

ΒΑΪΤΣΑΣ ΠΑΝΗΗΣ

ΡΑΒΑΣΟΠΟΥΛΟΣ ΠΑΝΗΗΣ



ΜΕΡΟΣ Α'
ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ
ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΤΕΙ ΜΕΣΣΟΛΟΝΝΕΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΩΝ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΙΧΘΥΟΚΟΜΙΑΣ - ΑΛΙΕΙΑΣ



ΠΑΤΡΑ 1997

ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

των

Βαΐτσα Γιάννη και Ραβασόπουλου Γιάννη

Εργασία που υποβλήθηκε στα πλαίσια των
απαιτήσεων για το δίπλωμα:

ΙΧΘΥΟΛΟΓΟΥ ΤΕ.

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΜΕΣΣΟΛΟΓΓΙΟΥ

1997

Μέλη εξεταστικής επιτροπής: Δρ. Παπαθεοδώρου Γεώργιος
Δρ. Ξένος Κωνσταντίνος
Δρ. Κουτσογιάννη Σοφία

Τ.Ε.Ι. Μεσολογγίου

Σχολή Τεχνολόγων Γεωπονίας

Τμήμα Ιχθυοκομίας - Αλιείας

Ημερομηνία: 3 Ιουνίου 1997

Αφιερώνεται στους γονείς μας και τους δασκάλους μας.

Οι συγγραφείς:

Ραβασόπουλος Γιάννης

Βαΐτσας Γιάννης



Φωτογραφία εξωφύλλων: Λιμνοθάλασσα Πάπα (Άραξος, Β. Δ. Πελοπόννησος).

(φωτογραφικό αρχείο συγγραφέων, 1996)

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	i
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	iii
ΑΝΤΙ ΠΡΟΛΟΓΟΥ	iv
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	2
ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ ΓΙΑ ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	6
1. Γενικά	6
2. Φυσικοχημικές παράμετροι του νερού	7
2.1 Κυματισμός	7
2.2 Ρεύματα.....	8
2.3 Παλίρροιες.....	11
2.4 Θερμοκρασία.....	11
2.5 Αλατότητα	15
2.6 Διαλυμένο οξυγόνο	19
2.7 Ενεργός οξύτητα (pH)	24
2.8 Ανόργανος άνθρακας - Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂).....	27
2.9 Άζωτο (Αμμωνία - Ουρία - Νιτρώδη - Νιτρικά).....	28
2.10 Φώσφορος	36
2.11 Υδρόθειο	38
2.12 Αέριοι υδρογονάνθρακες	40
2.13 Θολρότητα - Αιωρούμενα στερεά	48
2.14 Βαρέα μέταλλα	51
2.15 Αγροχημικά	60
ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	62
1. Γενικά	62
2. Μόλυνση - Ρύπανση	62
2.1 Κατηγορίες ρυπαντών.....	62
2.1.1 Αποσυντιθέμενες και αναλώσιμες ουσίες (Degradable / consumable).....	62
2.1.2 Διατηρητέες ουσίες (Conservative).....	63
2.1.3 Αιωρούμενα σωματίδια (Suspended solids).....	63

2.1.4 Στερεά απόβλητα (<i>Solids</i>)	64
2.1.5 Θερμότητα (<i>Heat</i>).....	64
3. Μηχανισμοί διασποράς ρύπων στο θαλάσσιο περιβάλλον.....	64
4. Απόβλητα υδατοκαλλιέργειών.....	66
4.1 Παράγοντες που καθορίζουν το μέγεθος και τη φύση των αποβλήτων μιας υδατοκαλλιέργειας.....	66
4.2 Σύνθεση ιχθυοτροφών, περιττωμάτων και προϊόντων απέκκρισης.....	69
4.3 Γενική θεώρηση των επιπτώσεων	71
4.4 Εκτίμηση του φορτίου των θρεπτικών συστατικών.....	73
4.5 Θρεπτικά συστατικά και εμπλουτισμός.....	76
4.6 Ευτροφισμός	82
4.7 Οργανικός εμπλουτισμός: άνθρακας.....	83
4.8 Δείκτες οργανικού εμπλουτισμού	88
4.9 Παράγοντες μείωσης και τεχνικές εκτίμησης των επιπτώσεων του εμπλουτισμού	89
4.10 Θεραπευτικές ουσίες.....	97
4.10.1 Αντιβιοτικά - Χημειοθεραπευτικά.....	97
4.10.2 Αντιμολυντικά - Εμποτιστικά.....	105
4.10.3 Κατάλοιπα θεραπευτικών ουσιών σε υδρόβιους οργανισμούς.....	105
4.10.4 Εκτίμηση των επιπτώσεων των θεραπευτικών ουσιών.....	107
4.10.5 Παράγοντες μείωσης της χρήσης αντιβιοτικών	109
5. Βιολογικές επιπτώσεις.....	113
5.1 Προσέλκυση υδρόβιων οργανισμών γύρω από το πεδίο εκτροφής.....	113
5.2 Διαφυγές εκτρεφόμενων ψαριών.	117
5.3 Επιπτώσεις στους φυσικούς πληθυσμούς.....	119
6. Φυσικές και κοινωνικές επιπτώσεις.....	121
6.1 Επιδράσεις στη ροή του νερού.....	121
6.2 Καταστροφή φυσικού περιβάλλοντος (αισθητική), κατάληψη χώρου, συμβατότητα με άλλες δραστηριότητες, αντιδράσεις του κοινού	123

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οι συγγραφείς θα ήθελαν να ευχαριστήσουν τον υπεύθυνο του Εργαστηρίου Θαλάσσιας Γεωλογίας και Φυσικής Ωκεανογραφίας (Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών) καθ. Φερεντίνο Γιώργο για τη διάθεση του εργαστηριακού χώρου και του απαραίτητου εξοπλισμού για τις αναλύσεις των δειγμάτων του ερευνητικού μέρους του παρόντος. Επίσης, τους Λυμπέρη Ευριβιάδη και Γεραγά Μαρία για την πολύτιμη βοήθειά τους κατά τη δειγματοληψία και την Χαραλαμποπούλου Μαρία για την ανάλυση των δειγμάτων με τη μέθοδο της ατομικής απορρόφησης. Ευχαριστούμε τους καθηγητές Τ.Ε.Ι. Μεσολογγίου (Σ.ΤΕ.Γ., Τμήμα Ιχθυοκομίας - Αλιείας) Βορεινάκη Θεοφάνη και Βλάχο Νίκο για τη διάθεση βιβλιογραφικού υλικού. Επίσης, το φίλο και συνάδελφο Περδικάρη Κώστα για τις υποδείξεις του επί μέρους του κειμένου και την επίσης φίλη και συνάδελφο Μελά Μαρίνα για τη βοήθειά της κατά την κοκκομετρική ανάλυση των δειγμάτων. Τέλος, ειδικές ευχαριστίες θα θέλαμε να απευθύνουμε στον εισηγητή και καθηγητή μας Παπαθεοδώρου Γιώργο για την αμέριστη συμπαράσταση και καθοριστική συμβολή του στην περάτωση του παρόντος.

ΑΝΤΙ ΠΡΟΛΟΓΟΥ

Η σύγχρονη υδατοκαλλιέργεια, αν και προέρχεται από πανάρχαιες παραδοσιακές πρακτικές, είναι μία καινούργια επιστήμη και οι βιομηχανίες που βασίζονται σ' αυτή βρίσκονται ακόμη σε στάδια εξέλιξης. Παρόλα αυτά, η παραγωγή των υδατοκαλλιεργειών αυξάνει ολοένα με το χρόνο. Οι υδατοκαλλιεργητικές επιχειρήσεις ποικίλλουν από μικρές οικογενειακές μονάδες παραγωγής έως μεγάλους ομίλους επιχειρήσεων (μικρών ή/και μεγάλων), οι οποίοι μάλιστα μπορεί να υποστηρίζονται και από άλλες βοηθητικές βιομηχανικές δραστηριότητες, όπως βιομηχανίες παραγωγής ιχθυοτροφών και εξοπλισμού υδατοκαλλιεργειών.

Η αυξημένη παραγωγή των υδατοκαλλιεργειών οφείλεται πρώτον στη χρησιμοποίηση και εκμετάλλευση ολοένα και περισσότερης γης ή νερού για εκτροφή και δεύτερον στην υιοθέτηση πιο εντατικών μεθόδων εκτροφής και σύγχρονης τεχνολογίας. Όσον αφορά το πρώτο όμως, η σύγκρουσή του με άλλες δραστηριότητες, που χρησιμοποιούν τους ίδιους πόρους με τις υδατοκαλλιέργειες, μπορεί να δημιουργήσει κοινωνικά και οικονομικά προβλήματα, με αποτέλεσμα οι υδατοκαλλιέργειες να μη δείχνουν το κοινωνικό τους πρόσωπο, που στην πραγματικότητα περιλαμβάνει την ανάπτυξη και το όφελος του κοινωνικού συνόλου. Το δεύτερο υπονοεί τη χρήση περισσότερων πόρων (νερού, τροφής, φαρμάκων, κ.α.) για την εκτροφή, το οποίο σημαίνει και μεγαλύτερη αποβολή πιθανών ρυπαντών. Η εντατικοποίηση αυτή έχει ως αποτέλεσμα οι υδατοκαλλιέργειες να θεωρούνται ως πιθανές πηγές ρύπανσης και υποβάθμισης παράκτιων και εσωτερικών υδάτινων περιβαλλόντων.

Ολοένα και περισσότεροι περιορισμοί επιβάλλονται στις βιομηχανικά εξελιγμένες και αναπτυσσόμενες χώρες, όσον αφορά περιβαλλοντικά ζητήματα, στις υδατοκαλλιέργειες. Οι Μελέτες Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (Environmental Impact Assessments, EIAs) αποτελούν ολοένα και πιο αναγκαίες προϋποθέσεις για την έγκριση σχεδίων (projects) υδατοκαλλιεργειών στις περισσότερες χώρες του κόσμου. Αυτό γίνεται στην περίπτωση σχεδιασμού μεγάλων ιχθυοτροφείων, ενώ για

μικρές μονάδες δεν απαιτείται κάτι τέτοιο, γιατί οι επιπτώσεις τέτοιων υδατοκαλλιιεργειών στο περιβάλλον δεν είναι σημαντικές.

Οι έρευνες και μελέτες που αφορούν τις υδατοκαλλιιεργειες εστιάζονται περισσότερο στη βελτίωση της υπάρχουσας τεχνολογίας και την εξέλιξη των μεθόδων εκτροφής με μοναδικό σκοπό την αύξηση της παραγωγής. Οι περιβαλλοντικές μελέτες που έχουν γίνει και γίνονται κατά καιρούς αφορούν περισσότερο τον καθορισμό των βέλτιστων παραμέτρων που απαιτούνται από τις υδατοκαλλιιεργειες, χωρίς τις περισσότερες φορές να γίνεται εκτίμηση των επιπτώσεων στο εξωτερικό περιβάλλον της εκτροφής.

Ως επακόλουθο των προβλημάτων που έχουν προκύψει, ιδίως από τις εντατικές εκτροφές σε πλωτούς ιχθυοκλωβούς, έχουν αρχίσει εδώ και μερικά χρόνια να γίνονται προσπάθειες απόκτησης πληροφοριών από το περιβάλλον που θα βοηθούν σε μία σωστή Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΕΙΑ).

Το πρώτο μέρος της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί μία προσπάθεια συγκέντρωσης των σύγχρονων βιβλιογραφικών πληροφοριών που αφορούν την αμφίδρομη σχέση περιβάλλοντος - υδατοκαλλιιεργειας. Τα αποτελέσματα της πλειονότητας των μελετών έως τώρα φαίνεται να δείχνουν ότι οι αρνητικές επιπτώσεις των σωστά σχεδιασμένων υδατοκαλλιιεργειών στο περιβάλλον είναι ασήμαντες. Από την άλλη μεριά, πιθανές αρνητικές επιπτώσεις μπορούν να συμβούν σε υδατοκαλλιιεργειες που δεν έχουν σχεδιαστεί σωστά και που έχουν εγκατασταθεί σε ευαίσθητα περιβάλλοντα, σε βαθμό τέτοιο μάλιστα που μπορεί να είναι και μη αναστρέψιμες.

Το δεύτερο μέρος του παρόντος περιλαμβάνει τη μελέτη των παράκτιων ιζημάτων του νοτίου τμήματος της λιμνοθάλασσας Πάπα (Άραξος, Β.Δ. Πελοπόννησος) ως προς την κοκκομετρική τους σύσταση και το βαθμό ρύπανσής τους –εφόσον υφίσταται– από βαρέα μέταλλα.

Συμπερασματικά, μπορούμε να πούμε ότι η ανάγκη εκπόνησης περιβαλλοντικών μελετών έχει έρθει επιτέλους στο προσκήνιο. Ολοένα και περισσότεροι ιχθυοκαλλιιεργητές αντιλαμβάνονται την αναγκαιότητα των μελετών αυτών για την προοπτική των μονάδων εκτροφής τους. Οι Ελληνικές ιχθυοκαλλιιεργειες είναι δεδομένο ότι απολαμβάνουν τον 'τίτλο' του μεγαλύτερου παραγωγού στην Ευρώπη, τουλάχιστον για την τσιπούρα και το λαβράκι. Οπότε από άποψη παραγωγής η Ελλάδα έχει ήδη καλυφθεί. Η εξέλιξη της τεχνογνωσίας

προχωρά επίσης με σταθερά βήματα και θα οδηγήσει σε ακόμη μεγαλύτερη παραγωγή τα επόμενα χρόνια. Έχει έρθει όμως και ο καιρός η Ελλάδα να προχωρήσει δυναμικά και στον τομέα της μελέτης και εκτίμησης των επιπτώσεων στο περιβάλλον, που βρίσκεται σχετικά ακόμη στα βρεφικά του βήματα, συγκριτικά με τις χώρες της βόρειας και δυτικής Ευρώπης, αν σκεφτούμε ότι το περιβάλλον κάποια στιγμή θα ‘κουρασθεί’ να υποστηρίζει τις υδατοκαλλιέργειες και θα αρχίσει να αναχαιτίζει την παραγωγή.



Μ Ε Ρ Ο Σ Α '

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με τον όρο *υδατοκαλλιέργεια* εννοούμε την ανάπτυξη υδρόβιων οργανισμών υπό ελεγχόμενες συνθήκες, μέσα από οικονομικά βιώσιμες δραστηριότητες (υδατοκαλλιεργητικές μονάδες - εκτροφεία).

Αν και η υδατοκαλλιέργεια φαίνεται να είναι σχετικά νέα μέθοδος εκτροφής ζώων, είναι γνωστή εδώ και 4000 χρόνια περίπου. Η συγκομιδή της *Tilapia nilotica* ανακαλύφθηκε σε τοιχογραφία σ' έναν Αιγυπτιακό τάφο, που χρονολογείται πριν το 2000 π.Χ. Οι Ιάπωνες επίσης είχαν ασχοληθεί με τη στρειδοκαλλιέργεια από το 2000 π.Χ. Το 1000 π.Χ. ο Κινέζος αυτοκράτορας τρεφόταν με φρέσκους κυπρίνους, οι οποίοι εκτρέφονταν. Το πιο αρχαίο κείμενο που υπάρχει και αναφέρεται στις υδατοκαλλιέργειες είναι του Κινέζου Fan - Li, ο οποίος ασχολήθηκε με την εκτροφή κυπρινοειδών το 475 π.Χ. Μερικούς αιώνες αργότερα, ο Πλίνιος αναφέρει την ύπαρξη υδατοκαλλιεργητικών δραστηριοτήτων στην αρχαία Ρώμη και Γαλατία. Για την Ελλάδα αναφέρεται η στρειδοκαλλιέργεια κατά τους αρχαίους χρόνους από τον Αριστοτέλη. Κατά τις τρεις τελευταίες δεκαετίες οι υδατοκαλλιέργειες αναπτύχθηκαν εντυπωσιακά σε πολλές χώρες του κόσμου. Οι υδατοκαλλιέργειες στην Ελλάδα αναπτύχθηκαν ραγδαία κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαεπταετίας.

Η παραγωγή των υδατοκαλλιεργειών αυξάνεται ολοένα με το χρόνο. Αυτό οφείλεται στη βελτίωση των τεχνικών εκτροφής, σε νέα τεχνολογικά συστήματα που υποβοηθούν την παραγωγή, την εκτροφή νέων ειδών και γενικά στην εξέλιξη της τεχνογνωσίας που υπάρχει μέχρι σήμερα. Ο Nash (1988) χρησιμοποιώντας στατιστικούς πίνακες του F.A.O. ανέφερε ότι η παγκόσμια παραγωγή των υδατοκαλλιεργειών το 1985 ήταν 10.6 εκατ. τόνοι (Πιν.1).

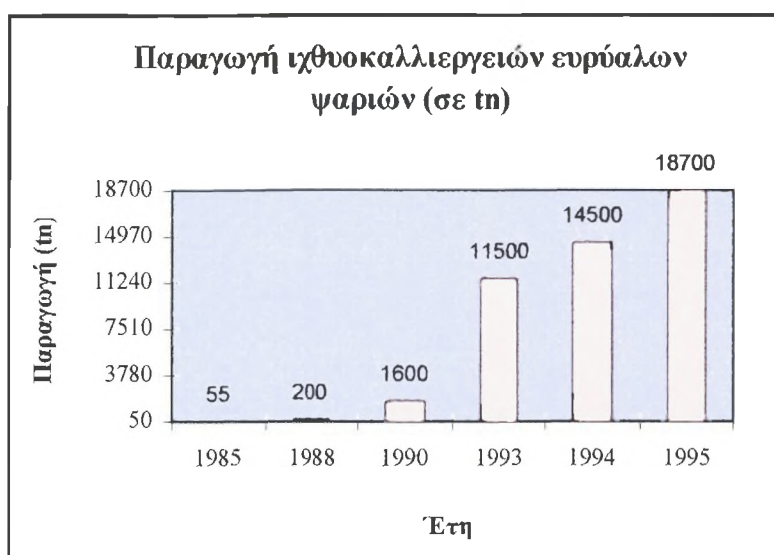
Φυσικά, η Ελλάδα τότε δεν είχε μεγάλη συνεισφορά σ' αυτήν την παραγωγή, γιατί το 1985 λειτουργούσαν μόλις 5 μονάδες πάχυνσης ευρύαλων ιχθύων (τσιπούρα, λαβράκι) με συνολική παραγωγή 55tn. Το 1988 ο αριθμός αυτών των μονάδων έφτασε τις 45 με 200tn παραγωγή και το 1990 τις 95 σε αριθμό και με παραγωγή 1600tn (Χώτος & Ρογδάκης, 1992). Από το 1989 η κατάσταση βελτιώθηκε ραγδαία (Διαγρ.1) και το μέλλον για τις Ελληνικές υδατοκαλλιέργειες προδιαγραφόταν λαμπρό. Πράγματι, το 1995 η συνολική παραγωγή των Ελληνικών

υδατοκαλλιεργειών άγγιξε τους 43000tn με κύριους πρωταγωνιστές την οστρακοκαλλιέργεια και την εκτροφή ευρύαλων ιχθύων (Πιν.2).

Πίνακας 1. Παγκόσμια παραγωγή των υδατοκαλλιεργειών το 1985 (σε tn).

	Οστεϊχθές	Καρκινοειδή	Μαλάκια	Φύκη	Λοιπά είδη
Αφρική	60000	100	400	0	0
Β. Αμερική	197000	33800	160800	200	0
Ν. Αμερική	28500	32900	1900	4900	0
Ασία	3792600	198500	212000	2767500	28200
Ευρώπη	340800	300	495000	4500	0
Ωκεανία	1200	100	20500	100	100
(πρώην) Ε.Σ.Σ.Δ	296000	0	0	0	0
Σύνολα	4717500	265700	2798600	277200	28300
% των συνόλων	44.5%	2.5%	26.5%	26.2%	0.3%
Γενικό σύνολο (100%)	10,587,300				

Πηγή: Iwama, 1991.



Διάγραμμα 1. Παραγωγή ευρύαλων ψαριών των Ελληνικών ιχθυοκαλλιεργειών κατά τα έτη 1985 - 1995.

Ο ρόλος των υδατοκαλλιεργειών σήμερα είναι κυρίως διπλός: αποτελούν πηγή τροφής υψηλού πρωτεϊνικού περιεχομένου και είναι ένα εργαλείο για τη διαχείριση της αλιείας, συμπληρώνοντας τον αριθμό των άγριων πληθυσμών (εμπλουτισμοί), ο οποίος μειώνεται ολοένα από την αλόγιστη επαγγελματική και ερασιτεχνική αλιεία, όσο και από την αλιεία για αθλητικές δραστηριότητες και χόμπι. Εκτός από αυτό το διπλό ρόλο των υδατοκαλλιεργειών, υπάρχουν κι άλλοι τομείς οι

οποίοι εξαρτώνται από τις υδατοκαλλιέργειες. Έτσι λοιπόν, εκτρέφονται υδρόβιοι οργανισμοί που χρησιμοποιούνται για δολώματα είτε για σπορ, είτε για εμπορικούς σκοπούς. Για ορισμένες χώρες (π.χ. Ιαπωνία) η παραγωγή διακοσμητικών ψαριών και φυκών αποτελεί σημαντική βιομηχανία. Τα χρυσόψαρα, όπως και άλλα είδη, που χρησιμοποιούνται κι έχουν ζήτηση ως πειραματόζωα, εκτρέφονται μαζί σε εγκαταστάσεις ιχθυοκαλλιεργειών. Τέλος, είναι επίσης γνωστή η καλλιέργεια μαργαριταριών μέσα σε κατάλληλα είδη μαλακίων, όπως είδη στρειδιού του γένους *Pinctada spp.* που βρίσκονται σε πολλές περιοχές του κόσμου (Λα Παζ, Ταϊτή, Ιαπωνία, Σρι Λάνκα, Περσικός κόλπος, Ερυθρά θάλασσα κ.α.) (Χατζηφώτης, 1995).

Πίνακας 2. Παραγωγή Ελληνικών υδατοκαλλιεργειών κατά τα έτη 1993 - 1995 (σε tn).

Τύπος εκτροφής	1993	1994	1995
Πεστροφοκαλλιέργεια	1885	1943	2455
Χελοκαλλιέργεια	337	341	234
Ιχθυοκαλλιέργειες ευρύαλων ψαριών	11500	14500	18700
Οστρακοκαλλιέργεια	16700	19057	21204
Λοιπές εκτροφές (κυπρίνοι, τιλάπια, κέφαλοι, σολομοί)	240	253	211
Σύνολα κατά έτος	30662	36094	42804

Πηγή: Α.Τ.Ε. - Δ/ση Ζωικής Παραγωγής - Τμήμα Αλιείας, 1996.

Η ραγδαία ανάπτυξη των υδατοκαλλιεργειών κατά το διάστημα των τελευταίων 15 ετών έφερε στο προσκήνιο το ζήτημα των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, που προκύπτουν από τις δραστηριότητες των υδατοκαλλιεργητικών μονάδων, αφού οποιαδήποτε ανθρώπινη δραστηριότητα αφήνει τα ίχνη της πάνω στο περιβάλλον.

Εκτός από τα οφέλη των υδατοκαλλιεργειών υπάρχουν σαφώς και αρνητικές συνέπειες για το περιβάλλον, το βαθμό των οποίων μελετούν διάφοροι ερευνητές. Στην ουσία το ερώτημα που τίθεται είναι αν οι υδατοκαλλιέργειες, ως ανθρώπινη δραστηριότητα, επιβαρύνουν, μολύνουν ή ρυπαίνουν το περιβάλλον κι αν ναι σε ποιο βαθμό. Οι μελέτες που έχουν γίνει μέχρι τώρα στην προσπάθεια να απαντηθεί το παραπάνω ερώτημα έχουν οδηγήσει σε δύο θετικά αποτελέσματα:

- ω) στην καθιέρωση εκπόνησης Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (Environmental Impact Assessments) για κάθε μονάδα εκτροφής υδρόβιων οργανισμών που ιδρύεται και

ii) στην επιστημονικά αποδεδειγμένη παραδοχή ότι οι υδατοκαλλιέργειες επιφέρουν μεν μία διαταραχή στην ισορροπία του περιβάλλοντος οικοσυστήματος, αλλά όχι σε τέτοιο βαθμό που να προκαλεί ανησυχία και μη αναστρέψιμες καταστάσεις.

Τέλος, αυτό που πρέπει να επισημανθεί είναι ότι οι εκτρεφόμενοι οργανισμοί απαιτούν άριστης ποιότητας περιβάλλον εκτροφής. Αν λοιπόν οι επιπτώσεις στο περιβάλλον ήταν σημαντικές, οι πρώτοι οργανισμοί που θα κινδύνευαν θα ήταν οι ίδιοι οι εκτρεφόμενοι οργανισμοί.

ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ ΓΙΑ ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ

1. Γενικά

Το νερό αποτελεί το φυσικό περιβάλλον πολλών φυτικών και ζωικών οργανισμών, άγριων και εκτρεφόμενων. Συνεπώς, το νερό αποτελεί πρωταρχικό παράγοντα ύπαρξης και λειτουργίας των υδατοκαλλιεργειών, των οποίων το αντικείμενο είναι η εκτροφή, η αναπαραγωγή και η ανάπτυξη ορισμένων υδρόβιων ειδών, τα οποία παρουσιάζουν εμπορικό ενδιαφέρον.

Η ποιότητα του νερού εκτροφής παίζει πρωταγωνιστικό ρόλο στην επιτυχία της εκτροφής. Βέβαια, κάθε περιοχή έχει τη δική της 'ταυτότητα' όσον αφορά τις παραμέτρους ποιότητας του νερού, γι' αυτό και οι τιμές των παραμέτρων ποιότητας νερού που αναφέρονται στη σύγχρονη διεθνή βιβλιογραφία είναι γενικά κατευθυντήριες και βοηθούν στην ταυτοποίηση των υπαρχόντων προβλημάτων, αλλά και εκείνων που πιθανόν να ανακύψουν στο μέλλον. Είναι αναγκαίο λοιπόν να συμπεριλαμβάνονται και οι παράμετροι ποιότητας του νερού σε κάθε περιβαλλοντική μελέτη, πριν την εγκατάσταση κάθε υδατοκαλλιεργητικής μονάδας.

Όπως είναι φανερό, τα όρια ανοχής των εκτρεφόμενων οργανισμών στις διάφορες παραμέτρους ποιότητας του νερού εξαρτώνται όχι μόνο από την περιοχή, αλλά και από το ίδιο το εκτρεφόμενο είδος. Επίσης, φανερό είναι ότι ενδιαφέρον παρουσιάζουν εκείνες μόνο οι παράμετροι που έχουν σημασία στην εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Οι σημαντικότερες και αυτές που ενδιαφέρουν περισσότερο τους ιχθυοκαλλιεργητές είναι: η θερμοκρασία (temperature), το διαλυμένο οξυγόνο (Dissolved Oxygen, D.O.) η αλατότητα (salinity), η ενεργός οξύτητα (pH), το διοξείδιο του άνθρακα (carbon dioxide, CO₂), η αμμωνία (ammonia, NH₃), τα νιτρικά (nitrates, NO₃⁻), τα νιτρώδη (nitrites, NO₂⁻), τα φωσφορικά θρεπτικά άλατα (phosphates, PO₄⁼), το υδρόθειο (hydrogen sulphide, H₂S), οι αέριοι υδρογονάνθρακες (gas hydrocarbons), τα αιωρούμενα στερεά (suspended solids) δηλαδή η θολερότητα (turbidity) και η παρουσία διάφορων τοξικών βαρέων μετάλλων (heavy metals). Εκτός από αυτές τις παραμέτρους του νερού υπάρχουν και μερικές άλλες φυσικές παράμετροι που επίσης ενδιαφέρουν τους

ιχθυοκαλλιεργητές. Αυτές είναι: η δράση των κυμάτων (wave action), τα ρεύματα (currents) και οι παλίρροιες (tides). Πολλές από αυτές τις παραμέτρους δεν παραμένουν σταθερές, είναι δυνατόν να μεταβάλλονται συνεχώς, εποχιακά ή περιοδικά, γι' αυτό και χρήζουν συνεχούς παρακολούθησης (monitoring). Επίσης, πολλές από τις παραμέτρους αυτές είναι συνεργητικές· γι' αυτό το λόγο δε μπορούν να αξιολογηθούν η καθεμία ξεχωριστά από την άλλη. Για την επιτυχία και την ασφαλή λειτουργία μιας εκτροφής λοιπόν θα πρέπει να είναι γνωστά τα επιτρεπτά όρια τιμών των παραμέτρων αυτών, για την αποφυγή της καταπόνησης (stress) των εκτρεφόμενων οργανισμών.

2. Φυσικοχημικές παράμετροι του νερού

2.1 Κυματισμός

Ως *κύματα* ορίζονται οι εξάρσεις και διακυμάνσεις της επιφάνειας του θαλασσινού νερού, που προκαλούνται κυρίως από τον άνεμο, αλλά και από άλλους παράγοντες, όπως οι υποθαλάσσιοι σεισμοί, οι εκρήξεις υποθαλάσσιων ηφαιστειών και οι παλίρροιες. Ως *ύψος κύματος* ορίζεται η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ κορυφής και κοιλίας, ενώ *μήκος κύματος* ορίζεται η οριζόντια απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών και μετριέται κατά την κατεύθυνση που ταξιδεύει το κύμα. Ως *περίοδος κύματος* ορίζεται το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών από κάποιο ακίνητο σημείο. Το ύψος, το μήκος και η περίοδος του κύματος εξαρτώνται από τη διάρκεια και την ταχύτητα του ανέμου και από την έκταση της επιφάνειας κατά την οποία πνέει.

Ο κυματισμός αποτελεί βασικό κριτήριο για την επιλογή μιας υποψήφιας θέσης για την εγκατάσταση μονάδας εκτροφής ψαριών σε πλωτούς ιχθυοκλωβούς. Ο υψηλός κυματισμός μειώνει σημαντικά την ασφάλεια των εγκαταστάσεων και δημιουργεί προϋποθέσεις και κινδύνους μερικής ή ολικής καταστροφής των. Συνήθως, δεν επιλέγονται περιοχές με ύψος κύματος πάνω από 2m. Αυτό δεν ισχύει για εγκαταστάσεις εκτροφής ανοικτής θαλάσσης, οι οποίες είναι σχεδιασμένες για μεγάλα ύψη κυμάτων.

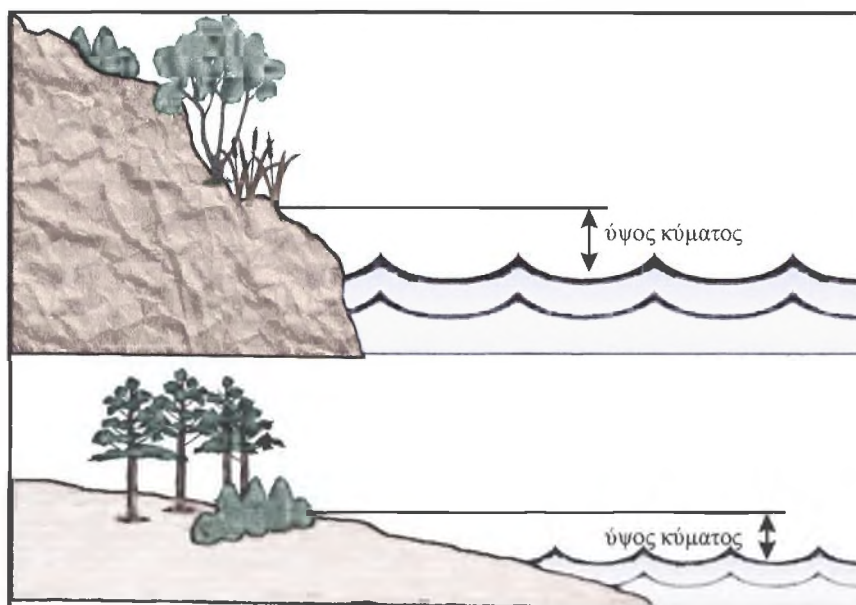
Ο προσδιορισμός του ύψους ενός κύματος μπορεί να γίνει με δύο εμπειρικούς τρόπους (Χώτος & Ρογδάκης, 1992):

ι) με βάση την απόσταση από την πλησιέστερη ξηρά κατά τη διεύθυνση του επικρατέστερου ανέμου. Το ύψος του κύματος τότε υπολογίζεται από τον εξής τύπο:

$$h = 1.5 \times \sqrt{H} \text{ όπου:}$$

- H: η απόσταση της πλησιέστερης ξηράς σε nm (1nm = 1853m) και
- h: το ύψος του κύματος σε ft (1ft = 0.305m).

ii) με βάση τις παρατηρήσεις στην πλησιέστερη ακτή όσον αφορά το βαθμό της φυτικής κάλυψης ή των αποτελεσμάτων της δράσης των κυμάτων στη χέρσο (Σχ.1).



Σχήμα 1. Σχηματική απεικόνιση εμπειρικού υπολογισμού του ύψους ενός κύματος βάσει των αποτελεσμάτων της δράσης των κυμάτων στη φυτική κάλυψη της ξηράς (τροποπ. από Χώτος & Ρογδάκης, 1992).

2.2 Ρεύματα

Ως *ρεύματα* ορίζονται οι οριζόντιες και κάθετες κινήσεις του νερού σε μία προτεινόμενη διεύθυνση, η οποία ονομάζεται *κατεύθυνση του ρεύματος*. Ως *ένταση του ρεύματος* ορίζεται η ταχύτητα της κίνησής του. Τα ρεύματα προκαλούνται από διάφορες αιτίες, όπως οι άνεμοι, οι διαφορές πυκνότητας ανάμεσα στις υδάτινες μάζες καθώς και οι διαφορές στη μεταφορά θερμότητας ανάμεσα στον ατμοσφαιρικό αέρα και το νερό.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την κατεύθυνση των ρευμάτων είναι η περιστροφή της γης, η μορφή των ηπείρων (συνεπώς των ακτών), η γεωμορφολογία του υποθαλάσσιου πυθμένα (θαλάσσια πρηνή, υβώματα, κοιλάματα, υποθαλάσσιες κοιλάδες, κ.λ.π.) και οι παλιρροιακές δυνάμεις, με αποτέλεσμα ο υπολογισμός της κατεύθυνσης να είναι εξαιρετικά πολύπλοκος. Η ένταση των ρευμάτων εξαρτάται από τη χρονική διάρκεια, την ταχύτητα και τη σταθερότητα ως προς τη διεύθυνση του ανέμου, καθώς επίσης και από άλλους παράγοντες.

Εξαιτίας της περιστροφής της γης και της δύναμης Coriolis, τα ρεύματα αποκλίνουν κατά μια ορισμένη γωνία από τη διεύθυνση του ανέμου. Στο βόρειο ημισφαίριο η απόκλιση των ρευμάτων γίνεται κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού, ενώ στο νότιο ημισφαίριο κατά την αντίθετη φορά.

Διακρίνονται δύο βασικοί τύποι ρευμάτων όσον αφορά το βάθος στο οποίο δρουν:

☐ τα επιφανειακά και

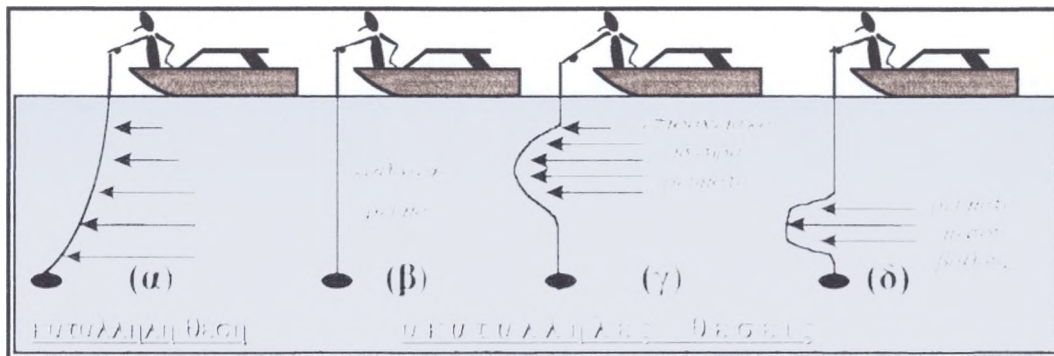
☐ τα βαθιά ρεύματα.

Με τη συνδυασμένη δράση των επιφανειακών, των βαθιών και των ρευμάτων πυθμένα δημιουργείται μια μόνιμη ανταλλαγή υδάτινων μαζών σε όλους τους ωκεανούς και υδάτινες μάζες.

Σε παράκτιες περιοχές, όπου και δραστηριοποιούνται υδατοκαλλιεργητικές δραστηριότητες, η καλή κυκλοφορία των νερών εξασφαλίζεται από τα αιολικής ή παλιρροιακής προέλευσης ρεύματα. Τα ρεύματα αυτά σε ικανές εντάσεις μπορούν να απομακρύνουν τα οργανικά φορτία ενός ιχθυοτροφείου, εμποδίζοντας έτσι τη συσσώρευση οργανικής ύλης και θρεπτικών συστατικών στην περιοχή του ιχθυοτροφείου. Τέτοιες εντάσεις πρέπει να είναι γενικά 5-15cm/sec (Χώτος & Ρογδάκης, 1992), ενώ οι Weston & Gowen (1988) αναφέρουν ότι πρέπει να είναι τουλάχιστον 24cm/sec. Επίσης, οι συστοιχίες των κλωβών πρέπει να είναι τοποθετημένες έτσι ώστε η μία να μην εμποδίζει την κυκλοφορία νερού στην άλλη. Ο καλύτερος τρόπος για να επιτευχθεί αυτό είναι ο κάθετος προσανατολισμός του διαγώνιου άξονα της συστοιχίας ή του κλωβού με τη διεύθυνση του ρεύματος.

Παρόλα αυτά, τα πολύ ισχυρά ρεύματα δεν είναι επιθυμητά, λόγω του ότι μειώνουν τον ωφέλιμο χώρο εκτροφής των κλωβών (σακούλιασμα διχτυού), οπότε ο ίδιος αριθμός ψαριών να συγκεντρώνεται σε μικρότερο όγκο, με αποτέλεσμα τα εκτρεφόμενα ψάρια να καταπονούνται. Συνδυασμός κυματισμού και ισχυρών

ρευμάτων μπορεί να έχει σοβαρές επιπτώσεις στα ψάρια, όπως την πρόκληση τραυμάτων, τα οποία θα αποτελέσουν πιθανές πύλες εισόδου βακτηρίων και παρασίτων. Η καταλληλότητα ή μη μιας θέσης όσον αφορά την ένταση και την κατανομή του ρεύματος με το βάθος φαίνεται στο Σχήμα 2.



Σχήμα 2. Εμπειρικός τρόπος προσδιορισμού της καταλληλότητας μιας θέσης για την εγκατάσταση πλωτών ιχθυοκλωβών ανάλογα με την ένταση και το βάθος των ρευμάτων. Η θέση (α) είναι κατάλληλη, ενώ οι (β), (γ) και (δ) κρίνονται ως ακατάλληλες (τροποπ. από Χώτος & Ρογδάκης, 1992).

Στα εσωτερικά ύδατα τα γενεσιουργά αίτια και οι ταχύτητες των ρευμάτων διαφέρουν σε σχέση με το θαλάσσιο περιβάλλον. Έτσι, στους ποταμούς, για παράδειγμα, η κίνηση του νερού εξαρτάται άμεσα από τη βαρύτητα. Κατά την κίνησή του υπάρχει απώλεια ενέργειας λόγω των δυνάμεων τριβής, οι οποίες εντείνονται από τα αναχώματα και τον πυθμένα. Οι ταχύτητες των ρευμάτων είναι υψηλές σε περιοχές με μεγάλη κλίση και με υπόστρωμα πετρώδες, ενώ σε χαμηλότερες περιοχές οι ταχύτητες των ρευμάτων είναι γενικά μικρές και το υπόστρωμα αμμώδες.

Τα ρεύματα των υδάτινων μαζών είναι αυτά που συντελούν στην κυκλοφορία του νερού και την ανταλλαγή του. Η ανταλλαγή του νερού είναι το φαινόμενο της μετακίνησης, εναλλαγής και ανανέωσης των υδάτινων μαζών και είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για τις υδατοκαλλιέργειες, διότι με την ανταλλαγή του νερού μεταφέρεται διαλυμένο οξυγόνο, ενώ απομακρύνονται τα οργανικά και ανόργανα σωματίδια που προέρχονται από τις τροφές και τα περιττώματα των οργανισμών. Ο ρυθμός ανταλλαγής των υδάτων ποικίλλει από περιοχή σε περιοχή. Σε παράκτιες περιοχές και κόλπους ο ρυθμός ανταλλαγής των υδάτων είναι ταχύς και το φαινόμενο εξελίσσεται ταχύτατα σε διάστημα ημερών.

2.3 Παλίρροιες

Ως *παλίρροια* ορίζεται η κατακόρυφη αύξηση και μείωση της στάθμης του νερού, ενώ *παλιρροιακό ρεύμα* ορίζεται η οριζόντια ροή των υδάτων. Το στάδιο κατά το οποίο η στάθμη της θάλασσας ανεβαίνει μέχρι να φθάσει στο ανώτερο σημείο (πλήμμη) ονομάζεται *πλημμυρίδα* ή *παλιρροιακή πλήμμη*, ενώ το στάδιο στο οποίο η στάθμη κατεβαίνει μέχρι να φθάσει στο κατώτερο σημείο ονομάζεται *αμπώτιδα* ή *παλιρροιακή ρηχία*. Η περίοδος που διαρκεί η πλήμμη ή η ρηχία κατά την οποία δεν υπάρχει αξιόλογη μεταβολή της στάθμης του νερού ονομάζεται *στασιμότητα*, ενώ η διαφορά ύψους μεταξύ πλήμμης και διαδοχικής ρηχίας, ονομάζεται *εύρος παλίρροιας*.

Οι παλίρροιες προκαλούνται από τις διαφορές στις ελκτικές δυνάμεις βαρύτητας διάφορων ουράνιων σωμάτων, κυρίως της σελήνης και του ηλίου πάνω σε διαφορετικά μέρη της γης, καθώς αυτή περιστρέφεται γύρω από τον άξονά της και τον ήλιο.

2.4 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία του νερού των θαλασσών, λιμνών, ποταμών, κ.λ.π. εξαρτάται από την επίδραση των παραγόντων που προκαλούν τη θέρμανση και ψύξη του νερού. Η κύρια πηγή θέρμανσης των υδάτινων μαζών είναι η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας από την υδάτινη μάζα. Άλλες πηγές θέρμανσης των θαλασσών, ειδικότερα, είναι η μεταφορά θερμότητας από το εσωτερικό της γης μέσω του φλοιού της, η δράση υποθαλάσσιων ηφαιστείων και οι εξώθερμες αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στο υδάτινο περιβάλλον. Άλλες τοπικές, ως επί το πλείστον, και ανθρωπογενείς πηγές θέρμανσης του νερού είναι οι παράκτιοι θερμικοί ή πυρηνικοί σταθμοί, οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και τα διυλιστήρια πετρελαίου, που εκχύνουν τα νερά ψύξης των μηχανών τους στην παράκτια θαλάσσια ζώνη. Τα νερά αυτά έχουν θερμοκρασία 10°C υψηλότερη από εκείνη του θαλασσινού νερού και εφόσον εκχύνονται σε μεγάλες ποσότητες, μπορούν να μεταβάλλουν τη θερμοκρασία της θάλασσας από 1 έως και 3°C (Φερεντίνος κ.α., 1994). Η τελευταία αναφερθείσα πηγή θέρμανσης του θαλασσινού νερού αποτελεί τη *θερμική ρύπανση*. Αντίθετα, η ψύξη των υδάτινων μαζών συντελείται με την ακτινοβολία θερμότητας από την υδάτινη επιφάνεια προς την

ατμόσφαιρα, την απώλεια θερμότητας όταν η υπερκείμενη ατμόσφαιρα είναι ψυχρότερη, καθώς και με την εξάτμιση. Τοπικά, η ψύξη μιας υδάτινης μάζας μπορεί να οφείλεται και στην αδυναμία απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας λόγω παρατεταμένης νέφωσης και κλιματολογικών κατακρημνίσεων (βροχόπτωση).

Η γεωγραφική εξάπλωση των ειδών περιορίζεται και οριοθετείται, θα μπορούσε να ειπωθεί, από τη θερμοκρασία. Γι' αυτό και σε συγκεκριμένες περιοχές εκτρέφεται συγκεκριμένη ποικιλία ειδών. Για παράδειγμα, στη Βόρεια Θάλασσα δεν είναι δυνατή η εκτροφή της τσιπούρας ή του λαβρακιού, γιατί αυτά τα είδη απαιτούν θερμοκρασίες ανάπτυξης μεταξύ 22 και 26°C, συνθήκες που δεν επικρατούν στην εν λόγω περιοχή.

Έχει αποδειχθεί ότι για κάθε υδρόβιο οργανισμό υπάρχει ένα εύρος θερμοκρασίας μέσα στο οποίο ο οργανισμός επιβιώνει και αναπτύσσεται και ονομάζεται *ζώνη θερμοκρασιακού εγκλιματισμού*. Έτσι, οι οργανισμοί ανάλογα με τις θερμοκρασιακές τους απαιτήσεις διακρίνονται σε:

- *θερμόφιλους* (αναπτύσσονται καλύτερα σε υψηλές θερμοκρασίες) και
- *ψυχρόφιλους* (αναπτύσσονται καλύτερα σε χαμηλές θερμοκρασίες).

Ανάλογα με το εύρος της θερμοκρασίας που μπορούν να ανεχθούν, διακρίνονται σε:

- *ευρύθερμους* (ζουν σε μεγάλες διακυμάνσεις των τιμών της θερμοκρασίας χωρίς επιπτώσεις) και
- *στενόθερμους* (ζουν σε στενό όριο διακύμανσης των τιμών της θερμοκρασίας).

Συνεπώς, η θερμοκρασία αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για τα εκτρεφόμενα είδη, ενώ τα όρια της ανθεκτικότητάς τους και τα όρια βέλτιστης ανάπτυξής τους διαφοροποιούνται από την ηλικία, το μέγεθος, την υγιεινή τους κατάσταση και το γενετικό τους υλικό. Έτσι, υπάρχει ένα όριο ανοχής (minimum τιμή - maximum τιμή) θερμοκρασιών κι ένα εύρος βέλτιστων τιμών ανάπτυξης (optimum) για κάθε εκτρεφόμενο οργανισμό (Πιν.3). Ειδικότερα για το λαβράκι, το οποίο είναι ευρέως εκτρεφόμενο στην Ελλάδα, εξακολουθεί να τρέφεται, χωρίς βέβαια βέλτιστους ρυθμούς ανάπτυξης, ακόμη και στους 7°C (min) - 30°C (max), ενώ αναπτύσσεται άριστα στους 14-28°C (βέλτιστο εύρος). Κάτω από τους 7°C σταματά να τρέφεται και κάτω από τους 2°C πεθαίνει.

Πίνακας 3. Όρια ανοχής και βέλτιστης ανάπτυξης όσον αφορά τη θερμοκρασία για ορισμένα εκτρεφόμενα είδη.

Εκτρεφόμενο είδος	Όριο ανοχής (min - max°C)	Όριο βέλτιστης ανάπτυξης (°C)
<i>Oncorhynchus mykiss</i> (πέστροφα)	0-25	14-16
<i>Cyprinus carpio</i> (κυπρίνος)	10-38	25-30
<i>Tilapia aurea</i> (τλάπια)	13-32	όχι κάτω από 16
<i>Anguilla anguilla</i> (χέλι)	11-26	22-26
<i>Sparus auratus</i> (τσαπούρα)	5-34	25-26
<i>Dicentrarchus labrax</i> (λαβράκι)	5-32	23-25
<i>Solea solea</i> (γλώσσα)	3-31	15
<i>Mytilus spp.</i> (μούδια)	0.5-32	15-20
<i>Ostrea spp.</i> (στρείδια)	0.5-35	15-20
<i>Penaeus spp.</i> (γαρίδες)	14-35	26-28

Πηγές: Κουσουρής κ.α., 1995; Γρηγορίου κ.α., 1996.

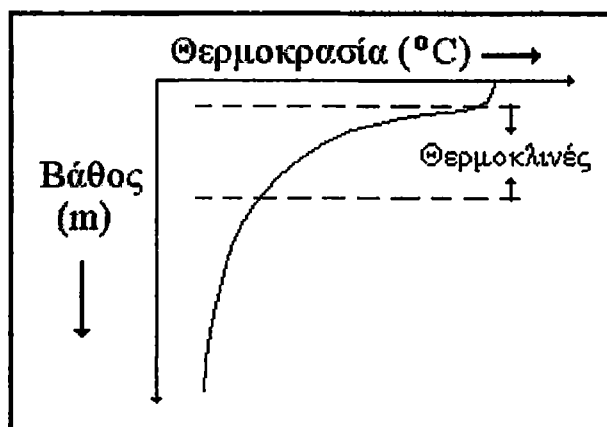
Από τη μελέτη του παραπάνω πίνακα (Πιν.3) προκύπτει ότι τα κυπρινοειδή, που είναι θερμόφιλα είδη, αναπτύσσονται καλύτερα σε θερμοκρασίες μεταξύ 25-30°C. Η πέστροφα αντίθετα, που για την Ελλάδα θεωρείται ψυχρόφιλο είδος, αναπτύσσεται καλύτερα μεταξύ 14-16°C. Οι Papoutsoglou & Papaparaskeva - Papoutsoglou (1978) αναφέρουν ότι η πέστροφα παρουσιάζει τη βέλτιστη ανάπτυξη σε θερμοκρασία 17°C, ενώ σε θερμοκρασία 26.3°C μειώνεται ο μεταβολισμός της σε επίπεδα θνησιμότητας (Charlon et al., 1970). Η γλώσσα, ενώ είναι ευρύθερμο ψάρι, έχει πολύ περιορισμένο εύρος βέλτιστης ανάπτυξης (γύρω στους 15°C). Γενικά, για την πλειονότητα των θερμόφιλων ψαριών η θερμοκρασία του νερού δεν πρέπει να ξεπερνά τους 33°C, ενώ κατά την άνοιξη και το φθινόπωρο η ημερήσια μεταβολή της θερμοκρασίας δεν πρέπει να υπερβαίνει τους 3°C. Για την πλειονότητα των ψυχρόφιλων ειδών, η αύξηση της θερμοκρασίας του νερού κατά 5-6°C κατά το φθινόπωρο και το χειμώνα μπορεί να προκαλέσει ανεπανόρθωτες βλάβες στα έμβρυα και τα ιχθύδιά τους. Επίσης, κατά τον Οκτώβριο και το Μάιο η θερμοκρασία δεν πρέπει να ξεπερνά τους 13°C, ενώ από τον Ιούνιο έως το Σεπτέμβριο τους 20°C χωρίς θερμικό εγκλιματισμό.

Η θερμοκρασία αποτελεί σπουδαίο ρυθμιστικό και οικολογικό παράγοντα για τους εκτρεφόμενους υδρόβιους οργανισμούς. Έτσι, επηρεάζει άμεσα το οξυγόνο που καταναλώνουν, την ανάπτυξη των αυγών και την πλευστότητά τους, τη δράση των

ενζύμων και το μεταβολισμό των ψαριών, αν και αυτή η τελευταία επίδραση μπορεί να διαφέρει από την ηλικία, το μέγεθος και τη φυσική κατάσταση του ψαριού. Ο Vinberg (1956) προσπαθώντας να προσδιορίσει το ρυθμό του μεταβολισμού των ψαριών βρήκε ότι η σχέση του μεταβολισμού με το ρυθμό κατανάλωσης του οξυγόνου συνδέεται στενά με τη θερμοκρασία του νερού, ακολουθώντας τη 'φυσική' καμπύλη του Krogh. Ο Hirata (1960) έδειξε ότι ακόμα και μικρές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές μεταβολές στην τροφική συμπεριφορά των *Carassius auratus* (πεταλούδα), που μελέτησε. Γενικά, η άνοδος της θερμοκρασίας, ή καλύτερα η διακύμανσή της μέσα στα βέλτιστα όρια ανάπτυξης των ψαριών, αυξάνει το ρυθμό μεταβολισμού, κάνει τα ψάρια πιο δραστήρια, οπότε αυτά καταναλώνουν περισσότερη τροφή και χρησιμοποιούν περισσότερο οξυγόνο. Η Ivleva (1972) απέδειξε ότι ο ρυθμός της αναπνοής στους ποικιλόθερμους οργανισμούς, εξαρτάται άμεσα από τη θερμοκρασία του νερού, σύμφωνα με την εξίσωση για τις βιοχημικές διαδικασίες του Arrhenius. Η θερμοκρασία του νερού είναι βασικός παράγοντας και για την αύξηση των δίθυρων (Malouf & Breese, 1977; Incze et al., 1980). Οι Brown & Hartwick (1988) παρατήρησαν υψηλούς ρυθμούς αύξησης των στρειδιών *Crassostrea gigas* στον κόλπο Trevenen και στο Okeover Inlet (Βανκούβερ, Καναδάς) που συνδέονταν με υψηλές θερμοκρασίες (άνοιξη - καλοκαίρι) καθώς και με αφθονία φυτοπλαγκτόν και μη στρεσογόνα επίπεδα αλατότητας. Στην περιοχή Saanich (Καναδάς) (Brown & Hartwick, 1988) οι υψηλές θερμοκρασίες σε συνδυασμό με την ανεπάρκεια τροφής, πιθανόν να είχαν αρνητική επίδραση στην αύξηση των στρειδιών *Crassostrea gigas* (Malouf & Breese, 1977).

Έμμεσα, η θερμοκρασία μπορεί να επηρεάσει τους εκτρεφόμενους οργανισμούς μεταβάλλοντας κάποιες φυσικοχημικές ιδιότητες του νερού εκτροφής (π.χ. αλατότητα, διαλυτότητα αερίων, κ.α.). Μια αξιοσημείωτη έμμεση επίδραση της θερμοκρασίας στους εκτρεφόμενους οργανισμούς είναι η παρακάτω. Όπως είναι γνωστό, το επιφανειακό στρώμα της θάλασσας είναι το θερμότερο, ενώ τα βαθύτερα στρώματα είναι τα ψυχρότερα. Ανάμεσα στα δύο αυτά στρώματα υπάρχει το στρώμα θερμικού άλματος, ή δραστηκής πτώσης της θερμοκρασίας με μία λέξη το *θερμοκλινές* ή *θερμοκλίνη* (thermocline) (Σχ.3). Το θερμοκλινές είναι ένα στρώμα το οποίο εμποδίζει την κατακόρυφη μεταφορά υδάτινων μαζών. Η ελάττωση της μίξης στοιβάδων του νερού στο θερμοκλινές έχει συνέπειες στη διασπορά διαφόρων ρύπων. Έτσι, οι ρύποι που αποβάλλονται στην επιφάνεια 'παγιδεύονται' στο

επιφανειακό στρώμα πάνω από το θερμοκλινές, μη μπορώντας να διασκορπιστούν κατακόρυφα. Επομένως, οι ρύποι βρίσκονται σε υψηλές συγκεντρώσεις, εφόσον η διασπορά τους γίνεται σε πολύ μικρό όγκο νερού (Φερεντίνος κ.α., 1994). Υπάρχουν χαρακτηριστικά παραδείγματα όπου το θερμοκλινές δημιούργησε αναερόβιες συνθήκες κοντά στον πυθμένα, λόγω της παρεμπόδισης της ανανέωσης του οξυγόνου (Clark, 1986).



