	0,45	1,8	1,8	2,2	0,55		
	3	0,3325	2,33	2,33	2,33	0,3325	0,4285	1,714	1,714	1,714	0,29825	0,1875	1,375	2	2,75	0,75	0,5		2	2	2	0,5	
	3	0,5	2	2	2	0,5	0,4285	1,714	1,714	1,714	0,4285	0,3225	1,625	3	3	0,6875	0,5		2	2	2	0,5	
	4	0,415	1,66	1,66	2,33	0,665	0,4885	1,828	1,828	1,714	0,4285	0,2375	1,75	2,375	3,1	0,78125	0,5		2	2	2	0,5	
	4	0,5	2	2	2	0,5	0,4285	1,714	1,714	1,714	0,4285	0,4375	1,625	3,125	3,125	0,55	0,5		2	2	2	0,5	
	5	0,5825	2	2	2	0,445	0,46425	2,857	1,857	1,714	0,225	0,28125	1,625	2,625	2,625	0,6875	0,5		2	2,2	2	0,45	
	5	0,5	2	2	2	0,5	0,4285	1,714	1,714	1,714	0,4285	0,21875	1,5	3,125	3,125	0,65	0,5		2	2	2	0,5	
	6	0,5	2,66	2,33	2	0,25	0,57125	2	2	2	0,4285	0,3125	2,125	3,125	3,125	0,59375	0,5		2	2	2	0,5	
		0,5825	2,33	2,33	1,66	0,3325	0,5	2,428	2,285	2	0,3225	0,59375	2,25	1,75	1,75	0,3125	0,3	1,6	1,6	2,8	0,7		

	6	0,5	2	2	2	0,5	0,25	1,571	1,428	2	0,5355	0,09375	1,125	2,625	0,9375	0,5	2	2,2	2,4	0,25	
	Σπ	2,745	1,265	1,232	12,66	2,745	2,535	1,0856	1,0141	10,856	2,436	1,375	6,125	1,0	16,25	4,53125	3	12	1,24	12,4	2,7
	Σβ	3,165	1,266	1,266	11,66	2,33	2,67825	1,147	1,141	10,713	2,571	1,875	9,5	9,875	16,125	3,9375	2,75	11,4	1,14	13	3,25

6 : χωρίς 5λεπτο σήμα κατά τη διάρκεια του φαγητού

**Πίνακας 13:** Θέσεις ψαριών που εκτίθενται σε ήχο 1250 Hz. (Εν = ενυδρείο, Η = ηχείο, Μ = μάρτυρες, π = πρωί, β = βράδυ, Α = αριστερά, sf = self-feeder, η = ήχος, esf = electrical self-feeder, Δ = δεξιά, Σπ = σύνολο πρωί, Σβ = σύνολο βράδυ).

Εν	Ημέρα	Πριν					Ήχος					Τροφή + ήχος					Μετά						
		π	β	Α	sf	η	esf	Δ	Α	sf	η	esf	Δ	Α	sf	η	esf	Δ	Α	sf	η	esf	Δ
Η	1			0,3325	2	2	2,33	0,5	0,5	1,571	1,428	1,75	0,4375	0,5625	2	2	1,75	0	0,5	2	2,2	2	0,35
		1		0,25	1,33	1,33	1,66	0,25	0,33	2,25	2,25	2	0,46875	0,53125	1,875	3,5	0,46875	0,53125	2	2	2	0,4	
		2		0,0825	2	2,33	2,33	0,5825	0,625	1,675	1,75	2,25	0,625	0,675	3	3,125	0,46875	0,53125	1,4	2,8	3,6	0,45	
		2		0,1665	1,66	2,33	2,66	0,665	0,665	2,25	2,25	2,25	0,1875	0,8125	2,5	2,625	0,5625	0,4375	2,2	2	2,6	0,4	
		3		0,33	1,66	1,66	1,66	0,9375	0,9375	2,125	2,125	2,125	0,46875	0,63125	2,5	2,125	0,5	0,45	2	2	2	0,55	
		3		0,1665	1,66	1,66	2,66	0,735	0,735	2,25	2,25	2,25	0,46875	0,78125	2,5	2,625	0,625	0,5	2	2	2,2	0,65	
	4		0,0	1,6	2	2,33	0,8	0,0	1,2	1,2	2,125	0,5	0,2	1,8	3,5	0	0	1,8	2	2,2	0		

