

**ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΚΤΗΝΙΑΤΡΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΙΚΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

ΞΑΝΘΙΠΠΟΣ Ν. ΚΑΡΑΜΑΝΛΗΣ

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ

**ΥΔΑΤΙΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ
ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΚΑΙ ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ**

**ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2018**

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	2
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
A. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΩΝ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ ΣΤΙΣ ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	5
A.1. Η ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	6
A.2 ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	8
A.3 ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ	8
A.4 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ –ΥΔΑΤΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ	9
A.5 Η ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΝΕΡΩΝ ΚΑΙ Η ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΟΥΣ.	12
A.5.1 ΦΥΣΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	13
5.1.1 Η θερμοκρασία του νερού.	13
5.1.2 Η αλατότητα	17
5.1.3 Αιωρούμενα υλικά - Θολερότητα και Διαφάνεια.	18
A.5.2 ΟΙ ΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	19
5.2.1 Το διαλυμένο οξυγόνο	19
5.2.2 Το pH	22
5.2.3 Τα Θρεπτικά Συστατικά (ενώσεις Αζώτου και Φωσφόρου)	23
5.2.4 Τα βαριά μέταλλα.	27
5.2.5 Οι οργανικοί χημικοί ρύποι.	28
A.5.3 ΟΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	30
5.3.1 Πλαγκτονικοί και βενθικοί οργανισμοί.	30
5.3.2 Η αρπαγή (predation).	30
5.3.3 Περιβαλλοντικά νοσήματα	31
B. Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	33
B.1 Το νομικό πλαίσιο της ίδρυσης και λειτουργίας των υδατοκαλλιεργειών	33
B.2 Τα συστήματα εκτροφής υδρόβιων οργανισμών και οι επιπτώσεις στο υδάτινο περιβάλλον	35
B.2.1 Ιχθυοκαλλιέργειες	36
B.2.2 Οστρακοκαλλιέργειες	42
Γ. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΤΟ ΥΔΑΤΙΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	46
Γ.1 Η χρήση μαθηματικών υποδειγμάτων (μοντέλα).	46
Γ.2 Η εκτίμηση της δράσης των φαρμάκων στο υδάτινο περιβάλλον.	47
Γ.3 Η αντιμετώπιση της ανάπτυξης επικαθήσεων, (fouling).	51
Δ. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΤΟ ΥΔΑΤΙΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.	52
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	54
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	56

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Οι υδατοκαλλιέργειες, αποτελούν την παραγωγική δραστηριότητα που στοχεύει στην κάλυψη των αναγκών της διατροφής, κυρίως του ανθρώπου, με υδρόβιους οργανισμούς. Η ανάπτυξή τους είναι διαρκής, σε παγκόσμια κλίμακα, τόσο σε εκτατική όσο και σε εντατική μορφή και ήδη η παραγωγή τροφής από υδατοκαλλιέργειες ξεπέρασε ποσοτικά αυτήν που προέρχεται από αλιεύματα.

Η συστηματική καλλιέργεια υδρόβιων οργανισμών, για να πετύχει τους στόχους της, αναζητεί το πλέον κατάλληλο ποιοτικά υδάτινο περιβάλλον. Ταυτόχρονα, η ίδια η καλλιέργεια επηρεάζει με τις εκροές της, την ποιότητα του υδάτινου περιβάλλοντος μέσα ή δίπλα στο οποίο λειτουργεί. Η χρήση των νερών για τις ανάγκες των υδατοκαλλιεργειών συχνά έρχεται σε αντιπαράθεση με άλλες χρήσεις του όπως η ύδρευση, η άρδευση, η βιομηχανική χρήση, ο τουρισμός και η αναψυχή. Οι αντιπαράθεσεις αυτές συνετέλεσαν στη δημιουργία νομικού πλαισίου, που καθορίζει τη χωροθέτηση και την λειτουργία των υδατοκαλλιεργητικών μονάδων, έτσι ώστε να μειώνεται ο κίνδυνος της ρύπανσης των υδάτινων οικοσυστημάτων. Ταυτόχρονα, αναπτύχθηκαν μαθηματικά υποδείγματα (μοντέλα) που με τη χρήση τους επιτυγχάνεται η προσομοίωση της τύχης των ρύπων που εκρέουν από τις υδατοκαλλιέργειες στο υδάτινο περιβάλλον. Τέλος, τα διαφορετικά συστήματα υδατοκαλλιεργειών που χρησιμοποιούνται, τα διαφορετικά είδη υδρόβιων οργανισμών που καλλιεργούνται, οι διαφορές στα μεγέθη των υδατοκαλλιεργητικών μονάδων και οι ιδιαιτερότητες που χαρακτηρίζουν τοπικά το υδάτινο περιβάλλον, καθιστούν τα θέματα των αλληλεπιδράσεων των υδατοκαλλιεργητικών μονάδων με το υδάτινο περιβάλλον, σχεδόν εξειδικευμένα.

Οι σημειώσεις αυτές προορίζονται ως διδακτικό βοήθημα των φοιτητών του Τμήματος Κτηνιατρικής Α.Π.Θ., που επιλέγουν να παρακολουθήσουν το μάθημα «Υδάτινο Περιβάλλον – Αλληλεπιδράσεις μεταξύ Περιβάλλοντος και Υδατοκαλλιεργειών». Το περιεχόμενο και η έκτασή τους, περιορίζεται στο να δώσει στους φοιτητές τις βασικές πληροφορίες, σε ότι αφορά στην ποιότητα των υδάτινων οικοσυστημάτων που απαιτείται για την ανάπτυξη της παραγωγικής δραστηριότητας των υδατοκαλλιεργειών, αλλά και στις επιπτώσεις της πάνω στα υδάτινα οικοσυστήματα.

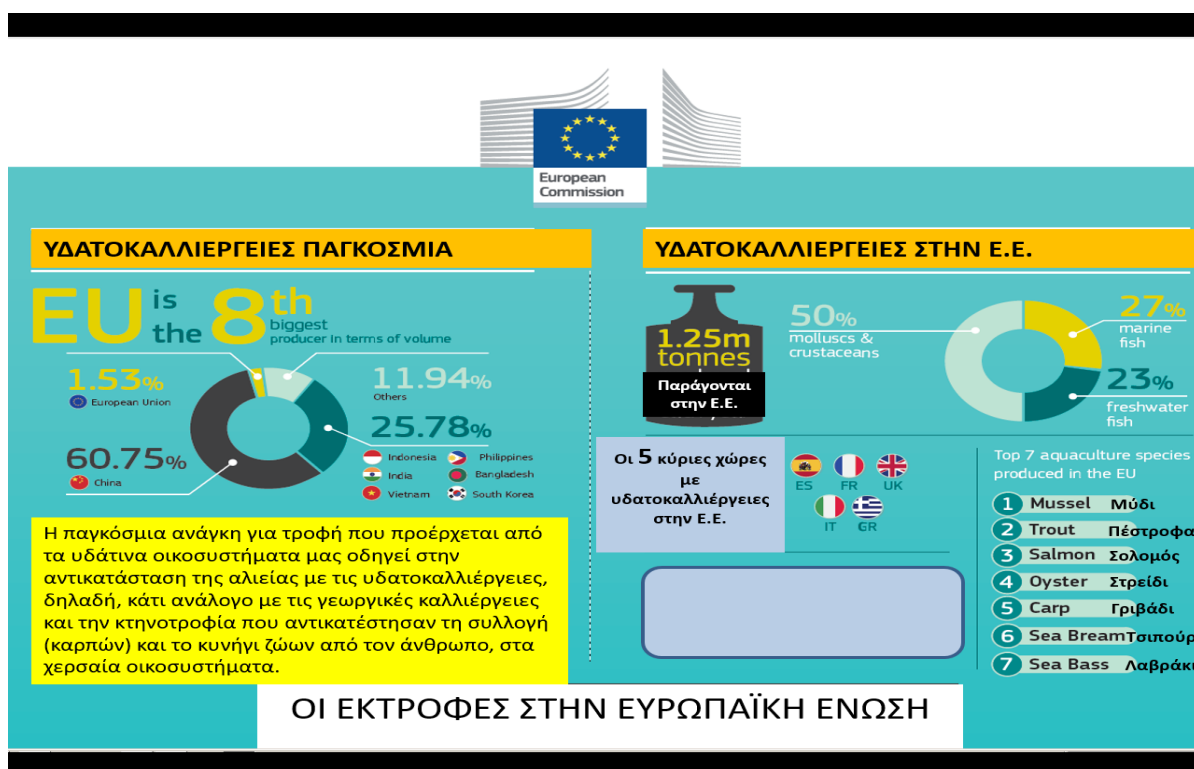
Κάθε υπόδειξη για τυχόν λάθη και βελτίωση του κειμένου είναι ευπρόσδεκτη.

Ξάνθιππος Ν. Καραμανλής

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με την έννοια «υδατοκαλλιέργειες» αναφερόμαστε σε ποικιλία τεχνικών οι οποίες εφαρμόζονται είτε μέσα στα υδάτινα οικοσυστήματα είτε δίπλα σε αυτά, για τη συστηματική εκτροφή υδρόβιων οργανισμών (ζωικών ή φυτικών), με κυρίαρχο στόχο την παραγωγή τροφής για τον άνθρωπο ή και άλλους οργανισμούς. Επί μέρους και ανάλογα με το είδος του οργανισμού που εκτρέφεται γίνεται αναφορά σε καλλιέργειες ιχθύων, οστρακοειδών, καρκινοειδών, φυκών κ.α..

Η ανάπτυξη των υδατοκαλλιεργειών σε παγκόσμιο επίπεδο αφενός έδωσε τη δυνατότητα στην παραγωγή τροφής, με κόστος χαμηλότερο από αυτό των αντίστοιχων αλιευμάτων και αφετέρου συνέβαλε σημαντικά στο πρόβλημα της μείωσης των φυσικών αποθεμάτων τους εξ αιτίας της υπεραλίευσης. Σύμφωνα με τα στοιχεία του Παρατηρητηρίου για την Αλιεία και τις Υδατοκαλλιέργειες της Ευρωπαϊκής Αγοράς (EUMOFA, 2016), ήδη από το 2013 η παγκόσμια παραγωγή υδρόβιων οργανισμών από υδατοκαλλιέργειες ($97,1 \times 10^6$ tn) ξεπέρασε την αντίστοιχη των αλιευμάτων ($93,2 \times 10^6$ tn). Τα τελευταία στοιχεία δείχνουν ότι στο χρονικό διάστημα 2012-2014 η συνολική παγκόσμια παραγωγή σε υδρόβιους οργανισμούς αυξήθηκε συνολικά κατά 7,3%. Ειδικότερα, καταγράφηκε αύξηση παραγωγής από τις υδατοκαλλιέργειες κατά 12,32% ενώ αντίστοιχα από τα αλιεύματα κατά 2,36%. Ενδεικτικά στοιχεία για την υδατοκαλλιεργητική δραστηριότητα στην Ευρωπαϊκή Ένωση αλλά και παγκόσμια, δίνονται στο σχήμα 1.



Σχήμα 1. Στοιχεία της παραγωγής από υδατοκαλλιέργειες, παγκόσμια και στην Ευρωπαϊκή Ένωση.

Προσαρμοσμένο σχήμα από EUMOFA, (2016)

Οι τεχνικές που εφαρμόζονται στις υδατοκαλλιέργειες ποικίλουν ανάλογα με το είδος του εκτρεφόμενου οργανισμού (ιχθύες, οστρακοειδή, καρκινοειδή κ.α.), το υδάτινο περιβάλλον στο οποίο γίνεται η καλλιέργεια (θαλασσινό ή γλυκό νερό), το στάδιο ανάπτυξης του υδρόβιου οργανισμού που εκτρέφεται (αναπαραγωγή, εκκόλαψη, ανάπτυξη, πάχυνση), τη μέθοδο εκτροφής (εντατική, ημι-εντατική, εκτατική), και τέλος τη γεωγραφική περιοχή και τις σχετικές τοπικές

παραδόσεις. Κοινός όμως παράγοντας ανάπτυξης όλων των υδατοκαλλιεργειών είναι το υδάτινο περιβάλλον **μέσα** στο οποίο γίνεται η εκτροφή των υδρόβιων οργανισμών.

Σε κάθε περίπτωση, οι σχέσεις υδάτινου περιβάλλοντος και υδατοκαλλιεργειών είναι σχέσεις αλληλεπιδράσεων, οι οποίες περιγράφονται στη συνέχεια και για εκπαιδευτικούς λόγους αναλύονται στα ακόλουθα διακριτά κεφάλαια.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται κατ' αρχή, η περιγραφή των παραγόντων εκείνων που καθορίζουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού είτε αυτό είναι επιφανειακό (θάλασσες, λίμνες ποταμοί) είτε υπόγειο (φυσικές πηγές, γεωτρήσεις) με στόχο τη διαπίστωση της καταλληλότητάς του για την ανάπτυξη ιχθυοκαλλιεργειών. Οι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη είναι οι κλιματολογικές συνθήκες, η γεωμορφολογία της περιοχής, η υφιστάμενη ποιότητα του νερού, η τωρινή και μελλοντική χρήση του. Εξετάζεται επίσης ο τρόπος με τον οποίο οι παράγοντες αυτοί επηρεάζουν τις παραμέτρους που χαρακτηρίζουν τα αβιοτικά ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού. Οι μεταβολές των χαρακτηριστικών αυτών – που σε ορισμένες περιπτώσεις είναι ραγδαίες - οφείλονται κυρίως στην ανθρωπογενή δραστηριότητα στη λεκάνη απορροής του υδάτινου οικοσυστήματος. Ταυτόχρονα εξετάζονται και οι βιολογικές παράμετροι ώστε να ολοκληρωθεί η εικόνα των σχέσεων των αβιοτικών – βιοτικών χαρακτηριστικών του υδάτινου οικοσυστήματος και ταυτόχρονα η επίδρασή τους στους υδρόβιους οργανισμούς.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, παρατίθεται αρχικά το υφιστάμενο νομικό πλαίσιο της ίδρυσης και λειτουργίας των υδατοκαλλιεργειών στην Ελλάδα και στην Ευρωπαϊκή Ένωση και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη λειτουργία των υδατοκαλλιεργειών. Στη συνέχεια περιγράφονται οι πλέον διαδεδομένες τεχνικές εκτροφής υδρόβιων οργανισμών, ανάλογα με τη μέθοδο εκτροφής, τα χαρακτηριστικά του υδάτινου περιβάλλοντος και το είδος των οργανισμού που εκτρέφεται. Ταυτόχρονα, περιγράφονται οι διεργασίες που εξελίσσονται κατά τη λειτουργία των διαφορετικών συστημάτων υδατοκαλλιεργειών και οι οποίες συμβάλλουν στην αλλοίωση των χαρακτηριστικών του υδάτινου περιβάλλοντος.

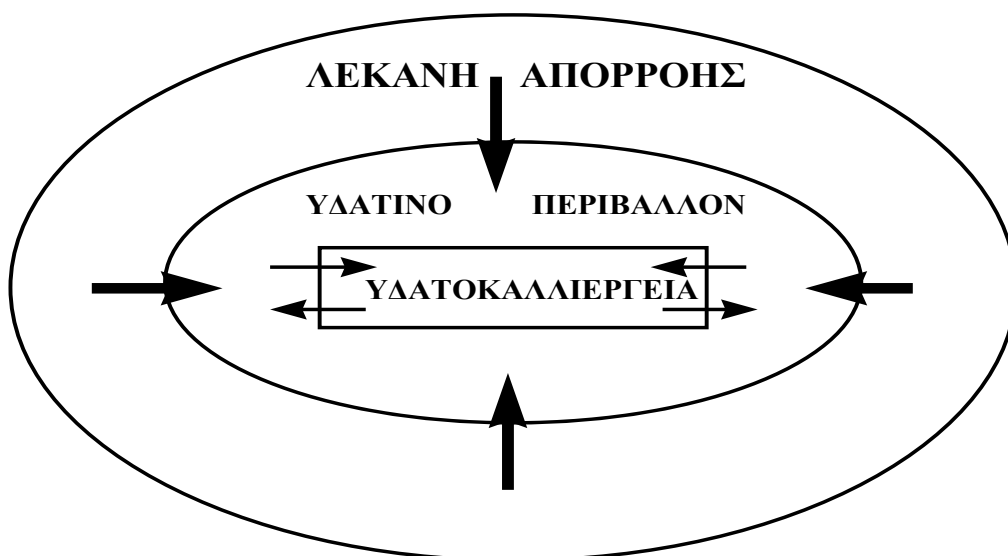
Στο τρίτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η μεθοδολογία για την εκτίμηση των επιπτώσεων στο υδάτινο περιβάλλον εξαιτίας των δραστηριοτήτων των υδατοκαλλιεργειών.

Στο τέταρτο και τελευταίο κεφάλαιο γίνεται αναφορά σε διαχειριστικές μεθόδους που έχουν ως στόχο τον έλεγχο και τον περιορισμό των δυσμενών επιπτώσεων από τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των υδατοκαλλιεργειών και υδάτινου περιβάλλοντος.

Α. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΩΝ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ ΣΤΙΣ ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ

Οι υδατοκαλλιέργειες αποτελούν τεχνικές συστηματικής εκτροφής υδρόβιων οργανισμών και από την οικολογική άποψη είναι ανοικτά υπο-συστήματα, δηλαδή δέχονται άμεσες ή έμμεσες εισροές και παράγουν εκροές. Χαρακτηρίζονται ως «υπο-συστήματα» διότι εγκαθίστανται και λειτουργούν στα πλαίσια της λειτουργίας ενός οικοσυστήματος που συμπεριλαμβάνει το ευρύτερο υδάτινο περιβάλλον και τη λεκάνη απορροής του. Ως «λεκάνη απορροής» ενός υδάτινου οικοσυστήματος χαρακτηρίζεται όλη εκείνη η γεωγραφική περιοχή της οποίας τα ατμοσφαιρικά καταιονήματα (βροχή, χιόνι) ή και τα πηγαία νερά, καταλήγουν στο συγκεκριμένο οικοσύστημα (θάλασσα, λίμνη, τεχνητός ταμιευτήρας νερού), που αποτελεί τον τελικό τους αποδέκτη.

Έτσι, η υδατοκαλλιέργεια, ως μέρος αυτού του οικοσυστήματος, επηρεάζεται από αυτό αλλά και το επηρεάζουν (σχήμα 2).



Σχήμα 2. Η υδατοκαλλιέργεια ως υπο-σύστημα του ευρύτερου οικοσυστήματος, (Καμαριανός, 2000).

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού καθορίζουν τη φυσική παρουσία και τη φυσιολογική ανάπτυξη όλων των οργανισμών που διαβιούν σε αυτό, όπως της ιχθυοπανίδας, της υδρόβιας βλάστησης, των πλαγκτονικών οργανισμών, των μικροοργανισμών καθώς και αυτών της βενθικής πανίδας, που αποτελούν τις βιολογικές παραμέτρους της λειτουργίας του υδάτινου οικοσυστήματος.

Οι κύριες παράμετροι που καθορίζουν τη βιωσιμότητα των υδατοκαλλιεργειών ως συστηματικών εκτροφών, είναι μεν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού, όμως δεν επιζητούνται απλώς τα «όρια» των παραμέτρων εκείνων μέσα στα οποία επιβιώνει ο οργανισμός που εκτρέφεται, αλλά εκείνα τα «όρια» που θα επιτρέψουν την αποδοτικότερη ανάπτυξή του. Το υδάτινο περιβάλλον δέχεται τις εκροές από τις σημειακές και μη σημειακές πηγές ρύπανσης της ευρύτερης λεκάνης απορροής - της οποίας αποτελεί τον τελικό αποδέκτη - αλλά ταυτόχρονα και τις εκροές από τη δραστηριότητα της υδατοκαλλιέργειας (π.χ. τα υπολείμματα τροφής, τις φυσικές απεκκρίσεις των οργανισμών, τις φαρμακευτικές αγωγές). Έτσι λοιπόν είναι πιθανόν, οι ευνοϊκές συνθήκες που διαπιστώνονται στο υδάτινο περιβάλλον κατά την έναρξη της δραστηριότητάς της υδατοκαλλιέργειας, σύντομα να μεταβληθούν και να οδηγήσουν στη μείωση της παραγωγής, στην εμφάνιση περιβαλλοντικής αιτιολογίας ασθενειών ή ακόμη και στην καταστροφή της.

Για την υδατοκαλλιεργητική χρήση των υδάτινων οικοσυστημάτων θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη:

α) Η οριοθέτηση και η καταγραφή των γεωγραφικών και μορφολογικών χαρακτηριστικών της λεκάνης απορροής.

β) τα κλιματολογικά στοιχεία της λεκάνης απορροής.

γ) Οι παρούσες και μελλοντικές χρήσεις της γης και οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες στη λεκάνη απορροής καθώς και οι χρήσεις των νερών της.

δ) τα υδρολογικά στοιχεία του υδάτινου οικοσυστήματος

ε) Η ποιότητα του νερού (φυσικοί, χημικοί και βιολογικοί παράμετροι), των ιζημάτων και η τροφική κατάσταση του υδάτινου οικοσυστήματος.

δ) Η ρύπανση του νερού.

στ) Το μέγεθος και ο τύπος της υδατοκαλλιεργητικής παραγωγής, έτσι ώστε η λειτουργία της να μη μεταβάλλει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του υδάτινου οικοσυστήματος τόσο για το είδος του εκτρεφόμενου οργανισμού ή και των άλλων φυσικών πληθυσμών υδρόβιων οργανισμών όσο και για άλλη παράλληλη χρήση του.

A.1. Η ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

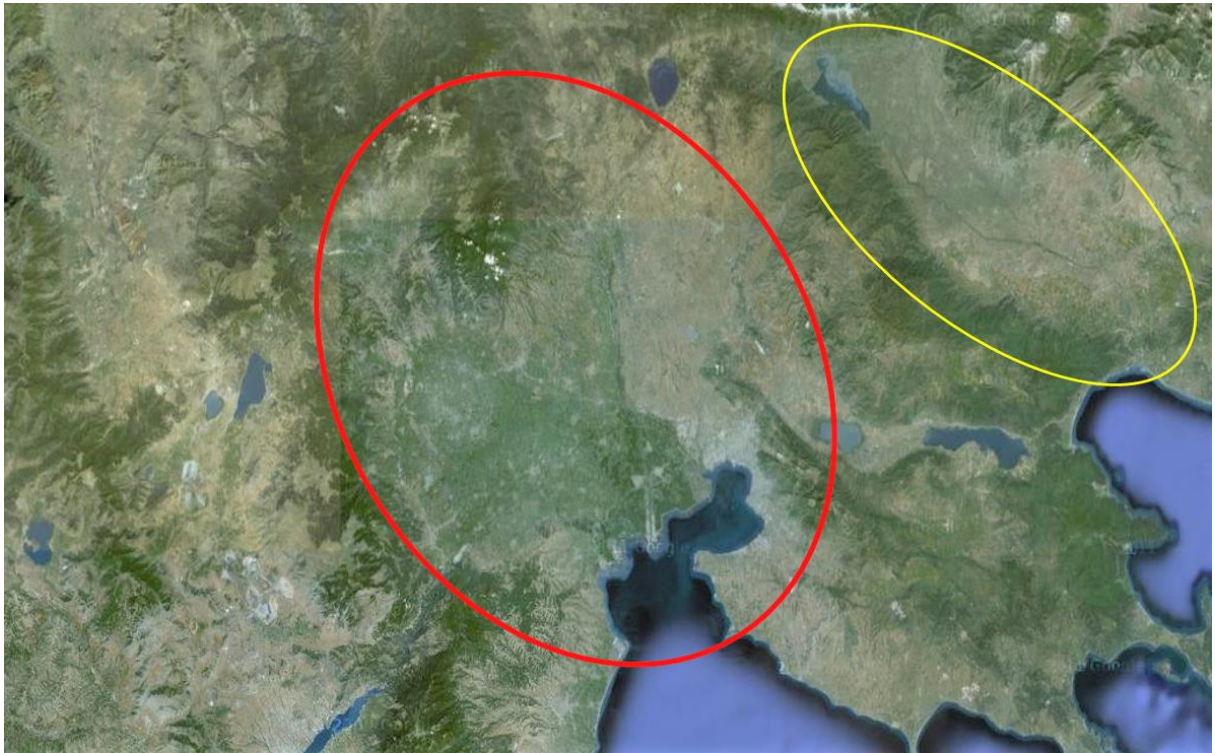
Τα όρια της λεκάνης απορροής καθορίζονται από το ύψος των ορεινών όγκων που την περιβάλλουν. Σε πολλές περιπτώσεις τα όρια αυτά περιγράφονται ευκρινώς, σε άλλες όμως περιπτώσεις τα όρια αυτά επεκτείνονται πολύ περισσότερο από τη λεκάνη που τυπικά προσδιορίζουν οι όγκοι των οροσειρών, ειδικότερα, όταν στον τελικό αποδέκτη καταλήγουν μεγάλου μήκους ποταμοί. Παράδειγμα μεγάλης έκτασης λεκάνης απορροής είναι αυτή του ποταμού Αλιάκμονα (μήκους περί τα 300 χλμ.) που πηγάζει από τις ορεινές περιοχές του νομού Καστοριάς και αφού σχηματίσει τους τεχνητούς ταμιευτήρες Σφηκιά, Πολύφυτο, Α σώματα και Αγία Βαρβάρα, διασχίζει τον Μακεδονικό κάμπο και εκβάλλει στον Θερμαϊκό κόλπο. Το νερό ως διαλυτικό και μεταφορικό μέσο, επιτρέπει τη μετακίνηση διαλυμένων χημικών ουσιών και φερτών υλικών από τη λεκάνη απορροής στον υδάτινο τελικό αποδέκτη.

Σε αρκετές δε περιπτώσεις, τόσο ποταμοί όσο και λίμνες μοιράζονται - σε ότι αφορά στην επικράτειά τους - μεταξύ γειτονικών κρατών, στα οποία πιθανόν ισχύουν διαφορετικές πολιτικές και νομικό καθεστώς ως προς τη χρήση τόσο των νερών όσο και της γης στη λεκάνη απορροής τους. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν, για τον Ελληνικό χώρο, ο ποταμός Αώος (εκβάλλει στην Αλβανία), οι ποταμοί Αξιός, Στρυμόνας, Νέστος, Έβρος και οι λίμνες μικρή - μεγάλη Πρέσπα και Δοϊράνη. Στην επικράτεια της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε.) τα πλέον χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι των ποταμών Ρήνου (μήκος 1320 χλμ.) που πηγάζει από την επικράτεια της Ελβετίας και εκβάλλει στην Ολλανδία (Ρότερνταμ) και του Δούναβη (μήκος 2872 χλμ.) που πηγάζει από την επικράτεια της Γερμανίας και εκβάλλει στον Εύξεινο πόντο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα διασυνοριακής ρύπανσης νερών είναι η ρύπανση του ποταμού Ρήνου, σε μήκος 400 χλμ. με αγροχημικά, μετά από ατύχημα το 1986 στο εργοστάσιο Sandoz (Ελβετία).

Στο σχήμα 3, απεικονίζονται οι λεκάνες απορροής του ποταμού Αξιού που πηγάζει από την επικράτεια της ΠΓΔΜ και εκβάλλει στον Θερμαϊκό κόλπο και του ποταμού Στρυμόνα που πηγάζει από την επικράτεια της Βουλγαρίας και εκβάλλει στον ομώνυμο Στρυμονικό κόλπο.

Σε έρευνά τους οι *Kilikidis et al, (1992a)* διαπίστωσαν τη ρύπανση των νερών του ποταμού Στρυμόνα με οργανοχλωριωμένα παρασιτοκτόνα, η παρουσία των οποίων δηλώνει, την αγροτικής προέλευσης, ρύπανση του ποταμού. Ταυτόχρονα όμως ανιχνεύτηκε και το παρασιτοκτόνο Aldrin του οποίου η χρήση είχε απαγορευτεί στην Ελλάδα από το 1972. Από την έρευνα προέκυψε ότι η εισροή

του Aldrin, στα νερά του ποταμού, λάμβανε χώρα στο τμήμα του που ανήκει στη γείτονα χώρα, στην οποία ίσχυε διαφορετικό νομικό καθεστώς.



Σχήμα 3. Η λεκάνη απορροής των ποταμών Αζιού και Στρυμόνα.

Τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής επιδρούν στα μορφολογικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά του υδάτινου οικοσυστήματος - τελικού αποδέκτη. Η επίδραση αυτή εξαρτάται από:

α) τη σύσταση των εδαφών η οποία επηρεάζει, μέσω της έκπλυσής τους από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, την ποιότητα των νερών τόσο του τελικού αποδέκτη όσο και των υπόγειων υδατοσυλλογών. Η σύσταση του εδάφους άλλωστε αποτελεί τον κύριο παράγοντα της ανάπτυξης τόσο της φυσικής βλάστησης όσο και της χρήσης γης από την ανθρώπινη δραστηριότητα στη λεκάνη απορροής. Ο πιθανόν σεισμογενής χαρακτήρας της λεκάνης απορροής συμβάλει στην παρουσία ενώσεων του θείου ή και μετάλλων στο έδαφος και στα νερά της περιοχής ή ακόμη και στην ύπαρξη θερμών πηγών.

β) τη φυσική κλίση του εδάφους, που όσο αυξάνεται τόσο περισσότερο επηρεάζει την ταχύτητα μετακίνησης και την ορμή έκπλυσης του νερού, που προέρχεται από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, προς τον υδάτινο αποδέκτη.

γ) την ανάπτυξη της ακτογραμμής και τη δυνατότητα πρόσβασης στα επιφανειακά υδάτινα οικοσυστήματα (ποταμούς, λίμνες, θάλασσα), Στην περίπτωση της λειτουργίας πλωτών υδατοκαλλιεργειών επιζητείται η εύκολη πρόσβαση στην ακτή τόσο για την απρόσκοπτη μετάβαση των ανθρώπων και των υλικών στο χώρο της μονάδας, όσο και για την κατασκευή των χερσαίων υποστηρικτικών εγκαταστάσεών της. Η μορφολογία της ακτογραμμής και η ύπαρξη προστατευόμενων όρμων ή κόλπων, για την προστασία των εγκαταστάσεων από ισχυρούς ανέμους, αποτελεί σημαντικότερο παράγοντα στην επιλογή της περιοχής για την ανάπτυξη των υδατοκαλλιεργειών (ΠΑΥ).

A.2 ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

Το κλίμα που επικρατεί στη περιοχή των υδάτινων οικοσυστημάτων επηρεάζει σημαντικά τα είδη της υδρόβιας πανίδας και χλωρίδας που αναπτύσσονται σε αυτό. Ταυτόχρονα, επηρεάζει και την επιλογή του χώρου εγκατάστασης της υδατοκαλλιέργειας.

Οι άνεμοι που πνέουν στη περιοχή όπου είναι εγκαταστημένη υδατοκαλλιέργεια μπορούν να προκαλέσουν άμεσα και έμμεσα προβλήματα ανάλογα με την έντασή τους. Ισχυροί άνεμοι μπορούν να προκαλέσουν άμεσα την καταστροφή των εγκαταστάσεων, τόσο αυτών που βρίσκονται μέσα στο νερό όσο και αυτών που βρίσκονται σε παρυδάτια χερσαία εδάφη. Η αύξηση της ισχύος των ανέμων προκαλεί υψηλότερο και μικρό μήκους κυματισμό που μπορεί να καταστρέψει τους ιχθυοκλωβούς. Επίσης η διαταραχή της στήλης του νερού εξ αιτίας των ανέμων προκαλεί αύξηση της θολερότητας του μέσω της εναιώρησης φερτών και ιζηματογενούς προέλευσης υλικών. Σε εκτατικές εκτροφές με μικρό βάθος νερού οι άνεμοι προκαλούν μείωση της θερμοκρασίας του.

Οι φωτιστικές συνθήκες επηρεάζουν κυρίως τις εκτροφές που γίνονται σε δεξαμενές μικρού βάθους και την αναπαραγωγική ικανότητα των ιχθύων (φωτοπερίοδος). Στη περίπτωση του μικρού βάθους δεξαμενών μπορεί να παρατηρηθούν εγκαύματα στους ιχθύες γεγονός που τους καθιστά περισσότερο ευάλωτους σε μολύνσεις. Το πρόβλημα λύνεται με τη σκίαση του χώρου εκτροφής. Το θέμα της φωτοπερίοδου για την παραγωγή γόνου των ιχθύων λύνεται στις εντατικές εκτροφές με τη χρήση τεχνητής φωτοπερίοδου στους χώρους των γεννητόρων.

Η παρουσία του φυσικού φωτός σχετίζεται με τη φωτοσύνθεση και την ανάπτυξη των φυτοπλαγκτονικών οργανισμών. Περιοχές με μεγάλη ημερήσια διάρκεια φυσικού φωτός σε συνδυασμό με την παρουσία ανόργανων θρεπτικών συστατικών (ευτροφισμός) παρουσιάζουν μεγάλη ανάπτυξη των φυτο-πλαγκτονικών οργανισμών, με θετικές αλλά και αρνητικές συνέπειες για το οικοσύστημα και την υδατοκαλλιέργεια.

Το ύψος των ατμοσφαιρικών καταιονημάτων σχετίζεται με την ποσότητα των υδάτινων εισροών και των φορτίων τους σε φερτά ή διαλυμένα υλικά στα υδάτινα οικοσυστήματα όπου θα λειτουργεί η υδατοκαλλιέργεια. Ταυτόχρονα επηρεάζει τη ποσότητα του νερού που συγκεντρώνεται στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα και εμπλουτίζει τις πηγές νερού. Σε ορισμένες περιπτώσεις τα ατμοσφαιρικά καταιονήματα πιθανόν να μεταφέρουν υλικά από περιοχές πολύ μακριά από τη λεκάνη απορροής του υδάτινου οικοσυστήματος. Στην περίπτωση των λιμναίων οικοσυστημάτων το ύψος των ατμοσφαιρικών καταιονημάτων επηρεάζει είτε άμεσα είτε έμμεσα (μέσω απορροών ή ποταμών) το υδατικό ισοζύγιο του οικοσυστήματος.

A.3 ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες, τόσο στα όρια της λεκάνης απορροής όσο και μέσα στα ίδια τα υδάτινα οικοσυστήματα, καθορίζουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των επιφανειακών και υπόγειων νερών. Ταυτόχρονα, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των νερών και ο βαθμός ρύπανσης ή και μόλυνσής τους καθορίζουν τη χρήση τους από τον άνθρωπο. Έτσι, τα νερά χαρακτηρίζονται ανάλογα με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους, εάν είναι κατάλληλα, ως πόσιμα ή για γεωργική (άρδευση) ή για βιομηχανική (παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, μεταποίηση τροφίμων) χρήση, για υδατοκαλλιέργεια ή και για κολύμβηση.