Σχήμα 3. Σχηματική απεικόνιση του σχηματισμού θερμοκλινούς στο θαλασσινό νερό.

Τέλος, η πτώση της θερμοκρασίας κάτω από τα επιθυμητά επίπεδα ή η άνοδός της πάνω από τα όρια ανοχής κάθε εκτρεφόμενου οργανισμού, μπορεί να προκαλέσει θερμικό σοκ, στρες, εξασθένηση του ανοσοποιητικού συστήματος, ξέσπασμα ασθένειας και τελικά το θάνατο του οργανισμού. Η πρόληψη τέτοιων ανεπιθύμητων επιδράσεων της θερμοκρασίας μπορεί να γίνει με συνεχή έλεγχο της θερμοκρασίας (θερμόμετρα, θερμοστάτες, ψύξη ή θέρμανση του νερού εισόδου) προκειμένου για δεξαμενές στην ξηρά και κατάλληλη επιλογή θέσης προκειμένου για ιχθυοκλωβούς (απουσία εργοστασίων που προκαλούν θερμική ρύπανση, εύκρατο κλίμα περιοχής χωρίς απότομες θερμοκρασιακές μεταπτώσεις).

2.5 Αλατότητα

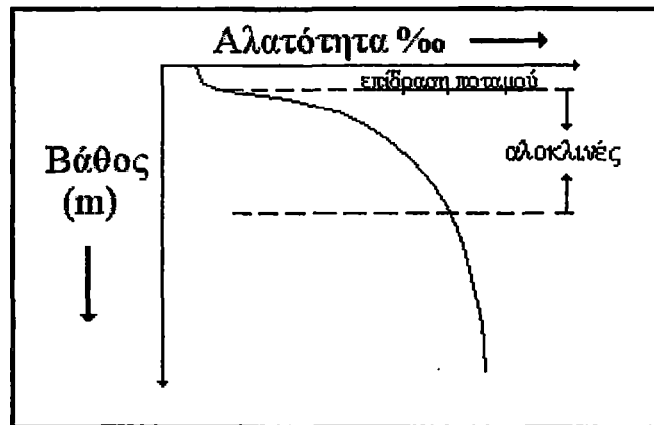
Ως αλατότητα ορίζεται η συνολική ποσότητα των στερεών ουσιών σε gr που περιέχονται σε 1kgr θαλασσινού νερού, όταν όλα τα ανθρακικά άλατα έχουν μετατραπεί σε οξείδια, τα βρωμιούχα και ιωδιούχα άλατα έχουν αντικατασταθεί από

χλωριούχα ιόντα και έχει οξειδωθεί όλο το οργανικό υλικό. Ο υπολογισμός της αλατότητας γινόταν με τη χρήση ενός εμπειρικού τύπου, που είχε προταθεί από τον Knudsen το 1904, ήτοι:

$$S\% = 1.80655 \times Cl\% \text{ όπου:}$$

S%: αλατότητα και Cl%: χλωριότητα. Η χλωριότητα ορίζεται ως το συνολικό ποσό του χλωρίου (Cl), βρωμίου (Br) και ιωδίου (J) σε gr, όταν το βρώμιο και το ιώδιο έχουν αντικατασταθεί από χλωριόντα. Σήμερα η αλατότητα δεν υπολογίζεται μέσω της χλωριότητας από τον τύπο του Knudsen, αλλά με όργανα που ονομάζονται σαλινόμετρα.

Οι τιμές της αλατότητας για το θαλασσίνο νερό κυμαίνονται από 32-37.5%. Τιμές αλατότητας κάτω από 32‰ υποδεικνύουν μια ανάμιξη του θαλασσινού με γλυκό νερό. Η κατανομή της αλατότητας με το βάθος δεν είναι εύκολο να περιγραφεί, γιατί η ευσταθής ισορροπία της υδάτινης στήλης εξαρτάται κυρίως από τη θερμοκρασία κι όχι από την αλατότητα. Ενώ η θερμοκρασία συνήθως ελαττώνεται με το βάθος, η αλατότητα μπορεί να αυξάνεται, έτσι ώστε η πυκνότητα να διατηρείται σταθερή. Η κατανομή της αλατότητας με το βάθος είναι συνάρτηση της εξάτμισης και των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων (βροχοπτώσεις, κ.λ.π.), ενώ αύξηση της έντασης των ανέμων προκαλεί την αύξηση της αλατότητας. Σε κλειστές θάλασσες η αλατότητα είναι μεγαλύτερη, λόγω της εξάτμισης και της υψηλής θερμοκρασίας. Στην Ερυθρά θάλασσα, για παράδειγμα, η αλατότητα φθάνει μέχρι 43‰. Σε παράκτιες περιοχές, όπου υπάρχουν σημεία έκχυσης ποταμών (εκβολές), δημιουργείται μια ζώνη απότομης αύξησης της αλατότητας μεταξύ του επιφανειακού στρώματος νερού, που έχει χαμηλή αλατότητα και του βαθύτερου στρώματος, που έχει υψηλή αλατότητα (Σχ.4). Η ζώνη αυτή της απότομης αύξησης της αλατότητας ονομάζεται αλοκλινές (halocline). Το αλοκλινές, όπως και το στρώμα του θερμοκλινούς, εμποδίζει την μίξη των στρωμάτων του νερού, επομένως έχει τις ίδιες επιπτώσεις στη διασπορά των ρύπων. Σε πολλά φιόρδ έχουν δημιουργηθεί αναερόβιες συνθήκες, καθώς το αλοκλινές δεν επιτρέπει την ανανέωση του διαλυμένου οξυγόνου στα βαθύτερα στρώματα.



Σχήμα 4. Επίδραση της έκχυσης γλυκών νερών ποταμού στην κατανομή της αλατότητας με το βάθος.

Με βάση την ανθεκτικότητα των υδρόβιων οργανισμών στην αλατότητα, αυτοί διακρίνονται σε:

- στενόαλους (διαβιούν σε διακυμάνσεις αλατότητας εντός στενών ορίων) και
- ευρύαλους (μεγάλη ανοχή σε μεγάλες διακυμάνσεις της αλατότητας).

Χαρακτηριστικό παράδειγμα ευρύαλου και ευρέως εκτρεφόμενου ψαριού στην Ελλάδα είναι το λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*). Απαντάται σε νερά με αλατότητα από 0.5‰ έως και 90‰. Οι ιδανικές (βέλτιστες) συνθήκες ανάπτυξής του, όσον αφορά την αλατότητα, είναι μεταξύ 20 και 30‰.

Το εύρος της ανεκτής αλατότητας διαφέρει ανάλογα με το φύλο και το στάδιο ανάπτυξης του οργανισμού. Συνήθως το εύρος αυτό είναι στενό, κυρίως για τα πρώτα οντογενετικά στάδια του οργανισμού. Γι' αυτό και ευρύαλα θαλασσινά ψάρια, όπως η τσιπούρα (*Sparus auratus*), το λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*), τα κεφαλοειδή (*Mugil spp.*), κ.α., συγκεντρώνονται σε δέλτα ποταμών και λιμνοθάλασσες για την αναπαραγωγή τους, όπου η αλατότητα είναι σαφώς διαφορετική από αυτή της ανοικτής θάλασσας και δεν έχει μεγάλες διακυμάνσεις. Στις λιμνοθάλασσες η αλατότητα παρουσιάζει μεγάλη εποχιακή διακύμανση, η οποία εξαρτάται από τον τύπο της λιμνοθάλασσας και τις ανταλλαγές του νερού. Στα υφάλμυρα νερά της Μεσογείου η αλατότητα κυμαίνεται από 10-30‰, αλλά σε ορισμένους τύπους λιμνοθαλασσών για κάποιες συγκεκριμένες εποχές του έτους η αλατότητα μειώνεται στο 3-5‰ ή ξεπερνάει το 40‰. Οι μειωμένες τιμές της αλατότητας που επικρατούν στο περιβάλλον των λιμνοθαλασσών ορισμένες εποχές του έτους, ευνοούν τις μεγάλες ιχθυοφορτίσεις και τη γρήγορη ανάπτυξη των

ψαριών. Οι ορμόνες του θυρεοειδούς των ψαριών καθορίζουν την προτίμησή τους στο γλυκό ή το θαλασσινό νερό, ακόμη και στα μεταναστευτικά ψάρια, ανάλογα με την παρουσία ή όχι προλακτίνης στην υπόφυση του θυρεοειδούς αδένα (Leatherland, 1970a, 1970b; Holliday, 1971).

Έχει αποδειχθεί ότι η αλατότητα επηρεάζει έμμεσα τους οργανισμούς, διότι η μεταβολή της προκαλεί και μεταβολή της γενικότερης φυσικοχημικής κατάστασης του νερού (μεταβολή των ιόντων Na^+ , K^+ , Cl^- , Mg^{++} και SO_4^- , μεταβολή της διαλυτότητας των αερίων, κ.α.). Οι διακυμάνσεις της αλατότητας επηρεάζουν άμεσα τους οργανισμούς, όσον αφορά την αύξηση κατανάλωσης ενέργειας από τον οργανισμό για τη λειτουργία της ωσμωρύθμισης. Στα θαλασσινά εκτρεφόμενα είδη η αλατότητα επηρεάζει τη θρέψη και συνεπώς την ανάπτυξη. Από μελέτες που έγιναν σε ευρύαλα θαλασσινά ψάρια (*Mugil cephalus*, *Sparus auratus*, *Dicentrarchus labrax*, *Epinephelus spp.*, κ.λ.π.), διαπιστώθηκε ότι για τους περισσότερους οργανισμούς η επιβίωση και η ανάπτυξη είναι άριστη σε ενδιάμεσες αλατότητες που κυμαίνονται από 20-35‰ (Febry & Lutz, 1987; Kelley, 1988). Σύμφωνα με τον Brett (1979) όταν η αλατότητα είναι υψηλότερη από το ισοοσμωτικό σημείο των ψαριών, που κυμαίνεται σε $10 \pm 2\%$, τότε ο οργανισμός επιβιώνει με βάση την ανθεκτικότητά του στην αλατότητα, ανεξάρτητα από την κατηγορία που ανήκει (ευρύαλος-στενόαλος). Σε αντίθετη περίπτωση προκαλείται αναστροφή του μηχανισμού ωσμωρύθμισης (Davenport & Vahl, 1979). Το αποτέλεσμα της αναστροφής αποτελεί τον κύριο λόγο της θνησιμότητας των οργανισμών κατά τη μεταβολή της αλατότητας, ακόμα και για τα ευρύαλα ψάρια (Κονίδης, 1992). Επίπεδα αλατότητας έξω από τα βέλτιστα όρια ενός είδους μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά την αύξηση και την επιβίωση (Quayle, 1969; Bernard, 1983). Ορισμένα είδη του γλυκού νερού μπορούν να εγκλιματιστούν σταδιακά σε αυξανόμενες τιμές αλατότητας. Τα μαλάκια (στρείδια, μύδια, κ.α.) μπορούν και προσαρμόζονται εύκολα σε μεγάλες μεταβολές της αλατότητας, εξαιτίας των ωσμωρυθμιστικών μηχανισμών που διαθέτουν (Alzieu, 1989). Όμως οι Bodoy et al. (1990) έχουν αναφέρει θανάτους σε εκτροφή μαλακίων όταν η αλατότητα κυμαινόταν σε χαμηλά επίπεδα και η θερμοκρασία σε υψηλά. Ο Bernard (1983) ανέφερε ως κρίσιμο επίπεδο αλατότητας για τα στρείδια το όριο 8-12‰. Επίσης, η μεγάλη διακύμανση της αλατότητας κατά την περίοδο του καλοκαιριού επιφέρει μικρή ανάπτυξη σε στρείδια (Seamann, 1985). Οι απότομες

μεταβολές στην αλατότητα μπορούν να μειώσουν την ανοχή των δίθυρων στις αλλαγές άλλων παραμέτρων, όπως η θερμοκρασία (Bernard, 1983). Οι Brown & Hartwick (1988) παρατήρησαν ότι τα βάρη της ξηρής σάρκας στρειδιών (*Crassostrea gigas*) ήταν παρόμοια με τα βάρη των κελυφών τους. Οι διαφορετικές περιοχές εκτροφής των στρειδιών αυτών χαρακτηρίζονταν και από υψηλούς και χαμηλούς ρυθμούς αύξησης (Βανκούβερ, Καναδάς). Αυτό το απέδωσαν στα μειωμένα επίπεδα αλατότητας των περιοχών εκείνων με τους χαμηλούς ρυθμούς αύξησης των στρειδιών.

2.6 Διαλυμένο οξυγόνο

Το διαλυμένο οξυγόνο στο νερό είναι το απαραίτητο στοιχείο για τη διατήρηση των υδρόβιων οργανισμών εν ζωή. Η ανταλλαγή οξυγόνου στη διαχωριστική επιφάνεια ατμόσφαιρας - νερού γίνεται και προς τις δύο κατευθύνσεις. Η κατεύθυνση της μεταφοράς εξαρτάται από τη διαφορά της μερικής πίεσης των αερίων στο νερό από εκείνη στην ατμόσφαιρα. Με άλλα λόγια, αν το νερό είναι υπέρκορο σε οξυγόνο, η κατεύθυνση μεταφοράς είναι προς την ατμόσφαιρα· στην αντίθετη περίπτωση είναι προς την υδάτινη μάζα. Η ανταλλαγή αυτή γίνεται είτε με μοριακή διάχυση, είτε με τυρβώδη μίξη (λόγω κυματισμού). Η οξυγόνωση των βαθύτερων στρωμάτων γίνεται είτε με την κατακόρυφη μεταφορά οξυγονωμένων υδάτινων μαζών λόγω ρευμάτων, που οφείλονται στην αλλαγή της πυκνότητας (μεταφορά αραιής υδάτινης μάζας προς τα πάνω και κατάληψη της θέσης της από υπερκείμενα, πυκνότερα στρώματα νερού), είτε με μίξη, καθώς ο συντελεστής μοριακής διάχυσης είναι πολύ μικρός (1.8×10^{-5} cm²/sec). Η αλλαγή της πυκνότητας μαζών του νερού, που αναφέρθηκε προηγουμένως, οφείλεται σε μεταβολές της θερμοκρασίας και της αλατότητας. Επίσης, η ύπαρξη θερμοκλινούς ή/και αλοκλινούς στην υδάτινη στήλη εμποδίζει την κατακόρυφη μεταφορά (βύθιση) επιφανειακών και πιο οξυγονωμένων στρωμάτων νερού (πρβλ. §2.4 & §2.5) κι έτσι περιορίζεται η ανανέωση του οξυγόνου στα βαθύτερα στρώματα νερού.

Γενικά, η περιεκτικότητα του θαλασσινού νερού σε διαλυμένο οξυγόνο είναι περίπου 8ppm. Τέτοιες τιμές περιεκτικότητας σε οξυγόνο επικρατούν κυρίως στα επιφανειακά στρώματα νερού, όπου υπάρχει έντονη και συνεχής ανανέωση από τον αέρα. Μέγιστες συγκεντρώσεις οξυγόνου παρατηρούνται μέχρι και τα 100m

(ευφωτική ζώνη), εξαιτίας της συνεισφοράς οξυγόνου από τη φωτοσύνθεση. Για τιμές μέχρι και 4ppm οι συνθήκες διαβίωσης των υδρόβιων οργανισμών θεωρούνται κανονικές. Κάτω από τα 4ppm το νερό θεωρείται ακατάλληλο για υδατοκαλλιέργεια, ενώ κάτω από τα 2ppm επικρατούν αναερόβιες συνθήκες. Σε ποταμούς η τιμή του οξυγόνου, που θεωρείται ελάχιστο όριο διαβίωσης για τους περισσότερους υδρόβιους οργανισμούς είναι 5ppm (Alabaster & Lloyd 1980), ενώ σύμφωνα με άλλους ερευνητές η ελάχιστη ποσότητα οξυγόνου είναι 3ppm (Bergheim et al., 1978). Παρόμοιες τιμές ισχύουν και στην περίπτωση λιμναίων υδάτων (Everett 1973), καθώς επίσης και στην περίπτωση υφάλμυρων υδάτων, όπου οι τιμές του διαθέσιμου οξυγόνου κυμαίνονται από 3-5ppm (Alabaster, 1973).

Η ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για την επιβίωση των υδρόβιων οργανισμών, την ανάπτυξη, το μεταβολισμό, την αναπαραγωγή και γενικότερα τη συμπεριφορά τους. Οι εκτρεφόμενοι υδρόβιοι οργανισμοί έχουν διαφορετικές απαιτήσεις σε οξυγόνο. Έτσι, για εκτροφές πέστροφας και σολομού το επίπεδο του διαλυμένου οξυγόνου δεν πρέπει να πέφτει κάτω από 5ppm για πολλή ώρα. Το ίδιο ισχύει και για εκτροφές γαρίδας. Όσον αφορά την εκτροφή των χελιών, του κυπρίνου και της τιλάπια τα επίπεδα του οξυγόνου μπορεί να είναι και 3-4ppm. Τα βέλτιστα επίπεδα όμως μπορεί να είναι υψηλότερα για κάθε είδος ξεχωριστά. Σύμφωνα με τους Swingle (1969) και Boyd (1981), αυτοί οι οργανισμοί μπορούν να επιβιώσουν και σε περιεκτικότητες διαλυμένου οξυγόνου έως και 1ppm, αλλά η ανάπτυξή τους επιβραδύνεται μετά από υπερβολική έκθεση σε τέτοιες συνθήκες. Ειδικά η τιλάπια, μπορεί να επιβιώσει σε πολύ χαμηλά επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου, με κατώτατο όριο το 0.1ppm. Τιλάπια που εκτρέφονται σε υδροστάσια με υψηλή πρωτογενή παραγωγή και τέτοιες συνθήκες οξυγόνου, όχι μόνο επιβιώνουν, αλλά και συνεχίζουν να τρέφονται, ανεβαίνοντας συχνά στην επιφάνεια της υδάτινης στήλης για να εκμεταλλευτούν τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα του οξυγόνου στο στρώμα αυτό (Γρηγορίου κ.α., 1996). Για το λαβράκι δεν έχουν αναφερθεί θάνατοι όταν το επίπεδο του διαλυμένου οξυγόνου βρίσκεται σε επίπεδο κορεσμού. Σε εκτροφές λαβρακιού έχουν μετρηθεί συγκεντρώσεις έως και 2ppm χωρίς την ύπαρξη θανάτων. Σε δεξαμενές εκτροφής γεννητόρων λαβρακιού δεν παρατηρούνται ιδιαίτερα προβλήματα για επίπεδα οξυγόνου έως και 3ppm, αλλά τα αυγά που λαμβάνονται δεν είναι βιώσιμα (Χώτος &

Ρογδάκης, 1992). Το πρόβλημα σε τέτοιες δεξαμενές μπορεί να επιλυθεί με τη ρύθμιση της παροχής του νερού στους σωλήνες εισόδου.

Ο ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου από τους εκτρεφόμενους οργανισμούς αυξάνει κατά τη διάρκεια της θρέψης. Καθώς ο μεταβολισμός του ψαριού επηρεάζεται από τη θερμοκρασία, όπως προαναφέρθηκε, έτσι επηρεάζεται και ο ρυθμός κατανάλωσης του οξυγόνου. Για ορισμένα είδη μάλιστα έχουν βρεθεί σχέσεις που συνδέουν την ελάχιστη απαίτηση σε οξυγόνο (O) με τη θερμοκρασία και το βάρος το ψαριού (W). Έτσι, για νεαρά άτομα λαβρακιού η ελάχιστη απαίτηση σε οξυγόνο (σε mg/l/h), ανάλογα με το βάρος του ψαριού (σε gr) υπολογίζεται από τις σχέσεις (Bical, 1979):

➤ για θερμοκρασία 10°C: $O = 0.19 \times W^{0.84}$

➤ για θερμοκρασία 15°C: $O = 0.49 \times W^{0.68}$

➤ για θερμοκρασία 20°C: $O = 0.66 \times W^{0.79}$

Τέτοιες σχέσεις έχουν προταθεί και για νεαρά καθώς και ενήλικα άτομα του Ατλαντικού σολομού (*Salmo salar*) από τους Kazakov & Khalyarina (1981):

➤ για νεαρά άτομα και θερμοκρασία 15°C: $O = 0.53 \times W^{0.86}$

➤ για ενήλικα άτομα και θερμοκρασία 15°C: $O = 0.15 \times W^{0.84}$

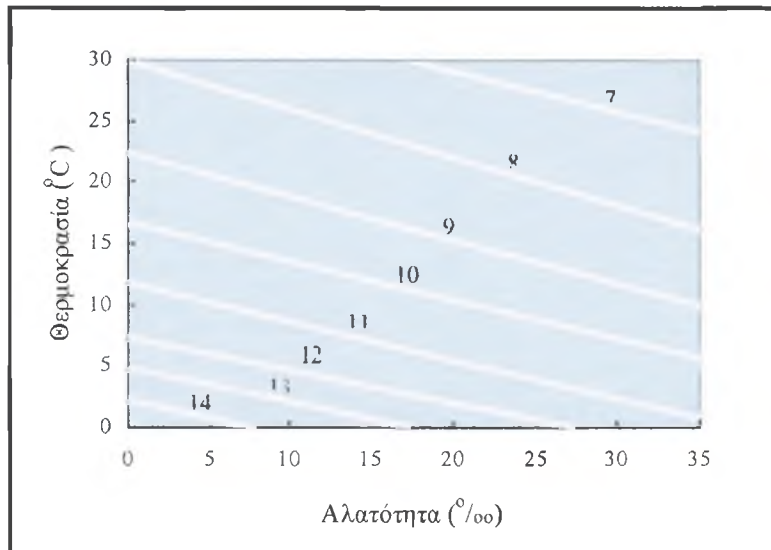
Βέβαια, ακόμη κι αν υπήρχαν τέτοιες σχέσεις για όλα τα εκτρεφόμενα είδη, θα ήταν πρακτικά αδύνατη η χρησιμοποίησή τους από τους ιχθυοκαλλιεργητές.

Η μείωση της περιεκτικότητας του οξυγόνου στις υδατοκαλλιέργειες, θεωρώντας ότι η ανανέωσή του είναι επαρκής, οφείλεται, εκτός από τη χρησιμοποίησή του από τους ίδιους τους εκτρεφόμενους οργανισμούς, και από άλλους παράγοντες. Τα επίπεδα του διαλυμένου οξυγόνου πέφτουν σημαντικά κάτω από τα επίπεδα κορεσμού στις ακόλουθες περιπτώσεις:

- Όταν αυξηθεί σημαντικά ο πληθυσμός του φυτοπλαγκτόν, με αποτέλεσμα τις νυχτερινές ώρες να ελαττώνεται η συγκέντρωση του οξυγόνου και να δημιουργούνται ανοξικές συνθήκες.
- Όταν συντελείται βακτηριακή αποσύνθεση των νεκρών αλγών, με συνέπεια να δημιουργούνται ανοξικές συνθήκες.
- Όταν στρώμα ανοξικού νερού που προέρχεται από τα βαθύτερα στρώματα της υδάτινης στήλης ανέρχεται στην επιφάνεια, ως αποτέλεσμα της κατακόρυφης ανάμιξης των υδάτινων στρωμάτων.

- Όταν καταναλώνεται οξυγόνο από αερόβιους οργανισμούς στην προσπάθεια τους να αποικοδομήσουν μεγάλη ποσότητα οργανικού υλικού βιογενούς προέλευσης.
- Κατά την εμφάνιση ευτροφισμού με υπερπροσθήκη ανόργανων αλάτων.

Η σχέση μεταξύ οξυγόνου και θερμοκρασίας - αλατότητας φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα (Διαγρ.2).



Διάγραμμα 2. Διαγραμματική παράσταση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου (mg/l O₂/kgf νερού) στην υδάτινη στήλη, συναρτήσει της θερμοκρασίας και της αλατότητας.

Ο ρυθμός ανανέωσης του νερού παίζει επίσης σημαντικό ρόλο. Η ύπαρξη ρευμάτων σε εκτροφές με πλωτούς ιχθυοκλωβούς και η κατάλληλη ρύθμιση της παροχής σε εκτροφές με δεξαμενές (γήινα υδροστάσια, εγκαταστάσεις στην ξηρά) αντίστοιχα, βοηθούν την ανανέωση του οξυγόνου. Όσον αφορά τα λιμνοθαλάσσια οικοσυστήματα, η ανανέωση του οξυγόνου εξαρτάται από το ρυθμό ανανέωσης του νερού από τους ποταμούς και την ανοικτή θάλασσα, με τα οποία επικοινωνεί η λιμνοθάλασσα. Η αντιμετώπιση επικίνδυνης μείωσης της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου γίνεται και με επιπρόσθετη εισροή καθαρού νερού, με ανάδευση του νερού με ειδικές φτερωτές και έλικες και τέλος με αερισμό.

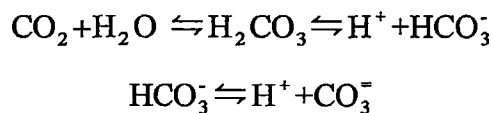
Το οργανικό υλικό που προέρχεται από την εκτροφή ψαριών οξειδώνεται, μειώνοντας έτσι το διαθέσιμο οξυγόνο. Οι Korzeniewski & Salata (1982) παρατήρησαν μια μείωση 25-30% του διαλυμένου οξυγόνου στα νερά απορροής μιας εντατικής εκτροφής πέστροφας (*Oncorhynchus mykiss*) στη λίμνη Letowo

(Πολωνία). Επίσης, παρατηρήθηκε 15-28% μείωση του διαλυμένου οξυγόνου στα νερά - αποδέκτες δύο ποταμών της Πολωνίας (Uniesc και Skotawa), που δέχονταν τα νερά απορροής εντατικών εκτροφών πέστροφας (Korzeniewski et al., 1982). Η ιχθυοπυκνότητα είναι ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να δράσει περιοριστικά στο επίπεδο του διαλυμένου οξυγόνου. Σε εκτροφή μαγιάτικου (*Seriola quinqueradiata*, yellowtail) στον κόλπο Usui (Ιαπωνία), το διαλυμένο οξυγόνο μπορούσε να μειωθεί κατά 40-60ppr, όταν η ιχθυοπυκνότητα ήταν της τάξης των 6kgf/m³. Στους ίδιους κλωβούς και για πυκνότητα εκτροφής 22kgf/m³ έχουν καταγραφεί επίπεδα οξυγόνου έως και 4ppm (Rosenthal, 1985). Τέτοια μείωση του διαλυμένου οξυγόνου αντιμετωπίζεται με αραίωση του ιχθυοπληθυσμού. Έχει ήδη αναφερθεί ότι ο ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου αυξάνεται κατά τη διάρκεια της θρέψης. Συνεπώς, σημαντικό ρόλο στα επίπεδα του διαλυμένου οξυγόνου παίζει και ο ρυθμός παροχής της τροφής. Συνδυασμός υψηλής πυκνότητας εκτροφής και συχνής ρίψης μεγάλης ποσότητας τροφής μπορούν να μειώσουν σημαντικά το διαθέσιμο οξυγόνο στο νερό. Επιπλέον, οι υδρογραφικές συνθήκες, η πυκνότητα και η διάταξη των ιχθυοκλωβών μπορούν επίσης να επηρεάσουν τα επίπεδα του διαλυμένου οξυγόνου (Iwama, 1991). Εξίσου σημαντικός παράγοντας της διαθεσιμότητας του οξυγόνου στους εκτρεφόμενους οργανισμούς είναι και η επικόλληση (επιπανίδα, επιχλωρίδα). Οι ζωικοί και φυτικοί οργανισμοί που αναπτύσσονται πάνω στις εγκαταστάσεις εκτροφής, ανάλογα με την ανάπτυξή τους, είναι δυνατό να τροποποιούν ως ένα βαθμό τα επίπεδα του διαλυμένου οξυγόνου (Alzieu, 1989). Κατά τη διάρκεια της ημέρας παράγεται οξυγόνο από τους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς, η οποία φωτοσύνθεση γίνεται στην εύρωτη ζώνη της υδάτινης στήλης. Το βάθος της ζώνης αυτής ποικίλλει από περιοχή σε περιοχή ανάλογα με το βαθμό διαύγειας του νερού. Κατά τη διάρκεια της νύχτας όμως, τη θέση της φωτοσύνθεσης παίρνει η αναπνοή. Έτσι, ανάλογα με την αφθονία των φωτοσυνθετικών φυτικών οργανισμών είναι δυνατό η περιεκτικότητα του διαλυμένου οξυγόνου να πέσει ακόμη και σε θανάσιμα επίπεδα (lethal limits) κατά τη φάση της αναπνοής τη νύχτα (Markmann, 1982). Σε μονάδες εκτροφής εκδηλώνεται η ασθένεια των φυσαλίδων (bubble disease) εξαιτίας της υπερβολικής παραγωγής οξυγόνου από τη φωτοσυνθετική διαδικασία (Κουσουρήs κ.α., 1995). Τέλος, η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό καθορίζεται μεταξύ άλλων από το υψόμετρο της περιοχής εκτροφής, το βαθμό της ρύπανσης, τις

οξειδοαναγωγικές διεργασίες στον πυθμένα, τη γειννίαση των εγκαταστάσεων της εκτροφής με την ακτή και την απορροή θρεπτικών ουσιών από τη χέρσο προς την υδάτινη μάζα.

2.7 Ενεργός οξύτητα (pH)

Η ενεργός οξύτητα (pH) γενικά κυμαίνεται από 3-11 στα γλυκά νερά, ενώ στο θαλασσινό νερό από 7.5 έως 8.3. Η σταθερότητα που υπάρχει στο θαλάσσιο περιβάλλον όσον αφορά το pH, βοηθά στην ανάπτυξη της υδρόβιας ζωής. Η σταθερότητα αυτή του pH στο θαλασσινό νερό οφείλεται στο ότι τα συστατικά του νερού δρουν ως ρυθμιστικό διάλυμα. Στη σταθερότητα του pH του θαλασσινού νερού συμβάλλει κυρίως η ισορροπία της διαλυτότητας του CO₂ της ατμόσφαιρας στο νερό, ήτοι:



Το CO₃²⁻ είναι προϊόν της αναπνοής των ψαριών και αποβάλλεται από τα βράγχια. Είναι αλκαλικό ανιόν, αλλά λόγω της μεγάλης ρυθμιστικής ικανότητας (buffering capacity) του θαλασσινού νερού, είναι απίθανο να έχει σημαντική επίδραση στο pH (Gowen & Bradbury, 1987).

Εκτός από το διοξείδιο του άνθρακα, σημαντική επίδραση στο pH έχει και το οξυγόνο. Έτσι, αν παρατηρήσουμε το pH σε σχέση με το βάθος της υδάτινης στήλης, στα πρώτα 100m (εύφωτη ζώνη) οι τιμές του pH κυμαίνονται μεταξύ 8.2 και 8.3. Αυτό οφείλεται στην ελάττωση του CO₂ λόγω φωτοσύνθεσης και την παραγωγή οξυγόνου. Σε λιμνοθάλασσα συστήματα (π.χ. λίμνη Maryût*, δέλτα Νείλου, Αίγυπτος) το μεγάλο εύρος του pH οφείλεται στη διασκορπισμένη παρουσία της υδρόβιας βλάστησης (μεγάλη κατανάλωση O₂ και παραγωγή CO₂ κατά την αναπνοή των υδρόβιων φυτών) και στην επίδραση πιθανής ρύπανσης από απόβλητα που εκχύνονται στη λιμνοθάλασσα (El-Wakeel & Wahby, 1970).

Τα εδάφη γήινων υδροστασιών με χαμηλή περιεκτικότητα σε CaO και πλούσια σε H₂CO₃ έχουν πολύ όξινο pH (στην περιοχή του 3). Τέτοιες τιμές pH είναι

* πρβλ. Μέρος Β': Βαρέα μέταλλα σε θαλάσσια παράκτια ιζήματα και ιζήματα λιμνοθαλάσσιων συστημάτων, §2.3.

θανατηφόρες για είδη που εκτρέφονται σε τέτοιες γεωδεξαμενές (π.χ. τούρνα, κυπρίνος, τιλάπια). Τα όξινα νερά τέτοιων υδροστασιών έχουν μεταχειρισθεί με διάφορους τρόπους, με σκοπό τη ρύθμιση του pH (buffering). Ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια βροχοπτώσεων προστίθεται ασβέστης στα τοιχώματα των υδροστασιών. Αυτή η ενέργεια όμως έχει ως μακροχρόνιο αποτέλεσμα τη σκλήρυνση ή αλλιώς την 'τσιμεντοποίηση' των τοιχωμάτων, λόγω της κατακρήμνισης του φωσφορικού ασβεστίου ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) κυρίως (Ishio & Kondo, 1980; Stumm & Morgan, 1981; Ti et al., 1982). Η ενεργητική δράση του ασβέστη είναι σύντομη. Σύμφωνα με τους Ti et al. (1982) η προσθήκη 30-50kgr ασβέστη σ' ένα υδροστάσιο έκτασης 0.5ha στην περιοχή Gelang Petah (Μαλαισία) επέφερε ρυθμιστικά αποτελέσματα στο pH μόνο για 2-4 εβδομάδες.

Στη Ν.Α. Ασία κατασκευάζονται γήινα υδροστάσια για την εκτροφή διάφορων ειδών ψαριών (π.χ. *Chanos chanos*, milkfish) και γαριδών (Gomez, 1988; Chua et al., 1989). Η κατασκευή αυτών των υδροστασιών γίνεται με την εκσκαφή εδαφών όπου προϋπάρχουν πολύριζα τροπικά δέντρα: τα mangrove. Μετά την εκσκαφή τα εδάφη αυτά γίνονται πολύ όξινα. Αυτό οφείλεται στην οξείδωση του άφθονου σιδήρου (Fe) και του θείου (S), λόγω της έκθεσής τους στον ατμοσφαιρικό αέρα (Simpson & Pedini, 1985). Το νερό λοιπόν που έρχεται σ' επαφή με αυτά τα εδάφη γίνεται πολύ όξινο και επηρεάζει τους οργανισμούς που ζουν σε αυτό, αλλά και αυτούς που είναι αποδέκτες των νερών αυτών. Τα νερά απορροής υδροστασιών με τέτοια εδάφη έχουν βρεθεί ότι εμπλέκονται σε θανάτους ψαριών, στην εμφάνιση γαριδών με πολύ μαλακό κέλυφος και στην αποδυνάμωση του ανοσοποιητικού συστήματος των εκτρεφόμενων οργανισμών (Poenomo & Singh, 1982). Άλλη μια επίδραση της χρήσης των mangrove εδαφών στην κατασκευή υδροστασιών και την εκτροφή οργανισμών, είναι η κατακρήμνιση του θειικού σιδήρου όταν το pH αυξάνεται. Αυτό δημιουργεί προβλήματα που αφορούν την κάλυψη της υδρόβιας βλάστησης με αυτά τα κατακρημνίσματα, εμποδίζοντας έτσι τη φωτοσύνθεση και συνεπώς την παραγωγή οξυγόνου. Επίσης, ερεθίζουν και φράσσουν τα βράγχια των εκτρεφόμενων ψαριών (Ti et al., 1982).

Το pH εκτός από την επίδρασή του στην αμμωνία, που περιγράφεται παρακάτω (βλ. §2.9), επιδρά και στην τοξικότητα πολλών μετάλλων. Μέταλλα όπως ο χαλκός και το αλουμίνιο, από τα οποία είναι κατασκευασμένες οι σωληνώσεις των

περισσότερων ιχθυοτροφείων, γίνονται τοξικά σε όξινες τιμές του pH (Κουσουρή κ.α., 1995).

Το pH και οι διακυμάνσεις του επηρεάζουν άμεσα την επιβίωση και τις λειτουργίες των υδρόβιων οργανισμών (Πιν.4). Σύμφωνα με τον Petit (1989) τα περισσότερα εκτρεφόμενα είδη προτιμούν τιμές pH από 6 έως 8. Τιμές pH από 3-3.5 και κάτω προκαλούν το θάνατο των περισσότερων ειδών. Τιμές 3.5-4 είναι θανατηφόρες για την οικογένεια Salmonidae (σολομοί, πέστροφες), ενώ τιμές 4-4.5 έχουν καταστρεπτικές επιπτώσεις για τα Cyprinidae. Τιμές pH κάτω από 4.5-5 έχουν βλαβερές επιπτώσεις στα αυγά και τις λάρβες των Salmonidae, των Cyprinidae και των περισσότερων θαλασσινών εκτρεφόμενων ειδών. Ειδικότερα, για τις νυμφικές καλλιέργειες του λαβρακιού (*Dicentrarchus labrax*) και της τσιπούρας (*Sparus auratus*) οι αποδεκτές διακυμάνσεις του pH είναι από 7.5-8.5 (Χώτος & Ρογδάκης, 1992). Η ανεκτικότητα της τλάπια στο pH κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 5 και 11 (Γρηγορίου κ.α., 1996). Όταν το pH είναι μεταξύ 5 και 6, μειώνεται η τροφοληψία στα περισσότερα θαλασσινά εκτρεφόμενα είδη και προκαλούνται θάνατοι. Πάνω από την τιμή 8 είναι πολύ πιθανό να προκληθούν θάνατοι, ενώ οι τιμές πάνω από 11-11.5 είναι θανατηφόρες για όλα τα είδη ψαριών (Poxton & Allouse, 1982) (Πιν.5).

Σύμφωνα με τον Boyd (1981) σε επίπεδα pH μικρότερα του 6-6.5 παρατηρούνται χαμηλοί ρυθμοί ανάπτυξης, ενώ η όξινη θανατηφόρα τιμή είναι pH=4. Αντίστοιχα, το αλκαλικό όριο θανάτου είναι οι τιμές γύρω στο 11. Το βέλτιστο όριο διαβίωσης είναι το 6.5-9.0.

Πίνακας 4. Επιδράσεις των διαφόρων τιμών του pH σε υδρόβιους οργανισμούς.

pH	Επιδράσεις - επιπτώσεις
3-3.5	Επιβίωση ψαριών για μερικές ώρες. Επιβιώνουν μόνο ασπόνδυλοι υδρόβιοι οργανισμοί.
3.5-4	Ελάχιστο όριο επιβίωσης για είδη των Salmonidae. Άλλα είδη (π.χ. <i>Tinca tinca</i> , <i>Esox lucius</i> , κ.α.) μπορούν να επιβιώσουν ύστερα από εγκλιματισμό.
4-4.5	Βλαβερή επίδραση για είδη που δεν έχουν εγκλιματιστεί. Η αντοχή των ψαριών αυξάνεται ανάλογα με την ηλικία και το μέγεθος.
4.5-5	Βλαβερή επίδραση στα αυγά, στα ιχθύδια και σε ώριμα άτομα της οικογένειας Salmonidae και στον κυπρίνο. Η επίδραση είναι ακόμα πιο έντονη σε μαλακά νερά.
5-6	Σπάνια πρόκληση δυσμενούς επίδρασεως στα ψάρια, εκτός αν η συγκέντρωση του CO ₂ είναι μεγαλύτερη από 20mg/l. Επίζημια επίδραση στην αναπαραγωγή του <i>Rutilus rutilus</i> .

Συνέχεια Πίνακα 4.

6-6.5	Δυσμενείς επιδράσεις στα ψάρια προκαλούνται μόνο αν η συγκέντρωση του CO ₂ είναι μεγαλύτερη από 100mg/l.
6.5-9	Νερά αβλαβή για τα ψάρια. Αυξομείωση του pH προκαλεί την ενεργοποίηση της δηλητηριώδους δράσης των τοξικών ουσιών.
9-9.5	Ακατάλληλα νερά για καλλιέργεια πέστροφας και για άλλα είδη της οικογένειας Salmonidae και για το είδος <i>Perca fluviatilis</i> αν εκτεθεί για μεγάλο διάστημα.
9.5-10	Ακατάλληλα νερά για την κανονική ανάπτυξη πολλών ψαριών. Αυτές οι τιμές του pH είναι κρίσιμες για τα είδη της οικογένειας Salmonidae για μεγάλο χρονικό διάστημα έκθεσης.
10-10.5	Στα νερά αυτά είναι πιθανή η επιβίωση ειδών της οικογένειας Salmonidae και του είδους <i>Rutilus rutilus</i> . Είναι όμως νερά ακατάλληλα για μεγάλο χρονικό διάστημα έκθεσης.
10.5-11	Άμεση θανατηφόρα επίδραση στα Salmonidae. Θανατηφόρα επίδραση μετά από παρατεταμένη παραμονή στα είδη <i>Cyprinus carpio</i> , <i>Tinca tinca</i> και <i>Esox lucius</i> .
11-11.5	Νερά με άμεση θανατηφόρα επίδραση για όλα τα είδη των ψαριών.

Πηγή: Alabaster & Lloyd, 1980.

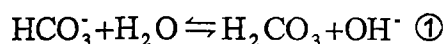
Πίνακας 5. Αποδεκτά όρια pH για διάφορους εκτρεφόμενους οργανισμούς.

Εκτρεφόμενοι οργανισμοί	Τιμές pH
Πέστροφα	6.0 - 9.0
Κυπρίνος	5.5 - 9.0
Τσιπούρα	7.4 - 8.6
Λαβράκι	7.4 - 8.6
Τιλάπια	5.0 - 11.0
Αυγά και λάβρες Cyprinidae και Salmonidae	όχι κάτω από 4.5 - 5.0
Νύμφες λαβρακιού και τσιπούρας	7.5 - 8.5

Πηγές: Χάτος & Ρογδάκης, 1992; Παρπούρα, 1995; Γρηγορίου κ.α., 1996.

2.8 Ανόργανος άνθρακας - Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)

Ο άνθρακας στο νερό περιέχεται στο διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), που βρίσκεται διαλυμένο στο νερό. Το διοξείδιο του άνθρακα εκτός από τη μορφή διαλυμένου αερίου, βρίσκεται και με τη μορφή ευδιάλυτων όξινων ανθρακικών ιόντων (HCO₃⁻). Τα ιόντα αυτά υδρολυώμενα (①) δίνουν ανθρακικό οξύ (H₂CO₃):



Το διοξείδιο (CO_2) που περιέχεται στο νερό προέρχεται από την ατμόσφαιρα, την αναπνοή των υδρόβιων φυτών και από την αποβολή του (με τη μορφή CO_3^{--}) από τα βράγχια των ψαριών. Η διαλυτότητα του CO_2 στο νερό είναι πολύ μεγάλη και εξαρτάται από τη θερμοκρασία και την ατμοσφαιρική πίεση.

Σύμφωνα με τους Κουσουρή κ.α. (1995) συγκεντρώσεις ελεύθερου ανθρακικού οξέος της τάξης των 260mg/l και 138mg/l προκαλούν το θάνατο στους κυπρίνους και τις πέστροφες αντίστοιχα. Μικρότερες συγκεντρώσεις μπορούν να προκαλέσουν ερεθισμό και διέγερση. Οι Parks et al. (1975) αναφέρουν ότι τα επίπεδα ελεύθερου CO_2 σε εντατικές ιχθυοκαλλιέργειες κυμαίνονται από 0mg/l τις απογευματινές ώρες, έως 5-10mg/l νωρίς το πρωί, χωρίς να έχουν παρατηρηθεί αρνητικές επιδράσεις στα εκτρεφόμενα ψάρια. Συγκεντρώσεις CO_2 μέχρι και 60mg/l μπορούν να είναι ανεκτές από τους εκτρεφόμενους οργανισμούς, αρκεί η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου (D.O.) να είναι υψηλή (Pillay, 1992). Όσο πιο υψηλές είναι οι συγκεντρώσεις του ελεύθερου CO_2 στο νερό, τόσο πιο δύσκολα γίνεται η αποβολή του CO_3^{--} από τα βράγχια των ψαριών λόγω αναπνοής. Τέτοιος κίνδυνος υπάρχει όταν χρησιμοποιούνται υπόγεια νερά (γεωτρήσεις, αρτεσιανά πηγάδια), τα οποία χωρίς την κατάλληλη επεξεργασία, πριν τη διοχέτευσή τους στο χώρο εκτροφής, περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις ανθρακικού οξέος (Κουσουρή κ.α., 1995). Επίσης, με την αύξηση του CO_2 αυξάνεται η τοξικότητα του χλωριούχου αμμωνίου (NH_4Cl) σε επίπεδα ικανά να προκαλέσουν ακόμη και θνησιμότητα στους υδρόβιους οργανισμούς (Alabaster & Herbert, 1954).

Η μείωση της συγκέντρωσης του ελεύθερου CO_2 επιτυγχάνεται με οξυγόνωση και σταθεροποίηση του pH (Deufel, 1976), λαμβάνοντας υπόψη ότι για $\text{pH} > 8.5$ υπερτερούν τα ανθρακικά ιόντα (CO_3^{--}), ενώ για τιμές pH μεταξύ 7 και 8 υπάρχουν τα όξινα ανθρακικά ιόντα (HCO_3^-).

2.9 Άζωτο (Αμμωνία - Ουρία - Νιτρώδη - Νιτρικά)

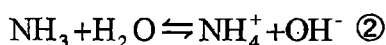
Οι ενώσεις του αζώτου και συνεπώς και η αμμωνία (NH_3), που εναποτίθενται στο θαλάσσιο περιβάλλον, προέρχονται κυρίως από αστικά λύματα, τα οποία εκχύνονται στο θαλάσσιο περιβάλλον άμεσα μέσω αποχετευτικών συστημάτων ή έμμεσα μέσω των ποταμών, οι οποίοι είναι αποδέκτες κατεργασμένων λυμάτων.

Άλλες πηγές είναι τα γεωργικά λιπάσματα και φάρμακα, που μεταφέρονται με την έκπλυσή τους από τα νερά της βροχής ή ακόμη από το θρυμματισμό και διάλυση διάφορων πετρωμάτων. Τα περιττώματα και οι απεκκρίσεις των ψαριών (καταβολισμός πρωτεϊνών), ως επίσης και οι απώλειες της τροφής από μια ιχθυοκαλλιέργεια είναι δυνατό να δημιουργήσουν τοξικές συγκεντρώσεις αμμωνίας, κάτω από ορισμένες περιβαλλοντικές συνθήκες. Ο Egidius (1984) έδειξε ότι η αμμωνία που απεκκρίνεται από τα ψάρια είναι τοξική γι' αυτά σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις.

Η μη ιονισμένη αμμωνία (NH_3) είναι τοξική για τα ψάρια, σε αντίθεση με το αμμωνιακό ιόν (NH_4^+) που δεν είναι (Downing & Merkens, 1955; Boyd, 1981). Σύμφωνα με τον EIFAC (1973) τα τοξικά επίπεδα της αμμωνίας είναι συνήθως 0.6-2.0mg/l. Ο Tiew (1981) θεωρεί το 0.1mg/l ως το μέγιστο επιτρεπτό όριο.

Η τοξική δράση της αμμωνίας προκαλεί σημαντικές επιπτώσεις στους υδρόβιους οργανισμούς, σε σημείο που μπορεί να οδηγήσει ακόμα και σε θνησιμότητες. Κάποιες επιδράσεις της τοξικότητας της αμμωνίας στους υδρόβιους οργανισμούς είναι η μείωση του ρυθμού ανταλλαγής αερίων, βλάβες του επιθηλίου των βραγχίων, η μείωση της ικανότητας του αίματος στη μεταφορά οξυγόνου, η μείωση του αριθμού των ερυθρών αιμοσφαιρίων και η πρόκληση αιμολύσεως (Brockway, 1950; Danecker, 1964; Reichenbach - Klinke, 1967). Έχει αποδειχθεί ότι η αμμωνία προκαλεί την αύξηση του αριθμού των αναπνευστικών κινήσεων, των κτύπων της καρδιάς και της πίεσης του αίματος (Smart, 1978), ενώ η βλάβη που μπορεί να προκληθεί στην αναπνευστική επιφάνεια των βραγχίων δεν φαίνεται να επηρεάζει την πρόσληψη οξυγόνου (Smart, 1976).

Οι συγκεντρώσεις της αμμωνίας (NH_3) και του αμμωνίου (NH_4^+) δεν βρίσκονται ανεξάρτητες στο νερό. Συνδέονται με την αντίδραση ②:



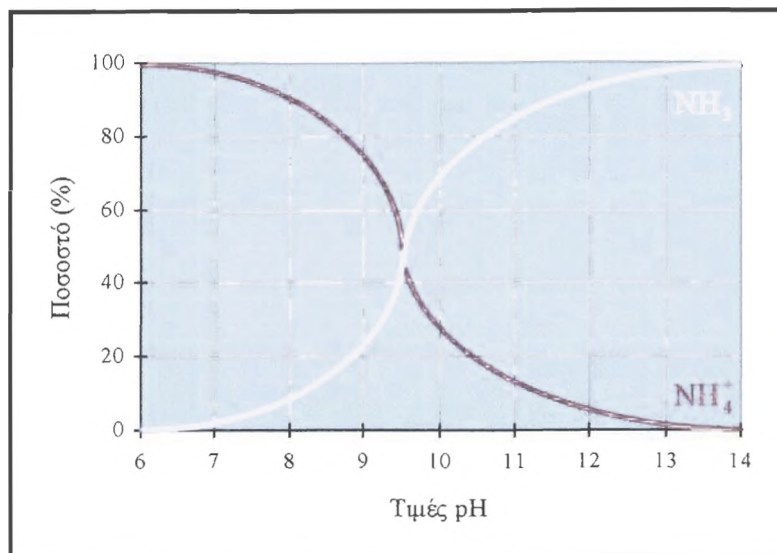
Η αναλογία $\frac{\text{NH}_4^+}{\text{NH}_3}$ συνδέεται με τη σχέση $\log \frac{[\text{NH}_4^+]}{[\text{NH}_3]} = 9.25 - \text{pH}$ (Διαγρ.3). Από αυτή

τη σχέση φαίνεται η επίδραση του pH στις συγκεντρώσεις της NH_3 και του NH_4^+ . Σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier - Van't Hoff της χημικής ισορροπίας, με αύξηση της τιμής του pH η ② μετατοπίζεται προς τα αριστερά, οπότε η συγκέντρωση της μη ιονισμένης αμμωνίας αυξάνει, επομένως και η τοξικότητα του νερού εκτροφής. Η

τοξικότητα της αμμωνίας εξαρτάται και από τη θερμοκρασία. Η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί αύξηση και της τοξικότητας της αμμωνίας, ενώ σε νερό με σταθερή συγκέντρωση αμμωνίας, με την αύξηση της θερμοκρασίας ελαττώνεται ο χρόνος επιβίωσης των ψαριών (Woker, 1949; Herbert, 1961). Έχει επίσης αποδειχθεί ότι και σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες η τοξικότητα της αμμωνίας είναι έντονη (Burrous, 1964; Brown, 1968). Η τοξικότητα της αμμωνίας αναμένεται να είναι μικρότερη σε όξινα και ψυχρά νερά, ενώ μεγαλύτερη σε αλκαλικά και θερμά (Κουσουρήs κ.α., 1995). Το τελευταίο ενισχύεται και από τους Emerson et al. (1975, In: Χώτος & Ρογδάκης, 1992), οι οποίοι παρατήρησαν ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας και του pH σε αλατότητες από 0-40‰ το γραμμομοριακό κλάσμα της μη ιονισμένης αμμωνίας αυξανόταν σταδιακά (Πιν.6).

Πίνακας 6. Γραμμομοριακό κλάσμα της μη ιονισμένης αμμωνίας σε αλατότητες 0-40‰ για διαφορετικές τιμές θερμοκρασίας και pH (κατά Emerson et al., 1975).

		Αλατότητα 0-5‰							
T	pH	7.0	7.8	7.9	8.0	8.1	8.2	8.3	9.0
5		0.0012	0.0078	0.0098	0.0123	0.0154	0.0193	0.0242	0.1107
10		0.0019	0.0116	0.0145	0.0182	0.0229	0.0286	0.0357	0.1567
15		0.0027	0.0169	0.0212	0.0266	0.0332	0.0415	0.0516	0.2144
20		0.0039	0.0243	0.0304	0.0380	0.0474	0.0590	0.0731	0.2833
25		0.0056	0.0346	0.0431	0.0537	0.0667	0.0825	0.1017	0.3621
30		0.0080	0.0483	0.0600	0.0744	0.0919	0.1130	0.1382	0.4455
35		0.0111	0.0663	0.0820	0.1011	0.1240	0.1513	0.1833	0.5293
40		0.0153	0.0894	0.1100	0.1345	0.1638	0.1978	0.2367	0.6088
		Αλατότητα 5-40‰							
5		0.0007	0.0043	0.0054	0.0068	0.0085	0.0107	0.0135	0.0640
10		0.0010	0.0064	0.0081	0.0101	0.0127	0.0160	0.0200	0.0928
15		0.0015	0.0074	0.0118	0.0148	0.0186	0.0233	0.0292	0.1309
20		0.0022	0.0136	0.0171	0.0215	0.0269	0.0336	0.0419	0.1798
25		0.0031	0.0195	0.0244	0.0305	0.0381	0.0475	0.0591	0.2394
30		0.0044	0.0274	0.0343	0.0428	0.0532	0.0661	0.0818	0.3088
35		0.0062	0.0381	0.0475	0.0591	0.0733	0.0905	0.1114	0.3858
40		0.0086	0.0521	0.0647	0.0801	0.0988	0.1213	0.1481	0.4665



Διάγραμμα 3. Εκατοστιαία αναλογία αμμωνίας (NH₃) και ιόντος αμμωνίου (NH₄⁺) σε σχέση με το pH.

Εκτός από αυτές τις παραμέτρους συμβάλλουν κι άλλες στην ισορροπία της NH₃ και του NH₄⁺. Αυτές είναι η μείωση του διαλυμένου οξυγόνου, η μείωση της σκληρότητας του νερού, η συγκέντρωση του ελεύθερου CO₂, η μεγάλη πυκνότητα εκτροφής, η ανεπαρκής κυκλοφορία και ανανέωση του νερού και ο βαθμός ρύπανσης της περιοχής εκτροφής. Η υποβάθμιση (deterioration) των παραμέτρων αυτών αυξάνει γενικά τη συγκέντρωση της αμμωνίας, οπότε και την τοξικότητα των νερών εκτροφής.