		8 2 5	6		3 2 5	3 1 2 5	5	6 2 5		6 2 5	5	7 5	7 5		4 0 6 2 5	4 5				5 5		
	4	0	2	2, 6 6	3	0, 5 8 2 5	0	1, 5	1 , 8 7 5	2,3 75	0, 4 0 6 2 5	0, 5 6 2 5	2, 1 2 5	1 , 7 5	2,1 25	0 , 4 0 6 2 5	0 , 5	2	2	2	0 , 5	
	5	0	1, 3 3	2, 3 3	3	0, 7 5	0, 0 3 1 2 5	1, 1 2 5	1 , 6 2 5	2,2 5	0, 5 6 2 5	0, 5 3 1 2 5	1, 6 2 5	1 , 2 5	3,1 25	0 , 4 3 7 5	0 , 3 5	1,8	2, 2	2,4	0 , 5	
	5	0, 2 5	1, 6 6	2	2,3 3	0, 5 8 2 5	0	1	1 , 8 7 5	2,3 75	0, 5 6 2 5	0, 4 0 6 2 5	1, 8 7 5	1 , 5	2,7 5	0 , 5 6 2 5	0 , 4 5	2	2	2	0 , 5 5	
	Σ π	0, 4 9 7 5	8, 3 2	1 0, 3 2	11, 65	3, 1 6 5	0, 3 7 5	6, 8 7 5	9 , 8 7 5	10, 5	2, 6 5 6 2 5	1, 9 6 8 7 5	9 , 8 7 5	9 , 7 5	13, 62 5	2 , 2 5	1 , 8 5	9	1 1, 2	12, 2	2 , 4	
	Σ β	0, 8 3	8, 3 1	9, 6 5	12, 31	2, 8 3	0, 1 2 5	8, 2 5	1 0 , 5	11, 62 5	2, 0 9 3 7 5	1, 8 1 2 5	8, 5	9 , 5	13, 62 5	2 , 6 2 5	2 , 1 5	10, 2	1 0	10, 8	2 , 5	
M	1	0, 1 8 7 5	0, 7 5	0, 7 5	0,7 5	0, 1 8 7 5	0, 4 2 8 5	2	2	2	2	0, 5 3 5 5	0, 3 1 2 5	1, 6 2 5	1 , 7 5	2,5	0 , 6 8 7 5	0 , 4 5	2	1, 8	2	0 , 5 5
		1	0, 1 5 6 2 5	0, 7 5	0, 7 5	0,7 5	0, 2 8 7 5	0, 3 1 2 5	1, 7 1 4	1 , 7 1 4	1,8 57	0, 2 5	0, 3 7 5	1, 5	1 , 6 2 5	2	0 , 8 4 3 7 5	0 , 5	2	2	2	0 , 5
		2	0, 1 8 7 5	0, 7 5	0, 7 5	0,7 5	0, 1 8 7 5	0, 4 2 1 8 5	1, 7 4	1 , 7 1 4	1,7 14	0, 4 2 8 5	0, 2 5	1, 2 5	2	2,7 5	0 , 7 1 8 7 5	0 , 4	2	2	2	0 , 6
		2	0, 1 8 7 5	0, 7 5	0, 7 5	0,7 5	0, 1 8 7 5	0, 4 2 1 8 5	1, 7 4	1 , 7 1 4	1,7 14	0, 4 2 8 5	0, 2 5	1, 2 5	1 , 6 2 5	1,7 5	1 , 5	0 , 5	2	2	2	0 , 5
		3	0, 1 8 7 5	0, 7 5	0, 7 5	0,7 5	0, 1 8 7 5	0, 4 2 1 8 5	1, 7 4	1 , 7 1 4	1,7 14	0, 4 2 8 5	0, 2 5	1, 2 5	1 , 8 7 5	2,2 5	0 , 8 7 5	0 , 5	2	2	2	0 , 5
		3	0, 1 8 7 5	0, 7 5	0, 7 5	0,7 5	0, 1 8 7 5	0, 4 2 1 8 5	1, 7 4	1 , 7 1 4	1,7 14	0, 4 2 8 5	0, 2 5	1, 2 5	1 , 2 5	2,3 75	1 , 0 3 1 2 5	0 , 5	2	2	2	0 , 5
	4	0,	0,	0,	0,7	0,	0,	2	2	2	0,	0,	1,	2	3,7	0	0	1,2	1,	3,6	0	

		1 8 7 5	7 5	7 5	5	1 8 7 5	5				5	1 8 7 5	2 5		5	, 5 3 1 2 5	, 2 5		8			6
	4	0, 1 8 7 5	0, 7 5	0, 8 7 5	0,7 5	0, 1 5 6 2 5	0, 4 8 5	1, 8 5 7	1, 7 1 4	1,8 57	0, 3 5 7	0, 1 8 7 5	1, 1 2 5	1, 7 5	2,3 75	1	0, 5	2	2	2	2	0, 5
	5	0, 0 9 3 7 5	0, 5	0, 7 5	1	0, 2 8 1 2 5	0, 4 2 8 5	2	1, 8 5 7	1,7 14	0, 2 8 5 5	0, 0 6 2 5	1, 6 2 5	3,2 5	1, 0 3 1 2 5	0, 3	2	2	2,4	0, 6		
	5	0, 1 8 7 5	0, 7 5	0, 7 5	0,7 5	0, 1 8 7 5	0, 5	2, 1 4 2	2	2	0, 4 6 4 2 5	0, 1 8 7 5	1, 2 5	1, 6 2 5	2,3 75	0, 9 6 8 7 5	0, 6	2,2	1, 8	2	0, 4	
	Σπ	0, 8 4 3 7 5	3, 5	3, 7 5	4	1, 0 3 1 2 5	2, 2 1 4	9, 4 2 8	9, 2 8 5	9,1 42	2, 1 7 8	1, 0 6 2 5	6	9, 2 5	14, 5	3, 8 4 3 7 5	1, 9	9,2	9, 6	12	3, 3 5	
	Σβ	0, 9 0 6 2 5	3, 7 5	3, 8 7 5	3,7 5	0, 9 3 7 5	2, 1 0 6 7 5	9, 1 4 1	8, 8 5 6	9,1 42	1, 9 2 8 1 2 5	1, 2 8 1 2 5	6, 2 5	7, 8 7 5	10, 87 5	4, 8 4 3 7 5	2, 6	10, 2	9, 8	10	2, 4	

**Πίνακας 14:** Θέσεις ψαριών που εκτίθενται σε ήχο 2500 Hz. (Εν = ενυδρείο, Η = ηχείο, Μ = μάρτυρες, π = πρoί, α = απόγευμα, Α = αριστερά, sf = self-feeder, η = ήχος, esf = electrical self-feeder, Δ = δεξιά, Σπ = σύνολο πρoί, Σβ = σύνολο βράδυ).