Ως προς την προέλευση των ρύπων από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, οι πηγές ρύπανσης κατατάσσονται σε σημειακές και μη σημειακές πηγές. Ως «σημειακές» πηγές ρύπανσης χαρακτηρίζονται αυτές που οι εκροές τους μπορούν να κατευθυνθούν προς ένα ελεγχόμενο χώρο και να διευθετηθούν κατάλληλα (επεξεργασία, επαναχρησιμοποίηση). Τέτοιες πηγές είναι οι απλές κατοικίες, οι οικισμοί, οι βιοτεχνίες και οι βιομηχανίες, οι κτηνοτροφικές μονάδες εντατικής

εκτροφής κ.α.. Αντίθετα οι «μη σημειακές» πηγές έχουν εκτατικό χαρακτήρα και οι εκροές τους μπορούν να ελεγχθούν με πολιτικές αποφάσεις, διατάγματα και κυρίως την αντίληψη περί αειφορίας των οικοσυστημάτων. Τέτοιες πηγές είναι οι γεωργικές καλλιέργειες με κύριους ρύπους τα λιπάσματα και τα φυτοφάρμακα και η εκτατική κτηνοτροφία με κύριους ρύπους τα ζωικά απόβλητα και τα κτηνιατρικά φάρμακα.

Σε πολλές περιπτώσεις, οι ανθρώπινες δραστηριότητες επεμβαίνουν στο περιβάλλον μεταβάλλοντας τις οικολογικές ισορροπίες τόσο στη λεκάνη απορροής όσο και στα υδάτινα οικοσυστήματα που αποτελούν τον τελικό αποδέκτη τους. Η κατασκευή ταμιευτήρων νερού είτε για την ανθρώπινη κατανάλωση είτε για βιομηχανική χρήση ή και για άρδευση μεταβάλλει δραστικά τη χρήση και την ποιότητα των επιφανειακών νερών. Η εκτροπή ποταμών, οι αποξηράνσεις υγροτόπων, η αποψίλωση δασών, η διάνοιξη μεγάλων οδών, τα συγκοινωνιακά μέσα και η εντατικοποίηση των καλλιεργειών διαταράσσουν την οικολογική ισορροπία των λεκανών απορροής και άμεσα ή έμμεσα την ποιότητα των νερών. Έτσι λοιπόν, κρίνεται απαραίτητη όχι μόνο η μελέτη των χρήσεων της γης ή και της υδατοσυλλογής κατά την περίοδο της εγκατάστασης της υδατοκαλλιέργειας, αλλά και η πρόνοια για τις μελλοντικές χρήσεις τους. Η σχετική νομοθεσία περί χωροθέτησης των υδατοκαλλιεργειών (ΦΕΚ 2505/ 4-11-2011), λαμβάνει υπόψη πληθώρα ανθρωπίνων δραστηριοτήτων που αντικρούουν στην εγκατάσταση και στη λειτουργία των υδατοκαλλιεργειών. Επιπλέον των όσων αναφέρθηκαν για τη λεκάνη απορροής, η Περιοχή Ανάπτυξης Υδατοκαλλιέργειας (ΠΑΥ) εξετάζεται και για την ύπαρξη ενάλιων αρχαιολογικών χώρων, προστατευμένων για την άγρια πανίδα και χλωρίδα περιοχών, διαύλων ναυσιπλοΐας ή και στρατιωτικού ενδιαφέροντος, τουριστικών περιοχών κ.α., όπως περιγράφονται αναλυτικά στο αντίστοιχο κεφάλαιο περί χωροθέτησης των υδατοκαλλιεργειών.

A.4 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ –ΥΔΑΤΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

Είναι γνωστό ότι οι μεγαλύτερες ποσότητες του νερού στον πλανήτη βρίσκονται είτε στους ωκεανούς είτε είναι δεσμευμένες με τη μορφή πάγου. Η ανανέωση του νερού σε αυτές τις περιπτώσεις απαιτεί το πέρασμα πολλών ετών, ενώ σε άλλες περιπτώσεις όπως οι λίμνες και τα ποτάμια η ανανέωση γίνεται ταχύτερα (πίνακας 1).

Πίνακας 1. Η παρουσία του νερού στη βιόσφαιρα και οι χρόνοι ανανέωσής του, (Wetzel, 2001).

ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΝΕΡΟΥ	ΟΓΚΟΣ (σε χιλιάδες Km ³)	Ποσοστό % επί του συνόλου	Χρόνος Ανανέωσης νερών
Ωκεανοί	1370000	97,61	3100 έτη
Πάγοι	29000	2,08	16000 έτη
Υπόγεια νερά	4067	0,295	300 έτη
Λίμνες γλυκών νερών	126	0,009	1 – 100 έτη
Λίμνες αλμ. Νερών	104	0,008	10 – 1000 έτη
Υγρασία του εδάφους	67	0,005	280 ημέρες
Ποταμοί	1,2	0,00009	12 – 20 ημέρες
Ατμοί στην ατμόσφαιρα	14	0,0009	9 ημέρες

Στους σχετικά περιορισμένους χώρους, όπου δραστηριοποιείται η παραγωγική διαδικασία των υδατοκαλλιιεργειών, όπως είναι οι λίμνες, οι κλειστοί κόλποι, αλλά και οι φυσικές ή τεχνητές λεκάνες καθώς και οι δεξαμενές, ο χρόνος ανανέωσης του νερού είναι σημαντικός παράγοντας της αιφόρου λειτουργίας τους. Τα υδρολογικά λοιπόν χαρακτηριστικά των υδάτινων οικοσυστημάτων, καθορίζουν αφενός το υδατικό ισοζύγιο των χώρων όπου γίνεται η υδατοκαλλιέργεια και αφετέρου προσδιορίζουν τον χρόνο ανανέωσης των νερών ή και τον χρόνο παραμονής των διαφόρων ανεπιθύμητων ρύπων. Τα κύρια υδρολογικά χαρακτηριστικά που εκτιμώνται για την υδατοκαλλιιεργητική χρήση των υδάτινων οικοσυστημάτων είναι:

α) το βάθος.

Το βάθος του υδάτινου οικοσυστήματος επηρεάζει τόσο τη δυνατότητα της φυσικής παρουσίας των υδρόβιων οργανισμών όσο και τη δυνατότητα εγκατάστασης υδατοκαλλιιεργειών. Στην πρώτη περίπτωση η έννοια του βάθους συνδέεται με τις μεταβολές της θερμοκρασίας της στήλης του νερού και στη δυνατότητα των υδρόβιων οργανισμών να μετοικήσουν σε σημεία πλέον κατάλληλα για την ομαλή διαβίωσή τους. Ταυτόχρονα επιτρέπει τη δημιουργία θερμικής - και όχι μόνο - στρωμάτωσης, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις των λιμναίων οικοσυστημάτων, όπως αναλυτικά περιγράφεται στην παράγραφο περί της θερμοκρασίας των νερών των υδάτινων οικοσυστημάτων.

Από την άλλη πλευρά, η ύπαρξη ικανού βάθους επιτρέπει, στην περίπτωση των πλωτών ιχθυοκλωβών, τη διασπορά των αποβλήτων και των υπολειμμάτων τροφής σε μεγαλύτερη έκταση στον πυθμένα του οικοσυστήματος, αποτρέποντας την οργανική ρύπανση αποκλειστικά στον πυθμένα κάτω από τους ιχθυοκλωβούς. Επιπλέον, παρέχει μεγαλύτερη ασφάλεια για τους ιχθυοκλωβούς ή και τις πλωτές μυδοκαλλιέργειες του τύπου long – line, στις περιπτώσεις όπου επικρατεί το φαινόμενο της φυσικής παλίρροιας ή και της τεχνητής μεταβολής του βάθους εξαιτίας υδροληψιών όπως συμβαίνει στην περίπτωση των ταμιευτήρων νερού (τεχνητές λίμνες). Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι η λίμνη Κερκίνη (άντληση για άρδευση) και η λίμνη Πολυφύτου (άντληση για ψύξη εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας). Το φαινόμενο της παλίρροιας δεν είναι έντονο στη Μεσόγειο, συγκριτικά με περιοχές της Βόρειας και Βόρειο-δυτικής Ευρώπης. Η εποχιακή ή και η ημερήσια μεταβολή του βάθους του υδάτινου οικοσυστήματος (παλίρροια) λαμβάνεται ιδιαίτερα υπόψη στην περίπτωση σταθερών «κλωβών» που χρησιμοποιούνται σε ημι-εκτατικές εκτροφές ψαριών ή και στις καλλιέργειες οστρακοειδών του τύπου «πασσαλωτά». Τέλος το βάθος των λιμναίων οικοσυστημάτων συνυπολογίζεται για τον προσδιορισμό του υδατικού ισοζυγίου τους, του χρόνου ανανέωσης του νερού τους και τον χρόνο παραμονής των ρύπων σε αυτά.

β) η έκταση (για λίμνες).

Η έκταση των λιμνών αποτελεί το μέτρο με το οποίο υπολογίζεται ο όγκος των νερών που εισρέουν σε αυτή μέσω των ατμοσφαιρικών καταιονημάτων (βροχή, χιόνι, χαλάζι) και δίνει την πρώτη εικόνα σχετικά με το υδατικό της ισοζύγιο. Η έκταση της επιφάνειας της λίμνης σε σχέση με το μήκος της ακτογραμμής της προσδιορίζει, κατά τον *Wetzel (2001)*, τον βαθμό επίδρασης της λεκάνης απορροής στο λιμναίο οικοσύστημα.

γ) ο όγκος του νερού. Ο όγκος του νερού στις λίμνες χρησιμοποιείται ως παράμετρος για τον προσδιορισμό του χρόνου παραμονής του νερού στο οικοσύστημα καθώς και του ρυθμού ανανέωσής του. Οι παραπάνω προσδιορισμοί συντελούν στην εκτίμηση της επίδρασης ενός ρύπου στο οικοσύστημα. Οι μηνιαίες διακυμάνσεις του όγκου του νερού στις λίμνες, προσδιορίζουν το υδατικό τους ισοζύγιο και ως εκ τούτου τα ποιοτικά του χαρακτηριστικά. Το ίδιο απαραίτητη είναι η καταγραφή των μηνιαίων διακυμάνσεων της παροχής των ποταμών ή και των πηγών προκειμένου να χρησιμοποιηθεί το νερό τους για ιχθυοκαλλιέργεια.

δ) το υψόμετρο από την επιφάνεια της θάλασσας (για λίμνες). Το υψόμετρο σχετίζεται με τη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας και του νερού, προϋδεάζει για μικρότερη λεκάνη απορροής με μικρότερη ανθρωπογενή δραστηριότητα και τέλος επηρεάζει τη διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό εξαιτίας της μικρότερης ατμοσφαιρικής πίεσης.

ε) ισοβαθείς καμπύλες

Η τοπογραφία του πυθμένα και η σύσταση του ιζήματος αποτελούν παραμέτρους που καθορίζουν τη χωροθέτηση των υδατοκαλλιεργειών στα υδάτινα οικοσυστήματα, (ΦΕΚ 2505/ 4-11-2011).

Η μεγάλη κλίση του πυθμένα των υδατοσυλλογών επιτρέπει την παρουσία μεγάλου βάθους νερού σε μικρή απόσταση από την ακτή. Το μεγαλύτερο βάθος, όπως προαναφέρθηκε, επιτρέπει τη διασπορά των εισερχόμενων φερτών ουσιών σε μεγαλύτερη έκταση του πυθμένα. Ταυτόχρονα, οι εισροές φερτών υλικών καθορίζουν τη φύση του πυθμένα (πετρώδης, αμμώδης, λασπώδης), την περιεκτικότητά του σε οργανικό υλικό αλλά και σε ανόργανα στοιχεία (μέταλλα) και ως εκ τούτου τα είδη των υδρόβιων βενθικών φυτικών και ζωικών οργανισμών που διαβιούν σε αυτόν.

Τα ψάρια, ως ποικιλόθερμοι οργανισμοί, αναζητούν στο χώρο των υδάτινων οικοσυστημάτων, τις περιοχές ή τα βάθη με τις ευνοϊκότερες ή και σταθερότερες για αυτούς συνθήκες θερμοκρασίας του νερού. Ανάλογα με την εποχή και τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν, τα ψάρια μετακινούνται σε βάθη της υδάτινης στήλης τα οποία δεν επηρεάζονται άμεσα από τις θερμοκρασιακές αλλαγές του τοπικού κλίματος, (βλ. κεφάλαιο περί θερμοκρασίας). Στις ιχθυοκαλλιέργειες με το σύστημα των πλωτών κλωβών, το διαθέσιμο βάθος του κλωβού, επιτρέπει την μετακίνηση των ψαριών σε στρώματα του νερού με σταθερή θερμοκρασία. Η καταγραφή των ισοβαθών καμπυλών των λιμνών και των παράκτιων περιοχών καθορίζουν τη χωροθέτηση των ιχθυοκαλλιεργητικών μονάδων.

στ) Τα ρεύματα των νερών.

Η παρουσία υδάτινων ρευμάτων στην περιοχή όπου εγκαθίστανται υδατοκαλλιέργειες έχει τόσο θετικό όσο και αρνητικό ρόλο. Αφενός επιτρέπει την ανανέωση του νερού στο χώρο της καλλιέργειας με αποτέλεσμα την ανανέωση του διαλυμένου οξυγόνου, την παροχή φυσικής τροφής και την απομάκρυνση των αποβλήτων και των υπολειμμάτων της τροφής.

Η ένταση των υδάτινων ρευμάτων, αποτελεί παράγοντα που καθορίζει, μεταξύ άλλων, τις ποσότητες (βιομάζα) των εκτρεφόμενων ψαριών στις ιχθυοκαλλιέργειες. Ενδεικτικά, η Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος της Σκωτίας (από τις μεγαλύτερες ιχθυοπαραγωγικές χώρες παγκοσμίως), καθορίζει τη βιομάζα (σε τόνους, tn) των εκτρεφόμενων ειδών ανάλογα με την «ευαισθησία» της περιοχής εγκατάστασης της ιχθυοκαλλιέργειας, ως προς τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη λειτουργία της, (Πίνακας 2).

Αφετέρου όμως, η παρουσία ισχυρών υδάτινων ρευμάτων, απαιτεί την κατασκευή ισχυρότερων πλωτών εγκαταστάσεων και κυρίως αγκυροβολίων και επιπλέον στην περίπτωση των πλωτών ιχθυοκλωβών, αναγκάζει τα ψάρια να καταναλώνουν ενέργεια κολυμπώντας ενάντια στο υδάτινο ρεύμα και επιπλέον προκαλεί απώλειες τροφής εξαιτίας της ταχείας απομάκρυνσής της από τον χώρο των κλωβών. Τέλος στην περίπτωση ισχυρών ρευμάτων έχουν παρατηρηθεί ακόμη και αλλοιώσεις στο σχήμα των καλλιεργούμενων ειδών (Beveridge, 1996).

Πίνακας 2. Ενδεικτικά, επιτρεπόμενη βιομάζα (tn) καλλιεργούμενων ψαριών, ανάλογα με την ταχύτητα των υδάτινων ρευμάτων (cm/sec) και την υφιστάμενη ποιότητα του υδάτινου περιβάλλοντος.

Μέση ταχύτητα ρευμάτων (cm/sec)	Επίδραση της ταχύτητα στην υδάτινη μάζα	Περιοχή υψηλού κινδύνου	Περιοχή μεσαίου κινδύνου	Περιοχή χαμηλού κινδύνου
< 3	Σχεδόν αδρανής	50 tn	100 tn	250 tn
3 – 5	Εβδομαδιαία ανανέωση	250 tn	500 tn	750 tn
5 – 10	Μέτρια ανανέωση	500 tn	1000 tn	1500 tn
>10	Ισχυρή ανανέωση	750 tn	1500 tn	2000 tn

Πίνακας προσαρμοσμένος από S.E.P.A. (1998)

A.5 Η ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΝΕΡΩΝ ΚΑΙ Η ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΟΥΣ.

Ως **ρύπανση του νερού** νοείται κάθε ανεπιθύμητη μεταβολή των φυσικών, χημικών και βιολογικών χαρακτηριστικών του, που οφείλεται στην ανεπιθύμητη παρουσία αβιοτικών οργανικών ή ανόργανων συστατικών (ρύπων). Οι ρύποι των υδάτινων οικοσυστημάτων μπορεί να είναι στερεής, υγρής ή και αέριας μορφής. Η είσοδος των ρύπων στα υδάτινα οικοσυστήματα γίνεται είτε από την έκπλυση των εδαφών ή την ατμόσφαιρα μέσω των κατακρημνισμάτων είτε απευθείας με την παροχή των αποχετεύσεων σημειακών πηγών ρύπανσης (αστικής ή βιομηχανικής προέλευσης). Κάτω από ορισμένες βιοχημικές διεργασίες, η χημική σύσταση ή και η δεξαμενή αποθήκευσης των ρύπων μέσα στο υδάτινο οικοσύστημα μεταβάλλεται και τα προϊόντα αυτών των μεταβολών χαρακτηρίζονται ως ενδογενής ρύπανση.

Με την είσοδό τους στα υδάτινα οικοσυστήματα οι ρύποι:

- ✓ αραιώνονται και διασπείρονται
- ✓ μεταφέρονται, και
- ✓ συγκεντρώνονται

Οι ρύποι αραιώνονται μέσω της διάλυσής τους στο νερό και μεταφέρονται μέσω των υδάτινων ρευμάτων ακόμη και σε μεγάλες αποστάσεις από το σημείο εισροής τους. Οι αέριες μορφές ρύπων, όπως το CO₂ βρίσκονται σε διαρκή ανταλλαγή με την ατμόσφαιρα ή όπως στην περίπτωση της NH₃ ή του CH₄ διαφεύγουν προς αυτή. Πολλές φορές, οι ρύποι βρίσκονται προσκολλημένοι σε φερτά υλικά που καθιζάνουν, εξαιτίας της βαρύτητας, σταδιακά στον πυθμένα των υδάτινων οικοσυστημάτων ή αποτελούν τροφή για υδρόβιους οργανισμούς και μέσω αυτών μεταφέρονται σε μεγάλες αποστάσεις.

Τέλος, οι ρύποι συγκεντρώνονται με βιολογικές ή και με φυσικοχημικές διεργασίες. Στην τελευταία περίπτωση οι ρύποι υφίστανται προσρόφηση, ιοντοανταλλαγή και καθίζηση με αποτέλεσμα τη συγκέντρωσή τους στο ίζημα των υδάτινων οικοσυστημάτων. Οι βιολογικές διεργασίες περιλαμβάνουν την πρόσληψη των ρύπων από τους υδρόβιους φυτικούς ή ζωικούς οργανισμούς, την είσοδό τους στην τροφική αλυσίδα, τη βιοσυγκέντρωσή τους ή και τη βιομεγέθυνσή τους στους οργανισμούς – κρίκους αυτής.

Η ποιότητα των νερών αποτελεί τον κυριότερο παράγοντα που καθορίζει την καταλληλότητα ενός υδάτινου περιβάλλοντος για τη χρήση του για υδατοκαλλιέργεια. Σε πολλές περιπτώσεις γίνεται

σύγκριση μεταξύ της έννοιας της «καλής ποιότητας» νερών και της έννοιας της ρύπανσης τους σε ότι αφορά τις υδατοκαλλιέργειες. Μη ρυπασμένα νερά, δεν σημαίνει αυτόματα την καταλληλότητά τους για διενέργεια υδατοκαλλιεργειών. Για παράδειγμα, τα πηγαία νερά ορεινών περιοχών, όπου απουσιάζει η ρυπογόνος ανθρώπινη δραστηριότητα, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ιχθυοκαλλιέργεια εάν η θερμοκρασία τους είναι σταθερά χαμηλή, κάτω από 10 °C. Επίσης, σε περιοχές με θερμές πηγές νερού σταθερής θερμοκρασίας μεγαλύτερης των 20 °C είναι πιθανή η παρουσία ουσιών, όπως ενώσεων του θείου ή άλλων αλάτων, που καθιστούν αδύνατη τη διαβίωση των ψαριών.

Ο έλεγχος λοιπόν των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού καθορίζει τη χωροθέτηση, το μέγεθος και το καλλιεργούμενο είδος των υδατοκαλλιεργειών και η τακτική στη συνέχεια παρακολουθήσής τους καθορίζει την αιεφόρο λειτουργία τους. Οι κυριότερες παράμετροι της ποιότητας των υδάτινων οικοσυστημάτων προκειμένου να χρησιμοποιηθούν για υδατοκαλλιέργειες είναι οι φυσικές, οι χημικές και οι βιολογικές.

A.5.1 ΦΥΣΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

Στις φυσικές παραμέτρους των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού των υδάτινων οικοσυστημάτων περιλαμβάνονται η θερμοκρασία, η αλατότητα, τα αιωρούμενα υλικά, η θολερότητα και η διαφάνεια. Στη συνέχεια περιγράφονται οι φυσικές παράμετροι, ο τρόπος προσδιορισμού τους και οι επίδρασή τους στους φυσικούς υδρόβιους ζωικούς οργανισμούς και στις υδατοκαλλιέργειες.

5.1.1 Η θερμοκρασία του νερού.

Το νερό έχει ορισμένες φυσικές και χημικές ιδιότητες οι οποίες έχουν ιδιαίτερη σημασία για τα οικοσυστήματα και τους οργανισμούς που διαβιούν σε αυτά. Ανάμεσα σε αυτές, σημαντικές για τη ζωή των υδρόβιων οργανισμών, είναι οι θερμικές τους ιδιότητες, όπως η γρήγορη αποβολή της θερμότητας (θερμική αγωγιμότητα) και η εύκολη πρόσληψη ή και αποβολή θερμικής ενέργειας (ειδική θερμότητα). Εξαιτίας αυτών των ιδιοτήτων οι θερμοκρασίες στα υδάτινα οικοσυστήματα έχουν την τάση να παραμένουν σχετικά σταθερές και ομοιογενείς, (Καμαριανός και Καραμανλής, 2001). Σε θερμοκρασίες > 4° C η πυκνότητα του νερού μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και αυτό προκαλεί τη θερμική στρωμάτωση των υδάτινων μαζών. Οι μεταβολές της θερμοκρασίας του νερού επηρεάζονται επίσης και από την αλατότητά του, ενώ ταυτόχρονα επηρεάζουν, κατά τρόπο αντιστρόφως ανάλογο, τη διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό.

Η θερμοκρασία των νερών στα υδάτινα οικοσυστήματα εξαρτάται από τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά (υψόμετρο και γεωγραφικό πλάτος) που βρίσκεται το οικοσύστημα, την παρουσία υδάτινων ρευμάτων, τις εισροές ποταμών και κυρίως από τα κλιματολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής.

Ταυτόχρονα:

- οι υδρόβιοι οργανισμοί προσαρμόζουν τη θερμοκρασία του σώματός τους σε αυτή του περιβάλλοντος (νερού),
- η αύξηση της θερμοκρασίας του νερού αυξάνει το ρυθμό του μεταβολισμού τους και ως εκ τούτου προκαλεί αύξηση της κατανάλωσης οξυγόνου και παραγωγή αμμωνίας και διοξειδίου του άνθρακα.

Τα ανωτέρω οδηγούν στο συμπέρασμα ότι επιλογή της θέσης της υδατοκαλλιεργητικής μονάδας πρέπει να διασφαλίζει τις άριστες συνθήκες, ακόμη και σε μεταβολές της θερμοκρασίας του νερού εξαιτίας εισροών (βροχόπτωση, εκβολές ποταμών). Όπως έχει ήδη αναφερθεί, για την επιτυχή

υδατοκαλλιεργητική δραστηριότητα, δεν επαρκεί το να καλύπτονται ποιοτικά τα όρια επιβίωσης των ιχθύων, αλλά εκείνα τα οποία θα προσφέρουν το άριστο για κάθε καλλιεργούμενο είδος, περιβάλλον. Στον πίνακα 3, παρουσιάζονται οι ελάχιστες, οι μέγιστες και οι άριστες θερμοκρασίες για τη καλλιέργεια των κυριότερων ειδών ιχθύων που εκτρέφονται στην Ελληνική επικράτεια.

Η θερμική στρωμάτωση των υδάτινων οικοσυστημάτων παρουσιάζεται κυρίως στις λίμνες και στους κλειστούς κόλπους. Στις πολύ μεγάλες λίμνες (π.χ. λ. Βαϊκάλη), όπως και στην ανοικτή θάλασσα η εισερχόμενη θερμότητα πιθανόν δεν επαρκεί ώστε να θερμάνει τα βαθύτερα στρώματα νερού. Η θερμική στρωμάτωση εξαρτάται από το βαθμό ανάμειξης των νερών του υδάτινου οικοσυστήματος που μπορεί να οφείλεται στην παρουσία ρευμάτων, σε εισροές ποταμών, σε βροχοπτώσεις, στην παρουσία ανέμων που ψύχουν την επιφάνεια των νερών, στην τοπογραφία της λεκάνης απορροής, το βάθος και τον όγκο της υδάτινης μάζας και φυσικά από τη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας της περιοχής. Το φαινόμενο εξελίσσεται ως εξής:

Πίνακας 3. Οι ελάχιστες, μέγιστες και άριστες θερμοκρασίες για τη καλλιέργεια ιχθύων

	Ελάχιστη	Μέγιστη	Άριστη
Σολομοειδή	5	22	12 – 16
Κυπρινοειδή	10	38	25 – 30
Χέλια	11	26	22 – 26
Τσιπούρα	5	34	25 – 26
Λαυράκι	5	32	23 - 25

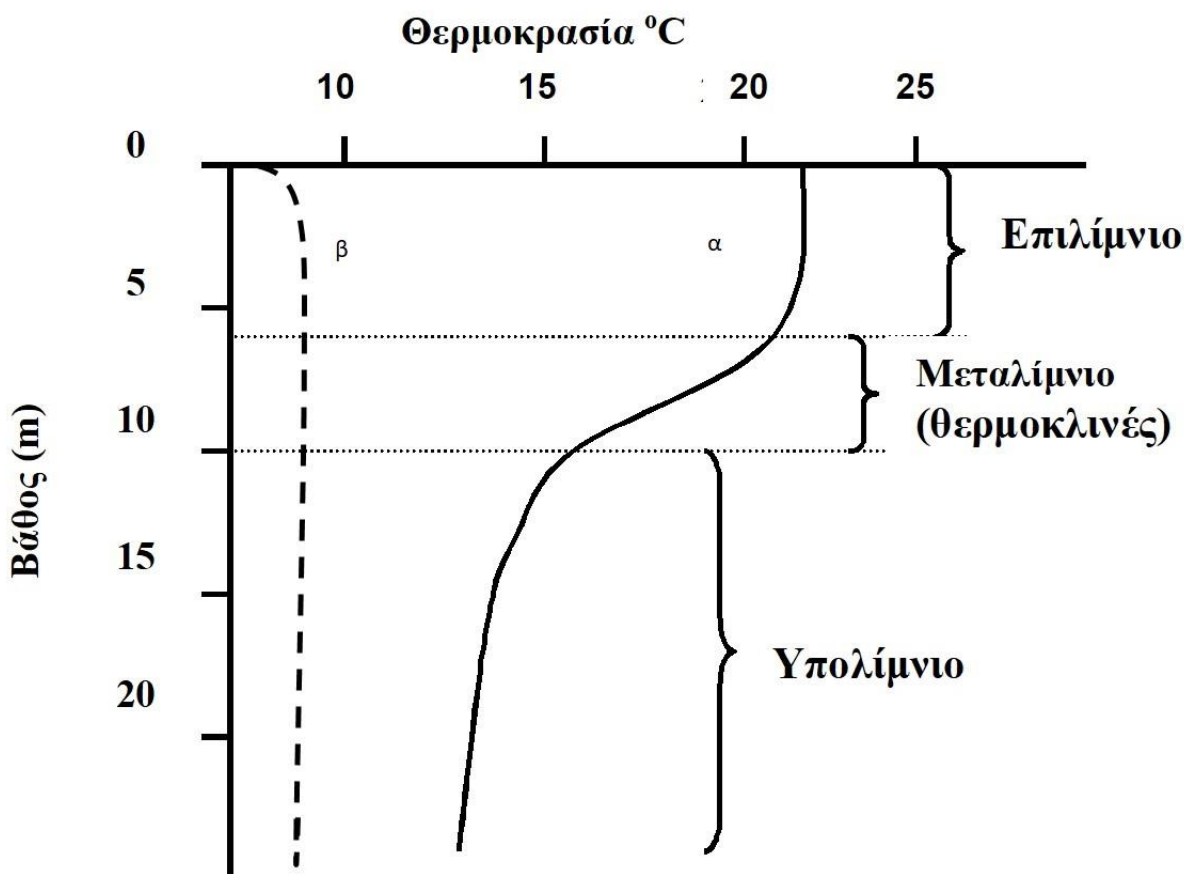
(Καμαριανός, 2000)

Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, με την άνοδο της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος οι επιφανειακές υδάτινες μάζες αρχίζουν να θερμαίνονται. Η άνοδος αυτή της θερμοκρασίας είναι σε πολλές περιπτώσεις ταχύτερη από τη δυνατότητα της ανάμειξης των νερών και της εξισορρόπησης της θερμοκρασίας άρα και της πυκνότητάς τους, με αποτέλεσμα να δημιουργείται στρώμα θερμών και μικρότερης πυκνότητας νερών στην επιφάνεια των λιμνών ή και των κλειστών κόλπων. Το θερμότερο αυτό στρώμα, ονομάζεται *επιλίμνιο* και εκτείνεται σε βάθος το οποίο εξαρτάται από το ύψος της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος και από τη δυνατότητα ανάμειξης των νερών εξαιτίας φυσικών παραμέτρων, όπως τα υδάτινα ρεύματα και οι άνεμοι. Στην Ελλάδα, το φαινόμενο εμφανίζεται στα μέσα του καλοκαιριού και το επιλίμνιο εκτείνεται έως και το βάθος των 6 περίπου μέτρων. Οι μεταβολές της θερμοκρασίας του νερού είναι μικρότερες του 1 °C ανά μέτρο βάθους. Στη συνέχεια, η πτώση της θερμοκρασίας του νερού γίνεται ταχύτατα έως ότου σταθεροποιηθεί σε θερμοκρασίες που δεν επηρεάζονται εξαιτίας του βάθους των νερών από τις θερμοκρασίες του περιβάλλοντος και είναι σταθερές. Το τμήμα της υδάτινης μάζας που διατηρεί σταθερή θερμοκρασία ονομάζεται υπολίμνιο. Οι ενδιάμεσες του υπολιμνίου και το επιλιμνίου υδάτινες μάζες ονομάζονται μεταλίμνιο. Με την έννοια «θερμοκλινές» γίνεται αναφορά στην περιοχή του έντονου (maximum) ρυθμού πτώσης της θερμοκρασίας σε σχέση με το βάθος, οπότε για πολλούς συγγραφείς ταυτίζεται σχεδόν με το μεταλίμνιο. (Wetzel, 2001).

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η θερμοκρασία του νερού επηρεάζει με τρόπο αντιστρόφως ανάλογο τη διαλυτότητα του οξυγόνου σε αυτό. Έτσι λοιπόν η καμπύλη της πτώσης της θερμοκρασίας κατά τη στρωμάτωση επηρεάζει και αυτή του διαλυμένου οξυγόνου.

Με την έναρξη της αλλαγής των κλιματολογικών συνθηκών και το πέρασμα από τους θερμούς θερινούς μήνες στους ψυχρότερους του Φθινοπώρου τα επιφανειακά στρώματα των υδατοσυλλογών

ψύχονται και η πυκνότητά τους αυξάνει. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη «βύθιση» των ψυχρότερων επιφανειακών υδάτινων μαζών και την άνοδο των «θερμότερων», που κατά τη διάρκεια της στρωμάτωσης ήταν σε μεγαλύτερα βάθη. Η ανάμειξη των νερών διαρκεί έως ότου αποκατασταθεί η θερμική ισορροπία μεταξύ των υδάτινων μαζών και η καμπύλη μεταβολής της να τείνει ομαλά μειούμενη κατά το βάθος του οικοσυστήματος. Αυτή η ανάμειξη υδάτινων μαζών, βοηθά στην ανακατανομή τόσο του διαλυμένου στο νερό οξυγόνου όσο και στην ανακατανομή των θρεπτικών ουσιών που περιέχουν. Στο σχήμα 4, δίνονται οι μεταβολές της θερμοκρασίας σε συνάρτηση με το βάθος της υδατοσυλλογής και την εποχή.



Σχήμα 4. Μεταβολές της θερμοκρασίας σε συνάρτηση με το βάθος της υδατοσυλλογής και την εποχή, α: Καλοκαίρι – στρωμάτωση. β: Χειμώνας – ανάμειξη.

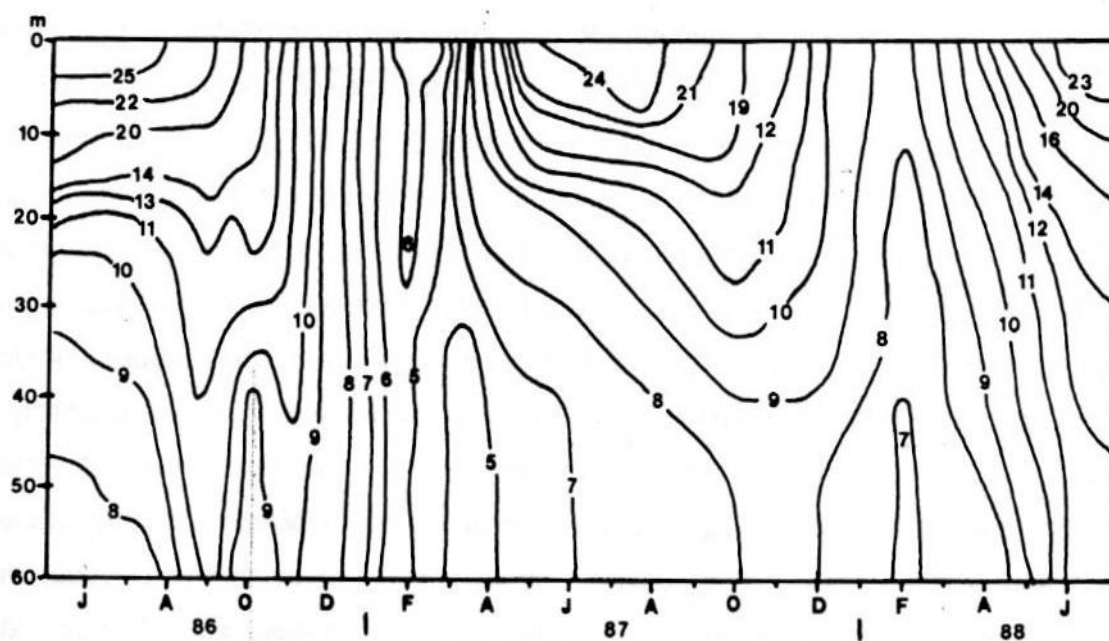
Η εμφάνιση της θερμικής στρωμάτωσης γίνεται σε λίμνες με βάθος μεγαλύτερο από 6 μ.. Οι Κιλικίδης και συν., (1984), δεν διαπίστωσαν θερμική στρωμάτωση στις λίμνες Κορώνεια (βάθος <4 μ.) και Δοϊράνη (βάθος <7 μ.) ενώ αντίθετα αυτή ήταν σαφής στη λίμνη Πολυφύτου (βάθος >60 μ.).