Η αύξηση της αλατότητας προκαλεί τη μείωση της τοξικής επίδρασης της αμμωνίας στην πέστροφα μέχρι 9% (Herbert & Shurbern, 1964), ενώ η μείωση του διοξειδίου του άνθρακα προκαλεί την αύξηση της τοξικότητας της αμμωνίας. Σύμφωνα με αδημοσίευτα στοιχεία του Παπουτσόγλου Σ. (In: Παπουτσόγλου, 1985) ιχθύδια κυπρίνου (*Cyprinus carpio*) βάρους 15gr δεν εμφάνισαν σημάδια κακής διαβίωσης σε υφάλμυρο νερό θερμών πηγών, αλατότητας 5-6‰, στο οποίο η συγκέντρωση της αμμωνίας ήταν 4.2mg/l, ενώ η θερμοκρασία ήταν 18.5°C και το pH 7.3. Για τη γλώσσα (*Solea solea*) συγκέντρωση αμμωνίας ίση με 0.066mg/lt αποφέρει μικρή ή καθόλου ανάπτυξη, ενώ το ίδιο παρατηρείται και για το καλκάνι (*Scophthalmus maximus*), για συγκέντρωση αμμωνίας όμως ίση με 0.116mg/l, σε νερό θερμοκρασίας 16°C και αλατότητας 34‰ (Alderson, 1979). Η κρίσιμη

συγκέντρωση της αμμωνίας για την ανάπτυξη του γατόψαρου (*Ictalurus punctatus*) έχει βρεθεί ότι είναι 967µg/l (Colt & Tchobanoglous, 1978).

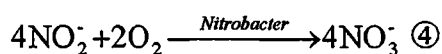
Η κύρια πηγή άζωτου σε μια υδατοκαλλιέργεια είναι οι πρωτεΐνες της τροφής. Για μια ιχθυοτροφή σολομοειδών το 7.2-7.7% του βάρους της παρεχόμενης τροφής είναι άζωτο (Edwards, 1978). Από το ολικό άζωτο στην τροφή το 67-75% χάνεται στο υδάτινο περιβάλλον είτε ως μη καταναλωθείσα τροφή, είτε ως προϊόντα μεταβολισμού των ψαριών. Από αυτό το ποσοστό το 10-25% καθιζάνει στον πυθμένα και το υπόλοιπο παραμένει στην υδάτινη στήλη ως διαλυμένο άζωτο είτε με τη μορφή αμμωνίας, είτε αμμωνίου, ή ουρίας, τα οποία αποβάλλονται από τα βράγχια και τους νεφρούς των ψαριών ως μεταβολικά προϊόντα (Persson, 1988). Το αν θα είναι η ουρία ή η αμμωνία το τελικό προϊόν, εξαρτάται από το αν τα εκτρεφόμενα ψάρια είναι ουριοτελικά ή αμμωνιοτελικά. Οι Brett & Groves (1979) αναφέρουν ότι η αμμωνία είναι το κυρίαρχο τελικό προϊόν κατά τη διάρκεια του μεταβολισμού σε κανονικό ρυθμό θρέψης. Αντίστοιχα, ο Fromm (1963) προτείνει ότι η ουρία είναι το κυρίαρχο τελικό προϊόν κατά τη διάρκεια νηστείας.

Οι Brett & Zala (1975) αναφέρουν ελάχιστες και μέγιστες τιμές ρυθμών απέκκρισης αμμωνίας για τον κόκκινο σολομό (*Oncorhynchus nerka*). Οι τιμές που ανέφεραν ήταν 8.2mg/l και 35mgN/kg/h, μετά από 4 και 4.5h από την έναρξη της θρέψης, αντίστοιχα. Ο ρυθμός απέκκρισης ήταν σταθερός στα 2.2mgN/kg/h περίπου. Ο ρυθμός απέκκρισης της αμμωνίας για την πέστροφα (*Oncorhynchus mykiss*) έχει εκτιμηθεί στα 74 µmol/100gr ψαριού/h από τους Hillaby & Randall (1979). Ο Fromm (1963) βρήκε 49-100 µmol/100gr ψαριού/h για το ίδιο είδος. Οι αναλογίες απέκκρισης αμμωνίας και ουρίας μπορούν να ποικίλλουν (McLean & Frazer, 1974; Rychly, 1980), αλλά και τα δύο χρησιμοποιούνται (utilized) από το φυτοπλαγκτόν.

Κατά τη φάση της εκτροφής μπορούν να αποφευχθούν οι υψηλές συγκεντρώσεις αμμωνίας. Για την εκτροφή ψαριών σε ιχθυοκλωβούς απαραίτητη προϋπόθεση αποτελεί η κατάλληλη επιλογή χώρου για την εγκατάσταση της μονάδας. Αυτό προϋποθέτει την απουσία βιομηχανιών (συνεπώς και αποβλήτων) στη γύρω περιοχή, την ικανοποιητική ανανέωση νερών, τη διακύμανση του pH σε ασφαλή όρια (8.0-8.3) και γενικά την περιορισμένη ρύπανση του θαλάσσιου χώρου. Όσον αφορά εκτροφές σε δεξαμενές απαιτείται καλή ποιότητα νερού άντλησης και ικανοποιητικός ρυθμός εναλλαγής του νερού. Για λιμνοθαλάσσια οικοσυστήματα

απαιτείται η ενίσχυση της κυκλοφορίας και εναλλαγής των νερών (ιχθυοβελτιωτικά έργα). Σε εκτροφές που γίνονται σε γήινα υδροστάσια απαιτείται έλεγχος του νερού άντλησης, ικανοποιητικός ρυθμός εναλλαγής του νερού εκτροφής και σταθεροποίηση του pH, ώστε να αποφευχθούν διακυμάνσεις του στην όξινη περιοχή. Τέλος, σε κλειστά κυκλώματα εκτροφής γίνεται προσπάθεια συγκράτησης της NH_3 με τη χρήση βιολογικών φίλτρων.

Με την οξείδωση της αμμωνίας παράγονται νιτρώδη (NO_2^-) και νιτρικά (NO_3^-) ιόντα (③,④).



Η οξείδωση της αμμωνίας σε NO_2^- γίνεται με την επίδραση βακτηρίων του γένους *Nitrosomonas*, ενώ του NO_2^- σε NO_3^- με την επίδραση του γένους *Nitrobacter*.

Τα νιτρώδη δεν παραμένουν για πολύ χρονικό διάστημα ελεύθερα, γιατί οξειδώνονται γρήγορα σε νιτρικά. Σε περιοχές όπου εκχύνονται αστικά λύματα και υπολείμματα γεωργικών φαρμάκων και λιπασμάτων εμφανίζονται υψηλές συγκεντρώσεις νιτρωδών και είναι πιθανό να καταστούν πολύ τοξικά (Πιν.7). Η τοξικότητά τους στο θαλασσινό νερό είναι περιορισμένη, γεγονός που οφείλεται στις υψηλές συγκεντρώσεις ιόντων χλωρίου (Perrone & Meade, 1977) και ασβεστίου στο θαλάσσιο περιβάλλον (Crawford & Allen 1977). Στο γλυκό νερό όμως, εφόσον συνοδεύονται με ιόντα χλωρίου (Cl^-) και ασβεστίου (Ca^{++}) μπορούν να συνδεθούν με εμφάνιση τοξικότητας (Russo & Thurston, 1977). Η τοξικότητα των νιτρωδών επηρεάζεται από το pH, τη συνολική σκληρότητα των νερών, την αλατότητα και τις συγκεντρώσεις διαφόρων αλάτων μετάλλων. Έχει διαπιστωθεί ότι η τοξικότητα των νιτρωδών μειώνεται περίπου 24 φορές σε ψάρια βάρους 5gr και 13 φορές σε ψάρια βάρους 10gr, όταν η συνολική σκληρότητα του νερού (εκφρασμένη ως CaCO_3) αυξηθεί από 25 σε 300 mg/l (Wedemeyer & Yasutake, 1978). Τα νιτρώδη μπορούν και οξειδώνουν το σίδηρο που περιέχει η αιμογλοβίνη του αίματος, με αποτέλεσμα αυτή να καθίσταται ανίκανη να μεταφέρει οξυγόνο στο αίμα, με συνέπεια πιθανές θνησιμότητες λόγω ασφυξίας. Για πέστροφες έχει παρατηρηθεί ότι συγκεντρώσεις νιτρωδών ιόντων της τάξης των 0.15mg/l και 0.55mg/l για 48 και 24h αντίστοιχα, προκάλεσαν μεθαιμογλοβιναιμία, με αποτέλεσμα τη θνησιμότητα των ψαριών όταν η

συγκέντρωση των νιτρικών ήταν μεγαλύτερη ή ίση με 0.55mg/l (Smith & Williams, 1974). Παρόμοια αποτελέσματα προέκυψαν από μελέτες σε ψάρια διαφόρων μεγεθών (2-235gr), ενώ διαπιστώθηκε ότι η ευαισθησία των οργανισμών στην τοξικότητα των νιτρικών αυξάνεται με την αύξηση του βάρους τους (Russo et al., 1974). Επίσης, για τα είδη *Micropterus salmoides* και *Ictalurus punctatus* έχει διαπιστωθεί ότι τα νιτρικά ιόντα είναι 2000 φορές περισσότερο τοξικά από τα νιτρικά (Westin, 1974).

Πίνακας 7. Επίδραση των νιτρικών σε οργανισμούς γλυκών, υφάλμυρων και θαλάσσιων υδάτων.

Είδη υδρόβιων οργανισμών	NO ₃ (mg/l)	Χρόνος έκθεσης (h)	Θνησιμότητα (%)	Τύπος νερού
<i>Salmo gairdneri</i> (ενός έτους)	0.55	24	55	γλυκό
<i>Salmo gairdneri</i> (12gr)	0.19	96	50	γλυκό
<i>Salmo gairdneri</i> (9.1gr)	0.23	96	50	γλυκό
<i>Oncorhynchus tshawytscha</i> (32gr)	0.50	24	40	γλυκό
<i>Oncorhynchus tshawytscha</i> (γθύδια)	0.88	96	50	γλυκό
<i>Oncorhynchus tshawytscha</i> (γθύδια)	19	48	50	γλυκό
<i>Oncorhynchus tshawytscha</i> (γθύδια)	1070	48	10	θαλάσσιο
<i>Oncorhynchus kisutsch</i> (ενός έτους)	3.8	12	58.3	γλυκό
<i>Macrobrachium rosenbergii</i> (προνύμφες)	8.6	96	50	υφάλμυρο
<i>Crassostrea virginica</i> (νεαρά άτομα)	798	96	50	θαλάσσιο
<i>Crassostrea virginica</i> (ώριμα άτομα)	658	96	50	θαλάσσιο
<i>Mercenaria mercenaria</i> (νεαρά άτομα)	1133	96	50	θαλάσσιο
<i>Mercenaria mercenaria</i> (ώριμα άτομα)	1190	96	50	θαλάσσιο

Πηγή: Spotte, 1979.

Για να αποφευχθεί ο κίνδυνος της τοξικότητας των νιτρικών, προτείνεται η χρήση νερών των οποίων η ολική σκληρότητα να είναι τουλάχιστον 100mg/l, η τιμή του pH μεγαλύτερη ή ίση με 7 και η συγκέντρωση του CaCl₂ ίση με 25mg/l. Επίσης, η προσθήκη μεταλλικών αλάτων και η δυνατότητα ρύθμισης του pH μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μείωση της τοξικότητας των νιτρικών σε νεαρά άτομα ψαριών που εκτρέφονται σε μαλακά νερά.

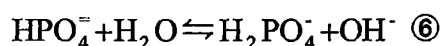
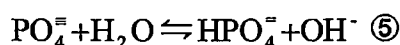
Τα νιτρικά δεν πρέπει να ξεπερνούν τα 0.2gr/lit σε υδατοκαλλιεργητικές δραστηριότητες. Ο κυπρίνος αντέχει και σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες του 1gr/lit, αλλά για μικρό χρονικό διάστημα (Κουσουρή κ.α., 1995). Τοξική δράση των νιτρικών παρατηρήθηκε μόνο όταν αυτά βρέθηκαν σε μεγάλες ποσότητες που κυμάνθηκαν από 1000-3724mg/lit με ταυτόχρονη αύξηση της αλατότητας σε μαλάκια, ψάρια και σε άλλους υδρόβιους οργανισμούς (Hirayama, 1966b; Epifanio & Srna, 1975). Για τα είδη του γλυκού νερού *Oncorhynchus tshawytscha* και *Salmo gairdneri* έχει αναφερθεί ότι συγκεντρώσεις νιτρικών ίσες με 400mg/lit δεν προκάλεσαν θνησιμότητες (Knepp & Arkin, 1973), αλλά ούτε και ελάττωσαν το ρυθμό ανάπτυξης των οργανισμών αυτών.

Για τον κόλπο της Γέρας (Ν.Α. Λέσβος) έχουν αναφερθεί τιμές νιτρικών παραπλήσιες με αυτές της αμμωνίας και υψηλές συγκεντρώσεις νιτρωδών (Δουκάκης κ.α., 1993). Αν και στον κόλπο αυτόν δεν δραστηριοποιούνται υδατοκαλλιέργειες, τέτοιες υψηλές τιμές αζωτούχων θρεπτικών συστατικών υποδηλώνουν την επιβάρυνση του κόλπου από αστικά, γεωργικά και βιομηχανικά λύματα. Το γεγονός αυτό μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις στους τοπικούς άγριους πληθυσμούς ψαριών.

Όσον αφορά την πεστροφοκαλλιέργεια, ο Hinshaw (1973) ανέφερε ιδιαίτερα αυξημένες συγκεντρώσεις NO_3^- και NO_2^- σε εκτροφεία πέστροφας, ενώ σύμφωνα με τους Κουσουρή κ.α. (1995), οι Baur & Rapp (1988) αναφέρουν ότι συγκεντρώσεις νιτρωδών της τάξης των 0.2-0.4mg/lit προκαλούν το θάνατο του 50% του ιχθυοπληθυσμού σε 4 ημέρες. Οι Crawford & Allen (1977) υποστηρίζουν ότι το άζωτο των νιτρικών έχει πολύ χαμηλή τοξικότητα, ακόμα και σε συγκεντρώσεις των 100mg/lit, γιατί δε μπορεί να συσσωρευτεί, αφού η μαζική παραγωγή του φυτοπλαγκτόν εμποδίζει τους βιοχημικούς μηχανισμούς της νιτροποίησης, οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για την εμφάνιση τοξικότητας. Επίσης, οι συγκεντρώσεις νιτρωδών πρέπει να παίζουν σημαντικό ρόλο και στην εκτροφή γατόψαρων (channel catfish), όπως υποδεικνύεται από έρευνες. Το μέγιστο επίπεδο NO_2^- που προτείνεται για εκτροφές σε σκληρό, γλυκό νερό είναι το 0.1mg/lit. Τα προτεινόμενα επίπεδα NO_3^- είναι κάτω από 100mg/lit (Pillay, 1992).

2.10 Φώσφορος

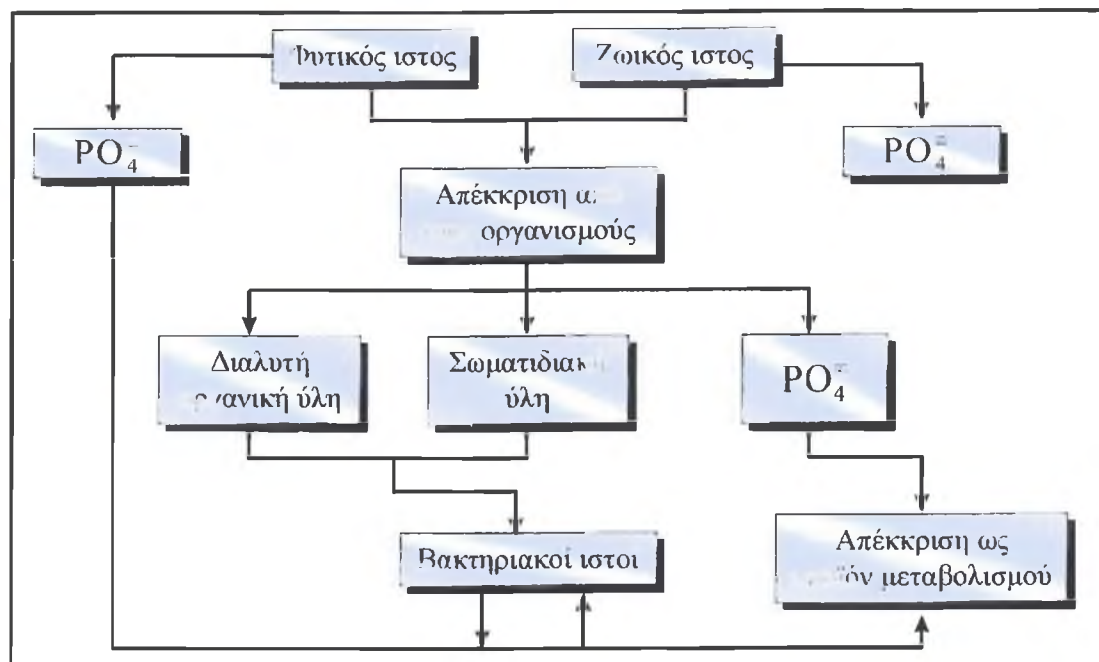
Ο φώσφορος στο θαλασινό νερό βρίσκεται με την ιοντική μορφή των οξυγονούχων ριζών και με τη μορφή ιζημάτων (σωματιδιακός P). Οι ιοντικές οξυγονούχες ρίζες προέρχονται κυρίως από τη διάσπαση διαλυτών αλάτων καλίου (K^+), νατρίου (Na^+), αμμωνίου (NH_4^+) και είναι τα φωσφορικά ($PO_4^{=}$), τα όξινα φωσφορικά (HPO_4^-) και τα δισόξινα φωσφορικά ($H_2PO_4^-$) ιόντα. Τα δύο τελευταία προέρχονται από την υδρόλυση των φωσφορικών ιόντων:



Σε ελαφρά αλκαλικό περιβάλλον, όπως είναι το θαλασινό νερό, ευνοείται η αντίδραση ⑤. Έτσι, τα ιόντα HPO_4^- απαντώνται κατά 90%, ενώ τα $H_2PO_4^-$ κατά 10%.

Στη θάλασσα ένα ποσοστό φωσφόρου αποτίθεται στον πυθμένα με τη μορφή ιζήματος κι ένα ποσοστό αφομοιώνεται σχηματίζοντας ATP και διάφορα συνένζυμα, που παίζουν σημαντικό ρόλο στη φωτοσύνθεση. Ο κύκλος του φωσφόρου στη θάλασσα (Σχ.5) είναι κλειστός, κυρίως λόγω των αποθέσεων του ως απατίτη ($Ca_3(PO_4)_2$).

Σε περιοχές όπου δραστηριοποιούνται ιχθυοπαραγωγικές μονάδες, η κύρια πηγή φωσφόρου στη θάλασσα είναι οι απώλειες φωσφόρου προς το περιβάλλον. Οι Ackefors & Enell (1990) υπολόγισαν ότι το 0.6% του ολικού φορτίου φωσφόρου σε γειτονικές θάλασσες στη Σουηδία το 1986 προερχόταν από υδατοκαλλιεργητικές δραστηριότητες. Αυτό υποδεικνύει ότι οι ιχθυοκαλλιέργειες μπορούν να προκαλέσουν τοπικά φαινόμενα ευτροφισμού, αν έχουν εγκατασταθεί σε ευαίσθητες περιοχές. Η πιθανότητα πρόκλησης ραγδαίας αύξησης τοξικών ειδών φυτοπλαγκτόν λόγω συγκεντρώσεων διαλυμένου φωσφόρου έχει αναφερθεί και από τους Kato et al. (1985).



Σχήμα 5. Ο κύκλος του φωσφόρου στο θαλασσινό νερό.

Ο φώσφορος δεν απαντάται ως συστατικό της ατμόσφαιρας όπως το άζωτο, ούτε ως σημαντικό μεταβολικό προϊόν όπως ο άνθρακας. Βρίσκεται σε περιορισμένες συγκεντρώσεις στο γλυκό νερό και συνήθως ενσωματώνεται στο αιωρούμενο σωματιδιακό υλικό. Η αναλογία N:P στο γλυκό νερό είναι συνήθως 7:1 (Iwama, 1991). Η πρωτογενής παραγωγή συνδέεται περισσότερο με τα διαθέσιμα επίπεδα φωσφόρου, παρά με αυτά του αζώτου. Τα φωσφορικά ιόντα (PO_4^{3-}) δεν είναι έντονα βιολογικά διαθέσιμα· απορροφώνται όμως εύκολα από το ανόργανο σωματιδιακό υλικό.

Ο απαραίτητος φώσφορος για τα ψάρια αποκτάται μέσω της τροφής ως ανόργανος. Στις εκτροφές ψαριών σε ιχθυοκλωβούς, το πλαγκτόν μπορεί να αποτελέσει κι αυτό πηγή τροφής για τα ψάρια. Όμως το πλαγκτόν θεωρείται αμελητέα πηγή φωσφόρου για τα ψάρια, πρώτον λόγω του σχετικά μικρού μεγέθους του ως προς το μέγεθος της τροφής (pellet) και δεύτερον λόγω της μεγάλης παροχής τεχνητής τροφής σε σχέση με την αφθονία και κατανάλωση του πλαγκτόν. Το περιεχόμενο σε φώσφορο για τροφές σολομοειδών ποικίλλει από 1.14 έως 2.2% (Ketola, 1982; Penczak et al., 1982). Για τροφές κυπρίνων και τιλάρια το περιεχόμενο σε φώσφορο έχει υπολογιστεί στο 0.93-3.06% και 1.3-2.52% αντίστοιχα (Beveridge, 1984). Από αυτά τα ποσοστά, το 13-22% αφομοιώνεται από το ψάρι, σε

όλους σχεδόν τους τύπους ιχθυοκαλλιέργειας (Ketola, 1982; Foy & Rossell, 1991a, 1991b). Οι απώλειες φωσφόρου προς το περιβάλλον από ιχθυοκλωβούς (Salmonidae) ανέρχονται σε 71-85%, από τα οποία το 11-30% είναι η διαλυμένη μορφή του φωσφόρου και το 49-70% η σωματιδιακή μορφή του (Penczak et al., 1982; Ackefors & Sodergren, 1985; Phillips et al., 1985; Enell, 1987; Holby & Hall, 1991). Στον παρακάτω πίνακα (Πιν.8) αναφέρονται οι απώλειες φωσφόρου από την τροφή για διάφορα εκτρεφόμενα είδη και τύπους εκτροφής.

Πίνακας 8. Απώλειες P από την παρεχόμενη τροφή για διάφορα είδη και τύπους εκτροφής.

Εκτρεφόμενο είδος και τύπος εκτροφής	Αφομοίωση από το ψάρι (%)	Απώλειες P από την παρεχόμενη τροφή (%)		
		Διαλυμένη μορφή P	Σωματιδιακή μορφή P	Συνολική απώλεια P προς το περιβάλλον
Πέστροφα (κλωβοί σε γλυκό νερό)	17 - 29	11 - 36	49 - 66	71 - 85 ⁽¹⁾
Πέστροφα (δεξαμενές - γλυκό νερό)	13 - 32	54.6 - 60.9	22.4 - 26.1	68 - 87 ⁽²⁾
Σολομοειδή (κλωβοί σε θαλασ. νερό)	15 - 18	15.3 - 18.0	54.0 - 69.7	72 - 85 ⁽³⁾
Τσιπούρα (δεξαμενές - θαλασ. νερό)	19 - 21	19.4 - 21.0	59.0 - 61.6	79 - 81 ⁽⁴⁾

Πηγές: (1) Penczak et al., 1982; Ackefors & Sodergren, 1985; Phillips et al., 1985; Enell, 1987; Holby & Hall, 1991.

(2) Ketola, 1982; Foy & Rossell, 1991a,b.

(3) Eklund, 1986a,b; Ackefors & Enell, 1990.

(4) Krom et al., 1985a,b; Neori & Krom, 1991.

2.11 Υδρόθειο

Το υδρόθειο (H₂S) στην υδάτινη στήλη προέρχεται από την έκχυση αστικών και βιομηχανικών λυμάτων σε θαλάσσιες περιοχές (Κουσουρήs κ.α., 1995). Σε περιοχές όπου δραστηριοποιούνται υδατοκαλλιεργητικές δραστηριότητες, ο πυθμένας εμπλουτίζεται με οργανικό υλικό (περιττώματα, απώλειες τροφής). Η αναερόβια διάσπαση του υλικού αυτού οδηγεί στην παραγωγή H₂S στο ίζημα του πυθμένα. Διάφορα είδη βακτηρίων (π.χ. *Beggiatoa spp.*) οξειδώνουν το H₂S σε

στοιχειακό θείο (S) και θειικά ιόντα. Η αντίδραση αυτή λαμβάνει χώρα στην επιφάνεια του ιζήματος, όπου υπάρχει διαθέσιμο οξυγόνο από την υδάτινη στήλη. Εξάλλου, βιντεοταινίες δυτών έχουν δείξει μια λεπτή άσπρη στρώση (fine white blanket), που πιθανόν να αποτελούνταν από στοιχειακό θείο (S) και βακτήρια. Αυτή η στρώση παρατηρήθηκε ακριβώς κάτω από ένα εκτροφείο σολομού καθώς και στη γύρω περιοχή του πυθμένα (Johnsen et al., 1993). Οι Kaspar et al. (1988) αναφέρουν την ύπαρξη βακτηριακών κηλίδων (bacterial mats) του βακτηρίου *Beggiatoa spp.* σε ίζημα κάτω από μονάδα εκτροφής σολομού του Ειρηνικού *Oncorhynchus tshawytscha* (chinook salmon), στον κόλπο Crail (Νέα Ζηλανδία). Το ίζημα αυτό είχε έντονη τη χαρακτηριστική οσμή του H₂S και συνδεόταν και με απελευθέρωση μεθανίου (CH₄).

Το H₂S είναι τοξικό για τους εκτρεφόμενους οργανισμούς, ακόμη και σε μικρές συγκεντρώσεις (Fayette & Haines, 1980; Storebakken & Olsen, 1982; Pillay, 1992). Σύμφωνα με τους Ito & Imai (1955) και Braaten et al. (1983) είναι πολύ ευδιάλυτο, ενώ οι Gowen & Bradbury (1987) αναφέρουν ότι διαλύεται πολύ λίγο. Η τοξικότητά του εξαρτάται από το pH και τη θερμοκρασία. Η αύξηση της τιμής του pH συντελεί στη μείωση της τοξικότητας του υδρόθειου, ενώ η σχέση του με θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 6.5-25°C είναι αντιστρόφως ανάλογη.

Η παρουσία υδρόθειου στην υδάτινη στήλη δίνει στο νερό τη χαρακτηριστική οσμή 'κλούβιου αυγού', το οποίο αποτελεί δείκτη προχωρημένης υποβάθμισης της ποιότητας του νερού (Iwama, 1991). Οι Johnsen et al. (1993) παρατήρησαν τέτοια οσμή σε δείγματα ιζήματος από μία μονάδα εκτροφής σολομού στη Νορβηγία. Η οσμή αυτή ήταν ενδεικτική για την παρουσία H₂S και μειωνόταν όσο αυξανόταν η απόσταση από το πεδίο εκτροφής.

Ο κίνδυνος που επίκειται από το υδρόθειο εξαρτάται από την ποσότητά του στο ίζημα καθώς και από τους παράγοντες που ελέγχουν την απελευθέρωσή του από το ίζημα προς την υδάτινη στήλη (Iwama, 1991). Η διαταραχή του ιζήματος κάτω από ιχθυοκλωβούς με σολομούς στη Νορβηγία, απελευθέρωσε H₂S της τάξης των 39-144ppb, οι οποίες ποσότητες ανιχνεύονταν σε όλο το ύψος της υδάτινης στήλης (βάθος 12m) (Samuelsen et al., 1988). Οι Braaten et al. (1983) παρατήρησαν απελευθέρωση H₂S από το ίζημα κάτω από ιχθυοκλωβούς. Σύμφωνα με στοιχεία του R. Gowen (Gowen & Bradbury, 1987) το φαινόμενο απελευθέρωσης H₂S από το ίζημα παρατηρείται συχνά σε πολλές υδατοκαλλιέργειες στη Σκωτία.

Έρευνες γύρω από την επίδραση του υδρόθειου στις υδατοκαλλιέργειες απέδειξαν ότι η επιτυχία της εκτροφής επηρεάζεται αρνητικά από την παρουσία έστω και μικρών συγκεντρώσεων υδρόθειου (Boyd, 1981). Οι Bonn & Follis (1967) έδειξαν ότι η παρουσία H_2S θα μπορούσε να επιφέρει χαμηλούς ρυθμούς αύξησης σε γατόψαρα (channel catfish). Σε εκτροφές στρειδιών στη Γαλλία (table culture), η παρουσία H_2S προκαλούσε προβλήματα εξαναγκάζοντας τους εκτροφείς να μετακινούν συχνά τις επιφάνειες εκτροφής (Iwama, 1991). Οι Braaten et al. (1983) συσχέτισαν δυσλειτουργίες των βραγχίων των ψαριών και αυξημένες θνησιμότητες με την απελευθέρωση (out-gassing) αερίου H_2S από το ίζημα.

Γενικά, δεν είναι δυνατό να καθοριστεί εκείνη η ποσότητα του υδρόθειου πάνω από την οποία παρατηρείται η απελευθέρωσή του ή ποιες είναι οι ακριβείς επιπτώσεις στα εκτρεφόμενα ψάρια. Είναι σαφές όμως ότι σε κλειστές και σχετικά ρηχές περιοχές, τα επίπεδα οργανικού εμπλουτισμού που προκαλούν την απελευθέρωση του H_2S , όντως αποτελούν κίνδυνο για τα ψάρια που εκτρέφονται.

2.12 Αέριοι υδρογονάνθρακες

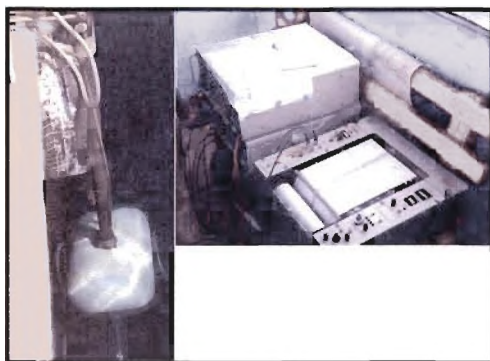
Οι αέριοι υδρογονάνθρακες που εντοπίζονται στους πόρους των ιζημάτων του θαλάσσιου ή λιμναίου πυθμένα είτε προέρχονται από τα βαθύτερα στρώματα ιζημάτων και είναι θερμογενούς προέλευσης (θερμική μετατροπή ανόργανων και οργανικών ενώσεων), είτε είναι βιογενούς προέλευσης (αποικοδόμηση οργανικής ύλης) και βρίσκονται στα επιφανειακά στρώματα των ιζημάτων (30-60m). Οι βιογενείς αέριοι υδρογονάνθρακες, οι οποίοι είναι οι συνηθέστερα απαντώμενοι υδρογονάνθρακες στο υδάτινο περιβάλλον, συνίστανται κυρίως από μεθάνιο (CH_4).

Η διαφυγή των αερίων υδρογονανθράκων από τους πόρους των ιζημάτων προς την υδάτινη στήλη μπορεί να είναι συνεχής ή παροξυσμική. Η διαφυγή των υδρογονανθράκων συνήθως πυροδοτείται κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, όπως η σεισμική δραστηριότητα και ο έντονος κυματισμός. Η διαφυγή υδρογονανθράκων είναι δυνατόν να δημιουργήσει ιδιαίτερες μορφολογικές δομές στην επιφάνεια του πυθμένα, με χαρακτηριστικότερη περίπτωση αυτή των διαβρωσιγενών κρατήρων διαφυγής αερίων υδρογονανθράκων (rockmarks) (Ραβασόπουλος & Παπαθεοδώρου, 1997).

Οι μέθοδοι για τον εντοπισμό αερίων υδρογονανθράκων στα ιζήματα του πυθμένα διακρίνονται σε:

- ➔ γεωφυσικές μεθόδους διασκόπησης και
- ➔ οπτικές μεθόδους παρατήρησης.

Στις γεωφυσικές μεθόδους διασκόπησης εντάσσονται οι τομογράφοι υποδομής πυθμένα (subbottom profilers) (Εικ.1) και οι ηχοβολιστές πλευρικής σάρωσης (side-scan sonars). Η οπτική παρατήρηση του πυθμένα πραγματοποιείται με κατευθυνόμενα υποβρύχια οχήματα (Remote Operated Vehicles, R.O.Vs) (Εικ.2).



Εικόνα 1. Τομογράφος υποδομής πυθμένα 3.5kHz (φωτ. αρχείο Ε.ΘΑ.ΓΕ.Φ.Ω.).



Εικόνα 2. Κατευθυνόμενο υποβρύχιο όχημα Benthos MiniRover MKII (φωτ. αρχείο Ε.ΘΑ.ΓΕ.Φ.Ω.).

Ο εντοπισμός αερίων υδρογονανθράκων στους πόρους των ιζημάτων του πυθμένα επιτυγχάνεται με τη χρήση ειδικών ηχοβολιστικών συστημάτων, τους τομογράφους υποδομής πυθμένα (Φερεντίνος, 1985; Παπαθεοδώρου, 1995). Οι τομογράφοι υποδομής πυθμένα εκπέμπουν ηχητικά κύματα υψηλών συχνοτήτων, τα οποία διαπερνούν την επιφάνεια του πυθμένα και ανακλώνται σε επιφάνειες μεταβολής της πυκνότητάς του (υποστρώματα). Τα ανακλώμενα ηχητικά κύματα λαμβάνονται από το δέκτη του συστήματος, οδηγούνται στην καταγραφική μονάδα

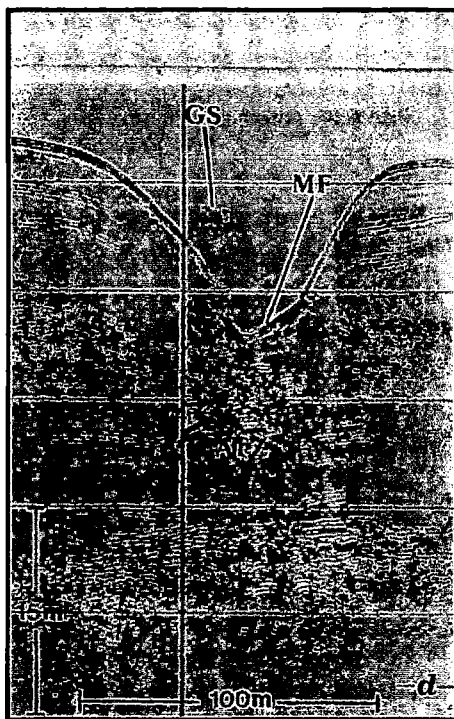
όπου και συσχετίζονται, ώστε να στοιχειοθετηθεί μια τομή της υποδομής του πυθμένα (Εικ.3). Ο ηχοβολιστής πλευρικής σάρωσης αποδίδει δισδιάστατες απεικονίσεις της επιφάνειας του πυθμένα, ανάλογες με τις αεροφωτογραφίες της χέρσου, με τη διαφορά ότι οι ηχογραφίες στοιχειοθετούνται με την καταγραφή των ανακλώμενων ηχητικών κυμάτων στην επιφάνεια του πυθμένα (Φερεντίνος, 1985; Παπαθεοδώρου, 1995). Ο ηχοβολιστής πλευρικής σάρωσης αποτυπώνει την επιφάνεια του πυθμένα με βάση την ενέργεια των ανακλώμενων ηχητικών κυμάτων. Ο σκουρόχρωμος τόνος καταγραφής προκαλείται από την υψηλή ενέργεια των ανακλώμενων ηχητικών κυμάτων (υψηλή ανακλαστικότητα), ενώ αντίστροφα ο ανοιχτόχρωμος τόνος από ανακλώμενα κύματα χαμηλής ακουστικής ενέργειας (χαμηλή ανακλαστικότητα) (Εικ.4). Η ενέργεια των ανακλώμενων ηχητικών κυμάτων εξαρτάται από:

- ι) τον προσανατολισμό της επιφάνειας του πυθμένα ως προς τον πομποδέκτη, δηλαδή τη μορφολογία του πυθμένα και
- ii) τη λιθολογική σύσταση και τις μηχανικές ιδιότητες των ιζημάτων που καλύπτουν τον πυθμένα.

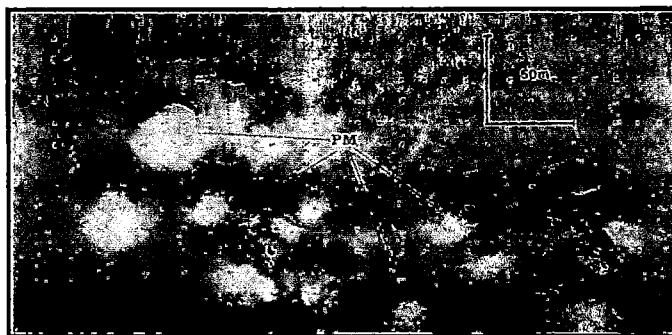
Συνεπώς, με τον ηχοβολιστή πλευρικής σάρωσης μελετάται τόσο η μορφολογία της επιφάνειας του πυθμένα, όσο και η λιθολογική σύσταση των ιζημάτων που τον καλύπτουν.

Συστηματικές θαλάσσιες γεωλογικές / γεωφυσικές έρευνες του Εργαστηρίου Θαλάσσιας Γεωλογίας και Φυσικής Ωκεανογραφίας (Τομέας Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών) την τελευταία δωδεκαετία, έδειξαν ότι η παρουσία αερίων υδρογονανθράκων σε παράκτια θαλάσσια και λιμναία ιζήματα είναι ένα ιδιαίτερα σύννηθες φαινόμενο για τον Ελληνικό χώρο (Σχ.6) (Ραβασόπουλος & Παπαθεοδώρου, 1997). Συγκεκριμένα, αέριοι υδρογονάνθρακες έχουν διαπιστωθεί στους πόρους των ιζημάτων της κρηπίδας του Βόρειου Ιονίου (βορείως της Κέρκυρας), στον Αμβρακικό κόλπο, στον Πατραϊκό κόλπο, στο Βόρειο Αιγαίο πέλαγος (περιοχή Θάσου - Καβάλας) (Paratheodorou et al., 1993), στον κόλπο του Αιγίου (Ραβασόπουλος και Βρης, 1996), στον κόλπο της Πύλου (Γρηγορίου και Πριόνα, 1996), στη λίμνη Τριχωνίδα (Paratheodorou et al., 1993). Μορφολογικά χαρακτηριστικά στην επιφάνεια του πυθμένα, τα οποία σχετίζονται με διαφυγές αερίων υδρογονανθράκων προς την υδάτινη στήλη, έχουν διαπιστωθεί στην κρηπίδα του Ιονίου πελάγους (Β. Κέρκυρα, Πρέβεζα) (Paratheodorou et al., 1993;

Φερεντίνος κ.α., 1994), στο Β. Αιγαίο (Θάσος) (Newton et al., 1980), στο δυτικό Κορινθιακό κόλπο (Βαλιμίτικα Αιγίου) (Soters, In: Ραβασόπουλος & Παπαθεοδώρου, 1997), ενώ στο Ν. Πατραϊκό κόλπο έχει εντοπισθεί ένα ιδιαίτερα σημαντικό πεδίο κρατήρων διαφυγής αερίων υδρογονανθράκων (rockmarks) (Hasiotis et al., 1996).



Εικόνα 3. Τομογραφία από τομογράφο υποδομής πυθμένα 3.5kHz, στην οποία φαίνονται συγκεντρώσεις αερίων υδρογονανθράκων με τη μορφή σεισμικονιασμένης περιοχής (ATZ) καθώς και διαφυγές αερίων υδ/κων στην υδάτινη στήλη (GS) (φωτ. αρχείο Ε.Θ.Α.Γ.Ε.Φ.Ω).



Εικόνα 4. Ηχογραφία ηχοβολιστή πλευρικής σάρωσης, στη οποία φαίνονται κρατήρες διαφυγής αερίων υδρογονανθράκων (rockmarks, PM) (φωτ. αρχείο Ε.Θ.Α.Γ.Ε.Φ.Ω).

Η μελέτη της οικολογίας των κρατήρων διαφυγής αερίων υδρογονανθράκων και γενικά των πεδίων διαφυγής αερίων υδρογονανθράκων βρίσκεται σε αρχικά στάδια, ακόμη και στο διεθνή χώρο. Οι περιοχές που έχουν μελετηθεί συστηματικά όσον αφορά τη συσχέτιση διαφυγής αερίων υδρογονανθράκων και βιολογικής παραγωγικότητας περιορίζονται σε μερικούς κρατήρες διαφυγής αερίων υδρογονανθράκων στη Βόρεια Θάλασσα (Gullfacks, Νορβηγία) και σε πεδία

διαφυγής αερίων υδρογονανθράκων στην υφαλοκρηπίδα του Καναδά (Baffin Island) (Ραβασόπουλος & Παπαθεοδώρου, 1997).



Σχήμα 6. Χάρτης της Ελλάδας στον οποίο σημειώνονται οι περιοχές στις οποίες έχουν βρεθεί αέριοι υδρογονάνθρακες στους πόρους των ιζημάτων ή/και μορφολογικά χαρακτηριστικά στην επιφάνεια του πυθμένα (rockmarks), τα οποία σχετίζονται με διαφυγές αερίων υδρογονανθράκων προς την υδάτινη στήλη, σύμφωνα με έρευνες του Εργαστηρίου Θαλάσσιας Γεωλογίας και Φυσικής Ωκεανογραφίας (Τομέας Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών).

[Υπόμνημα]: 1: Βόρειο Ιόνιο πέλαγος (Β. Κέρκυρα).

2: Κρηπίδα Ιονίου πελάγους (Β. Κέρκυρα, Πρέβεζα).

3: Αμβρακικός κόλπος.

4: Λίμνη Τριγωνίδα.

5: Πατραϊκός κόλπος.

6: Κόλπος Πύλου.

7: Δυτικός Κορινθιακός κόλπος (Βαλμιτίκα Αιγίου).

8: Βόρειο Αιγαίο πέλαγος (Θάσος).

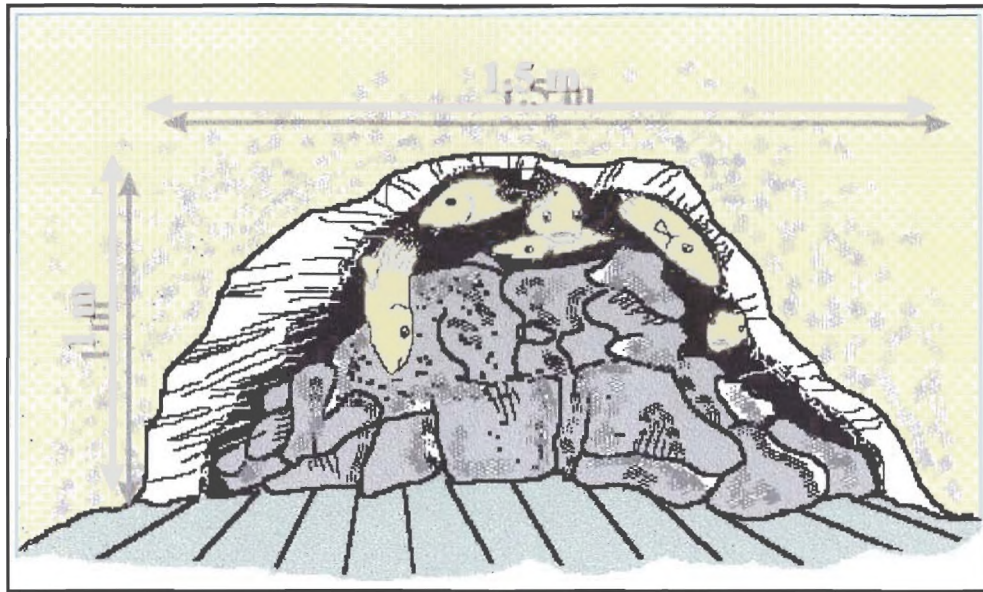
Η μελέτη υποβρύχιων φωτογραφιών και βιντεοταινιών κατευθυνόμενου υποβρύχιου οχήματος (R.O.V) από τους Hovland & Judd (1988) και τον Fader

(1991), έδειξε μια σημαντική αύξηση της βιολογικής παραγωγικότητας μέσα στους κρατήρες συγκριτικά με αυτή εκτός των κρατήρων. Μια μεγάλη ποικιλία οργανισμών διαπιστώθηκε ότι διαβιεί μέσα στους κρατήρες διαφυγής αερίων υδρογονανθράκων.

Στον πυθμένα κρατήρων εντοπίστηκαν βακτηριακές κηλίδες του νηματώδους βακτηρίου του γένους *Beggiatoa spp.* έκτασης 0.5×1.0m· ενός βακτηρίου που έχει εντοπισθεί ακόμη και σε πυθμένες κάτω από εγκαταστάσεις υδατοκαλλιεργειών (Dahlbäck & Gunnarsson, 1981; Earll et al., 1984; Kaspar et al., 1988, Καρακάσης κ.α., 1997b). Η παρουσία μεγάλων συγκεντρώσεων δίθυρων (π.χ. το είδος *Pseudamussium septemradiata*) μέσα σε κρατήρες διαφυγής αερίων υδρογονανθράκων είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα. Η στενή σχέση μεταξύ δίθυρων και κρατήρων διαφυγής αερίων υδρογονανθράκων πρέπει να αναζητηθεί στο γεγονός ότι οι μικροδιαφυγές αερίων (micro-seepages) που λαμβάνουν χώρα στον κρατήρα, επαναιωρούν κόκκους ιζήματος και θρεπτικά συστατικά και συνεπώς αποτελούν ιδανικό περιβάλλον ανάπτυξης των ηθμοτροφικών δίθυρων. Αναφορές έχουν γίνει και για την αφθονία γαρίδων και θαλασσοκαραβίδων (*Nephrops norvegicus*) στο χείλος κρατήρων διαφυγής αερίων υδρογονανθράκων στη Βόρεια Θάλασσα. Σημαντική ποικιλία ψαριών έχει διαπιστωθεί σε περιβάλλοντα κρατήρων διαφυγής αερίων υδρογονανθράκων, όπως ο βακαλάος (*Sebastes marinus*), ο γάδος (*Gadus morhua*), το γατόψαρο *Anarrhichas lupus*, η μόλβη (*Molva molva*), κ.α. Οι Hovland και Judd (1988) υποστηρίζουν ότι η αυξημένη συγκέντρωση ψαριών στους κρατήρες οφείλεται σε δύο παράγοντες:

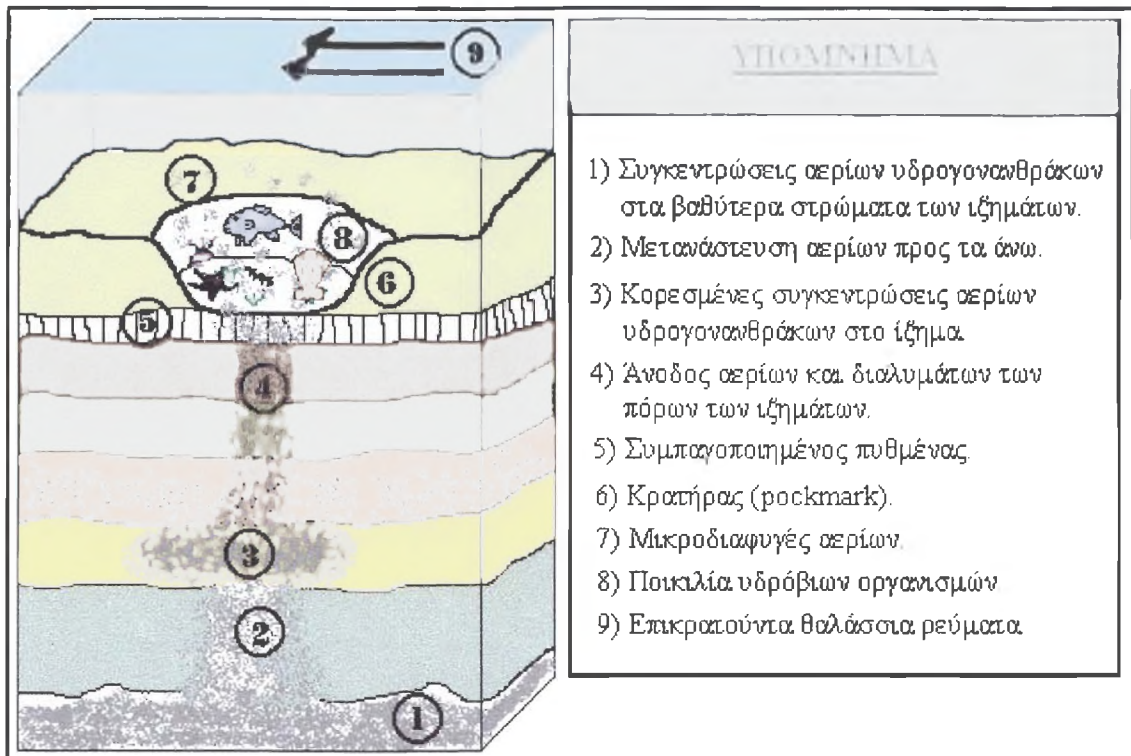
- ι) στην αφθονία τροφής και
- ii) στο μεγάλο αριθμό μικροεσοχών και μικροσπηλαίων που δημιουργούνται στο λιθοποιημένο πυθμένα ('τσιμεντοποιημένο', cemented) των κρατήρων και χρησιμοποιούνται από τα ψάρια ως καταφύγια (Σχ.7). Η λιθοποίηση των ιζημάτων, που καλύπτουν τον πυθμένα των κρατήρων, προκύπτει ως αποτέλεσμα της κατακρήμνισης ασβεστίτη και αραγωνίτη μεταξύ των κόκκων του ιζήματος.

Τέλος, σε κρατήρες διαφυγής αερίων υδρογονανθράκων στη Βόρεια Θάλασσα έχει διαπιστωθεί η παρουσία και άλλων υδρόβιων οργανισμών, όπως ανθόζωα, σπόγγοι, ισόποδα, γαστερόποδα, εχινοειδή, βρυόζωα, οφιοουροειδή και ασκίδια.



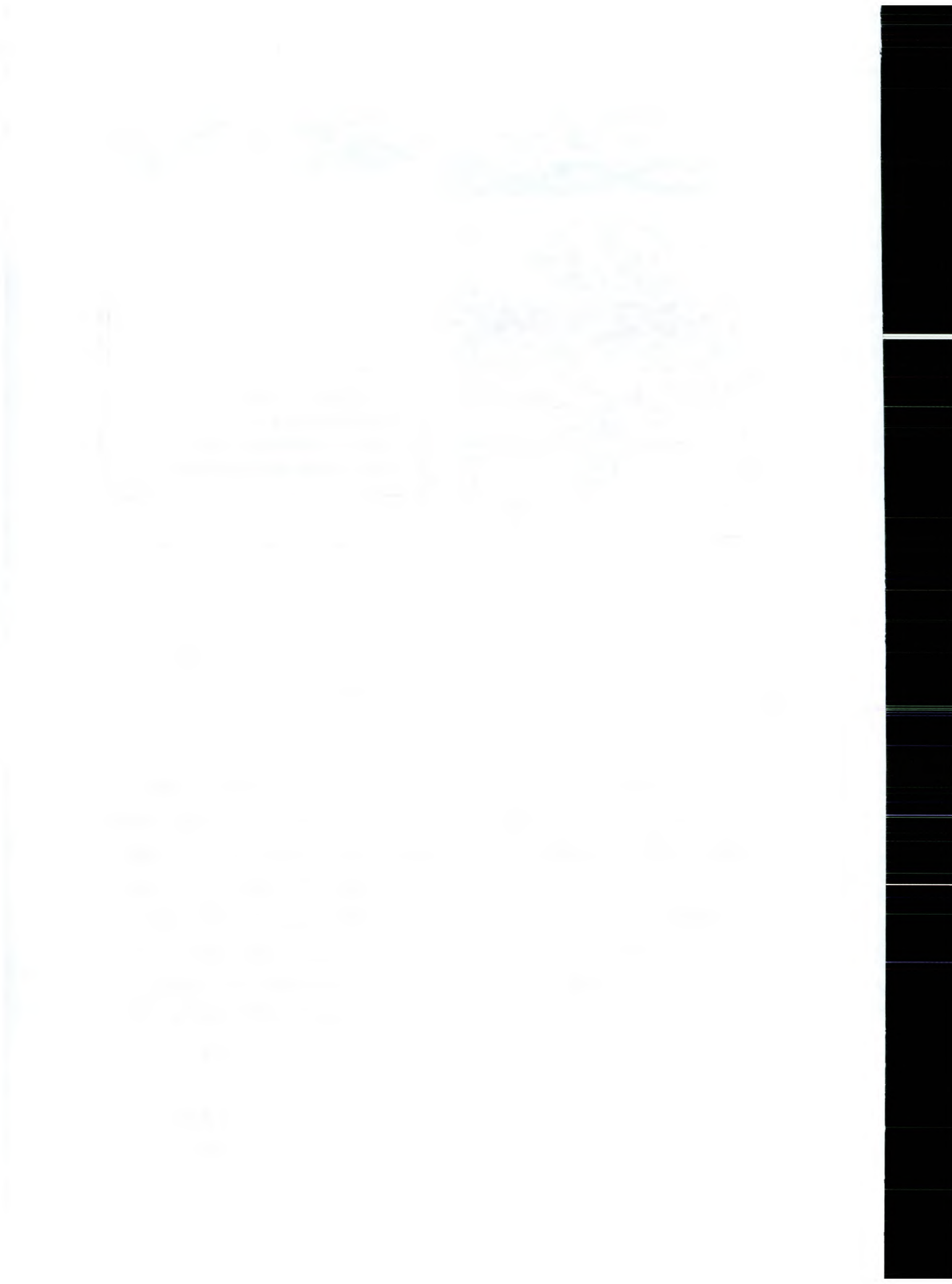
Σχήμα 7. Σχηματική απόδοση υποβρύχιας φωτογραφίας κατευθυνόμενου υποβρύχιου οχήματος (R.O.V), στην οποία εμφανίζονται άτομα ψαριών να χρησιμοποιούν ως καταφύγιο μικροεσοχή που έχει διανοιχθεί σε λιθοποιημένο πυθμένα σε κρατήρα διαφυγής αερίων υδρογονανθράκων (rockmark) (τροποπ. από Ραβασόπουλος & Παπαθεοδώρου, 1997).

Η θετική επίδραση των μικροδιαφυγών αερίων υδρογονανθράκων στη βιολογική παραγωγικότητα μπορεί να αποδοθεί στην είσοδο του νερού των πόρων των ιζημάτων στην υδάτινη στήλη, εξαιτίας της συμπαράσυρσής του από τους αέριους υδρογονάνθρακες. Κι αυτό γιατί το νερό των πόρων παρουσιάζει σημαντικά μεγάλη περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά συγκριτικά με αυτό ακριβώς πάνω από τον πυθμένα (Sholkowitz, 1973; Suess, 1977). Συνεπώς, η άνοδος του στην υδάτινη στήλη, λόγω συμπαράσυρσης από τους διαφυγόντες αέριους υδρογονάνθρακες, δημιουργεί ένα ιδιαίτερα ευνοϊκό περιβάλλον για την ανάπτυξη υδρόβιων οργανισμών (Σχ.8). Η άποψη αυτή ενισχύεται από τις διαπιστώσεις των Savidge et al. (1984), οι οποίοι απέδωσαν την τοπικά αυξημένη βιολογική παραγωγικότητα στη θάλασσα της Ιρλανδίας, στη διαφυγή αερίων υδρογονανθράκων προς την υδάτινη στήλη.