Εν	Ημέρα		Πριν					Ήχος					Τροφή					Μετά				
	π	α	Α	esf	s f	η	Δ	Α	e sf	s f	η	Δ	Α	e sf	s f	η	Δ	Α	esf	s f	η	Δ
Η	1		0, 5	2	2	2	0, 5	0, 4 0 6 2 5	2	2	2	0, 5 6 2 5	0, 8 1 2 5	2, 5	1, 3 7 5	2	0, 2 8 1 2 5	0, 6	2,4	1, 6	2,4	0, 3
		1	0, 5	2	2	2	0, 5	0, 4 6 8 7 5	2	2	2	0, 5 3 1 2 5	0, 8 7 5	2, 5	1, 2 5	2	0, 1 8 7 5	0, 5	2	2	2	0, 5
		2	0, 4 1 5	2,3 3	2	2	0, 3 3	0, 4 1 2 5	1, 7 5	2, 3 7 5	2,8 75	0, 5 9 3 7 5	0, 4 0 6 2 5	2, 5	1, 8 7 5	2,1 25	0, 4 3 7 5	0, 3	1,8	2, 2	2,4	0, 6

		2	0,5	2	2	2	0,5	0,34375	2	2	2	0,59375	0,65625	2,25	1,75	2,125	0,3125	0,4	2	2,2	2,4	0,45
	3		0,5	2	2	2	0,5	0,21875	2	2	2,625	0,46875	0,75	2,375	1,5	1,625	0,375	0,85	3,2	1,2	1,4	0,2
		3	0,3325	2	2,33	2	0,5825	0,40625	1,875	2,25	0,5	0,71875	2	1,5	1,75	0,46875	0,45	2	2	2	2	0,55
	4		0,3325	2	2,33	2	0,5825	0,5	2,25	1,875	2,125	0,4375	0,7875	2,375	1,625	2,125	0,25	0,5	2,2	2	2	0,45
		4	0,415	2	2	2	0,5825	0,375	1,75	2,25	0,5625	0,7875	2,375	1,5	2	0,3125	0,6	2,4	1,6	2	2	0,4
	5		0,415	2,33	2,33	2,33	0,3325	0,2285	1,625	2,625	0,59375	0,65625	2,375	1,625	2	0,34375	0,45	2	2	2	2	0,55
		5	0,415	2	2	2,33	0,5	0,1875	1,875	2,5	0,7875	0,6625	2,375	1,75	2	0,3125	0,55	2,2	2	2	2	0,4
	Σ π		2,1625	10,66	10,66	2,33	1,4685	9,6625	12,295	2,6625	4,0625	1,1875	8,992	1,6875	2	11,6	9	10,2	2	2	2	2,1
	Σ β		2,1625	10	10,33	2,665	1,7925	9,5	11	2,9025	3,625	1,175	9,875	1,59375	2	10,6	9,8	10,4	2	2	2	2,3
<b>Μ</b>	π	α																				
	1		0,8325	3	2,33	1,33	0,71425	3	2,571	1,428	0,0355	0,53125	3,5	1,625	1,875	0,21875	0,6	2,8	2,8	1,6	0,1	
		1	0,5825	2,33	1,66	0,25	0,5	2	2,428	0,285	0,4375	2,75	1,5	2,875	0,255	0,55	2,2	2,4	1,8	0,35		
	2		0,5	2	2	0,5	0,5	2,428	2	2	0,25	0,46875	2,375	1,75	2,5	0,318	0,65	2,6	2,6	1,4	0,2	

											5				7						
	2	0,5825	2,66	2,66	2,5	0,165	0,57125	2,285	2,242	2	0,357	0,4375	2,625	1,5	3,125	0,25	0,6	2,4	2,4	1,6	0,3
	3	0,415	2	2	2	0,5825	0,64275	2,8571	2,571	1,714	0,07125	0,05	3	1,375	2,875	0,1875	0,55	3,1	2,6	1,2	0,2
	3	0,5	2,33	2,33	2	0,3325	0,3725	2,4285	2,285	1,857	0,2255	0,4375	2,625	1,5	2,625	0,375	0,5	2	2	2	0,5
	4	0,5825	2,33	2,33	2	0,235	0,5355	2,5711	2,571	1,857	0,21425	0,46875	2,25	1,875	2,625	0,34375	0,55	2,6	2,2	1,8	0,3
	4	0,5	2,66	2	2	0,3325	0,3355	2,5711	2	2	0,32125	0,4375	2,75	1,5	2,875	0,28125	0,5	2	2	2	0,5
	5	0,5	2,33	2	2	0,415	0,555	2,714	2,571	1,857	0,1785	0,4025	3,25	1,5	2	0,40625	0,55	2,4	2,2	1,6	0,4
	5	0,5825	2,33	2	2	0,3325	0,607	2,714	2	1,714	0,22425	0,3125	3,125	1,25	3,375	0,25	0,5	3	2,2	1,6	0,3
	Σ π	2,83	11,66	10,66	7,33	1,4925	2,978	13,37	11,712	8,856	0,7495	2,375	8,375	8,125	11,875	1,475	2,9	10,7	12,4	7,6	1,2
	Σ β	2,7475	12,31	10,65	11,16	1,4125	2,785	11,998	11,055	9,999	1,4635	2,0625	13,875	7,25	14,875	1,4065	2,65	11,6	11	9	1,95

1 : έπεσε λίγη τροφή πριν την εγγραφή  
2,3 : δεν ακούστηκε το πρώτο σήμα



**Πίνακας 15:** Θέσεις ψαριών που εκτίθενται σε ήχο 5000 Hz. (Εν = ενυδρείο, Η = ηχείο, Μ = μάρτυρες, π = πρωί, β = βράδυ, Α = αριστερά, sf = self-feeder, η = ήχος, esf = electrical self-feeder, Δ = δεξιά, Σπ = σύνολο πρωί, Σβ = σύνολο βράδυ).