Έτσι το φαινόμενο μπορεί να διαρκέσει από μερικές ημέρες έως μερικούς μήνες γεγονός το οποίο εξαρτάται κυρίως από τα κλιματολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Στην Ελλάδα, το φαινόμενο μπορεί να διαρκέσει έως και το τέλος του Φθινοπώρου, ανάλογα πάντα με τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν, (Kilikidis S. et al., 1992).

Αντίθετα, οι Κιλικίδης και συν., (1998) και Κατσούλος, (2001), δεν διαπίστωσαν στρωμάτωση κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών σε θαλάσσιες περιοχές του Θερμαϊκού κόλπου, όπου λειτουργούν μυδοκαλλιέργειες.

Η μέτρηση της θερμοκρασίας γίνεται με τη χρήση μεταλλικών αισθητήρων – θερμομέτρων, συνήθως προσαρμοσμένων σε αντίστοιχα όργανα μέτρησης του διαλυμένου στο νερό οξυγόνου,

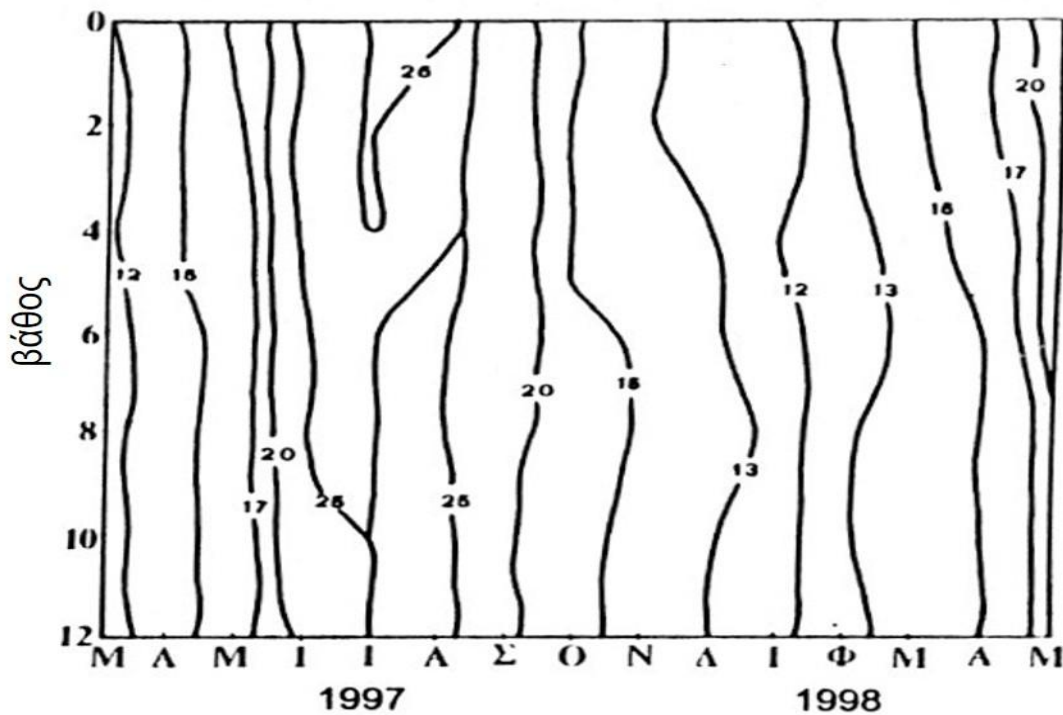
(οξυγονόμετρα). Για τον προσδιορισμό των θερμοκρασιών του νερού σε περιοχή όπου πρόκειται να εγκατασταθεί υδατοκαλλιεργητική μονάδα, απαιτείται η συλλογή δεδομένων σε μηνιαία συχνότητα, για ένα τουλάχιστον έτος και για αντιπροσωπευτικά βάθη της υδάτινης στήλης της περιοχής, ώστε να δημιουργηθεί η απεικόνιση των ισόθερμων καμπυλών. Οι ισόθερμες καμπύλες υποδεικνύουν την πιθανή εποχιακή θερμική στρωμάτωση, επομένως και τις θερμοκρασίες που επικρατούν σε όλο το βάθος της υδάτινης στήλης που εκτείνεται η υδατοκαλλιέργεια. Στο σχήμα 5, δίνονται οι ετήσιες ισόθερμες καμπύλες στην περίπτωση θερμικής στρωμάτωσης των νερών στη λίμνη Πολυφύτου. Στο σχήμα, διακρίνονται οι σχεδόν οριζόντιες ισοθερμικές καμπύλες από τα 5 έως και τα 18 μέτρα κατά την περίοδο Ιούλιος – Οκτώβριος 1986 καθώς και οι αντίστοιχες από τα 5 έως τα 12 μέτρα κατά την περίοδο Αύγουστος – Οκτώβριος 1987, που υποδεικνύουν τη θερμική στρωμάτωση στη στήλη του νερού.



Σχήμα 5. Ισόθερμες καμπύλες που υποδεικνύουν θερμική στρωμάτωση στη λίμνη Πολυφύτου κατά το χρονικό διάστημα 1986-88 και για βάθη έως 60 μέτρα, (Kilikidis et al., 1992).

Στο σχήμα 6, δίνονται οι ετήσιες ισόθερμες καμπύλες χωρίς θερμική στρωμάτωση στον Θερμαϊκό κόλπο. Στο σχήμα διακρίνονται διαρκώς, οι σχεδόν κάθετες ισοθερμικές καμπύλες σε όλη τη στήλη του νερού, καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων, που υποδεικνύουν την έλλειψη θερμικής στρωμάτωσης.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, που σπανίως μεν αλλά παρατηρούνται και στην Ελλάδα έχουμε το φαινόμενο του σχηματισμού πάγου στην επιφάνεια των λιμνών. Η πυκνότητα του νερού κάτω από τους 4 °C και στις χαμηλές θερμοκρασίες του σχηματισμού πάγου, μειώνεται και έτσι παραμένει στην επιφάνεια ως πάγος. Στην περίπτωση αυτή και για τα στρώματα του νερού κάτω από τον πάγο εμφανίζεται το φαινόμενο της αντίστροφης στρωμάτωσης. Δηλαδή, τα τμήματα του νερού που εξαιτίας της επαφής τους με τον πάγο είναι ψυχρότερα, διατηρούνται υψηλότερα από τα κατώτερα και θερμότερα στρώματα.



Σχήμα 6. Ισόθερμες καμπύλες που υποδεικνύουν έλλειψη θερμικής στρωμάτωσης στον Θερμαϊκό κόλπο κατά το χρονικό διάστημα 1997-98 και για βάθη έως 12 μέτρα (Κατσούλος, 2001),

5.1.2 Η αλατότητα

Η αλατότητα των υδάτινων οικοσυστημάτων αποτελεί την παράμετρο που προσδιορίζει την ποσότητα των διαλυμένων χημικών στοιχείων στο νερό και εκφράζεται ως ποσοστό επί τις χιλίους (‰). Τα στοιχεία αυτά είναι κυρίως τα ανιόντα: Νάτριο, Μαγνήσιο, Κάλιο και Ασβέστιο και τα κατιόντα: Χλώριο, Θεικά, Ανθρακικά και Διττανθρακικά άλατα. Στο θαλασσινό νερό, η αλατότητα κυμαίνεται μεταξύ 32 ‰ – 40 ‰, (Beveridge, 1996).

Ο ρόλος της αλατότητας στους υδρόβιους ζωικούς οργανισμούς συνίσταται στον έλεγχο της οσμωτικής πίεσης και τη φυσιολογία της ιοντικής τους ισορροπίας. Επομένως, στην περίπτωση των υδατοκαλλιιεργειών, η αλατότητα καθορίζει το είδος του υδρόβιου οργανισμού που μπορεί να καλλιιεργηθεί.

Επιπλέον η αλατότητα επηρεάζει αντιστρόφως ανάλογα τη διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό καθώς επίσης παρεμβαίνει και στις μεταβολές της θερμοκρασία του νερού.

Η μεταβολή της αλατότητας στα υδάτινα οικοσυστήματα επιφέρει μεταβολές στην παρουσία (ποικιλία, αφθονία) όλων των ειδών των ζωντανών οργανισμών που ζουν σε αυτά. Η είσοδος νερού διαφορετικής αλατότητας στα υδάτινα οικοσυστήματα προκαλεί στρωμάτωση των νερών η έκταση της οποίας ποικίλει από την ποσότητα και την ένταση εισόδου του εισερχόμενου νερού. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται συνήθως στις εκβολές ποταμών σε θαλάσσια οικοσυστήματα ή και σε περιπτώσεις εισόδου του θαλασσινού νερού σε λίμνες που γειτνιάζουν με τη θάλασσα (π.χ. Βισθωνίδα) ή λιμνοθάλασσες.

5.1.3 Αιωρούμενα υλικά - Θολερότητα και Διαφάνεια.

Με τον όρο «αιωρούμενα υλικά» (suspended matter) γίνεται αναφορά στον αριθμό των αιωρούμενων οργανικών ή ανόργανων στερεών, στο πλαγκτόν και άλλους μικροοργανισμούς στο νερό. Πρακτικά, τα αιωρούμενα υλικά είναι ότι παραμένει σε φίλτρο με διαμέτρηση πόρων 0,45 μm,

όταν φιλτράρεται δείγμα νερού. Το στερεό υπόλειμμα πάνω στο φίλτρο (του τύπου GF/C grade) μετά από στέγνωμα μέχρι απόκτησης σταθερού βάρους στους 105°C χαρακτηρίζεται ως το σύνολο των αιωρούμενων στερεών (Total Suspended Solids, TSS), (APHA, 2005).

Ο βαθμός θολερότητας (turbidity) των υδάτινων οικοσυστημάτων εξαρτάται από την παρουσία των αιωρούμενων υλικών πάνω στα οποία διαθλάται ή απορροφάται το φως. Η θολερότητα προσδιορίζεται με τη χρήση νεφελομέτρων και μετρείται σε αντίστοιχες μονάδες (Nephelometric Turbidity Unit, NTU).

Με τη έννοια διαφάνεια (transparency) του νερού γίνεται αναφορά στο όριο της ορατότητας στη στήλη του νερού στα υδάτινα οικοσυστήματα και προσδιορίζεται πρακτικά με τη μέθοδο του δίσκου του Secchi. Ο δίσκος αυτός έχει διάμετρο περί τα 25 εκατοστά και η επιφάνειά του είναι χωρισμένη σε 4 τεταρτημόρια, βαμμένα εναλλάξ λευκά – μαύρα. Η μέτρηση της απόστασης από την επιφάνεια της υδατοσυλλογής έως το σημείο που χάνεται η οπτική επαφή με τον βυθιζόμενο δίσκο αποτελεί πρακτική μέθοδο του προσδιορισμού της διαφάνειας του νερού στα φυσικά υδάτινα οικοσυστήματα.

Η θολερότητα του νερού οφείλεται:

- Στη διάβρωση των εδαφών και στη μεταφορά αυτού του υλικού (φερτά) μέσω κυρίως των ποταμών στα επιφανειακά υδάτινα οικοσυστήματα.
- Στην εισροή λυμάτων από σημειακές (αστικές, βιομηχανικές) ή μη σημειακές (γεωργικές) πηγές ρύπανσης.
- Στην επαναιώρηση των ιζημάτων, κάτω από συνθήκες που εξαρτώνται είτε από κλιματολογικά φαινόμενα, όπως ισχυροί άνεμοι και κυματισμοί σε ρηχές υδατοσυλλογές, είτε σε φαινόμενα όπως η ανάμειξη νερών εξαιτίας προηγούμενης στρωμάτωσής τους, είτε τέλος, σε συνθήκες που ευνοούν την επαναδιάλυση στοιχείων του ιζήματος (π.χ. φώσφορος).
- Στα κόπρανα των ψαριών και στα υπολείμματα τροφής των ιχθυοκαλλιεργειών, και
- Στις περιπτώσεις εμφάνισης ευτροφισμού, εξαιτίας της υπερανάπτυξης των φυτοπλακτονικών οργανισμών, όπως περιγράφεται αναλυτικά στο κεφάλαιο περί ευτροφισμού.

Τα προβλήματα που δημιουργούνται στους υδρόβιους οργανισμούς εξαιτίας της παρουσίας θολερότητας περιλαμβάνουν:

- Καταστροφή των βραγχίων των ψαριών. Τα αιωρούμενα στερεά προκαλούν τραυματισμό του επιθηλίου των βραγχίων με αποτέλεσμα την πάχυνσή του και την πρόκληση ακόμη και του θανάτου των ψαριών.
- Επικάλυψη και καταστροφή των αυγών κατά τη φυσική αναπαραγωγή. Τα θηλυκά ψάρια γεννούν τα αυγά τους σε περιοχές με μικρό βάθος νερού ώστε η αύξηση της θερμοκρασίας να βοηθήσει στην εκκόλασή τους. Η εισροή φερτών υλικών κατά την αντίστοιχη χρονική περίοδο έχει ως αποτέλεσμα την επικάλυψη των γονιμοποιημένων αυγών και την καταστροφή τους. Το φαινόμενο αυτό συμβαίνει κυρίως σε περιοχές όπου υπάρχουν εκβολές ποταμών και σε περιόδους με έντονες βροχοπτώσεις.
- Μείωση της απόστασης της όρασης των ψαριών με αποτέλεσμα τη μείωση της ικανότητας τους στο να διακρίνουν την τροφή τους.
- Συσσώρευση οργανικού υλικού. Το οργανικό υλικό αποτελεί αφ' ενός υπόστρωμα ανάπτυξης παθογόνων μικροοργανισμών και αφετέρου κατά την αποσύνθεσή του να προκαλέσει μείωση του διαλυμένου στο νερό οξυγόνου. Σε πολλές περιπτώσεις η μείωση αυτή οδηγεί σε αναερόβιες συνθήκες και στην παραγωγή προϊόντων αναερόβιας οργανικής αποσύνθεσης, όπως είναι το μεθάνιο, το υδρόθειο και η αμμωνία.

- Απώλεια ενέργειας στα οστρακοειδή. Η πρόσληψη τροφής από τα οστρακοειδή γίνεται μέσω του διαρκούς φιλτραρίσματος του νερού. Οι οργανισμοί αυτοί διαχωρίζουν και κατακρατούν τα μικρότερης διαμέτρου αιωρούμενα υλικά στο νερό ως τροφή τους (κυρίως φυτοπλαγκτόν) και αποβάλλουν τα μεγαλύτερα σε μέγεθος ως ψευδοπεριττώματα. Η παρουσία αιωρούμενων υλικών υποχρεώνει τα οστρακοειδή σε κατανάλωση μεγαλύτερης ενέργειας τόσο για τον διαχωρισμό των στερεών όσο για την ικανοποίηση των θρεπτικών τους αναγκών, (*Creswell and McNevin, 2008*).

Οι περισσότεροι υδρόβιοι οργανισμοί δεν αντιμετωπίζουν προβλήματα σε επίπεδα θολερότητας <100 mg/l, (*Alabaster and Lloyd, 1980*).

A.5.2 ΟΙ ΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

5.2.1 Το διαλυμένο οξυγόνο

Το διαλυμένο στο νερό οξυγόνο αποτελεί την πηγή ζωής για όλους τους υδρόβιους οργανισμούς είτε πρόκειται για μικροοργανισμούς είτε πρόκειται για μεγαλύτερου μεγέθους οργανισμούς όπως είναι τα ψάρια, τα δίθυρα μαλάκια ή τα καρκινοειδή πολλά από τα οποία αποτελούν είδη εντατικών ιχθυο-υδατοκαλλιεργειών. Η διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό εξαρτάται από τη θερμοκρασία και την αλατότητα του νερού καθώς και από την ατμοσφαιρική πίεση (το υψόμετρο που βρίσκεται η υδατοσυλλογή και το βάθος της). Η διαλυτότητα μικραίνει όσο αυξάνεται η θερμοκρασία και η αλατότητα ενώ αντίθετα αυξάνει όταν αυξάνει και η πίεση. Το νερό θεωρείται κορεσμένο με οξυγόνο όταν η ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου αποτελεί το 100% της ποσότητας που υπό τις ισχύουσες συνθήκες θερμοκρασίας, αλατότητας και ατμοσφαιρικής πίεσης, μπορεί να διαλυθεί. Στον πίνακα 1 του παραρτήματος, δίνονται οι τιμές συγκέντρωσης του οξυγόνου στο νερό σε διαφορετικές συνθήκες θερμοκρασίας (Temperature) και αλατότητας (Chlorinity) και υπό πίεση μίας ατμόσφαιρας (101,3 kPA) ώστε το διάλυμα να θεωρείται κορεσμένο. Η συγκέντρωση του διαλυμένου στο νερό οξυγόνου προσδιορίζεται ηλεκτροχημικά, με τη χρήση οξυγονομέτρου. Τα σύγχρονα οξυγονόμετρα διαθέτουν ταυτόχρονα και θερμόμετρο καθώς και ρύθμιση υψομέτρου και αλατότητας ώστε το τελικό αποτέλεσμα να προσαρμόζεται στις αντίστοιχες συνθήκες θερμοκρασίας, αλατότητας και ατμοσφαιρικής πίεσης. Το αποτέλεσμα εκφράζεται σε mg O₂/ℓ νερού.

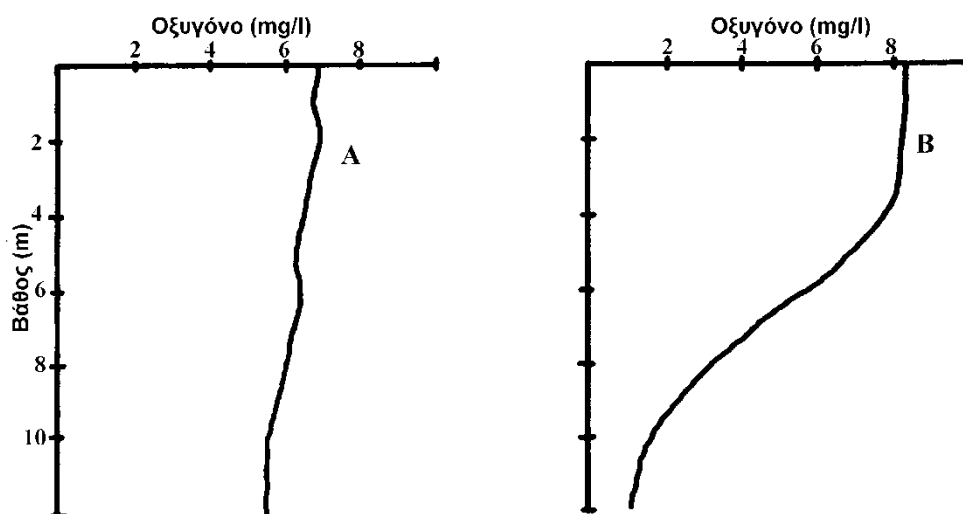
Το θαλασσινό νερό έχει κατά 18% μικρότερη ικανότητα διάλυσης οξυγόνου απ' ό,τι το γλυκό. Στις υδατοκαλλιέργειες ο κορεσμός σε οξυγόνο θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος από 70%. Δεν θα πρέπει όμως να γίνεται σύγχυση μεταξύ της έννοιας «διαλυτότητα» του οξυγόνου στο νερό και της έννοιας «συγκέντρωση» του οξυγόνου σε αυτό. Η έννοια της «διαλυτότητας» εκφράζει την ικανότητα διάλυσης, δηλαδή την παρουσία ευνοϊκών συνθηκών διάλυσης, του οξυγόνου στο νερό ώστε να επιτευχθεί ο κορεσμός. Αντίθετα η «συγκέντρωση» εκφράζει την ποσότητα του οξυγόνου που είναι διαλυμένο ανά λίτρο νερού (mg O₂/ℓ) τη δεδομένη στιγμή της μέτρησης.

Στην επιφάνεια των υδάτινων οικοσυστημάτων, όπου οι θερμοκρασίες είναι υψηλότερες απ' ότι στα βαθύτερα στρώματα, η ικανότητα διάλυσης του οξυγόνου είναι μικρότερη. Στα βαθύτερα στρώματα των νερών εξαιτίας της χαμηλότερης θερμοκρασίας αλλά και της αυξημένης πίεσης (1ατμόσφαιρα/10 μέτρα) η ικανότητα διάλυσης είναι μεγαλύτερη. Παρ' όλα αυτά οι συγκεντρώσεις του διαλυμένου οξυγόνου στα επιφανειακά στρώματα των νερών είναι μεγαλύτερη σε σύγκριση με αυτές των βαθύτερων στρωμάτων, εξαιτίας της παραγωγής περισσότερου οξυγόνου λόγω της φωτοσύνθεσης και της διάλυσης ατμοσφαιρικού οξυγόνου ιδιαίτερα σε περιπτώσεις που επικρατούν ισχυροί κυματισμοί. Αντίθετα στα βαθύτερα στρώματα και ανάλογα με την τροφική κατάσταση των νερών, η διέλευση του φωτός επομένως και η φωτοσύνθεση είναι περιορισμένη και επιπλέον καταναλώνεται οξυγόνο λόγω της αποσύνθεσης των οργανικών ουσιών που καθιζάνουν στον

πυθμένα. Στο σχήμα 7 παρουσιάζεται η κατανομή των συγκεντρώσεων οξυγόνου σύμφωνα με το βάθος των υδάτινων οικοσυστημάτων σε oligότροφα και εύτροφα υδάτινα οικοσυστήματα.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, ιδιαίτερα σε τεχνητές λίμνες (π.χ. λ. Πολυφύτου, λ. Κερκίνη) εξαιτίας της πιθανής συνεχιζόμενης λειτουργίας των ποτάμιων συστημάτων, η ύπαρξη ισχυρών ρευμάτων στον πυθμένα, μπορεί να αλλοιώσει το αποτέλεσμα. Το ίδιο ισχύει και σε θαλάσσιες περιοχές όπου εμφανίζονται ισχυρά υπόγεια ρεύματα ή και σε περιπτώσεις όπου στον πυθμένα αναβλύζουν πηγές νερού.

Πηγές εμπλουτισμού του νερού με οξυγόνο είναι η φωτοσύνθεση των υδρόβιων φυτικών οργανισμών (φυτοπλαγκτόν, φύκη, κλπ) και η διάλυση ατμοσφαιρικού οξυγόνου (θαλασσοταραχή, καταρράκτες κλπ). Αντίθετα απώλεια του διαλυτού στο νερό οξυγόνο οφείλεται στην αναπνοή των υδρόβιων φυτικών και ζωικών οργανισμών και στην αερόβια αποσύνθεση της νεκρής οργανικής ύλης από τους αποσυνθέτες οργανισμούς κυρίως στον πυθμένα των υδατοσυλλογών. Η οργανική ύλη προέρχεται από τη βιομάζα των νεκρών υδρόβιων φυτικών ή ζωικών οργανισμών καθώς επίσης και από τα απόβλητα και λύματα των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων (αστικά, γεωργικά, κτηνοτροφικά απόβλητα ή λύματα) στη λεκάνη απορροής του υδάτινου οικοσυστήματος. Η οργανική αυτή ρύπανση έχει ως αποτέλεσμα την κατανάλωση του διαλυμένου στο νερό οξυγόνου εξαιτίας της αποσύνθεσης της οργανικής ύλης από τους μικροοργανισμούς της σαπροφυτικής αλυσίδας. Το μέγεθος της οργανικής ρύπανσης των υδάτινων οικοσυστημάτων, εκτιμάται μεταξύ άλλων και από τον ρυθμό της κατανάλωσης, για την αποικοδόμηση της οργανικής ύλης, του διαλυμένου στο νερό οξυγόνου.



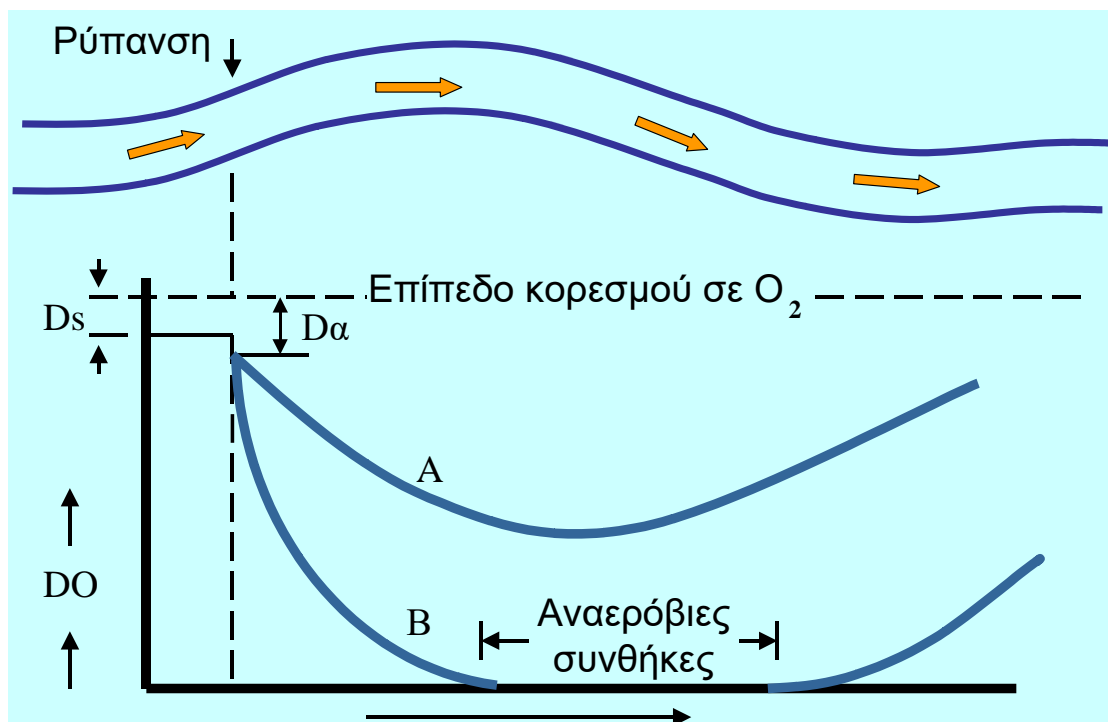
Σχήμα 7. Τυπική κατανομή του οξυγόνου, κατά βάθος, σε oligότροφα (A) και εύτροφα (B) υδάτινα οικοσυστήματα.

Η κατανάλωση αυτή προσδιορίζεται από τις παραμέτρους του Βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου (B.O.D.) και του Χημικά απαιτούμενου οξυγόνου, (C.O.D.). Ως B.O.D.₅ ορίζεται η ποσότητα του οξυγόνου, η οποία απαιτείται από τους μικροοργανισμούς για να οξειδώσουν την οργανική ύλη των αποβλήτων, σε θερμοκρασία 20°C σε απόλυτο σκότος και σε χρονικό διάστημα 5 ημερών. Εκφράζεται σε mg O₂/L αποβλήτου. Ως C.O.D. χαρακτηρίζεται η ποσότητα του οξυγόνου που καταναλώνεται για την οξείδωση των οργανικών ουσιών κάτω από την επίδραση ενός ισχυρού οξειδωτικού. Εκφράζεται επίσης σε mg O₂/L αποβλήτου. Οι τιμές του C.O.D. είναι κατά πολύ

υψηλότερες αυτών του B.O.D.₅, εξαιτίας του ότι το ισχυρό οξειδωτικό μπορεί να οξειδώσει ουσίες τις οποίες δεν μπορούν να οξειδώσουν οι μικροοργανισμοί.

Συγκεντρώσεις διαλυμένου στο νερό οξυγόνου <5 mg O₂/l μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στη λειτουργία και στην επιβίωση των υδρόβιων οργανισμών, ενώ σε συγκεντρώσεις <2 mg O₂/l μπορεί να προκαλέσει το θάνατο στα περισσότερα είδη ψαριών, (Alabaster, J.S. and Lloyd, R., 1980). Παρ' όλα αυτά η επίδραση των χαμηλών συγκεντρώσεων οξυγόνου (υποξία) ή ακόμη και η ακραία κατάσταση της πλήρους έλλειψής του (ανοξία) είναι διαφορετική ανάμεσα στα είδη των ψαριών, στα στάδια ανάπτυξής τους (αυγά, προνύμφες, ενήλικα) και κατά τη διάρκεια των δραστηριοτήτων τους (λήψη τροφής, ανάπτυξη, αναπαραγωγή, κολύμβηση). Τα κυπρινοειδή (*Cyprinus carpio*) φαίνεται να παρουσιάζουν εξαιρετικές αντοχές σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου στο νερό. Σε περιπτώσεις υψηλής οργανικής ρύπανσης, η αποδόμηση των οργανικών ουσιών, μπορεί να οδηγήσει στην εμφάνιση ανοξικών συνθηκών και στην εγκαθίδρυση αναερόβιας αποικοδόμησης τους. Στην περίπτωση αυτή, η μείωση του διαλυτού οξυγόνου στο νερό γίνεται δραματική ενώ ταυτόχρονα παράγονται τα τοξικά αέρια H₂S, CH₄, NH₃.

Στα ρέοντα νερά (ποτάμια) σε περιπτώσεις μέτριας ρύπανσης με οργανική ύλη, ύστερα από την κάμψη της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου επέρχεται η ανάκαμψή του εξαιτίας της ροής του (αραίωση των οργανικών) και κυρίως της οξυγόνωσης των νερών μέσω της διάλυσης ατμοσφαιρικού οξυγόνου, ιδιαίτερα σε ποτάμια οικοσυστήματα που η ροή του νερού διαταράσσεται έντονα (στροβιλισμός, καταρράκτες) λόγω της διαμόρφωσής της κοίτης του. Όπως είναι φυσικό, η δυνατότητα αυτής της ανάκαμψης είναι διαφορετική για κάθε ποτάμιο οικοσύστημα και χαρακτηρίζει την ικανότητα **αυτοκαθαρισμού** των νερών του. Στο σχήμα 8 παρουσιάζεται η επίδραση της οργανικής ρύπανσης στη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου σ' ένα ποτάμιο οικοσύστημα, (Καμαριανός, 2000).



Σχήμα 8. Η επίδραση της οργανικής ρύπανσης στη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου σ' ένα ποτάμιο οικοσύστημα (DO: διαλυμένο οξυγόνο, A: μέτρια ρύπανση, B: Υψηλή ρύπανση).

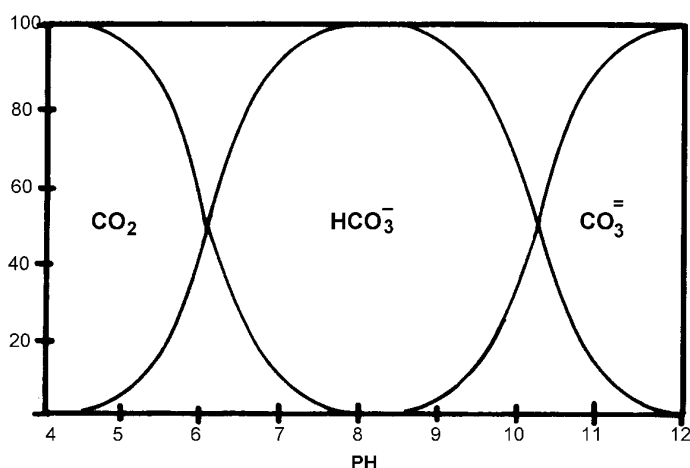
Σύμφωνα λοιπόν με την έννοια «ικανότητα αυτοκαθαρισμού» κάθε υδάτινο οικοσύστημα αποτελεί μία ξεχωριστή περίπτωση ως προς τη χρήση του ως τελικού αποδέκτη λυμάτων. Σε κάθε Νομαρχιακή περιφέρεια της χώρας ορίζονται ξεχωριστά και με ακρίβεια οι συγκεντρώσεις των ρύπων και τα όρια της απόρριψής τους για κάθε υδάτινο οικοσύστημα.

5.2.2 Το pH

Το pH του νερού, κάτω από φυσιολογικές συνθήκες (μη ρύπανσης), ρυθμίζεται κυρίως από τη σχετική αναλογία του ελεύθερου διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) και των όξινων (HCO_3^-) και ανθρακικών ριζών ($\text{CO}_3^{=}$), (Charman D., 1992), δηλαδή την παρουσία ιόντων H^+ . Στο σχήμα 9, παρουσιάζεται η σχέση μεταξύ pH και των σχετικών αναλογιών των ανόργανων μορφών άνθρακα

Το pH του θαλασσινού νερού κυμαίνεται μεταξύ 7,5 – 8,5 και οι τιμές του διατηρούνται περισσότερο σταθερές σε σύγκριση με αυτές των γλυκών νερών. Τα τελευταία επηρεάζονται από την παρουσία όξινων βροχών στην περιοχή καθώς και από τη σύσταση των εδαφών της.

Το pH των υδάτινων οικοσυστημάτων μεταβάλλεται προς το αλκαλικό στις περιπτώσεις που παρατηρείται ευτροφισμός οπότε η έντονη φωτοσυνθετική δραστηριότητα των φυτικών οργανισμών δεσμεύει το διοξείδιο του άνθρακα από το νερό. Αποτέλεσμα της αύξησης του pH του νερού είναι η τοξίκωση των ψαριών από την αμμωνία που αδυνατούν να αποβάλλουν από τα βράγχιά τους, εξαιτίας του αλκαλικού περιβάλλοντος. Το ιδεατό pH για τα περισσότερα ψάρια κυμαίνεται μεταξύ 6,5 – 8,5.



Σχήμα 9. Σχέση μεταξύ pH και των σχετικών αναλογιών των ανόργανων μορφών άνθρακα, (Wetzel, 2001)

Κατά τη διάρκεια έρευνας σε περιοχή του Θερμαϊκού κόλπου και εξ αιτίας της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των φυτοπλακτονικών οργανισμών, οι Κιλικίδης και συν. (1998), κατέγραψαν το pH των νερών στην τιμή 8,5. Αντίστοιχα, οι ίδιοι ερευνητές κατέγραψαν στη λίμνη Πολυφύτου τιμές pH που κυμαίνονταν από 6,3 – 8,6 ανάλογα με την εποχή του χρόνου, με τις υψηλότερες τιμές να καταγράφονται τους καλοκαιρινούς μήνες στην περίοδο της έντονης φωτοσυνθετικής δραστηριότητας (Κιλικίδης και συν., 1989-1992).