Σχήμα 8. Σχηματική αναπαράσταση της επίδρασης των μικροδιαφυγών αερίων υδρογονανθράκων στη βιολογική παραγωγικότητα (από Ραβασόπουλος & Παπαθεοδώρου, 1997).

Οι μέχρι τώρα οπτικές παρατηρήσεις κρατήρων ή πεδίων διαφυγής αερίων υδρογονανθράκων με σκοπό τη διερεύνηση της σχέσης αερίων υδρογονανθράκων και βιολογικής παραγωγικότητας, έχουν περιορισθεί σε κρατήρες με μικροδιαφυγές (micro-seepages) (μικροσκοπικού μεγέθους φυσαλίδες αερίου ή διαφυγές αερίων διαλυμένων στο νερό των πόρων) και μακροδιαφυγές (macro-seepages) (φυσαλίδες αερίων ορατές με γυμνό οφθαλμό), χωρίς να έχουν μελετηθεί κρατήρες στους οποίους έχουν παρατηρηθεί διαφυγές μεγάλου όγκου αερίων και 'εκτόξευση' μεγάλων ποσοτήτων ιζήματος και νερού πόρων. Ένας κρατήρας μεγάλων διαστάσεων (450×700m) και βάθους (17m) στη Βόρεια Θάλασσα είναι ο περισσότερο παραγωγικός κρατήρας που έχει παρατηρηθεί οπτικά (Hovland & Sommerville, 1985; In: Hovland & Judd, 1988). Στο συγκεκριμένο κρατήρα, ο οποίος παρουσίαζε αυξημένη παρουσία υδρόβιων οργανισμών έναντι του γύρω πυθμένα, διαπιστώθηκαν τρεις σημειακές διαφυγές αερίων με συνεχή απελευθέρωση φυσαλίδων αερίου, διαμέτρου 5-40mm και συνολική ωριαία παροχή 200lt. Η παροχή αυτή αναμένεται να είναι κατά πολύ μικρότερη από την αντίστοιχη παροχή μιας παροξυσμικής εκτόνωσης των αερίων υδρογονανθράκων από έναν κρατήρα



παρομοίων διαστάσεων. Σε μια τέτοια περίπτωση, η συμπαράσυρση μεγάλων ποσοτήτων ιζημάτων προς την υδάτινη στήλη αναμένεται να αυξήσει δραματικά τη θολερότητά της (αιωρούμενο υλικό) και σε συνδυασμό με την είσοδο σε αυτή μεγάλου όγκου μεθανίου (CH_4) δημιουργεί ένα ιδιαίτερα αφιλόξενο περιβάλλον για τη διαβίωση οργανισμών, ενώ δεν πρέπει να αποκλείεται ακόμη και η θανάτωση των ήδη υπάρχοντων. Η παροξυσμική απελευθέρωση μεγάλου όγκου αερίων υδρογονανθράκων από υποθαλάσσιους κρατήρες (rockmarks) δεν πρέπει να θεωρείται σπανιότατο φαινόμενο, ιδιαίτερα στον Ελληνικό χώρο, ο οποίος χαρακτηρίζεται από έντονη σεισμική δραστηριότητα. Οι Hasiotis et al. (1996) διαπίστωσαν ότι ένα πεδίο κρατήρων στο Ν. Πατραϊκό κόλπο ενεργοποιήθηκε με το σεισμό (5.4R) της 14^{ης} Ιουλίου 1993 και απελευθέρωσε μεγάλες ποσότητες αερίων υδρογονανθράκων, των οποίων ο όγκος δεν ήταν δυνατό να εκτιμηθεί. Παρόμοιας έκτασης και έντασης φαινόμενα δεν πρέπει να αποκλείονται σε μελλοντικά σεισμικά γεγονότα, τα οποία είναι συχνά στον Ελληνικό χώρο.

Η πειραματική εγκατάσταση υδατοκαλλιιεργειών σε παράκτιες περιοχές με πιστοποιημένες διαφυγές αερίων υδρογονανθράκων –φαινόμενο, όπως προαναφέρθηκε, αρκετά διαδεδομένο στον παράκτιο Ελληνικό χώρο– μπορεί να αποτελέσει μια πρακτική, η οποία πιθανόν να αποδώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Επιπλέον, η συστηματική γεωφυσική διασκόπηση του πυθμένα με σκοπό τον εντοπισμό θέσεων με αυξημένες πιθανότητες εκρηκτικής απελευθέρωσης αερίων υδρογονανθράκων λόγω σεισμικής δραστηριότητας, μειώνει σημαντικά τις πιθανές καταστροφικές συνέπειες των διαφυγών.

2.13 Θολερότητα - Αιωρούμενα στερεά

Ως θολερότητα καλείται το σύνολο του στερεού σωματιδιακού και άλλου υλικού που βρίσκεται εν αιωρήσει στην υδάτινη στήλη και εξαρτάται από τη χημική φύση του νερού, την αλατότητα, τα ρεύματα, την εναλλαγή των υδάτινων μαζών και το ρυθμό απόθεσης των αιωρούμενων στερεών στο ίζημα. Η τοπική αύξηση της θολερότητας σε μια θαλάσσια περιοχή μπορεί να προκληθεί από:

- ι) φερτά υλικά από τις γύρω περιοχές της ξηράς, λόγω έκπλυσής τους από τη βροχή και την παράσυρσή τους από τους ποταμούς,
- ii) την αποσάθρωση και διάβρωση των εδαφών,

- ιιι) την αναμόγχευση του πυθμένα, λόγω ισχυρών ρευμάτων, ιδίως όταν πρόκειται για λεπτόκοκκο και χαλαρό υλικό ή/και σχετικά αβαθή περιοχή,
- ιν) τα απόβλητα μιας υδατοκαλλιέργειας (περίσσεια τροφής, περιττώματα εκτρεφόμενων οργανισμών), λόγω ανεπαρκούς απομάκρυνσής τους από την περιοχή εκτροφής,
- ν) αυξημένη παραγωγή ή/και παρουσία πλαγκτόν και
- νι) ανθρωπογενώς, με την έκχυση αποβλήτων και λυμάτων στη θάλασσα.

Τιμές θολερότητας που υπερβαίνουν τα 20gr αιωρούμενου στερεού υλικού ανά lt θαλασσινού νερού, προκαλούν αλλαγή στη συμπεριφορά και ηθολογία πολλών ειδών ψαριών. Αξιοσημείωτη θνησιμότητα παρατηρείται για τιμές θολερότητας 175gr/lit (Pillay, 1992). Τέτοιες συγκεντρώσεις όμως δύσκολα παρατηρούνται στο θαλάσσιο περιβάλλον, κυρίως λόγω του έντονου ρυθμού ανανέωσης του νερού (ρεύματα, κυματισμός) και δευτερευόντως λόγω της μικρής φόρτισης του νερού από τα απόβλητα των υδατοκαλλιεργειών. Για την εκτροφή σολομών συγκεκριμένα έχει αναφερθεί ότι η συγκέντρωση φερτών υλικών δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 15mg/lit (Schlotfeldt, 1985).

Συγκεντρώσεις αιωρούμενου στερεού υλικού πάνω από 30mg/lit προκαλούν το φράξιμο των βραγχίων κι έτσι την παρεμπόδιση της αναπνοής των ψαριών, ενώ η μόνιμη παρουσία αιωρούμενων στερεών σε χαμηλές συγκεντρώσεις των 5gr/lit μπορεί να προκαλέσει την πάχυνση και σκλήρυνση του επιθηλίου των βραγχίων, με το ίδιο αποτέλεσμα (Slanina, 1962). Με την αύξηση των αιωρούμενων στερεών δημιουργούνται συνθήκες έλλειψης οξυγόνου, αύξηση της συγκέντρωσης των αμμωνιακών ιόντων (NH_4^+) και συνεπώς επικείμενη μείωση του pH, αλλά και εμφάνιση μυκητιάσεων στα πτερύγια των ψαριών (Alabaster & Lloyd, 1980; Beveridge, 1984). Η αυξημένη θολερότητα επηρεάζει απευθείας την ικανότητα κολύμβησης των ψαριών και υποβαθμίζει τη φυσιολογική τους κατάσταση, με συνέπεια τη μείωση του ρυθμού ανάπτυξής τους, τη μείωση της ικανότητας του ανοσοποιητικού τους συστήματος και της αντίστασης στους θηρευτές. Η θολερότητα μπορεί επίσης να επηρεάσει ανασταλτικά την επιτυχή ολοκλήρωση διάφορων φάσεων του βιολογικού κύκλου των ψαριών, όπως την εκκόλαψη και την ανάπτυξη των νεαρών ατόμων. Βλάβες στους υδρόβιους οργανισμούς λόγω θολερότητας δεν προκαλούνται μόνο από το μέγεθος της συγκέντρωσης των αιωρούμενων στερεών,

αλλά και από την προέλευση και την ποιότητά τους, εφόσον πολλά από τα φερτά υλικά που προέρχονται από οικιακά ή βιομηχανικά λύματα είναι τοξικά, ακόμη και σε μικρές συγκεντρώσεις. Σε εκτροφές δίθυρων η αυξημένη θολερότητα περιορίζει τη διείσδυση του φωτός, περιορίζοντας έτσι την ανάπτυξη του φυτοπλαγκτόν και τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών αλάτων, με συνέπεια τον περιορισμό της ανάπτυξης των εκτρεφόμενων δίθυρων. Η παρουσία υψηλής συγκέντρωσης αιωρούμενων στερεών στην υδάτινη στήλη αυξάνει το ρυθμό διήθησης των μαλακίων, τα οποία δαπανούν ενέργεια χωρίς να προσλαμβάνουν την ανάλογη θρεπτική αξία από τα αιωρούμενα στερεά, που καταναλώνουν ως τροφή. Έχει διαπιστωθεί ότι τα αιωρούμενα στερεά μπορούν να ελαττωθούν σημαντικά σε εκτροφές μυδιών και στρειδιών, λόγω του ότι τα μαλάκια είναι ηθμοτροφικά. Συγκεκριμένα, έχει αναφερθεί ότι όταν τα αιωρούμενα σωματίδια έχουν μέγεθος 1.2μm μπορούν να ελαττωθούν κατά 40%, ενώ για μεγέθη μεγαλύτερα από 5μm και 200μm οι ελαττώσεις κυμαίνονται από 15-40% και από 30-50% αντίστοιχα (Rosenberg & Loo 1953; Folke & Kautsky, 1989; Asmus & Asmus 1991). Μεγάλες συγκεντρώσεις αιωρούμενων στερεών παρεμποδίζουν και την προσκόλληση προνυμφών μαλακίων σε στερεά υποστρώματα του πυθμένα (Alzieu, 1989; Grant et al., 1990). Για την πέστροφα (*Salmo gairdneri*) έχει διαπιστωθεί ότι σε νερό που περιέχει συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων που κυμαίνονται από 80-160gr/lit, η διάρκεια ζωής της είναι μόνο μία ημέρα. Επίσης για το χρυσόψαρο (*Carassius auratus*) και τον κυπρίνο (*Cyprinus carpio*) έχει διαπιστωθεί ότι μπορούν να επιβιώσουν μέχρι τρεις εβδομάδες σε περιβάλλον με συγκεντρώσεις αιωρούμενων στερεών που κυμαίνονται από 100-250gr/lit (Wallen, 1951; Alabaster & Lloyd 1980).

Η θολερότητα που οφείλεται στο πλαγκτόν θεωρείται σημαντική από άποψη επίδρασης στους εκτρεφόμενους οργανισμούς, μόνο κατά τις συνθήκες ευτροφισμού, διότι παρατηρείται έλλειψη οξυγόνου στα υποεπιφανειακά στρώματα, με συνέπεια επικείμενους θανάτους ψαριών λόγω ασφυξίας.

Όσον αφορά τα απόβλητα των υδατοκαλλιεργειών που συνεισφέρουν στην αύξηση της θολερότητας, το μεγαλύτερο ποσοστό της περίσσειας τροφής και των περιττωμάτων καθιζάνει στον πυθμένα, καταναλώνεται από άγριους πληθυσμούς υδρόβιων οργανισμών ή διαλύεται στην υδάτινη στήλη. Επομένως, το ποσοστό που παραμένει αιωρούμενο είναι μικρό. Αυτό όμως εξαρτάται από τον όγκο των αποβλήτων προς τον όγκο του αποδέκτη, το βάθος της περιοχής, την ένταση των

ρευμάτων και άλλες υδρογραφικές παραμέτρους της εκάστοτε περιοχής. Επίσης, ο όγκος των αποβλήτων από μία υδατοκαλλιέργεια εξαρτάται από την ιχθυοπυκνότητα, την ηλικία και το μέγεθος των ψαριών, αλλά και από το ρυθμό παροχής της τεχνητής τροφής.

2.14 Βαρέα μέταλλα

Τα βαρέα μέταλλα (heavy metals) ανήκουν στους διατηρητέους ρύπους (conservative pollutants), δηλαδή δεν αποσυντίθενται με την επίδραση βακτηρίων ή άλλων φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών (Φερεντίνος κ.α., 1994).

Η είσοδος των βαρέων μετάλλων στο υδάτινο περιβάλλον μπορεί να γίνει με:

- ➔ την έκχυση βιομηχανικών (Πιν.9) και αστικών λυμάτων στο υδάτινο περιβάλλον από σημειακή πηγή (αγωγός) και
- ➔ την αποστράγγιση βρόχινων νερών από αστικές ή αγροτικές περιοχές, τα οποία έχουν πηγή εισόδου εκτεταμένες περιοχές.

Πίνακας 9. Κυριότερες βιομηχανικές χρήσεις βαρέων μετάλλων με οικονομικό ενδιαφέρον.

	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Ni	Sn	Zn
Χαρτοβιομηχανίες (χαρτοποιός)		✓	✓		✓		✓	✓		✓
Βιομηχανία πετροχημικών	✓	✓		✓	✓		✓		✓	✓
Βιομηχανία ανόργ. χημικών	✓	✓		✓	✓		✓		✓	✓
Λιπάσματα	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
Επεξεργασία πετρελαίου	✓	✓	✓	✓			✓	✓		✓
Βιομηχανία χόλβα	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
Βιομηχανία μη μεταλλικών υλικών	✓	✓	✓		✓		✓			✓
Βιομηχανία μέσων μεταφοράς	✓	✓	✓		✓			✓		
Βιομηχανία Ασβέστη - Τσιμέντων		✓								
Υφισματοβιομηχανία		✓								
Βυρσοδεξία		✓								
Εργοστάσια παραγωγής ενέργειας		✓								✓

Πηγή: Dean et al., 1972.

Τα βαρέα μέταλλα είναι απαραίτητα για τη ζωή των οργανισμών σε κατάλληλες συγκεντρώσεις (ιχνοστοιχεία), ενώ σε ικανές συγκεντρώσεις καθίστανται τοξικά για τους υδρόβιους οργανισμούς. Γενικά, η μείωση του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό αυξάνει την τοξικότητα των βαρέων μετάλλων, ενώ με την αύξηση της σκληρότητας του νερού η τοξικότητά τους μειώνεται, γιατί πολλά ιόντα μετάλλων καθιζάνουν ως ανθρακικά άλατα. Υψηλές συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου ευνοούν το σχηματισμό υδροξειδίων του σιδήρου, τα οποία φαίνεται να είναι τα κυριότερα μέσα συνκατακρήμνισης των βαρέων μετάλλων, όπως ο μόλυβδος (Pb), ο χαλκός (Cu), το κάδμιο (Cd) και ο ψευδάργυρος (Zn) (Huba et al., 1983; Παπαθεοδώρου, 1996). Κατά την υδρόλυση των αλάτων των βαρέων μετάλλων μειώνεται η τιμή του pH με αποτέλεσμα το περιβάλλον να καθίσταται τοξικό (Κουσουρήs κ.α., 1995). Για την έκφραση της τοξικότητας χρησιμοποιείται ο όρος LC_{50} , που υποδηλώνει τη συγκέντρωση της τοξικής ουσίας (μέταλλο στη συγκεκριμένη περίπτωση) που είναι ικανή να επιφέρει το θάνατο στο 50% του πληθυσμού. Γενικά, η τοξική δράση των βαρέων μετάλλων στους υδρόβιους οργανισμούς εξαρτάται από τις φυσικοχημικές συνθήκες του νερού (θερμοκρασία, αλατότητα, pH, οξυγόνο, αιωρούμενα στερεά, σκληρότητα νερού), το είδος και τη συγκέντρωση του μετάλλου, την παρουσία (είδος και συγκέντρωση) άλλων τοξικών ουσιών στο νερό, το είδος του οργανισμού που εκτίθεται στο μέταλλο και την ηλικία και τη φυσιολογική κατάσταση του οργανισμού.

Γενικά, τα ιόντα υδραργύρου (Hg), χαλκού (Cu) και αργύρου (Ag) είναι πολύ τοξικά, ενώ επικίνδυνες είναι και οι οργανικές ενώσεις του υδραργύρου (π.χ. χλωριούχος μεθυλυδράργυρος, χλωριούχος φαινυλυδράργυρος). Τα ιόντα του ψευδαργύρου (Zn) είναι επίσης πολύ τοξικά κι έχουν συσσωρευτικές ιδιότητες. Τα ιόντα του νικελίου (Ni) και κοβαλτίου (Co) δεν είναι τόσο τοξικά, ενώ η τοξικότητα του μαγνησίου είναι πολύ χαμηλή για τα μη ευαίσθητα ψάρια. Τα ιόντα του μολύβδου (Pb) είναι κι αυτά πολύ τοξικά. Τα ιόντα του σιδήρου (Fe) σε υψηλές συγκεντρώσεις μειώνουν την τιμή του pH, με αρνητικές επιπτώσεις στην επιβίωση των ψαριών (Κουσουρήs κ.α., 1995).

Η συσσώρευση του υδράργυρου (Hg) στον ιστό των ψαριών μπορεί να γίνει με την απορρόφηση του μετάλλου μέσω των βραγχίων ή της τροφικής αλυσίδας, με κυριότερη μορφή αυτή του μεθυλυδράργυρου (CH_3Hg), ο οποίος βρίσκεται κυρίως συνδεδεμένος με τις πρωτεΐνες (Σκούλλος, 1988). Γενικά, οι οργανικές ενώσεις του

υδράργυρου συσσωρεύονται πιο γρήγορα από τις ανόργανες. Μεγαλύτερη συσσώρευση παρατηρείται στα όργανα των ψαριών, παρά στο μυϊκό ιστό. Ο βαθμός της συσσώρευσης εξαρτάται κυρίως από τη θερμοκρασία. Το φύλο ή το μέγεθος των ψαριών δεν επηρεάζει τη συσσώρευση του μετάλλου (Moore & Ramamoorthy, 1984). Αντίθετα, ο Gerlach (1981) και ο Σκούλλος (1988) αναφέρουν ότι η συγκέντρωση του Hg είναι ανάλογη της θέσης του ψαριού στην τροφική αλυσίδα, του μεγέθους και της ηλικίας των ψαριών και για τα δύο φύλα. Οι τιμές τοξικότητας (ως LC₅₀ για 24h) κυμαίνονται από 0.1 έως 1mg/l. Η θερμοκρασία, το διαλυμένο οξυγόνο, η σκληρότητα του νερού, το μέγεθος και η ηλικία του ψαριού, η χρονική διάρκεια έκθεσης στο μέταλλο και η συνεργητική δράση του με άλλα βαρέα μέταλλα είναι οι παράγοντες που επηρεάζουν την τοξικότητά του. Η επίδραση του υδράργυρου είναι μεγάλη στην αναπαραγωγή και την επιβίωση των ψαριών, όπως φαίνεται από τις εξής επιπτώσεις:

- ☒ μείωση της βιωσιμότητας του σπέρματος, της εμβρυογένεσης και της επιβίωσης του γόνου της δεύτερης γενεάς,
- ☒ μείωση της όρασης, αναπνοής και όσφρησης,
- ☒ μείωση της ωσμωρυθμιστικής ικανότητας,
- ☒ μείωση του χρόνου αναγέννησης των πτερυγίων,
- ☒ αλλαγές στο σχηματισμό της βλέννας του ψαριού και
- ☒ αναστολή της σύνθεσης ενζύμων και πρωτεϊνών στο ήπαρ, το νεφρό και τον εγκέφαλο.

Ο χαλκός (Cu) απαντάται στο υδρόβιο περιβάλλον με τη μορφή ιόντος και ενωμένος με διάφορες ανόργανες και οργανικές ουσίες. Σε υδατοσυλλογές γλυκού νερού η συγκεντρώσεις του είναι μικρότερες από 5mg/l. Συσσωρεύεται περισσότερο στα είδη των αλμυρών νερών. Οι συγκεντρώσεις χαλκού για τις οποίες δεν αναμένονται αρνητικές επιπτώσεις σε μια υδατοκαλλιέργεια, κυμαίνονται από 0.01-0.02 mg/l. Σημαντικότερη πηγή απορρόφησης του μετάλλου από τα ψάρια είναι η τροφική αλυσίδα παρά το νερό. Ο χαλκός είναι πιο τοξικός στα μικρής ηλικίας ψάρια. Η τοξικότητά του (ως LC₅₀ για 96h) είναι 0.017-1mg/l. Η τοξικότητά του αυξάνεται με την ελάττωση του διαλυμένου οξυγόνου, της θερμοκρασίας και της σκληρότητας του νερού. Ο συνδυασμός του με άλλα βαρέα μέταλλα και ουσίες (π.χ. κάδμιο, ψευδάργυρος, νικέλιο, φαινόλες) έχουν συνεργητική δράση, ενώ η παρουσία οργανικών ενώσεων, όπως το κιτρικό οξύ, τα

χουμικά οξέα και μερικά από τα αμινοξέα χαρακτηρίζεται ανταγωνιστική. Οι επιπτώσεις του χαλκού μπορούν να συνοψισθούν στα εξής:

- μείωση της συχνότητας διατροφής, της αύξησης, της επιβίωσης και της συχνότητας αναπαραγωγής,
- πιθανή αύξηση της κατανάλωσης οξυγόνου, του pH του αίματος και της κατανάλωσης ενέργειας,
- αύξηση του αιματοκρίτη,
- αλλαγές στη μορφή και λειτουργία των κυττάρων του επιθηλίου,
- αλλαγή στη συμπεριφορά,
- νέκρωση του νεφρού, λιπώδη εκφυλισμό του ήπατος και εγκεφαλική αιμορραγία και
- θάνατος από ασφυξία, λόγω της συγκέντρωσης βλέννας και καταστροφής των βραγχιακών ελασμάτων.

Ο ψευδάργυρος (Zn) είναι απαραίτητο στοιχείο για τους οργανισμούς και συναντάται στα φυσικά νερά ως ελεύθερο κατιόν, με μορφή διαλυμένων ενώσεων ή συνδεδεμένος με αιωρούμενα στερεά σωματίδια. Σε φυσικές υδατοσυλλογές η συγκέντρωσή του κυμαίνεται από 0.001-0.2mg/l. Νερό με υψηλότερες συγκεντρώσεις ψευδαργύρου από αυτές δε θα πρέπει να χρησιμοποιείται για υδατοκαλλιέργειες. Η τοξική του δράση ελέγχεται από τις φυσικοχημικές παράμετρους του νερού. Έτσι, μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας, της αλατότητας, της σκληρότητας και των αιωρούμενων στερεών, ενώ αντίθετα αυξάνεται όταν μειώνεται η περιεκτικότητα του νερού σε οξυγόνο και όταν στο περιβάλλον βρίσκονται και άλλες ρυπαντικές ουσίες.

Η απορρόφηση του ψευδάργυρου από τα ψάρια γίνεται συνήθως από την τροφική αλυσίδα και οι συγκεντρώσεις του είναι μικρότερες στους ιστούς των μυών απ' ότι στα υπόλοιπα όργανα. Οι συγκεντρώσεις που συσσωρεύονται στα ψάρια εξαρτώνται από τη διάρκεια έκθεσης, το βαθμό της συγκέντρωσης του μετάλλου καθώς και από την παρουσία οργανικών και ανόργανων ιόντων στο νερό. Η τοξικότητα του ψευδάργυρου (ως LC₅₀ για 48-96h) κυμαίνεται από 0.5-5mg/l και εκτός των άλλων εξαρτάται από το μέγεθος και την ηλικία του ψαριού. Για τις πέστροφες έχουν διαπιστωθεί συμπτώματα όπως αλλοίωση των βραγχίων, έντονη κατανάλωση του γαλακτικού οξέος και του γλυκογόνου, αύξηση του αναπνευστικού ρυθμού, ελάττωση του πυροσταφυλικού οξέος στους ιστούς και έντονη

κινητικότητα, ενώ ορισμένα είδη μετά την παρατεταμένη έκθεσή τους σε νερό με αυξημένες συγκεντρώσεις ψευδαργύρου, εμφάνισαν αλλοίωση του σκελετού και δυσμενή επίπτωση στο νευρικό τους σύστημα (Affleck, 1952; Lloyd, 1960; Mount, 1966; Skidmore, 1970; Hodson, 1976). Γενικά, οι επιπτώσεις που μπορεί να επιφέρει ο ψευδάργυρος στα ψάρια είναι:

- μείωση της αύξησης του βάρους, του μήκους και της γονιμότητας,
- μείωση του pH του αίματος,
- καταστροφή των βραγχίων,
- αλλοιώσεις στο νεφρικό ιστό και
- αλλαγή αναπαραγωγής και της συμπεριφοράς.

Το νικέλιο (Ni) απορροφάται από το νερό μέσω των βραγχίων και συσσωρεύεται στους ιστούς των ψαριών, ενώ δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ συσσώρευσής του και τροφικής αλυσίδας. Οι συγκεντρώσεις του μετάλλου στους ιστούς είναι γενικά μεγαλύτερες απ' ό,τι στα άλλα όργανα. Σύμφωνα με αναφορές του Ζούλια (1997), τα ψάρια στα νεαρά στάδια της ζωής τους έχει αποδειχθεί ότι είναι πιο ευαίσθητα στην τοξικότητα του μετάλλου απ' ό,τι τα ενήλικα άτομα. Η τοξικότητα του νικελίου (ως LC₅₀ για 48-96h) είναι από 5-100mg/l. Η τοξικότητά του μειώνεται με την ανταγωνιστική παρουσία κατιόντων στο νερό και την αύξηση της σκληρότητας, αλλά ο συνδυασμός του με το χαλκό και τον ψευδάργυρο επιφέρουν την αύξησή της. Η τοξική δράση του νικελίου επιφέρει:

- πιθανή μείωση της γονιμότητας και της επιβίωσης των αυγών,
- αύξηση της πιθανότητας γέννησης παραμορφωμένων ψαριών,
- αύξηση του αιματοκρίτη, της αιμογλοβίνης και επιβράδυνση του ρυθμού καθίζησης των ερυθρών αιμοσφαιρίων,
- μείωση του αριθμού των μικρών λυμφοκυττάρων που πηγαίνουν στον εγκέφαλο και
- θάνατος από ασφυξία, λόγω παρεμπόδισης της λειτουργίας των βραγχίων.

Η συγκεντρώσεις του μολύβδου (Pb) στα ψάρια θαλασσινού και γλυκού νερού είναι συνήθως μικρές. Η απορρόφησή του γίνεται μέσω των βραγχίων, δηλαδή από το νερό και δε σχετίζεται με τις διατροφικές συνήθειες των ψαριών. Η συσσώρευσή του δεν εξαρτάται από το μέγεθος και την ηλικία του ψαριού. Η τοξικότητα του μολύβδου (ως LC₅₀ για 96h) είναι από 0.5-10mg/l και εξαρτάται από τη συγκέντρωση του μετάλλου, τη διάρκεια έκθεσης του ψαριού σε αυτό, το pH,

τη σκληρότητα του νερού, το οργανικό υλικό, την παρουσία ή όχι άλλων μετάλλων, τη χημική μορφή του μολύβδου και τη θερμοκρασία. Η έκθεση των αυγών σε υψηλές συγκεντρώσεις μολύβδου έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ευαισθησίας του γόνου σε επιβαρυμένα περιβάλλοντα, ενώ η ευαισθησία αυτή παραμένει και στο γόνο των επόμενων δύο γενεών (αναφ. από Ζούλια, 1997). Οι επιπτώσεις του μολύβδου στα ψάρια μπορούν να είναι:

- ☒ εμφάνιση μαύρου δέρματος στη θωρακική περιοχή,
- ☒ λόρδωση, σκολίωση, τρεμούλιασμα των μυών, και νέκρωση των αισθητηρίων κυττάρων της πλευρικής γραμμής,
- ☒ αλλαγές στη λειτουργία των μιτοχονδρίων, αύξηση της πυκνότητας των ριβοσωμάτων και μείωση της πυκνότητας των πολυριβοσωμάτων και
- ☒ μειωμένο ανοσοποιητικό σύστημα.

Το κάδμιο (Cd) βρίσκεται στο υδάτινο περιβάλλον σε χαμηλές συγκεντρώσεις και προέρχεται κυρίως από βιομηχανικά λύματα. Σχηματίζει σύνθετες ενώσεις με ανόργανα ιόντα χουμικής προελεύσεως και οργανικές ουσίες, ενώ οι ποσότητες της διαλυμένης μορφής του καδμίου, που είναι τοξική, είναι δύσκολο να προσδιοριστούν. Σε καθαρά εσωτερικά γλυκά ύδατα οι συγκεντρώσεις του καδμίου κυμαίνονται από 0.01- 0.5μg/l. Ένα από τα πιο ευαίσθητα ψάρια στην τοξική δράση του καδμίου είναι η πέστροφα, για την οποία έχει αναφερθεί ότι συγκέντρωση καδμίου ίση με 2μg/l προκαλείται παύση της αναπαραγωγής της. Πιστεύεται ότι οι ασφαλείς συγκεντρώσεις καδμίου για την πέστροφα κυμαίνονται από 0.5-2μg/l (Calamari & Marchetti, 1977), ενώ περίπου ίδιες συγκεντρώσεις θεωρείται ότι ισχύουν και για τον κυπρίνο (Pascoe & Cram, 1977). Για άλλα είδη της οικογένειας *Cyprinidae* οι ασφαλείς συγκεντρώσεις του καδμίου έχουν μεγαλύτερες τιμές. Οι ασπόνδυλοι υδρόβιοι οργανισμοί είναι πιο ανθεκτικοί στην τοξική δράση του καδμίου σε σχέση με τα ψάρια, εκτός από δύο αντιπροσωπευτικούς ασπόνδυλους οργανισμούς (*Daphnia spp.* και *Gammarus spp.*), οι οποίοι παρουσιάζουν έντονη ευαισθησία. Πιστεύεται ότι τα ψάρια απορροφούν το κάδμιο μέσω των βραγχίων και της τροφής. Η συσσώρευσή του στους μυϊκούς ιστούς των ψαριών δε σχετίζεται με τη συγκέντρωση του μετάλλου στο νερό, ούτε με τις διατροφικές συνήθειες του ψαριού. Η συσσώρευσή του δε στους ιστούς των κύριων οργάνων (ήπαρ, νεφρός) είναι μεγαλύτερη απ' ό,τι στους μύες. Η τοξικότητα του καδμίου (ως LC₅₀ για 96h) κυμαίνεται από 0.09-105mg/l για τα γλυκά νερά και 8-85mg/l για τα αλμυρά. Η

τοξικότητά του στους υδρόβιους οργανισμούς αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και την ελάττωση της συγκέντρωσης του οξυγόνου, της τιμής του pH και της σκληρότητας του νερού (Eisler, 1971; Pickering & Gast, 1972; Calamari & Marchetti, 1977a). Η τοξική δράση του καδμίου δεν επηρεάζεται από την παρουσία αιωρούμενων στερεών συγκέντρωσης έως και 25mg/l, ενώ δεν υπάρχουν πληροφορίες για την επίδραση της αλατότητας στην τοξικότητά του (Herbert & Wakeford, 1964; Department of the Enviroment, 1972). Ο γόνος των ψαριών είναι πιο ευαίσθητος από τα ενήλικα άτομα ή τα αυγά. Επιπτώσεις της τοξικότητας του καδμίου είναι:

- μείωση της ωσμωρυθμιστικής ικανότητας (Cearly & Coleman, 1974) και δράσης των ενζύμων στο ήπαρ και το νεφρό,
- πιθανή αιμορραγική νέκρωση των γεννητικών αδένων, μείωση του ρυθμού ωρίμανσης των γονάδων και της παραγωγής διάφορων ορμονών,
- προβλήματα νευρικής φύσεως, ιδιαίτερα στα αρσενικά άτομα, κατά την περίοδο της αναπαραγωγής, συνοδευόμενα με αυξημένη θνησιμότητα (Benoit et al., 1976) και
- απόρριψη της βλέννας και νέκρωση του αναπνευστικού επιθηλίου και των βραγχίων.

Το **αρσενικό (As)** απορροφάται κυρίως από την τροφική αλυσίδα και λιγότερο από το νερό μέσω των βραγχίων. Συσσωρεύεται δύσκολα στους ιστούς των ψαριών και η συγκέντρωσή του μειώνεται με την αύξηση της ηλικίας. Η απόρριψή του από τον οργανισμό των ψαριών είναι σχετικά γρήγορη. Η τοξικότητα του αρσενικού (ως LC₅₀ για 96h) είναι 1-50mg/l, με πιο τοξική τη μορφή του As⁺³, που εξαρτάται από το στάδιο της οξειδωσης που υφίσταται. Οι επιπτώσεις του αρσενικού στα ψάρια είναι οι εξής:

- σχηματισμός ακανόνιστων μορφών στο παρέγχυμα των ηπατικών κυττάρων,
- διόγκωση του ήπατος,
- καταστροφή του ηπατικού ιστού,
- μακροπρόθεσμη σημαντική δυσλειτουργία του ήπατος,
- σχηματισμός κυτταρικών κοκκιδίων,
- εκτεταμένη μετατόπιση των κυτταρικών πυρήνων και
- πιθανή τύφλωση.

Τα ψάρια είναι σχετικά ανθεκτικά στο χρώμιο (Cr). Η συσσώρευση του συνήθως δε σχετίζεται με τις διατροφικές συνήθειες των ψαριών. Η τοξικότητα του χρωμίου (ως LC₅₀ για 96h) για τις μορφές του Cr⁺³ και Cr⁺⁶ κυμαίνεται από 3.5 έως 118mg/l. Το εύρος αυτό εξαρτάται από την ανθεκτικότητα του κάθε είδους, το μέγεθός του, το pH και τη θερμοκρασία. Υψηλές συγκεντρώσεις χρωμίου μπορούν να προκαλέσουν:

- ☒ καταστροφή των ιστών του στομάχου και του νεφρού,
- ☒ μερική καταστροφή των βραγχίων,
- ☒ υπερπλασία και μείωση της ωσμωρυθμιστικής λειτουργίας και
- ☒ αύξηση του αιματοκρίτη.

Γενικά όμως, οι έρευνες που έχουν γίνει στον Ελληνικό χώρο και που αφορούν τη συσσώρευση των πιο σημαντικών, από τοξική άποψη, μετάλλων στους ιστούς των ψαριών, έχουν δείξει ότι είναι σε κανονικά επίπεδα ανεξαρτήτως περιοχής και βιολογίας των ψαριών (Catsiki & Florou, 1984; Florou & Catsiki 1985; Κανέτη κ.α., 1987; Κατσίκη κ.α., 1987; Bei et al., 1992; Panayotidis & Florou, 1994).

Είναι γνωστό ότι τα ιόντα των βαρέων μετάλλων προσκολλώνται στο αιωρούμενο σωματιδιακό υλικό. Έτσι, με την καταβύθιση του υλικού αυτού μειώνεται η συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων στην υδάτινη στήλη. Αντίστροφα όμως, η επαναιώρηση αυτού του ιζήματος –λόγω του έντονου κυματισμού και των ισχυρών ρευμάτων– προκαλεί την αύξηση της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων στην υδάτινη στήλη. Οι Hamilton et al. (1984) ανέφεραν την πιθανότητα βιοχημικής ανακύκλωσης μερικών βαρέων μετάλλων κατά το πέρασμά τους από το ίζημα στην υδάτινη στήλη. Αυτό σημαίνει ότι τα προσκολλημένα στο ίζημα μέταλλα μπορούν να επαναιωρηθούν στην υδάτινη στήλη κι έτσι να είναι διαθέσιμα στους υδρόβιους οργανισμούς, οι οποίοι τα απορροφούν άμεσα από το νερό ή έμμεσα μέσω της τροφικής αλυσίδας (Hasselrot & Gothberg, 1974; Bebbington et al., 1977; Heit, 1979; Kimura, 1984; Nagashima et al., 1984).

Ο Cuvin-Aralar (1990) εξέτασε τα επίπεδα υδραργύρου στα είδη *Oreochromis niloticus* (τίλαπια Νείλου), *Chanos chanos* (milkfish) και *Aristichthys nobilis* (bighead carp), τα οποία εκτρέφονται σε κλωβούς στη λίμνη Laguna (Φιλιππίνες). Οι Nishimura & Kumagai (1983) ανέφεραν ότι τα επίπεδα υδραργύρου

σε διάφορα είδη ψαριών εξαρτώνται κατά πολύ από την ίδια την οικολογία των ειδών. Ο Baker (1980) παρατήρησε ότι ο υδράργυρος των αιωρούμενων στερεών και ιζημάτων δε συσσωρευόταν στα ψάρια, ενώ οι Nishimura & Kumagai (1983) υποστήριξαν το αντίθετο, δηλαδή ότι ο υδράργυρος συσσωρεύεται στα ψάρια μέσω του αιωρούμενου σωματιδιακού υλικού. Αυτό υποδεικνύει ότι τα ψάρια είναι ικανά να απορροφούν τον υδράργυρο από το περιβάλλον και να τον συσσωρεύουν σε ανιχνεύσιμες ποσότητες. Ο Cuvin-Aralar (1990) ανέφερε σχετικά υψηλότερες συγκεντρώσεις υδραργύρου στην τιλάπια του Νείλου (*O. niloticus*) απ' ότι στο είδος *Chanos chanos*. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο διαφορετικό τρόπο διατροφής των δύο αυτών ειδών. Το είδος *Chanos chanos* είναι κυρίως φυτοπλαγκτονοφάγο, ενώ το *Oreochromis niloticus* έχει ποικίλη διατροφή. Αυτό ενισχύει την άποψη των Hasselrot & Gothberg (1974) και Bebbington et al. (1977) όσον αφορά τη συσσώρευση υδραργύρου στα ψάρια μέσω της τροφικής αλυσίδας. Επίσης, οι Ratkowsky et al. (1975) έχουν αναφέρει ότι τα σαρκοφάγα ψάρια έχουν σημαντικά μεγαλύτερες ποσότητες υδραργύρου από τα φυτοφάγα.

Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων κάτω από τα θανατηφόρα για τους υδρόβιους οργανισμούς επίπεδα, έχουν αποδειχθεί ότι επιδρούν στη φυσιολογία και γενεσιολογία διαφόρων ειδών ψαριών. Τέτοιες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων επηρεάζουν τη γονιμότητα (Sakaizumi & Egami, 1980), το νευρικό (Weir & Hine, 1970) και κυκλοφορικό σύστημα (Rombough & Garside, 1984), καθώς προκαλούν και το σχηματισμό χρωμοσωμικών πολυπλοϊδών (Krishnaja & Rege, 1982).

Οι έρευνες του Cuvin-Aralar (1990) έδειξαν ότι οι συγκεντρώσεις υδραργύρου στα δείγματα των ψαριών από τη λίμνη Laguna (Φιλιππίνες) ήταν πολύ κάτω από τα απαγορευτικά επίπεδα και δεν αποτελούν κίνδυνο ούτε για τη δημόσια υγεία, ούτε για τα ίδια τα ψάρια. Γενικά όμως, χρειάζονται μέτρα προστασίας των ιχθυοπληθυσμών και μείωσης των ρυπαντών, γιατί τα βαρέα μέταλλα έχουν την ιδιότητα να συσσωρεύονται αθροιστικά. Αυτό σημαίνει την ολοένα αύξηση της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων στα ψάρια, με αποτέλεσμα κάποια στιγμή να ξεπεραστούν τα θανατηφόρα όρια για τα ίδια τα ψάρια, αλλά και τα όρια της νομοθεσίας για την προστασία του καταναλωτή.

Τα παραπάνω έρχεται να αποδείξει, με τον πλέον τραγικό τρόπο, ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα απόρριψης βιομηχανικών αποβλήτων στο θαλάσσιο χώρο του κόλπου Minamata (Ιαπωνία). Η χημική βιομηχανία Chisso Co., που

κατασκεύαζε πλαστικά PVC, απέρριπτε συστηματικά μεθυλδράργυρο στη θάλασσα από το 1952. Οι ψαράδες και οι οικογένειές τους που διέμεναν σε παρακείμενους οικισμούς και τρέφονταν αποκλειστικά με ψάρια που ψάρευαν από τη συγκεκριμένη θαλάσσια περιοχή, υπέστησαν δηλητηρίαση από υδράργυρο. Περίπου 2000 άτομα δηλητηριάστηκαν, από τα οποία πέθαναν τα 43, ενώ σε 700 άτομα προκλήθηκαν μόνιμες βλάβες στην υγεία τους (εξασθένηση μυών, τύφλωση, παράλυση) (Takeuchi, 1972).

2.15 Αγροχημικά

Τα φυτοφάρμακα (ζιζανιοκτόνα, παρασιτοκτόνα, εντομοκτόνα, κ.λ.π.) που χρησιμοποιούνται στη γεωργία είναι ιδιαίτερα τοξικά για τους υδρόβιους οργανισμούς. Οι κύριοι τρόποι εισόδου αυτών των φαρμάκων στο υδάτινο περιβάλλον είναι η έκπλυσή τους από τις γεωργικές εκτάσεις με τη βροχή, η είσοδός τους σε ποταμούς με τελικό αποδέκτη την ανοικτή θάλασσα ή/και λιμνοθάλασσες. Κατά τη διαδρομή τους προς τις θάλασσες ή/και λιμνοθάλασσες είναι πιθανόν να συσσωρεύονται και να προκαλούν το θάνατο στους υδρόβιους οργανισμούς. Η πολύπλοκη χημική δομή τους (πολυκυκλικές - ετεροκυκλικές ενώσεις) εμποδίζει τη γρήγορη διάσπασή τους σε απλούστερες ενώσεις κι έτσι ενισχύεται η συσσώρευση βαρέων μετάλλων (π.χ. υδράργυρος) στη σάρκα των εκτρεφόμενων οργανισμών.

Οι Saad et al. (1982) αναφέρουν σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις t-DDT στην υδάτινη στήλη και τα ψάρια της λίμνης Maryût (B.A. δέλτα Νείλου). Αν και συγκεντρώσεις t-DDT της τάξης των 877ngt/gr λιμναίου ιζήματος είναι υψηλές (Saad et al., 1982), σε μερικές γεωργικές εκτάσεις στο Οντάριο (Καναδάς) έχουν αναφερθεί συγκεντρώσεις μέχρι και 4000ngt/gr ιζήματος (Head & McKercher, 1971). Για συγκεντρώσεις παρασιτοκτόνων από 5-100ppm έχει παρατηρηθεί οξεία τοξικότητα (Κουσουρής κ.α., 1995).

Πίνακας 10. Μέγιστο επιτρεπτό όριο παραμέτρων για ιχθυοκαλλιέργειες.

Παράμετρος	Μέγιστο επιτρεπτό επίπεδο
Θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$)	Εξαρτάται από το είδος και το στάδιο ανάπτυξης
Αλατότητα (‰)	Εξαρτάται από το είδος και το στάδιο ανάπτυξης
pH	7.9 - 8.2
Διαλυμένο οξυγόνο	< 6mg/l
Αμμωνία με τη μη ιονισμένη μορφή (NH_3)	< 10μg/l
Νιτρώδη (NO_2^-)	< 0.1mg/l
Διοξείδιο του άνθρακα (CO_2)	< 10mg/l
Υδρόθειο (H_2S)	< 1 μg/l
Συνολική πίεση αερίων στο νερό	< 20mmHg
Υπολειμματικό χλώριο (Cl^-)	< 1 μg/l
Μέταλλα (ολικά)	
Κάδμιο (Cd)	< 3 μg/l
Χρόμιο (Cr)	< 25 μg/l
Χαλκός (Cu)	< 3 μg/l
Σίδηρος (Fe)	< 100 μg/l
Υδράργυρος (Hg)	< 0.1 μg/l
Μαγγάνιο (Mn)	< 25 μg/l
Νικέλιο (Ni)	< 5 μg/l
Μόλυβδος (Pb)	< 4 μg/l
Ψευδάργυρος (Zn)	< 25 μg/l

Πηγή: Χώτος & Ρογδάκης, 1992.

ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

1. Γενικά

Οι υδατοκαλλιεργείες, αν και είναι μία πανάρχαια πρακτική, έχουν μία αδύναμη επιστημονική βάση. Η περισσότερη έρευνα που έχει γίνει μέχρι τώρα εστιάζοταν στην εξέλιξη της παραγωγής και τη σωστή εκμετάλλευση των διαφορετικών περιβαλλοντικών συνθηκών. Ως αποτέλεσμα όμως της ολοένα αυξανόμενης ανησυχίας του κοινού όσον αφορά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των υδατοκαλλιεργειών, έχει γίνει ένας αξιοσημείωτος αριθμός ερευνών και μελετών για τον ποιοτικό και ποσοτικό καθορισμό των αποβλήτων που προκύπτουν από υδατοκαλλιεργητικές δραστηριότητες.

2. Μόλυνση - Ρύπανση

Με τον όρο *μόλυνση* εννοούμε την αλλαγή του μικροβιακού φορτίου του νερού και κυρίως την αύξηση των παθογόνων μικροοργανισμών. Με τον όρο *ρύπανση* εννοούμε την παρουσία διάφορων οργανικών και ανόργανων ουσιών, ξένων προς το φυσικό νερό.

Σύμφωνα με την UNESCO, *θαλάσσια ρύπανση* είναι η απόρριψη ουσιών στη θάλασσα, οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν:

- ι) τη δηλητηρίαση και καταστροφή της χλωρίδας και πανίδας της θάλασσας,
- ii) τη δημιουργία δυσάρεστων και βλαβερών για τη δημόσια υγεία συνθηκών και
- iii) την επιβάρυνση και αλλοίωση της ποιότητας του θαλασσινού νερού, ώστε αυτό να καταστεί ακατάλληλο για κάθε χρήση.

2.1 Κατηγορίες ρυπαντών

2.1.1 Αποσυντιθέμενες και αναλώσιμες ουσίες (*Degradable / consumable*)

Οι ουσίες αυτές συνίστανται κυρίως από:

ι) οργανικές ενώσεις, οι οποίες αποσυντίθενται με τη βοήθεια της βακτηριακής δράσης και του οξυγόνου και

ii) θρεπτικές ουσίες, που καταναλώνονται από τους θαλάσσιους οργανισμούς.

Οι ουσίες αυτές βρίσκονται στο θαλασσινό νερό υπό διαλυμένη ή σωματιδιακή μορφή. Σε αυτήν την κατηγορία ρυπαντών υπάγονται:

- τα οικιακά απόβλητα,
- τα αγροτικά - κτηνοτροφικά απόβλητα,
- τα λιπάσματα,
- τα απόβλητα επεξεργασίας τροφίμων, ζυθοποιίας και οινοπνευματωδών ποτών,
- τα απόβλητα επεξεργασίας ξυλείας και χαρτιού,
- τα απόβλητα ιχθυοκαλλιεργειών και
- οι πετρελαιοκηλίδες.

2.1.2 Διατηρητέες ουσίες (*Conservative*)

Οι ουσίες αυτές δεν αποσυντίθενται με την επίδραση φυσικών και βιολογικών διεργασιών και βρίσκονται στο θαλάσσιο περιβάλλον υπό διαλυμένη ή/και σωματιδιακή μορφή. Στις διατηρητέες ουσίες υπάγονται:

- τα βαρέα μέταλλα, τα οποία συνήθως βρίσκονται εν διαλύσει,
- οι αλλογενείς υδρογονάνθρακες (DDT, διάφορα ζιζανιοκτόνα) και
- οι πολυχλωριούχες διφαινόλες που δεν διαλύονται στο νερό.

2.1.3 Αιωρούμενα σωματίδια (*Suspended solids*)

Τα αιωρούμενα σωματίδια είναι ανόργανης ή οργανικής προέλευσης κόκκοι που αιωρούνται στην υδάτινη στήλη. Τα σωματίδια αυτά μπορεί να είναι αδρανή, αλλά πολλές φορές είτε συνιστούν πυρήνες προσρόφησης εν διαλύσει στοιχείων στην υδάτινη στήλη (π.χ. βαρέα μέταλλα), είτε συγκολλώνται με άλλα ανόργανα ή οργανικά σωματίδια σχηματίζοντας μεγαλύτερα συσσωματώματα. Στην κατηγορία αυτή υπάγονται:

- τα στερεά που προκαλούνται από εργασίες εκβαθύνσης λιμανιών,

- η ιπτάμενη τέφρα από σταθμούς παραγωγής ενέργειας, που χρησιμοποιούν λιθάνθρακες και λιγνίτες ως καύσιμη ύλη,
- η λάσπη (sludge) που προέρχεται από το βιολογικό καθαρισμό οικιακών αποβλήτων,
- τα απόβλητα αργιλλόμαζας και
- τα απόβλητα επεξεργασίας μεταλλευμάτων.

2.1.4 Στερεά απόβλητα (Solids)

Στην κατηγορία αυτή υπάγονται:

- τα υλικά οικοδομών και άλλων κατασκευών,
- παλιά σίδερα και ελαστικά αυτοκινήτων,
- τα υλικά περιτύλιξης και συσκευασίας, όπως αλουμινόκουτα και αλουμινόχαρτα,
- τα υλικά της βιομηχανίας πλαστικών, όπως πλαστικά, πλαστικές φιάλες, πολυαιθυλένια, προπυλένια, κ.α.

Μεγάλες ποσότητες τέτοιων υλικών είτε απορρίπτονται απευθείας στη θάλασσα, είτε βρίσκουν το δρόμο τους προς τα 'κει μέσω ρυακίων και ποταμών. Τα υλικά αυτά παραμένουν για πολύ χρόνο στη θάλασσα, καθώς αποσυντίθενται πολύ δύσκολα.

2.1.5 Θερμότητα (Heat)

Τέτοιου είδους ρυπαντές είναι τα νερά ψύξης των μηχανών παράκτιων θερμικών ή πυρηνικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και διυλιστηρίων πετρελαίου. Τα νερά αυτά έχουν θερμοκρασία 10°C υψηλότερη από αυτή του θαλασσινού νερού και μπορούν να προκαλέσουν μεταβολή της θερμοκρασίας του θαλάσσιου περιβάλλοντος από 1-3°C, εφόσον εκχύνονται σε μεγάλες ποσότητες.

3. Μηχανισμοί διασποράς ρύπων στο θαλάσσιο περιβάλλον

Τα απόβλητα που προέρχονται από μία υδατοκαλλιεργητική δραστηριότητα είναι υπό διαλυμένη ή/και αιωρούμενη σωματιδιακή μορφή. Γενικά, η διασπορά ενός

ρύπου στην υδάτινη στήλη γίνεται μέσω τριών μηχανισμών (Fisher et al., 1979; Bowden, 1983):

- ι) της τυχαίας κίνησης των ρύπων (diffusion), η οποία έχει χαρακτηριστικό τη συνεχή αύξηση του χώρου τον οποίο καταλαμβάνει ο ρύπος προερχόμενος από μία περιορισμένη χωρική έκταση (πηγή),
- ii) της μεταφορικής ικανότητας της υδάτινης στήλης, δηλαδή τη συμπαράσυρση των εν διαλύσει ή εν αιωρήσει ρύπων από το κινούμενο νερό κατά την οριζόντια διάσταση (advection) ή την κατακόρυφη διάσταση (convection) και
- iii) της θετικής ή αρνητικής ανωστικής δύναμης (buoyancy).

Στην υδάτινη στήλη οι συνθήκες δεν είναι ιδανικές, καθώς υπάρχουν οριζόντια και κατακόρυφα ρεύματα, ενώ επιπλέον η τύρβη ελαττώνει την ταχύτητα καθίζησης. Σ' αυτήν την περίπτωση τα σωματίδια εκτελούν συνισταμένη κίνηση. Αν η ταχύτητα των οριζοντίων ρευμάτων είναι σταθερή, τότε η οριζόντια απόσταση X μεταξύ του σημείου απόρριψης και απόθεσης στον πυθμένα (Σχ.9) δίνεται από την εξίσωση:

$$X=U \times \frac{h}{W} \quad \text{όπου:}$$

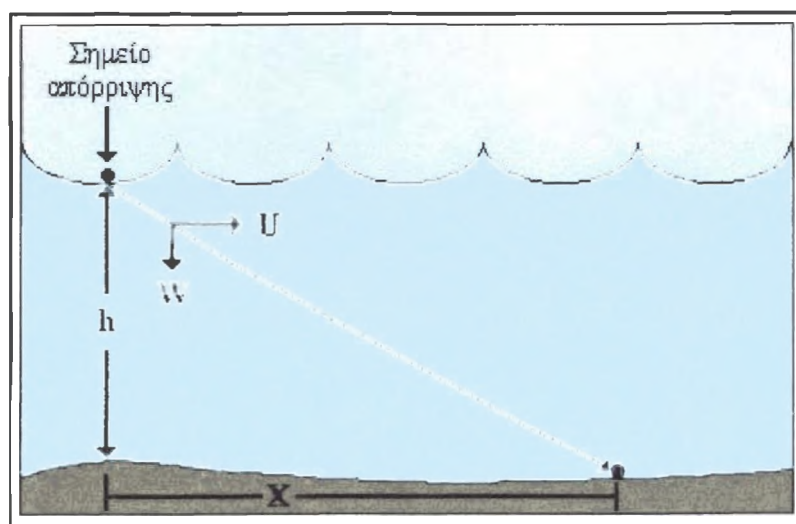
- U : η οριζόντια σταθερή ταχύτητα των ρευμάτων,
- W : η ταχύτητα καταβύθισης των σωματιδίων και
- h : το ύψος της υδάτινης στήλης.

Για την εξίσωση αυτή δεν έχουν ληφθεί υπόψη οι μεταβολές της πυκνότητας με το βάθος, οι ταλαντώσεις της υδάτινης στήλης λόγω κυματισμού και η τύρβη στην υδάτινη στήλη, παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την ταχύτητα καταβύθισης των σωματιδίων και αλλοιώνουν την πορεία μεταφοράς των σωματιδίων.

Τα στερεά σωματίδια όταν αποτεθούν στον πυθμένα είτε θα παραμείνουν στη θέση της απόθεσης, είτε τίθενται σε κίνηση από τα ρεύματα και τον κυματισμό. Η κίνηση των στερεών σωματιδίων γίνεται είτε υπό μορφή κύλισης στον πυθμένα (φορτίο πυθμένα), είτε υπό μορφή αναπήδησης / αιώρησης (αιωρούμενο φορτίο) (Φερεντίνος κ.α., 1994). Η κίνηση των σωματιδίων στον πυθμένα εξαρτάται από (Allen, 1985):

- ι) την πυκνότητα, το μέγεθος και το σχήμα των σωματιδίων,

- ι) την ένταση του ρεύματος και
ιι) την περίοδο και το ύψος των κυμάτων.