Εν	Ημέρα		Πριν					Ήχος					Τροφή					Μετά				
	π	α	Α	e sf	s f	η	Δ	Α	e sf	s f	η	Δ	Α	e sf	s f	η	Δ	Α	esf	s f	η	Δ
Η	1		0 , 1 6 5	2	2 , 3 3	3	0, 4 1 5	0, 2 5	1, 7 5	1 , 8 7 5	1,8 75	0, 5 6 2 5	0, 3 1 2 5	3	1 , 7 5	2,5	0 , 2 8 1 2 5	0 , 3	2	2, 4	2,2	0 , 5 5
		1	0, 4 1 5	2	2 , 3 3	2	0, 5	0, 4 0 6 2 5	2	2 , 2 5	2	0, 4 6 8 7 5	0, 6 5 6 2 5	2	1 , 7 5	2	0 , 3 4 3 7 5	0 , 3	1,6	2, 4	2	0 , 6 5
		2	0, 5 8 2 5	2	1 , 6 6	2	0, 5 2 2 5	0, 4 0 6 2 5	2	2 , 1 2 5	2	0, 5 6 2 2 5	0, 6 2 5	2, 8 7 5	1 , 5	2	0 , 2 5	0 , 4	2	2, 2	2,2	0 , 5
		2	0 , 3 3	2	2 , 3 3	2	0, 9 1 4 3 7 5	0, 3 1 4 3 7 5	2	2 , 1 2 5	2,1 25	0, 5 9 3 7 5	0, 5 9 3 7 5	2, 7 5	1 , 5	2,2 5	0 , 2 8 1 2 5	0 , 5	2	2	2	0 , 5
		3	0, 3 3 2 5	3	2 , 3 3	3	0, 0 2 7 5	0, 1 8 7 5	2	2 , 8 7 5	2,7 5	0, 4 0 6 2 5	0, 7 1 8 7 5	2, 3 5	1 , 3 7 5	2	0 , 3 4 3 7 5	0 , 4 5	2,2	2, 2	2,2	0 , 4
		3	0, 2 5	1, 6 6	2 , 3 3	2	0, 7 5	0, 2 8 1 2 5	1, 8 7 5	2 , 3 7 5	2	0, 6 5 6 2 5	0, 6 8 7 5	2, 3 5	1 , 3 7 5	2,2 5	0 , 3 1 2 5	0 , 5	2	2	2	0 , 5
		4	0, 5	2	2	2	0, 5	0, 3 7 5	2	2 , 1 2 5	2	0, 5 6 2 5	0, 6 2 5	2, 6 5	1 , 7 5	2	0 , 2 8 1 2 5	0 , 4 5	2	2, 2	2,2	0 , 4 5
		4	0, 2 5	0, 7 7 8	2 , 3 3	2,3 3	0, 6 6 3 7 5	0, 3 4 3 7 5	1, 7 5	2 , 2 5	2	0, 5 9 3 7 5	0, 6 8 7 5	2, 6 5	1 , 6 2 5	2,5	0 , 1 5 6 2 5	0 , 5	2,6	1, 8	2,4	0 , 2 5
		Σπ		1, 5 8	9 , 3 2	9	1, 5 1 8 7 5	1, 2 1 8 7 5	7, 7 5	9	8,6 25	2, 0 9 3 7 5	2, 2 8 1 2 5	1 , 0, 8 7 5	6 , 3 7 5	8,5	1 , 1 5 6 2 5	1 , 6	8,2	9	8,8	1 , 9
	Σβ		0, 9 1 5	4, 7 6 8	9 , 3 2	8,3 3	2, 8 3	1, 3 7 5	7, 6 2 5	9	8,1 25	2, 3 1 2 5	2, 6 2 5	9, 7 5	6 , 2 5	9	1 , 0 9 3 7	1 , 8 5	8,2	8, 2	8,4	1 , 9



**Πίνακας 16:** Θέσεις ψαριών που εκτίθενται σε ήχο 100 Hz. (Εν = ενυδρείο, Η = ηχείο, Μ = μάρτυρες, π = πρωί, β = βράδυ, Α = αριστερά, sf = self-feeder, η = ήχος, esf = electrical self-feeder, Δ = δεξιά, Σπ = σύνολο πρωί, Σβ = σύνολο βράδυ).

Εν	Ημέρα		Πριν				Ήχος				Τροφή				Μετά							
	π	α	Α	e sf	s f	η	Δ	Α	e sf	s f	η	Δ	Α	e sf	s f	η	Δ	Α	esf	s f	η	Δ
Η	1		0	1,66	2,66	3	0,665	0	3,5	3,5	1,375	0,09375	0,040625	2,25	2,875	2,625	0,21875	0,6	2,6	2,4	1,6	0,25
		1	0,25	1,66	2,33	2	0,665	0	0,75	3,8	4	0,34	0,33	1,875	1,875	2,6	0,35	0,5	2,2	2	2	0,45
	2		0,415	2,33	2,2	2	0,5	0	0,625	4,375	4,375	0,155	0,05625	2,25	2,5	2,25	0,3125	0,35	1,8	2,4	2,2	0,55
		2	0,5	2	2	2	0,5	0	0,875	3,5	3,5	0,5	0,6875	2,5	2,5	1,5	0,28125	0,15	2	2,8	2,8	0,45
	3		0,165	2,33	2,66	2	0,415	0,03125	0,5	3,875	3,875	0,375	0,46875	2,75	2,875	1,875	0,5625	0,35	2	2,6	2,2	0,45
		3	0,0825	1,66	1,66	2	0,5	0,03125	1,375	3,75	3,75	0,25	0,46875	2,5	2,5	2,5	0,25	0,3	1,8	2,4	2,6	0,55
	4		0,3325	1,66	2,33	2	0,5	0,0625	1,25	3,5	3,5	0,375	0,33125	2,5	2,5	2,125	0,1875	0,25	1,6	2,4	2,4	0,65
		4	0,225	1,33	2,66	2	0,665	0,0625	1,875	3	3	0,475	0,475	2,5	1,875	1,625	0,375	0,5	2	2	2	0,5
	5		0,5	2,33	2,66	2	0,415	0,03125	2	2,25	2,25	0,5	0,84375	2,625	2,5	1,25	0,5625	0,75	2,6	1,8	1,2	0,3
		5	0,5	2	2	2	0,5	0,0625	2,5	1,5	1,5	0,375	0,8125	2,5	2,5	1,125	0,1875	0,5	2	2	2	0,5
	6		0,5	2	2	2	0,5	0	3,375	2,25	0,25	0,875	2,5	2,5	1,25	0,18	0,6	2,6	2	1,6	0,35	