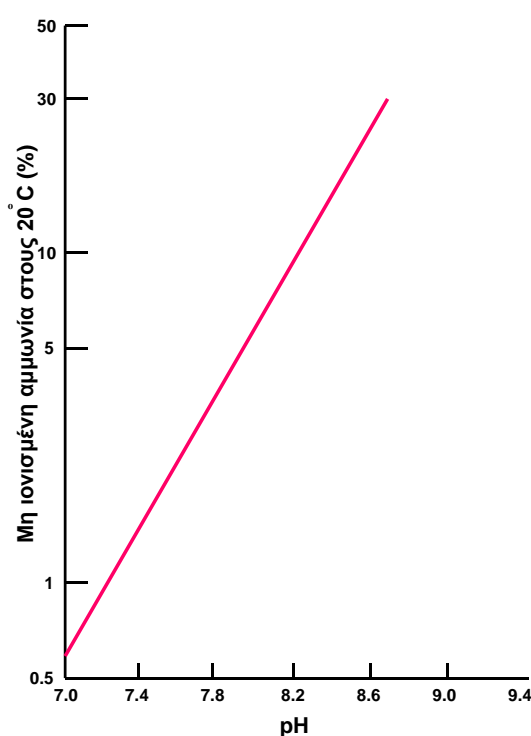
Η μέτρηση του pH πρέπει να γίνεται επιτόπια ή άμεσα μετά τη δειγματοληψία, ηλεκτρομετρικά με τη χρήση pH-μέτρου και ταυτόχρονη θερμομέτρηση του νερού, εξαιτίας της εξάρτησης του pH από τη θερμοκρασία. Η χρήση των χρωματομετρικών ταινιών (sticks) στη μέτρηση του pH δίνει απλώς ενδεικτικά αποτελέσματα.

5.2.3 Τα Θρεπτικά Συστατικά (ενώσεις Αζώτου και Φωσφόρου)

Τα στοιχεία άζωτο και Φώσφορος αποτελούν τα κύρια θρεπτικά συστατικά για τους υδρόβιους φυτικούς οργανισμούς (πρωτογενείς παραγωγοί) προκειμένου να συνθέσουν πρωτεΐνες.

Οι κυριότερες πηγές θρεπτικών στα υδάτινα οικοσυστήματα είναι οι εισροές ποταμών που μεταφέρουν εκπλύματα των γεωργικών καλλιεργειών (λιπάσματα N,P,K), ή κτηνοτροφικών και αστικών λυμάτων (απορρυπαντικά), ακόμη και μετά την επεξεργασία των τελευταίων. Ο κύκλος του φωσφόρου δεν συμπεριλαμβάνει ατμοσφαιρική δεξαμενή, οπότε η επιβάρυνση των υδάτινων οικοσυστημάτων με το στοιχείο αυτό είναι περιορισμένη (μεταφορά αιωρούμενων σωματιδίων) μέσω των βροχοπτώσεων.

Το άζωτο προσλαμβάνεται από τους χερσαίους αλλά και από τους υδρόβιους φυτικούς οργανισμούς με τη μορφή αλάτων. Οι κυριότερες ανόργανες μορφές του αζώτου που χρησιμοποιούνται από τους υδρόβιους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς είναι σε μορφή αλάτων: νιτρικών (NO_3^-), νιτρωδών (NO_2^-) και αμμωνιακών (NH_4^+). Τα κυανοφύκη (κυανοβακτήρια) μπορούν να χρησιμοποιήσουν και ατμοσφαιρικό άζωτο (N_2). Ιδιαίτερη σημασία για την επιβίωση των υδρόβιων ζωικών οργανισμών έχει το ποσοστό του αζώτου με τη μορφή της ελεύθερης (μη ιονισμένης) αμμωνίας (NH_3) που συνυπάρχει με τις άλλες μορφές αζώτου στα υδάτινα οικοσυστήματα. Η αμμωνία αποτελεί προϊόν απέκκρισης του μεταβολισμού των ιχθύων και έχει τοξικές ιδιότητες. Η θανατηφόρος συγκέντρωση της αμμωνίας κυμαίνεται ανά είδος ιχθύος μεταξύ 0,2 - 2,0 mg NH_3/ℓ , (Alabaster, J.S. and Lloyd, R., 1980). Η παρουσία της σε σχέση με την παρουσία αμμωνίας υπό μορφή ιόντος (NH_4^+) εξαρτάται από το pH των νερών. Στο σχήμα 10, δίνεται η σχέση της μη ιονισμένης αμμωνίας σε συνάρτηση με το pH των νερών.



Σχήμα 10. Ποσοστό (%) μη ιονισμένης αμμωνίας (NH_3) ανάλογα με το pH του νερού (Welch and Lindell, 1992).

Αντίστοιχα, ως πηγή φωσφόρου οι υδρόβιοι φυτικοί οργανισμοί χρησιμοποιούν τα ορθοφωσφορικά (P-PO_4) άλατα. Ο φώσφορος αποτελεί, στις περισσότερες περιπτώσεις, τον περιοριστικό παράγοντα της ανάπτυξης των φυτικών υδρόβιων οργανισμών.

Ο φώσφορος όμως είναι στοιχείο αδιάλυτο στο νερό και τα ιόντα του σε συνδυασμό με την παρουσία σιδήρου (Fe), αργιλίου (Al) και ασβεστίου (Ca) σχηματίζουν δυσδιάλυτα άλατα που καθιζάνουν στον πυθμένα των υδάτινων οικοσυστημάτων (ιζηματοποίηση). Από εκεί έχει τη δυνατότητα κάτω από φυσικές ή και χημικές διεργασίες να επανέλθει στη στήλη του νερού δημιουργώντας κατ' αυτόν τον τρόπο «ενδογενή ρύπανση». Μόνο κάτω από αναερόβιες συνθήκες, στον πυθμένα των υδατοσυλλογών ο φώσφορος απελευθερώνεται και εισέρχεται στην υδάτινη μάζα (Ricklefs, 1996).

Η ανάπτυξη των φυτικών οργανισμών εξαρτάται από την αναλογία με την οποία είναι διαθέσιμα τα θρεπτικά συστατικά άζωτο (N)/φώσφορο (P). Η αναλογία αυτή είναι N/P=16/1. Σε κάθε περίπτωση που η αναλογία αυτή διαταράσσεται, η ανάπτυξη των φυτών περιορίζεται και η έλλειψη του στοιχείου που την προκαλεί καθορίζει την έννοια του «περιοριστικού παράγοντα». Η εκτίμηση του περιοριστικού παράγοντα γίνεται είτε με τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων και τη σύγκριση του Ολικού Αζώτου/Ολικού Φωσφόρου, είτε με τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων και τη σύγκριση του αθροίσματος (TIN) των ανόργανων μορφών αζώτου (N-NO₂ + N-NO₃ + N-NH₄) προς τον ανόργανο φώσφορο (P-PO₄). Εξαιτίας τόσο των εισροών όσο και των βιοχημικών δραστηριοτήτων στα υδάτινα οικοσυστήματα η αναλογία N/P διαταράσσεται ακόμη και εποχιακά. Στον πίνακα 4, δίνεται ενδεικτικά ο καθορισμός του περιοριστικού παράγοντα στον Θερμαϊκό κόλπο, εποχιακά. (Κιλικίδης και συν.,1998). Ο ποσοτικός προσδιορισμός των ανόργανων ενώσεων του αζώτου και του φωσφόρου γίνεται με τη χρήση μεθόδων της φασματοφωτομετρίας ή και της ιονικής χρωματογραφίας, ενώ του οργανικού αζώτου με τη μέθοδο Kjeldahl, (ΑΡΗΑ, 2005).

Πίνακας 4. Καθορισμός του περιοριστικού παράγοντα στα νερά του Θερμαϊκού κόλπου (Κιλικίδης και συν.,1998)

	TIN/P-PO ₄	Περιοριστικός παράγοντας
Μάρτιος	15,5	P
Μάιος	12,5	P
Ιούνιος	3,5	N
Ιούλιος	10	N ή P
Αύγουστος	4,5	N
Σεπτέμβριος	9	N ή P
Νοέμβριος	4	N
Δεκέμβριος	4,5	N
Ιανουάριος	25	P
Φεβρουάριος	12	N ή P

Τα χημικά λιπάσματα περιέχουν κυρίως τα τρία βασικά θρεπτικά συστατικά των φυτικών οργανισμών, δηλαδή ανόργανων ενώσεων του αζώτου (NO₃), του φωσφόρου (P₂O₅) και του καλίου (K). Τα ζωικά απόβλητα (κοπριά) χρησιμοποιούνται ως λιπάσματα στη γεωργία εξαιτίας της μεγάλης περιεκτικότητάς τους στα στοιχεία αυτά. Η εφαρμογή λοιπόν χημικών λιπασμάτων ή ζωικών αποβλήτων στις γεωργικές καλλιέργειες, σε βαθμό που να υπερκαλύπτει τις ανάγκες των φυτών σε θρεπτικές ουσίες, μπορεί να προκαλέσει ρύπανση των επιφανειακών και υπόγειων νερών. Η ρύπανση αυτή προκαλείται από την έκπλυση των καλλιεργούμενων εδαφών από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα και τη μεταφορά των θρεπτικών για τα φυτά ουσιών στα επιφανειακά ή και τα υπόγεια νερά. Ταυτόχρονα, τα αστικά λύματα περιέχουν μεγάλες ποσότητες φωσφόρου εξαιτίας της

χρήσης του στα απορρυπαντικά ως αποσκληρυντικού, (Kilikidis et al., 1994b). Ποσότητες φωσφορικών και νιτρικών αλάτων μεταφέρονται μέσω των επιφανειακών απορροών και προκαλούν ευτροφισμό σε λίμνες, ποτάμια, εκβολές ποταμών και παράκτιες περιοχές. Ο **ευτροφισμός** είναι η κατάσταση που περιέρχονται τα υδάτινα οικοσυστήματα, εξαιτίας της μεγάλης προσαγωγής θρεπτικών, για τους υδρόβιους φυτικούς οργανισμούς, συστατικών. Το φαινόμενο του ευτροφισμού εκδηλώνεται με τη ανάπτυξη τόσο των φυτοπλαγκτονικών οργανισμών όσο και των υδρόβιων φυτών (φύκη, καλάμια, νούφαρα κ.α.). Με την έννοια του «ιστορικού χρόνου» τα υδάτινα οικοσυστήματα μεταπίπτουν από ολιγότροφα σε εύτροφα ή και υπερέτροφα με τη φυσική εξέλιξη των υδάτινων οικοσυστημάτων ως τελικών αποδεκτών των εκπλυμάτων της επιφάνειας του πλανήτη. Εξαιτίας όμως των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων στον γεωργικό, αστικό και βιομηχανικό τομέα η μετάβαση των υδάτινων οικοσυστημάτων από την αρχικά ολιγότροφη κατάσταση στη μεσότροφη και αργότερα στην εύτροφη ή και στην υπερέτροφη μπορεί να γίνει μέσα σε λίγες δεκαετίες («ανθρώπινος χρόνος»).

Σε ότι αφορά στις υδατοκαλλιέργειες η εκδήλωση ευτροφισμού στα υδάτινα οικοσυστήματα έχει θετικές και αρνητικές επιπτώσεις. Οι θετικές επιπτώσεις, συνίστανται στο ότι η ανάπτυξη φυτοπλαγκτονικών οργανισμών δίνει είτε άμεσα τροφή στους υδρόβιους οργανισμούς είτε έμμεσα εξαιτίας της ταυτόχρονης ανάπτυξης όλων των οργανισμών (ζωοπλαγκτόν, βενθικοί οργανισμοί) της υδάτινης τροφικής αλυσίδας. Επιπλέον η ανάπτυξη των υδρόβιων φυτικών οργανισμών (φυτοπλαγκτόν, υδρόβια φυτά) εμπλουτίζει το νερό, μέσω της φωτοσυνθετικής τους δραστηριότητας, με οξυγόνο. Στη μεσότροφη κατάσταση, τα υδάτινα οικοσυστήματα χαρακτηρίζονται από την αύξηση της συνολικής παραγωγικότητάς τους και την ποικιλομορφία των ειδών που διαβιούν σε αυτά. Αυτό, δίνει τη δυνατότητα της φυσικής παρουσίας αλλά και της υδατοκαλλιέργειας μεγαλύτερου αριθμού «επιθυμητών» υδρόβιων οργανισμών. Αντίθετα στις εύτροφες και πολύ περισσότερο στις υπερέτροφες καταστάσεις στα υδάτινα οικοσυστήματα, παρατηρείται, μετά από την αρχική εκρηκτική ανάπτυξη, σταδιακή μείωση της παραγωγικότητας, μείωση της ποικιλομορφίας των ειδών που διαβιούν σε αυτά, αλλοίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού με επικράτηση αντιξοών για την επιβίωση των υδρόβιων οργανισμών και τέλος τη μείωση του αριθμού των ειδών των «επιθυμητών» για υδατοκαλλιέργεια υδρόβιων οργανισμών.

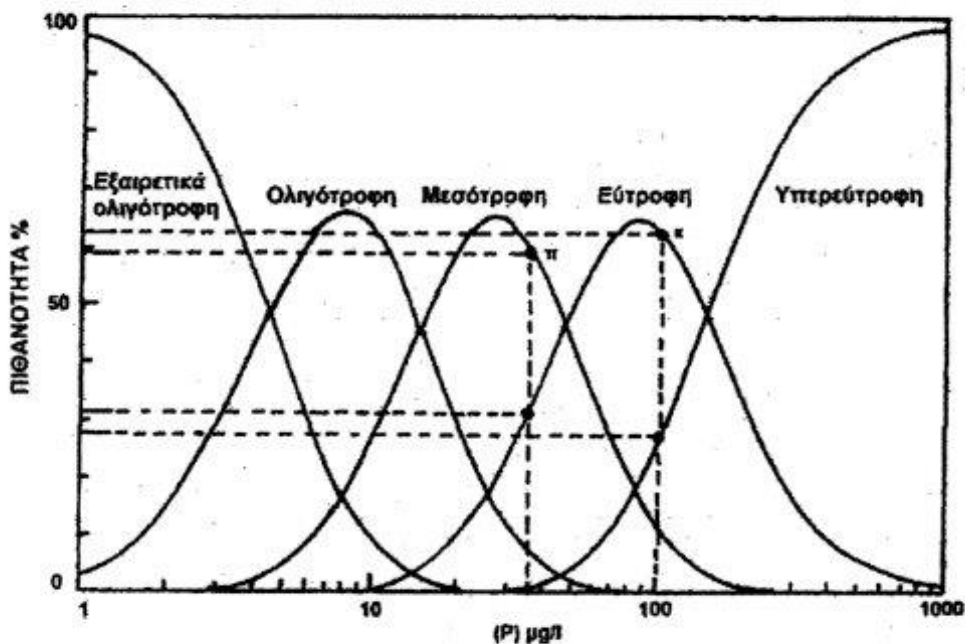
Στις άμεσες αρνητικές συνέπειες του φαινομένου αυτού στα υδάτινα οικοσυστήματα συμπεριλαμβάνονται: η υπερβολική αύξηση της βιομάζας των φυτικών, κυρίως, οργανισμών (*άνθηση του νερού*), το μεγαλύτερο μέρος της οποίας καθιζάνει στα ιζήματα του πυθμένα, όπου και αποδομείται καταναλώνοντας οξυγόνο καθώς και η αποτροπή της διείσδυσης της ηλιακής ακτινοβολίας στη στήλη του νερού και στην αποτροπή της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας, ακόμη και σε μερικά εκατοστά της στήλης, κάτω από την επιφάνεια. Η εξάντληση του διαλυμένου οξυγόνου μειώνει τους ρυθμούς ανάπτυξης των ψαριών και σε ακραίες αλλά όχι σπάνιες περιπτώσεις οδηγεί στο θάνατό τους. Σε υπερέτροφες καταστάσεις παρατηρούνται ακόμη και ομαδικοί θάνατοι ψαριών, εξαιτίας της παντελούς σχεδόν έλλειψης οξυγόνου (Κιλικίδης, 1997). Επιπλέον, λόγω των αναερόβιων συνθηκών που επικρατούν, παράγονται τοξικά αέρια, όπως το μεθάνιο, η αμμωνία και το υδρόθειο, που είναι εξαιρετικά επικίνδυνα για τους υδρόβιους οργανισμούς (Καμαριανός, 2000).

Ένα επιπρόσθετο σύμπτωμα της εμφάνισης του ευτροφισμού στα γλυκά νερά είναι η υπέρμετρη ανάπτυξη κυανοφυκών, ορισμένα από τα οποία ελευθερώνουν υδατοδιαλυτές νεύρο- και ηπατοτοξίνες, που μπορούν να προκαλέσουν ακόμα και το θάνατο στους οργανισμούς που τις καταναλώνουν (Lawton και Codd, 1991, Martin και Cooke, 1994). Αντίστοιχα, σε λίμνες της Ελληνικής επικράτειας όπως στις λ. Καστοριάς, λ. Βόλβη, λ. Αγ. Βασιλείου (λ. Κορώνεια) και λ.

Βισθωνίδα (λ. Πόρτο Λάγος), εντοπίστηκαν κυανοφύκη που απελευθερώνουν ηπατοτοξίνες, (Lanaras et al., 1989).

Εξάλλου, φαινόμενα ευτροφισμού είναι δυνατό να εμφανιστούν και στα παράκτια θαλάσσια νερά, λόγω της εισροής μεγάλων ποσοτήτων οργανικών αποβλήτων και θρεπτικών υλικών, με αποτέλεσμα την υπερανάπτυξη διαφόρων ειδών φυκών (ερυθρά ή καφέ παλίρροια). Οι αρνητικές επιπτώσεις στις υδατοκαλλιέργειες των παράκτιων οικοσυστημάτων οφείλονται όχι μόνο στα ασφυκτικά φαινόμενα λόγω της κατανάλωσης του οξυγόνου κατά την αποσύνθεση των νεκρών φυκών αλλά και στις βιοτοξίνες που ορισμένα από αυτά τα είδη παράγουν και οι οποίες είναι ιδιαίτερα βλαβερές για όλους τους οργανισμούς, συμπεριλαμβανομένου και του ανθρώπου (Carpenter και συν., 1998, Cetinkaya and Mus 2012). Τον Ιανουάριο του 2000, παρουσιάστηκε διαρροϊκή δηλητηρίαση από κατανάλωση οστρακοειδών του Θερμαϊκού κόλπου, (Οικονόμου και συν., 2004). Η δηλητηρίαση οφειλόταν στην παρουσία τοξινών DSP (Diarrhetic shellfish poisoning) εξαιτίας της ανάπτυξης θαλάσσιων δινομαστιγωτών (*Dinophysis spp.*). Το φαινόμενο επαναλήφθηκε το 2001 τόσο στον Θερμαϊκό όσο και στον Αμβρακικό κόλπο, οι οποίοι έκτοτε ελέγχονται ώστε να απαγορεύεται η αλιεία οστρακοειδών κατά τις περιόδους εμφάνισης της κόκκινης παλίρροιας.

Η τροφική κατάσταση των νερών των υδάτινων οικοσυστημάτων σε πολλές περιπτώσεις δεν είναι εύκολα προσδιορίσιμη. Έχουν αναπτυχθεί πολλά μαθηματικά υποδείγματα (μοντέλα) με τη χρήση των οποίων μπορεί να γίνει προσδιορισμός της τροφικής κατάστασης των υδάτινων οικοσυστημάτων με βασικό μοντέλο αυτό του OECD (1982). Το μοντέλο στηρίζεται στην εκτίμηση των τιμών α) της μέσης ετήσιας συγκέντρωσης του ολικού φωσφόρου, β) της μέσης ετήσιας συγκέντρωσης της χλωροφύλλης-α, γ) της μέγιστης ετήσιας συγκέντρωσης της χλωροφύλλης-α, δ) της μέσης ετήσιας διαφάνειας του νερού, σύμφωνα με τον δίσκο Secchi και ε) της ελάχιστης ετήσιας διαφάνειας του νερού, σύμφωνα με τον δίσκο Secchi, προκειμένου να γίνει εκτίμηση της τροφικής κατάστασης των λιμνών.



Σχήμα 11. κατανομή των πιθανοτήτων για τον χαρακτηρισμό της τροφικής κατάστασης των λιμνών Κερκίνης (Κ) και Πολυφύτου (Π) σε σχέση με την ετήσια συγκέντρωση του ολικού φωσφόρου (mg P/l) σύμφωνα με τον OECD (1982), (Καμαριανός και συν., 1989).

Αργότερα, χρησιμοποιήθηκε με την προσθήκη και άλλων παραμέτρων (π.χ. διαλυμένου οξυγόνου) για την εκτίμηση της τροφικής κατάστασης σε θαλάσσιες περιοχές (Jones-Lee Anne, 2009). Οι Καμαριανός και συν., (1989) εφάρμοσαν το μαθηματικό υπόδειγμα του OECD για την εκτίμηση της τροφικής κατάστασης της λίμνης Πολυφύτου και της λίμνης Κερκίνης. Στο σχήμα 11, παρουσιάζεται η κατανομή των πιθανοτήτων για τον χαρακτηρισμό της τροφικής κατάστασης των λιμνών Κερκίνης (Κ) και Πολυφύτου (Π) σε σχέση με την ετήσια συγκέντρωση του ολικού φωσφόρου σύμφωνα με τον OECD (1982).

Σύμφωνα με την παραπάνω κατανομή πιθανοτήτων η λίμνη Κερκίνη κατατάσσεται κατά 63% ως εύτροφη, κατά 28% ως υπερέυτροφη και κατά 9% ως μεσότροφη. Αντίστοιχα η λίμνη Πολυφύτου κατατάσσεται κατά 32% ως εύτροφη, κατά 60% ως μεσότροφη και κατά 8% ως ολιγότροφη.

5.2.4 Τα βαριά μέταλλα.

Η κυριότερη πηγή ρύπανσης της υδρόσφαιρας με βαριά μέταλλα είναι τα απόβλητα των βιομηχανιών. Επιπλέον, πηγές ρύπανσης των υδάτινων οικοσυστημάτων με βαριά μέταλλα είναι τα αστικά λύματα, τα κατάλοιπα από τα καύσιμα και τα ελαστικά των οχημάτων και οι γεωργικές καλλιέργειες μέσω της έκπλυσης των λιπασμάτων και των φυτοφαρμάκων που περιέχουν μεταλλικά ιχνοστοιχεία. Η διάβρωση του εδάφους είναι ένας ακόμα παράγοντας που συντελεί στη ρύπανση των νερών με βαριά μέταλλα, όπως επίσης και τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα.

Τα ίδια τα μεταλλικά στοιχεία δεν είναι ιδιαίτερα τοξικά για τους υδρόβιους οργανισμούς, η τοξικότητα όμως των αλάτων τους μπορεί να είναι πάρα πολύ μεγάλη. Η μείωση του διαλυμένου οξυγόνου στα νερά αυξάνει την τοξικότητα των αλάτων των μετάλλων, ενώ αντίθετα η τοξικότητά τους μεταβάλλεται ανάλογα με τη σκληρότητα των νερών, (EPA, 2004). Τα κυριότερα μέταλλα που συνδέονται με τοξικώσεις των ψαριών είναι: ο υδράργυρος, το κάδμιο, ο ψευδάργυρος, το χρώμιο, ο μόλυβδος, το σελήνιο, ο χαλκός και το αρσενικό. Η τοξικότητα των μετάλλων, αυξάνεται σε περιπτώσεις συνέργειας τους, όπως για παράδειγμα του Cd ή του Zn παρουσία Cu, (Φώτης, 1999). Ιδιαίτερα τοξικός είναι ο υδράργυρος στη μεθυλιωμένη του μορφή.

Πίνακας 5. Τα ανώτατα όρια για τη μέγιστη (max) και τη συνεχή συγκέντρωση μετάλλων σε γλυκά και αλμυρά νερά.

Μέταλλο	Γλυκά νερά		Αλμυρά νερά	
	Μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση (μg/l)	Διαρκής επιτρεπόμενη συγκέντρωση (μg/l)	Μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση (μg/l)	Διαρκής επιτρεπόμενη συγκέντρωση (μg/l)
Αρσενικό	340	150	69	36
Κάδμιο	2	0,25	40	8,8
Χρώμιο (VI)	16	11	1100	50
Χαλκός	13	9	4,8	3,1
Μόλυβδος	65	2,5	210	8,1
Υδράργυρος	1,4	0,77	1,8	0,94
Σελήνιο	-	5	290	71
Ψευδάργυρος	120	120	90	81

Προσαρμοσμένος πίνακας από (EPA, 2004).

Στον πίνακα 5, δίνονται οι ανώτατες συγκεντρώσεις των κυριότερων μετάλλων, οι οποίες χρησιμοποιούνται ως όρια ασφαλείας για την ποιότητα των γλυκών και αλμυρών νερών σε σχέση με την μέγιστη (max) και τη συνεχή παρουσία τους, σύμφωνα με την Υπηρεσία για την Ποιότητα του Περιβάλλοντος των Η.Π.Α., (EPA, 2004).

Η μακροσκοπική εικόνα της τοξίκωσης των ψαριών από μέταλλα είναι κατά τον Φώτη (1993), η εκδήλωση ανησυχίας, η αύξηση του αναπνευστικού ρυθμού, η υπερέκκριση βλέννας, η εξασθένηση (που εκδηλώνεται με την πλάγια θέση του σώματος), και τέλος η ασφυξία.

Ο ποσοτικός προσδιορισμός των μετάλλων στο νερό, στα ιζήματα και στη σάρκα των υδρόβιων οργανισμών γίνεται κυρίως με τη χρήση μεθόδων της φασματοφωτομετρίας ατομικής απορρόφησης, (Atomic Absorption Spectroscopy, AAS), (APHA, 2005).

5.2.5 Οι οργανικοί χημικοί ρύποι.

Τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs) αποτελούν ομάδα ανθεκτικών χλωριωμένων υδρογονανθράκων που έχουν την ιδιότητα να συγκεντρώνονται τόσο στο αβιοτικό περιβάλλον όσο και στους οργανισμούς. Τα PCBs δεν υφίστανται φυσικά, αλλά παράγονται τεχνητά και χρησιμοποιούνται, εξαιτίας της ιδιότητάς τους ως μη εύφλεκτα υλικά, στην ήλεκτρο-βιομηχανία για την κατασκευή πυκνωτών και μετασχηματιστών. Επίσης χρησιμοποιούνται στα λιπαντικά λάδια, στα υδραυλικά συστήματα, στα πλαστικά, στα παρασιτοκτόνα, στα χρώματα και στα μελάνια καθώς επίσης και στα στεγανοποιητικά υλικά. Τα PCBs είναι χημικά σταθερά και ανθεκτικά στη θέρμανση και στην υδρόλυση. Στα υδάτινα οικοσυστήματα προσροφούνται από τα αιωρούμενα στερεά και καθιζάνουν με αυτά. Είναι λιποδιαλυτές ενώσεις και ως τέτοιες βιοσυγκεντρώνονται στους υδρόβιους οργανισμούς και βιομεγθενώνονται στην τροφική τους αλυσίδα. Εξαιτίας της λιποδιαλυτότητάς τους, η οξεία τοξική τους δράση είναι χαμηλή, οπότε απασχολούν περισσότερο με τη χρόνια τοξική τους επίδραση. Σε ότι αφορά στους υδρόβιους οργανισμούς, σε χαμηλές συγκεντρώσεις (0,1 ppb), προκαλούν παρεμπόδιση της ανάπτυξης φυτο-πλαγκτονικών οργανισμών (*διάτομα*), ενώ τα καρκινοειδή είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα, (LC₅₀= 0,94 ppb Arochlor 1254, σε 14 ημέρες). Σε ότι αφορά στον άνθρωπο, στα PCBs αποδίδονται καρκινογόνες ιδιότητες όπως η εμφάνιση κακοήθους μελανώματος και καρκίνου του παγκρέατος, (IRPTC, 1978) καθώς επίσης τερατογενέσεις, προβλήματα του ανοσοποιητικού και του αναπαραγωγικού συστήματος, (Nakata et al., 2002). Σε έρευνά τους στα νερά του ποταμού Στρυμόνα, οι Litskas et al., (2012) διαπίστωσαν την παρουσία PCBs σε χαμηλές μεν συγκεντρώσεις (<162 ng/ l) αλλά εμφανώς αυξημένες κατά την περίοδο των έντονων βροχοπτώσεων και της έκπλυσης της λεκάνης απορροής στο υδάτινο οικοσύστημα του π. Στρυμόνα. Αυτά τα αποτελέσματα ανατρέπουν παλαιότερη έρευνα στην περιοχή, στη διάρκεια της οποίας δεν ανιχνεύτηκαν PCBs, (Kilikidis et al., 1992b). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η επεξεργασία των οστρακοειδών με όζον προκειμένου να μειωθεί το μικροβιακό τους φορτίο, ουδεμία επίπτωση έχει στις συγκεντρώσεις των PCBs, (Κιλικίδης και συν., 1987).

Αντίστοιχα, οι Dosis et al., (2011 και 2016) διαπίστωσαν την παρουσία πολυβρωμιωμένων διφαινυλίων (PBDs) στα νερά, στα ιζήματα και στα μύδια του Θερμαϊκού κόλπου.

Οι οργανοφωσφορικές ενώσεις χρησιμοποιούνται ευρέως για την καταπολέμηση των παρασίτων στις γεωργικές καλλιέργειες, των μυγών και των κουνουπιών, πιθανότατα γιατί αποδομούνται στις υψηλές θερμοκρασίες και σε αυξημένο αλκαλικό περιβάλλον. Είναι συνθετικά προϊόντα, με νευροτοξικές για τους οργανισμούς ιδιότητες. Οι οργανοφωσφορικές ενώσεις χρησιμοποιήθηκαν στην καταπολέμηση των κουνουπιών με αεροψεκασμούς στο Νομό Θεσσαλονίκης, χωρίς ωστόσο να διαπιστωθούν κατάλοιπα τους στην παραγωγή ρυζιού της περιοχής, (Καραμανλής και συν., 2007).

Οι οργανικές ενώσεις του κασσίτερου (*organotins*) χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία των πλαστικών (σταθεροποίηση των πολυβινυλοχλωριδίων, PVC), των χρωμάτων και ως βιοκτόνα για την αποτροπή των βιολογικών αποθέσεων στα ύφαλα των πλοίων και των εγκαταστάσεων των ιχθυοκαλλιεργειών που βρίσκονται σε επαφή με το νερό (δίχτυα, πλωτήρες, εξέδρες). Η χρήση των ενώσεων κασσίτερου έχει απαγορευτεί ή περιοριστεί στους χώρους των ιχθυοκαλλιεργειών, εξαιτίας της υψηλής τοξικότητάς τους.

Το πετρέλαιο και τα προϊόντα του είναι υδρογονάνθρακες και αποτελούν σημαντικό ρύπο των υδάτινων οικοσυστημάτων. Η κύρια πηγή ρύπανσης είναι τα ναυτικά ατυχήματα, ο καθαρισμός των δεξαμενόπλοιων, οι πλωτές εξέδρες εξόρυξης πετρελαίου και τα αστικά λύματα. Οι επιπτώσεις από τη ρύπανση με πετρέλαιο ή τα προϊόντα του στους υδρόβιους οργανισμούς μπορεί να είναι άμεσες (σε περιπτώσεις εκτεταμένης ρύπανσης) ή και έμμεσες με την έννοια της χρόνιας τοξίκωσης. Οι χρόνιες επιπτώσεις αφορούν προβλήματα που εκδηλώνονται στον μεταβολισμό, στην αναπαραγωγή και στην ανάπτυξη των υδρόβιων οργανισμών ενώ οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAH) θεωρούνται υπεύθυνοι για καρκινογόνο και μεταλλαξιογόνο δράση, (*Καμαριανός, 2000*).

Οι οργανικοί χημικοί ρύποι προσδιορίζονται ποιοτικά και ποσοτικά με τις μεθόδους της αέριας χρωματογραφίας και της υγρής χρωματογραφίας υψηλής πίεσης. Οι σύγχρονοι χρωματογράφοι μάζας πετυχαίνουν πολύ χαμηλά όρια ανίχνευσής τους, (*Kilikidis et al., 1994*).

A.5.3 ΟΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

Στις βιολογικές παραμέτρους που χαρακτηρίζουν τα υδάτινα οικοσυστήματα συμπεριλαμβάνονται όλοι οι φυτικοί και ζωικοί οργανισμοί που διαβιούν σε αυτά. Η αφθονία τους, η ποικιλότητά τους και οι μεταξύ τους σχέσεις καθορίζουν την εύρυθμη λειτουργία των οικοσυστημάτων. Οι υδατοκαλλιέργειες αποτελούν ανθρώπινη παρέμβαση (εισροή) στα υδάτινα οικοσυστήματα και πολλές φορές διαταράσσουν σε μεγάλο βαθμό την οικολογική τους ισορροπία. Η διαταραχή της οικολογικής ισορροπίας συνίσταται στην αλλαγή της ποιότητας των νερών και του ιζήματος, στη μετάδοση ασθενειών στους αυτόχθονες πληθυσμούς και τέλος στην εισαγωγή μη γηγενών ειδών στο οικοσύστημα. Ταυτόχρονα όμως και οι υδατοκαλλιέργειες δέχονται την επίδραση της παρουσίας των αυτόχθονων φυτικών και ζωικών πληθυσμών, που σε κάποιες περιπτώσεις είναι θετικές (διαθέσιμη δωρεάν τροφή) και σε άλλες περιπτώσεις είναι αρνητικές (κόκκινη παλίρροια, αρπαγή).

5.3.1 Πλαγκτονικοί και βενθικοί οργανισμοί.