Σχήμα 9. Απλουστευμένη διαγραμματική απεικόνιση της συνισταμένης κίνησης που εκτελεί ένα αιωρούμενο σωματίδιο υπό την επίδραση της οριακής ταχύτητας καταβύθισης (W) και της ταχύτητας των ρευμάτων (U).

4. Απόβλητα υδατοκαλλιεργειών

4.1 Παράγοντες που καθορίζουν το μέγεθος και τη φύση των αποβλήτων μιας υδατοκαλλιέργειας

~~Όπως προαναφέρθηκε~~, τα απόβλητα των υδατοκαλλιεργειών ανήκουν στην πρώτη κατηγορία ρυπαντών. Είναι δηλαδή αποσυντιθέμενες και αναλώσιμες ουσίες. Γενικά, το θαλάσσιο περιβάλλον μπορεί να δεχθεί απόβλητα οργανικών ή θρεπτικών ουσιών, εφόσον η ποσότητά τους βρίσκεται μέσα στα όρια επεξεργασίας των μέσω φυσικών και βιολογικών διεργασιών. Αν οι ποσότητες που αποβάλλονται είναι έξω από τις δυνατότητες του θαλάσσιου περιβάλλοντος να τις επεξεργαστεί, τότε ανατρέπεται η ισορροπία με δυσάρεστες συνέπειες για τους υδρόβιους οργανισμούς, εκτρεφόμενους και μη. Πριν την εγκατάσταση μιας ιχθυοκαλλιέργειας λοιπόν χρειάζεται Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων, ιδίως κοντά σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, όπου και εγκαθίστανται οι περισσότερες μονάδες. Σε αυτές τις περιοχές το περιβάλλον ήδη επιβαρύνεται από την έκχυση θρεπτικών

ουσιών από τα αστικά λύματα, οπότε μία επιπλέον επιβάρυνση από μία ιχθυοκαλλιέργεια μπορεί να οδηγήσει σε ανεπιθύμητα αποτελέσματα.

Συνοπτικά, τα απόβλητα μιας υδατοκαλλιέργειας είναι:

- ι) οι απώλειες των ιχθυοτροφών (απώλειες σε φώσφορο και άζωτο),
- ii) τα μεταβολικά προϊόντα των εκτρεφόμενων οργανισμών και
- iii) τα υπολείμματα φαρμάκων που χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις ασθένειας των εκτρεφόμενων οργανισμών.

Το μέγεθος και η φύση των αποβλήτων μιας υδατοκαλλιέργειας που εισέρχονται στο θαλάσσιο περιβάλλον καθορίζονται από διάφορους παράγοντες. Πρώτος και κύριος παράγοντας ενός τέτοιου καθορισμού είναι ο **τύπος της εκτροφής**. Στις *εκτατικές* εκτροφές τα ψάρια εκτρέφονται *έγκλειστα* στο φυσικό τους περιβάλλον, χωρίς την παροχή πρόσθετης τροφής. Η *ημι-εντατική* εκτροφή αναφέρεται στην εκτροφή ψαριών κάτω από ελεγχόμενες, ως επί το πλείστον, συνθήκες. Μπορεί να υπάρξει κάποιος εμπλουτισμός του νερού για την αύξηση της πρωτογενούς παραγωγής ή επίσης και επιπρόσθετη παροχή τροφής. Τέτοια συμπληρωματική τροφή περιέχει συνήθως κάτω από 10% πρωτεΐνες και συνήθως κατασκευάζεται από διαθέσιμα φυτικά υλικά, αγροτικά παραπροϊόντα και υπολείμματα ανθρώπινων τροφών (Iwama, 1991). Ο Water-Hansen (1982) βασιζόμενος σε στοιχεία του Δανικού Ινστιτούτου για την Ποιότητα του Νερού, δίνει τα ακόλουθα ποσοστά απωλειών τροφής:

- | | |
|--|--------|
| • Ξηρές τροφές (πελλέτες) | 1-5% |
| • Αλεσμένα ψάρια (με κολλώδη ουσία ως συνδετικό) | 5-10% |
| • Υγρές τροφές (αλεσμένα ψάρια) | 10-30% |

Τα στοιχεία αυτά αφορούν δεξαμενές στην ξηρά και γήινα υδροστάσια· οι απώλειες από ιχθυοκλωβούς μπορεί να υπερβαίνουν τα νούμερα αυτά. Στην *εντατική* μορφή εκτροφής οι εκτρεφόμενοι οργανισμοί τρέφονται αποκλειστικά με τεχνητή τροφή, αν και μπορεί να υπάρχει και κατανάλωση μικρής ποσότητας φυσικής τροφής (μικρά ψάρια, πλαγκτόν). Η αποκλειστική παροχή τροφής γίνεται και στην εκτροφή ψαριών στην ξηρά (χρήση δεξαμενών με ανοικτό κύκλωμα κυκλοφορίας νερού) και στη θάλασσα (χρήση ιχθυοκλωβών). Οι έρευνες που έχουν γίνει έως τώρα, όσον αφορά τις επιπτώσεις των υδατοκαλλιεργειών στο περιβάλλον, εστιάζονται στον εντατικό τύπο εκτροφής (ιδίως στις εκτροφές σε πλωτούς ιχθυοκλωβούς), γιατί εκεί τα

αποτελέσματα πιθανών επιπτώσεων είναι περισσότερο εμφανή και ευκολότερα ποσοτικοποιήσιμα.

Έτσι λοιπόν, η ολική βιομάζα μιας εκτροφής παίζει σημαντικό ρόλο στον καθορισμό των αποβλήτων, εφόσον καθορίζει την ποσότητα της τροφής που παρέχεται και τις επικείμενες απώλειες τροφής και υλικού περιττωμάτων που θα εισαχθούν στο υδάτινο περιβάλλον. Οι Butz & Vens-Carpell (1982) υπολόγισαν μία παραγωγή περιττωμάτων της τάξης των 260gr (ξηρό βάρος) περιττωμάτων ανά 1kgf καταναλωθείσας τροφής, για εκτροφή σολομοειδών. Δηλαδή το 26% της καταναλωθείσας τροφής καταλήγει σε περιττώματα. Αυτός ο υπολογισμός συμφωνεί απόλυτα και με το 75% ποσοστό πεπτικότητας που έχει δοθεί από τους Rychly & Spannhof (1979) και Smith (1983). Το μέγεθος των εγκαταστάσεων καθορίζει άμεσα την ποσότητα και το επίπεδο της επικόλλησης που θα προκληθεί. Το μέγεθος του ψαριού καθορίζει τον τύπο και το μέγεθος των κόκκων της τροφής που θα χρησιμοποιηθεί. Με άλλα λόγια, καθορίζει την ποσότητα των αιωρούμενων στερεών και διαλυμένων στοιχείων που αποβάλλονται στο περιβάλλον. Καθορίζει επίσης το ρυθμό του μεταβολισμού, το οποίο σημαίνει ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου από την υδάτινη στήλη. Το μέγεθος του ψαριού είναι καθοριστικός παράγοντας για το περιεχόμενο του σώματος σε άζωτο, καθώς το περιεχόμενο της τροφής σε άζωτο και το μέγεθος του ψαριού είναι αντιστρόφως ανάλογα. Οι Bergheim et al. (1984) βρήκαν στατιστικά σημαντική σχέση μεταξύ σωματικού βάρους ψαριού και αύξησης στις συγκεντρώσεις ολικού P, ολικού N και χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD). Οι μετρήσεις έγιναν σε απορροές 37 δεξαμενών πάχυνσης. Τα αποτελέσματα ήταν τα εξής:

Γενική εξίσωση: $\text{Φορτίο} = a - b \times \log(\text{Βάρος}) \text{ (gr)}$

Παράμετρος (d=24h)	a	b	r	p	n
COD (gr O ₂ /kgf ψαριού/d)	1.444	0.20	-0.53	<0.05	16
Ολικό N (gr N/kgf ψαριού/d)	0.367	0.37	0.81	<0.01	16
Ολικός P (gr P/kgf ψαριού/d)	0.284	0.50	-0.89	<0.01	16

Το μέγεθος των κόκκων της τροφής και των περιττωμάτων, καθορίζει το βαθμό διασποράς τους, αφού διασπορά και μέγεθος σωματιδίου είναι αντιστρόφως ανάλογα. Το περιεχόμενό τους σε υγρασία καθορίζει το ρυθμό και βαθμό

διάσπασης των σωματιδίων κι έτσι την επικείμενη διασπορά τους. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι επιπτώσεις των συστατικών των αποβλήτων μιας υδατοκαλλιέργειας μειώνονται όσο αυξάνει η διασπορά τους στο υδάτινο περιβάλλον. Η μέθοδος παροχής της τροφής είναι εξίσου σημαντικός παράγοντας, γιατί καθορίζει την ποσότητα της τροφής που καταναλώνεται από τα εκτρεφόμενα ψάρια. Η ιδανική παροχή τροφής απαιτεί λεπτομερή γνώση της τροφικής συμπεριφοράς και ηθολογίας κάθε εκτρεφόμενου είδους, των διαθέσιμων πληροφοριών όσον αφορά τις περιβαλλοντικές συνθήκες και τον αριθμό και το μέγεθος των ψαριών σε κάθε κλωβό / δεξαμενή. Η παροχή της τροφής με το χέρι πάντως μειώνει τις απώλειες τροφής (uncaptured food), συγκρινόμενη με αυτή ενός αυτόματου διανομέα τροφής. Μελέτες των Thorpe et al. (1990) έδειξαν ότι η παροχή τροφής με το χέρι προκαλεί απώλειες 1.4%, ενώ με αυτόματους διανομείς τροφής οι απώλειες έφταναν το 40.5%. Ο Alanara (1990) προτείνει ότι η θρέψη πρέπει να ακολουθεί το ρυθμό θρέψης των ψαριών.

4.2 Σύνθεση ιχθυοτροφών, περιττωμάτων και προϊόντων απέκκρισης

Οι τροφές που χρησιμοποιούνται στις ιχθυοκαλλιέργειες είναι σύμπηκτα (pellets) που περιέχουν κυρίως πρωτεΐνες, υδατάνθρακες, λίπη, ανόργανα άλατα και άλλες πρόσθετες ουσίες όπως φώσφορος, βιταμίνες, θεραπευτικά συστατικά και χρωστικές. Υπάρχουν σημαντικές διαφορές ως προς τη σύνθεση για διαφορετικές εμπορικές τροφές (Πιν.11). Γενικά, η τροφή παρέχεται σε υγρή και ξηρή μορφή. Περισσότερο χρησιμοποιούνται οι ξηρές τροφές (dry pellets). Η πλήρης σύνθεση και το ενεργειακό περιεχόμενο των διάφορων τροφών, που κυκλοφορούν στο εμπόριο αναγράφονται στις ετικέτες των συσκευασιών της κάθε εταιρείας.

Πίνακας 11. Ανάλυση ιχθυοτροφών (διάφορων τύπων και εταιρειών) για διάφορα είδη εκτρεφόμενων ψαριών.

Ανάλυση	Εκτρεφόμενα είδη ψαριών								
	Τσιπούρα	Λαβράκι	Πίστροφα	Σολομός	Κυπρίνος	Χέλι	Γλώσσα	Οξύρρυγχος	Γατόψαρο
Ολ. Πρωτεΐνη ⁽¹⁾	47-56%	46-50%	42-46%	45-51%	25-35%	40%	58%	43%	40%
Ολ. Λιπίδια ⁽²⁾	10-18%	11-20%	11-18.5%	12-24%	4-6%	16.5%	10.5%	15%	13%
Υδατάνθρακες (ca.)	19.5%	21.5%	19.5-24.5%	10-18%	34-45%	23%	-	22%	25%
Ολ. P (ca.)	1-2%	1-2%	1%	1-1.5%	0.7-0.8%	1.1%	-	1%	1.1%
Gross Energy ⁽³⁾ (kcal/kgg τροφής)	4818	4827	3734	4900	-	-	4700	-	-

⁽¹⁾: Οι μονοσήμαντες τιμές αφορούν min ποσοστά πρωτεΐνης.

⁽²⁾: Οι μονοσήμαντες τιμές αφορούν min ποσοστά λιπιδίων.

⁽³⁾: Ο όρος *Gross Energy* είναι η ενέργεια που 'διατίθεται' από την τροφή για την αύξηση του ψαριού. Τα στοιχεία που παραθέτονται είναι οι μέσοι όροι των συνολικών στοιχείων που συλλέχθηκαν από διάφορες εταιρείες και για διαφορετικούς τύπους τροφών (standard, extruded, οικολογικές, κ.λ.π.).

Πηγές: Στοιχεία για σολομό: Håkanson et al., 1988; Gowen & Bradbury, 1987.

Υπόλοιπα στοιχεία: συλλέχθηκαν από διάφορες εταιρείες παραγωγής ιχθυοτροφών (Ελληνικές και Ευρωπαϊκές) κατά τη διάρκεια επίσκεψης των συγγραφέων στη Διεθνή Έκθεση Aliia '95, στο Εκθεσιακό Κέντρο της Θεσσαλονίκης. Τα ονόματα των εταιρειών δεν αναφέρονται στο παρόν για να μη θεωρηθεί διαφήμιση, αλλά είναι στη διάθεση των συγγραφέων.

Οι σύγχρονες ιχθυοτροφές περιέχουν καλής ποιότητας λιπαρά οξέα, μειωμένο ποσοστό πρωτεϊνών, χαμηλή περιεκτικότητα υδατανθράκων, περιεχόμενο σε φώσφορο κάτω του 1% και υψηλό ενεργειακό περιεχόμενο.

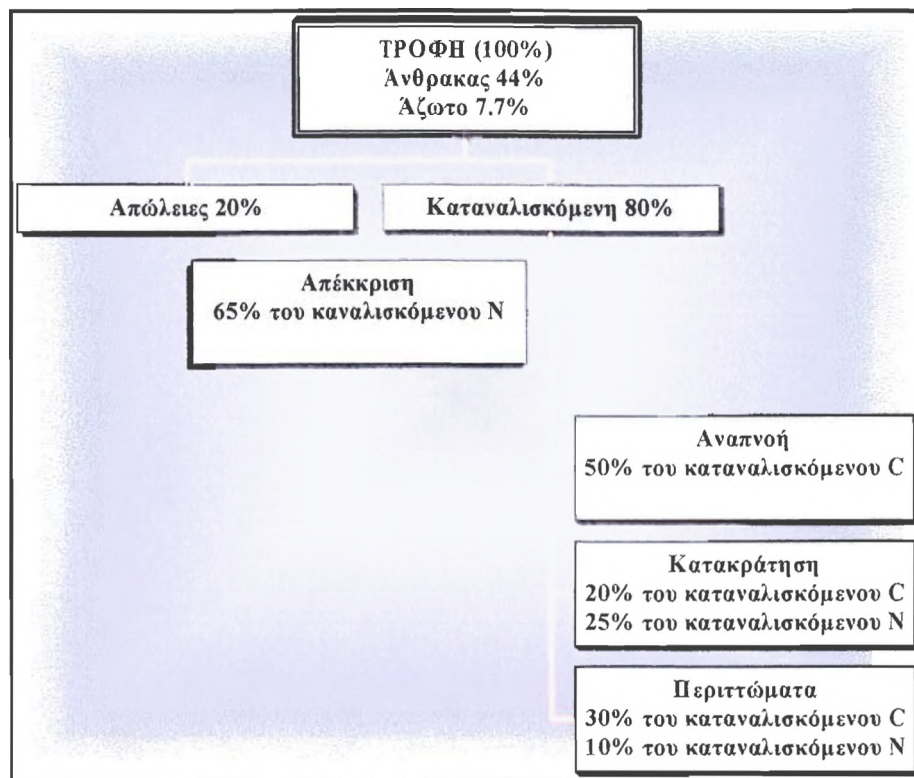
Η σύνθεση των περιττωμάτων και των ούρων εξαρτώνται φανερά από την πεπτικότητα των συστατικών της τροφής. Η σύνθεση των ούρων μπορεί επίσης να επηρεαστεί από το ποσοστό των πρωτεϊνών της τροφής (Rychly, 1980). Υπολογισμοί των Penczak et al. (1982) έδειξαν ότι το 30% των περιττωμάτων είναι άνθρακας, 4% άζωτο και 2% φώσφορος.

4.3 Γενική θεώρηση των επιπτώσεων

Όλα τα συστατικά των ιχθυοτροφών μαζί με τα προϊόντα του μεταβολισμού των ψαριών μπορούν να ρυπάνουν το θαλάσσιο περιβάλλον. Τα απόβλητα ενός ιχθυοτροφείου λοιπόν μπορούν να αποτελούνται από οργανικό άνθρακα και οργανικό άζωτο (υδατάνθρακες, λιπίδια και πρωτεΐνες), αμμώνιο, ουρία, ανθρακικά, φωσφορικά, βιταμίνες, θεραπευτικές ουσίες και χρωστικές.

Το μεγαλύτερο ποσοστό των απωλειών τροφής και των περιττωμάτων είναι ο οργανικός άνθρακας και το οργανικό άζωτο (Σχ.10). Καθώς η τροφή και τα περιττώματα έχουν μεγαλύτερο ειδικό βάρος από το νερό, καταβυθίζονται και αποτίθενται στο ίζημα κάτω από το πεδίο εκτροφής. Μεγάλες αποθέσεις τέτοιου σωματιδιακού οργανικού υλικού στο ίζημα μπορούν να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στη χημική σύνθεση του ιζήματος και την οικολογία του βένθους (Fenchel & Riedl, 1970; Pearson & Rosenberg, 1978). Οι ιχθυοκαλλιέργειες αποβάλλουν και διαλυμένο οργανικό υλικό στο υδάτινο περιβάλλον. Οποιαδήποτε σημαντική και μετρήσιμη αύξηση στις συγκεντρώσεις των διαλυμένων θρεπτικών συστατικών καλείται *hypernutrification* (Anonymous, 1984). Αυτό μπορεί να οδηγήσει στην αύξηση της παραγωγής του φυτοπλαγκτόν, εφόσον η ανάπτυξή του ευνοείται από τα θρεπτικά συστατικά. Το διαλυμένο ανόργανο άζωτο θεωρείται το κυριότερο θρεπτικό συστατικό για την ανάπτυξη του φυτοπλαγκτόν σε παράκτια θαλάσσια οικοσυστήματα (Dugdale, 1967), εκτός από μερικά παράκτια περιβάλλοντα με χαμηλή αλατότητα (Taft & Taylor, 1976; Schindler, 1981). Είναι γνωστό ότι η εισροή διαλυτών αζωτούχων συμπλόκων προκαλεί υπερπροσθήκη θρεπτικών σε παράκτια οικοσυστήματα (Ryther & Dunstan, 1971). Τα διαλυτά αζωτούχα

απόβλητα ιχθυοκαλλιεργειών (αμμώνιο και ουρία) μπορούν να συνεισφέρουν κι αυτά σε μία τέτοια υπερπροσθήκη θρεπτικών (Gowen & Bradbury, 1987).



Σχήμα 10. Η μέση ροή άνθρακα και αζώτου μέσα από μία εκτροφή σολομοειδών σε ιχθυοκλωβούς (τροποπ. από Gowen & Bradbury, 1987).

Οι βιταμίνες, όπως η βιοτίνη, είναι απαραίτητες για την υγιή ανάπτυξη των ψαριών. Η βιοτίνη είναι φωτοδιασπώμενη με χρόνο ημιζωής μία εβδομάδα περίπου (Carlucci et al., 1969). Έτσι, είναι απίθανο να συσσωρεύεται στην υδάτινη στήλη, αλλά αφομοιώνεται γρήγορα από το φυτοπλαγκτόν και μπορεί έτσι να προκαλέσει την αύξηση συγκεκριμένων ειδών (Gowen & Bradbury, 1987). Σύμφωνα με τους Gowen & Bradbury (1987), οι Turner et al. αναφέρουν ότι η βιοτίνη συγκεκριμένα εμπλέκεται στην τοξικότητα του *Gyrodinium aureolum* (δινωμαστιγιωτό ερυθρών παλιρροιών).

Η εξέλιξη των χρωστικών στο υδάτινο περιβάλλον δεν είναι γνωστή ακόμη.

Οι υπεύθυνες αρχές για την έκδοση αδειών πρέπει να υπολογίζουν την ολική εισροή θρεπτικών στο περιβάλλον και να συγκρίνουν τις ποσότητες αυτές με τα υπάρχοντα φορτία και πηγές θρεπτικών, όπως και να υπολογίζουν τις αναμενόμενες επιπτώσεις ενός ενδεχόμενα υψηλού φορτίου θρεπτικών. Για το λόγο αυτό είναι

ανάγκη να υπάρχει μία απλή και ακριβής συνάμα εξίσωση, που να υπολογίζει τα φορτία Ν και Ρ, που προκύπτουν από ιχθυοκαλλιέργειες σε κλωβούς.

4.4 Εκτίμηση του φορτίου των θρεπτικών συστατικών

Εφόσον όλες σχεδόν οι εκτροφές ψαριών σε κλωβούς χρησιμοποιούν ξηρή τροφή, μπορεί να κατασκευαστεί μία γενική εξίσωση για την εκτίμηση του φορτίου των θρεπτικών. Προϋπόθεση για να είναι μία τέτοια εξίσωση εφαρμόσιμη, είναι η γνώση παραγόντων όπως: οι κύκλοι της παραγωγής, τα διαφορετικά μεγέθη των ψαριών, η θερμοκρασία, τα ρεύματα που επικρατούν, το περιεχόμενο της τροφής σε πρωτεΐνες, λίπη, υδατάνθρακες, βιταμίνες και μέταλλα καθώς και οι διάφορες μέθοδοι παραγωγής. Οι Ackefors & Enell (1990) κατασκεύασαν δύο τέτοιες εξισώσεις προσδιορισμού του φορτίου των θρεπτικών, οι οποίες όμως δε λαμβάνουν υπόψη τους παραπάνω παράγοντες. Οι εξισώσεις για το φώσφορο (Ρ) και το άζωτο (Ν) αντίστοιχα είναι:

$$\text{kgf P} = (A \times C_{dp}) - (B \times C_{fp}) \quad \text{και} \quad \text{kgf N} = (A \times C_{dn}) - (B \times C_{fn}) \quad \text{όπου:}$$

- ↳ Α: το υγρό βάρος των ξηρών πελλετών που χρησιμοποιούνται ετησίως (με συνήθη υγρασία 8-10%).
- ↳ Β: το υγρό βάρος ψαριών που παράγονται ετησίως.
- ↳ C_d: το περιεχόμενο των ξηρών πελλετών σε Ρ (C_{dp}) και Ν (C_{dn}), εκφρασμένο ως % του υγρού βάρους.
- ↳ C_f: το περιεχόμενο των ψαριών σε Ρ (C_{fp}) και Ν (C_{fn}), εκφρασμένο ως % του υγρού βάρους.

Οι παραπάνω εξισώσεις μπορούν να εφαρμοστούν για εκτροφές ψαριών σε κλωβούς εξίσου σε γλυκά και υφάλμυρα / θαλάσσια νερά.

Οι παράμετροι *περίσσεια τροφής* και *περιττώματα* είναι απαραίτητες για τον σχεδιασμό ενός μαθηματικού μοντέλου προσδιορισμού του φορτίου του οργανικού σωματιδιακού υλικού, που προέρχεται από υδατοκαλλιεργείες. Οι ακόλουθες γενικές εξισώσεις επιτρέπουν υπολογισμούς για την ολική ποσότητα του αιωρούμενου οργανικού σωματιδιακού υλικού. Επιπλέον, οι ποσότητες του άνθρακα, αζώτου και φωσφόρου που απελευθερώνονται στο περιβάλλον μπορούν κι αυτές να

υπολογιστούν αν είναι γνωστά τα επιμέρους ποσοστά τους στην τροφή των ψαριών.

Έτσι, με δεδομένα τα παρακάτω:

- **UFW**: % απωλειών τροφής/100 (Uncaptured Feed Waste)
- **F**: % περιττωμάτων/100 (Feces)
- **CR**: ρυθμός μετατρεψιμότητας τροφής (Conversion Ratio)
- **PD**: σάρκα ψαριών που παράγεται (Production)
- **TO**: ολικό φορτίο αιωρούμενου υλικού από τις απώλειες τροφής και τα περιττώματα (Total Output of suspended solids from feed & feces)

έχουμε:

- ⇒ $TF = PD \times CR$ ολική ποσότητα τροφής που παρέχεται (Total food Fed)
- ⇒ $TFU = TF \times UFW$ ολικές απώλειες τροφής (Total Food Uncaptured)
- ⇒ $TE = TF - TFU$ ολική καταναλωθείσα τροφή (Total food Eaten)
- ⇒ $TFW = F \times TE$ ολικά περιττώματα (Total Fecal Waste)
- ⇒ $TO = TFU + TFW$ (ως άνω).

Τονίζεται ότι ο όρος **PD** είναι το ποσό της σάρκας των ψαριών που παράγεται και όχι το στοκ των ψαριών. Υπολογίζεται εύκολα με την αφαίρεση της ολικής βιομάζας μεταξύ δύο διαδοχικών χρονικών στιγμών. Ο υπολογισμός του **TO** είναι πολύ ευαίσθητος στον υπολογισμό του **CR**, καθώς ο ρυθμός μετατρεψιμότητας της τροφής αλλάζει με τις μεγάλες αλλαγές στη βιομάζα (**PD**) των ψαριών. Χρειάζονται λοιπόν ακριβείς υπολογισμοί του **CR** ώστε να γίνουν και σωστές προβλέψεις για το **O**. Μέθοδοι παροχής τροφής που μειώνουν το **UFW**, ή πιο εύπεπτες τροφές, μειώνουν το **TFW**, οπότε και το **TO**.

Τα φορτία άνθρακα, αζώτου και φωσφόρου που προέρχονται από τις απώλειες της τροφής μπορούν να υπολογιστούν από τις παρακάτω εξισώσεις:

- ⇒ $UM = TF \times UFW \times K$ (μάζα φορτίου C, N ή P από τις απώλειες της τροφής)
- ⇒ $EM = (TF - TFU) \times K \times E$ (μάζα φορτίου C, N ή P από την καταναλωθείσα τροφή)
- ⇒ $TM = UM + EM$ (ολική μάζα φορτίου C, N ή P από τις απώλειες της τροφής και την καταναλωθείσα τροφή)

όπου:

- **K**: ποσοστό (%) κάθε στοιχείου στην τροφή/100
- **E**: ποσοστό (%) κάθε στοιχείου στα περιττώματα/100.

Καθώς οι υπολογισμοί που έχουν γίνει για κάθε στοιχείο δεν μπορούν να συγκριθούν λόγω των μοναδικών συνθηκών κάθε μελέτης, παρουσιάζονται ως έχουν στον Πίνακα 12.

Πίνακας 12. Επιλεγμένοι υπολογισμοί φορτίων άνθρακα, αζώτου και φωσφόρου από διάφορες υδατοκαλλιεργητικές δραστηριότητες.

Μέγεθος φορτίου	Υπό μορφή:	Πηγή
50.88 kgf/kgf παρεχόμενης τροφής/έτος	Ολικός C	Merican & Phillips, 1985
0.734 kgf/kgf ψαριού/έτος ¹	Ολικός C	Merican & Phillips, 1985
0.028-0.162 kgf/m ² /έτος	Ολικός C	—
0.250 kgf/m ² /έτος	Ολικός C	Ansell, 1974
0.521 kgf/m ² /έτος	Οργανικός C	Pearson, ? (In: Iwama, 1991)
0.027 kgf/m ² /έτος	Ολικός C	Penczak et al., 1982
0.012 kgf/kgf ψαριού/έτος	PO ₄ ⁼ -P	Korzeniewski et al., 1982
0.036 kgf/kgf ψαριού/έτος	Ολικός P	Korzeniewski et al., 1982
0.058 kgf/kgf ψαριού/έτος	Ολικός P	Merican & Phillips, 1985
4.161 kgf/kgf παρεχόμενης τροφής/έτος	Ολικός P	Merican & Phillips, 1985
0.151 kgf/kgf παραγωγής ψαριών/έτος	Ολικός P	Partanen, 1986
1.35×10 ⁻⁴ - 0.08 kgf/m ² /έτος	Ολικός P	—
8.4×10 ⁻⁴ kgf/m ² /έτος	Ολικός P	Penczak et al., 1982
0.012 kgf/kgf ψαριού/έτος	NH ₃ -N	Korzeniewski et al., 1982
0.019 kgf/kgf ψαριού/έτος	NO ₃ ⁻ -N	Korzeniewski et al., 1982
0.015 kgf/kgf ψαριού/έτος	Οργανικό N	Korzeniewski et al., 1982
0.045 kgf/kgf ψαριού/έτος	Ολικό N	Korzeniewski et al., 1982
0.077 kgf/kgf ψαριού/έτος	Ολικό N	Merican & Phillips, 1985
5.329 kgf/kgf παρεχόμενης τροφής/έτος	Ολικό N	Merican & Phillips, 1985

⁽¹⁾: Μέσος όρος από 5 ιχθυοτροφεία.

Το μοντέλο Parametrix (1990), που αναπτύχθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες, έδειξε κι αυτό ικανοποιητική ακρίβεια. Υπάρχουν όμως ελλείψεις και σε τέτοια μαθηματικά μοντέλα, οι οποίες οφείλονται στο ότι δε λαμβάνονται υπόψη η μορφολογία του πυθμένα (κλίση, υφή, σύσταση, κοκκομετρία, κ.λ.π.), η πιθανή επαναιώρηση ιζηματοποιημένων υλικών, η επίδραση των βενθικών οργανισμών και άλλες βιολογικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στο αποτιθέμενο οργανικό

σωματιδιακό υλικό. Δεδομένα γι' αυτές τις παραμέτρους λείπουν κι επιπλέον δεν έχει ερευνηθεί επαρκώς ακόμη η σχέση που συνδέει αυτούς τους παράγοντες. Αυτά τα μοντέλα λειτουργούν ως πολύτιμα εργαλεία πρόβλεψης στην επιλογή μιας θέσης για εγκατάσταση ή την εκτίμηση της κατάστασης μιας ιχθυοκαλλιέργειας. Χρειάζεται λοιπόν περισσότερη έρευνα ώστε να ποσοτικοποιηθούν αυτές οι παράμετροι για όλους τους τύπους ιχθυοκαλλιέργειας.

Ο διαχωρισμός μεταξύ απωλειών τροφής και περιττωμάτων είναι σημαντικός, καθώς οι ρυθμοί καταβύθισης αυτών των δύο είναι διαφορετικοί, επηρεάζοντας έτσι τη διασπορά και τελικά την ποσότητα που φτάνει και αποτίθεται στον πυθμένα. Υπολογισμοί των Gowen & Bradbury (1987), όσον αφορά τους ρυθμούς καταβύθισης κόκκων τροφής, έδειξαν να κυμαίνονται μεταξύ 0.09 και 0.15m/sec, οι οποίοι είναι σημαντικά μεγαλύτεροι από αυτούς των περιττωμάτων (0.017-0.06m/sec), που υπολόγισε ο Wager-Hansen (1979). Ο Collins (1983) αναφέρει ότι λόγω αυτών των υψηλών ρυθμών καταβύθισης των κόκκων της τροφής και των περιττωμάτων δεν υπάρχει σημαντική απώλεια άνθρακα και αζώτου στο υδάτινο περιβάλλον λόγω διάλυσης ή μικροβιακής δραστηριότητας.

4.5 Θρεπτικά συστατικά και εμπλουτισμός

Σε κλειστές, προστατευμένες περιοχές, όπου δεν υπάρχουν έντονα παλιρροιακά ρεύματα, η καθίζηση του σωματιδιακού υλικού που προέρχεται από τα ιχθυοτροφεία είναι γρήγορη και ο οργανικός εμπλουτισμός γίνεται κάτω από το πεδίο εκτροφής, γιατί η διασκόρπιση είναι μικρή (Brown et al., 1987; Gowen et al., 1988). Η παραγωγή διαλυτών θρεπτικών συστατικών συνεπώς είναι σχετικά μικρή για να συμβεί υπερπροσθήκη θρεπτικών (hypernutrification) (Gowen et al., 1988). Σε περιοχές με μέτρια έως ισχυρά παλιρροιακά ρεύματα το σωματιδιακό υλικό παραμένει αιωρούμενο για περισσότερο χρονικό διάστημα. Αυτό μπορεί σταδιακά να:

- ι) προκαλέσει αποθέσεις σωματιδιακού οργανικού υλικού (Particulate Organic Matter, POM) σε ευρύτερη περιοχή από αυτήν της εκτροφής και να
- ιι) αυξήσει την ποσότητα των διαλυτών θρεπτικών που εισέρχονται στο υδάτινο περιβάλλον από το σωματιδιακό οργανικό υλικό (Frid & Mercer, 1989).

Για τον προσδιορισμό της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης σε τέτοια οικοσυστήματα λοιπόν πρέπει να είναι γνωστά τα εξής:

- ➔ οι περιοχές αποθέσεων του λεπτόκοκκου σωματιδιακού υλικού και
- ➔ η κατανομή, ανακύκλωση και μεταφορά των διαλυτών θρεπτικών συστατικών.

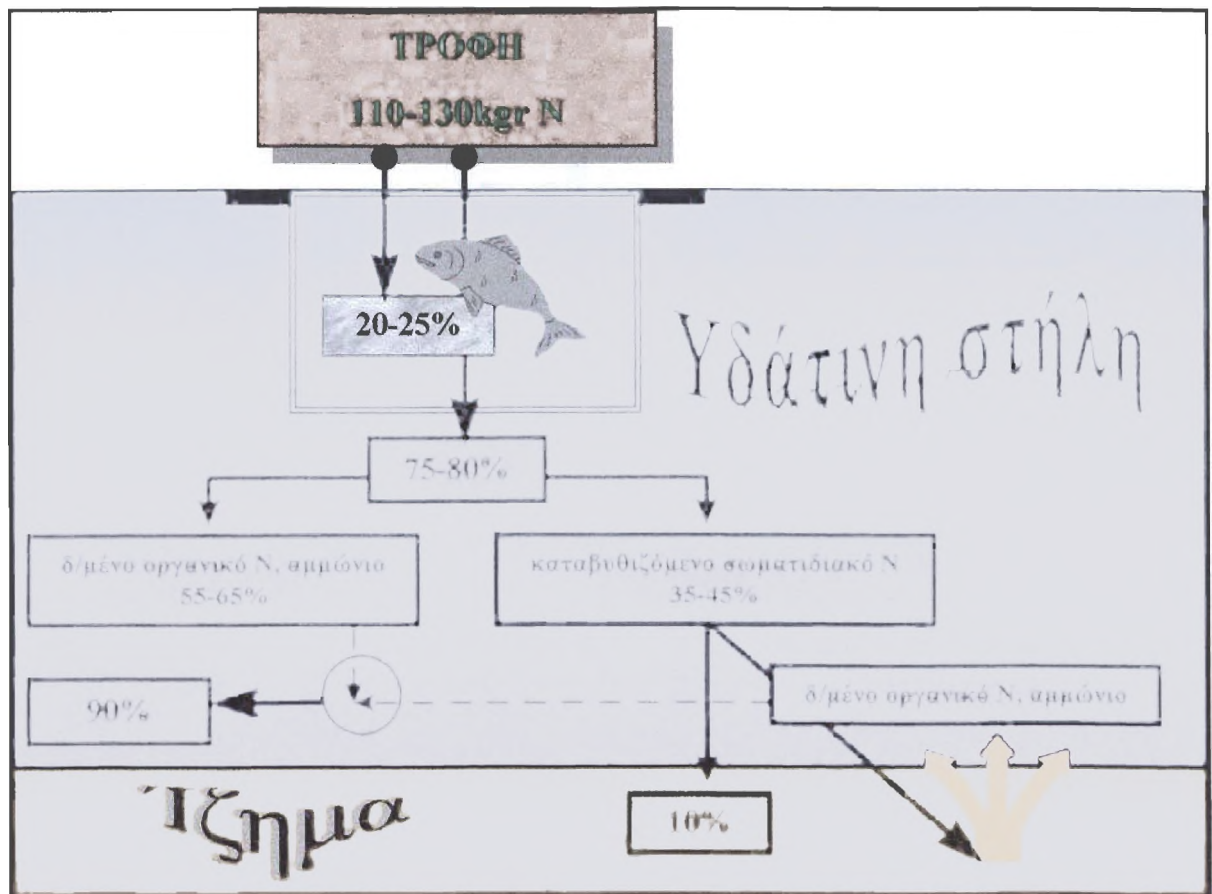
Υποθέτοντας ένα μέσο ρυθμό καταβύθισης ενός κόκκου τροφής (pellet) ίσο με 0.12m/sec (Gowen et al., 1988) και βάθη 14.5-21.5m, ο κόκκος θα χρειαζόταν 2-3min για να φτάσει στον πυθμένα, κάτω από συνθήκες μη ύπαρξης ρευμάτων και οποιασδήποτε κίνησης του νερού. Στην πραγματικότητα όμως, ο κόκκος παραμένει σε αιώρηση περισσότερο και μεταφέρεται μακριά από τη θέση εκτροφής. Κατά τη διάρκεια της μεταφοράς του υφίσταται έναν αριθμό αλλαγών· το διαλυτό μέρος της τροφής διαλύεται στην υδάτινη στήλη και ο κόκκος διασπάται σε μικρότερα κομμάτια. Αυτά τα μικρά κομμάτια οργανικού υλικού συμπεριφέρονται όπως τα λεπτόκοκκα ιζήματα και αποτίθενται όλα στις ίδιες περιοχές, σχηματίζοντας λάσπη (sludge) (Frid & Mercer, 1989).

Τα θρεπτικά που απελευθερώνονται αποτελούνται από ένα διαλυμένο κλάσμα κι ένα σωματιδιακό. Οι Ackefors & Enell (1990) υπολόγισαν ότι απελευθερώνονται 2.2kg P σε διαλυμένη μορφή και 7.3kg σε σωματιδιακή ανά τη παραγόμενων ψαριών. Ο υπολογισμός αυτός αφορά τροφή που περιέχει 0.9% P και συντελεστή μετατρεψιμότητας (FCR) ίσο με 1.5. Το σωματιδιακό κλάσμα καθιζάνει και σχεδόν όλο αποτίθεται και ενσωματώνεται στην επιφάνεια του ιζήματος. Πειράματα στο εργαστήριο, αλλά και στο πεδίο, έδειξαν ότι το 7-64% του ιζηματοποιημένου φωσφόρου μπορεί να επανεισαχθεί στην υδάτινη στήλη μέσω βιολογικών διεργασιών (π.χ. βιοαναμόχλευση) (Enell, 1987).

Σε αντίθεση με το φώσφορο, το μεγαλύτερο μέρος του φορτίου του αζώτου είναι υπό διαλυμένη μορφή (Enell, 1985), κυρίως ως ουρία και αμμωνία από τις απεκκρίσεις των ψαριών. Ο Enell (1985) αναφέρει την απελευθέρωση 61kg διαλυμένου N και 17kg σωματιδιακού για κάθε τη παραγόμενων ψαριών. Σύμφωνα με αναφορές από τους Gowen et al. (1988) υπολογίζεται ότι η παραγωγή 100tn σολομού απελευθερώνει 10.78tn αζώτου με τη μορφή διαλυτών αζωτούχων συμπλόκων. Αντίστοιχα, σύμφωνα με τον Blake (1983), ο Hambrey (1983) αναφέρει την απελευθέρωση 100tn αζώτου από την παραγωγή 100tn πέστροφας.

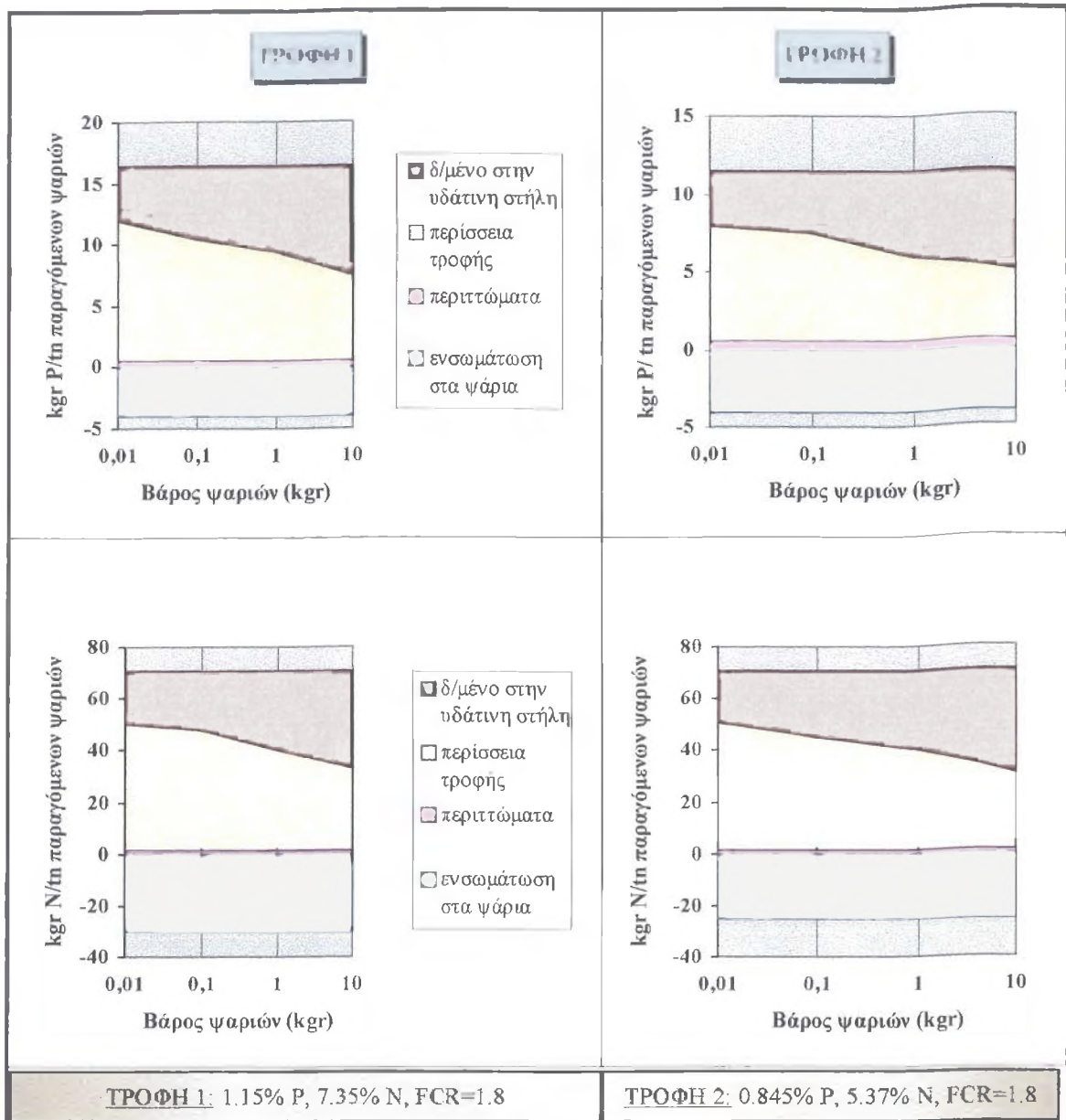
Η επίδραση των ιχθυοκαλλιεργειών στο ισοζύγιο του αζώτου έχει μελετηθεί από πολλούς ερευνητές (Penczak et al., 1982; Enell, 1985; Samuelsson, 1986; Gowen et al., 1988) και τα αποτελέσματα μπορούν να συνοψισθούν στα εξής: η τροφή που απαιτείται για την παραγωγή 1tn ψαριών περιέχει 110-130kgf άζωτο. Από αυτή την ποσότητα το 20-25% κατακρατείται από τα ψάρια και το υπόλοιπο είτε δε μεταβολίζεται, είτε μετατρέπεται σε περιττώματα (αμμώνιο και διαλυμένο οργανικό N: 55-65% και καταβυθιζόμενο σωματιδιακό N: 35-45%). Τα προϊόντα της βιοαποικοδόμησης που γίνεται στο ίζημα (διαλυμένο οργανικό N, αμμώνιο) επιστρέφουν στην υδάτινη στήλη, ώστε σταδιακά περισσότερο από 90% του αποβαλλόμενου N (90-100kgf N/tn ψαριών) να διαλύεται στην υδάτινη στήλη και λιγότερο από 10% να αφομοιώνεται από το ίζημα. Ο Blackburn (1983) αναφέρει ότι υπάρχει καθαρή παραγωγή αμμωνίου από αναερόβια ιζήματα και οι Enell & Lof (1983) υπολόγισαν ότι ο ρυθμός της απελευθέρωσης αμμωνίου κάτω από ιχθυοκλωβούς ήταν 2.6-3.3 φορές μεγαλύτερος από αυτόν σε αδιατάρακτο ίζημα. Το αμμώνιο είναι διαλυτό και απελευθερούμενο διαλύεται στην υδάτινη στήλη. Έτσι, το αμμώνιο που απελευθερώνεται από ανοξικά ιζήματα κάτω από εκτροφές σε κλωβούς συνεισφέρει στο ολικό διαλυτό άζωτο (Σχ.11).

Σε εκτροφές που γίνονται σε καναλόμορφες δεξαμενές (raceways) στην ξηρά, οι αυξημένες συγκεντρώσεις του ολικού αζώτου που παρατηρούνται κατά το πέρασμα του νερού από τις δεξαμενές, προκαλούνται από τη συνεισφορά οργανικού N και NH_4^+ , αλλά οι συγκεντρώσεις αυτές ποικίλλουν πολύ κατά τη διάρκεια της ημέρας, οπότε γίνεται και η θρέψη (Solberg & Bregnballe, 1977). Το NH_4^+ είναι κυρίως προϊόν της απέκκρισης (Brett & Groves, 1979) και περιέχει ένα σταθερότερο επίπεδο συγκέντρωσης N από αυτό που προκύπτει από το περιοδικό τσίσμα (οργανικό N) (Markmann, 1978).



Σχήμα 11. Σχηματική αναπαράσταση της εξέλιξης των απωλειών αζώτου από ιχθυοτροφές στο θαλάσσιο περιβάλλον.

Από τη στιγμή που η αποβολή P και N από μία ιχθυοκαλλιέργεια εξαρτάται από το συντελεστή μετατρεψιμότητας της τροφής και το περιεχόμενο αυτής σε φώσφορο και άζωτο, τότε τα φορτία P και N ποικίλλουν από ιχθυοτροφείο σε ιχθυοτροφείο. Επίσης, το πλαγκτόν που μεταφέρεται από τα ρεύματα μέσα στους κλωβούς μπορεί να καταναλώνεται από τα εκτρεφόμενα ψάρια. Αυτή η τροφή ως πηγή φωσφόρου όμως μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα, πρώτον λόγω του σχετικά μικρού μεγέθους του πλαγκτόν σχετικά με τον κόκκο της τροφής και δεύτερον λόγω της μεγάλης παροχής τεχνητής τροφής στα ψάρια, όπως έχει ήδη προαναφερθεί (Holby & Hall, 1991). Ο Stigebrandt (1986) υπολόγισε τη σχέση μεταξύ της ποιότητας της τροφής και των αποβλήτων από διαφορετικά μεγέθη ψαριών. Το μοντέλο αυτό δείχνει καθαρά ότι η απελευθέρωση θρεπτικών (διαλυμένη και σωματιδιακή μορφή) εξαρτάται πολύ από το περιεχόμενο της τροφής σε P και N. Το διαλυμένο κλάσμα (P και N) αυξάνει όσο αυξάνει το μέγεθος και η ηλικία του ψαριού (Διαγρ.4).



Διάγραμμα 4. Φορτία φωσφόρου (P) και αζώτου (N) από ιχθυοκαλλιέργειες σε κλωβούς, για διαφορετικά μεγέθη ψαριών και για δύο διαφορετικούς τύπους ξηρής τροφής (τροποπ. από Ackefors & Enell, 1990).

Η απελευθέρωση θρεπτικών από τις υδατοκαλλιέργειες έχει τραβήξει πολύ την προσοχή, αν και το μέγεθος των θρεπτικών που απελευθερώνεται είναι μικρό συγκρινόμενο με αυτό άλλων πηγών (π.χ. από την ατμόσφαιρα). Το φορτίο των θρεπτικών που προέρχεται από τις ιχθυοκαλλιέργειες βρέθηκε να είναι ασήμαντο σε όλες τις παράκτιες περιοχές της Σουηδίας, σε σχέση με υπόλοιπες πηγές εισόδου θρεπτικών στο υδάτινο περιβάλλον (Ackefors & Enell, 1990). Στο ίδιο συμπέρασμα κατέληξαν και οι Håkanson et al. (1988) για τις Δανικές ιχθυοκαλλιέργειες. Σε σχέση με τη συνεισφορά P και N από τις περιβαλλοντικές κατακρημνίσεις

(βροχοπτώσεις, αποθέσεις στερεών) στη Σουηδία, ο φώσφορος που προερχόταν από τις ιχθυοκαλλιέργειες ήταν 0.7% και το άζωτο ακόμη μικρότερο (0.07%) (Ackefors & Enell, 1990).

Η μεγάλη εισροή αζώτου στο περιβάλλον μπορεί να αναχαιτιστεί από τη μικροβιακή απονιτροποίηση, π.χ. την οξείδωση του NH_4^+ σε NO_2^- και NO_3^- και την επικείμενη αναγωγή τους σε αέριο άζωτο (Jenkins & Kemp, 1984). Έχει αναφερθεί ότι οι εκτροφές μυδιών ευνοούν την απονιτροποίηση μέσα στο χώρο της εκτροφής (Kaspar et al., 1985). Η πρώτη ίσως αναφορά θαλάσσιου ιζήματος χωρίς ενδείξεις απονιτροποίησης έγινε από τους Kaspar et al. (1985), οι οποίοι κατά την ανάλυση δειγμάτων ιζήματος που πάρθηκαν γύρω από πεδίο εκτροφής σολομού (*Oncorhynchus tshawytscha*) στον όρμο Crail (Νέα Ζηλανδία), κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το ίζημα δεν περιείχε καθόλου οξυγόνο. Εφόσον η απονιτροποίηση είναι αερόβια διαδικασία, τότε στο συγκεκριμένο ίζημα ήταν αναμενόμενο να μη γίνεται νιτροποίηση - απονιτροποίηση επί τόπου (in situ). Έτσι, οδηγήθηκαν στο συμπέρασμα ότι το ίζημα δε 'βοηθούσε' στην απομάκρυνση του αζώτου που προερχόταν από το ιχθυοτροφείο. Αυτό ενισχύεται και από τις ενδείξεις που υπήρχαν για κανονική λειτουργία της νιτροποίησης - απονιτροποίησης στον τελευταίο σταθμό δειγματοληψίας τους, 450m μακριά από τους κλωβούς (Kaspar et al., 1988). Η μη ύπαρξη απονιτροποίησης υπονοεί ότι περισσότερο από το 90% του αζώτου (Σχ.12), προερχόμενο από το ιχθυοτροφείο, ήταν διαθέσιμο στο φυτοπλαγκτόν. Το γεγονός αυτό μπορεί να οδηγήσει στην εκρηκτική αύξηση του φυτοπλαγκτόν (phytoplankton bloom) με αρνητικές συνέπειες για τα εκτρεφόμενα ψάρια. Ενώ η μικροβιακή απονιτροποίηση μπορεί να ισορροπεί την εισροή του αζώτου από υδατοκαλλιεργητικές δραστηριότητες, μακροχρόνια πρέπει να αναμένονται κάποιες περιοδικές και χρονικά σύντομες επιδεινώσεις της ποιότητας του περιβάλλοντος στη γύρω περιοχή της εκτροφής. Για να αποφευχθεί αυτό χρειάζεται η βελτίωση των ιχθυοτροφών ως προς τη μόλις απαραίτητη ποσότητα αζώτου (πρωτεΐνες) με το συνδυασμό προσφοράς καλού ρυθμού αύξησης. Επίσης, ένας επιπρόσθετος μηχανισμός απομάκρυνσης αζώτου θα μπορούσε να είναι και η υιοθέτηση τύπων ιχθυοκαλλιέργειας που βασίζονται στην πρωτογενή παραγωγή (φυτοπλαγκτόν) (Kaspar et al., 1988).

4.6 Ευτροφισμός

Η αυξημένη παραγωγή του φυτοπλαγκτόν μπορεί να είναι απειλή για τα εκτρεφόμενα σε κλωβούς ψάρια, αν αυτή η αύξηση περιλαμβάνει τοξικά είδη. Οι Takahashi & Fukazawa (1982) βρήκαν ότι διαφορετικά είδη φυτοπλαγκτόν ανταποκρίνονται διαφορετικά σε ποικίλες συνθήκες θρεπτικών συστατικών. Συγκεκριμένα, βρήκαν ότι η ανάπτυξη του μικρομαστιγωτού *Olithodiscus luteus* και ενός δινομαστιγωτού ευνοούταν από την παρουσία αμμωνίας. Έχει αναφερθεί ακόμα ότι οι εκρηκτικές αυξήσεις (blooms) μιας μικρής, μη αναγνωρισμένης ακόμα, χλωρομονάδας εμπλέκονταν σε θανάτους ψαριών στη Σκωτία και την Ιρλανδία (Gowen & Bradbury, 1987). Το πρόβλημα πιθανού ευτροφισμού από την υπερπροσθήκη θρεπτικών συστατικών δεν μπορεί να περιοριστεί μόνο στην εντατική εκτροφή ψαριών σε ιχθυοκλωβούς, αλλά και στην εκτροφή ψαριών σε δεξαμενές εγκατεστημένες στην ξηρά, των οποίων τα νερά απορροής εκχύνονται είτε σε ποταμούς που καταλήγουν στη θάλασσα ή/και λίμνες, είτε στην ίδια τη θάλασσα ή/και λίμνες (Foy & Rosell, 1991a). Σε γλυκά νερά έχουν αναφερθεί περιπτώσεις ευτροφισμού από αυξημένα επίπεδα διαλυμένων ανόργανων φωσφορικών, το οποίο σημαίνει ότι οι εκτροφές σε γλυκά νερά που απελευθερώνουν φωσφορικά στο περιβάλλον μπορούν να προκαλέσουν το ίδιο φαινόμενο (Bergheim et al., 1984). Τα φωσφορικά όμως δεν είναι σημαντικός παράγοντας ελέγχου της αύξησης του φυτοπλαγκτόν, οπότε δεν αποτελούν και σημαντικό απόβλητο μιας ιχθυοκαλλιέργειας από άποψη πρόκλησης πιθανών φαινομένων ευτροφισμού (Gowen & Bradbury, 1987). Για την εκτροφή σολομοειδών σε γλυκό νερό ο ευτροφισμός έχει χαρακτηριστεί ως καταστροφικός (Colby et al., 1972). Οι Gowen et al. (1988) ανίχνευσαν αυξημένα επίπεδα θρεπτικών (άζωτο και φώσφορος) κοντά σε ιχθυοκλωβούς, αλλά δε βρήκαν σημαντικές επιδράσεις στο φυτοπλαγκτόν. Αυτό μπορεί να συνέβη για τρεις λόγους:

- ι) ανεπαρκείς συγκεντρώσεις θρεπτικών, ικανών να προκαλέσουν την εκρηκτική αύξηση του φυτοπλαγκτόν,
- ii) μετακίνηση του φυτοπλαγκτόν από τα ρεύματα μακριά από τους κλωβούς και
- iii) αυξημένη κατανάλωση φυτοπλαγκτόν από το ζωοπλαγκτόν.