		5				5					2 5	7 5									
	5	0, 6 6 5	2, 6 6	2 , 6 6	1,66	0	0, 4 6 4 2 5	2, 7 1 4	2, 7 1 4	2	0, 1 7 8 5	0, 4 0 6 2 5	3, 2 5	2, 8 7 5	1,6 25	0, 4 6 4 2 5	0 , 6	2,6	2, 4	1,8	0 , 2
	6	0, 5 8 2 5	2, 6 6	2 , 6 6	1,66	0, 1 6 5	0, 5 7 1 2 5	2, 5 7 1 4	2, 7 1 4	2	0, 1 0 7 5	0, 3 7 5	1, 6 2 5	1, 5	2,2 5	0, 5 7 1 2 5	0 , 5	2,6	2	2	0 , 4
	6	0, 5	2	2	2	0, 5	0, 5	2, 1 4 2	2	2	0, 4 6 4 2 5	0, 5 6 2 5	2, 2 5	2, 1 2 5	2,1 25	0, 5	0 , 2	1,2	1, 8	2	0 , 9 5
	<b>Σ π</b>	3, 4 1 5	1 1, 3 2	1 3 , 9 9	10, 66	1, 8 2 7 5	3, 2 8 5	1 4, 8 5 4	1 4 , 4 6	11, 99 8	1, 7 1 3 7 5	2, 0 3 1 2 5	1 0, 8 7 5	1 4	13, 22 5	3 , 4 0 6 2 5	1 4	14, 9	1 4, 1	9,8	1 , 8
	<b>Σ β</b>	3, 2 4 5	1 3, 6 4	1 2 , 3 2	10, 66	1, 4 9 7 5	3, 1 7 8	1 4, 5 6 8	1 3 , 5 6 9	12	1, 7 1 3 7 5	2, 6 5 6 2 5	1 3, 1 2 5	1 4 , 6 2 5	13, 5	2	1 1 , 4	13, 4	1 3, 4	11, 2	2 , 5 5

### 3. Πίνακες μέσου όρου τιμών της μέσης απόστασης του συνόλου των ψαριών από το ηχείο

#### A) Λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*)

Ένταση (dBu)	Προί (a) Απόγευμα (b)	D.labrax 500 πριν	D.labrax 500 ήχος	D.labrax 500 τροφή	D.labrax 200 πριν	D.labrax 200 ήχος	D.labrax 200 τροφή
-32	a	-6,53324	-8,93242	-10,6521	-11,6311	-7,19329	-13,3007
-32	b	-9,98807	-5,81754	-11,2595	-12,9185	-7,65523	-13,5845
-20	a	-7,46623	-3,39387	-10,0741	-11,6667	-8,47352	-12,3658
-20	b	-12,2504	-7,54152	-8,01307	-7,15211	-9,48425	-10,5068
-10	a	-12,6441	-5,96964	-13,9957	-6,2738	-7,01354	-8,40857
-10	b	-15,6721	-6,39893	-13,3975	-10,0321	-10,6395	-14,9449
-42	a	-7,15539	-5,19997	-12,9905	-11,1891	-10,4018	-16,2539
-42	b	-14,537	-5,78852	-11,3792	-9,2211	-6,66886	-10,5599

**Πίνακας 3.1:** Μέσος όρος τιμών μέσης απόστασης (σε cm) από το ηχείο για λαβράκια που εκτίθενται στη συχνότητα των 500 και 200Hz και σε διαφορετικές εντάσεις.

Ένταση (dBu)	Προί (a) Απόγευμα (b)	D.labrax 1250 πριν	D.labrax 1250 ήχος	D.labrax 1250 τροφή	D.labrax 2500 πριν	D.labrax 2500 ήχος	D.labrax 2500 τροφή
-32	a	-100,329	-114,199	-134,713	-33,922	-42,1349	-104,363
-32	b	-66,6893	-56,8317	-73,1872	-89,8904	-117,915	-88,2954
-20	a	-80,4202	-19,7856	-58,7197	-45,8069	-71,5115	-94,969
-20	b	-52,2495	-23,1565	-18,6059	-90,7493	-47,72	-57,5668
-10	a	-64,4708	-48,8916	-71,6862	-56,6144	-87,878	-113,366
-10	b	-12,4397	-26,4891	-53,5733			
-42	a	-33,8876	-38,2418	-73,3837			
-42	b	-81,0974	-122,014	-94,9491			

**Πίνακας 3.2:** Μέσος όρος τιμών μέσης απόστασης (σε pixels) από το ηχείο για λαβράκια που εκτίθενται στη συχνότητα των 1250 και 2500Hz και σε διαφορετικές εντάσεις.

Ένταση (dBu)	Προί (a) Απόγευμα (b)	D.labrax 100 πριν	D.labrax 100 ήχος	D.labrax 100 τροφή	D.labrax 800 πριν	D.labrax 800 ήχος	D.labrax 800 τροφή
-32	a	-114,909	-68,7131	-96,9008	1,3472	-3,8019	11,9068
-32	b	-49,5601	-61,4655	-81,4446	-74,9249	19,5133	-87,0109
-20	a	-80,6647	-69,1151	-83,7694	-63,1587	-55,5286	-74,2946
-20	b	-101,407	-66,3964	-105,661	-80,9977	-68,831	-88,0467
-10	a	-90,9908	-66,7408	-28,2116	-73,282	-93,1613	-84,499
-10	b	-69,9915	-88,8983	-158,401	-48,5602	-44,8808	-49,0261
-42	a	-79,8948	-61,4033	-86,9869	23,3095	-23,3902	-71,1747
-42	b	-90,6578	-70,0237	-108,135	-48,8206	-30,9127	-67,4341

**Πίνακας 3.3:** Μέσος όρος τιμών μέσης απόστασης (σε pixels) από το ηχείο για λαβράκια που εκτίθενται στη συχνότητα των 100 και 800Hz και σε διαφορετικές εντάσεις.