Στις βιολογικές παραμέτρους που καθορίζουν τη δυνατότητα της υδατοκαλλιεργητικής δραστηριότητας στα υδάτινα οικοσυστήματα περιλαμβάνεται η φυσική ανάπτυξη των φυτοπλαγκτονικών, των ζωοπλαγκτονικών και των βενθικών οργανισμών, όπως επίσης ο αριθμός και τα είδη των ζωικών υδρόβιων οργανισμών που φυσικά διαβιούν στο οικοσύστημα. Η παρουσία τους, τόσο αριθμητικά όσο και από πλευράς ποικιλομορφίας, αποτελεί δείκτη της υγείας και της καλής ποιότητας του υδάτινου οικοσυστήματος. Εξάλλου, η διαθεσιμότητα φυσικής τροφής αποτελεί όφελος για τις υδατοκαλλιέργειες και σε πολλές περιπτώσεις (εκτροφή σε φυσικές λεκάνες) αυτή ενισχύεται με λιπάνσεις. Σε ορισμένα δε αρχικά στάδια της ζωής των ψαριών σε ιχθυοκαλλιέργειες, αυτά διατρέφονται με φυτοπλαγκτονικούς και ζωοπλαγκτονικούς (ναύπλιοι *artemia salina*) που καλλιεργούνται στους υποστηρικτικούς χώρους της μονάδας. Οι δειγματοληψίες για τον ποσοτικό και ποιοτικό προσδιορισμό των φυτο- και ζωο- πλαγκτονικών οργανισμών στα υδάτινα οικοσυστήματα γίνεται με αντλίες ή συνηθέστερα με κωνικής μορφής δίχτυα και με κάθετες ή οριζόντιες σύρσεις, (Βερροϊόπουλος, 2014). Τα δίχτυα έχουν διαμέτρημα 35 μικρά (μ) για το φυτοπλαγκτόν και 106 μικρά (μ) για το ζωοπλαγκτόν.

Η ιζηματοποίηση των ρύπων επιδρά άμεσα στην διαβίωση των βενθικών οργανισμών στα υδάτινα οικοσυστήματα. Η παρουσία και η αφθονία των βενθικών οργανισμών αποτελούν κριτήριο για την ποιοτική κατάταξη των υδάτινων οικοσυστημάτων και ιδιαίτερα των ποταμών, (Γιαννάκου, 2000). Η δειγματοληψία για την ποιοτική σύσταση των ιζημάτων και τον ποιοτικό και ποσοτικό έλεγχο των βενθικών οργανισμών γίνεται με τη χρήση ειδικών μεταλλικών δειγματοληπτών που ανάλογα με το βάθος της δειγματοληψίας του ιζήματος χαρακτηρίζονται ως επιφανειακού δείγματος (10-15 cm), αδιατάρακτου δείγματος (20-30 cm), πυρηνολήπτες (μήκος 8-10 m και διαμέτρου 4-15 cm), κ.α..

5.3.2 Η αρπαγή (predation).

Η λειτουργία υδατοκαλλιεργητικών μονάδων προκαλεί τη συγκέντρωση άγριας πανίδας στην ευρύτερη περιοχή. Τα είδη της άγριας πανίδας που συγκεντρώνονται στους χώρους των ιχθυοκαλλιεργειών μπορεί να είναι ψάρια, πτηνά, θηλαστικά ή και ερπετά που στόχο έχουν τη διατροφή τους είτε με τα υπολείμματα των ιχθυοτροφών είτε με τους οργανισμούς που καλλιεργούνται, (Tucker and Hargreaves, 2008). Τα προβλήματα που δημιουργούνται από την παρουσία αυτών των θηρευτών είτε άμεσα και έμμεσα. Άμεσα προβλήματα είναι η καταστροφή των εγκαταστάσεων (δικτύων) με αποτέλεσμα την απελευθέρωση των οργανισμών που εκτρέφονται στο

φυσικό περιβάλλον ή η απώλεια μεγάλου αριθμού τους, ως τροφή των θηρευτών, χωρίς αυτό να συνεπάγεται κατ' ανάγκη και καταστροφή των εγκαταστάσεων. Οι έμμεσες επιπτώσεις αφορούν:

- στην ανάπτυξη *stress* στα εκτρεφόμενα ψάρια, από την παρουσία των θηρευτών, με αποτέλεσμα τη μείωση της μετατρεψιμότητας της τροφής τους και την απώλεια βάρους,
- στη μετάδοση ασθενειών και παρασιτώσεων μεταξύ των εκτρεφόμενων και των ελεύθερων οργανισμών,
- στη φυσική πλέον, μετά τη διαφυγή τους, παρουσία στο οικοσύστημα των καλλιεργούμενων ειδών (πολλές φορές μη γηγενών) ή των διασταυρώσεών τους με την άγρια πανίδα.
- στους κινδύνους, που ανάλογα με το είδος του θηρευτή παρουσιάζονται, για τον ανθρώπινο εργατικό προσωπικό.

Τα μέτρα που λαμβάνονται για την προστασία των υδατοκαλλιεργειών από τους θηρευτές ποικίλουν ανάλογα με τον χώρο που δραστηριοποιείται η υδατοκαλλιέργεια και το σύστημα εκτροφής που εφαρμόζεται. Σε πολλές περιπτώσεις οι θηρευτές είναι προστατευόμενα είδη και η θανάτωσή τους είτε άμεσα είτε έμμεσα (παγίδευση) αντικρούει αφενός σε υφιστάμενες νομοθεσίες και αφετέρου στις απόψεις της κοινής γνώμης. Έτσι τα μέτρα για τις πλωτές ιχθυοκαλλιέργειες μπορούν να περιλάβουν:

- ✓ κατ' αρχή, τη μελέτη της οικολογίας και της συμπεριφοράς των θηρευτών που ενδημούν στην περιοχή της ιχθυοκαλλιέργειας,
- ✓ την κάλυψη της επιφάνειας των κλωβών με δίχτυα, προς αποτροπή των ιχθυοφάγων πτηνών (γλάροι, κορμοράνοι κ.α.),
- ✓ τη χρήση ηχητικών ή φωτιστικών συσκευών για την απομάκρυνση των θηρευτών,
- ✓ τη συλλογή των νεκρών ψαριών και την απομάκρυνσή τους από τον χώρο της εκτροφής,
- ✓ την ορθολογική χρήση της ιχθυοτροφής,
- ✓ την περιμετρική κάλυψη της μονάδας με ισχυρά δίχτυα προστασίας, ενάντια σε είδη όπως φώκιες, καρχαρίες, ενυδρίδες κ.α.,
- ✓ την περιμετρική κάλυψη των διαδρόμων εργασίας πάνω στους κλωβούς με προστατευτικό δίχτυ για τους εργαζόμενους,

Αντίστοιχα, για τις υδατοκαλλιεργητικές εγκαταστάσεις σε υπαίθριες λεκάνες ή δεξαμενές, τα μέτρα προστασίας τους από τους θηρευτές περιλαμβάνουν:

- ✓ τη δημιουργία φράχτη περιμετρικά της εκτροφής. Ο φράχτης αυτός πρέπει να βυθίζεται στο έδαφος και στη συνέχεια να εκτείνεται υπόγεια προς το εξωτερικό του οικοπέδου ώστε να μη δίνεται η δυνατότητα της εισόδου ζώων δια της εκσκαφής,
- ✓ τη χρήση ηχητικών ή φωτιστικών συσκευών για την απομάκρυνση των θηρευτών,
- ✓ την κάλυψη της επιφάνειας των λεκανών με δίχτυα, προς αποτροπή των ιχθυοφάγων πτηνών (γλάροι, κορμοράνοι κ.α.), όπου αυτό είναι εφικτό. Συνήθως, οι πολύ μεγάλες επιφάνειες των λεκανών εκτροφής δεν ενδείκνυνται για κάλυψη.
- ✓ πρόληψη της εισόδου ενδημικών ψαριών ή άλλων θηρευτών μέσω των σωληνώσεων ή των καναλιών εισροής ή και εκροής των νερών της μονάδας.

5.3.3 Περιβαλλοντικά νοσήματα

Οι υδατοκαλλιέργειες στοχεύουν στη συστηματική παραγωγή υδρόβιων οργανισμών στο φυσικό ή τεχνητό υδάτινο περιβάλλον. Η συγκέντρωση όμως μεγάλου αριθμού οργανισμών στα περιορισμένα όρια των εκτροφών και οι μεταβολές της ποιότητας των νερών, κάτω από την επίδραση της λειτουργίας της ίδιας της καλλιέργειας, αναπτύσσουν νοσήματα που χαρακτηρίζονται ως «περιβαλλοντικά». Επιπλέον νοσήματα τα οποία εμφανίζονται στα καλλιεργούμενα είδη

μεταφέρονται μέσω των αποβλήτων τους και του νερού και στα ενδημικά ελεύθερα ψάρια. Από τα κυρίαρχα προβλήματα των εκτροφών σολομού και λαβρακιού είναι η ανάπτυξη του παρασίτου της θαλάσσιας ψείρας (sea louse) η οποία μεταφέρεται στους ελεύθερους πληθυσμούς. Η χρήση φαρμακευτικών σκευασμάτων στις εκτροφές, τα οποία χορηγούνται είτε με την τροφή είτε με τη χρήση σάκων θεραπείας, φαίνεται να αναπτύσσουν την αντοχή των μικροβίων απέναντι στη δραστική ουσία του φαρμάκου και σε πολλές περιπτώσεις είναι ιδιαίτερα τοξικές για την υδρόβια χλωρίδα και πανίδα. Οι σύγχρονες πρακτικές δοκιμάζουν την εφαρμογή των θεραπειών σε δεξαμενές, μέσα σε πλοία τα οποία προσεγγίζουν τις πλωτές ιχθυοκαλλιέργειες και μετά τη θεραπεία απομακρύνονται μεταφέροντας για επεξεργασία τα επιβαρυμένα με τη δραστική ουσία νερά καθώς και τον ανάλογο πληθυσμό των ψειρών.

Τέλος η μεταφορά γόνου μη ενδημικών ειδών είτε για την χρήση του σε ιχθυοκαλλιέργειες είτε για την τόνωση του ιχθυοπληθυσμού των φυσικών υδάτινων οικοσυστημάτων, οδηγεί στη μετάδοση ασθενειών μεταξύ των οικοσυστημάτων. Ο *Φώτης (1993)* απέδωσε την εμφάνιση ασθενειών, όπως η νέκρωση των βραγχίων σε σολομοειδή και κυπρινοειδή, ο ύδρωπας του λεκιθικού σάκου στην πέστροφα και στο σολομό, η νόσος των φυσαλίδων των σολομοειδών και η νόσος των οξέων και αλκαλίων στον κυπρίνο, το γληνί, την πέστροφα και το περκί σε καθαρά δυσμενείς περιβαλλοντικούς παράγοντες. Σε πολλές περιπτώσεις οι περιβαλλοντικοί παράγοντες αποτελούν την προδιαθέτουσα αιτία για την εμφάνιση νόσου, όπως χαρακτηριστικά αναφέρουν οι *Φώτης και συν., (1994)*, για την ερυθροδερματίτιδα του κυπρίνου.

B. Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Οι υδατοκαλλιέργειες ως παραγωγική διαδικασία στοχεύουν στην μαζική παραγωγή τροφής είτε κυρίως για τον άνθρωπο είτε και για την κάλυψη των αναγκών διατροφής άλλων ειδών καλλιεργούμενων υδρόβιων ή χερσαίων ζωικών οργανισμών, (Huntington and Hasan, 2009). Όπως έχει ήδη αναφερθεί, όλες οι υδατοκαλλιέργειες αποτελούν ανοικτά υποσυστήματα, που λειτουργούν στα πλαίσια, του ευρύτερου υδάτινου οικοσυστήματος μέσα στο οποίο δραστηριοποιούνται. Ως ανοικτά λοιπόν συστήματα δέχονται εισροές και παράγουν εκροές.

Στις εισροές των ιχθυοκαλλιεργειών συμπεριλαμβάνονται: το νερό και τα ποικίλης φύσεως συστατικά του, η τροφή (φυσική, καλλιεργούμενη ή χορηγούμενη), τα υλικά κατασκευής του συστήματος εκτροφής, και οι καλλιεργούμενοι οργανισμοί στα διάφορα στάδια ανάπτυξής τους (γεννήτορες, γόνος, ιχθύδια).

Στις εκροές τους περιλαμβάνονται τα εμπορεύσιμα καλλιεργούμενα είδη, αλλά και απόβλητα όπως: νεκρά ψάρια, κόπρανα και ούρα, προϊόντα μεταβολισμού (CO₂, NH₄), υπολείμματα της χορηγούμενης τροφής, χημικές ουσίες (φάρμακα, εμποτιστικά δικτύων), μικροοργανισμοί και παράσιτα. Στην περίπτωση ατυχήματος, που θα προκαλέσει την καταστροφή πλωτών εγκαταστάσεων, έχουμε τη διαφυγή μεγάλου αριθμού ψαριών στο φυσικό οικοσύστημα.

Οι οστρακοκαλλιέργειες διαφοροποιούνται, ως προς τις εισροές τους στο ότι δεν χορηγείται πρόσθετη τροφή και ως προς τις εκροές τους στο γεγονός ότι δεν χρησιμοποιούνται φαρμακευτικές αγωγές ή άλλες χημικές ουσίες.

Οι όποιες εκροές από τις υδατοκαλλιέργειες μεταβάλλουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των υδάτινων οικοσυστημάτων. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό ότι η μακροβιότητα της λειτουργίας των υδατοκαλλιεργειών εξαρτάται από την επίδραση των εκροών τους στην ποιότητα του υδάτινου περιβάλλοντος ιδιαίτερα στις περιπτώσεις που οι εκτροφές διενεργούνται μέσα σε αυτό. Αλλά και στις περιπτώσεις των ιχθυοκαλλιεργειών που απλά χρησιμοποιούν τα νερά ως μέσον για την εκτροφή και στη συνέχεια τα αποχετεύουν στο φυσικό περιβάλλον, η επίδραση στους τελικούς αποδέκτες είναι σημαντική. Η επίδραση αυτή εξαρτάται από πολλούς παράγοντες και αντιμετωπίζεται ανάλογα με το σύστημα εκτροφής των καλλιεργούμενων οργανισμών.

Στην Ελλάδα, προκειμένου να προστατευθούν τα υδάτινα οικοσυστήματα και να επιτευχθεί η αιφόρος υδατοκαλλιέργεια, έχουν θεσπιστεί νόμοι που αφορούν στη ίδρυση και λειτουργία των υδατοκαλλιεργειών, όπως περιγράφονται στη συνέχεια.

B.1 Το νομικό πλαίσιο της ίδρυσης και λειτουργίας των υδατοκαλλιεργειών

Η χορήγηση άδειας ίδρυσης και λειτουργίας υδατοκαλλιεργειών στην Ελλάδα καθορίζεται από τον Νόμο 4282/2014 (ΦΕΚ 182/29-08-2014), σε συνδυασμό με την απόφαση υπ' αριθμόν 31722/2011 (ΦΕΚ 2505/4-11-2011) και το προεδρικό διάταγμα 28/2009 (ΦΕΚ 46/16-03-2009) και την τροποποίησή του Π.Δ. 164/2014 (ΦΕΚ 248/17-11-2014). Σε ότι αφορά στη μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ), αυτή υπόκειται στο Νόμο 4014/2014 (ΦΕΚ 209/21-9-2011).

Σύμφωνα με την παραπάνω νομοθεσία, στην Ελλάδα, στον τομέα των υδατοκαλλιεργειών εφαρμόζεται το Εθνικό Πρόγραμμα Ανάπτυξης Υδατοκαλλιεργειών (ΕΠΑΥ) που στοχεύει, μεταξύ άλλων, στη βιώσιμη ανάπτυξη των υδατοκαλλιεργειών, στη διαμόρφωση αναπτυξιακής πολιτικής στον αντίστοιχο τομέα, στην παραγωγή προϊόντων υψηλής ποιότητας, στη διευθέτηση των σχέσεων μεταξύ αντικρουόμενων συμφερόντων από τη χρήση των παράκτιων περιοχών, τον εκσυγχρονισμό του νομικού πλαισίου για την αδειοδότηση, τη λειτουργία και τέλος τον έλεγχο των υδατοκαλλιεργητικών δραστηριοτήτων. Για τα θέματα που αφορούν στη διαμόρφωση και εφαρμογή του ΕΠΑΥ αρμόδιο είναι το Εθνικό Συμβούλιο Υδατοκαλλιεργειών (ΕΣΥΔ) το οποίο απαρτίζεται

από τον Γενικό Γραμματέα, εκπροσώπους της Δ/σης Αλιείας, της Δ/σης Υδατοκαλλιεργειών και της Δ/σης Κτηνιατρικής του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, με την επιπλέον συμμετοχή εκπροσώπων των Α.Ε.Ι., του Υπουργείου Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ), του Γεωτεχνικού Επιμελητηρίου (ΓΕΩΤΕΕ), των επαγγελματικών και των καταναλωτικών οργανώσεων, καθώς και εκπροσώπου από μη κυβερνητικές οργανώσεις.

Το Ελληνικό Δημόσιο παραχωρεί τη χρήση τόσο των θαλάσσιων όσο και των λιμναίων νερών για ίδρυση, επέκταση ή και μετεγκατάσταση πλωτών υδατοκαλλιεργητικών μονάδων με μίσθωση (ΦΕΚ 3645/11-11-2016) για χρονικό διάστημα που κυμαίνεται από 15 έως και 20 έτη. Η παραχώρηση της χρήσης γίνεται και χωρίς αντάλλαγμα μέχρι 3 έτη υδατικών εκτάσεων έως 10 στρέμματα για τη δοκιμαστική εκτροφή υδρόβιων οργανισμών ή και την ανάπτυξη καινοτόμων μεθόδων καλλιέργειας.

Σύμφωνα με το Ειδικό πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης (ΦΕΚ 2505/4-11-2011) στην Ελληνική επικράτεια καθορίζονται Περιοχές Ανάπτυξης Υδατοκαλλιεργειών (ΠΑΥ). Οι περιοχές αυτές αφορούν θαλάσσιους χώρους που προσφέρονται για υδατοκαλλιέργεια και όπου χωροθετούνται αντίστοιχες μονάδες, είτε:

- με τη μορφή Περιοχών Οργανωμένης Ανάπτυξης Υδατοκαλλιεργειών (ΠΟΑΥ), όπου η συνολική έκταση των οποίων ξεπερνά τα 100 στρέμματα.
- με τη μορφή των Περιοχών Άτυπης Συγκέντρωσης Μονάδων (ΠΑΣΜ), όπου αναπτύσσονται έως 5 υδατοκαλλιεργητικές μονάδες, συνολικής έκτασης μικρότερης από 100 στρέμματα και σε απόσταση μεταξύ τους από 500 έως 2000 μέτρα.
- Μεμονωμένες ή Σημειακές μονάδες, για τις οποίες ισχύουν κατά περίπτωση περιορισμοί ως προς το μέγεθος, το ύψος της παραγωγής κ.α. Οι μεμονωμένες μονάδες δεν δύνανται να υπερβαίνουν σε έκταση τα 40 στρέμματα για ιχθυοκαλλιέργεια και τα 20 στρέμματα για οστρακοκαλλιέργεια ή να βρίσκονται σε απόσταση μικρότερη των 5 χιλιομέτρων μεταξύ τους. Επιπλέον, η συνδυασμένη παρουσία στη περιοχή τουριστικών καταλυμάτων, μονάδων εστίασης ή και καταδυτικών πάρκων, περιορίζει τη δυναμικότητα της υδατοκαλλιέργειας στους 15 τόνους ετησίως και αυτό κατόπιν συμφωνίας μεταξύ των εμπλεκόμενων επιχειρήσεων.

Η έννοια των ΠΑΥ δεν υφίσταται για την ανάπτυξη υδατοκαλλιεργειών σε εσωτερικά νερά (λίμνες, ποτάμια). Η ίδρυση και λειτουργία ιχθυοκαλλιεργειών στα εσωτερικά νερά καθορίζεται από τους περιορισμούς που αφορούν στη χρήση των αντίστοιχων υδάτινων οικοσυστημάτων και στα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους.

Οι περιοχές ΠΑΥ της Ελληνικής θαλάσσιας επικράτειας ταξινομήθηκαν σύμφωνα με τα ακόλουθα κριτήρια (ΦΕΚ 2505/4-11-2011):

α) Περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά

- η γεωμορφολογία της περιοχής,
- τα φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά των νερών,
- ο ρυθμός ανανέωσης των θαλάσσιων μαζών – ρεύματα,
- ο κυματισμός,
- η ποιότητα νερών (τροφική κατάσταση – ρύποι),
- το καθεστώς προστασίας (π.χ. Natura 2000),

β. Χαρακτηριστικά χωροταξικού χαρακτήρα

- η παρουσία ανταγωνιστικών με τις υδατοκαλλιέργειες χρήσεων,
- η παρουσία ασύμβατων χρήσεων,
- οι περιοχές ειδικού αρχαιολογικού ενδιαφέροντος,

- η ύπαρξη οικισμών,
- η προσβασιμότητα στα εθνικά αστικά κέντρα (πόλοι κατανάλωσης – εμπορικοί λιμένες),
- η προσβασιμότητα σε χερσαίες εκτάσεις,

γ. Χαρακτηριστικά αναπτυξιακού χαρακτήρα (οικονομικο-κοινωνικά κριτήρια)

- Περιορισμός της ανεργίας,
- Συνεργατικές δραστηριότητες,
- Παραδοσιακή ενασχόληση με την αλιεία ή και τις υδατοκαλλιέργειες,
- Δυνατότητες Δημόσιας ή Κοινοτικής χρηματοδότησης

Τα παραπάνω κριτήρια χρησιμοποιήθηκαν ώστε να αξιολογηθούν οι θαλάσσιες περιοχές της Ελληνικής επικράτειας και να αναπτυχθεί ανάλογα η υδατοκαλλιεργητική δραστηριότητα. Υπάρχουν όμως και ειδικότεροι όροι, οι οποίοι είτε δεν επιτρέπουν την ίδρυση και λειτουργία υδατοκαλλιεργειών είτε επιβάλλουν περιορισμούς σε αυτές.

Οι απαγορευτικοί όροι της ίδρυσης υδατοκαλλιεργειών αφορούν στις παρακάτω περιπτώσεις:

- Σε περιοχές που χρησιμοποιούνται ως πεδία βολής από τις ένοπλες δυνάμεις.
- Σε περιοχές που χρησιμοποιούνται ως διάυλοι ναυσιπλοΐας, ως διάυλοι αγωγών ή καλωδίων μεταφοράς ενέργειας ή και τηλεπικοινωνιών.
- Σε περιοχές που προστατεύονται από το Ευρωπαϊκό Οικολογικό Δίκτυο Natura 2000 και αναπτύσσονται λειμώνες του είδους *Posidonia oceanica*.
- Σε λίμνες που τα νερά τους προορίζονται για ύδρευση.
- Σε περιπτώσεις που θαλάσσιες περιοχές έχουν κριθεί ακατάλληλες για καλλιέργεια οστρακοειδών ή σε περιπτώσεις που τα ποτάμια ή τα λιμναία οικοσυστήματα (καλλιέργεια πέστροφας / κυπρίνου) χρήζουν προστασίας ή βελτίωσης της ποιότητάς τους.

Με περιοριστικούς όρους, που ορίζονται από τις αρμόδιες αντίστοιχα υπηρεσίες, επιτρέπεται να ιδρυθούν και να λειτουργήσουν υδατοκαλλιεργητικές μονάδες σε περιοχές Ενάλιων Αρχαιολογικών Χώρων ή και σε προστατευόμενες περιοχές του Δικτύου Natura 2000.

Επιπλέον των παραπάνω όρων, οι οποίοι συνδέονται με ειδικά θεσμικά καθεστάτα, για κάθε τύπο υδατοκαλλιέργειας ισχύουν και επιπλέον κριτήρια – περιορισμοί ως προς τη χωροθέτησή τους. Οι όροι αυτοί παρατίθενται, στο παρόν σύγγραμμα, στις παραγράφους που αναφέρονται αντίστοιχα σε κάθε σύστημα υδατοκαλλιέργειας.

B.2 Τα συστήματα εκτροφής υδρόβιων οργανισμών και οι επιπτώσεις στο υδάτινο περιβάλλον.

Οι υδατοκαλλιέργειες εφαρμόζονται είτε σε εκτατική είτε σε ημι-εντατική ή και εντατική μορφή. Ο χώρος εφαρμογής τους είναι τόσο εντός των υδάτινων οικοσυστημάτων (θάλασσα, λίμνες) όσο και σε δεξαμενές και φυσικές ή τεχνητές λεκάνες σε χερσαίες περιοχές όπου πρώτα εξασφαλίζεται η συνεχής ροή, κατάλληλων τόσο ως προς την ποσότητα και όσο και την ποιότητα για την κάθε καλλιέργεια, νερών. Στις τελευταίες περιπτώσεις τα νερά προέρχονται είτε από παρακείμενα της καλλιέργειας υδάτινα οικοσυστήματα (ποτάμια, θάλασσα, λίμνη) είτε από φυσικές πηγές ή και υπόγεια νερά μετά από γεώτρηση.

Οι καλλιέργειες στη θάλασσα ή στις λίμνες είναι συνήθως πλωτές (ιχθυοκλωβοί, οστρακοκαλλιέργειες) και απαιτούν ταυτόχρονα την ύπαρξη χερσαίας έκτασης, επί της ακτογραμμής, για τις «συνοδές» και τις «υποστηρικτικές» τους εγκαταστάσεις. Το μήκος της παράκτιας ζώνης της Ελλάδας είναι περισσότερο από 16.000 χλμ., με μεγάλη ποικιλία υδάτινων οικοσυστημάτων, όπου κυριαρχούν οι βραχώδεις ακτές.

Στη συνέχεια, γίνεται περιγραφή των κυριότερων συστημάτων υδατοκαλλιέργειών με το διαχωρισμό τους σε ιχθυοκαλλιέργειες και σε οστρακοκαλλιέργειες. Προς αποφυγή συγχύσεων, οι όροι που χρησιμοποιούνται είναι αυτοί που παρατίθενται στη σχετική Ελληνική Νομοθεσία.

B.2.1 Ιχθυοκαλλιέργειες

α) Εκτατικές Εκτροφές

Με τον όρο «εκτατική υδατοκαλλιέργεια» προσδιορίζονται οι εκμεταλλεύσεις εκτροφής ή καλλιέργειας υδρόβιων οργανισμών, οι οποίες χαρακτηρίζονται από μικρό βαθμό παρέμβασης εκ μέρους του εκτροφέα/καλλιεργητή, όσον αφορά το περιβάλλον εκτροφής, τη διατροφή, σε όλα τα στάδια ανάπτυξης τους και παράλληλα από χαμηλή παραγωγική ικανότητα καθώς και σημαντική εξάρτηση από τις τοπικές κλιματολογικές συνθήκες και την ποιότητα των νερών, (Υπ. Περ/ντος, 2011). Η εκτατική υδατοκαλλιέργεια μπορεί να εφαρμοστεί τόσο σε γλυκά όσο και σε υφάλμυρα νερά και στην Ελλάδα αφορά περισσότερο σε ιχθυοκαλλιέργειες. Η οστρακοκαλλιέργεια, η οποία υλοποιείται εκτατικά σε θαλάσσιο περιβάλλον, περιγράφεται αντίστοιχα στο κεφάλαιο περί οστρακοκαλλιέργειών του παρόντος συγγράμματος.

Η εκτατική ιχθυοκαλλιέργεια σε γλυκά νερά εφαρμόζεται σε μικρού βάθους φυσικές ή τεχνητές λεκάνες-λίμνες. Στην περίπτωση των τεχνητών λεκανών προηγείται λίπανση τους ώστε να ευνοηθεί η ανάπτυξη της υδρόβιας χλωρίδας πέρα από τις δυνατότητες του φυσικού οικοσυστήματος. Η διατροφή των ψαριών γίνεται κυρίως με φυσικό τρόπο, αν και σε ορισμένες περιπτώσεις χορηγείται συμπληρωματικά και τροφή, μετατρέποντας τον εκτατικό χαρακτήρα της σε ημιεντατικό. Χαρακτηριστικό είδος καλλιέργειας, αυτής της μορφής, είναι ο κυπρίνος (γριβάδι, σαζάνι, *carp*, *Cyprinus carpio*).

Παρόμοιες εκτροφές γίνονται στη Νοτιοανατολική Ασία σε λεκάνες με θαλασσινό νερό και για την εκτροφή της γαρίδας (*prawn*, *Parapenaeus longirostris*) και του ολοθούριου (αγγούρι της θάλασσας, *Holothuroidea*). Η τροφή του ολοθούριου αποτελείται από μικροσκοπικούς οργανισμούς και οργανικά κατάλοιπα που κείτονται στο βυθό ή τα φέρνει κοντά του κάποιο ρεύμα.

Η εκτατική ιχθυοκαλλιέργεια σε υφάλμυρα νερά εφαρμόζεται στις περιπτώσεις όπου τα ψάρια (φυσικοί πληθυσμοί) εισέρχονται σε φυσικές λιμνοθάλασσες μικρού βάθους ή που έχουν σχεδιαστεί για το σκοπό αυτό (αλίπεδα). Αυτός ο τρόπος ιχθυοκαλλιέργειας είναι παραδοσιακός σε πολλές περιοχές της χώρας, (Μεσολόγγι, Αμβρακικός, εκβολές π. Καλαμά, λ. Βισθωνίδα) με χαρακτηριστικά είδη καλλιεργούμενων ψαριών όπως: το λαβράκι, το κεφαλόπουλο, η γλώσσα, το χέλι κ.α..

Η χρήση των λιμνοθαλασσών ως χώρων καλλιέργειας ψαριών δεν περιορίζεται στην διατήρηση συλληπτικών μέσων και εγκαταστάσεων, δηλαδή αποκλειστικά στην αλιεία των εισερχόμενων ψαριών. Αντίθετα, θα πρέπει οι «μισθωτές» τους, που κατά προτεραιότητα είναι τοπικοί αλιευτικοί συνεταιρισμοί, να φροντίζουν ώστε η υδατοκαλλιεργητική αναπτυξιακή προοπτική των λιμνοθαλασσών να συνδυάζεται με την παράλληλη ανάπτυξη άλλων δραστηριοτήτων όπως για παράδειγμα ο εναλλακτικός τουρισμός. Οι λιμνοθάλασσες χαρακτηρίζονται από την ανάπτυξη ποικίλων υδρόβιων οργανισμών και προστατεύονται από την Εθνική και Διεθνή Νομοθεσία. Οι παρεμβάσεις ως προς την ιχθυοπαραγωγική τους αειφορία περιλαμβάνουν ήπιες επεμβάσεις (ΦΕΚ 2505/4-11-2011) με στόχο: την παραγωγή γόνου, τη δημιουργία τάφρων προ-πάχυνσης και προστασίας των ιχθυιδίων καθώς και της διαχείμασης των ψαριών, τη βελτίωση της κυκλοφορίας και ανανέωσης του νερών.

Η τροφική κατάσταση των λεκανών εκτροφής ψαριών είναι συνήθως εύτροφη, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις όπου προηγείται λίπανσή τους. Επιπλέον, η βιοχημεία των θρεπτικών στις λεκάνες

εκτροφής εξαρτάται από τη χορήγηση τροφής και τις πρακτικές χορήγησής της, το χρόνο ανανέωσης των νερών της, τον αερισμό της και το βάθος της, (Hargreaves, 1998). Η υπερβολική ανάπτυξη φυτικών οργανισμών (υδρόβια φυτά, φυτοπλαγκτόν) εμποδίζει την είσοδο ηλιακής ακτινοβολίας και ως εκ τούτου τη φωτοσύνθεση και την παραγωγή οξυγόνου. Αυτό μπορεί να οδηγήσει στην κατανάλωση του διαλυμένου στο νερό οξυγόνου και την εμφάνιση αναερόβιων συνθηκών. Αποτέλεσμα της εγκατάστασης των αναερόβιων συνθηκών στην υδατοσυλλογή είναι η παραγωγή μεθανίου (CH₄), υδροθείου (H₂S) και αμμωνίας (NH₃) που ως τοξικά αέρια προκαλούν ακόμη και τον θάνατο στους υδρόβιους οργανισμούς. Στις περιπτώσεις αυτές τα διαχειριστικά εργαλεία είναι περιορισμένα ή και ελάχιστα. Χαρακτηριστική περίπτωση είναι η αβαθής λίμνη Μητρικού στη Θράκη, η οποία περιήλθε σε υπερέυτροφη κατάσταση εξαιτίας των εισροών αγροτικών απορροών (λιπάσματα) και αστικών λυμάτων (κυρίως απορρυπαντικών). Η υπερανάπτυξη της φυτικής βλάστησης του ενδημικού υδροχαρούς φυτού *Trapan natans* έκανε απαγορευτική τη διείσδυση του ηλιακού φωτός στο νερό της λίμνης με αποτέλεσμα την παντελή έλλειψη διαλυμένου οξυγόνου και την εγκατάσταση αναερόβιων συνθηκών με την παραγωγή H₂S, NH₃ και CH₄. Ως διαχειριστική μέθοδος δοκιμάστηκε η χρήση ζιζανιοκτόνου. Σε παρακείμενο της λίμνης χώρο και αφού εγκαταστάθηκε περιορισμένης έκτασης παρόμοιο υδάτινο οικοσύστημα, δοκιμάστηκε πειραματικά η χρήση ζιζανιοκτόνου που στόχευε στην αναστολή της παραγωγής χλωροφύλλης από τους υδρόβιους οργανισμούς και επομένως στην καταστροφή τους. Η χρήση του ζιζανιοκτόνου δεν φάνηκε να επηρεάζει την επιβίωση των ψαριών, (Kamarianos et al., 1988, 1989).

β) Εντατικές εκτροφές

Με τον όρο «εντατική υδατοκαλλιέργεια» προσδιορίζονται: οι εκμεταλλεύσεις εκτροφής ή καλλιέργειας υδρόβιων οργανισμών, όπου ο άνθρωπος επεμβαίνει σε όλα τα στάδια ανάπτυξης, χρησιμοποιώντας διάφορες τεχνικές, ανάλογα με το είδος εκτροφής. Η εντατική εκτροφή προσδοκά υψηλές αποδόσεις παραγωγής, (Υπ. Περ/ντος, 2011). Οι εντατικές εκτροφές γίνονται είτε σε ιχθυοκλωβούς (θάλασσα, λίμνες) είτε σε δεξαμενές (ορθογώνιες ή κυκλικές) σε χερσαίες περιοχές που χρησιμοποιούνται επιφανειακά ή και υπόγεια νερά, μετά από άντληση. Στις περιπτώσεις των εκτροφών σε δεξαμενές, αυτές διακρίνονται σε ελεύθερης ή ανοιχτής ροής και σε αυτές των κλειστών κυκλωμάτων με επανακυκλοφορία του νερού.

β.1 Ιχθυοκλωβοί

Ως «πλωτός ιχθυοκλωβός» χαρακτηρίζεται το ειδικό πλωτό πλαίσιο (συνήθως τετράγωνο ή κυκλικό), από ποικίλα υλικά, στο οποίο προσαρμόζεται δίχτυ διαφόρων διαστάσεων και διαφορετικού βάθους και ανοίγματος «ματιών», εντός του οποίου πραγματοποιείται η εκτροφή, (Υπ. Περ/ντος, 2011).