Ο Weston (1986) αναφέρει ότι επίδραση στο φυτοπλαγκτόν υπάρχει μόνο σε ενδοπαλιρροιακά περιβάλλοντα με μεγάλη περίοδο και πολύ υψηλές εισροές

θρεπτικών συστατικών. Οι Πήττα κ.α. (1997) αναφέρουν την αύξηση της φυτοπλαγκτονικής βιομάζας μέσα στην περιοχή των κλωβών τριών Ελληνικών ιχθυοτροφείων, γεγονός που το απέδωσαν όμως στη χρονικά περιορισμένη επίδραση τοπικά αυξημένων συγκεντρώσεων θρεπτικών στους πληθυσμούς του φυτοπλαγκτόν. Σε εύτροφα περιβάλλοντα (π.χ. κόλπος Καλλονής, Λέσβος) ένας επιτυχημένος συνδυασμός εκτροφής ψαριών σε πλωτούς ιχθυοκλωβούς και οστρακοκαλλιέργειας θα μπορούσε να συντελέσει στη διατήρηση της οικολογικής ισορροπίας του περιβάλλοντος (Κλαουδάτος κ.α., 1997).

Το φαινόμενο του ευτροφισμού είναι πιθανό σε λιμνοθαλάσσια συστήματα όταν τα υψηλά φορτία των θρεπτικών συστατικών και η μεγάλη φωτοσυνθετική δραστηριότητα υπερβούν τη βιοχημική απαίτηση σε οξυγόνο (Biochemical Oxygen Demand, BOD) τόσο, ώστε να δημιουργηθεί ένα 'υπολίμνιο' αναερόβιο στρώμα. Όμως, η υψηλή πρωτογενής παραγωγικότητα και η ανάμιξη των νερών ανεμογενώς εμποδίζουν τον ευτροφισμό σε τέτοια οικοσυστήματα (Wahby et al., 1972; Bishai & Yosef, 1977; Halim & Guerguess, 1982; Toews, 1986).

Πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι οι μελέτες των Takahashi & Fukazawa (1982) έγιναν σε συνθήκες εργαστηρίου και γενικά οι επιδράσεις των διαλυτών αζωτούχων ενώσεων και συμπλόκων στη σύνθεση των φυτοπλαγκτονικών ειδών δεν έχουν μελετηθεί αρκετά ακόμη. Επίσης, δεν υπάρχει ακόμη απόδειξη για τη σύνδεση μεταξύ εκρηκτικής αύξησης τοξικών φυτοπλαγκτονικών ειδών και υδατοκαλλιεργειών. Συνθήκες ευτροφισμού ως επίπτωση των υδατοκαλλιεργειών έχουν παρατηρηθεί σε εκτροφές κυρίως σε γλυκά νερά (Cornell & Whoriskey, 1993), αλλά και σε θαλάσσια συστήματα αν κι αυτό αποτελεί σπανιότερο φαινόμενο (Beveridge, 1996).

4.7 Οργανικός εμπλουτισμός: άνθρακας

Το οργανικό υλικό που προέρχεται από υδατοκαλλιέργειες αποτελεί τροφή για μικρότερα ψάρια, μαλάκια, ζωοπλαγκτόν, βακτήρια και άλγη. Μεγάλο ποσοστό όμως από αυτό το οργανικό υλικό, αποτιθέμενο στον πυθμένα, σχηματίζει λάσπη (sludge) σε πολλές περιοχές. Η έκταση της περιοχής του πυθμένα στην οποία αποτίθενται τα απόβλητα μιας υδατοκαλλιέργειας εξαρτάται από:

- την έκταση της μονάδας εκτροφής,
- το ρυθμό καταβύθισης των απωλειών τροφής και περιττωμάτων,
- τις εντάσεις των ρευμάτων που επικρατούν και
- το ύψος της υδάτινης στήλης κάτω από το πεδίο της εκτροφής.

Γενικά, η έκταση αυτή μπορεί να καθοριστεί από την εξίσωση:

$$D = \frac{d \times V}{v} \text{ όπου:}$$

- D: η οριζόντια απόσταση διασποράς,
- d: το ύψος της υδάτινης στήλης,
- V: ένταση ρεύματος και
- v: ο ρυθμός καθίζησης των αποβλήτων.

Τονίζεται ότι τα απόβλητα δεν προέρχονται από ένα σημείο, αλλά από οπουδήποτε μέσα στον χώρο των κλωβών.

Στα περισσότερα παράκτια θαλάσσια ιζήματα το επιφανειακό στρώμα, το οποίο περιέχει οξυγόνο, επικαλύπτει υποεπιφανειακές στρώσεις ιζήματος, στις οποίες επικρατούν ανοξικές συνθήκες. Μία από τις πρώτες επιπτώσεις του οργανικού εμπλουτισμού είναι η αύξηση της κατανάλωσης του οξυγόνου από ετεροτροφικούς οργανισμούς που ζουν στο επιφανειακό στρώμα του ιζήματος. Οι Enell & Lof (1983) μέτρησαν ρυθμούς κατανάλωσης οξυγόνου μεταξύ 45 και 55mg_l/m/h σε ιζήματα κάτω από εκτροφή ψαριών σε κλωβούς σε γλυκά νερά. Η αντίστοιχη κατανάλωση οξυγόνου σε μη διαταραγμένο ιζήμα ήταν 16mg_l/m/h. Όταν η ζήτηση για οξυγόνο υπερβαίνει την παραγωγή του, το ιζήμα καθίσταται ανοξικό και σ' αυτό το σημείο επέρχονται μεγάλες αλλαγές στη χημική σύνθεση του ιζήματος και την οικολογία του βένθους. Σε ακραίες καταστάσεις (χαμηλή αναμόχλευση και υψηλή εισροή οργανικού φορτίου), το υπερκείμενο νερό μπορεί επίσης να καταστεί ανοξικό (Tsutsumi & Kikuchi, 1983). Η άνοδος τέτοιου νερού στο στρώμα της υδάτινης στήλης όπου εκτρέφονται τα ψάρια μπορεί να είναι θανατηφόρα (Gowen & Bradbury, 1987). Κατά την απουσία του οξυγόνου, κυριαρχούν οι αναερόβιες διαδικασίες και το ιζήμα καθίσταται έντονα αναγωγικό. Η αναγωγική δυναμικότητα τέτοιων ιζημάτων εξαρτάται από το βαθμό του εμπλουτισμού και μπορεί να εκτιμηθεί με τη μέτρηση του δυναμικού οξειδοαναγωγής του ιζήματος. Δυναμικά οξειδοαναγωγής της τάξης των -150mV έχουν μετρηθεί σε ιζήματα κάτω από

ιχθυοκλωβούς (Brown et al., 1987), υποδεικνύοντας ότι οι ποσότητες των αποβλήτων από τους ιχθυοκλωβούς είναι ικανές να προκαλέσουν έντονα αναγωγικό ίζημα. Ίδιας τάξης δυναμικά οξειδοαναγωγής έχουν μετρηθεί και σε ένα Ελληνικό ιχθυοτροφείο (Κεφαλλονιά), οδηγώντας σε αναγωγικές συθήκες (Καρακάσης κ.α., 1997a). Σε μερικές περιπτώσεις αυτός ο οργανικός εμπλουτισμός έχει προκαλέσει χαμηλή παραγωγικότητα και αυξημένες θνησιμότητες των εκτρεφόμενων ψαριών, λόγω των συνθηκών που επικρατούν στα υποκείμενα ιζήματα (Braaten et al., 1983; Håkanson et al., 1988).

Η βενθική μακροπανίδα σε ιζήματα κάτω από ιχθυομάνδρες (fish pens) επηρεάζεται από τα οργανικά απόβλητα και τα αποτελέσματα είναι η μικρότερη ποικιλία ειδών και η κυριαρχία των ευνοούμενων ειδών (Ervik et al., 1985; Brown et al., 1987; Weston, 1990). Οι μεγάλες ποσότητες και οι συνεχείς αποθέσεις οργανικού υλικού κάτω από ιχθυοκλωβούς μπορούν να προκαλέσουν τη δημιουργία μιας αζωικής ζώνης, στην οποία δεν υπάρχουν μακροβενθικοί οργανισμοί (Stewart, 1984). Οι Χατζηγιάννη κ.α. (1997) δεν παρατήρησαν τέτοιες αζωικές περιοχές σε κανένα από τους σταθμούς δειγματοληψίας τους ως προς τη μακροπανίδα, κάτω από ιχθυοκλωβούς. Στην περιοχή γύρω από τη θέση εκτροφής είναι πιθανό να μειωθεί η ποικιλία της βενθικής μακροπανίδας και να υπάρξει κυριαρχία ευνοούμενων ή ευκαιριακών ειδών (opportunistic species), όπως το *Capitella capitata*, το οποίο είναι ενδεικτικό ιζημάτων εμπλουτισμένων με οργανικό υλικό (Belan, 1970). Αυξημένες συγκεντρώσεις ευκαιριακών ειδών παρατήρησαν και οι Χατζηγιάννη κ.α. (1997) κάτω από Ελληνικά ιχθυοτροφεία με πλωτούς ιχθυοκλωβούς. Η επέκταση αυτής της αζωικής ζώνης είναι μία ζώνη στην οποία ο εμπλουτισμός ευνοεί την ανάπτυξη των οργανισμών (μεταβατική ζώνη). Οι Frid & Mercer (1989) παρατήρησαν την έντονη παρουσία της θαλάσσιας ανεμώνης *Actinothoe sphyrodeta* 10-25m (προς τη φορά του ρεύματος) μακριά από μία μονάδα εκτροφής πέστροφας στο Milford Haven (Ουαλία). Η παρουσία της ανεμώνης στη συγκεκριμένη απόσταση συνδέθηκε με το γεγονός ότι μπορεί να ωφελείται από την περίσσεια τροφής και οργανικού υλικού από το ιχθυοτροφείο. Οι Johnsen et al. (1993) αναφέρουν την υπεροχή του αριθμού των βακτηρίων στο ίζημα κάτω από κλωβούς εκτροφής σολομού στη Νορβηγία, σε σχέση με άλλα δείγματα που είχαν παρθεί σε απόσταση από το ιχθυοτροφείο. Οι Hall et al. (1990) αναφέρουν ότι το ίζημα κάτω από ιχθυοκλωβούς με πέστροφα στο φιόρδ Gullmar (Δυτική Σουηδία) ήταν

εμπλουτισμένο με οργανικό άνθρακα 10-15 φορές περισσότερο από ίζημα ευρισκόμενο 20m μακριά από το πεδίο εκτροφής. Σε ένα άκρο του ιχθυοτροφείου μάλιστα, παρατηρήθηκαν πολύ χαμηλότερες συγκεντρώσεις οργανικού άνθρακα μόλις στα 5-10m από το πεδίο εκτροφής. Ένας τρόπος μείωσης του οργανικού άνθρακα στο ίζημα κάτω από ιχθυοκλωβούς, είναι η τροφή που πέφτει από τους κλωβούς να καταναλώνεται από άγριους πληθυσμούς ψαριών και μακροβενθικής πανίδας.

Η φύση του ιζήματος μπορεί να αλλάξει από την καθίζηση και απόθεση σωματιδιακού υλικού προερχόμενο από ιχθυοτροφεία. Η αύξηση της συγκέντρωσης της οργανικής ύλης του ιζήματος μπορεί να προκαλέσει αλλαγές στις φυσικές ιδιότητές του. Μπορεί, για παράδειγμα, να του αυξήσει το ιξώδες, μετατρέποντας το ίζημα ανθεκτικό στη διάβρωση από τα ρεύματα, οξύνοντας το πρόβλημα της ιζηματοποίησης κάτω από ιχθυοκλωβούς (Iwama, 1991). Αυτό μπορεί να προκαλέσει την ανύψωση του πυθμένα κατά 30-50cm ετησίως (Pillay, 1992).

Ο ρυθμός ιζηματοποίησης του σωματιδιακού υλικού είναι ένας παράγοντας που καθορίζει το βαθμό των επιπτώσεων στο περιβάλλον. Οι μικροί ρυθμοί ιζηματοποίησης ευνοούν την παραγωγικότητα των βενθικών οργανισμών, λόγω προσθήκης διαλυμένων θρεπτικών συστατικών στο νερό, αλλά οι μεγάλοι ρυθμοί στρεσάρουν οργανισμούς όπως τα δίθυρα μαλάκια. Αυτό συμβαίνει γιατί το αποτιθέμενο υλικό φράσσει τα αναπνευστικά όργανα των οργανισμών. Στη χειρότερη περίπτωση οι βενθικοί οργανισμοί θάβονται (Pearson & Rosenberg, 1978). Στην εκτροφή μυδιών σε πασσάλους (τύπος 'bouchot') υπάρχει έντονη ιζηματοποίηση του αποτιθέμενου υλικού, λόγω του μικρού ρυθμού ανανέωσης και ροής του νερού ανάμεσα από τους πασσάλους και τα εκτρεφόμενα δίθυρα, με αποτέλεσμα να έχει παρατηρηθεί κάλυψη των πασσάλων με ίζημα μέχρι και του μισού ύψους τους (Ottman & Sornin, 1985).

Οι Enell & Lof (1983) μέτρησαν ρυθμούς ιζηματοποίησης της τάξης των 17-26gr ξηρού υλικού ανά ημέρα σε ίζημα κάτω από ιχθυοκλωβούς σε γλυκό νερό, έναντι 2.3-3.6gr ξηρού υλικού ανά ημέρα σε αδιατάρακτο ίζημα. Παρόμοια αποτελέσματα έχουν βρει και οι Merican & Phillips (1985). Όμως, τόσο υψηλοί ρυθμοί ιζηματοποίησης αποκλείεται να προκαλούνται μόνο από τις απώλειες τροφής· πιθανόν να συνεισφέρει κι ένα σημαντικό ποσοστό των περιττωμάτων, που αποτίθεται κάτω από το πεδίο εκτροφής (Gowen & Bradbury, 1987).

Οι Aure & Stigebrandt (1989a) υποθέτουν ότι ο ρυθμός αποικοδόμησης του οργανικού υλικού στο ίζημα είναι ανάλογος του πάχους του στο ίζημα. Αυτό σημαίνει ότι το πάχος του ιζήματος θα συνεχίζει να αυξάνεται μέχρι να επέλθει το σημείο ισορροπίας μεταξύ απόθεσης οργανικού υλικού και αποικοδόμησης (Aure & Stigebrandt, 1990). Από διάφορες μετρήσεις παχών ιζημάτων (Aure & Stigebrandt, 1990; Hall et al., 1990) προέκυψε ότι αποικοδομείται το 10% περίπου του οργανικού υλικού στο στρώμα του ιζήματος. Αυτός ο χαμηλός ρυθμός αποικοδόμησης υποδηλώνει ότι το ίζημα θα χρειαστεί τουλάχιστον 15 χρόνια από την έναρξη της υδατοκαλλιεργητικής δραστηριότητας για να φτάσει το 80% του θεωρητικού πάχους στο οποίο επέρχεται η προαναφερθείσα ισορροπία, με την προϋπόθεση ότι οι ετήσιες αποθέσεις περίσσειας τροφής και περιττωμάτων στο ίζημα, συνεπώς η ιζηματογένεση, είναι σταθερές.

Διάφορες 'τεχνικές' μέτρησης της ρύπανσης υιοθετήθηκαν, αρχικά για γλυκά νερά και χρησιμοποιήθηκαν για την πρόβλεψη των επιπτώσεων των οργανικών και ανόργανων θρεπτικών σε λεκάνες γλυκού νερού, συμπλέγματα εκβολών και θαλάσσιους κόλπους με μικρό ρυθμό εναλλαγής νερού. Τέτοιες 'τεχνικές' μέτρησης είναι ο ευτροφισμός (eutrophication), τα φορτία N και P, το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD), και τα ανθρώπινα ισοδύναμα οργανικών αποβλήτων (person equivalents). Αυτές οι 'τεχνικές' είναι πολύ χρήσιμες ιδίως για τον καθορισμό της δυναμικότητας (carrying capacity) ενός αποδέκτη και του ποσού των αποβλήτων που θα προκαλέσουν την εκρηκτική αύξηση του φυτοπλαγκτόν και συνεπώς αναερόβιων συνθηκών στο νερό. Αυτές οι τεχνικές έχουν υιοθετηθεί και για συνθήκες ανοικτής θάλασσας (Raa & Liltved, 1991). Η ρύπανση από την παραγωγή 50tn πέστροφας λέγεται ότι αντιστοιχεί με αστικά λύματα 7500 ανθρώπων (Håkanson et al., 1988). Αυτό όμως βασίζεται στην υπόθεση ότι τα λύματα έχουν περάσει από βιολογικό καθαρισμό κι έχει αφαιρεθεί το 90% του περιεχόμενου φωσφόρου. Όμως, τα 'λύματα' μιας υδατοκαλλιέργειας δεν μπορούν να συγκριθούν με τα αστικά λύματα, κυρίως λόγω της διαφορετικής αναλογίας C:N:P και των σημαντικών διαφορών μεταξύ καταβυθιζόμενων και διαλυτών αποβλήτων (Rosenthal et al., 1988). Έτσι, η χρησιμοποίηση των ανθρώπινων ισοδύναμων (person equivalents) δεν αποτελεί αξιόπιστη μέθοδο εκτίμησης των αποβλήτων που προέρχονται από μία υδατοκαλλιέργεια. Επίσης, ο υπολογισμός της απαίτησης σε οξυγόνο (Oxygen

Demand) είναι γενικά δύσκολος και προτείνεται η χρησιμοποίηση μονο- (Stigebrandt, 1986; Persson, 1987).

4.8 Δείκτες οργανικού εμπλουτισμού

Υπάρχουν μερικοί δείκτες των επιδράσεων του σωματιδιακού οργανικού υλικού στη χημική σύσταση και οικολογία του πυθμένα (Fenchel & Riedl, 1970; Pearson & Rosenberg, 1978). Αυτοί περιλαμβάνουν οπτικές, φυσικές και χημικές αλλαγές του ιζήματος σε σχέση με μη διαταραγμένο ιζήμα της ίδιας περιοχής. Κανονικά, καλά οξυγονωμένα ιζήματα έχουν χρώμα ελαφρά καφέ έως γκρι, ενώ ανοξικά ιζήματα είναι από σκούρο γκρι έως μαύρα. Τα σκούρα αυτά χρώματα σχετίζονται και με παρουσία υδρόθειου, το οποίο παράγεται μέσα στο ιζήμα λόγω της αναερόβιας αποικοδόμησης της οργανικής ύλης. Ιζήματα ελαφρώς εμπλουτισμένα έχουν ένα πορτοκαλί έως κόκκινο χρώμα. Σε μία έρευνα των Earll et al. (1984) για τις επιπτώσεις 25 ιχθυοτροφείων στο περιβάλλον βρέθηκαν σκουρόχρωμα ιζήματα κάτω από τις περισσότερες μονάδες, οι οποίες ήταν εγκατεστημένες σε ρηχές περιοχές (μέσος όρος βαθών = 9.5m). Άλλη οπτική ένδειξη εμπλουτισμένων ιζημάτων κάτω από εκτροφές ψαριών και μαλακίων είναι οι αλλαγές στη βενθοκοινωνία. Η παρουσία άσπρων ταπήτων που αποτελούνται από νηματώδη, θειοτροφικά βακτήρια του γένους *Beggiatoa spp.* αναφέρονται συχνά κάτω από ιχθυοκλωβούς. Τα βακτήρια αυτά έχουν αναφερθεί ότι έχουν καλύψει το 40-50% της περιοχής κάτω από εντατικές εκτροφές μυδιών στη Σουηδία (Dahlback & Gunnarsson, 1981). Οι Earll et al. (1984) ανέφεραν την παρουσία ενός δακτυλίου από *Beggiatoa spp.* γύρω από μερικά ιχθυοτροφεία σε διάμετρο 10-15m από την περίμετρο των κλωβών. Το σημαντικό είναι ότι μέσα σ' αυτήν την περιοχή υπήρχαν νεκροί αστερίες, γυμνοβράγχια και ολοθούρια. Οι Καρακάσης κ.α. (1997b) εντόπισαν τάπητες τύπου *Beggiatoa* κάτω από τους ιχθυοκλωβούς σε ιχθυοτροφείο στην Κεφαλλονιά. Τέτοιοι τάπητες αποτελούν ένδειξη επικράτησης ανοξικών συνθηκών και υπέρβαση των δυνατοτήτων της βενθοκοινωνίας να ανταποκριθεί στο μεταβολισμό του αυξημένου οργανικού υλικού. Η αφθονία των βενθικών ειδών *Chironomus plumosus*, *Chironomus anthracinus*, *Macoma baltica* και *Potamothrix hammoniensis* έχουν συσχετιστεί με παρουσία οργανικού υλικού από υδατοκαλλιεργητικές δραστηριότητες (Partanen, 1986; Dobrowolski, 1987). Οι

αλλαγές στη μακροπανίδα του βένθους χρησιμοποιούνται ευρέως για τον έλεγχο των επιπτώσεων και το βαθμό της ρύπανσης που έχει υποστεί κάποια περιοχή από τα απόβλητα υδατοκαλλιεργητικών δραστηριοτήτων. Οι Henderson & Ross (1995) ξεχωρίζουν τέσσερις ζώνες ρύπανσης ανάλογα με την αφθονία των κυρίαρχων βενθικών οργανισμών. Η Ζώνη 1 αφορά πολύ επιβαρυνμένες περιοχές. Σε αυτές τις περιοχές τα κυρίαρχα είδη της βενθοκοινωνίας αποτελούσαν το 90-100% της ολικής αφθονίας των ειδών. Η Ζώνη 2 αφορά περιοχές αρκετά επιβαρυνμένες. Το ποσοστό των κυρίαρχων ειδών του βένθους αποτελούσε το 70-90% της ολικής αφθονίας της πανίδας. Η Ζώνη 3 αφορά λίγο επιβαρυνμένες περιοχές και το αντίστοιχο ποσοστό ήταν μεταξύ 50 και 70%. Η τελευταία ζώνη (Ζώνη 4) αφορά μη επιβαρυνμένες περιοχές, όπου η αφθονία των ειδών είναι ποικίλη. Πρέπει να τονισθεί ότι τα στοιχεία αυτά δεν αποτελούν ένα μοντέλο εκτίμησης της ρύπανσης για οποιαδήποτε περιοχή, αλλά τα αποτελέσματα εκτεταμένων ερευνών του Clyde River Purification Board (CRPB) (Γλασκώβη).

4.9 Παράγοντες μείωσης και τεχνικές εκτίμησης των επιπτώσεων του εμπλουτισμού

Η διευθέτηση των ιχθυοκλωβών στο χώρο και ο προσανατολισμός τους σε σχέση με τα επικρατούντα διερχόμενα ρεύματα φαίνεται ότι παίζει σημαντικό ρόλο στη συσσώρευση του οργανικού υλικού. Για παράδειγμα, ενώ δύο ιχθυοτροφεία σε διαφορετικές περιοχές της Ελλάδας (Ιθάκη και Σούνιο) είναι τοποθετημένα και τα δύο σε ανοικτές περιοχές με αδρόκοκκο ίζημα, η συγκέντρωση οργανικού υλικού στην πρώτη μονάδα (Ιθάκη) είναι μεγαλύτερη. Αυτό συνδέεται με την τοποθέτηση των κλωβών εκτροφής σ' έναν ορμίσκο, ο οποίος προστατεύει τις εγκαταστάσεις εκτροφής για μία περίοδο του χρόνου από τα ρεύματα, ενώ η ύπαρξη τριών συστοιχιών κλωβών εμποδίζει την περαιτέρω διασκόρπιση του οργανικού υλικού (Καρακάσης κ.α., 1997a). Μεγάλα βάθη κάτω από πεδία εκτροφής σε ιχθυοκλωβούς επιτρέπουν στα επικρατούντα ρεύματα να διαλύουν και να διασκορπίζουν το αποβαλλόμενο σωματιδιακό υλικό περισσότερο απ' ό,τι σε ρηχότερες περιοχές. Ταυτόχρονα, ο βαθμός της διασποράς του υλικού αυτού θα είναι ευθέως ανάλογος της έντασης των ρευμάτων. Οι Weston & Gowen (1988) προτείνουν ότι εντάσεις ρευμάτων πάνω από 24cm/sec είναι ικανές να απομακρύνουν τα απόβλητα που προκαλούνται από ιχθυοτροφεία. Η κλίση του πυθμένα μπορεί να επηρεάσει την

εναλλαγή και κυκλοφορία του νερού καθώς επίσης και το βαθμό της απόθεσης των σωματιδίων στον πυθμένα. Είναι αυτονόητο ότι η επίδραση των αποβλήτων θα είναι μεγαλύτερη σε έναν τελείως επίπεδο πυθμένα απ' ότι σ' έναν με μεγάλη κλίση. Η ποικιλότητα της βενθοκοινωνίας παίζει επίσης σημαντικό ρόλο. Ένας παραγωγικός πυθμένας, όσον αφορά το βένθος, μπορεί να μεταβολίζει και να αφομοιώνει περισσότερα απόβλητα που προέρχονται από μία υπερκείμενη εκτροφή ψαριών, απ' ότι ένας λιγότερο παραγωγικός. Οι Weston & Gowen (1988) παρατήρησαν σημαντικές επιπτώσεις στον πυθμένα όταν ο ρυθμός εισροής οργανικού υλικού στο περιβάλλον υπερέβαινε τα 1,8-4 grC/m²/ημέρα. Εκτός από την επιστημονική παρακολούθηση (monitoring) του βένθους, οι Frid & Mercer (1989) προτείνουν και τη βιολογική παρακολούθηση και τον έλεγχο της χημικής σύστασης του ιζήματος (αναλογίες C:N, δυναμικά οξειδοαναγωγής) σε αποθέσεις λεπτόκοκκου σωματιδιακού υλικού, κοντινές με την εκτροφή. Για ενδοπαλιρροιακές περιοχές με περίοδο πάνω από 48h προτείνουν και τον έλεγχο της χημικής σύστασης του νερού. Μερικό ποσοστό από τις απώλειες της τροφής πιθανόν να καταναλώνεται από άγριους πληθυσμούς ψαριών. Δεν έχουν γίνει υπολογισμοί για το μέγεθος αυτής της κατανάλωσης, αλλά είναι φανερό ότι εξαιτίας του γεγονότος αυτού οι ποσότητες άνθρακα και αζώτου που αποτίθενται στον πυθμένα μειώνονται σημαντικά. Επιπλέον, η εύκολη διάλυση των σωματιδίων των περιττωμάτων σε μικρότερα τεμάχια μπορεί επίσης να μειώσει την ποσότητα των αποβλήτων που αποτίθενται στον πυθμένα. Βέβαια, τα παραπάνω ισχύουν για εκτροφές σε ιχθυοκλωβούς και δεν είναι άμεσα συγκρίσιμα με εκτροφές σε δεξαμενές στην ξηρά, λόγω των διαφορετικών συνθηκών που επικρατούν.

Για την περαιτέρω μείωση των φορτίων αζώτου και φωσφόρου μπορούν να γίνουν βελτιώσεις σε τέσσερις τομείς:

- στις μεθόδους θρέψης των ψαριών,
- στη σύνθεση των ιχθυοτροφών,
- στις τεχνικές εκτροφής και
- στη διαθέσιμη τεχνολογία.

Οι μέθοδοι θρέψης που ακολουθούνται σήμερα είναι:

- ⊖ η παροχή τροφής με το χέρι,
- ⊖ οι αυτόματοι διανομείς τροφής (ρυθμιζόμενοι με το χρόνο ή ρίψη τροφής προκαλούμενη από τα ψάρια) και

☉ η παροχή τροφής ρυθμιζόμενη από ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Η τελευταία τεχνική επιτρέπει την προσαρμογή του κύκλου της διατροφής ανάλογα με τις συνθήκες του φωτός και τον ημερήσιο φυσιολογικό κύκλο των ψαριών. Η τεχνική αυτή έχει αποδειχθεί ότι μειώνει την απαραίτητη ποσότητα της τροφής σε σχέση με την αύξηση των ψαριών. Επιπλέον, οι εκτροφείς έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούν τροφές που επιπλέουν και διοχετεύονται στους ιχθυοκλωβούς από τον πυθμένα. Αυτό επιτρέπει στον εκτροφέα να ελέγχει αν έχει ριχθεί πολλή τροφή ή όχι (Ackefors & Enell, 1990). Βλέπουμε λοιπόν ότι υπάρχει μία στροφή της τεχνολογίας προς τη μείωση των αποβλήτων που προκαλούνται από την περίσσεια τροφής, αλλά και από την ίδια τη σύνθεσή της. Έρευνες έχουν δείξει ότι το περιεχόμενο της τροφής σε φώσφορο για πέστροφα μπορεί να μειωθεί στα 4gr/kgf ξηρού βάρους τροφής, χωρίς επίδραση στο ρυθμό αύξησης των εκτρεφόμενων ψαριών (Wiesmann et al., 1988). Στη Φινλανδία, ενώ η παραγωγή ψαριών έχει αυξηθεί κατά το τριπλάσιο, τα επίπεδα του φωσφόρου που απελευθερώνονται είναι τα ίδια (Anonymous, 1988). Αυτό οφείλεται στη μείωση του συντελεστή μετατρεψιμότητας των τροφών και του περιεχόμενου των τροφών σε φώσφορο, δίνοντας έτσι μεγαλύτερη παραγωγή ψαριών ανά μονάδα P που απελευθερώνεται στο περιβάλλον (Ackefors & Enell, 1990). Αντίθετα, το περιεχόμενο των τροφών σε άζωτο δεν έχει μειωθεί, επομένως και το φορτίο του N έχει αυξηθεί αναλογικά κατά τρεις φορές. Για να μειωθεί η υπερπροσθήκη θρεπτικών (hypernutrification) έχει προταθεί η βελτίωση των τροφών με τη μείωση των επιπέδων του N (πρωτεΐνες) και του P. Αυτό θα οδηγούσε στην αναλογική αύξηση του αμύλου και των άλλων υδατανθράκων στην τροφή. Η επίδραση των υδατανθράκων, οι οποίοι αποτελούν το 23% των τροφών για τα περισσότερα εκτρεφόμενα είδη (στοιχεία συγγραφέων από τη Δ.Ε.Θ. Αλιία '95), σπάνια αναφέρεται στη διεθνή βιβλιογραφία. Είναι γνωστό ότι τα σάκχαρα (sugars), συμπεριλαμβανομένου και του αμύλου, που αποτελεί το 15-20% σε όλες τις ιχθυοτροφές, ευνοούν την ανάπτυξη των θαλάσσιων βίμπριο, συμπεριλαμβανομένου και του *Vibrio anguillarum* (Raa & Liltved, 1991). Για το λόγο αυτό, οι υδατάνθρακες θα έπρεπε να τυγχάνουν του ίδιου ερευνητικού ενδιαφέροντος όπως και το άζωτο. Εξάλλου, το άμυλο είναι τελείως ξένο συστατικό για το θαλάσσιο περιβάλλον. Η μείωση του N, που προέρχεται από υδατοκαλλιεργείες μπορεί να ελαττωθεί με μία ιδανική αναλογία πρωτεϊνών και ενεργειακού περιεχομένου, το οποίο όμως πρέπει να γίνει για κάθε είδος

εκτρεφόμενου ψαριού και στάδιο εξέλιξής του. Εξάλλου, μία ισορροπημένη διαίτα εκπληρώνει τις ενεργειακές απαιτήσεις των ειδών μέσω των υδατανθράκων και των λιπών και όχι των πρωτεϊνών. Έτσι, σε πολλές περιπτώσεις είναι εφικτή η μείωση του ποσοστού των πρωτεϊνών στις τροφές, οπότε και της αμμωνίας που απεκκρίνεται από τα ψάρια (Ackefors & Enell, 1990).

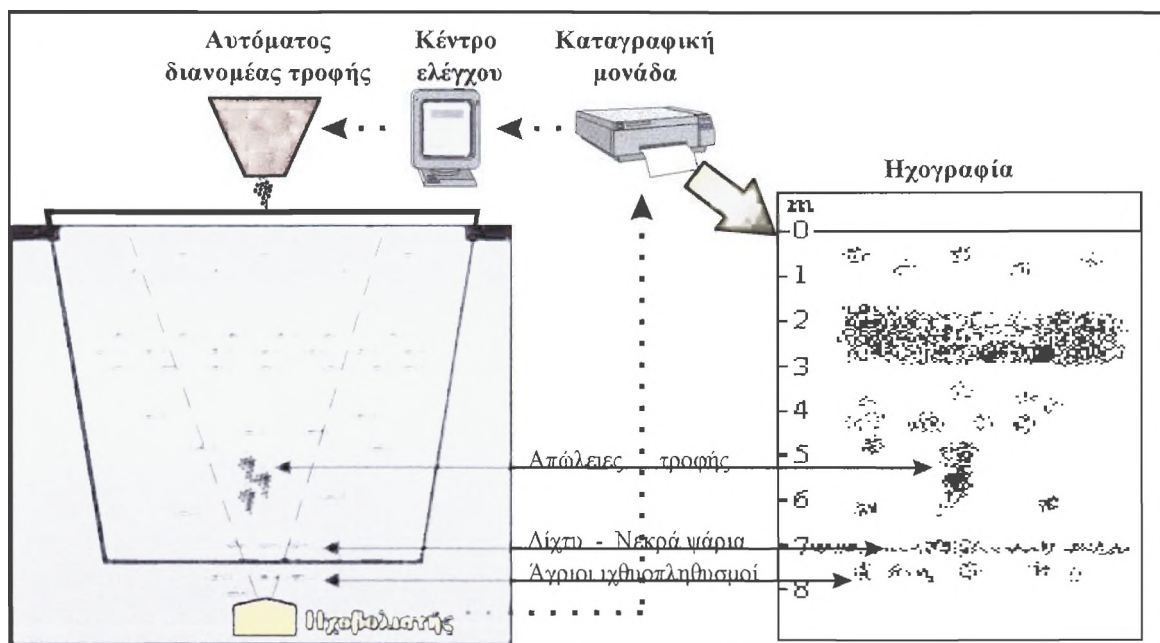
Έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες τεχνικές για τη μείωση του εμπλουτισμού με θρεπτικά συστατικά κάτω από ιχθυοκλωβούς (Braaten et al., 1983; Enell et al., 1984; Gowen & Bradbury, 1987), αλλά κάθε μία από αυτές είχε προβλήματα (οικονομικής ή τεχνικής φύσεως).

Επίσης, έχουν γίνει μερικές προσπάθειες να συλλέγονται τα περιττώματα και οι απώλειες τροφής από ιχθυοκλωβούς, με τη χρήση σάκων τοποθετημένων κάτω από τους κλωβούς (Enell et al., 1984; Carlsson, 1985). Η μέθοδος όμως εγκαταλείφθηκε λόγω του κόστους και της δύσκολης εφαρμογής της σε κακοκαιρία.

Για εγκαταστάσεις στην ξηρά μία εφικτή μείωση του απαιτούμενου νερού της τάξης του 50-80% μπορεί να γίνει με τη χρήση αερισμού και οξυγόνωσης. Προς το παρόν ο διαχωρισμός των οργανικών σωματιδίων (10%) γίνεται με τη χρήση φίλτρων, ενώ το υπόλοιπο 90% αποχύνεται στον αποδέκτη (Braaten, 1991). Έχουν δοκιμαστεί διάφορα φίλτρα και μελέτες των Bergheim et al. (1991) έδειξαν ότι μπορούν να απομακρυνθούν 50-150gr οργανικού υλικού/kgf παρεχόμενης ξηρής τροφής με τη χρήση μικροκόσκινων (microsieves). Η συνεχής απομάκρυνση οργανικών σωματιδίων δημιουργεί μεγάλους όγκους λάσπης (sludge), η οποία πρέπει να επεξεργαστεί. Δεν υπάρχει όμως αρκετή εμπειρία στην επεξεργασία και απόρριψη τέτοιας λάσπης που προέρχεται από υδατοκαλλιεργητικές δραστηριότητες. Έχουν σχεδιαστεί όμως μονάδες επεξεργασίας και ανακύκλωσης για χέλια, μικρούς σολομούς και λαβράκια στη Γερμανία, Ολλανδία, Δανία, Νορβηγία και Σουηδία με επιτυχία (Braaten, 1991).

Η χρήση ηχοβολιστικού εξοπλισμού σε συνδυασμό με αυτόματο διανομέα τροφής έδειξε εξίσου πολύ καλά αποτελέσματα (Braaten, 1991). Από την ερμηνεία των ηχογραφιών φάνηκε ότι τα ψάρια κατέβαιναν προς τα χαμηλότερα σημεία του κλωβού όταν μειωνόταν η όρεξή τους. Σ' αυτό το σημείο δινόταν εντολή στον αυτόματο διανομέα να σταματήσει την παροχή τροφής (Σχ.13). Με αυτόν τον τρόπο μειώνονταν οι απώλειες από την υπερβολική ρίψη τροφής στον κλωβό σε ψάρια που είχαν ήδη 'χορτάσει'. Για το παραπάνω σύστημα έχει σχεδιαστεί και το απαραίτητο

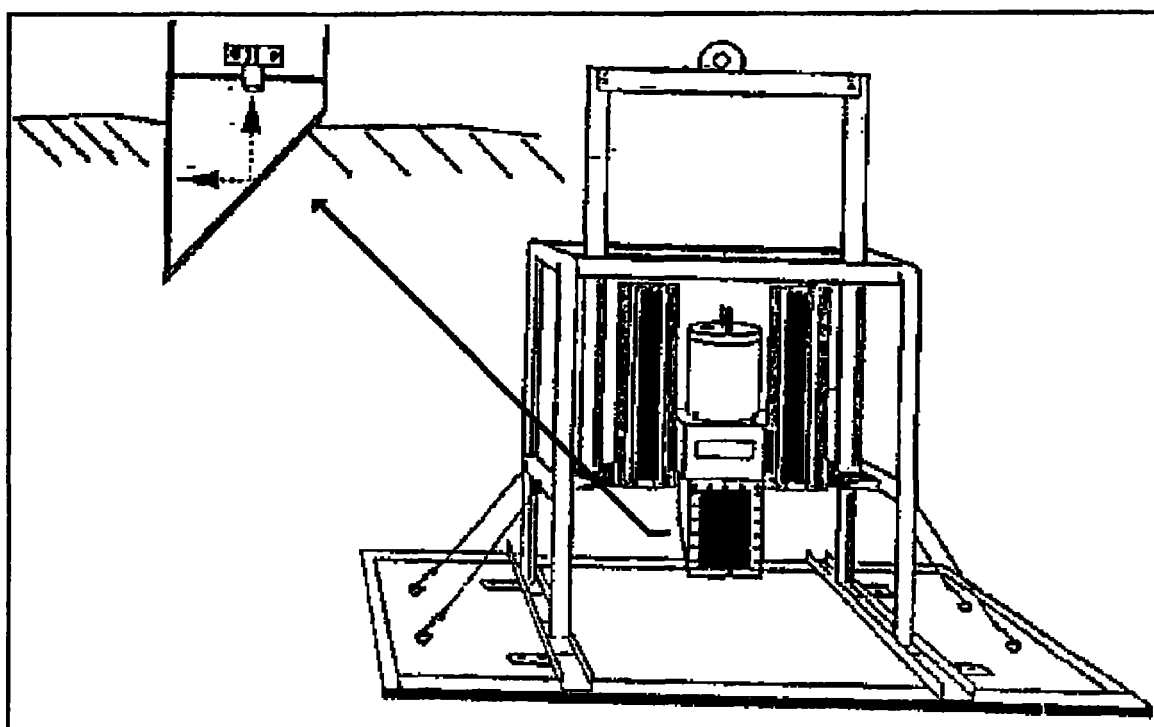
λογισμικό, το οποίο ρυθμίζει την παροχή της τροφής ανάλογα με την όρεξη των ψαριών (Juell et al., 1990). Το αντίστοιχο που συμβαίνει στην παροχή τροφής με το χέρι, είναι η οπτική παρατήρηση της συμπεριφοράς των ψαριών από τον ιχθυοκόμο που ρίχνει την τροφή. Σε περίπτωση κακοκαιρίας όμως (κυματισμός, συννεφιά, σκούρα νερά) είναι δύσκολη η οπτική παρακολούθηση των ψαριών κι εδώ είναι που μειονεκτεί ο άνθρωπος απέναντι στο σύστημα αυτό.



Σχήμα 13. Σχηματική απεικόνιση της χρήσης ηχοβολιστικού συστήματος σε συνδυασμό με αυτόματη διανομή τροφής, με σκοπό την παρακολούθηση της τροφής και τον έλεγχο των απωλειών (τροποπ. από Juell et al., 1990).

Η **REMOTS[®]** (**R**emote **E**cological **M**onitoring **O**f **T**he **S**ea**f**loor) είναι μία επίσημη και στανταρισμένη τεχνική ανάλυσης προφίλ ιζημάτων (Rhoads & Germano, 1982, 1986). Μία φωτογραφική μηχανή υποδομής πυθμένα (Benthos, Model 3731) είναι σχεδιασμένη για την επί τόπου λήψη φωτογραφιών της υποδομής των πρώτων 15-20cm του ιζήματος. Η κάμερα, λειτουργώντας ως ένα ανεστραμμένο περισκόπιο, αποτελείται από ένα σφηνοειδές πρίσμα με μία εμπρόσθια πλάκα κι έναν οπίσθιο καθρέφτη με κλίση 45°, ώστε να ανακλάται η εικόνα της υποδομής του ιζήματος στη φωτογραφική μηχανή, που είναι προσαρτημένη οριζόντια πάνω από το πρίσμα (Εικ.5). Το όλο σύστημα (πρίσμα, κάμερα) έχει την ιδιότητα με τη βοήθεια συρματόσχοινων να εισέρχεται σιγά-σιγά και σταθερά στον πυθμένα, έτσι ώστε να

μη διαταράσσει το ιζήμα. Όταν το πρίσμα κάνει την πρώτη του επαφή με το ιζήμα, ενεργοποιείται το κλείστρο της κάμερας, το οποίο μετά από 13sec δίνει εντολή στο διάφραγμα να πάρει τη φωτογραφία. Επειδή η εμπρόσθια πλάκα του πρίσματος βρίσκεται σε άμεση επαφή με το ιζήμα, η θολερότητα του περιβάλλοντος νερού δεν επηρεάζει την ποιότητα της φωτογραφίας. Όταν ληφθεί η φωτογραφία, η κάμερα ανεβάζεται, καθαρίζεται από τη λάσπη, προωθείται το φιλμ και είναι έτοιμη για την επόμενη φωτογράφιση.



Εικόνα 5. Η φωτογραφική μηχανή προφίλ ιζήματος Benthos Model 3731, για τη λήψη δεδομένων της REMOTS®.

Οι μετρήσεις όλων των φυσικών και μερικών βιολογικών παραμέτρων της REMOTS® γίνονται κατευθείαν από τα αρνητικά φιλμ, με τη βοήθεια ψηφιοποιητή βίντεο και προγράμματος επεξεργασίας εικόνων σε Η/Υ. Το πρόγραμμα που έχει σχεδιαστεί μπορεί να 'διακρίνει' 256 αποχρώσεις του γκρι· έτσι, ακόμη και μικρές λεπτομέρειες της δομής του ιζήματος μπορούν να ψηφιοποιηθούν και να αναλυθούν.

Μερικοί παράμετροι που μετρήθηκαν σε μία έρευνα (δυτική ακτή Ιρλανδίας) με τη χρήση της τεχνικής REMOTS® (O'Connor et al., 1989) ήταν:

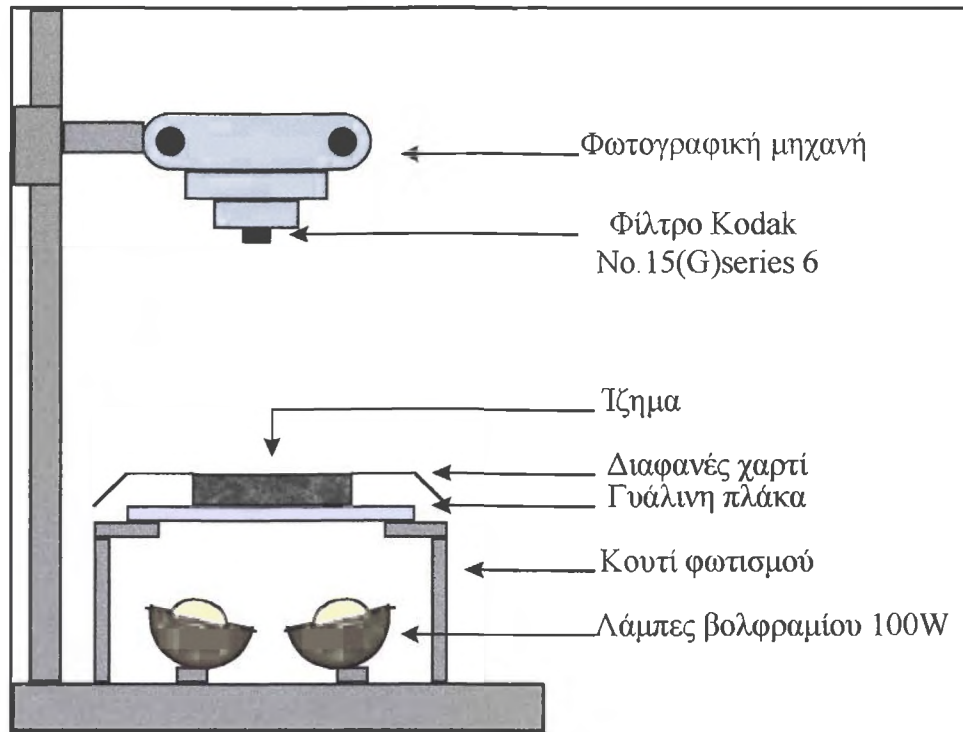
- ☞ τύπος ιζήματος,
- ☞ βάθος ασυνέχειας δυναμικού οξειδοαναγωγής (Redox Potential Discontinuity, RPD),

- ☞ μεθάνιο στο ίζημα,
- ☞ διαδοχικά στάδια ενδοπανίδας,
- ☞ πάχος του στρώματος που είχε σχηματισθεί από περιττώματα,
- ☞ βάθος θυλάκων με υπολείμματα ιχθυοτροφής,
- ☞ κυρίαρχος τύπος πανίδας,
- ☞ επί- ή ενδοπανίδα και
- ☞ ποικιλία ειδών.

Σημειώνεται ότι ο κόλπος που έγινε η έρευνα αυτή ήταν τόπος εγκατάστασης εκτροφείων σολομοειδών και μαλακίων.

Η πολυπαράμετρος *REMOTS[®] Organism-Sediment Index (OSI)* έχει κατασκευασθεί για το χαρακτηρισμό της ποιότητας του εκάστοτε υπό μελέτη πυθμένα. Η μικρότερη τιμή (-10) αποδίδεται σε πυθμένες όπου υπάρχει απουσία οξυγόνου στο υπερκείμενο νερό, καμία ένδειξη μακροπανίδας και παρουσία αερίου μεθανίου στο ίζημα. Στην αντίθετη πλευρά της κλίμακας του OSI (+11) αντιστοιχούν πυθμένες αερόβιοι, με έντονη παρουσία μακροπανίδας και απουσία φυσαλίδων αερίου μεθανίου στην επιφάνεια. Ο *OSI* υπολογίζεται αυτόματα από το πρόγραμμα του H/Y, μετά την εισαγωγή όλων των μετρήσεων από κάθε αρνητικό φιλμ που έχει ψηφιοποιηθεί. Ο δείκτης αυτός έχει αποδειχθεί μία εξαιρετική παράμετρος χαρτογράφησης των επιπτώσεων και διαταράξεων που υφίσταται κάποιο υποθαλάσσιο οικοσύστημα (O'Connor et al., 1989).

Μία άλλη απλή, γρήγορη και αποτελεσματική μέθοδος μελέτης των δομών ενός ιζήματος είναι η υπέρυθρη φωτογράφιση (Rhoads & Stanley, 1966). Η υπέρυθρη φωτογράφιση είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη σε διαφορές των συγκεντρώσεων της οργανικής ύλης, βαρέων μετάλλων και της κοκκομετρίας του ιζήματος. Οι αλλαγές στη δομή του ιζήματος από μικρές διαφορές στο οργανικό υλικό μπορούν να φανούν μέσω της υπέρυθρης φωτογράφισης, λόγω υψηλής απορρόφησης της ακτινοβολίας από το οργανικό υλικό. Η φωτογράφιση γίνεται απαραίτητα σε σκοτεινό θάλαμο. Ο φωτογραφικός εξοπλισμός περιγράφεται στο παρακάτω σχήμα (Σχ.14).



Σχήμα 14. Περιγραφικό σχήμα του απαραίτητου εξοπλισμού για την υπέρυθρη φωτογράφιση δείγματος ιζήματος σε σκοτεινό θάλαμο (τροποπ. από Rhoads & Stanley, 1966).

Παρόλα αυτά, ο μόνος σίγουρος τρόπος μείωσης του φορτίου του θρεπτικού και οργανικού υλικού είναι η εγκατάσταση των ιχθυοτροφείων σε περιοχές με πολύ καλή κυκλοφορία νερών, η οποία αυξάνει τη διασπορά των αιωρούμενων στερεών. Γενικά, ο καλύτερος και αποδοτικότερος τρόπος εξασφάλισης ικανοποιητικής εναλλαγής και κυκλοφορίας του νερού διαμέσου των κλωβών, είναι η τοποθέτηση του διαγώνιου άξονά τους όσο το δυνατόν κάθετα στα επικρατούντα ρεύματα (Iwama, 1991). Από αυτή την άποψη, η εκτίμηση της υποψήφιας θέσης για εγκατάσταση μιας υδατοκαλλιέργειας είναι ο κυριότερος τρόπος μείωσης, όχι μόνο των φορτίων των θρεπτικών, αλλά και γενικότερα της ελαχιστοποίησης των επιπτώσεων στο περιβάλλον από τη λειτουργία της υδατοκαλλιεργητικής επιχείρησης.

4.10 Θεραπευτικές ουσίες

4.10.1 Αντιβιοτικά - Χημειοθεραπευτικά

Η παρουσία ασθενειών στις περισσότερες υδατοκαλλιεργητικές δραστηριότητες είναι σχεδόν αναπόφευκτη. Η προληπτική ή θεραπευτική χρήση αντιβιοτικών και χημειοθεραπευτικών φαρμάκων είναι ευρέως διαδεδομένη στους ιχθυοκαλλιεργητές για τον έλεγχο και την αντιμετώπιση των ασθενειών.

Τα αντιβιοτικά παρασκευάζονται από ζωντανούς οργανισμούς, γι' αυτό και είναι φυσικά προϊόντα, ενώ τα χημειοθεραπευτικά είναι συνθετικά. Έτσι, για παράδειγμα, η οξυτετρακυκλίνη είναι αντιβιοτικό, ενώ το οξολινικό οξύ είναι χημειοθεραπευτικό.

Το είδος και η ποσότητα του φαρμάκου που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί, εξαρτάται από την ασθένεια (είδος παθογόνου οργανισμού), την ευαισθησία του παθογόνου αιτίου σε κάθε αντιβιοτικό (αντιβιογράμμα), την ένταση της ασθένειας (έξαρση ή χρόνια μορφή), το εκτρεφόμενο είδος, την ηλικία του, την ιχθυοπυκνότητα και τον τύπο της εκτροφής. Για παράδειγμα, για μια θεραπεία με οξυτετρακυκλίνη σ' έναν κλωβό με σολομό, διαμέτρου 15m, με πυκνότητα εκτροφής 15kg/m³, θα απαιτούνταν 25kg οξυτετρακυκλίνης.

Τα θεραπευτικά φάρμακα ουρεομυκίνη (auremycin), φουραζολιδόνη (furazolidene), νιτροφουραζόνη (nitrofurazone), πενικιλίνη (penicillin), οξυτετρακυκλίνη (oxytetracyclin), οξολινικό οξύ (oxolinic acid), σουλφαμεριζίνη (sulphamerizin) και τερραμυκίνη (terramycin) έχουν χρησιμοποιηθεί σε ιχθυοκαλλιέργειες στη Μεγάλη Βρετανία, τη Σκωτία (Alabaster, 1982; Solbè, 1982), τη Νορβηγία (Samuelsen, 1989; Røed, 1991), την Ιρλανδία (Smith, 1991; Smith et al., 1991), τη Φινλανδία (Mäkinen, 1989) και αλλού.

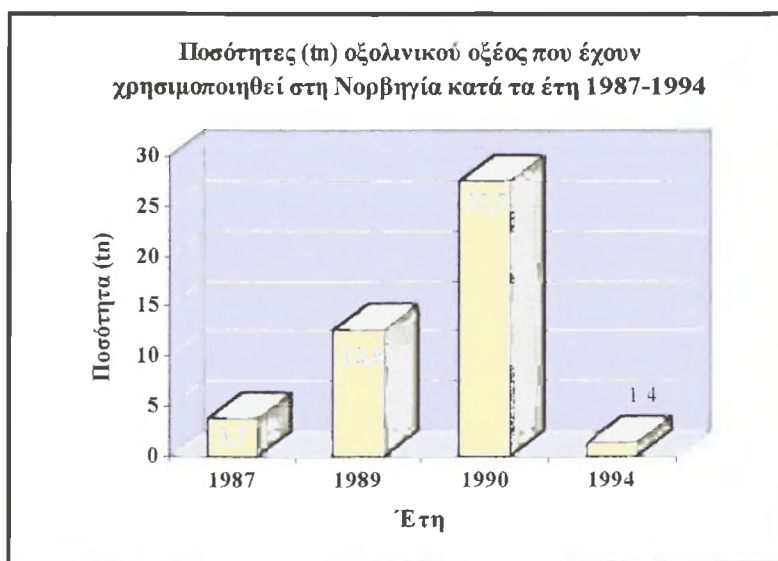
Η χρήση των αντιβιοτικών αυξήθηκε με την επέκταση των ιχθυοκαλλιεργειών στη Νορβηγία: η χρήση τους δε, έφτασε στη μέγιστη τιμή της το 1987 (48.7tn), κυρίως για την αντιμετώπιση της ασθένειας hitra (ή cold water vibriosis), που προκαλείται από το *Vibrio salmonicida* (Gray, 1990; Grave et al., 1990). Ο Mäkinen (1989) αναφέρει την ετήσια χρήση της οξυτετρακυκλίνης στη Φινλανδία που φτάνει τον 1tn. Το οξολινικό οξύ χρησιμοποιείται στη Νορβηγία εδώ και 15 χρόνια. Οι ποσότητες οξολινικού οξέος που έχουν χρησιμοποιηθεί κατά την τετραετία 1987-

1990 στη Νορβηγία φαίνονται στο Διάγραμμα 5. Οι Alabaster (1982) και Solbè (1982) ανέφεραν τη χρήση του πράσινου του μαλαχίτη (malachite green) και της φορμαλίνης (formaline) για την καταπολέμηση παρασιτώσεων και μυκητιάσεων. Ο Mäkinen (1989) αναφέρει τις ακόλουθες, ετησίως χρησιμοποιούμενες, ποσότητες χημειοθεραπευτικών σε Φινλανδικές ιχθυοκαλλιέργειες (Πιν.13).