### Πληθυσμός Μάρτυρα (Λαβράκια)

Ένταση (dBu)	Προί (a) Απόγευμα (b)	D.labraxM (500) πριν	D.labraxM (500) τροφή	D.labraxM (200) πριν	D.labraxM (200) τροφή
(-32)	a	1,049451	-2,51272	-13,9303	-3,75759
(-32)	b	-6,46079	7,409418	-14,2786	-4,40138
(-20)	a	-1,98434	1,074642	-6,12794	-2,66592
(-20)	b	-6,36928	-1,96771	-9,42272	-7,82176
(-10)	a	-7,14817	5,684402	-9,82967	-1,52464
(-10)	b	-5,05007	6,234737	-8,80975	-1,27632
(-42)	a	-4,57709	1,783974	-11,7075	-3,27311
(-42)	b	-0,89237	-0,96506	-3,85693	0,180042

**Πίνακας 3.4:** Μέσος όρος τιμών μέσης απόστασης (σε cm) από το νοητό σημείο 0 για τον πληθυσμό του Μάρτυρα (λαβράκια) (σε παρένθεση οι συχνότητες και οι εντάσεις που εκπέμπονται παράλληλα στο ενυδρείο με ήχο).

Ένταση (dBu)	Προί (a) Απόγευμα (b)	D.labraxM (1250) πριν	D.labraxM (1250) τροφή	D.labraxM (2500) πριν	D.labraxM (2500) τροφή
(-32)	a			-10,2877	-0,75094
(-32)	b	-4,4753	-0,89413	-10,2197	-6,59633
(-20)	a	-7,95862	4,409427	-7,28434	1,898398
(-20)	b	-9,6781	0,588349	-9,13161	-6,34629
(-10)	a	-6,53857	0,059399	-8,65169	-1,78177
(-10)	b	-8,73543	-1,91632		
(-42)	a				
(-42)	b				

**Πίνακας 3.5:** Μέσος όρος τιμών μέσης απόστασης (σε cm) από το νοητό σημείο 0 για τον πληθυσμό του Μάρτυρα (λαβράκια) (σε παρένθεση οι συχνότητες και οι εντάσεις που εκπέμπονται παράλληλα στο ενυδρείο με ήχο).

Ένταση (dBu)	Προί (a) Απόγευμα (b)	D.labraxM (100) πριν	D.labraxM (100) τροφή	D.labraxM (800) πριν	D.labraxM (800) τροφή
(-32)	a	-13,8067		-14,2173	-13,6768
(-32)	b	-26,4879	-31,264	-5,95914	3,963547
(-20)	a	-18,3809	-9,71554	-4,28611	-3,71463
(-20)	b	-14,8987	-5,9568	1,555269	5,208134
(-10)	a	-11,9048		-6,63376	2,312456
(-10)	b	-10,5036	-13,7314	-4,79263	-1,37669
(-42)	a	-12,9058	-9,91461	1,964911	2,5465
(-42)	b	-14,9458	-6,61068	-8,39206	-2,89419

**Πίνακας 3.6:** Μέσος όρος τιμών μέσης απόστασης (σε cm) από το σημείο νοητό 0 για τον πληθυσμό του Μάρτυρα (λαβράκια) (σε παρένθεση οι συχνότητες και οι εντάσεις που εκπέμπονται παράλληλα στο ενυδρείο με ήχο).

**Β) Φαγκρί (*Pagrus pagrus*)**

Ένταση (dBu)	Προί (a) Απόγευμα (b)	P.pagrus 500 πριν	P.pagrus 500 ήχος	P.pagrus 500 τροφή	P.pagrus 200 πριν	P.pagrus 200 ήχος	P.pagrus 200 τροφή
-32	a	3,39921	2,79084	-6,30602	-2,19846	-4,3023	-5,98541
-32	b	-1,34123	-2,43561	-14,9995	-6,52152	-5,0607	-15,6721
-20	a	-0,46597	-5,56384	-17,7516	-2,77078	-5,84522	-11,1086
-20	b	-3,47221	-6,94555	-16,4902	-7,4472	-4,85529	-12,0759
-10	a	-3,57198	-2,23712	-6,81721	-2,86569	-4,55945	-3,1079
-10	b	0,125528	-2,30273	-8,30576	-2,60652	-3,96798	-5,09509
-42	a	-0,72193	0,162689	-5,98713	-2,83698	-3,20081	-12,3528
-42	b	-2,8681	-1,06247	-3,50639	2,384024	-2,4337	-2,99127

**Πίνακας 3.7:** Μέσος όρος τιμών μέσης απόστασης (σε cm) από το ηχείο για φαγκριά που εκτίθενται στη συχνότητα των 500 και 200Hz και σε διαφορετικές εντάσεις.

Ένταση (dBu)	Προί (a) Απόγευμα (b)	P.pagrus 1250 πριν	P.pagrus 1250 ήχος	P.pagrus 1250 τροφή	P.pagrus 2500 πριν	P.pagrus 2500 ήχος	P.pagrus 2500 τροφή
-32	a	-1,72506	-2,68371	-9,51563	10,1238	-7,49381	-12,3674
-32	b	2,1679	2,539741	-0,407	-10,3963	-10,1889	-13,5916
-20	a	-1,8466	-1,18552	-2,56989	-8,16935	-5,41127	-15,2907
-20	b	1,589676	2,01072	0,027733	-0,12159	-4,52125	-10,7594
-10	a	-2,6334	-3,31786	-4,9541			
-10	b	-1,57971	-2,75078	-7,58966			
-42	a	-6,04716	-5,52512	-4,3018			
-42	b	-10,6175	-11,9869	-3,43264			

**Πίνακας 3.8:** Μέσος όρος τιμών μέσης απόστασης (σε cm) από το ηχείο για φαγκριά που εκτίθενται στη συχνότητα των 1250 και 2500Hz και σε διαφορετικές εντάσεις.