Στην Ευρώπη, τα κυριότερα είδη καλλιεργούμενων ψαριών σε ιχθυοκλωβούς στη θάλασσα, είναι: ο μπακαλιάρος (codfish, *Gadus morhua*), ο σολομός του Ατλαντικού (salmon, *Salmo salar*), η τσιπούρα (sea bream, *Sparus aurata*), το λαβράκι (seabass, *Dicentrarchus labrax*). Τα τελευταία χρόνια στην Ελλάδα γίνεται επιπλέον εκτροφή και των ακόλουθων ειδών: μυλοκόπι (*argyrosomus regius*), συναγρίδα (*dentex dentex*), φαγκρί (*pagrus pagrus*), μυτάκι (*sarago pizzato*). Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία οι ιχθυοκλωβοί τοποθετούνται σε θαλάσσιες περιοχές με βάθος τουλάχιστον 18 μέτρων και σε κάθε περίπτωση με βάθος διπλάσιο του ύψους των κλωβών εκτροφής. Οι μονάδες που χρησιμοποιούν ιχθυοκλωβούς οφείλουν να απέχουν μεταξύ τους 500 μέτρα ή 300 μέτρα στην περίπτωση βιολογικών εκτροφών. Η απόσταση του θαλάσσιου «οικοπέδου» από την ακτογραμμή

πρέπει να είναι κατ' ελάχιστον 50 μέτρα και η κάλυψη της έκτασής του από τις εγκαταστάσεις της υδατοκαλλιέργειας να μην υπερβαίνει το 50% ή το 60% (βιολογικές εκτροφές).

Η ιριδίζουσα πέστροφα (trout - *Oncorhynchus mykiss*), εκτρέφεται επίσης σε πλωτούς κλωβούς μέσα σε λίμνες. Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία οι ιχθυοκλωβοί που χρησιμοποιούνται για την εκτροφή ψαριών σε λίμνες πρέπει να τοποθετούνται σε περιοχές με βάθος – κατά την χαμηλότερη στάθμη του νερού - τουλάχιστον τριπλάσιο του ύψους των κλωβών εκτροφής.

Για τη χωροθέτηση των πλωτών ιχθυοκλωβών στη θάλασσα εκτιμάται επιπλέον των όσων απαγορευτικών ή και περιοριστικών όρων που προαναφέρθηκαν και η «φέρουσα ικανότητα» της περιοχής. Η φέρουσα ικανότητα προσδιορίζεται με την αξιολόγηση παραμέτρων (ΦΕΚ 2505/4-11-2011), όπως:

- Τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των νερών του οικοσυστήματος (π.χ. θερμοκρασία, οξύγνο, αλατότητα, pH, θολρότητα, αγωγιμότητα, αιωρούμενο σωματιδιακό υλικό, ανόργανα θρεπτικά άλατα),
- Τις κινήσεις των υδάτινων μαζών (ρεύματα) και τον χρόνο ανανέωσης των νερών στην περιοχή,
- Τις επιδράσεις της λεκάνης απορροής στο υδάτινο οικοσύστημα με την εκτίμηση της ποσότητας των εισερχόμενων φορτίων και πιθανών ρύπων, λαμβάνοντας υπόψη τα διαχειριστικά σχέδια τους,
- Το δείκτη ευρωστίας των καλλιεργούμενων ειδών,
- Την παραγωγικότητα του οικοσυστήματος, με κριτήρια όπως η συγκέντρωση της χλωροφύλλης, το φυτοπλαγκτόν και το ζωοπλαγκτόν,
- Την εκτίμηση της κατάστασης του πυθμένα, μετά από αξιολόγηση του ιζήματος και των οργανισμών του,
- Τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των καλλιεργούμενων ειδών και των φυσικών πληθυσμών,
- την εκτίμηση της κατάστασης της βιοκοινότητας ως σύνολο και της οικολογικής κατάστασης των νερών.

Ταυτόχρονα όμως ισχύουν και ειδικοί όροι που αφορούν στην απόσταση της μονάδας από περιοχές με άλλες δραστηριότητες όπως:

- τουριστικές μονάδες, βιομηχανικές μονάδες, μεταλλεία, λιμενικές εγκαταστάσεις φορτο-εκφόρτωσης πετρελαιοειδών, όπου η ελάχιστη απόσταση προσδιορίζεται στο 1 km.
- Παραλίες κολύμβησης πλησίον οικισμών ή τουριστικών εγκαταστάσεων και καταδυτικά πάρκα, όπου η ελάχιστη απόσταση προσδιορίζεται στο 0,5 km.
- Αεροδρόμια κοντά στην ακτογραμμή, όπου η ελάχιστη απόσταση προσδιορίζεται στα 2 ναυτικά μίλια.
- Αιολικά πάρκα, των οποίων η απόσταση από τις υδατοκαλλιέργειες ορίζεται στο 0,5 km.

Η ερασιτεχνική και επαγγελματική αλιεία απαγορεύεται σε απόσταση 50 μέτρων από τη μισθωμένη θαλάσσια έκταση για τους ιχθυοκλωβούς. Η αντίστοιχη απαγόρευση ισχύει και στην περίπτωση των ιχθυοκλωβών που είναι εγκατεστημένοι σε λίμνες, με το όριο να ανέρχεται στα 100 μέτρα.

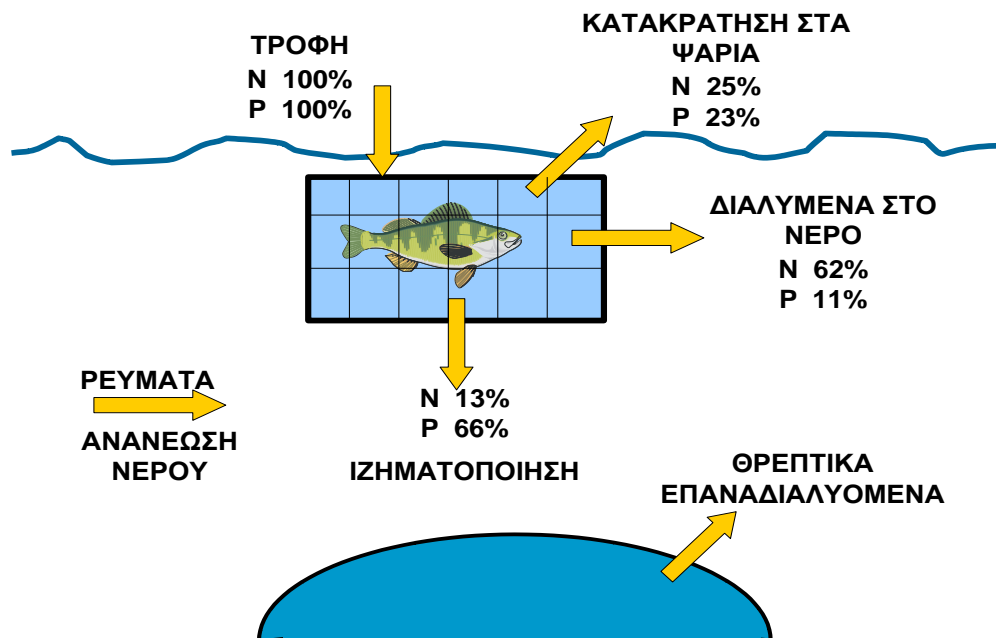
Παράλληλα όμως, με την ραγδαία ανάπτυξη ιχθυοκαλλιέργειών σε πλωτούς κλωβούς, τίθεται και το ζήτημα της επίδρασης της λειτουργίας τους στο υδάτινο οικοσύστημα. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι ιχθυοκλωβοί ως ανοικτό υποσύστημα αποβάλλουν τις εκροές τους κατ' ευθεία μέσα στο υδάτινο περιβάλλον τους. Οι εκροές αυτές αποτελούνται κυρίως: από τις απεκκρίσεις των ψαριών μέσω του πεπτικού (κόπρανα), του ουροποιητικού (ούρα) αλλά και του αναπνευστικού (αμμωνία, ουρία, CO₂) τους συστήματος, τα υπολείμματα τροφής που δεν καταναλώθηκαν καθώς και τα φάρμακα και τις χημικές ενώσεις που χρησιμοποιήθηκαν ως βιοκτόνα (βλ. αντίστοιχο κεφάλαιο). Οι ποσότητες και η

σύσταση των αποβλήτων από τους ιχθυοκλωβούς εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως είναι το είδος των ψαριών που εκτρέφονται, η ποιότητα της τροφής, ο δείκτης μετατρεψιμότητάς της, η πεπτικότητα της και η σύνθεση των αποβλήτων.

Επιπλέον, οι μεγάλοι πληθυσμοί ψαριών σε αντίστοιχα μεγάλους ιχθυοκλωβούς προκαλούν μείωση του διαλυμένου οξυγόνου ακόμη και μέσα στον ίδιο τον κλωβό, (Oldham Tina et al., 2018).

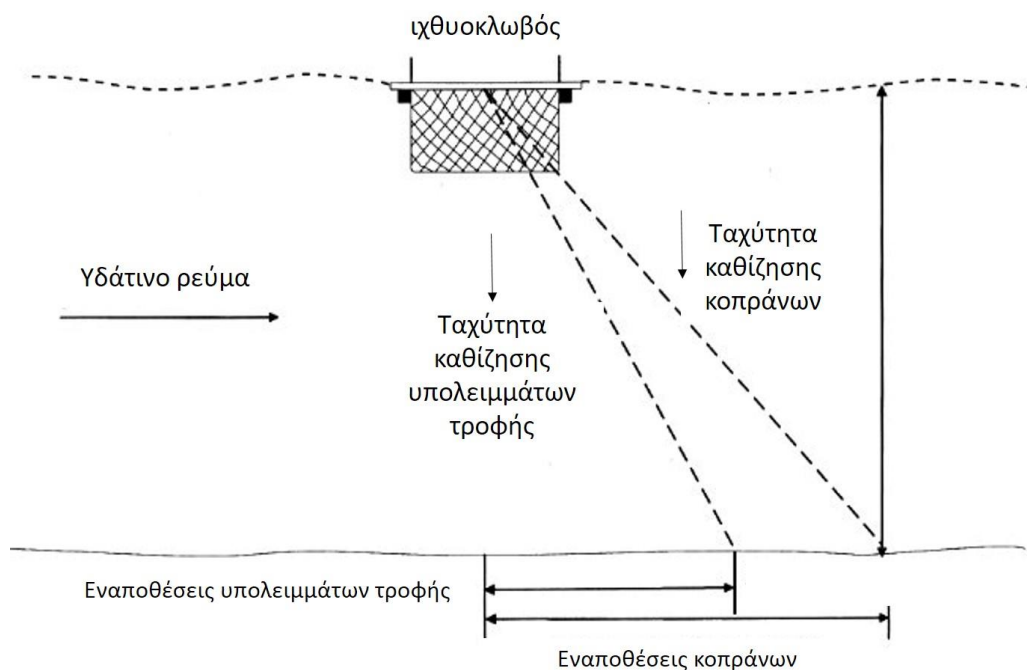
Υπάρχουν πολλές αναφορές για την τύχη των κύριων θρεπτικών συστατικών (N, P) που εισρέουν και κατόπιν εκρέουν από τους ιχθυοκλωβούς. Ο άμεσος τρόπος υπολογισμού τους είναι η δειγματοληψία και ανάλυση της στήλης των νερών κάτω και πέριξ από την μονάδα καθώς επίσης και η αντίστοιχη του ιζήματος, (Mente et al., 2006). Τα θρεπτικά συστατικά είτε διαλύονται στην υδάτινη στήλη είτε καθιζάνουν σταδιακά, ενσωματωμένα στα αιωρούμενα στερεά, στο ίζημα. Στο σχήμα 11, δίνεται αντιπροσωπευτικά, η τύχη των θρεπτικών στοιχείων αζώτου και φωσφόρου που χορηγούνται μέσω της τροφής σε ιχθυοκαλλιέργεια πλωτών κλωβών (Καμαριανός, 2000).

Ο εμπλουτισμός του ιζήματος με οργανικό υλικό που προέρχεται από τις δραστηριότητες των ιχθυοκαλλιεργειών σε ιχθυοκλωβούς εξαρτάται, εκτός των όσων προαναφέρθηκαν για τη στήλη των νερών, από την ταχύτητα και την κατεύθυνση των ρευμάτων που επικρατούν στο υδάτινο περιβάλλον και από το βάθος κάτω από τους κλωβούς (σχήμα 12). Η ιζηματοποίηση των κοπράνων και των υπολειμμάτων της τροφής προκαλεί τη συσσώρευση μεγάλων ποσοτήτων οργανικής ύλης στον πυθμένα. Η αποσύνθεση της οργανικής αυτής ύλης, κάτω από την έντονη δραστηριοποίηση των μικροβίων και μικροοργανισμών (αποσυνθέτες), προκαλεί την κατανάλωση του διαλυμένου στο νερό οξυγόνου, τη δραματική σε ορισμένες περιπτώσεις μείωσή του και την εμφάνιση ακόμη και αναερόβιων συνθηκών. Σε αναερόβιες συνθήκες επέρχεται η παραγωγή μεθανίου (CH_4), υδροθείου (H_2S) και αμμωνίας (NH_3) που ως τοξικά αέρια προκαλούν ακόμη και τον θάνατο στα ψάρια.



Σχήμα 12. Η τύχη των θρεπτικών στοιχείων αζώτου και φωσφόρου που χορηγούνται μέσω της τροφής σε εκτροφές με το σύστημα των ιχθυοκλωβών.

Σύμφωνα με το σχήμα 13, γίνεται φανερό ότι η μεγαλύτερη ποσότητα από τα θρεπτικά συστατικά που χορηγούνται στα ψάρια μέσω της τροφής τους, διαλύεται στο υδάτινο περιβάλλον ή καθιζάνει στον πυθμένα του οικοσυστήματος.



Σχήμα 13. Διασπορά των κύριων αποβλήτων από ιχθυοκλωβούς.

Σημαντική επίσης επίδραση στο υδάτινο περιβάλλον, στις περιοχές όπου δραστηριοποιείται ιχθυοκαλλιέργεια με το σύστημα των ιχθυοκλωβών, είναι τα υπολείμματα των δραστικών φαρμακευτικών ουσιών που χρησιμοποιούνται για τη θεραπεία των ψαριών. Οι ουσίες αυτές απελευθερώνονται, μετά τη χρήση τους, στο υδάτινο περιβάλλον και επιδρούν σε οργανισμούς μη-στόχους, όπως, άλλα είδη ελεύθερων ψαριών, μικροοργανισμούς και βενθικούς οργανισμούς. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την επιβάρυνση οργανισμών μη-στόχων, την παρέμβαση στις δραστηριότητες που καθορίζουν τη χημεία του ιζήματος και τέλος την ανάπτυξη της μικροβιακής αντοχής απέναντι στις δραστικές φαρμακευτικές ουσίες.

Τα φαρμακευτικά σκευάσματα χορηγούνται στα ψάρια των κλωβών με δύο τρόπους: είτε μέσω της τροφής τους, όπως για παράδειγμα τα αντιβιοτικά και τα ενδο-παρασιτοκτόνα, είτε με τη χρήση σάκων θεραπείας όπως για παράδειγμα τα εξω-παρασιτοκτόνα και τα αναισθητικά προκειμένου να γίνουν ενέσιμοι εμβολιασμοί. Σε αμφότερες τις περιπτώσεις έμμεσα ή άμεσα τα υπολείμματα των φαρμακευτικών ουσιών καταλήγουν στο υδάτινο περιβάλλον. Σε ορισμένες χώρες, όπως η Σκωτία και η Νορβηγία, η νομοθεσία σχετικά με τη χρήση παρασιτοκτόνων προβλέπει τον καθορισμό των ποιοτικών ορίων για το περιβάλλον (Environmental Quality Standards, EQS), (Beveridge, 1996). Τα όρια αυτά διαφοροποιούνται ανάλογα με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των νερών και του ιζήματος κάθε υδάτινης περιοχής όπου δραστηριοποιείται ιχθυοκαλλιέργεια σε ιχθυοκλωβούς καθώς επίσης και με το αποτύπωμα (foot print) της μονάδας στον αντίστοιχο πυθμένα. Ο υπεύθυνος κτηνίατρος της μονάδας ρυθμίζει, σύμφωνα με τα EQS της περιοχής, τη συχνότητα και τις ποσότητες των αντιπαρασιτικών φαρμάκων που χρησιμοποιούνται.

β.2 Δεξαμενές - Λεκάνες

Το σύστημα εκτροφής ψαριών σε χερσαίες δεξαμενές (τσιμεντένιες, μεταλλικές, συνθετικού υλικού) ή και χωμάτινες λεκάνες απαιτεί τη χωροθέτηση της μονάδας όσο το δυνατόν πλησιέστερα στην πηγή τροφοδοσίας με νερό. Οι πηγές νερού μπορεί να είναι: ποταμός, λίμνη, θάλασσα, φυσική πηγή, ή και ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας (γεώτρηση). Θα πρέπει όμως να επισημανθεί ότι η

άντληση νερών με γεώτρηση πλησίον των ακτογραμμών πιθανόν να προκαλέσει την υφαλμύρωση τους.

Το νερό αντλείται και αφού υφίσταται πρωτοβάθμιο καθαρισμό με μηχανικό τρόπο (χρήση σχαρών), εισέρχεται στις δεξαμενές όπου γίνεται η καλλιέργεια των ψαριών. Στη συνέχεια επιστρέφει είτε συνολικά (σύστημα ανοικτής ροής) είτε μέρος αυτού (σύστημα επανακυκλοφορίας, κλειστών κυκλωμάτων) στο φυσικό περιβάλλον. Το νερό, κατά την παραμονή του στις δεξαμενές ιχθυοκαλλιέργειας επιβαρύνεται ποιοτικά από τα κόπρανα, τα ούρα και τ' άλλα προϊόντα μεταβολισμού (CO₂, NH₄) των ψαριών, την τροφή που δεν καταναλώνεται και από την πιθανή χρήση φαρμακευτικών ουσιών. Κατ' αυτό τον τρόπο, οι εκροές από τις δεξαμενές ρυπαίνουν τον τελικό αποδέκτη τους, που είναι συνήθως το παράπλευρο υδάτινο οικοσύστημα (ποτάμια, λίμνες, θάλασσα) από το οποίο αντλείται το νερό εισροής. Επιπλέον, σε περιπτώσεις ασθενειών ή και παρασιτώσεων μολύνουν το υδάτινο οικοσύστημα του τελικού τους αποδέκτη, με παθογόνους για την άγρια ιχθυοπανίδα μικροοργανισμούς.

Διακρίνουμε δυο συστήματα εκτροφής ψαριών σε δεξαμενές-λεκάνες τα οποία εφαρμόζονται τόσο με τη χρήση γλυκού όσο και θαλασσινού νερού. Το σύστημα δεξαμενών ελεύθερης ή ανοικτής ροής και το σύστημα των δεξαμενών κλειστού κυκλώματος ή επανακυκλοφορίας του νερού.

β.2.1 Δεξαμενές - λεκάνες ελεύθερης (ανοικτής) ροής

Οι δεξαμενές ελεύθερης ή ανοικτής ροής είναι κυρίως τσιμεντένιες ή χωμάτινες ή και συνθετικού υλικού λεκάνες κατάλληλα διαμορφωμένες ώστε να επιτρέπουν την είσοδο και την κυκλοφορία του νερού και τελικά την αποχέτευση του. Οι δεξαμενές αυτές τροφοδοτούνται με νερό συνήθως από παρακείμενα υδάτινα οικοσυστήματα (ποταμούς, λίμνες, θάλασσα). Ο αποδέκτης των εκροών τους είναι συνήθως το ίδιο το υδάτινο οικοσύστημα που τις τροφοδοτεί με νερό. Σε ορισμένες περιπτώσεις η τροφοδοσία με νερό γίνεται από φυσικές πηγές ή υπόγεια νερά μετά από γεωτρήσεις, όμως και πάλι τελικός αποδέκτης είναι κάποιο φυσικό υδάτινο οικοσύστημα.

Στην Ελλάδα χαρακτηριστικά είδη που εκτρέφονται σε ελεύθερης ροής δεξαμενές είναι η ιριδίζουσα πέστροφα (trout, *Oncorhynchus mykiss*) που εκτρέφεται συνηθέστερα, σε δεξαμενές κατά μήκος ποταμών και ο κυπρίνος (γριβάδι, σαζάνι, carp, *Cyprinus carpio*) που εκτρέφεται σε μεγάλες λεκάνες πάχυνσης. Οι περισσότερες μονάδες εκτροφής πέστροφας βρίσκονται κατά μήκος του π. Λούρου στην Ήπειρο ενώ αντίστοιχα μονάδες καλλιέργειας κυπρίνου συνήθως συναντώνται τόσο στην Ήπειρο όσο και στη Μακεδονία.

Επίσης η εκτροφή του οξύρυγχου μπορεί να γίνει μέσα σε κανάλια, κυκλικές δεξαμενές ή και σε λεκάνες πάχυνσης.

β.2.2 Δεξαμενές με κλειστά κυκλώματα

Με τον όρο «κλειστά κυκλώματα εκτροφής» προσδιορίζονται: οι εκμεταλλεύσεις υπερεντατικής υδατοκαλλιέργειας, οι οποίες βασίζονται στην επαναχρησιμοποίηση του νερού εκτροφής, εντός θερμομονωμένων εγκαταστάσεων με τη χρήση τεχνητών μέσων, στις οποίες δημιουργούνται ιδανικές συνθήκες εκτροφής. Χαρακτηρίζονται από τις περιορισμένες ανάγκες σε νερό, το υψηλό κόστος κατασκευής και λειτουργίας, τις αυξημένες διαχειριστικές διαδικασίες, (Υπ. Περι/ντος, 2011).

Στην Ευρώπη, τα κυριότερα είδη καλλιεργούμενων ψαριών σε δεξαμενές κλειστών κυκλωμάτων, είναι: η τσιπούρα, το λαβράκι, ο οξύρυγχος (sturgeon, *Acipenser Baerii*), ο μπακαλιάρος (codfish, *Gadus morhua*) και το χέλι (eel, *Anguilla Anguilla*). Στην Ελλάδα, όπως και στις περισσότερες Μεσογειακές χώρες, η εκτροφή της τσιπούρας και του λαβρακιού γίνεται κυρίως σε ιχθυοκλωβούς.

Το χέλι εκτρέφεται κυρίως στην περιοχή του Ν. Άρτας, σε στρογγυλές δεξαμενές σε χώρους με ελάχιστο φωτισμό. Ο περιορισμένος φωτισμός προσομοιάζει τις συνθήκες διατροφής του χελιού που είναι νυκτόβιο, χωρίς ωστόσο να έχει τεκμηριωθεί ότι η μέθοδος προσφέρει καλύτερες επιδόσεις στην παραγωγή.

Τα κλειστά κυκλώματα χρησιμοποιούνται κυρίως σε εκτροφές όπου η παροχή νερού είναι περιορισμένη ή δαπανηρή (π.χ. γεώτρηση). Το νερό διέρχεται από τις δεξαμενές εκτροφής και στη συνέχεια υφίσταται καθαρισμό, αρχικά με μηχανικό τρόπο (χρήση σχαρών) και στη συνέχεια μειώνεται το οργανικό του φορτίο κυρίως με τη μέθοδο των βιολογικών φίλτρων και της διύλισης μέσα από διυλιστήρια άμμου. Η ποσότητα του νερού που επαναχρησιμοποιείται είναι τουλάχιστον το 80% των συνολικών αναγκών.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η βιολογική αυτή επεξεργασία, των δύο σταδίων καθαρισμού, δεν προσφέρει την ανάκτηση των θρεπτικών συστατικών (ανόργανων μορφών αζώτου και φωσφόρου). Αυτό σημαίνει ότι ο τελικός αποδέκτης δέχεται εκροές, με περιορισμένη μεν την περιεκτικότητά τους σε οργανική ύλη, αλλά πλούσιες σε θρεπτικά για τους υδρόβιους φυτικούς οργανισμούς υλικά και ως εκ τούτου προκαλείται ευτροφισμός. Ταυτόχρονα η αερόβια μέθοδος επεξεργασίας αποτελεί σύστημα μετατροπής των αζωτούχων οργανικών ενώσεων σε νιτρικά ιόντα, τα οποία ανακυκλοφορεί με αυξανόμενες συγκεντρώσεις στις δεξαμενές εκτροφής. Η ανακυκλοφορία των νερών στα κλειστά κυκλώματα απαιτεί διαρκή έλεγχο της ποιότητας τους και ο ρυθμός της εξαρτάται από αυτόν.

Πιθανή ορθή διαχείριση αυτών των εκροών, στην περίπτωση της χρήσης γλυκέων νερών, είναι η χρήση τους για την άρδευση και την ταυτόχρονη λίπανση παρακείμενων γεωργικών καλλιεργειών. Στην περίπτωση των υδατοκαλλιεργειών με τη χρήση θαλασσινού ύδατος είναι απαραίτητη η συχνή παρακολούθηση των μεταβολών που υφίσταται ο τελικός θαλάσσιος υδάτινος αποδέκτης.

γ) Πολυκαλλιέργειες

Ως «πολυκαλλιέργεια» ορίζεται η εκτροφή ή καλλιέργεια δύο ή περισσότερων ειδών υδρόβιων οργανισμών, συνήθως διαφορετικών τροφικών επιπέδων, στις ίδιες εγκαταστάσεις, (Υπ. Περ/ντος, 2011).

Η πολυκαλλιέργεια εφαρμόζεται στις καλλιέργειες ψαριών, όπως ο κυπρίνος, η τιλάπια, και καρκινοειδών. Συνήθως, στα συστήματα αυτά με τη χρήση ζωικών αποβλήτων αυξάνουν την παροχή θρεπτικών, αυξάνοντας κατά τον τρόπο αυτό και την πρωτογενή παραγωγικότητα. Σε άλλες περιπτώσεις γίνεται χρήση κλειστών κυκλωμάτων του νερού της ιχθυοκαλλιέργειας, το οποίο αφού διέλθει από υδροπονική καλλιέργεια φυτών, επιστρέφει στην μονάδα. Οι πλέον διαδεδομένες πολυκαλλιέργειες αφορούν στην ταυτόχρονη καλλιέργεια ψαριών και πλαγκτονικών οργανισμών, ψαριών και οστρακοειδών και ψαριών και ολοθούριων (Ασία).

Αντίθετα, η μονοκαλλιέργεια είναι αρκετά διαδεδομένη στην καλλιέργεια των σολομοειδών (σολομοί, πέστροφες) και των μαλακίων. Ο μεγαλύτερος κίνδυνος για τα συστήματα μονοκαλλιέργειας, εξαιτίας των πολύ υψηλών φορτίσεων και της καταπόνησης των οργανισμών που καλλιεργούνται, είναι το ξέσπασμα ασθενειών.

B.2.2 Οστρακοκαλλιέργειες

Τα όστρακα καλλιεργούνται σε θαλάσσιες περιοχές όπου υφίστανται εισροές από ποτάμια συστήματα ή παρατηρείται μετακίνηση των νερών που οφείλεται είτε σε ισχυρά ρεύματα (π.χ. Ευβοϊκός κόλπος) είτε σε παλίρροια (π.χ. δυτικές ακτές της Ευρώπης). Τα θρεπτικά συστατικά που εισρέουν στο θαλάσσιο οικοσύστημα μέσω των ποταμών προκαλούν ευτροφισμό με επακόλουθο την ανάπτυξη μεγάλων μαζών φυτοπλαγκτονικών οργανισμών που αποτελούν την κύρια τροφή των

οστράκων. Αντίστοιχα, η ανανέωση των νερών από τα ισχυρά ρεύματα ή την παλίρροια μεταφέρει διαρκώς τροφή, οπότε και την ανάπτυξη των οστρακοειδών. Οι περιοχές λοιπόν καλλιέργειας των οστρακοειδών είναι τόποι φυσικής ανάπτυξης τους, γεγονός το οποίο διασφαλίζει την αναπαραγωγή τους και την προμήθεια γόνου για τις καλλιέργειες. Το σύστημα καλλιέργειας των οστρακοειδών επιλέγεται ανάλογα με τις υδρολογικές συνθήκες (παλίρροια, ρεύματα), το βάθος και το είδος του πυθμένα του θαλάσσιου χώρου (πετρώδης, αμμώδης, λασπώδης). Εξαιτίας του γεγονότος ότι το φαινόμενο της παλίρροιας δεν είναι έντονο στη Μεσόγειο, για την καλλιέργεια των οστρακοειδών χρησιμοποιούνται δύο κυρίως συστήματα:

- ❖ Πλωτό σύστημα καλλιέργειας οστράκων (Long line): σύστημα που αποτελείται από παράλληλες γραμμές παραγωγής (σχοινιά – μάνες), αγκυροβολημένες στα άκρα τους, που επιπλέουν με τη βοήθεια πλωτήρων. Από τις γραμμές παραγωγής αναρτώνται οι αρμαθίες ή οι δίσκοι εκτροφής των οστράκων.
- ❖ Πασσαλωτό σύστημα καλλιέργειας οστράκων (Pole): σύστημα που αποτελείται από παράλληλες γραμμές παραγωγής (μάνες) στερεωμένες στα άκρα τους σε οριζόντιους δοκούς, που με τη σειρά τους στηρίζονται σε κάθετους πασσάλους στηριγμένους στο βυθό της θάλασσας. Από τις γραμμές παραγωγής αναρτώνται οι αρμαθίες ή οι δίσκοι εκτροφής των οστράκων. Παραλλαγή του παραπάνω συστήματος πασσαλωτών είναι η Γαλλική μέθοδος «bouchots» που περιγράφεται στη συνέχεια.

Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία η έκταση της εγκατάστασης μονάδας οστρακοκαλλιέργειας πρέπει να απέχει τουλάχιστον 200 μέτρα από γειτνιάζουσες μονάδες ιχθυοκαλλιέργειών. Η ελάχιστη απόσταση μεταξύ μονάδων οστρακοκαλλιέργειας ορίζονται τα 150 μέτρα. Ανεξάρτητα δε από την απόστασή της από την ακτογραμμή θα πρέπει να βρίσκεται σε περιοχή με βάθος το διπλάσιο ή τριπλάσιο του μήκους της αρμαθίας ανάλογα με το σύστημα εκτροφής (πλωτό ή πασσαλωτό).

Οι ειδικοί όροι που αφορούν στην απόσταση μονάδας οστρακοκαλλιέργειας από περιοχές με άλλες δραστηριότητες είναι οι ίδιοι με αυτούς των ιχθυοκαλλιέργειών σε πλωτούς ιχθυοκλωβούς περιορισμένοι σε ποσοστό 50%.

Τα είδη των οστρακοειδών που καλλιεργούνται στην Ελλάδα είναι κυρίως:

Το μύδι (mussel, *Mytilus galloprovincialis* - Μεσογειακό μύδι). Η καλλιέργεια των μυδιών στην Ελλάδα γίνεται σε πλωτά σχοινιά (long line) ή και σε πασσάλους.

- Πάνω σε πλωτά σχοινιά (long line). Ο γόνος των μυδιών στερεώνονται σε δικτυωτή αρμαθία (sock, κν. κάλτσα) πάνω σε σχοινιά, τα οποία κρέμονται κάθετα μέσα στο νερό, δεμένα σε μια σταθερή ή πλωτή κατασκευή. Η τεχνική αυτή είναι κατάλληλη για θάλασσες με μικρή παλίρροια όπως η Μεσόγειος, αρχίζει όμως να εφαρμόζεται και στον Ατλαντικό ωκεανό με την ανάπτυξη της μυτιλοκαλλιέργειας στην ανοιχτή θάλασσα, όπως στη Γαλλία, την Ιρλανδία και το Βέλγιο. Η συγκομιδή γίνεται με αποκόλληση της αποικίας μυδιών από το σχοινί αφού πρώτα το τελευταίο τραβηχτεί έξω από το νερό.
- Πάνω σε πασσάλους (bouchots). Η καλλιέργεια αυτή γίνεται πάνω σε σειρές ξύλινων πασσάλων στερεωμένων εντός της παλιρροιακής ζώνης. Γύρω από τον πάσσαλο τυλίγεται και στερεώνεται η δικτυωτή αρμαθία (3 έως 5 μέτρα) γεμάτη γόνος. Η συγκομιδή γίνεται με απόξεση με το χέρι ή με μηχανικούς τρόπους, της αποικίας των μυδιών από τον ξύλινο πάσσαλο.
- Πάνω σε σταθερές ή και πλωτές εξέδρες. Σε ορισμένα μέρη, τα μύδια καλλιεργούνται όπως και τα στρείδια, μέσα δικτυωτούς σάκους πάνω σε εξέδρες στερεωμένες στην παλιρροιακή ζώνη ή και πλωτές ώστε να εξασφαλίζουν τη μόνιμη επαφή των καλλιεργούμενων μυδιών με το νερό.

- Οριζόντια καλλιέργεια. Τα νεαρά μύδια διασπείρονται πάνω σε αβαθείς αναβαθμίδες, κυρίως σε κόλπους ή προστατευμένα σημεία πάνω στο έδαφος. Η μέθοδος εφαρμόζεται κυρίως στο Βέλγιο και την Ολλανδία.