Πίνακας 13. Ποσότητες χημειοθεραπευτικών που χρησιμοποιούνται στη Φινλανδία ετησίως.

Χημειοθεραπευτικό	Ποσότητα
Χλωριούχο νάτριο (NaCl)	100tn
Φορμαλδεΐδη	4.5tn
Πράσινο του μαλαχίτη	300kgr
Χλωραμίνες	Μικρότερες ποσότητες
Benzocinchloride	Μικρότερες ποσότητες

Πηγή: Iwama, 1991.



Διάγραμμα 5. Χρησιμοποιούμενες ποσότητες οξολινικού οξέος στη Νορβηγία κατά τα έτη 1987-1994.

Η χρήση των αντιβιοτικών ως θεραπευτικά μέσα, εκτός του ότι κοστίζει σαν μέθοδος, ενέχει και άλλα προβλήματα όπως:

- την ολοένα αυξανόμενη ανησυχία για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των αντιβιοτικών,

- ▣ την αποδοτικότητα του αντιβιοτικού και την ανθεκτικότητα των παθογόνων οργανισμών,
- ▣ το πρόβλημα του χρόνου αναμονής τους στη σάρκα των ψαριών και το κατά πόσο αυτά τα ψάρια είναι αποδεκτά για την αγορά και κατανάλωσή τους από τον άνθρωπο και
- ▣ την πιθανότητα μεταβίβασης της ανθεκτικότητας σε παθογόνους οργανισμούς που προσβάλλουν τον άνθρωπο.

Τα περισσότερα αντιβακτηριακά, που χρησιμοποιούνται σε εκτροφές ψαριών σε ιχθυοκλωβούς, εισέρχονται σταδιακά στο περιβάλλον γύρω από την εκτροφή. Η ποσότητα που θα εισαχθεί στο περιβάλλον εξαρτάται από το φάρμακο (ποσοστό ενεργής ουσίας), τη χρησιμοποιούμενη ποσότητα, την όρεξη των ασθενών ψαριών και τη βιοδιαθεσιμότητα του φαρμάκου. Τα ασθενή ψάρια συνήθως δεν έχουν την ίδια όρεξη με αυτή των υγιών. Γι' αυτό και τα ασθενή ψάρια δέχονται περισσότερη ποσότητα τροφής (με αντιβιοτικό) από αυτή που τρώνε, γεγονός από το οποίο διαφαίνεται ότι κάποια ποσότητα αυτής της τροφής δεν καταναλώνεται και διασκορπίζεται στο περιβάλλον. Συγκεκριμένα φάρμακα απορροφώνται από το έντερο των ψαριών σε πολύ περιορισμένο ποσοστό· έτσι το μεγαλύτερο ποσοστό του φαρμάκου, που καταναλώνεται από τα ασθενή ψάρια, αποβάλλεται με τα περιττώματα. Ο Björklund (1991) βρήκε ότι το 93% της οξυτετρακυκλίνης και το 86% του οξολινικού οξέος που είχαν καταναλωθεί από ασθενή ψάρια, αποβαλλόταν από το έντερο μέσω των περιττωμάτων. Κάποιο ποσοστό αντιβακτηριακού διαλύεται στην υδάτινη στήλη και το υπόλοιπο καθιζάνει στον πυθμένα κάτω και γύρω από το χώρο εκτροφής. Οι Hektoen et al. (1991) έδειξαν πειραματικά ότι τα αντιβακτηριακά φάρμακα διαλύονται στην υδάτινη στήλη ακόμη και μετά την καθίζησή τους. Επίσης, κάποιο άλλο ποσοστό απορροφάται από νεκρά ψάρια, τα οποία πεθαίνουν κατά τη διάρκεια της θεραπείας.

Το ενδιαφέρον διάφορων ερευνών που έχουν γίνει κατά καιρούς, εστιάζεται στις συγκεντρώσεις και τη διατήρηση του αντιβιοτικού σε ιζήματα κάτω από ιχθυοκλωβούς, την επίδρασή του στις δραστηριότητες των ιζημάτων, στους άγριους πληθυσμούς υδρόβιων οργανισμών και την επίδραση της διατήρησης και απορρόφησης του αντιβιοτικού από τη μικροχλωρίδα των ιζημάτων.

Η οξυτετρακυκλίνη χρησιμοποιείται ευρέως στη Νορβηγία και χορηγείται ενσωματωμένη στην τροφή. Υπολογισμοί έχουν δείξει ότι μόνο το 20-30% του

αντιβιοτικού απορροφάται από τα ψάρια και το υπόλοιπο 70-80% διαφεύγει προς το περιβάλλον (Samuelsen, 1989). Το περισσότερο από αυτό το ποσοστό συσσωματώνεται και καθιζάνει στον πυθμένα κάτω από το πεδίο εκτροφής (Jacobsen, 1988). Έρευνες έχουν δείξει ανιχνεύσιμες ποσότητες οξυτετρακυκλίνης σε θαλάσσια ιζήματα 3-6 μήνες μετά την παύση της θεραπευτικής μεταχείρισης των ψαριών (Jacobsen & Berglind, 1988).

Οι αναφορές των συγγραφέων που αφορούν τις μέγιστες παρατηρούμενες συγκεντρώσεις οξυτετρακυκλίνης σε ιζήματα κάτω από ιχθυοκλωβούς και τους χρόνους ημιζωής της ($t_{1/2}$) ποικίλλουν. Ο Samuelsen (1989) ανέφερε μια συγκέντρωση οξυτετρακυκλίνης σε ιζήματα κάτω από κλωβούς εκτροφής σολομού ίση με 280ppm και $t_{1/2}$ =32 ημέρες. Οι Björklund et al. (1990) ανέφεραν αντίστοιχα 4ppm οξυτετρακυκλίνης και $t_{1/2}$ =419 ημέρες. Οι Smith et al. (1991) βρήκαν 7.5ppm οξυτετρακυκλίνης και $t_{1/2}$ =5 ημέρες. Βρήκαν επίσης ότι η οξυτετρακυκλίνη βρισκόταν περιορισμένη στα πρώτα 2cm των ιζημάτων και μάλιστα αυτών με άμεση εγγύτητα με την περιοχή εκτροφής. Οι χρόνοι ημιζωής ($t_{1/2}$) που έχουν αναφερθεί για αντιβιοτικά σε ιζήματα ποικίλλουν από 9 έως και πάνω από 400 ημέρες (Jacobsen & Berglind, 1988; Björklund et al., 1990) και έχει προταθεί ότι ο ρυθμός πλήρους εξαφάνισης του αντιβιοτικού εξαρτάται περισσότερο από τις συνθήκες διασποράς (ρεύματα, κλίσεις πυθμένα), παρά από την ίδια τη διάσπαση και διάλυση του αντιβιοτικού (Björklund et al., 1990).

Αυτό που πρέπει να τονισθεί είναι ότι όλες οι παραπάνω έρευνες χρησιμοποίησαν χημικές μεθόδους προσδιορισμού της οξυτετρακυκλίνης. Πιθανόν τέτοιες μέθοδοι να υπερεκτιμούν τις βιολογικά διαθέσιμες συγκεντρώσεις αντιβιοτικών σε θαλάσσια ιζήματα. Οι διαφορές που παρουσιάζονται στις παραπάνω αναφορές πιθανόν να οφείλονται στις διαφορετικές μεθόδους προσδιορισμού των υπό εξέταση παραμέτρων, αλλά πιθανότερο είναι οι διαφορετικές υδρογραφικές συνθήκες της κάθε φορά υπό μελέτη περιοχής να έχουν προκαλέσει μεγάλες διακυμάνσεις, όσον αφορά τις επιδράσεις των αντιβιοτικών από περιοχή σε περιοχή.

Ο Samuelsen (1989) αναφέρει ότι η διάσπαση της οξυτετρακυκλίνης στην υδάτινη στήλη επηρεάζεται από την ένταση του φωτός. Η διάσπαση της οξυτετρακυκλίνης επηρεάζεται και από τη θερμοκρασία, αλλά για τα ιζήματα δεν ισχύει το ίδιο, λόγω των ιδιαίτερων συνθηκών που επικρατούν (αναερόβιες συνθήκες, συσσωμάτωση οξυτετρακυκλίνης). Αποτέλεσμα των χαμηλότερων

θερμοκρασιών που επικρατούν στα ιζήματα είναι η μικρότερη παραγωγή αερίων, τα οποία προκαλούν τοπικές ανυψώσεις του ιζήματος καθώς διαφεύγουν προς την υδάτινη στήλη. Αυτό το φαινόμενο μπορεί να προκαλέσει την αναμόχλευση του ιζήματος κι έτσι να επανεμφανισθεί η οξυτετρακυκλίνη στη διαχωριστική επιφάνεια ιζήματος - νερού (Samuelsen, 1989). Από πειραματικές δειγματοληψίες σε μία μονάδα εκτροφής σολομού, ο Samuelsen (1989) βρήκε ότι κατά τις πρώτες εβδομάδες, όταν η συγκέντρωση της οξυτετρακυκλίνης ήταν υψηλή, η επίδραση της θερμοκρασίας στη διάσπασή της ήταν πολύ μικρή.

Η διάσπασή της δε είναι τόσο αργή, που το ρεύμα δεν μπορεί να μεταφέρει τη διαλυμένη οξυτετρακυκλίνη μακριά από το πεδίο εκτροφής, μόνο έως ότου αυτή διασπασθεί πλήρως. Ο Møster (1986) βρήκε ανιχνεύσιμες συγκεντρώσεις οξυτετρακυκλίνης σε μύδια *Mytilus edulis* 80m μακριά από το πεδίο εκτροφής τους. Εκτός της άμεσης επίδρασης της οξυτετρακυκλίνης στην πανίδα (Møster, 1986), η παρουσία της στο ίζημα για μεγάλο χρονικό διάστημα μπορεί να αυξήσει την ανθεκτικότητα των βακτηρίων στο συγκεκριμένο αντιβιοτικό (Samuelsen, 1989).

Η διατήρηση της οξυτετρακυκλίνης εξαρτάται κατά πολύ από το ρυθμό ιζηματογένεσης. Ο Samuelsen (1989) βρήκε ότι αν το ίζημα που περιείχε οξυτετρακυκλίνη, καλυπτόταν γρήγορα από νέο ίζημα, ο χρόνος ημιζωής της οξυτετρακυκλίνης διπλασιαζόταν. Η κάλυψη του ιζήματος που περιείχε οξυτετρακυκλίνη με περισσότερο ίζημα, μείωνε την επαφή του αντιβιοτικού με το υπερκείμενο νερό κι έτσι μειωνόταν η διάλυση και διασκόρπισή του στην υδάτινη στήλη.

Έχουν βρεθεί σημαντικές αλλαγές στη σύνθεση της βακτηριακής χλωρίδας σε ιζήματα κάτω από ιχθυοτροφεία, στα οποία είχε γίνει χρήση αντιβακτηριακών (Kupka-Hansen et al., 1991). Οι Kupka-Hansen et al. (1991) βρήκαν ότι η μικροβιακή δραστηριότητα, επομένως και ο αριθμός των βακτηρίων, μειωνόταν στα ιζήματα που περιείχαν κατάλοιπα αντιβακτηριακών φαρμάκων. Η μεγαλύτερη μείωση του αριθμού των βακτηρίων παρατηρήθηκε λίγες ημέρες μόνο μετά τη λήξη της θεραπευτικής μεταχείρισης των εκτρεφόμενων ψαριών. Πιθανότατα η μείωση αυτή να οφειλόταν στην καταπολέμηση των ευαίσθητων στελεχών των βακτηρίων από τα κατάλοιπα των αντιβακτηριακών στο ίζημα. Βρέθηκε επίσης ότι η οξυτετρακυκλίνη και το οξολινικό οξύ στο ίζημα δε διασπώνταν και βρισκόνταν σε

ανιχνεύσιμες συγκεντρώσεις ακόμη και 7 μήνες μετά τη χρήση τους στο ιχθυοτροφείο.

Παρόλα αυτά, η οξυτετρακυκλίνη που διαλύεται στην υδάτινη στήλη, διαλύεται γρήγορα κι έτσι οι συγκεντρώσεις της καθίστανται γρήγορα αμελητέες. Από την άλλη μεριά, η οξυτετρακυκλίνη που συσσωματώνεται, διασκορπίζεται πιο εύκολα σε μεγάλες αποστάσεις και σε συγκεντρώσεις αρκετές για να επηρεάσουν την υδρόβια πανίδα (Samuelsen, 1989). Το μεγαλύτερο ποσοστό της οξυτετρακυκλίνης εξαφανίζεται μέσα στις πρώτες εβδομάδες, αλλά διατηρείται σε μικρές συγκεντρώσεις στο ίζημα για αρκετό χρονικό διάστημα μετά την παύση της θεραπείας στη μονάδα εκτροφής. Ο χρόνος ημιζωής της εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το ρυθμό ιζηματογένεσης και η διάλυσή της στην υδάτινη στήλη (τουλάχιστον τις πρώτες εβδομάδες) είναι ο κύριος τρόπος απομάκρυνσής της από το ίζημα.

Ο στόχος της θεραπευτικής αγωγής της χορήγησης αντιβιοτικού με την τροφή είναι τα υγιή ψάρια και οι φορείς που δεν έχουν εκδηλώσει τη νόσο –και μπορούν άρα να λάβουν τροφή– να προφυλαχθούν. Τα ασθενή ψάρια που πεθαίνουν κατά τη διάρκεια της θεραπευτικής τους μεταχείρισης, απλά δεν έχουν απορροφήσει επαρκή ποσότητα φαρμάκου ώστε να επιτευχθεί θεραπευτικό αποτέλεσμα. Νεκρά ψάρια από 13 ιχθυοτροφεία της Νορβηγίας, όπου είχε χρησιμοποιηθεί οξολινικό οξύ για την αντιμετώπιση της ασθένειας furunculosis (*Aeromonas salmonicida*), εξετάστηκαν και βρέθηκαν υψηλές τιμές οξολινικού οξέος στα δείγματα (Bekkevold et al., 1991). Σ' ένα από τα δείγματα, η συγκέντρωση του οξολινικού οξέος στη σάρκα των ψαριών ήταν 1600ngt/gr, η οποία ήταν αρκετή για να δώσει θεραπευτικό αποτέλεσμα. Αυτό αποδεικνύει την 'αποτυχία' του ψαριού να απορροφήσει ικανή ποσότητα φαρμάκου, με αποτέλεσμα το φάρμακο να διατηρείται στη σάρκα του ψαριού. Σε μια περιοχή όπου είχαν ταφεί νεκρά ψάρια, που περιείχαν κατάλοιπα αντιβακτηριακών, εξετάστηκε το νερό που απέρρευε προς ένα παρακείμενο ρυάκι και το νερό του εδάφους. Στο νερό του ρυακιού βρέθηκαν συγκεντρώσεις οξολινικού οξέος ίσες με 7ngt/gr και 225ngt/gr στο νερό του εδάφους (Bekkevold et al., 1991). Το οξολινικό οξύ είναι πολύ σταθερό κάτω από ποικίλες φυσικές και χημικές συνθήκες και τείνει προς βιολογική διάσπαση στο έδαφος, αλλά και στο νερό. Μετά από αυτές τις έρευνες οι Bekkevold et al. (1991) πρότειναν την αποτέφρωση νεκρών ψαριών που περιέχουν κατάλοιπα οξολινικού οξέος, σε θερμοκρασία άνω των 600°C.

Οι Björklund & Bylund (1991) υπολόγισαν ότι η βιοδιαθεσιμότητα μετά τη στοματική χορήγηση του αντιβιοτικού (ενσωμάτωσή του στην τροφή) είναι 5.6% για την οξυτετρακυκλίνη και 13.6% για το οξολινικό οξύ. Φαίνεται λοιπόν ότι με τη στοματική χορήγηση του αντιβιοτικού επιτυγχάνονται χαμηλά επίπεδα αντιβιοτικού στη σάρκα των εκτρεφόμενων ψαριών. Γενικά, οι μέσες τιμές συγκεντρώσεων αντιβιοτικών σε ορό ψαριών, που έκαναν λήψη του αντιβιοτικού από το στόμα, είναι 1-4μg/ml (O'Grady et al., 1986). Αυτό εξαρτάται βέβαια από το είδος του αντιβιοτικού που χρησιμοποιείται. Μπορούν να βρεθούν και μηδενικές συγκεντρώσεις αντιβιοτικού σε ψάρια που, ως συνέπεια της ασθένειάς τους, δεν τρέφονταν (Smith, 1991).

Στη Νορβηγία τα νεκρά ψάρια και τα εντόσθιά τους, που προέρχονται από ιχθυοτροφεία, αποθηκεύονται σε σιλό και πωλούνται ως φυράματα. Ο Bekkevold (1990) αναφέρει ότι τα νεκρά ψάρια, που περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις καταλοίπων αντιβακτηριακών, δεν είναι κατάλληλα για να χρησιμοποιούνται ως φυράματα. Προτείνει δε, ότι τέτοια ψάρια θα πρέπει να αποτεφρώνονται, ή να μειώνεται η συγκέντρωση των καταλοίπων των φαρμάκων με τη μίξη και άλλων τροφών, πριν αυτά χρησιμοποιηθούν ως φυράματα. Άλλη χρήση των ψαριών αυτών είναι και η λίπανση εδαφών, αλλά οι Bekkevold et al. (1991) προτείνουν την υγειονομική ταφή τους.

Τα αντιβιοτικά και τα χημειοθεραπευτικά πρέπει να πληρούν ορισμένες προϋποθέσεις ώστε να είναι αποδεκτά στην αγορά. Αυτές είναι:

να είναι εύκολα βιοδιασπώμενα και

να μη συσσωρεύονται στη σάρκα των οργανισμών.

Οι μεταβολίτες τους πρέπει επίσης να τηρούν αυτά τα κριτήρια. Όσον αφορά την επίδραση στο περιβάλλον, έχει προταθεί η αναθεώρηση της άδειας χρήσης της οξυτετρακυκλίνης και ακόμη και η απόσυρση του οξολινικού οξέος από την αγορά (Smith, 1991). Τα εγκεκριμένα φάρμακα για ψάρια στην Ελλάδα φαίνονται στον Πίνακα 14.

Πίνακας 14. Εγκεκριμένα φάρμακα για ιχθυοκαλλιέργειες από τον Ε.Ο.Φ.

Δραστική ουσία	Εμπορική ονομασία σκευάσματος	Τύπος
Οξολινικό οξύ	Oxolinic Acid 50% - Peter Hand	Φαρμακούχο πρόμιγμα
Οξυτετρακυκλίνη	Oxytetracycline 50% - Peter Hand	Φαρμακούχο πρόμιγμα
	Terramycin - Pfizer	Φαρμακούχο πρόμιγμα
	Oxyvet - Veterin	Φαρμακούχο πρόμιγμα
Σουλφαδιαζίνη - Τριμεθοπρίμη	Tribrissen 40% - Mallinckrodt	Φαρμακούχο πρόμιγμα
	Sulfadiazine / Trimethoprim 50% - Peter Hand	Φαρμακούχο πρόμιγμα

Πηγή: Διεύθυνση Αξιολόγησης Προϊόντων, Κτηνιατρικό Τμήμα, Ε.Ο.Φ., 1997.

Το Dichlorvos (οργανοφωσφορικό φάρμακο) κυκλοφορεί κάτω από τις εμπορικές ονομασίες Nuvan EC500 (Ross & Horsman, 1988) και Aquaguard (Munro, 1990; Αθανασοπούλου-Irvine, 1997). Χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση του εξωπαρασίτου 'θαλάσσια ψείρα' (*Lepeophtheirus salmonis* και *Caligus elongatus*), το οποίο δημιουργεί τεράστια προβλήματα στην εκτροφή σολομοειδών σε Βόρεια Ευρώπη και Βόρεια Αμερική. Η χρήση του αυξάνεται όσο αυξάνεται και το πρόβλημα με τη θαλάσσια ψείρα (Ross, 1989). Επιστημονικές έρευνες που πραγματοποιήθηκαν με στόχο τον καθορισμό των επιπτώσεων του Dichlorvos στο περιβάλλον, έδειξαν ότι δεν επέρχεται σημαντική διασπορά της ουσίας μακριά από το χώρο εκτροφής και η τοξικότητά του σε υδρόβιους οργανισμούς είναι ελάχιστη (Αθανασοπούλου-Irvine, 1997). Οι Tulley & Morrisey (1989) αναφέρουν για το Dichlorvos ότι διαλύεται εύκολα, χωρίς να βιοσυσσωρεύεται στον ευρύτερο χώρο που χρησιμοποιείται. Ο Ingebrigtsen (1989) αναφέρει ότι για τη διάσπαση των τοξικών συμπλόκων μετά τη χρήση του Dichlorvos μπορεί να προστεθεί CaO στο νερό. Η αποκλειστική χρήση του Aquaguard για την αντιμετώπιση παρασιτισμών από θαλάσσια ψείρα, έχει προκαλέσει την ανθεκτικότητα πολλών πληθυσμών του παρασίτου, ιδίως στη Σκωτία. Εξάλλου, η ανικανότητα δράσης του στα στάδια του καλίμου του παρασίτου, έχει εγείρει την ανάγκη εξεύρεσης εναλλακτικής θεραπευτικής λύσης (Αθανασοπούλου-Irvine, 1997).

Έρευνες για την περιβαλλοντική επίπτωση του συνθετικού χημειοθεραπευτικού sarafloxacin hydrochloride έδειξε ότι ακόμα και στις χειρίστες συνθήκες, οι αναμενόμενες συγκεντρώσεις στο περιβάλλον ήταν πολύ κάτω από τα

ανεκτά τοξικά επίπεδα διάφορων υδρόβιων οργανισμών (Stamm, 1991). Οι έρευνες έδειξαν επίσης ότι το χημειοθεραπευτικό αυτό φωτολύεται και ότι η ενσωμάτωσή του στο ίζημα μειώνει τη βιοδιαθεσιμότητά του.

Ο Midvedt (1990) αναφέρει ότι η χημική δομή των συνθετικών κουίνολονών (quinolones) υποδηλώνει ότι συσσωρεύονται σε συγκεκριμένα επίπεδα των φυσικών τροφικών αλυσίδων, γεγονός το οποίο αποτελεί μια μη επιθυμητή εξέλιξη.

4.10.2 Αντιμολυντικά - Εμποτιστικά

Η χρήση όλων των παραπάνω αντιβιοτικών και χημειοθεραπευτικών φαρμάκων είναι ευρεία σε όλους τους τύπους υδατοκαλλιέργειας. Η χρήση όμως των αντιμολυντικών - εμποτιστικών ουσιών (antifoulants) περιορίζεται στην εντατική εκτροφή ψαριών σε ιχθυοκλωβούς και την εκτροφή μαλακίων. Το έργο των ουσιών αυτών είναι ο περιορισμός στο ελάχιστο της επικόλλησης επιπανίδας και επιχλωρίδας στα δίκτυα των κλωβών και τις υπόλοιπες κατασκευές (πλωτήρες, σωλήνες, σχοινιά, αλυσίδες, κλπ). Ευρέως διαδεδομένο εμποτιστικό είναι το Tributyltin (TBT) (Alvarez & Ellis, 1990; Gabrielides et al., 1990), το οποίο έχει βρεθεί να συσσωρεύεται στους μυϊκούς ιστούς των ψαριών (Short & Thrower, 1986; Davies & McKie, 1987) και των μαλακίων (Davies et al., 1986). Έχει επίσης αναφερθεί η αρνητική επίδραση του TBT στην αύξηση των οστρακοειδών (Paul & Davies, 1986; Davies et al., 1987). Ο Balls (1987), που μελέτησε την κινητική του TBT, βρήκε ότι λίγη ποσότητα της ουσίας αυτής βρίσκεται έξω από τις κατασκευές της υδατοκαλλιέργειας και ότι η συγκέντρωσή του μέσα στους κλωβούς μειωνόταν εκθετικά με το χρόνο.

4.10.3 Κατάλοιπα θεραπευτικών ουσιών σε υδρόβιους οργανισμούς

Κατάλοιπα αντιβακτηριακών φαρμάκων έχουν βρεθεί σε άγριους πληθυσμούς ψαριών, καρκινοειδών και δίθυρων που ζουν γύρω από την περιοχή εκτροφής (Samuelsen et al., 1991), ακόμα και 13 ημέρες μετά τη θεραπευτική μεταχείριση των εκτρεφόμενων ψαριών (Björklund et al., 1990). Τέτοια κατάλοιπα έχουν βρεθεί σε πελαγικά ψάρια όπως τα είδη *Pollachius virens* (λαγός), *Scomber scombrus* (σκουμπρί) και *Salmo salar* (σολομός Ατλαντικού)· σε βενθικά ψάρια

όπως τα είδη *Gadus morhua* (μπακαλιάρος Ατλαντικού, γάδος), *Merlangius merlangus* (μπακαλιάρος μερλάγκος), *Molva molva* (μόλβη) και *Labrus bergylta* (Ballan wrasse). Οι Hektoen & Berge (1991) βρήκαν αυξημένες συγκεντρώσεις οξυτετρακυκλίνης και οξολινικού οξέος σε άγρια καβούρια, σαλιγκάρια, μύδια και βακαλάους, τις οποίες προσελάμβαναν από τις απώλειες της τροφής, το ίζημα και το νερό. Τα φάρμακα αυτά μεταβολίζονταν από τους οργανισμούς και κατέληγαν να είναι μέρος της τροφικής τους αλυσίδας. Το είδος μυδιών *Mytilus edulis* βρέθηκε επίσης να περιέχει κατάλοιπα οξολινικού οξέος. Στα περισσότερα δείγματα οι συγκεντρώσεις φαρμάκων υπερέβαιναν κατά πολύ τα μέγιστα επιτρεπτά όρια της νομοθεσίας για τρόφιμα. Η μέση συγκέντρωση οξολινικού οξέος σε δείγμα 50 ειδών ψαριών, που αλιεύθηκαν κοντά σε ιχθυοτροφεία, όπου πρόσφατα είχαν χρησιμοποιηθεί θεραπευτικά φάρμακα, ήταν 3860ppb. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις βρέθηκαν στα είδη *Pollachius virens* και *Scomber scombrus*. Η μέγιστη συγκέντρωση οξολινικού οξέος που βρέθηκε σε δείγματα σάρκας ψαριών ήταν 12510ppb. Στη Νορβηγία, τα ανώτατα όρια καταλοίπων (MRLs) οξολινικού οξέος σε τρόφιμα είναι 0ppb. Τα ανώτατα όρια καταλοίπων για τρεις δραστικές ουσίες φαρμάκων για την Ελλάδα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα (Πιν.15). Επίσης, κατάλοιπα αντιβιοτικών έχουν ανιχνευθεί και σε στρείδια εκτρεφόμενα με τη μέθοδο της σχεδίας, τα οποία βρίσκονταν κοντά σε εκτροφείο σολομού, όπου και γινόταν η χρήση των αντιβιοτικών (Jones & Iwama, 1990). Έτσι αποδεικνύεται και η ανίχνευση σημαντικών ποσοτήτων σε ιζήματα κάτω από ιχθυοτροφεία (Jacobsen & Berglund, 1988; Björklund et al., 1990).

Πίνακας 15. Ανώτατα όρια καταλοίπων τριμεθοπρίμης, σουλφοναμιδών και οξυτετρακυκλίνης για όλα τα είδη τροφίμων σύμφωνα με τον υπ. αριθ. 2377/90 L 224/18.8.1990 κανονισμό της Ε.Ο.Κ.

Δραστική ουσία φαρμάκου	MRL (μg/kg)
Τριμεθοπρίμη	50
Σουλφοναμίδες	100
Οξυτετρακυκλίνη	100

Πηγή: Δ/ση Αξιολόγησης Προϊόντων, Κτηνιατρικό Τμήμα, Ε.Ο.Φ., 1997.

Έχει βρεθεί ότι μπορούν να ανιχνευθούν χαμηλά επίπεδα καταλοίπων αντιβιοτικών στη σάρκα των ψαριών, μετά από πολύ χρονικό διάστημα από την παύση της θεραπείας (Ellis, 1991). Η παρουσία τέτοιων καταλοίπων (MRL) καθιστά τα ψάρια ακατάλληλα για πώληση. Σ' αυτό το σημείο οι ιχθυοκαλλιεργητές αντιμετωπίζουν ένα δίλημμα: να προχωρήσει ο καλλιεργητής στη θεραπεία της ασθένειας και αναγκαστικά να καθυστερήσει την πώληση των ψαριών ή να αφήσει την ασθένεια να κάνει τον κύκλο της, να αποδεχθεί τις απώλειες και μετά να πουλήσει τα ψάρια; Μια βοηθητική λύση σ' αυτό το συνηθισμένο πρόβλημα των ιχθυοκαλλιεργητών θα ήταν η γνώση του ακριβούς χρόνου που χρειάζεται το εκάστοτε φάρμακο να εξαλειφθεί από τον ιστό των ψαριών. Ένας καλός διαχειριστής όμως θα μπορούσε να είχε εμβολιάσει τα ψάρια (εφόσον υπάρχει το εμβόλιο για την ασθένεια που ενδιαφέρει τον εκτροφέα). Η ανάπτυξη των εμβολίων τα τελευταία χρόνια στη χώρα μας προσφέρει στους ιχθυοκαλλιεργητές περισσότερη ασφάλεια και ίσως να μη χρειαστούν ποτέ να βρεθούν μπροστά στο δίλημμα αυτό.

4.10.4 Εκτίμηση των επιπτώσεων των θεραπευτικών ουσιών

Ο κίνδυνος που κρύβει ένα φάρμακο, το οποίο χρησιμοποιείται στις υδατοκαλλιέργειες, για το θαλάσσιο περιβάλλον πρέπει να εκτιμάται μέσω του καθορισμού της επίδρασης της δόσης του κάθε συστατικού του φαρμάκου στις βιοκοινωνίες του οικοσυστήματος (Røed, 1991). Για λόγους οικονομικούς, τεχνικούς και βιολογικούς η πρακτική οικοτοξικολογική έρευνα περιορίζεται σε πειράματα πάνω σε συγκεκριμένα είδη. Οι Hektoen et al. (1991) πρότειναν ότι η διασπορά και η επίδραση των χημικών ουσιών στο περιβάλλον μπορεί να εκτιμηθεί από πληροφορίες όσον αφορά τις φυσικοχημικές ιδιότητες των ουσιών αυτών, αλλά και από βιολογικά τεστ. Μια μέθοδος τέτοιας εκτίμησης είναι η *Esther* (Landner et al., 1982). Η μέθοδος *Esther* μπορεί να δώσει πληροφορίες για τον κίνδυνο που ενέχουν ορισμένες ουσίες για το περιβάλλον. Περιλαμβάνει επίσης κι ένα τεστ (exposure analysis test), το οποίο δίνει πληροφορίες για την πορεία και την εξέλιξη της εξεταζόμενης ουσίας στο περιβάλλον καθώς και μια ανάλυση της επίδρασής της σε αυτό.

Η χρήση αντιβακτηριακών στις υδατοκαλλιέργειες μπορεί να επηρεάσει τη δημόσια υγεία και τέτοια προβλήματα σχετίζονται με την ανθεκτικότητα των

βακτηρίων στα φάρμακα και με αλλεργίες στον άνθρωπο. Μερικά φάρμακα, τα οποία χρησιμοποιούνται διεθνώς στις υδατοκαλλιεργείες, μπορούν να προκαλέσουν αλλεργίες στον άνθρωπο (Yndestad, 1991). Ο Yndestad (1991) αναφέρει ότι τα φάρμακα που έχουν ως βάση τους την πενικιλίνη είναι η πιο σημαντική ομάδα αλλεργικών φαρμάκων στις υδατοκαλλιεργείες. Τέτοιου είδους φάρμακα δε χρησιμοποιούνται στη Νορβηγία, αλλά χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε άλλες χώρες, όπως η Σκωτία. Είναι επίσης γνωστό ότι η τετρακυκλίνη, η στρεπτομυκίνη, οι σουλφοναμίδες και τα παράγωγα νιτροφουρανίων μπορούν να προκαλέσουν αλλεργίες στον άνθρωπο (Yndestad, 1991). Είναι ενδεικτικό ότι η Ευρωπαϊκή Κοινότητα έχει απαγορεύσει τη χρήση όλων των νιτροφουρανίων για όλα τα είδη εκτρεφόμενων ζώων (Ε.Ο.Φ., 1997). Ένα ερώτημα το οποίο μπορεί να τεθεί είναι το αν η δημιουργία ανθεκτικών, παθογόνων βακτηρίων για τα ψάρια μπορεί να μεταφερθεί σε παθογόνα βακτήρια για τον άνθρωπο. Ο Sørum (1990) αναφέρει ότι η ανθεκτικότητα σ' ένα αντιβιοτικό μπορεί να μεταφερθεί από ένα είδος βακτηρίου σ' ένα άλλο. Ο ίδιος ερευνητής υποστηρίζει ότι η μεταφορά της ανθεκτικότητας από την ανθρώπινη πανίδα σε παθογόνα βακτήρια για τα ψάρια είναι πιο πιθανή απ' ότι το αντίστροφο. Η εκτεταμένη χρήση αντιβακτηριακών, τα οποία δε διασπώνται εύκολα στο περιβάλλον, μπορεί να δημιουργήσει εκτεταμένη αντίσταση των βακτηρίων σε αυτά τα αντιβιοτικά παγκοσμίως. Η ανθεκτικότητα αυτή μπορεί να μεταφερθεί μεταξύ των βακτηρίων. Η μεταφορά της ανθεκτικότητας γίνεται με κυτταρική σύζευξη δύο βακτηρίων (πρωτοπλασματική γέφυρα). Ο παράγοντας που είναι υπεύθυνος για τη μεταφορά της ανθεκτικότητας είναι τα βακτηριακά πλασμιδιακά γονίδια, γνωστά ως R-πλασμίδια ή R-factors (Ντούκας, 1996). Πρώτοι οι Aoki et al. (1971) ανέφεραν τη μεταβίβαση ανθεκτικότητας σε ένα φάρμακο στην αερομονάδα (*Aeromonas salmonicida*) και κατόπιν σε είδη βίμπριο (*Vibrio spp.*), παστερέλλας (*Pasteurella spp.*) και άλλων θαλάσσιων βακτηρίων. Σύμφωνα με τον Aoki (1988) οι ιδιότητες ανθεκτικών πλασμιδίων, που ανιχνεύθηκαν σε παθογόνα βακτήρια για τα ψάρια, ήταν διαφορετικές από αυτές των R-πλασμιδίων παθογόνων βακτηρίων του ανθρώπου και των κατοικίδιων ζώων.

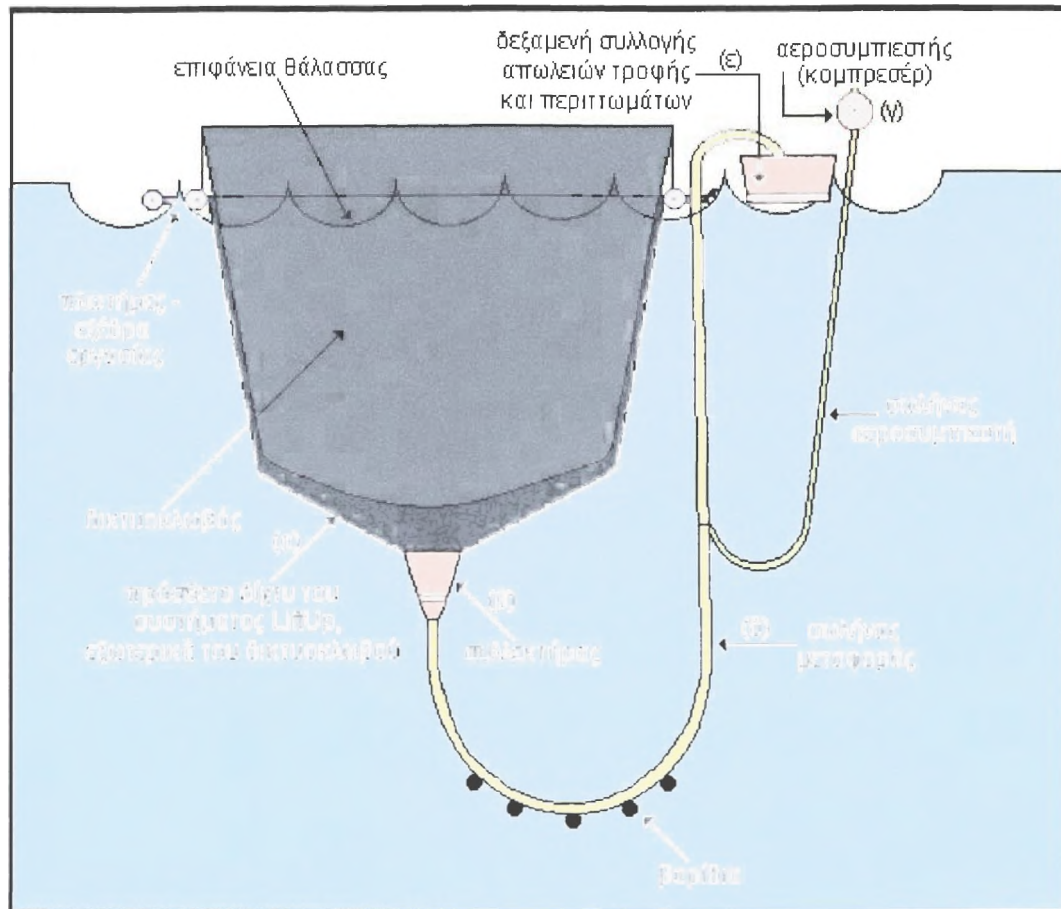
4.10.5 Παράγοντες μείωσης της χρήσης αντιβιοτικών

Οι κύριοι λόγοι που συντρέχουν για τη μείωση της χρήσης των αντιβιοτικών είναι η ανησυχία του κοινού για τη χρήση τέτοιων φαρμάκων στα ψάρια, που αποτελούν τροφή για τον άνθρωπο, αλλά και η εξέλιξη των εμβολίων για την πρόληψη των ασθενειών. Ο κυριότερος τρόπος για να μειωθεί η χρήση θεραπευτικών φαρμάκων στις υδατοκαλλιεργείες είναι η ανάπτυξη ικανοποιητικής προληπτικής μεταχείρισης (health management). Οι προσπάθειες προς αυτήν την κατεύθυνση πρέπει να εμπεριέχουν ικανοποιητικά προγράμματα αναπαραγωγής ψαριών με υγιές υλικό (υγιείς γεννήτορες, καλή ποιότητα αυγών και σπέρματος, καλές συνθήκες ανάπτυξης λαρβών). Σημαντική επίσης είναι και η κατασκευή εμβολίων για την πρόληψη βακτηριογενών ασθενειών, σημειωτέου ότι τα εμβόλια είναι ακίνδυνα και αδρανή για το περιβάλλον, δεν αφήνουν κατάλοιπα στη σάρκα των ψαριών και δεν προκαλούν τη δημιουργία ανθεκτικών στελεχών βακτηρίων (Βαρβαρίγγος Π., προσωπική επικοινωνία). Άλλος αρωγός παράγοντας προς την κατεύθυνση μείωσης των θεραπευτικών φαρμάκων στις υδατοκαλλιεργείες, είναι και η μείωση της πυκνότητας εκτροφής, ώστε το περιβάλλον εκτροφής να καταστεί λιγότερο στρεσογόνο για τους εκτρεφόμενους οργανισμούς. Το 1988, Ιάπωνες επιστήμονες συνέστησαν μια μέγιστη ιχθυοπυκνότητα της τάξης των $10\text{kg}/\text{m}^3$ (Κγυνί, 1989).

Το 2^ο Διεθνές Συνέδριο για την Προστασία της Βόρειας Θάλασσας, που έγινε στο Λονδίνο το Νοέμβριο του 1987, αποφάσισε: “να αποδεχθεί τις αρχές της προστασίας του θαλάσσιου οικοσυστήματος της Βόρειας Θάλασσας με τη μείωση ρυπογόνων ουσιών, οι οποίες διατηρούνται, είναι τοξικές και βιοσυσσωρεύονται, με τη χρήση της πιο σύγχρονης και διαθέσιμης τεχνολογίας και άλλων κατάλληλων μέτρων. Αυτά να εφαρμόζονται ιδιαίτερα εκεί που υπάρχει υποψία σίγουρης καταστροφής ή επικίνδυνων επιδράσεων στους ζωντανούς οργανισμούς της θάλασσας από τη χρήση τέτοιων ουσιών, ακόμα κι αν δεν υπάρχει επιστημονική ένδειξη που να αποδεικνύει τη σύνδεση μεταξύ αποβολής τέτοιων ουσιών και επίδρασής τους” (The London Declaration, 1987). Στη Νορβηγία, οι αρμόδιες αρχές έχουν ήδη ζητήσει από τους παραγωγούς και εισαγωγείς αντιβακτηριακών και άλλων φαρμάκων που χρησιμοποιούνται στις υδατοκαλλιεργείες, να αποδείξουν ότι αυτές οι ουσίες δεν επιβαρύνουν το περιβάλλον με οποιονδήποτε τρόπο (Røed, 1991).

Η τροφή που περιέχει αντιβακτηριακά φάρμακα και που δεν καταναλώνεται από τα ασθενή ψάρια πρέπει να αφαιρεθεί από το περιβάλλον αμέσως. Αυτή η περίσσεια τροφής πρέπει να συλλέγεται και να καταστρέφεται με τέτοιο τρόπο που να μην προκαλεί ρύπανση (Røed, 1991). Για το σκοπό αυτό στη Νορβηγία χρησιμοποιείται ο συλλεκτήρας περίσσειας τροφής με τη μέθοδο *Lift-Up* με ιδιαίτερη επιτυχία (Σχ.15).

Ο συλλεκτήρας αυτός συλλέγει την περίσσεια τροφής κάτω από τους δικτυοκλωβούς και τη μεταφέρει πίσω στην επιφάνεια. Ο ιχθυοκαλλιεργητής μπορεί, εφόσον θέλει, να ξαναχρησιμοποιήσει αυτήν την τροφή. Το όλο σύστημα αποτελείται από ένα επιπέδον δίχτυ τοποθετημένο έξω από τον δικτυοκλωβό (Σχ.15 (α)). Στον πυθμένα του δικτυού υπάρχει ένας ειδικός συλλεκτήρας (β) συνδεδεμένος μ' ένα μικρό κομπρεσέρ αέρα, που βρίσκεται στην επιφάνεια (γ). Η περίσσεια τροφής, αλλά και τα περιττώματα διοχετεύονται μέσω ενός σωλήνα (δ) σε μια δεξαμενή (ε) πίσω στην επιφάνεια. Η αποδοτικότητα του συστήματος εξετάσθηκε το 1991 στο Bergen (Νορβηγία) και τα αποτελέσματα ήταν πολύ ενθαρρυντικά. Η περισσότερη τροφή που διοχετεύθηκε σ' έναν άδειο ιχθυοκλωβό επιστράφηκε από τον συλλεκτήρα *Lift-Up* σε λιγότερο από 3min. Το σύστημα *Lift-Up* δοκιμάστηκε για διαφορετικά μεγέθη πελλετών και διαφορετικές εντάσεις ρεύματος του νερού. Σε όλες τις περιπτώσεις αποδείχθηκε ότι το σύστημα *Lift-Up* συλλέγει πάνω από το 90% της τροφής των κύριων μεγεθών που κυκλοφορούν στην αγορά της Νορβηγίας (Røed, 1991). Το σύστημα αυτό έχει αγορασθεί και χρησιμοποιηθεί από Νορβηγούς ιχθυοκαλλιεργητές με τεράστια επιτυχία στην απόδοσή του. Επίσης, το Υπουργείο Αλιείας της Νορβηγίας έχει θέσει περιορισμούς στη χρήση αντιβιοτικών και χημειοθεραπευτικών. Έχει επιβάλλει επίσης την αρχή ότι η περίσσεια τροφής που περιέχει αντιβακτηριακά πρέπει να συλλέγεται και να απομακρύνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε να μην προκαλεί ρύπανση (Røed, 1991). Σύμφωνα με τις αρχές για τον έλεγχο της ρύπανσης στη Νορβηγία, το σύστημα *Lift-Up* θα περιορίσει σημαντικά την ποσότητα των αντιβακτηριακών που αποβάλλονται στο περιβάλλον και θα εμποδίζει τα αντιβακτηριακά να απορροφώνται από άγριους πληθυσμούς ψαριών και την υπόλοιπη πανίδα.



Σχήμα 15. Σχηματική απεικόνιση του αυτόματου συστήματος συλλογής περίσσειας τροφής και περιττωμάτων *Lift-Up* (τροποπ. από Røed, 1991).

Σε μερικές χώρες, όπως η Ιαπωνία, αντιβακτηριακά φάρμακα έχουν χρησιμοποιηθεί και για προληπτικούς σκοπούς, γεγονός το οποίο προκαλεί πιο γρήγορα την εξέλιξη της αντίστασης των βακτηρίων έναντι των φαρμάκων αυτών. Τέτοια (προληπτική) χρήση φαρμάκων δεν επιτρέπεται στη Νορβηγία. Επίσης, υπάρχει πολύ αυστηρός έλεγχος των καταλοίπων αντιβιοτικών στα εκτρεφόμενα ψάρια. Ο έλεγχος αυτός γίνεται από υπηρεσίες του κράτους. Όποιος ιχθυοκαλλιεργητής μεταχειριστεί τα ψάρια του με αντιβιοτικά ή χημειοθεραπευτικά, απαγορεύεται να πουλήσει τα ψάρια μέχρις ότου πάρει έγκριση από τις αρμόδιες αρχές, μετά τους απαραίτητους ελέγχους (Røed, 1991).

Οι αρμόδιες αρχές για το ζήτημα αυτό δε φαίνεται να έχουν αντιδράσει ακόμα ως προς την κατεύθυνση συλλογής πληροφοριών για την επίδραση των αντιβιοτικών στο θαλάσσιο περιβάλλον. Οι κατευθυντήριες άξονες των ενεργειών που θα μπορούσαν να γίνουν φαίνεται να είναι οι εξής:

- ⊖ Μπορεί να αποφασισθεί να μην επιτρέπεται η είσοδος των αντιβιοτικών στα θαλάσσια ιζήματα. Αυτό σημαίνει υιοθέτηση νέας τεχνολογίας (π.χ. σύστημα *Lift-Up*) ή επανασχεδιασμός των ιχθυοτροφείων.
- ⊖ Μια δεύτερη αντίδραση θα ήταν η ανάκληση των αδειών αντιβιοτικών που δείχνουν να έχουν μεγάλο χρόνο ημιζωής στα ιζήματα.
- ⊖ Η αναθεώρηση των αδειών λειτουργίας μεμονωμένων ιχθυοτροφείων, των οποίων οι τοπικές υδρογραφικές συνθήκες ευνοούν τη συσσώρευση και τη μακρόχρονη διατήρηση των αντιβιοτικών που χρησιμοποιούν.
- ⊖ Η κατανόηση από τους ιχθυοκαλλιεργητές του μεγάλου βαθμού πρόληψης ασθενειών που προσφέρουν τα εμβόλια.
- ⊖ Η χορήγηση αντιβιοτικών πρέπει να κρίνεται απαραίτητη μόνο μετά από ιχθυοπαθολογικές εξετάσεις (αντιβιογράμμα) και να εγκρίνεται από συνταγή ιχθυοπαθολόγου.

Οι προσπάθειες προς τις παραπάνω κατευθύνσεις, εκτός του ότι σε λίγα χρόνια –αν όχι και σήμερα ακόμα– θα είναι επιτακτικές, χρειάζονται τη συνεργασία όχι μόνο μεμονωμένων των ιχθυοκαλλιεργητών, αλλά και των ιχθυοκαλλιεργητών μεταξύ τους και των αρμόδιων αρχών. Το κλειδί για την επιτυχία τέτοιων προσπαθειών είναι η ενημέρωση των παραπάνω φορέων από την επιστημονική κοινότητα. Επειδή δεν έχει εξελιχθεί αρκετά ακόμα η επιστήμη για τέτοιου είδους ζητήματα, αλλά και η χρηματοδότηση για τις έρευνες που απαιτούνται, θα πρέπει οι ιχθυοκαλλιεργητές να αρχίζουν να πιέζουν προς αυτές τις κατευθύνσεις, αν συλλογιστούν ότι τα αποτελέσματα θα είναι για το συμφέρον τους.

Συμπεραίνοντας, θα μπορούσε να ειπωθεί ότι (ι) εφόσον το περιεχόμενο της τροφής σε θεραπευτικό φάρμακο είναι πολύ μικρό, σε σύγκριση με τη διάλυση που υφίσταται η περίσσεια τροφής από το νερό - αποδέκτη και (ii) από τη στιγμή που η χρήση τους είναι περιστασιακή, μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελούν ένα πολύ μικρό ποσοστό του συνολικού φορτίου από μία υδατοκαλλιεργητική δραστηριότητα. Όμως, ενώ τα επίπεδα αυτά είναι πολύ χαμηλά και πολύ κάτω από τα ασφαλή όρια της νομοθεσίας, η επαναλαμβανόμενη χρήση των αντιβιοτικών έχει επιφέρει την ανάπτυξη ανθεκτικών στελεχών βακτηρίων, τα οποία έχουν βρεθεί σε ιζήματα κάτω από ιχθυοτροφεία (Austin, 1985; Björklund et al., 1990).

5. Βιολογικές επιπτώσεις

5.1 Προσέλκυση υδρόβιων οργανισμών γύρω από το πεδίο εκτροφής.

Οι απώλειες της τροφής και ο εμπλουτισμός του περιβάλλοντος με θρεπτικά συστατικά και οργανικό υλικό μπορεί να έχει σημαντικές επιδράσεις στους ιθαγενείς φυσικούς (άγριους) πληθυσμούς. Έτσι, υπάρχει μία γενική προσέλκυση πελαγικών και βενθικών οργανισμών γύρω από περιοχές όπου δραστηριοποιούνται υδατοκαλλιέργειες. Ο Collins (1971) κατέγραψε μεγάλους πληθυσμούς *Lepomis macrochirus* και *Lepomis microlophus* κοντά σε εκτροφεία γατόψαρου (*Ictalurus punctatus*) στις Η.Π.Α. Οι Kilambi et al. (1978) παρατήρησαν αύξηση στην αφθονία και επιβίωση του είδους *Micropterus salmoides* (largemouth bass), που ζούσε κοντά σε εκτροφεία πέστροφας (*Oncorhynchus mykiss*) και γατόψαρων (*Ictalurus punctatus*). Παρατήρησαν επίσης μία αύξηση της πρωτογενούς παραγωγής (φυτοπλαγκτόν) και του αριθμού των ατόμων του είδους *Lepomis macrochirus*, το οποίο αποτελεί τροφή για το *Micropterus salmoides*. Ο Phillips (1982) κατέγραψε με τη βοήθεια υποβρύχιας βιντεοκάμερας άγριες πέστροφες (*Salmo trutta*) να τρέφονται με την τροφή που έπεφτε από τους υπερκείμενους κλωβούς. Οι Rosenberg & Loo (1983) ανέφεραν την έντονη παρουσία βακαλάων, χελιών και πλατύψαρων γύρω από εκτροφές μυδιών, τα οποία τρέφονταν με τα εκτρεφόμενα μύδια που έπεφταν από τις σχεδίες εκτροφής. Οι Loyacano & Smith (1976), Kilambi et al. (1978) και Hays (1980) αναφέρουν την αλιεία πολλών ειδών θηρευτών και μη, δίπλα σε εκτροφεία γατόψαρων και ιριδίζουσας πέστροφας. Οι Brown et al. (1987) βρήκαν υψηλή αφθονία και ποικιλία ειδών μεταξύ 15 και 120m από την περίμετρο ενός ιχθυοτροφείου. Ο Markmann (1982) αναφέρει αφθονία δακτυλιοσκωλήκων (τάξεις: Oligochaeta και Hirudinea), δίπτερον εντόμων και γαστερόποδων στα νερά της απορροής εκτροφείου πέστροφας. Στη μελέτη αυτή βρέθηκε ότι το αυξημένο σωματιδιακό οργανικό υλικό και ο εμπλουτισμός του ιζήματος ευνοούσαν ηθμοφάγους και ιζηματοφάγους οργανισμούς, όπως το *Sphaerium corneum* και είδη του γένους *Simulium*. Επίσης, ο Mantle (1982) ανέφερε αύξηση των ειδών που ευνοούνταν από τον οργανικό εμπλουτισμό, όπως ολιγόχαιτοι σκώληκες της οικογένειας Tubificidae, τα γένη των βδελλοειδών δακτυλιοσκωλήκων *Erpobdella* και *Glossiphonia*, η υδρόβια ψείρα *Asellus aquaticus*, κουνούπια (*Tanytarsini spp.*)

και είδη της οικογένειας Chironomidae. Το είδος *Beggiatoa alba* βρέθηκε επίσης να καλύπτει την αναερόβια λάσπη (sludge) που προερχόταν από το ιχθυοτροφείο, σε σημεία όπου η ροή του νερού ήταν μικρή. Ο Carss (1990) μετά από εξέταση των στομάχων του είδους *Pollachius virens* (λαγός) που αλιεύθηκε κοντά σε εκτροφεία σολομού του Ατλαντικού και πέστροφας στη Σκωτία, ανέφερε ότι είχαν καταναλώσει θαλάσσιες ψείρες (*Leporophtheirus spp.*). Οι θαλάσσιες ψείρες ως γνωστόν δεν αποτελούν μέρος της διαίτας των ψαριών αυτών, αλλά ένα κοινό εξωπαράσιτο των σολομοειδών. Η παρουσία τους δε, ως μέρος της διατροφής των άγριων λαγών (*Pollachius virens*), μπορεί να συνδεθεί με το ότι ζουν κοντά στην περιοχή εκτροφής των σολομών και πέστροφών. Σημαντικός αριθμός ψαριών διαφόρων ειδών έχουν παρατηρηθεί σε περιοχές γύρω από ιχθυοκλωβούς και σε Ελληνικά ιχθυοτροφεία. Πιστεύεται μάλιστα ότι οι άγριοι αυτοί πληθυσμοί ψαριών αξιοποιούν την περίσσεια της τροφής που διαφεύγει από του κλωβούς, ανακυκλώνοντας πιθανά ένα σημαντικό μέρος του οργανικού υλικού, μειώνοντας έτσι τον οργανικό εμπλουτισμό του ιζήματος (Καρακάσης κ.α., 1997b).