Ένταση (dBu)	Προί (a) Απόγευμα (b)	P.pagrus 100 πριν	P.pagrus 100 ήχος	P.pagrus 100 τροφή	P.pagrus 800 πριν	P.pagrus 800 ήχος	P.pagrus 800 τροφή
-32	a	-11,554	-5,16869	-13,1856	-1,01746	-3,5332	-6,7892
-32	b	-12,119	-10,3133	-16,3566	-10,6632	-10,9338	-11,1937
-20	a	-8,50569	-7,29536	-7,36198	2,304759	2,458205	-3,77686
-20	b	-8,21494	-8,8545	-11,3681	-0,47631	1,431843	2,86289
-10	a	-8,09136	-6,84461	-10,114	-2,1748	-4,54173	-5,22094
-10	b	-11,4117	-12,3971	-8,37475	-7,04436	-6,82923	-7,01358
-42	a	-4,44954	-5,14661	-3,78481	-4,06451	-5,03665	-7,8032
-42	b	-0,74598	-6,43763	-7,29251	-10,483	-11,303	-10,009

**Πίνακας 3.9:** Μέσος όρος τιμών μέσης απόστασης (σε cm) από το ηχείο για φαγκριά που εκτίθενται στη συχνότητα των 100 και 800Hz και σε διαφορετικές εντάσεις.



### Πληθυσμός Μάρτυρα (Φαγκριά)

Ένταση (dBu)	Προί (a) Απόγευμα (b)	P.pagrusM (500) πριν	P.pagrusM (500) τροφή	P.pagrusM (200) πριν	P.pagrusM (200) τροφή
(-32)	a	-11,9644	-8,85398	-20,5952	-22,1623
(-32)	b	-12,645	-13,4992	-10,3982	-0,14875
(-20)	a	-9,34846	-6,87458	-17,5942	-23,8992
(-20)	b	-13,7856		-24,5377	-22,758
(-10)	a	-15,9945	-14,4774	-14,9616	-14,217
(-10)	b	-17,7413	-23,4277	-10,2267	-7,35685
(-42)	a	-19,3633	-7,02159	-0,15735	-6,40484
(-42)	b	-12,2	-7,45909	-18,9454	-24,0199

**Πίνακας 3.10:** Μέσος όρος τιμών μέσης απόστασης (σε cm) από το νοητό σημείο 0 για τον πληθυσμό του Μάρτυρα στα φαγκριά (σε παρένθεση οι συχνότητες και οι εντάσεις που εκπέμπονται παράλληλα στο ενυδρείο με ήχο).

Ένταση (dBu)	Προί (a) Απόγευμα (b)	P.pagrusM (1250) πριν	P.pagrusM (1250) τροφή	P.pagrusM (2500) πριν	P.pagrusM (2500) τροφή
(-32)	a	-13,5528	-13,0083	-14,5922	-13,02
(-32)	b	-16,0233	-15,0101	16,48256	18,9192
(-20)	a	-4,47478	-4,57048	1,687343	3,285426
(-20)	b	-9,75654	-7,95909	-14,8739	-16,333
(-10)	a	-3,60612	-0,4069		
(-10)	b	-6,37148	0,229302		
(-42)	a	-14,1679	-12,7416		
(-42)	b	-13,5528	-13,0083		

**Πίνακας 3.11:** Μέσος όρος τιμών μέσης απόστασης (σε cm) από το νοητό σημείο 0 για τον πληθυσμό του Μάρτυρα στα φαγκριά (σε παρένθεση οι συχνότητες και οι εντάσεις που εκπέμπονται παράλληλα στο ενυδρείο με ήχο).

Ένταση (dBu)	Προί (a) Απόγευμα (b)	P.pagrusM (100) πριν	P.pagrusM (100) τροφή	P.pagrusM (800) πριν	P.pagrusM (800) τροφή
(-32)	a	-9,23767	-7,60744	-13,7619	-1,90611
(-32)	b	-11,5496	-7,47776	-8,70944	-1,33729
(-20)	a	-6,02125	-8,43588	-20,1839	-19,5625
(-20)	b	-18,1541		-0,20185	-0,22436
(-10)	a	-7,51305	-4,70986	-2,23647	-0,21591
(-10)	b	-2,68846		-19,5438	-22,1126
(-42)	a	-6,53627	-3,72724	-11,5763	-9,69017
(-42)	b	-9,23767	-7,60744	-18,7613	-27,5342

**Πίνακας 3.12:** Μέσος όρος τιμών μέσης απόστασης (σε cm) από το νοητό σημείο 0 για τον πληθυσμό του Μάρτυρα στα φαγκριά (σε παρένθεση οι συχνότητες και οι εντάσεις που εκπέμπονται παράλληλα στο ενυδρείο με ήχο).

**Γ) Τσιπούρα (*Sparus aurata*)**

Ένταση (dBu)	Προϊ (a) Απώγευμα (b)	S.aurata 200 πριν	S.aurata 200 ήχος	S.aurata 200 τροφή	S.aurata 200 μετά
-20	a	6,623689	4,792443	-2,14677	3,932917
-10	a	4,419722	0,740885	-10,0059	-1,68743
-42	a	-1,35765	-2,43158	-5,7693	-2,16321
-62	a	-1,15077	0,716035	-3,96999	2,602846

**Πίνακας 3.13:** Μέσος όρος τιμών μέσης απόστασης (σε cm) από το ηχείο για τσιπούρες που εκτίθενται στη συχνότητα των 200Hz και σε διαφορετικές εντάσεις.