Το στρείδι (*Crassostrea gigas*)

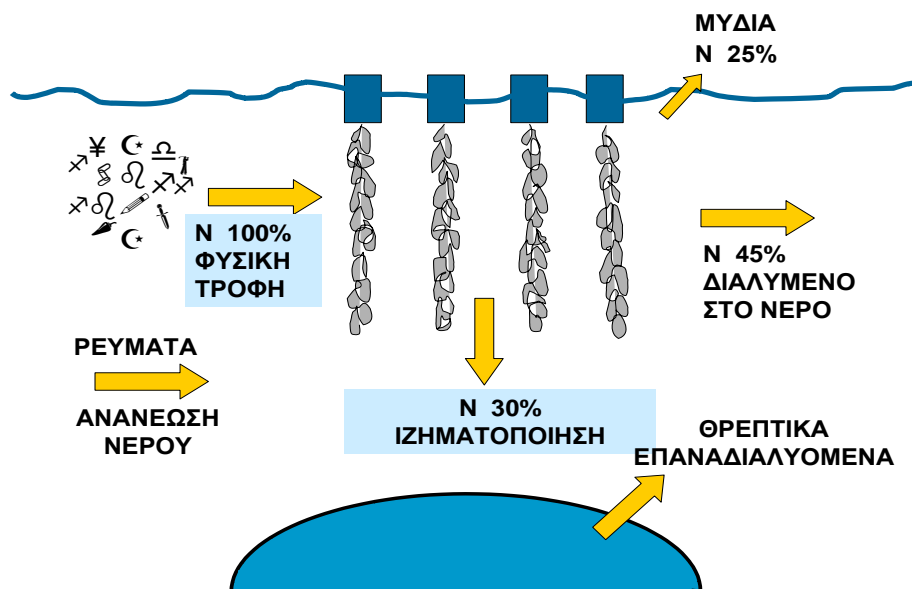
- Η καλλιέργεια σε σταθερές εξέδρες: τα στρείδια τοποθετούνται στη θάλασσα μέσα σε σάκους στερεωμένους πάνω σε σταθερές εξέδρες, μέσα στην παλιρροιακή ζώνη. Εφόσον το ύψος της παλίρροιας το επιτρέπει, οι εξέδρες μπορεί να είναι και πλωτές εξασφαλίζοντας τη μόνιμη επαφή των στρειδιών με το νερό.
- Η καλλιέργεια σε δοχεία: τα στρείδια κατανέμονται σε ελεγχόμενους χώρους (μέσα σε διάτρητα κιβώτια) που μπορεί να βρίσκονται έως και 10 μέτρα βάθος.
- Η οριζόντια καλλιέργεια: τα στρείδια τοποθετούνται πάνω στην παλιρροιακή ζώνη, απευθείας επάνω στον βυθό.
- Η καλλιέργεια σε πλωτές σειρές σχοινιών: τα στρείδια εκτρέφονται πάνω σε σχοινιά, όπως τα μύδια, σε μορφή long line. Η μέθοδος αυτή είναι κατάλληλη για καλλιέργεια σε περιοχές χωρίς παλίρροια ή στην ανοιχτή θάλασσα.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η βασική διαφορά μεταξύ των οστρακοκαλλιεργειών και των ιχθυοκαλλιεργειών είναι η έλλειψη χορήγησης τροφής και φαρμακευτικών αγωγών. Τα όστρακα λαμβάνουν την τροφή τους από το φυσικό περιβάλλον και αποβάλλουν τα ψευδοπεριττώματα και τα οργανικής φύσης περιττώματά τους. Αυτά καθιζάνουν στον πυθμένα κάτω από τον χώρο της καλλιέργειας και η τυχόν διασπορά τους εξαρτάται από την ταχύτητα ιζηματοποίησής τους καθώς και από τα υφιστάμενα υδάτινα ρεύματα και το βάθος της περιοχής κάτω από την εκτροφή.

Επιπλέον, οι καλλιεργητικές πρακτικές στις τύπου long line μονάδες απαιτούν την αραίωση των πληθυσμών της αρμαθιάς. Τα μύδια που αφαιρούνται, πρέπει να τοποθετούνται στα μυδοκαλλιεργητικά «πάρκα» ώστε να διασφαλίζεται η διαρκής παραγωγή γόνου. Σε πολλές όμως περιπτώσεις εξαιτίας κακών πρακτικών, αυτά εγκαταλείπονται στον πυθμένα του χώρου των καλλιεργειών. Επίσης, εκεί καταλήγουν και αρμαθιές μυδιών σε περίπτωση ατυχήματος ή αστοχίας υλικών. Η αποσύνθεση των νεκρών μυδιών οδηγεί σε μείωση του διαλυμένου οξυγόνου και την εμφάνιση αναερόβιων συνθηκών. Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε μυδοκαλλιέργειες, που εφαρμόζουν το σύστημα εκτροφής long line στο Θερμαϊκό κόλπο, διαπιστώθηκε ότι η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου κάτω από τις καλλιέργειες ήταν σημαντικά χαμηλότερη (5 – 6 mg O₂/ℓ) σε σύγκριση με τις τιμές για τα αντίστοιχα βάθη εγγύτερα προς στην ακτή ή και μακρύτερα προς την ανοικτή θάλασσα (7-10 mg O₂/ℓ). Το γεγονός αποδόθηκε στην αερόβια αποσύνθεση της αυξημένη συγκέντρωση οργανικής ύλης κάτω από τις μυδοκαλλιέργειες, (Κατσούλης και συν., 1999). Δεδομένου ότι η συγκέντρωση του οργανικού υλικού επήλθε μόλις στα τέσσερα χρόνια της λειτουργίας της μυδοκαλλιέργειας, επιτείνει την προσοχή για τη μελέτη της διασποράς των αποβλήτων της.

Σε ορισμένες περιπτώσεις η πυκνότητα και το μέγεθος των μονάδων μυδοκαλλιεργειών του τύπου long line παρεμποδίζουν την κίνηση των υδάτινων ρευμάτων στην περιοχή και ως εκ τούτου τη διασπορά των αποβλήτων τους. Το φαινόμενο αυτό διαπιστώθηκε σε περιοχή μυδοκαλλιεργειών του Θερμαϊκού κόλπου, όταν τα θαλάσσια ρεύματα κινούνται καθέτως προς τη διάταξη των καλλιεργειών, (Κιλικίδης και συν., 1998).

Στο σχήμα 14, δίνεται αντιπροσωπευτικά, η τύχη του αζώτου σε περιοχή όπου εκτρέφονται μύδια με το σύστημα long line, (Καμαριανός, 2000).



Σχήμα 14. Η τύχη του αζώτου σε περιοχή όπου εκτρέφονται μύδια με το σύστημα long line.

2.3 Υποδομές των υδατοκαλλιεργειών στο χερσαίο περιβάλλον

Η αδειοδότηση των υδατοκαλλιεργειών συμπεριλαμβάνει και τη κατασκευή και χρήση βοηθητικών υποδομών της μονάδας. Στη περίπτωση των καλλιεργειών σε πλωτές εγκαταστάσεις οι βοηθητικές υποδομές τοποθετούνται στην παράκτια περιοχή και για πρακτικούς λόγους εγγύτατα στην ακτογραμμή. Οι υποδομές αυτές χαρακτηρίζονται είτε ως «συνοδές» είτε ως «υποστηρικτικές» της υδατοκαλλιέργειας. Στις «συνοδές» υποδομές περιλαμβάνονται οι προβλήτες, τα αντλιοστάσια του νερού, οι αποθηκευτικοί χώροι των τροφών και των υλικών κατασκευής των πλωτών μέσων, οι χώροι παραμονής των εργαζομένων, οι δρόμοι κυκλοφορίας των οχημάτων και οι υποδομές μεταφόρτωσης των προϊόντων. Στις «υποστηρικτικές» υποδομές περιλαμβάνονται: οι ιχθυογεννητικοί σταθμοί, οι χώροι παραγωγής γόνου (π.χ. εκκολαπτήρια), οι χώροι παρασκευής τροφής για τα πρώιμα στάδια ανάπτυξης (φυτοπλαγκτόν, ζωοπλαγκτόν), οι χώροι προ-πάχυνσης των ψαριών και οι εγκαταστάσεις συντήρησης ή συσκευασίας των αλιευμάτων.

Στην περίπτωση των οστρακοκαλλιεργειών στις χερσαίες εγκαταστάσεις συναντώνται επιπλέον δεξαμενές εξυγίανσης και κέντρα αποκελύφωσης.

Η δραστηριότητες των χερσαίων αυτών υποδομών προκαλεί την παραγωγή απορριμμάτων (άχρηστα υλικά από τη λειτουργία της υδατοκαλλιέργειας, των βοηθητικών εγκαταστάσεων αλλά και της ανθρωπογενούς δραστηριότητας στους χώρους της μονάδας) αλλά και αποβλήτων (νεκροί καλλιεργούμενοι οργανισμοί, κελύφη οστρακοειδών). Το κόστος της διαχείρισης των απορριμμάτων και αποβλήτων βαρύνει την υδατοκαλλιεργητική επιχείρηση.

Γ. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΤΟ ΥΔΑΤΙΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Γ.1 Η χρήση μαθηματικών υποδειγμάτων (μοντέλα).

Η εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη λειτουργία των υδατοκαλλιέργειών εξαρτάται πρωταρχικά από το σύστημα που εφαρμόζεται για την καλλιέργειά τους.

Οι πλωτές υδατοκαλλιέργειες υφίστανται την επίδραση πολλών παραμέτρων (π.χ. είδος καλλιεργούμενου οργανισμού, μέγεθος μονάδας, βάθος περιοχής, ρεύματα νερών, τρόπος χορήγησης της τροφής, μέθοδος εφαρμογής φαρμακευτικών αγωγών κ.α.) που επηρεάζουν το μέγεθος και την έκταση της διασποράς των εκροών τους, άρα και της ρύπανσης που προκαλούν.

Η κάθε περίπτωση (ιχθυοκαλλιεργητική μονάδα) θα πρέπει να αντιμετωπίζεται ξεχωριστά με τον προσδιορισμό του «αποτυπώματός» της (foot print) στον πυθμένα της περιοχής της. Για τον σκοπό αυτό έχουν δημιουργηθεί πολλά μαθηματικά υποδείγματα (μοντέλα προσομοίωσης) σύμφωνα με τα οποία προσδιορίζεται η διασπορά των ρύπων που προέρχονται από πλωτές ιχθυοκαλλιέργειες στο υδάτινο περιβάλλον. Όπως για παράδειγμα, η οριζόντια απόσταση διασποράς των αποβλήτων και των υπολειμμάτων της τροφής από ιχθυοκαλλιέργεια σε πλωτούς κλωβούς δίνεται κατά τους *Gowen and Brandbury, (1987)*, από τη σχέση:

$$D = d V / v$$

όπου:

D = η οριζόντια απόσταση διασποράς (m)

d = το βάθος κάτω από τους κλωβούς (m)

V = η ταχύτητα των ρευμάτων (m/sec)

v = η ταχύτητα καθιζήσεως των αποβλήτων και των υπολειμμάτων της τροφής (m/sec).

Το παραπάνω υπόδειγμα αφορά αποκλειστικά στη διασπορά των αιωρούμενων στερεών και όχι βεβαίως των ρύπων οι οποίοι, σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό, υδρολύονται, φωτολύονται, βιοδιασπώνται, βιοσυγκεντρώνονται ή έχουν άμεση ή έμμεση τοξική δράση τόσο στους υδρόβιους οργανισμούς που εκτρέφονται όσο και σε αυτούς που διαβιούν ελεύθεροι στο υδάτινο οικοσύστημα. Ιδιαίτερο πρόβλημα φαίνεται να αποτελούν τα αντιβιοτικά και κυρίως τα αντιπαρασιτικά φάρμακα, ιδίως σε οργανισμούς μη στόχους, όπως είναι οι πλαγκτονικοί και οι βενθικοί οργανισμοί.

Η χρήση αντιβιοτικών στις ιχθυοκαλλιέργειες φαίνεται να μειώνεται καθώς η αντίληψη της πρόληψης της εμφάνισης ασθενειών τείνει στη χρήση εμβολίων. Τα αντιπαρασιτικά όμως φάρμακα ιδίως για την αντιμετώπιση της ψείρας (sea louse) του σολομού και του λαβρακιού, παρουσιάζουν τοξική δράση σε οργανισμούς μη στόχους ακόμη και σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις.

Οι *Cromey CJ et al., (2012)* χρησιμοποίησαν το μαθηματικό μοντέλο MERAMOD προκειμένου να προβλέψουν τις εναποθέσεις και τις επιπτώσεις στον πυθμένα της Ανατολικής Μεσογείου από τη λειτουργία ιχθυοκαλλιεργητικών μονάδων τσιπούρας και λαβρακιού. Όπως προκύπτει, από τις απόψεις διάφορων ερευνητών (*Rico et al., 2016*), η χρήση μοντέλων για την πρόβλεψη της τύχης των χημικών ουσιών (π.χ. φαρμακευτικές δραστικές ουσίες), όταν αυτές χορηγούνται μέσω της τροφής, είναι εφικτή. Απαιτείται όμως η επαλήθευση των μοντέλων μετά από τη συγκέντρωση μεγάλου αριθμού δεδομένων και η προσαρμογή τους στη χρησιμοποίησή τους στις επιπτώσεις από τη χρήση φαρμακευτικών δραστικών ουσιών, όπως για παράδειγμα τα αντιβιοτικά.

Αντίθετα οι υδατοκαλλιέργειες σε συστήματα τεχνητών δεξαμενών - λεκανών, καταλήγουν συνήθως σε ενιαίο σύστημα αποχέτευσης των υδάτινων εκροών τους, οι οποίες ελέγχονται ευκολότερα ως προς την ποιότητά τους και είναι δυνατόν να διαχειριστούν με διάφορες μεθόδους

(π.χ. χρήση φίλτρων, βιολογικός καθαρισμός) πριν καταλήξουν στον τελικό αποδέκτη. Θα μπορούσαμε να χαρακτηρίσουμε τις εκροές των συστημάτων των τεχνητών δεξαμενών – λεκανών ως σημειακές πηγές ρύπανσης. Δηλαδή, να τις προσομοιάσουμε ή και να τις διαχειριστούμε με αντίστοιχες πηγές ρύπανσης από άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες (αστικές, βιομηχανικές) - με σημαντική όμως διαφοροποίηση - τις μεγάλες ποσότητες ύδατος που χρησιμοποιούνται στις υδατοκαλλιέργειες.

Οι *Rico and Van den Brink (2009)*, παρουσίασαν το μαθηματικό υπόδειγμα ERA-AQUA για την πιθανή εκτίμηση των κινδύνων που προκύπτουν από τη χρήση φαρμακευτικών δραστικών ουσιών σε υδατοκαλλιέργειες παγκάσιου (*pangasius*) και γαρίδας με το σύστημα των λεκανών εκτροφής. Σύμφωνα με τα αποτελέσματά τους, κατά μέσο όρο το 25% των φαρμακευτικών ουσιών που χρησιμοποιούνται σε λεκάνες εκτροφής, καταλήγει στο περιβάλλον.

Γ.2 Η εκτίμηση της δράσης των φαρμάκων στο υδάτινο περιβάλλον.

Η χορήγηση φαρμακευτικών σκευασμάτων στα ζώα αποσκοπεί τόσο στην προληπτική όσο και στη θεραπευτική αγωγή τους απέναντι σε κινδύνους που διατρέχει η υγεία τους. Τα φαρμακευτικά σκευάσματα αποτελούνται από μια ή και περισσότερες δραστικές ουσίες και το έκδοχό τους, δηλαδή το υλικό πάνω στο οποίο είναι ενσωματωμένες ή διαλυμένες οι ουσίες αυτές.

Στην περίπτωση των ψαριών - που αποτελούν τρόφιμο για τον άνθρωπο - σημαντική ιδιότητα των δραστικών ουσιών αποτελεί η μέγιστη ποσότητά τους, είτε ως έχουν είτε ως μεταβολίτες τους, που κατακρατείται από τους ζωικούς ιστούς και ο χρόνος απέκκρισής τους. Οι κύριοι οδοί απέκκρισης των φαρμακευτικών δραστικών ουσιών είναι το ουροποιητικό (ούρα) και πεπτικό (κόπρανα) σύστημα. Σε πολλές περιπτώσεις η απέκκριση του μεγαλύτερου ποσοστού της χορηγούμενης ποσότητας (θεραπευτικής δόσης) των ουσιών αυτών γίνεται σε σύντομο χρονικό διάστημα, δηλαδή εντός ολίγων ημερών, αλλά σε πολλές περιπτώσεις η απέκκριση εξακολουθεί και συνεχίζεται για αρκετά περισσότερο χρονικό διάστημα. Στις πλωτές ιχθυοκαλλιέργειες, επιπρόσθετα χρησιμοποιούνται οι σάκοι θεραπείας, μέσα στους οποίους γίνεται η διάλυση των φαρμακευτικών σκευασμάτων (εξω- παρασιτοκτόνα ή αναισθητικά) και η εμφύσηση των υπό θεραπεία ψαριών.

Γίνεται λοιπόν ορατός ο **κίνδυνος της διασποράς** των κτηνιατρικών φαρμακευτικών δραστικών ουσιών στο περιβάλλον, τόσο με την απευθείας διάλυση των ίδιων των ουσιών όσο και με την μεταφορά και την έκπλυση του οργανικού υλικού πάνω στο οποίο είναι προσκολλημένες. Η διασπορά αυτή έχει ως αποτέλεσμα τη ρύπανση των επιφανειακών και υπόγειων υδατοσυλλογών με δραστικές ουσίες κτηνιατρικών φαρμάκων οι οποίες φυσικά συνεχίζουν τη δράση τους πάνω σε οργανισμούς μη στόχους όπως π.χ. τη μικροβιακή πανίδα της περιοχής, τους βενθικούς και τους άλλους μικροοργανισμούς που επιτελούν το έργο της αποδόμησης της οργανικής ύλης και τη μετατροπή της σε ανόργανη (σαπροφυτική τροφική αλυσίδα). Η δράση αυτή συνίσταται είτε στο **θάνατο των μικροοργανισμών** αυτών, είτε σε **διαταραχή της αναπαραγωγικής** τους ικανότητας, είτε τέλος στη **δημιουργία ανθεκτικών στελεχών** απέναντι στις δραστικές κτηνιατρικές φαρμακευτικές ουσίες. Οι δράσεις αυτές αφορούν τόσο στους υδρόβιους φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς όσο και στους βενθικούς. Στον Πίνακα 6, δίνονται τα φαρμακευτικά σκευάσματα που έχουν αδειοδοτηθεί στις κύριες ιχθυοπαραγωγές χώρες της Ε.Ε. (έως το 2016) για χρήση στις υδατοκαλλιέργειες.

Με στόχο την προστασία του περιβάλλοντος από τη χρήση κτηνιατρικών φαρμακευτικών δραστικών ουσιών, ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Φαρμάκων (EMA), προχώρησε μετά το 2000 στην έκδοση δύο Κατευθυντηρίων Οδηγιών:

την *CVMP/VICH Topic GL6* (Ecotoxicity Phase I). Guideline on Environmental Impact Assessment (EIAs) for Veterinary Medicinal Products - Phase I (2000), γνωστή ως Φάση I, και την *CVMP/VICH Topic GL38*. Guideline on Environmental Impact Assessment for Veterinary Medicinal Products - Phase II (2005), γνωστή ως Φάση II.

Στη συνέχεια, εξέδωσε επεξηγηματική Οδηγία για τη χρήση των Φάσεων I και II, (*EMEA/ CVMP/ ERA/418282/2005-Rev.1*).

Πίνακας 6. Τα φαρμακευτικά σκευάσματα που έχουν αδειοδοτηθεί στις κύριες ιχθυοπαραγωγές χώρες της Ε.Ε. (έως το 2016) για χρήση στις υδατοκαλλιέργειες.

Δραστική ουσία	Νορβηγία	Ενωμένο Βασίλειο	Ελλάδα	Ισπανία	Ιταλία
Αντιβιοτικά					
Florfenicol	x	AS	GS, ES	RT	x*
Oxytetracycline		AS, RT	GS, ES	AS, RT, TB, GS, EE, ES, CC	x
Chlortetracycline			GS, ES		x
Amoxicillin		AS	GS, ES		
Flumequine			GS, ES	RT	x
Sulfadiazine-trimethoprim	x		GS, ES		x
Oxolinic acid	x		GS, ES		
Αντιπαρασιτικά					
Azamethiphos	x	AS			x*
Teflubenzuron	x	AS			
Diflubenzuron	x				
Emamectin benzoate	x	AS	GS, ES	AS, RT	
Deltamethrin	x	AS, RT			
Cypermethrin	x				
Hydrogen Peroxide	x	AS	GS, ES		
Formaldehyde			GS, ES	GS, TB	
Antifungals					
Bronopol		AS, RT		AS, RT	

AS: σολομός, RT: πέστροφα, GS: τσιπούρα, ES: λαβράκι, TB: καλκάνι, EE: χέλι, CC: κυπρίνος, x: σύμφωνα με τη Νορβηγική Νομοθεσία, x*: σε ειδικές περιπτώσεις μετά από κτηνιατρική συνταγή. (Rico A. et al., 2016)

Η εφαρμογή των παραπάνω Κατευθυντηρίων Οδηγιών άρχισε για την Ελλάδα το 2006, γεγονός το οποίο σημαίνει ότι κανένα κτηνιατρικό σκεύασμα δεν αδειοδοτείται, χωρίς ο φάκελος που κατατίθεται στο Εθνικό Οργανισμό Φαρμάκων (ΕΟΦ) να περιέχει και την αντίστοιχη μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη χρήση των δραστικών φαρμακευτικών ουσιών ή και σπανιότερα από τα έκδοχά τους. Η εκτίμηση των «περιβαλλοντικών επιπτώσεων» είναι υποχρεωτική για όλες τις νέες αιτήσεις άδειας κυκλοφορίας, ανεξάρτητα από τη διαδικασία ή τον τύπο υποβολής και ως ετούτου απαιτείται σε ολόκληρη την Ευρωπαϊκή Ένωση.

Η μελέτη της Εκτίμησης των Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων ((Environmental Impact Assessment, EIAs) από τη χρήση των δραστικών φαρμακευτικών ουσιών ή και από τα έκδοχά τους, πρέπει να περιλαμβάνει όλα τα δεδομένα που απαιτούνται από τις κατευθυντήριες οδηγίες Φάση I

(GL6) ή και Φάση II (GL38). Τα δεδομένα αυτά αφορούν αποκλειστικά στην/στις δραστική/ές ουσία/ές του σκευάσματος και σε καμία περίπτωση παρόμοιες ή συγγενείς τους.

Τι στοιχεία του σκευάσματος απαιτούνται για EIAs στη Φάση I.

Για την κρίση ενός σκευάσματος σε ότι αφορά την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων κατά τη διαδικασία της Φάσης I (VICH GL6) απαιτούνται:

1. Η περιγραφή των χαρακτηριστικών των δραστικών ουσιών και των άλλων συστατικών του σκευάσματος.
2. Οι προτεινόμενες ενδείξεις για θεραπευτική αγωγή.
3. Το είδος, το παραγωγικό στάδιο και η μέθοδος εκτροφής των υδρόβιων οργανισμών για τη θεραπεία των οποίων προορίζεται το σκεύασμα. Ως κύριο είδος, σύμφωνα με τη νομοθεσία, χαρακτηρίζεται ο σολομός του Ατλαντικού. Η ίδια νομοθεσία ισχύει και για όλα τα είδη ψαριών τα οποία εκτρέφονται όπως αυτός.
4. Ο τρόπος χορήγησης, η ακριβής δοσολογία της θεραπευτικής αγωγής ανά Kg ζώντος βάρους και η μέγιστη χρονική διάρκεια της θεραπευτικής αγωγής.
5. Ο μέγιστος αριθμός των επαναλήψεων της θεραπευτικής αγωγής ετησίως.

Η Εκτίμηση των Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων κατά τη Φάση I στοχεύει στον υπολογισμό της ποσότητας των δραστικών ουσιών που θα απορριφθούν στο υδάτινο περιβάλλον. Ως όριο της Εισαγόμενης στο υδάτινο Περιβάλλον Συγκέντρωσης των δραστικών ουσιών (Environmental Introduction Concentration, **EIC aquatic**), για την αποδοχή έλλειψης κινδύνου για το περιβάλλον, ορίζεται το 1μg της ουσίας/ℓ νερού. Για κάθε ουσία, της οποίας η προβλεπόμενη συγκέντρωση στο περιβάλλον (EIC aquatic), είναι μεγαλύτερη από τα παραπάνω όρια απαιτείται συνέχεια της έρευνας, ως προς τους περιβαλλοντικούς κινδύνους, σύμφωνα με τα κριτήρια της Φάσης II. Εξαιρέση αποτελούν τα αντιπαρασιτικά σκευάσματα για τα ψάρια που παραπέμπονται απ' ευθείας στα κριτήρια της Φάσης II. Τέλος, στην περίπτωση σκευάσματος που περιέχει συνδυασμό δραστικών ουσιών εφόσον αυτές δρουν με παρόμοιο τρόπο τότε ελέγχεται και ως προς το άθροισμα του EIC aquatic αυτών, το οποίο φυσικά δεν πρέπει να υπερβαίνει τα όρια που προαναφέρθηκαν.

Βασικές αρχές για την κρίση των σκευασμάτων κατά τη Φάση II (VICH GL38)

Η Φάση II διαχωρίζεται σε δύο (2) επίπεδα ελέγχου: το Επίπεδο A (Tier A) και το Επίπεδο B (Tier B). Η διαδικασία της αξιολόγησης ξεκινά από το Επίπεδο A και εφόσον δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις του συνεχίζεται με τη διαδικασία του Επιπέδου B. Σε κάθε επίπεδο απαιτούνται να κατατεθούν τεκμηριωμένα στοιχεία που αφορούν:

A. Τις φυσικοχημικές ιδιότητες των δραστικών ουσιών του σκευάσματος όπως η διαλυτότητα στο νερό, η σταθερά διάστασης στο νερό (pKa), το φάσμα απορρόφησης ορατού-υπεριώδους, το σημείο / περιοχή τήξης, η πίεση ατμών και ο συντελεστής η-οκτανόλης/ ύδατος (logKow).

B. Την «τύχη» των δραστικών ουσιών στο περιβάλλον, όπως η απορρόφηση/απομάκρυνση από το έδαφος (K_d/K_{oc}), η βιοαποδόμηση στο νερό, η φωτόλυση, και η υδρόλυση.

Γ. Την επίδραση των δραστικών ουσιών σε οργανισμούς μη-στόχους της θεραπευτικής αγωγής. Για τα σκευάσματα που χρησιμοποιούνται σε υδρόβιους καλλιεργούμενους οργανισμούς των γλυκών νερών οι μελέτες αφορούν στην επίδραση της δραστικής ουσίας στην αναστολή ανάπτυξης αλγών (cyanobacteria), στην κινητικότητα της daphnia και στην οξεία τοξική δράση στα ψάρια. Αντίστοιχα για τα σκευάσματα που χρησιμοποιούνται σε υδρόβιους καλλιεργούμενους οργανισμούς των γλυκών νερών οι μελέτες αφορούν στην επίδραση της δραστικής ουσίας στην αναστολή ανάπτυξης αλγών, στην οξεία τοξική δράση στα μαλακόστρακα και στην οξεία τοξική δράση στα ψάρια.

Οι μέθοδοι (πρωτόκολλα) με τις οποίες γίνονται οι παραπάνω μελέτες καθώς και το τελικό σημείο αναφοράς (LC₅₀, EC₅₀, NOEC) της τοξικότητας των δραστικών ουσιών δίνονται, σε κάθε περίπτωση, από την Κατευθυντήριο Οδηγία (VICH GL38). Είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν και δεδομένα από βιβλιογραφικές πηγές αρκεί αυτές να πληρούν τις προϋποθέσεις εγκυρότητας που θέτει η VICH GL38.

Η κρίση των σκευασμάτων κατά τη διαδικασία της Φάσης II στηρίζεται στην έννοια του «**Πηλίκου Κινδύνου**» (Risk Quotient, RQ), που έχει ως αριθμητή την τιμή Προβλεπόμενη Συγκέντρωση στο Περιβάλλον (PEC) και παρονομαστή την Προβλεπόμενη Συγκέντρωση Χωρίς Επιπτώσεις (PNEC) σε οργανισμούς μη στόχους. Όπως έχει ήδη αναφερθεί η τιμή PEC αντιπροσωπεύει την εκτίμηση της συγκέντρωσης της δραστικής ουσίας στα υδάτινα οικοσυστήματα (EIC aquatic). Η τιμή PNEC προσδιορίζεται από τα αποτελέσματα των μελετών της επίδρασης των δραστικών ουσιών ή και των μεταβολιτών τους σε προκαθορισμένους οργανισμούς μη στόχους, αφού διαιρεθούν δια ενός Παράγοντα Εκτίμησης (AF) που εξαρτάται (τιμές 10 – 1000) από το μέγεθος των πληροφοριών που διαθέτουμε.

Πως γίνεται η κρίση του σκεύασματος στη Φάση II – Επίπεδο Α.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η κρίση στη Φάση II στηρίζεται στην έννοια του «Πηλίκου Κινδύνου» (Risk Quotient, RQ), όπου: $RQ = PEC / PNEC$

Το **RQ** εφαρμόζεται για κάθε οργανισμό μη στόχο (έναν για κάθε ταξινομικό είδος) από τις κατηγορίες (χερσαίες και υδάτινες) που προαναφέρθηκαν και η τιμή του προκειμένου να σταματήσει η διαδικασία αξιολόγησης και να εγκριθεί το σκεύασμα πρέπει να είναι **RQ < 1**, για όλες τις περιπτώσεις. **Η τιμή PEC** που θα χρησιμοποιηθεί για τα υδρόβια είδη (PEC surface water) είναι αυτή που προκύπτει από την εφαρμογή των μοντέλων – εξισώσεων που περιγράφονται στην κατευθυντήριο οδηγία EMEA/CVMP/ERA/418282/2005-Rev.1. (με τη λογική ότι όλη η δραστική ουσία που χορηγήθηκε, απεκκρίνεται στο περιβάλλον). **Η τιμή PNEC** για κάθε ταξινομικό είδος, προκύπτει από τις μελέτες της επίδρασης της/των δραστικής/ών ουσίας/ών στους οργανισμούς μη στόχους όπως αυτοί καθορίζονται στα πλαίσια της Φάσης II (GL38).

Εάν, έστω και σε μια (1) περίπτωση το $RQ \geq 1$ τότε το σκεύασμα παραπέμπεται προς κρίση με βάση τα κριτήρια του Επιπέδου B (Tier B) της Φάσης II., εκτός εάν ληφθούν υπόψη «ελαφρύνσεις» (mitigations):

Στις περιπτώσεις που το $RQ \geq 1$ μπορούν να ληφθούν υπόψη «ελαφρύνσεις» (mitigations), ώστε να γίνει **επαναπροσδιορισμός (refine) του αρχικού PEC** που βασίζονται: στον μεταβολισμό, στην απέκκριση και στην αποδόμηση στο νερό. Οι εξισώσεις που προσδιορίζουν αυτές τις «ελαφρύνσεις» περιγράφονται λεπτομερώς στην κατευθυντήριο οδηγία EMEA/CVMP/ERA/ 418282/2005-Rev.1

Τέλος, γίνεται επανεκτίμηση των RQ με τη χρήση του επαναπροσδιορισμένου PEC_{refine} . Εφόσον και **πάλι** ένα τουλάχιστον RQ είναι ≥ 1 , τότε το σκεύασμα παραπέμπεται για κρίση στο **Επίπεδο B** (Tier B) της Φάσης II, μόνον όμως για τις περιπτώσεις όπου $RQ \geq 1$. Επιπλέον όμως απαιτούνται μελέτες σχετικά με τη σχέση $PEC_{\text{ιζηματοσ}}/PNEC_{\text{ιζηματοσ}}$ που αφορά τους ασπόνδυλους βενθικούς οργανισμούς και μελέτες σχετικά με τη βιοσυγκέντρωση της δραστικής ουσίας στα ψάρια (στην περίπτωση όπου ο συντελεστής K_{ow} είναι μεγαλύτερος του 4).

Στο Επίπεδο B της Φάσης II, σε γενικές γραμμές επαναλαμβάνονται οι μέθοδοι (πρωτόκολλα) με τις οποίες έγιναν οι μελέτες του Επιπέδου A με διαφορετικό όμως τελικό σημείο αναφοράς (LC₅₀, EC₅₀, NOEC) της τοξικότητας των δραστικών ουσιών δίνονται, σε κάθε περίπτωση, από την Κατευθυντήριο Οδηγία (VICH GL38). Εφόσον το σκεύασμα στο τέλος της διαδικασίας αξιολόγησης, με τα κριτήρια που καθορίζονται στο Επίπεδο B της Φάσης II, δεν πληροί τις

προϋποθέσεις για την έγκρισή του η διαδικασία αξιολόγησης μπορεί να συνεχιστεί και με περαιτέρω έρευνα που αποσκοπεί στην τεκμηρίωση των επιπτώσεων από τη χρήση του στο υδάτινο περιβάλλον.

Με δεδομένο ότι η κατευθυντήριος οδηγία GL 38 δεν αναφέρει το είδος των μελετών που απαιτούνται ως συνέχεια της διαδικασίας κρίσης μετά το Επίπεδο Β (Tier B), οι μελέτες αυτές θα μπορούσαν να συμπεριλάβουν τα ακόλουθα:

- Να μελετηθούν περισσότερα ταξινομικά είδη σε εργαστηριακή κλίμακα
- Να μελετηθούν περισσότερα σύνθετα συστήματα με ποικιλία ειδών.
- Να μελετηθούν οι επιπτώσεις με έρευνα πεδίου.

Τέλος, σε πολλές περιπτώσεις κρίνεται απαραίτητο να χρησιμοποιούνται προειδοποιήσεις - μέτρα μείωσης του κινδύνου - για την επικινδυνότητα του σκευάσματος ως προς τις επιπτώσεις από τη χρήση του, για το υδάτινο περιβάλλον. Οι προειδοποιήσεις αυτές αναγράφονται στη συσκευασία και στο εσώκλειστο φυλλάδιο που συνοδεύει το σκεύασμα. Η τήρηση αυτών επαφίεται στον αρμόδιο κτηνίατρο που συνταγογραφεί και στον ιδιοκτήτη της μονάδας που θα εφαρμόσει τη θεραπεία.

Γ.3 Η αντιμετώπιση της ανάπτυξης επικαθήσεων, (fouling).

Οποιοδήποτε φυσικό ή τεχνητό στερεό υλικό βρίσκεται σε επαφή με το νερό αποτελεί υπόστρωμα επικαθήσεως και στη συνέχεια ανάπτυξης υδρόβιων μικροοργανισμών, όπως: βακτήρια, μύκητες, φύκη, σκώληκες, αρθρόποδα, κ.α.

Στις μονάδες οστρακοκαλλιέργειας η επίδραση αυτών των επικαθήσεων είναι άμεση επάνω στους καλλιεργούμενους οργανισμούς με αποτέλεσμα την καταστροφή των οστράκων, τη διακοπή ή τον περιορισμό της φυσιολογικής τους λειτουργίας, την επίδραση στη διατροφή τους και στο αναπνευστικό τους και τέλος στην ανάπτυξη ανταγωνιστικών δράσεων και τη μεταβολή των ποιοτικών χαρακτηριστικών του υδάτινου οικοσυστήματος.

Αντίθετα, η επικαθήση και η ανάπτυξη αυτών των οργανισμών στις επιφάνειες των εγκαταστάσεων των μονάδων ιχθυοκαλλιέργειας προκαλεί προβλήματα όπως: α) τη διάβρωση των επιφανειών εξαιτίας των εκκρίσεων από τους οργανισμούς, β) την αύξηση του βάρους των εγκαταστάσεων, γ) τη μείωση της ροής του ύδατος εντός των ιχθυοκλωβών με αποτέλεσμα τη μείωση της ανανέωσης του, δ) τη μείωση της υδροδυναμικής συμπεριφοράς των σκαφών, γεγονός που επηρεάζει την ικανότητα ελιγμών και στη μείωση της ταχύτητάς τους, (Γατίδου Γ., 2005).