Στην Galicia (Β.Δ. Ισπανία) υπάρχουν πυκνές εκτροφές μυδιών *Mytilus edulis* σε σχεδίες. Στην περιοχή αυτή παρατηρήθηκε ότι η διατροφική συνήθεια του καβουριού *Liocarcinus arcuatus* άλλαξε από 40% καρκινοειδή και 30.9% φύκη σε 43.5% μύδια, 15.8% φαιοφύκη (*Zostera spp.*) και 10% επιπανίδα (*Pisidia longicornis*) που προερχόταν από την υδατοκαλλιεργητική δραστηριότητα (Friere et al., 1990). Προσελκούνταν κι άλλα καβούρια στην περιοχή, όπως τα είδη *Macropipus puber*, *M. depurator* και *M. arcuatus*, τα οποία απαντούσαν σε πυκνότητα 0.47 άτομα/m² και βάρος 8.2g υγρού βάρους/m² κάτω από την περιοχή εκτροφής (Romero et al., 1982). Η φυσική σύνθεση του ζωοπλαγκτόν, που αποτελούνταν από κωπήποδα, άλλαξε προς την κυριαρχία λαρβών της επιπανίδας, κυρίως του *Pisidia longicornis* (Tenore et al., 1982).

Οι ιχθυοκλωβοί και οι κατασκευές εκτροφής μαλακίων (σχεδίες, σχοινιά, αλυσίδες, πάσσαλοι) προσφέρουν επίσης καταφύγιο και προστασία για πολλά είδη ψαριών (Chesney & Eglesias, 1979; Lopez-Jamar et al., 1984). Το κατά πόσο οι άγριοι πληθυσμοί ψαριών προσελκύνονται σε εκτροφές ιχθυοκλωβών λόγω παροχής τροφής ή λόγω των ίδιων των εγκαταστάσεων, μπορεί να διευκρινιστεί πειραματικά με τη σύγκριση της προσέλκυσης ψαριών σε άδειους ιχθυοκλωβούς και σε ήδη γεμάτους με εκτρεφόμενα ψάρια (Carss, 1990).

Τα άγρια ψάρια που ζουν γύρω από περιοχές εκτροφής ψαριών σε ιχθυοκλωβούς μπορούν να αποτελέσουν κίνδυνο για την εκτροφή. Πρώτον, μπορεί να προσελκύουν πουλιά - θηρευτές (π.χ. κορμοράνοι), τα οποία να επιτίθενται στα εκτρεφόμενα ψάρια. Δεύτερον, μπορούν να παίζουν το ρόλο φορέων για τη διάδοση ασθeneιών και παρασίτων (Carss, 1990).

Θηρευτικά είδη βρίσκονται συχνά γύρω από υδατοκαλλιεργητικές δραστηριότητες. Προσελκύονται λόγω των εκτρεφόμενων και των άγριων πληθυσμών ψαριών που ζουν εκεί, αλλά και από την έτοιμη τροφή που τους παρέχεται (περίσσεια τροφής). Τέτοιοι θηρευτές είναι συνήθως πουλιά, μεγαλύτερα ψάρια, τρωκτικά, αρκούδες ή φίδια (Coche, 1982; Salmon & Conte, 1982; Parametrix, 1990). Η παρουσία πολλών ειδών πτηνών και θηλαστικών σε περιοχές όπου δραστηριοποιούνται υδατοκαλλιεργείες, οφείλεται στο ότι οι περιοχές αυτές υπηρετούν ως τόποι διαβίωσης, αναπαραγωγής και διαχείμανσης για τα ζώα αυτά. Τα περισσότερα από αυτά είναι θηρευτικά είδη και τα πεδία εκτροφής ψαριών αποτελούν γι' αυτά ιδανικό τόπο εύρεσης τροφής. Από αυτή την άποψη ο εκτροφέας βλέπει τα ζώα αυτά ως απειλή για το στοκ του. Από την άλλη μεριά όμως, οι προσπάθειες και τα μέτρα που παίρνει ο κάθε εκτροφέας για να προστατέψει τα ψάρια του, μπορούν να αποτελέσουν απειλή για τα πτηνά και θηλαστικά. Μερικά από αυτά τα είδη μπορεί να προστατεύονται από ειδικές συνθήκες προστασίας της φύσης σε διάφορες χώρες και η εξόντωσή τους να μην επιτρέπεται, εκτός αν δοθεί ειδική άδεια από αρμόδιες αρχές.

Οι εκτροφείς έχουν εφαρμόσει διάφορες μεθόδους για τον έλεγχο των επιθέσεων πουλιών στα εκτρεφόμενα ψάρια, με διαφορετική επιτυχία η καθεμία. Τα αντιαρπακτικά δίκτυα είναι το κύριο προστατευτικό μέτρο που εφαρμόζεται. Αυτό όμως είναι δύσκολο να εφαρμοστεί σε εκτατικές εκτροφές με μεγάλη ιχθυοπυκνότητα. Σε τέτοιου τύπου εκτροφές έχουν χρησιμοποιηθεί φώτα που αναβοσβήνουν με μεγάλη συχνότητα (flash lights, strobe lights), σειρήνες, κόρνες, γκόνγκ, σκιάχτρα, κουδουνίστρες από bamboo, κουδούνια και ανεμόμυλοι εξοπλισμένοι με κάτοπτρα· όλα αυτά είχαν μεγάλη επιτυχία στην αρχή. Με τον καιρό όμως τα πουλιά έμαθαν να τα αγνοούν (Pillay, 1992).

Ανάμεσα από όλα τα θηλαστικά - θηρευτές που σχετίζονται με υδατοκαλλιεργείες, τα πιο καταστροφικά είναι οι ενυδρίδες (*Lutra* και *Aonyx*) (Pillay, 1992). Επιτίθενται συνήθως σε μεγάλα ψάρια, το οποίο από

υδατοκαλλιεργητική άποψη σημαίνει εμπορεύσιμο μέγεθος. Οι εκτροφείς προσπαθούν να αποτρέπουν την είσοδό τους στην περιοχή εκτροφής με το χτίσιμο περιφράξεων και την κατασκευή παγίδων. Η κοινή και η γκριζα φώκια και η νυφίτσα έχουν αναφερθεί ως σημαντικοί θηρευτές για εκτρεφόμενα ψάρια σε κλωβούς στη Σκωτία (Pillay, 1992). Οι φώκιες όμως, ως είδος που τελεί υπό εξαφάνιση, έχουν την προστασία του νόμου στη Σκωτία.

Αυτά τα ζώα δεν καταστρέφουν και καταναλώνουν μόνο τα πολύτιμα για την εκτροφή ψάρια, αλλά μπορούν επίσης να ενισχύσουν την παρουσία ασθενειών στην περιοχή, δρώντας ως ενδιάμεσοι ξενιστές στους βιολογικούς κύκλους παρασίτων. Δευτερεύουσες επιμολύνσεις μπορούν να συμβούν από τραύματα που προκαλούνται από τις προσπάθειες των θηρευτών να συλλάβουν τα εκτρεφόμενα ψάρια. Αυτό συνδέεται περισσότερο με τα πουλιά - θηρευτές που αποτυγχάνουν να συλλάβουν τα ψάρια με το ράμφος τους και τα τραυματίζουν. Οι θηρευτές μπορούν επίσης να καταστρέψουν τις εγκαταστάσεις προκαλώντας τη διαφυγή των εκτρεφόμενων ψαριών (Secretan, 1979).

Όπως φαίνεται λοιπόν ότι οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ πτηνών και θηλαστικών - θηρευτών και υδατοκαλλιεργειών είναι αμφίδρομες. Οι κύριες επιπτώσεις των υδατοκαλλιεργειών στα πτηνά είναι οι εξής:

- φυσικές ζημιές στους πληθυσμούς των πτηνών από προστατευτικούς μηχανισμούς και εσκεμμένη θανάτωσή τους,
- παρενόχληση από τις δραστηριότητες της υδατοκαλλιέργειας και των μηχανισμών εκφοβισμού των πτηνών και
- επέμβαση στο φυσικό βιότοπο των πτηνών.

Οι κύριες επιπτώσεις των υδατοκαλλιεργειών στα θηλαστικά είναι οι εξής:

- ‡ παγίδευση και εξόντωσή τους,
- ‡ κατά λάθος παγίδευση σε αντιαρπακτικά δίχτυα και φράχτες και
- ‡ επέμβαση στις φυσικές συνήθειες των θηλαστικών λόγω εγκατάστασης του ιχθυοτροφείου.

Οι κύριες επιπτώσεις των πτηνών και θηλαστικών στις υδατοκαλλιέργειες, δηλαδή στα εκτρεφόμενα ψάρια, είναι οι εξής:

- ➡ απώλειες ψαριών λόγω θήρευσής τους,

- καταστροφή δίχτων και λοιπών εγκαταστάσεων και
- η πιθανότητα μεταφοράς ασθενειών στα εκτρεφόμενα ψάρια.

5.2 Διαφυγές εκτρεφόμενων ψαριών.

Οι διαφυγές εκτρεφόμενων ψαριών από τις εγκαταστάσεις υδατοκαλλιεργειών μπορούν να συμβούν παρόλα τα απαραίτητα μέτρα ασφάλειας, ως αποτέλεσμα ατυχημάτων και φυσικών καταστροφών, όπως πλημμύρες και καταιγίδες. Ιδίως κατά τη διάρκεια καταιγίδων είναι πολύ πιθανό να συμβούν δραπετεύσεις ψαριών. Τέτοια περίπτωση αναφέρει ο Gabriel (1979) στη Laguna de Bay (Φιλιππίνες). Τα εκτρεφόμενα ψάρια μπορούν να δραπετεύσουν και κατά τη διάρκεια της διαλογής, της εξαλίευσης και όταν τα δίχτυα των κλωβών είναι κατεστραμμένα (τρύπια) από βανδαλισμούς ή κακοκαιρία. Οι διαφυγές ψαριών λόγω ατυχήματος είναι γενικά μικρές, εκτός από τις περιπτώσεις φυσικών καταστροφών, όπου οι ιχθυοκλωβοί υφίστανται σοβαρές ζημιές ή και ολική καταστροφή. Τα εκτρεφόμενα σε ιχθυοκλωβούς ψάρια είναι ιδιαίτερα εκτεθειμένα σε τέτοιες διαφυγές, λόγω ζημιών στους κλωβούς που προκαλούνται από θηρευτές, βανδαλισμούς και αρπαγές. Το μέγεθος των απωλειών σε ψάρια (δραπετεύσεις) είναι δύσκολο να προσδιοριστεί, αλλά μπορεί να είναι σημαντικό (Penczak et al., 1982).

Η γενική παρατήρηση, που αφορά άτομα ψαριών που έχουν παραχθεί σε ιχθυογεννητικό σταθμό είναι ότι έχουν μικρότερο ποσοστό επιβίωσης και λιγότερη ικανότητα ανταγωνισμού στην ανοικτή θάλασσα από τα άγρια άτομα. Αυτό τα κάνει να αποτελούν εύκολη λεία για τους άγριους θηρευτές και επιπλέον να είναι ανίκανα στον ενδοειδικό ανταγωνισμό. Αν και δεν υπάρχουν ακριβείς μετρήσεις για την επιβίωση ψαριών που έχουν διαφύγει από μία υδατοκαλλιέργεια, υπάρχουν αναφορές για την εγκατάσταση επιχειρήσεων αλιείας πέστροφας σε περιοχές όπου υπάρχουν ιχθυοτροφεία πέστροφας στη Σκωτία (Carss, 1990). Η ετήσια αλιεία 5^{τη} πέστροφας στο Loch Fad (Σκωτία), η οποία ποσότητα αποτελεί το 2.5% της ολικής παραγωγής πέστροφας από τις υδατοκαλλιέργειες, θεωρείται ότι προέρχεται από ψάρια που έχουν διαφύγει από ιχθυοκλωβούς (Phillips et al., 1985). Στοιχεία που αναφέρονται από τους ίδιους ερευνητές δείχνουν ότι τα ποσά αλιείας πέστροφας στο Loch Charn (Σκωτία) έχουν αυξηθεί μετά την εγκατάσταση πεστροφοκαλλιεργειών στην περιοχή. Στη μελέτη του Carss (1990) τα περισσότερα ψάρια που αλιεύθηκαν

κοντά σε δύο εκτροφεία πέστροφας (*Oncorhynchus mykiss*) στο Loch Awe (Σκωτία) ήταν πέστροφες, γεγονός που υποδεικνύει ότι επρόκειτο για τα ψάρια που είχαν δραπετεύσει. Κάτι παρόμοιο έχει αναφερθεί και για μία λίμνη στην Πολωνία (Penczak et al., 1982). Συγκεκριμένα, αναφέρθηκε η αλιεία 1-4tn πέστροφας (*Oncorhynchus mykiss*) που είχε διαφύγει από ιχθυοκλωβούς. Η ποσότητα αυτή αποτελούσε το 5% της ολικής παραγωγής πέστροφας (έτους 1977) από εκτροφές σε ιχθυοκλωβούς.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι παραπάνω περιπτώσεις διαφυγής εκτρεφόμενων ψαριών παρατηρήθηκαν σε λίμνες και κόλπους (lochs), παρά σε πιο ανοικτές και εκτεθειμένες περιοχές. Τα περισσότερα από αυτά τα ψάρια θεωρείται ότι μένουν κοντά στο πεδίο εκτροφής απ' όπου διέφυγαν (Phillips et al., 1985). Έρευνες έχουν αποδείξει ότι τα ψάρια που έχουν διαφύγει τρέφονται κοντά στους κλωβούς, προφανώς από την περίσσεια τροφής που εισέρχεται στο περιβάλλον, αλλά και από την αύξηση της παραγωγικότητας που παρατηρείται σε τέτοια εύτροφα νερά.

Η συμπεριφορά των άγριων πληθυσμών ψαριών πιθανόν να αλλάζει από την παρουσία των ιχθυοκλωβών και οι αναπόφευκτες αποδράσεις εκτρεφόμενων ψαριών μπορεί να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στις υπάρχουσες κοινωνίες υδρόβιων οργανισμών (Phillips, 1985). Οι επιπτώσεις από τη διαφυγή εκτρεφόμενων ψαριών στην υπόλοιπη βιολογική κοινότητα που έχουν αναφερθεί έως τώρα, περιλαμβάνουν:

- ✦ την εξάλειψη άγριων ιθαγενών πληθυσμών ψαριών μέσω θήρας ή ανταγωνισμού,
- ✦ τη γενετική διασταύρωση με τα ιθαγενή είδη και την εκφύλιση των γονιδίων,
- ✦ την καταστροφή του βιότοπου και τη μετάδοση ασθενειών.

Ο Markmann (1982) αναφέρει την εξαφάνιση αρθρόποδων εντόμων των τάξεων πλεκόπτερα, εφημερόπτερα και τριχόπτερα σε πεστροφοτροφεία στη Δανία. Ο Mantle (1982) παρατήρησε μείωση στην ποικιλία των ασπόνδυλων και στην επικάλυψη των βράχων και του ιζήματος με μύκητες, όπως τα είδη *Sphaerotilus natans* και *Beggiatoa alba* στα νερά απορροής ενός πεστροφοτροφείου στο Ηνωμένο Βασίλειο. Υπήρχε μία μείωση στην ποικιλία και αφθονία των αλγών και άλλων ασπόνδυλων. Χαρακτηριστική ήταν και η απουσία της πεταλίδας *Ancylus fluviatilis*.

Το μέγεθος του ανταγωνισμού των διαφυγόντων ψαριών και των άγριων ιθαγενών ειδών εξαρτάται από τις διατροφικές τους συνήθειες και τη γενικότερη οικολογική τους ηθολογία. Το ζήτημα που ενδιαφέρει περισσότερο από περιβαλλοντική άποψη είναι η πιθανότητα της γενετικής διασταύρωσης των

διαφυγόντων ψαριών με τους άγριους πληθυσμούς, αλλάζοντας έτσι το γενετικό υπόβαθρο των άγριων πληθυσμών, με την εισαγωγή γονιδίων ακατάλληλων για τις τοπικές περιβαλλοντικές συνθήκες. Αυτό σημαίνει ότι τα συγκεκριμένα είδη που έχουν επιλεγεί για υδατοκαλλιεργείες ανά τον κόσμο, έχουν επιλεγεί ακριβώς γιατί προσαρμόζονται και συμπεριφέρονται καλά κάτω από συνθήκες αιχμαλωσίας και διάφορων χειρισμών. Με τη διαδοχική παραγωγή γόνου σε ιχθυογεννητικούς σταθμούς οι διαφορές στους γενετικούς χαρακτήρες μεταξύ εκτρεφόμενων και άγριων πληθυσμών ψαριών γίνονται ολοένα και εντονότερες. Αν και οι υπάρχουσες ενδείξεις δεν έχουν οδηγήσει ακόμα σε ασφαλή αποτελέσματα, δείχνουν ότι ψάρια που έχουν παραχθεί σε ιχθυογεννητικό σταθμό δεν έχουν τόσο καλή επιβίωση στο φυσικό περιβάλλον όσο ο γόνος των άγριων ειδών ψαριών. Αν όντως είναι έτσι, το αποτέλεσμα θα είναι η εισαγωγή κατώτερων γονιδίων στο ήδη υπάρχον φυσικό γονιδιακό υπόβαθρο. Αν εκτρεφόμενοι πληθυσμοί ψαριών που έχουν διαφύγει από τις υδατοκαλλιεργητικές εγκαταστάσεις αναπτύξουν στοκ γεννητόρων στο φυσικό περιβάλλον ή επιτύχουν διασταύρωση με άγριους πληθυσμούς, τότε υπάρχει ο κίνδυνος απώλειας της γενετικής ποικιλίας.

5.3 Επιπτώσεις στους φυσικούς πληθυσμούς.

Είδη ψαριών μπορούν επίσης να απελευθερώνονται εσκεμμένα στο περιβάλλον, όπως συμβαίνει στην περίπτωση σολομών που απελευθερώνονται σε ποταμούς για να αυξήσουν το ήδη υπάρχον στοκ.

Ο Rosenthal (1980) ανέφερε *ακούσιες** εισαγωγές υδρόβιων οργανισμών και *εκούσιες** μεταφορές και εισαγωγές εκτρεφόμενων οργανισμών. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η ακούσια μεταφορά της πεταλίδας μαζί με την εκούσια εισαγωγή του Αμερικάνικου στρειδιού στην Ευρώπη. Η πεταλίδα απομάκρυνε τα στρείδια από το υπόστρωμά τους και εξαπλώθηκε γρήγορα στην Ευρώπη. Ως αποτέλεσμα ήταν η παρεμπόδιση της φυσικής διασποράς του στρειδόσπορου. Άλλο παράδειγμα είναι η μεταφορά του *Mytilicola orientalis*, το οποίο προκαλεί παθολογικές αλλαγές στο

* Με τον όρο *ακούσια εισαγωγή* εννοείται η 'κατά λάθος' μεταφορά και εισαγωγή ενός υδρόβιου οργανισμού (συνήθως παρασίτων) κατά την *εκούσια*, δηλ. την εσκεμμένη μεταφορά και εισαγωγή ενός άλλου οργανισμού για εκτροφή ή εμπλουτισμό.

έντερο των στρειδιών, μαζί με την εισαγωγή του Ιαπωνικού μυδιού στην Αμερική, με αποτέλεσμα το στρείδι του Ειρηνικού να δεχθεί 'επίθεση' λόγω ανταγωνισμού μεταξύ των δύο ειδών (Rosenthal, 1980). Η εξάπλωση της ιογενούς ασθένειας ΙΗΗΝV (Infectious Hypodermal and Hematopoietic Necrosis Virus), λόγω της εξάπλωσης ειδών της οικογένειας Penaeidae για εκτροφή ανά τον κόσμο, έχει επίσης αναφερθεί από τους Brock et al. (1983) και τους Lightner et al. (1983). Ο ιός αυτός είναι ιδιαίτερα θανατηφόρος για το είδος *Penaeus stylirostris* (Bell & Lightner, 1983). Αξιομνημόνευτο είναι ότι δεν υπάρχει ακόμη αποτελεσματική θεραπεία.

Οι Thorgaard & Allen (1988) έχουν επισημάνει τις πιθανές επιπτώσεις ύπαρξης πολυπλοϊδών ψαριών, που έχουν παραχθεί σε ιχθυογεννητικούς σταθμούς, ανάμεσα σε φυσικούς πληθυσμούς. Για την περίπτωση αναγκαίας εισαγωγής και μεταφοράς εκτρεφόμενων ειδών έχει προταθεί η χρησιμοποίηση στείρων οργανισμών, εφόσον αυτοί έχουν μηδαμινές πιθανότητες για αρνητικές επιπτώσεις στους άγριους πληθυσμούς. Αν και στείρα υβρίδια ή τριπλοϊδή μπορούν να εμπλακούν στην αναπαραγωγή φυσικών πληθυσμών ηθολογικά ή με άλλο μη γενετικό τρόπο, οι γενετικές επιδράσεις είναι μηδαμινές (Pillay, 1992). Γόνιμα υβρίδια μπορούν να υποβοηθήσουν στην εισαγωγή καλής ποιότητας γονιδίων ή τμημάτων χρωμοσωμάτων στα εκτρεφόμενα είδη, αλλά συνίσταται μόνο για κλειστά συστήματα, όπου ο κίνδυνος διαφυγής ψαριών είναι πολύ μικρός.

Μπορεί να υπάρξει μεταφορά ασθένειας από εκτρεφόμενους σολομούς - φορείς σε φυσικούς πληθυσμούς σολομού (Cross, 1991). Μία τέτοια περίπτωση έχει αναφερθεί από τους Halvorsen & Hartvigsen (1989), όπου το τρηματώδες παράσιτο *Gyrodactylus salaris* εισήχθει σε ανθεκτικό σολομό της Βαλτικής (*Salmo salar*), που χρησιμοποιήθηκε για εμπλουτισμό. Ο βαθμός της αντίστασης σ' αυτό το παράσιτο ποικίλλει γενετικά μεταξύ των σολομών της Βαλτικής και αυτών του ανατολικού Ατλαντικού (Bakke et al., 1990).

Επίσης, με την ολοένα αυξανόμενη παραγωγή εκτρεφόμενων ειδών από υδατοκαλλιέργειες υπάρχει μία εξίσου αύξηση της ζήτησης ψαριών για την παραγωγή τροφίμων. Σαρκοφάγα είδη, όπως τα σολομοειδή, χρειάζονται ένα μεγάλο ποσοστό της τροφής τους να αποτελείται από ζωικές πρωτεΐνες. Αυτό παρέχεται από είδη όπως το menhaden και το pollock. Η ρέγγα της Βαλτικής χρησιμοποιείται επίσης ως νωπή τροφή για την εκτροφή της πέστροφας στη Φινλανδία. Χρειάζονται 6kgg ρέγγας ως τροφή για την παραγωγή 1kgg πέστροφας. Ενώ μία αύξηση στη

ζήτηση ειδών ψαριών που χρησιμοποιούνται ως νωπή τροφή στις υδατοκαλλιέργειες προκαλεί την αναθέρμανση του εμπορίου στις αλιευτικές βιομηχανίες, υπάρχει ο κίνδυνος της υπεραλίευσης των ειδών αυτών, λόγω της επιπλέον, εκτός από τους ανθρώπους, ζήτησής τους.

6. Φυσικές και κοινωνικές επιπτώσεις

6.1 Επιδράσεις στη ροή του νερού

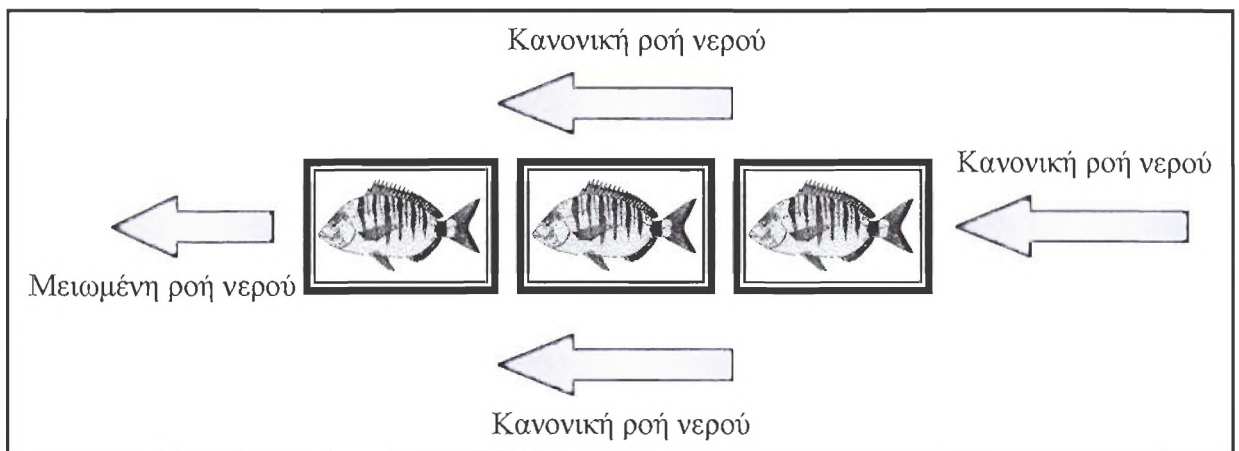
Οι εντατικού τύπου εκτροφές μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά τη ροή του νερού. Όπως έχει προαναφερθεί, η ροή του νερού διαμέσου των εγκαταστάσεων εκτροφής είναι σημαντικός παράγοντας διασποράς του σωματιδιακού υλικού που προέρχεται από την εκτροφή. Ένα μεγάλο εκκολαπτήριο πέστροφας για παράδειγμα, που αντλεί νερό από το έδαφος μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τη ροή του ποταμού που θα είναι αποδέκτης των νερών απορροής του εκκολαπτηρίου. Οι εγκαταστάσεις εντατικών ιχθυοκαλλιέργειών και εκτροφών μαλακίων επηρεάζουν τη ροή του νερού λειτουργώντας ως ένα φυσικό εμπόδιο στη διαδρομή του ρεύματος. Η έκταση αυτής της επίπτωσης εξαρτάται από την ταχύτητα του ρεύματος· το μέγεθος, το σχήμα και τη διεύθυνση των εγκαταστάσεων εκτροφής· τις διαστάσεις, τον τύπο και το υλικό των δίχτων· το βαθμό της επικόλλησης και την πυκνότητα εκτροφής. Η κανονική ροή του νερού επηρεάζεται από όλες τις κατευθύνσεις λόγω παρεμπόδισης, αλλά περισσότερο κατά τη φορά του ρεύματος. Ο Inoue (1972) παρατήρησε μία μείωση στην ένταση του ρεύματος της τάξης του 65% μέσα σ' έναν ιχθυοκλωβό διαστάσεων 20×20×6m. Το άνοιγμα ματιού του δικτυοκλωβού ήταν 5cm και ήταν στοκαρισμένος με μαγιάτικο (*Seriola quinqueradiata*) σε πυκνότητα 1.6kg/m³. Επίσης, παρατήρησε ότι σε κλωβούς διευθετημένους παράλληλα με τη φορά του ρεύματος, η ένταση του ρεύματος μειωνόταν σε διαδοχικά κλουβιά (Σχ.16). Ο συντελεστής της παρεμπόδισης (coefficient of drag, Cd) μπορεί να υπολογιστεί από τους παρακάτω τύπους (Milne, 1979):

$$Cd = 1 + 3.77 \times \left(\frac{dt}{ms} \right) + 9.37 \times \left(\frac{dt}{ms} \right)^2 \quad \text{για δίχτυ με κόμπους και}$$

$$Cd = 1 + 2.73 \times \left(\frac{dt}{ms} \right) + 3.12 \times \left(\frac{dt}{ms} \right)^2 \quad \text{για δίχτυ χωρίς κόμπους, όπου:}$$

- Cd: ο συντελεστής παρεμπόδισης,
- dt: η διάμετρος (πάχος) του νήματος και
- ms: το άνοιγμα ματιού του δίχτυου.

Από τη μελέτη των τύπων είναι φανερό ότι τα δίχτυα χωρίς κόμπους επηρεάζουν λιγότερο τη ροή του νερού απ' ό,τι τα δίχτυα με κόμπους. Τα νήματα από πολυαιθυλένιο έχουν επίσης μικρότερη επίδραση στη ροή του νερού απ' ό,τι τα νάιλον (Milne, 1979).



Σχήμα 16. Σχηματική απεικόνιση της μείωσης της ροής του νερού (ένταση ρεύματος) σε διαδοχικούς ιχθυοκλωβούς τοποθετημένους παράλληλα στη φορά του ρεύματος.

Η ροή του νερού μειώνεται επίσης από τις εκτροφές στρειδιών σε επιφάνειες πυθμένα (table culture) και μυδιών σε πασσάλους (τύπος 'bouchot') στη Γαλλία (Ottman & Sornin, 1985). Αυτές οι κατασκευές μειώνουν την κανονική ροή του νερού κατά 25-50%. Ως αποτέλεσμα αυτού είναι και η ελάττωση της φυσικής διάβρωσης του πυθμένα από τη δράση των κυμάτων. Επίσης, συνδέεται και με δημιουργία ανοξικών συνθηκών, κάτι το οποίο υποχρέωνε τους εκτροφείς να μετακινούν τις κατασκευές της εκτροφής σε άλλες μεριές. Ιδιαίτερα στις εκτροφές μυδιών τύπου 'bouchot', όπου οι πάσσαλοι τοποθετούνται σε απόσταση 1m μεταξύ τους, τα άτομα μυδιών καθώς αυξάνονται κλείνουν τον ενδιάμεσο αυτό χώρο, με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένας φυσικός τοίχος που εμποδίζει τη ροή του νερού διαμέσου της εκτροφής.

Η παρεμπόδιση της ροής του νερού μπορεί να δημιουργήσει πρόβλημα στην οξυγόνωση του νερού, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται αρνητικά η πρόσληψη

οξυγόνου από τους εκτρεφόμενους οργανισμούς, αλλά και από τους άγριους φυσικούς πληθυσμούς που ζουν γύρω από το πεδίο εκτροφής. Μπορεί επίσης να υπάρξει επίπτωση στη διασπορά των οργανικών και θρεπτικών αποβλήτων μιας υδατοκαλλιέργειας. Η παρεμπόδιση της φυσικής μεταφοράς των αιωρούμενων υλικών από τα ρεύματα μπορεί να προκαλέσει την απόθεση του υλικού αυτού κάτω από το χώρο της εκτροφής (Briakhurst, 1974; Smith, 1975; Gibbs, 1977; Pearson & Rosenberg, 1978), με αποτέλεσμα την έντονη ιζηματογένεση και επικείμενες επιπτώσεις στο βένθος, ακόμη και τη δημιουργία ανοξικών συνθηκών λόγω έντονης βιοαποικοδόμησης της συσσωρευμένης οργανικής ύλης. Τέτοιες επιπτώσεις αποτελούν έντονο πρόβλημα σε ποταμούς, λίμνες και λιμνοθάλασσα / δελταϊκά περιβάλλοντα, όπου υπάρχουν μεγάλες συγκεντρώσεις αιωρούμενου υλικού (Iwama, 1991).

6.2 Καταστροφή φυσικού περιβάλλοντος (αισθητική), κατάληψη χώρου, συμβατότητα με άλλες δραστηριότητες, αντιδράσεις του κοινού

Οι πιθανές επιπτώσεις των υδατοκαλλιεργειών στο περιβάλλον έχουν προκαλέσει την ανησυχία ανθρώπων από διάφορους κοινωνικούς τομείς. Υπάρχουν πολλές περιπτώσεις, κυρίως στη Β. Αμερική, όπου οι άνθρωποι αντιδρούν στη θέα και την οσμή που προέρχεται από εντατικές ιχθυοκαλλιέργειες. Η τάση των ιχθυοκαλλιεργητικών μονάδων είναι να εγκαθίστανται σε περιοχές όπου ο ρυθμός εναλλαγής των νερών είναι καλός και η πρόσβαση είναι εύκολη. Αυτά τα κριτήρια μιας περιοχής αναζητώνται κι από άλλες δραστηριότητες, όπως το ψάρεμα ως χόμπυ και ο τουρισμός. Επιχειρήματα, όπως η αυξημένη κίνηση τροχοφόρων, τα σκουπίδια που προκαλούνται (άδειες σακούλες ιχθυοτροφών, κομμάτια δικτύων, σπασμένα ιχθυοκιβώτια) και η οσμή των νεκρών ψαριών έχουν επανειλημμένως χρησιμοποιηθεί για να εκφράσουν την αντίθεση του κοινού στην εγκατάσταση υδατοκαλλιεργειών. Αντιθέσεις που έχουν να κάνουν με την οπτική αισθητική των υδατοκαλλιεργειών έχουν εκφρασθεί σε περιοχές όπου ο τουρισμός αποτελεί σημαντική βιομηχανία (Behrendt, 1984). Άλλες αντιρρήσεις για τη λειτουργία υδατοκαλλιεργητικών μονάδων βασίζονται στις πιθανές επιπτώσεις του θρεπτικού εμπλουτισμού και του ευτροφισμού. Η κατασκευή σύγχρονων κέντρων επεξεργασίας αποβλήτων από το 1960 και εξής στη Σουηδία, έχει χρησιμοποιηθεί ως επιχείρημα ενάντια των

υδατοκαλλιεργειών, όσον αφορά την απελευθέρωση θρεπτικών (άζωτο και φώσφορος). Συγκεκριμένα έχει ειπωθεί (In: Ackefors & Olburs, 1996): “*πρώτα χτίζετε κέντρα επεξεργασίας για την απομάκρυνση του αζώτου και φωσφόρου από τα νερά των αποβλήτων και μετά επιτρέπετε στις υδατοκαλλιέργειες να αποβάλλουν θρεπτικά συστατικά στο περιβάλλον*”. Ακόμα, υποστηρίζεται ότι τα ψάρια μπορεί να αποκτήσουν μία ‘λασπώδη’ γεύση όταν ζουν σε περιβάλλοντα με υψηλό βαθμό οργανικού εμπλουτισμού (In: Iwama, 1991). Η ανάπτυξη υδατοκαλλιεργητικών δραστηριοτήτων δεν θα πρέπει να επιτρέπεται σε περιοχές βιοτόπου γόνου χελιών, βραχωδών υφάλων, ανάπτυξης δίθυρων, καταφύγια φυσικών πληθυσμών και βιοτόπων πουλιών και θηλαστικών ιδιαίτερης σημασίας (Pillay, 1992).

Όπως συμβαίνει για τα περισσότερα κοινωνικά ζητήματα, το ευρύ κοινό μαθαίνει πληροφορίες για τη λειτουργία των υδατοκαλλιεργειών από τα μέσα μαζικής ενημέρωσης, τα οποία εκφράζουν μία διαφορούμενη άποψη για τη βιομηχανία των υδατοκαλλιεργειών. Τίτλοι άρθρων της μεγαλύτερης Σουηδικής πρωινής εφημερίδας ‘Dagens Nyheter’ σχετικά με τεράστιες ποσότητες αντιβιοτικών που χρησιμοποιούνται στα ψάρια και αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον από υδατοκαλλιεργητικές δραστηριότητες, δεν ευνοούσαν την εξέλιξη του κλάδου των υδατοκαλλιεργειών στη Σουηδία. Διάφοροι τέτοιοι τίτλοι ήταν: “*Ένας εκτροφέας ψαριών είναι κίνδυνος για το περιβάλλον*”, “*Οι ιχθυοκαλλιέργειες ρυπαίνουν τη θάλασσα*”, “*Τα απόβλητα των ιχθυοκλωβών είναι ίδια με τα περιττώματα των ανθρώπων*”, και άλλοι παρόμοιοι. Τέτοιου περιεχομένου τίτλοι και αντίστοιχα άρθρα έχουν γραφεί κατά καιρούς και στον Ελληνικό έντυπο τύπο. Παρακάτω αναφέρονται μερικά αποσπάσματα άρθρων δημοσιευμένων σε εφημερίδες και άλλο έντυπο υλικό της Ελλάδας¹.

“Τι είναι όμως αυτό που κάνει και διαμαρτύρονται όλοι από την Κοινότητα Αλιβερίου μέχρι τους ταβερνιάρηδες και από τους ψαράδες μέχρι τον τοπικό εκπολιτιστικό σύλλογο; Οι ψαράδες γιατί βλέπουν έναν ανταγωνιστή στις ψαριές τους, οι ταβερνιάρηδες και οι ιδιοκτήτες επιπλωμένων δωματίων γιατί προβλέπουν ότι το

¹ Σκοπός των συγγραφέων είναι να αναφερθεί απλά το περιεχόμενο των επιλεγμένων άρθρων, γι’ αυτό και τα ονόματα των αρθρογράφων και των εντύπων δεν αναφέρονται στο κείμενο και τη βιβλιογραφία του παρόντος.

τουριστικό ρεύμα θα μειωθεί, οι εργολάβοι γιατί ποιος τρελός θα χτίσει δίπλα στις 'κλούβες' από λαβράκια. Φυσικά όλοι βάζουν στις διαμαρτυρίες τους και μερικές κορώνες 'οικολογικές' και καμιά απειλή τύπου 'Λάρισας' για αγωνιστικές κινητοποιήσεις...”.

“... θα πρέπει να σημειωθεί πριν την εγκατάσταση της μονάδας² ο κόλπος αυτός ήταν ένα από τα ωραιότερα κομμάτια της ακτής στην περιοχή και φιλοξενούσε το καλοκαίρι μεγάλο αριθμό τουριστών για 'ελεύθερο κάμπινγκ'. Σήμερα, μετά την εγκατάσταση της μονάδας, αν και αυτή είναι ελάχιστα ορατή από την ακτή, δεν εγκαθίσταται κανένας επισκέπτης λόγω του εντελώς ακατάλληλου της παραλίας της. Δηλαδή, η χρήση της παραλίας για υδατοκαλλιέργειες είναι ασυμβίβαστη με εκείνη της κολύμβησης και των παράκτιων δραστηριοτήτων της αναψυχής γενικότερα...”.

“Εκεί³, μέσα στο λιμάνι, βρήκε η ρωμέικη ασιδοσύνη τον κατάλληλο γιαλό για να σχεδιάσει την εγκατάσταση ιχθυοτροφείου, το οποίο βέβαια θα κλείσει ένα μέρος της ακτής (θα απογορευτεί η προσπέλαση) και θα βρωμίσει την υπόλοιπη με τα κατάλοιπα των ιχθυοτροφών και των φαρμάκων, που θα εκβράζονται με το κύμα, για την ευδοκίμηση μυγών, κουνουπιών και άλλων παρασίτων. Δεκάδες σπίτια των ντόπιων και παραθεριστικές κατοικίες, αλλά και ξενοδοχεία θα χρειαστεί να εγκαταλειφθούν, τα παραλιακά ταβερνάκια θα κλείσουν, τα ψαροκάικα θα δέσουν για να σαπίσουν...”.

“... οι κάτοικοι έχουν δίκιο να ζηλώνουν τα κλουβιά για την ιχθυοκαλλιέργεια, αν η περιοχή είναι τουριστική και κάνει μπάνιο ο κόσμος. Διότι και μόνο η λειτουργία αυτών των ιχθυοκλωβών δημιουργεί πρόβλημα μόλυνσης και ρύπανσης. Οι φυσικές λειτουργίες των ψαριών με τα απορρίματά τους, οι διάφορες ιχθυοτροφές κτλ. δημιουργούν μία βιομάζα, που αυξάνει τη θολερότητα της θάλασσας και τις συγκεντρώσεις των κολοβακτηριδίων και άλλων μικροοργανισμών. Όλα αυτά, δημιουργούν μία οικολογική συνύπαρξη, που προσπαθεί να τραφεί από το πλαγκτόν. Τελικά επιβιώνουν οι μικροοργανισμοί που παρασιτούν. Δηλαδή, τα κολοβακτηρίδια ή άλλα βακτηρίδια, που είναι επικίνδυνα για τη δημόσια υγεία. Όπως ξέρετε δημιουργούν κολπίτιδες, σαλπινγίτιδες, δερματίτιδες κτλ. Τέτοια μικρόβια βρήκαμε σε

² Σημ. κάπου στον Αργολικό κόλπο.

³ Άγιος Νικόλαος Δωρίδας.

ιχθυογεννητικούς σταθμούς και σε ανοικτούς κόλπους ακόμα, στην Κεφαλλονιά και στη Βόνιτσα, χωρίς να πέφτουν στις περιοχές αυτές αγωγοί αποβλήτων. Αυτή και μόνο η λειτουργία του ιχθυογεννητικού σταθμού είναι ικανή να δημιουργήσει μόλυνση. Αν η περιοχή αυτή είναι τουριστική, τότε, πέρα από το πρόβλημα της μόλυνσης, έχουμε και αισθητικό πρόβλημα”.

Ένας λουπόν, που έχει ακόμη και βασικές γνώσεις περί υδατοκαλλιεργειών και τις επιπτώσεις αυτών στο περιβάλλον, μπορεί να καταλάβει πόσο τα προαναφερθέντα στερούνται επιστημονικής επιχειρηματολογίας και το κατά πόσο αποτελούν την άποψη άλλων –άσχετων με τις υδατοκαλλιέργειες– συμφερόντων, την οποία άποψη θέλουν να εμφυτεύσουν στο ευρύ κοινό για ό,τι αφορά τις δήθεν καταστροφικές επιπτώσεις των υδατοκαλλιεργειών στο φυσικό περιβάλλον. Είναι καταφανής η σύγχυση όρων και εννοιών καθώς και η μη επιστημονική υποστήριξη των διατυπούμενων απόψεων του τελευταίου αναφερομένου άρθρου, το οποίο δημοσιεύθηκε σε Ελληνική εφημερίδα μεγάλης κυκλοφορίας. Το μόνο ίσως που αξίζει να σχολιασθεί είναι η καινοφανής θεωρία σύμφωνα με την οποία παράγονται κολοβακτηρίδια από τις υδατοκαλλιέργειες! Όπως είναι γνωστό, τα κολοβακτηρίδια είναι βακτήρια που ζουν στο τμήμα του κόλον του εντερικού σωλήνα του ανθρώπου και ορισμένων θερμόαιμων ζώων. Αποβάλλονται δε με τα αστικά και κτηνοτροφικά απόβλητα. Είναι επίσης γνωστό ότι τα ψάρια δεν είναι θερμόαιμα ζώα και στο πεπτικό τους σύστημα δε ζουν κολοβακτηρίδια. Αν υποθεθεί ότι τα νεκρά ψάρια, οι ιχθυοτροφές, κ.λ.π. ‘μολυνθούν’ από εξωγενούς προέλευσης κολοβακτηρίδια, ο χρόνος επιβίωσης των βακτηρίων αυτών στο θαλασσινό περιβάλλον θα ήταν πολύ μικρός, διότι η θάλασσα δεν αποτελεί το φυσικό τους βιότοπο. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι ο προσδιορισμός κολοβακτηριδοειδών στο θαλασσινό νερό χρησιμοποιείται ως δείκτης μόλυνσης των νερών από αστικά και κτηνοτροφικά απόβλητα, χωρίς περαιτέρω υγεινομική σημασία, εκτός αν συνοδεύεται από εντοπισμό συγκεκριμένων παθογόνων μικροοργανισμών (Βαβίζος & Ζανάκη, 1989).

Αναμφίβολα, οι υδατοκαλλιέργειες (όπως και κάθε εξωτερική ανθρώπινη δραστηριότητα) δημιουργούν προβλήματα αισθητικής μεταβολής του περιβάλλοντος και αποκλείει κάποιες περιοχές από τις χρήσεις αναψυχής και ιδίως αυτή των πλωτών μέσων. Σε περιοχές όπου υπάρχει ναυσιτολία και ταυτόχρονη υδατοκαλλιεργητική δραστηριότητα θα πρέπει οι λιμενικές αρχές να είναι ενήμερες για την ύπαρξη του ιχθυοτροφείου, αλλά και ο ίδιος ο εκτροφέας επιβάλλεται να σημάνει το χώρο γύρω

από το πεδίο εκτροφής. Έχουν αναφερθεί περιπτώσεις ναυτικών ατυχημάτων από τη σύγκρουση πλεούμενων σκαφών με κομμάτια ιχθυοκλωβών που προκλήθηκαν και παρασύρθηκαν από καταιγίδα (Rosenthal, 1985). Ωστόσο, οι υδατοκαλλιεργείες μπορούν να συνυπάρξουν με άλλες χρήσεις των νερών χωρίς προβλήματα. Οι αντιδράσεις οφείλονται κύρια στην έλλειψη ακριβούς πληροφόρησης για το βαθμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκαλούν οι υδατοκαλλιεργείες. Θα πρέπει να προστεθεί επίσης ότι οι υδατοκαλλιεργείες, ως σχετικά νέος τομέας που είναι, αναγκάζεται πολλές φορές να προσαρμοστεί και να ιδρυθεί σε χώρο που περισσεύει από άλλους με ήδη εδραιωμένα συμφέροντα. Είναι φυσικό λοιπόν να προκαλούνται αντιδράσεις και προστριβές σε τέτοιου είδους περιπτώσεις.

Για να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα αισθητικής των ιχθυοτροφείων, θα πρέπει να γίνεται αισθητικός έλεγχος των κλωβών, ο οποίος να είναι εφικτός και χαμηλού κόστους. Ως τρόπος αντιμετώπισης προτείνεται το έξαλο τμήμα των εγκαταστάσεων να είναι μικρού ύψους (1-2m) και κατάλληλα χρωματισμένο. Επίσης, οι ιχθυοκλωβοί θα πρέπει να τοποθετούνται εκεί που δεν επιτρέπεται η κίνηση πλωτών μέσων, ώστε να μην υπάρξουν ούτε καταστροφές στη μονάδα λόγω ατυχήματος, αλλά ούτε και το αντίστροφο.

Στη Σκωτία, το αίτημα για την ύπαρξη ενός μουσείου στην ανάπτυξη των υδατοκαλλιεργειών βασίστηκε στην αισθητική ασυνέχεια του τοπίου, τη γεινίαση των υδατοκαλλιεργητικών μονάδων με αρχαιολογικής σημασίας μνημεία και ιστορικές τοποθεσίες, την αποτροπή του τουρισμού σε τέτοιες περιοχές και τη μείωση ευκαιριών επαγγελματικής απασχόλησης. Εκτός από την καταστροφή της φυσικής ομορφιάς και αρμονίας - συνέχειας του φυσικού περιβάλλοντος, οι αντιρρήσεις από αισθητική άποψη περιλάμβαναν και τη χρήση των έντονα χρωματισμένων πλωτήρων των αγκυροβολίων και της προστατευτικής σήμανσης - οριοθέτησης των ιχθυοτροφείων, τα κακοφτιαγμένα κτίρια των εγκαταστάσεων και την κατάληψη και χρήση πιο απόμακρων από τα ιχθυοτροφεία περιοχών για διάφορες εξωτερικές εργασίες (π.χ. άπλωμα δικτύων για να στεγνώσουν). Συστάθηκε λοιπόν μία ειδική επιτροπή για να μελετήσει τέτοιες πιθανές επιπτώσεις και να προτείνει τρόπους και κανόνες για την εγκατάσταση των ιχθυοτροφείων. Αναγνωρίζοντας την ανάγκη για την στήριξη και των υδατοκαλλιεργειών, αλλά και του ευρύτερου κοινωνικού συνόλου, υιοθετήθηκε μία καινούργια διαχειριστική πολιτική κατά την οποία λαμβάνονται υπόψη οι γνώμες όλων των ενδιαφερόμενων

μερών κατά τη μελέτη εγκατάστασης μιας νέας υδατοκαλλιεργητικής επιχείρησης. Οι ακόλουθες οδηγίες συνίστανται για την επιλογή της κατάλληλης θέσης (Woodward, 1989):

- Να επιλέγονται περιοχές κατάλληλες για τη διαθέσιμη τεχνολογία ή να επιλέγεται τεχνολογία κατάλληλη για την υποψήφια περιοχή.
- Να υπάρχει συμφωνία μεταξύ γειτονικών εκτροφών για την επιθυμητή διαχωριστική απόσταση των ιχθυοτροφείων τους ή να συμφωνήσουν από κοινού σε σημεία - κλειδιά, ώστε οι θέσεις εκτροφών να είναι κοντινότερες.
- Να συζητούνται οι μελλοντικές εγκαταστάσεις ξηράς με τις αρμόδιες αρχές ή να βρίσκονται τρόποι εξυπηρέτησης του ιχθυοτροφείου χωρίς εγκαταστάσεις στην ξηρά (πλήρως επανδρωμένοι και εξοπλισμένοι πλωτοί οικίσκοι, κ.λ.π.).
- Να περιορίζεται η έκταση του ιχθυοτροφείου ως προς την μόλις απαραίτητη για την ομαλή λειτουργία του.
- Να αποφεύγονται περιοχές που αποτελούν σημαντικά αλιευτικά πεδία και περιοχές με ιδιαίτερο φυσικό κάλλος ή να παίρνονται μέτρα ώστε αυτά να διασφαλιστούν και να αποφευχθούν σημαντικές επιπτώσεις.
- Να επιλέγονται περιοχές που είναι αφανείς από άλλες περιοχές με αισθητικό κάλλος ή με αρχαιολογική και ιστορική σημασία ή να υιοθετούνται ειδικές τεχνικές μείωσης της αντικειμενικής εικόνας των εγκαταστάσεων ενός ιχθυοτροφείου.

Οι εγκαταστάσεις των υδατοκαλλιεργειών καταλαμβάνουν χώρο, ο οποίος μπορεί να είναι ιδιωτικός ή δημόσιος. Στη Σκωτία η αντίληψη που επικρατεί όσον αφορά το χώρο που καταλαμβάνουν οι ιχθυοκαλλιέργειες, είναι ότι αυτές έχουν εγκατασταθεί πολύ κοντά μεταξύ τους. Από περιβαλλοντική άποψη όμως, το ποσοστό του πυθμένα των φιόρδ που είναι αποδέκτης των αποβλήτων αυτών των ιχθυοτροφείων είναι λιγότερο από το 1% της ολικής πυθμεναίας έκτασης αυτών των φιόρδ (Gowen & Bradbury, 1987). Αντίθετα, σε άλλα μέρη του κόσμου οι υδατοκαλλιεργητικές επιχειρήσεις είναι όντως πολύ πυκνά εγκατεστημένες. Πάνω από το 10% της επιφάνειας των υδάτινων μαζών έχουν καλυφθεί από εγκαταστάσεις ιχθυοτροφείων στη Laguna de Bay (Φιλιππίνες) και Ria de Arosa (Ισπανία) (Iwama, 1991). Η εγκατάσταση μονάδων υδατοκαλλιεργειών όσο το δυνατόν μακριά από τοπία ξεχωριστής φυσικής ομορφιάς, που θα μπορούσε να αποτελεί και τη λύση στο

πρόβλημα της αισθητικής, δεν είναι επιθυμητή και πρέπει να αποφεύγεται για δύο λόγους:

- ι) πρώτον γιατί δε συμφέρει την ίδια τη μονάδα, λόγω του ότι οι αποστάσεις στα πλησιέστερα αστικά κέντρα είναι μακρινές, συνεπώς καθυστερούνται οι μεταφορές, υπάρχει δυσκολία στην παροχή ηλεκτρικού ρεύματος και τηλεφωνικών γραμμών και πιθανόν το οδικό δίκτυο, αν υπάρχει, να είναι σε κακή κατάσταση και
- ii) η εγκατάσταση μιας υδατοκαλλιεργητικής επιχείρησης σε μία τέτοια απομακρυσμένη περιοχή προκαλεί την απόλυτη ασυνέχεια του τοπίου, εφόσον η μονάδα εγκαθίσταται σε μία 'παρθένα' ως επί το πλείστον περιοχή.

Άλλα ζητήματα από αισθητική και περιβαλλοντική άποψη είναι ότι ο αριθμός των ιχθυοτροφείων σε ευαίσθητες περιοχές πρέπει να είναι μικρός και να είναι εγκατεστημένες σε ικανές αποστάσεις μεταξύ τους. Η κατάλληλη χωροταξική διευθέτηση των υδατοκαλλιεργειών μπορεί να ελαττώσει τις όποιες οπτικά αντιαισθητικές απόψεις. Σ' αυτό έρχεται να προστεθεί η αποφυγή χρήσης έντονων χρωμάτων στις εγκαταστάσεις και τον εξοπλισμό της μονάδας και η εγκατάσταση των υπέργειων κτιρίων και άλλων χώρων ανάμεσα σε δέντρα ή λόφους, ώστε να μη διακρίνονται εύκολα, εφόσον αυτό το επιτρέπει η μορφολογία της χερσαίας περιοχής. Επίσης, μεγάλες γειτονικές μονάδες θα πρέπει να χωρίζονται από μεγαλύτερες αποστάσεις. Συστήνεται επίσης οι κατασκευές των ιχθυοκλωβών (χρώμα, υφή υλικών κατασκευής) που επιλέγονται, να 'ταιριάζουν' όσο το δυνατόν με το περιβάλλον. Ομοίως, οι εγκαταστάσεις στην ξηρά πρέπει να ακολουθούν το όλο 'στήσιμο' του περιβάλλοντα χώρου και του ευρύτερου τοπίου. Φυσικά, αυτές οι προτάσεις και συστάσεις δεν είναι εύκολο να προσαρτηθούν σ' ένα καταναγκαστικό πλαίσιο για οποιαδήποτε νέα εγκατάσταση υδατοκαλλιεργητικής επιχείρησης.

Οι Δημητρίου & Ρούσση - Δημητρίου (1996) σε μία έρευνα του Τμήματος Αλιείας Αιτωλοακαρνανίας αναφέρουν ότι οι ψαράδες είναι η μοναδική ομάδα του τοπικού πληθυσμού που αντιτίθεται καθολικά στην ύπαρξη ιχθυοτροφείων στην περιοχή τους. Επίσης, οι νεαρότερες ηλικίες τοποθετούνται περισσότερο υπέρ των ιχθυοτροφείων απ' ότι οι μεγαλύτερες ηλικίες. Ένα συμπέρασμα αυτής της έρευνας ήταν ότι ο βασικός παράγοντας θετικής αντιμετώπισης των ιχθυοκαλλιεργειών είναι η προσφορά θέσεων εργασίας, ενώ ο κύριος αρνητικός παράγοντας ήταν τα προβλήματα που προκαλούνται στους ψαράδες της περιοχής και σε δεύτερο λόγο οι

επιπτώσεις των ιχθυοτροφείων στο περιβάλλον. Το σημαντικό ήταν ότι αυτοί που υποστήριζαν ότι οι υδατοκαλλιέργειες επιδρούν αρνητικά στο περιβάλλον, δείχνουν μεγαλύτερο ενδιαφέρον να ενημερωθούν για τη λειτουργία των ιχθυοτροφείων. Αντίθετα, η πλειοψηφία αυτών που υποστήριξαν ότι οι υδατοκαλλιέργειες προκαλούν προβλήματα στους ψαράδες ή ότι προσφέρουν θέσεις εργασίας δεν τους ενδιαφέρει η λειτουργία τους. Γενικό συμπέρασμα της έρευνας αυτής ήταν ότι η αρνητική τοποθέτηση των ερωτηθέντων απέναντι στις ιχθυοκαλλιέργειες δεν εντοπίστηκε κατά κύριο λόγο στις επιπτώσεις στο περιβάλλον, που συχνά αναδεικνύεται από τους τοπικούς φορείς, αλλά σε αρνητικές επιπτώσεις στις δραστηριότητες των ψαράδων, που βλέπουν τις υδατοκαλλιέργειες ως ανταγωνιστή.