Ένταση (dBu)	Προϊ (a) Απώγευμα (b)	S.aurata 500 πριν	S.aurata 500 ήχος	S.aurata 500 τροφή	S.aurata 500 μετά
-32	a	2,046518	-2,3635	-2,41756	-1,35238
-20	a	11,4756	1,323554	-0,10089	4,375006
-20	a	1,496524	-1,90912	-7,9711	-1,94294
-10	a	-0,1531	-3,52781		
-42	a	0,707969	1,156959	-11,3134	-7,50958
-62	a	7,085147	2,682508	9,388799	2,199367
-62	b	8,7378	4,539058	2,175156	3,591251
-10	a	8,18931	4,922657	-2,60766	-0,78794
-20	b	9,0573	6,35433	9,340377	-6,06828

**Πίνακας 3.14:** Μέσος όρος τιμών μέσης απόστασης (σε cm) από το ηχείο για τσιπούρες που εκτίθενται στη συχνότητα των 500Hz και σε διαφορετικές εντάσεις.

Ένταση (dBu)	Προϊ (a) Απώγευμα (b)	S.aurata 800 πριν	S.aurata 800 ήχος	S.aurata 800 τροφή	S.aurata 800 μετά
-32	a	1,656643	-0,43634	-9,92181	-7,5519
-20	a	-7,1E-05	-0,62501	-10,7524	-6,17582
-10	a	1,177748	3,280583	-5,88677	6,425812
-42	a	2,399828	2,634228	-8,47364	-5,50827
-62	a	-0,19275	2,588021	-10,5447	-3,34411

**Πίνακας 3.15:** Μέσος όρος τιμών μέσης απόστασης (σε cm) από το ηχείο για τσιπούρες που εκτίθενται στη συχνότητα των 800Hz και σε διαφορετικές εντάσεις.

Ένταση (dBu)	Προϊ (a) Απώγευμα (b)	S.aurata 1250 πριν	S.aurata 1250 ήχος	S.aurata1250 τροφή	S.aurata 1250 μετά
-32	a	-2,06232	-0,39209	-7,38333	-7,25096
-20	a	0,393979	6,191598	-0,14529	2,868869
-10	a	1,720926	0,473329	-7,07654	-3,74971
-42	a	4,958981	6,140904	-2,07469	0,719798
-62	a	8,07358	9,797673	-9,08554	-1,91933

**Πίνακας 3.16:** Μέσος όρος τιμών μέσης απόστασης (σε cm) από το ηχείο για τσιπούρες που εκτίθενται στη συχνότητα των 1250Hz και σε διαφορετικές εντάσεις.

Ένταση (dBu)	Προϊ (a) Απόγευμα (b)	S.aurata 5000 πριν	S.aurata 5000 ήχος	S.aurata 5000 τροφή	S.aurata 5000 μετά
-32	a	1,637871	0,021286	-16,0444	-12,0004
-32	b	8,104451	2,534586	3,453454	7,640523
-20	a	9,927717	9,269334	2,327593	3,25934
-20	b	1,505938	7,074312	2,054882	-2,62647
-10	a	14,09448	12,89724	4,111227	6,961167
-10	b	6,566137	7,920618	2,013177	8,497095
-42	a	10,44996	10,62762	2,694166	-1,52739
-42	b	5,273979	8,611988	-1,05035	-0,31713
-62	a	6,95516	8,139894	1,731207	1,168362

**Πίνακας 3.17:** Μέσος όρος τιμών μέσης απόστασης (σε cm) από το ηχείο για τσιπούρες που εκτίθενται στη συχνότητα των 5000Hz και σε διαφορετικές εντάσεις.

Ένταση (dBu)	Προϊ (a) Απόγευμα (b)	S.aurata 100 πριν	S.aurata 100 ήχος	S.aurata 100 τροφή	S.aurata 100 μετά
-32	a	14,76854	4,814979	0,978181	1,100926
-32	b	11,31696	8,503315	3,965662	4,980693
-20	a	6,672878	7,525219	3,956021	10,04766
-20	b	9,399406	5,890089	1,064517	4,294833
-10	a	1,587532	-1,91551	-9,57827	-0,90955
-10	b	3,701684	5,666439	1,201348	3,707293
-42	a	8,708264	1,873094	-1,90942	4,616704
-42	b	6,51408	6,080866	-1,10627	1,838133
-62	a	9,084904	-2,54954	-6,75412	0,429635
-62	b	1,770768	3,702025	-8,88155	-12,1732

**Πίνακας 3.18:** Μέσος όρος τιμών μέσης απόστασης (σε cm) από το ηχείο για τσιπούρες που εκτίθενται στη συχνότητα των 100Hz και σε διαφορετικές εντάσεις.

Ένταση (dBu)	Προϊ (a) Απόγευμα (b)	S.aurata 2500 πριν	S.aurata 2500 ήχος	S.aurata 2500 τροφή	S.aurata 2500 μετά
-32	a	0,876665	1,028321	-6,71434	-1,47376
-32	b	7,059246	-1,7557	-7,5973	-4,45455
-20	a	5,92779	8,191554	5,151462	8,581756
-20	b	7,752462	2,421256		
-10	a	5,309707	8,363104	2,10586	-4,8299
-10	b	6,202716	7,554812	3,24612	2,080726
-42	a	5,174168	5,467028	-1,21251	2,113997
-42	b	8,076335	8,327278	-0,24009	-2,30372
-62	a	3,33399	7,490088	-0,38243	2,612346
-62	b	4,973507	9,567662	1,811963	1,73737

**Πίνακας 3.19:** Μέσος όρος τιμών μέσης απόστασης (σε cm) από το ηχείο για τσιπούρες που εκτίθενται στη συχνότητα των 2500Hz και σε διαφορετικές εντάσεις.