Είναι λοιπόν απαραίτητος ο συχνός και επαναλαμβανόμενος καθαρισμός και η συντήρηση όλων των παραπάνω εγκαταστάσεων. Προκειμένου να περιοριστεί η συχνότητα καθαρισμού, οι επιφάνειες των σκαφών, των δικτύων και των άλλων εγκαταστάσεων επικαλύπτονται (βάφονται οι επιφάνειες τους) ή εμβαπτίζονται (τα δίκτυα) με χημικές ενώσεις που αποτρέπουν ποικιλοτρόπως την ανάπτυξη των υδρόβιων μικροοργανισμών και οι οποίες χαρακτηρίζονται ως βιοκτόνα.

Τα βιοκτόνα (biocides) είναι χημικές ουσίες οι οποίες αναστέλλουν τη δράση ή θανατώνουν μικροοργανισμούς και χρησιμοποιούνται στις ιχθυοκαλλιέργειες προκειμένου να μειώσουν την ανάπτυξη των φυτικών οργανισμών στις εγκαταστάσεις των μονάδων και κυρίως στα δίκτυα των πλωτών ιχθυοκαλλιεργειών, (Guardiola et al, 2012). Η χρήση βιοκτόνων, έχει ως αποτέλεσμα: α) τη βιοσυγκέντρωσή τους στα καλλιεργούμενα είδη και την είσοδο τους στην τροφική αλυσίδα και στο άνθρωπο ως τελικό καταναλωτή, β) την εκδήλωση της τοξικής τους δράσης σε υδρόβιους οργανισμούς μη - στόχους, και γ) την ανάπτυξη μηχανισμών αντίστασης των βακτηρίων.

Οι ενώσεις που κυρίως χρησιμοποιήθηκαν διεθνώς ανήκουν στις οργανοκασσιτερικές (organotin), όπως είναι αυτές του τριβουτυλοκασσιτέρου (TBT), των οποίων η τοξική δράση οδήγησε πλέον στην αντικατάστασή τους από οργανικά ενισχυτικά βιοκτόνα (booster biocides) σε συνδυασμό με ενώσεις οξειδίων του χαλκού, (Omae Iwao, 2003, Konstantinou and Albanis, 2004).

Η χρονική διάρκεια της ζωής των βιοκτόνων κυμαίνεται από λίγες εβδομάδες έως 6 – 8 μήνες (Cotou et al., 2012).

Σε ορισμένες περιοχές οι συγκεντρώσεις χαλκού στο ίζημα, κοντά σε ιχθυοκαλλιέργειες, ξεπερνούν τις συγκεντρώσεις που συνιστούν οι οδηγίες για την καλή ποιότητα των ιζημάτων, (Simpson et al., 2013, Kalantzi et al., 2013). Επίσης, η χρήση βιοκτόνων με βάση τα οξειδία του χαλκού μπορεί να οδηγήσει σε βιοσυγκέντρωσή του στα ψάρια που διαβιούν στην ευρύτερη περιοχή της ιχθυοκαλλιέργειας, (Nikolaou et al., 2014). Σε σχετική έρευνα, οι Cotou et al., (2012), διαπίστωσαν ότι οι συγκεντρώσεις Cu είναι αυξημένες στα νερά, σε περιοχές ιχθυοκαλλιεργειών όπου χρησιμοποιείται ως βιοκτόνο και επηρεάζει αρνητικά το ανοσοποιητικό σύστημα του λαβρακιού, καθιστώντας το περισσότερο ευάλωτο σε ασθένειες. Η χρήση λοιπόν των οξειδίων χαλκού ως βιοκτόνων θα πρέπει να ελέγχεται τακτικά, με αντίστοιχες μετρήσεις στο υδάτινο περιβάλλον και στο ίζημα, ώστε να ρυθμίζεται η ποσότητα και η συχνότητα της εφαρμογής του, (Jerabek et al., 2016).

Τα τελευταία χρόνια η έρευνα στρέφεται στη χρήση βιολογικών μεθόδων για την καταπολέμηση των επικαθήσεων με τη χρήση γαστροπόδων, αχινών, οστρακόδερμων ή ακόμη και ψαριών (Tucker and Hargreaves, 2008).

Δ. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΤΟ ΥΔΑΤΙΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.

Οι παραγωγικές διαδικασίες είτε οι εκτατικές είτε ακόμη περισσότερο οι εντατικές δημιουργούν με τις εκροές τους προβλήματα στο περιβάλλον. Οι υδατοκαλλιέργειες, δεν αποτελούν εξαίρεση στον κανόνα, πολύ περισσότερο εξαιτίας του γεγονότος ότι η επίδρασή τους από και προς το περιβάλλον είναι άμεση. Η λήψη μέτρων τόσο για την αποφυγή της ρύπανσης των υδάτινων οικοσυστημάτων όσο και για επιτυχή όσο και την αειφόρο λειτουργία τους είναι επιβεβλημένη. Τα μέτρα αυτά περιλαμβάνουν:

- Τη χωροθέτηση των υδατοκαλλιεργητικών μονάδων σύμφωνα με τα περιβαλλοντικά κριτήρια και τη σχετική ισχύουσα νομοθεσία.
- Τη διατήρηση του πληθυσμού (βιομάζας) των υδρόβιων οργανισμών που εκτρέφονται στα επίπεδα που επιτρέπει η ποιότητα του οικοσυστήματος.
- Την εκπαίδευση του προσωπικού ώστε: οι εργασιακές τους δραστηριότητες να προκαλούν τη μικρότερη δυνατή ενόχληση (stress) στα ψάρια, να καταγράφουν με ακρίβεια όλες τις διαχειριστικές πρακτικές, να αντιλαμβάνονται τις αλλαγές στη συμπεριφορά, στη διατροφή και στην υγεία των ψαριών και να εφαρμόζουν με ακρίβεια τα απαιτούμενα προγράμματα εκτροφής και θεραπείας.
- Την ορθολογική χρήση ιχθυοτροφών η επιλογή των οποίων πρέπει να γίνεται σύμφωνα με τις διατροφικές ανάγκες των ψαριών σε κάθε στάδιο της ανάπτυξής τους και με βάση την πεπτικότητά τους. Οι φυσικές ιδιότητες των ιχθυοτροφών επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα της χορήγησής τους. Η αργή βύθιση τους στην υδάτινη στήλη επιτρέπει την ευκολότερη σύλληψη τους και τις μικρότερες απώλειες τους στο υδάτινο περιβάλλον. Επιπλέον ιχθυοτροφές που δεν θρυμματίζονται εύκολα συντελούν στις λιγότερες απώλειες.
- Την εφαρμογή κανόνων υγιεινής στις χειρσαίες συνοδευτικές εγκαταστάσεις με στόχο την παραγωγή υγιών ιχθυιδίων και την πρόληψη της μεταφοράς ασθενειών στην εκτροφή.
- Την εφαρμογή θεραπειών με τη χρήση αντιβιοτικών ή αντιπαρασιτικών μόνο μετά από κτηνιατρική γνώματευση. Για την επιτυχή έκβαση της αγωγής και την αποφυγή δημιουργίας ανθεκτικών στελεχών των μικροβίων, η χορήγηση φαρμακευτικών σκευασμάτων πρέπει να

αποφεύγεται για προληπτικούς λόγους και να χορηγείται μόνο θεραπευτικά. Αντίθετα, συνιστάται η χρήση εμβολίων ώστε να μειωθεί κατά το δυνατόν η χρήση φαρμάκων. Επίσης, θα πρέπει να τηρούνται οι χρόνοι αναμονής, για την αξιοποίηση των ψαριών μετά την εφαρμογή θεραπείας, ώστε να διασφαλίζεται η τήρηση του Ορίου της Μέγιστης Συγκέντρωσης των δραστικών ουσιών Maximum Residue Limit, MRL). Τέλος θα πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα για την ορθή διαχείριση των υπολειμμάτων των φαρμακευτικών σκευασμάτων είτε αυτά χορηγούνται μέσω τροφής είτε με τη χρήση σάκων θεραπείας αλλά και των συσκευασιών τους, ώστε να μειώνονται οι κίνδυνοι για το περιβάλλον και τους οργανισμούς μη στόχους.

- Την απομάκρυνση των νεκρών ψαριών από τους χώρους της εκτροφής που αποτελούν πηγή μόλυνσεων ή και μετάδοσης ασθενειών στους ελεύθερους υδρόβιους οργανισμούς. Επιπλέον αποτελούν πόλο έλξης των σαρκοφάγων υδρόβιων οργανισμών με αποτέλεσμα την πιθανή καταστροφή των εγκαταστάσεων.
- Την τήρηση της καταγραφής όλων των δεδομένων που αφορούν στην υγεία των ψαριών, στην ανάπτυξή τους, στους δείκτες μετατρεψιμότητας της τροφής και στις θεραπευτικές αγωγές που εφαρμόζονται.
- Τη συχνή, τουλάχιστον ετήσια, καταγραφή των δεδομένων για τις μεταβολές της ποιότητας του υδάτινου περιβάλλοντος και του ιζήματος της περιοχής. Οι ποιοτικές μεταβολές στο αποτύπωμα (foot print) του ιζήματος της περιοχής όπου χρησιμοποιούνται πλωτές μορφές υδατοκαλλιέργειών, σηματοδοτεί την ανάγκη για παρεμβάσεις στη λειτουργία τους όπως η υδρανάπαυση ή ακόμη και η μετεγκατάστασή τους.
- Την εφαρμογή μέτρων υδρανάπαυσης. Έχει ήδη αναφερθεί ότι η κύρια επίπτωση από τη χρήση πλωτών μεθόδων ιχθυοκαλλιέργειας είναι η καθίζηση σωματιδιακών υλικών που προκύπτουν από τη χορήγηση της τροφής και τις απεκκρίσεις των εκτρεφόμενων οργανισμών. Η υδρανάπαυση απαιτείται, όταν προκύπτει ότι εξαιτίας της λειτουργίας μονάδας ή μονάδων υδατοκαλλιέργειας, επικρατούν στην περιοχή ανασταλτικές συνθήκες ως προς την επαναφορά, στα φυσιολογικά επίπεδα, των φυσικοχημικών και βιολογικών χαρακτηριστικών του υδάτινου οικοσυστήματος. Η υδρανάπαυση στις περιπτώσεις αυτές, βοηθάει στην αποκατάσταση των συνθηκών αποικοδόμησης του οργανικού υλικού, μέσω της τροφικής αλυσίδας και την κατά περίπτωση επαναφορά των ποιοτικών χαρακτηριστικών του υδάτινου οικοσυστήματος. Η εφαρμογή της υδρανάπαυσης αποτελεί υποχρέωση του φορέα διαχείρισης.
- Την αποκατάσταση του χερσαίου και του υδάτινου χώρου μετά από παύση λειτουργίας της μονάδας. Τα κύρια προβλήματα που αφορούν στην εγκατάλειψη, είναι: των σημείων πρόσδεσης στο βυθό (αγκυροβόλια), των πασσάλων πρόσδεσης στις πασσαλωτού τύπου μονάδες των οστρακοκαλλιέργειών, και στις χερσαίες υποδομές και εγκαταστάσεις. Σε ότι αφορά στις χερσαίες εγκαταστάσεις αυτές πρέπει να απομακρυνθούν με ταυτόχρονη αποκατάσταση του χώρου ώστε να εναρμονίζεται με το φυσικό περιβάλλον.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Η διαλυτότητα του οξυγόνου ($mg\ O_2/\ell$) σε σχέση με τη θερμοκρασία ($^{\circ}C$) και την αλατότητα (*chlorinity*) του νερού σε συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης (101,3 kPa), (APHA, 2005).

TABLE 4500-O.I. SOLUBILITY OF OXYGEN IN WATER EXPOSED TO WATER-SATURATED AIR AT ATMOSPHERIC PRESSURE (101.3 kPa)¹

Temperature $^{\circ}C$	Oxygen Solubility mg/L					
	Chlorinity: 0	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0
0.0	14.621	13.728	12.888	12.097	11.355	10.657
1.0	14.216	13.356	12.545	11.783	11.066	10.392
2.0	13.829	13.000	12.218	11.483	10.790	10.139
3.0	13.460	12.660	11.906	11.195	10.526	9.897
4.0	13.107	12.335	11.607	10.920	10.273	9.664
5.0	12.770	12.024	11.320	10.656	10.031	9.441
6.0	12.447	11.727	11.046	10.404	9.799	9.228
7.0	12.139	11.442	10.783	10.162	9.576	9.023
8.0	11.843	11.169	10.531	9.930	9.362	8.826
9.0	11.559	10.907	10.290	9.707	9.156	8.636
10.0	11.288	10.656	10.058	9.493	8.959	8.454
11.0	11.027	10.415	9.835	9.287	8.769	8.279
12.0	10.777	10.183	9.621	9.089	8.586	8.111
13.0	10.537	9.961	9.416	8.899	8.411	7.949
14.0	10.306	9.747	9.218	8.716	8.242	7.792
15.0	10.084	9.541	9.027	8.540	8.079	7.642
16.0	9.870	9.344	8.844	8.370	7.922	7.496
17.0	9.665	9.153	8.667	8.207	7.770	7.356
18.0	9.467	8.969	8.497	8.049	7.624	7.221
19.0	9.276	8.792	8.333	7.896	7.483	7.090
20.0	9.092	8.621	8.174	7.749	7.346	6.964
21.0	8.915	8.456	8.021	7.607	7.214	6.842
22.0	8.743	8.297	7.873	7.470	7.087	6.723
23.0	8.578	8.143	7.730	7.337	6.963	6.609
24.0	8.418	7.994	7.591	7.208	6.844	6.498
25.0	8.263	7.850	7.457	7.083	6.728	6.390
26.0	8.113	7.711	7.327	6.962	6.615	6.285
27.0	7.968	7.575	7.201	6.845	6.506	6.184
28.0	7.827	7.444	7.079	6.731	6.400	6.085
29.0	7.691	7.317	6.961	6.621	6.297	5.990
30.0	7.559	7.194	6.845	6.513	6.197	5.896
31.0	7.430	7.073	6.733	6.409	6.100	5.806
32.0	7.305	6.957	6.624	6.307	6.005	5.717
33.0	7.183	6.843	6.518	6.208	5.912	5.631
34.0	7.065	6.732	6.415	6.111	5.822	5.546
35.0	6.950	6.624	6.314	6.017	5.734	5.464
36.0	6.837	6.519	6.215	5.925	5.648	5.384
37.0	6.727	6.416	6.119	5.835	5.564	5.305
38.0	6.620	6.316	6.025	5.747	5.481	5.228
39.0	6.515	6.217	5.932	5.660	5.400	5.152
40.0	6.412	6.121	5.842	5.576	5.321	5.078
41.0	6.312	6.026	5.753	5.493	5.243	5.005
42.0	6.213	5.934	5.667	5.411	5.167	4.933
43.0	6.116	5.843	5.581	5.331	5.091	4.862
44.0	6.021	5.753	5.497	5.252	5.017	4.793
45.0	5.927	5.665	5.414	5.174	4.944	4.724

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Alabaster, J.S. and Lloyd, R. (1980). Water Quality criteria for freshwater fish, 2nd end. *Butterworth, London*.
- APHA (2005). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition, *APHA, Washington DC*.
- Beveridge C.M. Malcolm (1996). Cage Aquaculture, 2nd edn. *Fishing News Books – Blackwell Science Ltd, Cambridge USA*.
- Carpenter S. R., Caraco N. F., Correll D. L., Howarth R. W., Sharpley A. N. and Smith V. H. (1998). Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications*, 8(3): 559-568.
- Cetinkaya Figen and Tulay Elal Mus (2012). Shellfish Poisoning and Toxins. *J. Biol. Environ. Sci.*, 2012, 6(17), 115-119.
- Chapman Deborah (1992). Water quality assessments. *Chapman & Hall, London, UK*.
- Creswell R.L. and McNevin A.A. (2008). Better management practices for bivalve molluscan aquaculture. In, Environmental best management practices for aquaculture. Tucker S. C and Hargreaves A.J. editors. *Wiley- Blackwell., Iowa USA*.
- Cromey CJ, Thetmeyer H, Lampadariou N, Black KD, Kögeler J, Karakassis I (2012). MERAMOD-predicting the deposition and benthic impact of aquaculture in the Eastern Mediterranean. *Aquaculture Environment Interactions* 2(2):157-176.
- CVMP/VICH Topic GL38. Guideline on Environmental Impact Assessment for Veterinary Medicinal Products - Phase II, CVMP/VICH/790/03-FINAL, *London, October 2005*
- CVMP/VICH Topic GL6 (Ecotoxicity Phase I). Guideline on Environmental Impact Assessment (EIAs) for Veterinary Medicinal Products - Phase I, CVMP/VICH/592/98-FINAL, *London, June 2000*.
- Dosis I., Kamarianos A., Athanasiadou M., Athanasiadis I., Karamanlis X.(2011) Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in marine sediments of Thermaikos gulf, Greece. *Intern. J. Environ. Anal. Chem.* 91 (12), 1151 – 1165, (2011).
- Dosis Ioannis, Ioannis Athanasiadis, Xanthippos Karamanlis (2016). Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in mussels from cultures and natural population. *Marine Pollution Bulletin* 107 (2016) 92–101, pp 92-101.
- EPA (2004). National recommended water quality criteria. *United States Environmental Protection Agency. EPA 2004*.
- EMA, European Medicines Agency CVMP (2008). Revised guideline on environmental impact assessment for veterinary medicinal products in support of the VICH guidelines GL6 and GL38; 2008 [EMA/CVMP/ERA/418282/2005-Rev.1].
- EUMOFA 2016. The EU Fish Market. <https://ec.europa.eu/fisheries/market-observatory>.
- Guardiola Francisco Antonio, Alberto Cuesta, José Meseguer and Maria Angeles Esteban (2012). Risks of Using Antifouling Biocides in Aquaculture. *Int. J. Mol. Sci.* 2012, 13, 1541-1560.
- Hargreaves A. John (1998). Review: Nitrogen biochemistry of aquaculture ponds. *Aquaculture* 166 (1998) 181-212.
- Huntington, T.C. and Hasan, M.R. (2009). Fish as feed inputs for aquaculture – practices, sustainability and implications: a global synthesis. In M.R. Hasan and M. Halwart (eds). Fish as feed inputs for aquaculture: practices, sustainability and implications. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 518. Rome, FAO. Pp. 1-61*.

- IRPTC (1978). Data profiles for chemicals for the evaluation of their hazards to the environment of the Mediterranean sea. Volume I. International Register of Potential Toxic Chemicals. *United Nations Environmental Programme. Geneva, 1978.*
- Jerabek S. Andrea, Kara R. Wall and Christopher D. Stallings (2016). A practical application of reduced-copper antifouling paint in marine biological research. *PeerJ. 2016; 4: e2213.*
- Jones-Lee Anne (2009). Information Needed to Apply the Vollenweider–OECD Eutrophication Study Results to Nutrient-Related Water Quality Evaluation in Domestic Water Supply Waterbodies. *G. Fred Lee & Associates, El Macero, California. March 16, 2009.*
- Kalantzi I, Shimmield TM, Pergantis SA, Papageorgiou N, Black KD, Karakassis I (2013a) Heavy metals, trace elements and sediment geochemistry at four Mediterranean fish farms. *Science of the Total Environment 444: 128–137.*
- Kamarianos A., J. Altiparmakis, X. Karamanlis, D. Koufidis, Th. Kousouris, G. Fotis and S. Kilikidis (1989). Experimental evaluation of Fluridone effectiveness on fish productive aquatic ecosystems. *J. Aquat. Plant Manage. 27:24-26 (1989).*
- Kamarianos A., X. Karamanlis, G. Fotis, J. Altiparmakis and S. Kilikidis (1988). Effect of Fluridone on the aquatic plants *Trapa natans* and *Phragmites communis*. *J. of Aquatic Plant Management, Vol. 26:69, 1988.*
- Kilikidis S., A. Kamarianos, X. Karamanlis, Th. Kousouris, G. Fotis and S. Dellis (1992). Water quality and trophic status evaluation of the Polyphyto reservoir, N. Greece. *Toxicol. Environm. Chem. 36:169-179 (1992).*
- Kilikidis S., A. Kamarianos and X. Karamanlis. (1992a). Seasonal fluctuations of organochlorine compounds in the water of the Strimon river (N. Greece) (1992). *Bull. Environ. Contam. Toxic. 49:375-380, (1992).*
- Kilikidis S., X. Karamanlis, C. Batzios and A. Kamarianos (1992b). Water quality and organic pollution of the Strimon river (N. Greece). *Toxicol. Environm. Chem. 37:103-123 (1992).*
- Kilikidis S., A. Kamarianos, X. Karamanlis, U. Giannakou. Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the effluents of an urban waste treatment plant and the waters, sediments and mussels of Thermaikos gulf (N. Greece) (1994). *Fresenius Envir. Bull. 3(5):293-299 (1994).*
- Kilikidis S., A. Kamarianos, X. Karamanlis, U. Giannalou (1994b). Concentrations of LAS in the municipal waste water of the city of Thessaloniki and the receiver gulf of Thermaikos (N. Greece) (1994). *Fresenius Envir. Bull. 3:95-100 (1994).*
- Konstantinou I.K. and T.A. Albanis (2004). Worldwide occurrence and effects of antifouling paint booster biocides in the aquatic environment: a review. *Environment International 30 (2004) 235–248*
- Lanaras T., S. Tsitsamis, C. Chlichlia and C.M. Cook (1989). Toxic cyanobacteria in Greek fresh waters. *Journal of Applied Phycology I: 67-73, 1989.*
- Lawton, L. A. and Codd, G. A. (1991). Cyanobacterial (blue-green algae) toxins and their significance in UK and European waters. *In* Carpenter S. R., Caraco, N. F., Correll, D. L., Howarth, R. W., Sharpley, A. N. and Smith, V. H. (1998). Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications, 8(3): 559-568.*
- Litskas V. D. , I. G. Dosis, X. N. Karamanlis and A. P. Kamarianos (2012). Occurrence of priority organic pollutants in Strymon river catchment, Greece: inland, transitional, and coastal waters. *Environmental Science and Pollution Research, Vol. 19:8, pp 3556 – 3567, (2012).*
- Martin, A. and Cooke, G. D. (1994). Health risks in eutrophic water supplies. *In* Carpenter S. R., N. F. Caraco, D. L. Correll, R. W. Howarth, A. N. Sharpley and V. H. Smith (1998). Nonpoint

- pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications*, 8(3): 559-568.
- Mente Eleni, Graham J. Pierce, Maria Begona Santos, Christos Neofitou (2006). Effect of feed and feeding in the culture of salmonids on the marine aquatic environment: a synthesis for European aquaculture. *Aquacult. Int.* (2006) 14:499–522.
- Nakata H, Kawazoe M, Arizono K, Abe S, Kitano T, Shimada H (2002) Organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyl residues in foodstuffs and human tissues from China: status of contamination, historical trend, and human dietary exposure. *Arch Environ Contam Toxicol* 43:473–480
- Nikolaou Marina, Nikos Neofitou, Konstantinos Skordas, Ioanna Castritsi-Catharios, Lamprini Tziantziou (2014). Fish farming and anti-fouling paints: a potential source of Cu and Zn in farmed fish. *Aquacult Environ Interact Vol. 5: 163–171, 2014.*
- O.E.C.D. (1982). Eutrophication of waters. Monitoring, assessment and control. *O.E.C.D.. Paris. 1982.*
- Oldham Tina, Frode Oppedal, Tim Dempster (2018). Cage size affects dissolved oxygen distribution in salmon aquaculture. *Aquaculture Environment Interactions. Vol. 10: 149–156, 2018.*
- Omae Iwao (2003). Organotin antifouling paints and their alternatives – review. *Applied Organometallic Chemistry 2003; 17:81-105.*
- Ricklefs E.R. (1996). The Economy of Nature. 4th edition. *W.H. Freeman and Co. USA.1996.*
- Rico A., Vighi M., Teixeira T.T., Macken A., Van den Brink P.J., Ter Horst M.M.S., Tsapakis M., Kalantzi I., Torres R., Falconer L., Telfer T.C. (2016). Review of existing models for the environmental risk assessment of chemicals used in aquaculture in the EU. *EU H2020 TAPAS Deliverable 3.1. Report. 41 pp.*
- Rico Andreu and Paul J. Van den Brink (2014). Probabilistic risk assessment of veterinary medicines applied to four major aquaculture species produced in Asia. *Science of the Total Environment* 468–469 (2014) 630–641
- S.E.P.A. (1998). Regulation and monitoring of marine cage fish farming in Scotland – a manual of procedures. *SEPA 1998.*
- Simpson SL, Spadaro DA, O'Brien D (2012). Incorporating bioavailability into management limits for copper in sediments contaminated by antifouling paint used in aquaculture. *Chemosphere* 93: 2499–2525.
- Stamou I. Anastasios, Mariana Karamanoli, Nicoleta Vassiliadou, Eisodia Douka, Alessandro Bergamasco, Lucrezia Cenobese (2009). Mathematical modeling of the interactions between aquacultures and the sea environment. *Desalination .Volume 248, Issues 1–3, 15 November 2009, Pages 826-835.*
- Tucker S. Craig and John A. Hargreaves (2008). Environmental best management practices for aquaculture. *Wiley – Blackwell publishing. Aiwā. USA.2008.*
- Welch and Lindell, (1992). Ecological effects of wastewater. *Chapman & Hall, London.1992.*
- Wetzel G. Robert (2001). Limnology – Lake and River ecosystems. 3rd edition. *Academic Press. New York. 200.*
- Βερροϊόπουλος Γ. (2014). Οδηγός μελέτης ζωοπλαγκτού. *Τμήμα Βιολογίας. ΕΚΠΑ. 2014.*
- Γατίδου Γ (2005). "Ανάπτυξη μεθόδων προσδιορισμού βιοκτόνων ουσιών των υφαλοχρωμάτων, μελέτη της τοξικότητάς τους και ανίχνευσή τους στο περιβάλλον". *Διδακτορική Διατριβή. Παν. Αιγαίου, Μυτιλήνη, 2005.*

- Γιαννάκου Ουρανία (2000). Συμβολή στην εκτίμηση της επίδρασης της οργανικής ρύπανσης στην ποιότητα των ρεόντων υδάτων με τη χρήση βενθικών μακροασπόνδων οργανισμών. *Διδακτορική διατριβή. Τμήμα Κτηνιατρικής Α.Π.Θ..2000.*
- Καμαριανός Α., Σ. Κιλικίδης, Ξ. Καραμανλής, Γ. Φώτης και Θ. Κουσουρής. Προοπτικές διαχείρισης των τεχνητών λιμνών Κερκίνης και Πολυφύτου με σκοπό τη βελτίωση της ιχθυοπαραγωγής τους. *Πανελλήνιο Επιστημονικό Συνέδριο ΓΕΩΤΕΕ "Προστασία περιβάλλοντος και γεωργική παραγωγή", Θεσσαλονίκη 1989. Πρακτικά συνεδρίου, Τόμ.Β' σελ.545-556.*
- Καμαριανός Α. (2000). Σημειώσεις: Υδάτινο περιβάλλον- αλληλεπιδράσεις μεταξύ περιβάλλοντος και υδατοκαλλιεργειών. *Α.Π.Θ., Τμήμα Εκδόσεων, Πανεπιστημιακό Τυπογραφείο 2000.*
- Καμαριανός Α. και Ξ. Καραμανλής (2001). Σημειώσεις Οικολογίας και Προστασίας Περιβάλλοντος. *Α.Π.Θ., Τμήμα Κτηνιατρικής. Θεσσαλονίκη 2001.*
- Καραμανλής Ν. Ξάνθιππος, Δημήτριος Σ. Κωβαίος, Ιωάννης Δ. Παντής (2007). Επιστημονική υποστήριξη για την αειφορική διαχείριση υγροτόπων στο Νομό Θεσσαλονίκης με στόχο την καταπολέμηση των κουνουπιών. *Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Κτηνιατρική Σχολή, Θεσσαλονίκη, Μάρτιος 2007, σελίδες 47.*
- Κατσούλης Ν. Κ. (2001). Συμβολή στην εκτίμηση της επίδρασης των μυδοκαλλιεργειών στο υδάτινο περιβάλλον. *Διδακτορική Διατριβή. Α.Π.Θ.. Τμήμα Κτηνιατρικής. Θεσσαλονίκη 2001.*
- Κατσούλης Κ., Ε. Γαβριηλίδου, Α. Καμαριανός, Ξ. Καραμανλής και Σ. Κιλικίδης (1999). Ποιότητα και τροφική κατάσταση του νερού σε μυδοκαλλιέργεια των Δυτικών ακτών του Θερμαϊκού κόλπου (Μακρύγιαλος – Περία). *Αλιευτικά Νέα, Μάρτιος 1999, σελ. 82-92.*
- Κιλικίδης Σ., Α.Καμαριανός, Φώτης Γ., Θ.Κουσουρής, Ξ.Καραμανλής και Κ.Ουζούνης (1984). Οικολογική έρευνα στις λίμνες της Β. Ελλάδας Αγ. Βασιλείου, Δοϊράνη και Βιστωνίδα. (Προϋποθέσεις για την εγκατάσταση σταθμού αναπαραγωγής ιχθυδίων). *Επιστημ. Επετηρ. Τμήμ.Κτηνιατρικής, 22:169-439 (1984).*
- Κιλικίδης Σ., Α. Καμαριανός, Δ. Κουφίδης, Ξ. Καραμανλής και Ν. Κριάρης (1987). Συγκριτική μελέτη της συγκέντρωσης των χλωριωμένων και πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων καθώς και του μολύβδου και καδμίου σε οστρακοειδή, πριν και μετά την εξυγίανσή τους με όζον. *Α.Π.Θ., Τμήμα Κτηνιατρικής, Οικολογία και Προστ. Περιβάλλοντος, Θεσ/νίκη, 1987.*
- Κιλικίδης Σ., Φώτης Γ., Α.Καμαριανός, Ξ.Καραμανλής, Θ.Κουσουρής και Π. Μητλιάγκας, (1989-1992). Οικολογική έρευνα για την προστασία της λίμνης Πολυφύτου Κοζάνης και τη βελτίωση της ιχθυοπαραγωγής της (προκαταρκτική φάση). *Επιστημ. Επετηρ. Τμήμ. Κτηνιατρικής, τ.24, σ.37-99 (1989-92).*
- Κιλικίδης Σ. (1997). Οικολογία και προστασία περιβάλλοντος. *Σύγχρονη Παιδεία, Θεσσαλονίκη.*
- Κιλικίδης Σ., Α. Καμαριανός, Ξ. Καραμανλής, Γ. Φώτης, Ι. Κρεστενίτης, Κ. Μπαρμπούπουλος, Κ. Κατσούλης, Ε. Γαβριηλίδου και Α. Πνευματικάτου (1998). Εκτίμηση του ρυθμού ανάπτυξης των εκτρεφόμενων μυδιών (*Mytilus galoprovincialis*) σε συνάρτηση με την πυκνότητα του πληθυσμού και την ποιότητα του θαλάσσιου περιβάλλοντος. *Μελέτη ερευνητικού προγράμματος. Α.Π.Θ., Τμήμα Κτηνιατρικής, Εργ. Οικολογίας και Προστασίας Περιβάλλοντος, Θεσσαλονίκη, 1998, σελίδες 52.*
- Οικονόμου Ε., Brett Μ., Παπαδοπούλου Χ., Κανσουζίδου Α., Φιλιούσης Γ., Γούσια Π., Λεβειδιώτου Σ., Σεφεριάδης Κ. (2004). Περιστατικά τροφικής δηλητηρίασης από κατανάλωση τοξικών μυδιών στη Θεσσαλονίκη και αποτελέσματα της εργαστηριακής παρακολούθησης των μυδιών επί μία 2ετία με τά την εμφάνιση της επιδημίας. *3^ο Πανελλήνιο Συμπόσιο Υγιεινής και Τεχνολογία Τροφίμων. Αθήνα, 2004.*

- Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (2011). Στρατηγική Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (Σ.Μ.Π.Ε.) για το Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης για τις Υδατοκαλλιέργειες. *Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2011*.
- ΦΕΚ 182/29-08-2014, τεύχος Α΄. Νόμος 4282/2014 περί "Ανάπτυξη υδατοκαλλιεργειών και άλλες διατάξεις".
- ΦΕΚ 248/17-11-2014, τεύχος Α΄. Π.Δ. 164/2014 περί την τροποποίηση του Π.Δ. 28/2009.
- ΦΕΚ 2505/4-11-2011, Τεύχος Β΄. Απόφαση 31722/4-11-2011 περί την Έγκριση Ειδικού Πλαισίου Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης για τις υδατοκαλλιέργειες και της στρατηγικής μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων αυτού.
- ΦΕΚ 3645/11-11-2016, τεύχος Β΄, απόφαση αριθμ. 1319/117301. Καθορισμός του ύψους του μισθώματος υδάτινων εκτάσεων με σκοπό την υδατοκαλλιέργεια εντατικής ή ημιεντατικής μορφής και του τρόπου αναπροσαρμογής του.
- ΦΕΚ 46/16-03-2009, τεύχος Α΄. Π.Δ. 28/2009 περί "Απαιτήσεων υγειονομικού ελέγχου για τα ζώα υδατοκαλλιέργειας και τα προϊόντα τους και μέτρα για την πρόληψη και καταπολέμηση ορισμένων ασθενειών των υδρόβιων ζώων σε συμμόρφωση με τις οδηγίες 2006/88/ΕΚ του Συμβουλίου και 2008/53/ΕΚ της Επιτροπής της ΕΕ".
- Φώτης Δ.Γ. (1993). Μαθήματα Περιβαλλοντικών νοσημάτων των ιχθύων. *Α.Π.Θ., Τμήμα Κτηνιατρικής. 1993*).
- Φώτης Γ., Α. Καμαριανός, Ξ. Καραμανλής, Α. Σιούτας, Σ. Κιλικίδης. Περιβαλλοντικοί και άλλοι καταπονητικοί παράγοντες στην εκδήλωση της ερυθροδερματίτιδας του κυπρίνου (*Cyprinus carpio L.*) (1994). *Δελτίο Ελλ. Κτην.Εταιρείας* 45(2):150-154 (1994).
- Φώτης, Δ. Γ. (1999). Εκτροφή και παθολογία ιχθύων. *Σύγχρονη Παιδεία*, Θεσσαλονίκη.1999.
- Φώτης, Δ. Γ. και Αγγελίδης Γ. Π. (2003). Εκτροφή και παθολογία ιχθύων. Τόμος Α΄ (Υδάτινο περιβάλλον, στοιχεία ιχθυολογίας, ιχθυοτροφία και ιχθυοπαθολογία). *Σύγχρονη Παιδεία*, Θεσσαλονίκη.