

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Επιπτώσεις ιχθυοκαλλιεργειών στα θρεπτικά άλατα της υδάτινης
στήλης και στο βενθικό υπόστρωμα»**

Αλέξανδρος Καριπίδης

ΒΟΛΟΣ, 2020

**«Επιπτώσεις ιχθυοκαλλιεργειών στα θρεπτικά άλατα της υδάτινης στήλης και
στο βενθικό υπόστρωμα»**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

Νικόλαος Νεοφύτου, Μόνιμος Επίκ. Καθηγητής Π.Θ., Υδατοκαλλιέργειες και Περιβάλλον, Επιβλέπων

Κωνσταντίνος Σκόρδας, Αναπλ. Καθηγητής Π.Θ., Περιβαλλοντική Γεωχημεία, Μέλος

Δημήτριος Κλαουδάτος, Επίκ. Καθηγητής Π.Θ., Αλιεία, Μέλος

*Στον Αναστάση, στην Έλενα
στους φίλους μου*

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στο να φέρω εις πέρας την παρούσα Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της εργασίας αυτής, Επίκουρο καθηγητή κ. Νικόλαο Νεοφύτου και τα άλλα δύο μέλη τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Σκόρδα και τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Δημήτριο Κλαουδάτο για την πολύτιμη καθόδηγηση που μου έδωσαν, καθώς και τη διαρκή υποστήριξή τους κατά τη συγγραφή της παρούσας εργασίας.

Τέλος θέλω να ευχαριστήσω τον πατέρα μου για τη συμπαράσταση αλλά και ανόχη καθ' όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσης εργασίας είναι η μελέτη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των ιχθυοκαλλιιεργειών τόσο στα θρεπτικά άλατα της υδάτινης στήλης και στον ευτροφισμό των περιοχών εγκατάστασης και λειτουργίας τους, όσο και στο βενθικό υπόστρωμα που καταλήγουν τα υπολείματα των τροφών και τα προϊόντα μεταβολισμού των εκτρεφόμενων οργανισμών. Για τον σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκε ανασκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας και αναλύθηκαν τα αποτελέσματα των σχετικών ερευνών, έτσι ώστε να εξαχθούν επιστημονικά συμπεράσματα σχετικά με το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των ιχθυοκαλλιιεργειών. Από τη βιβλιογραφία διαπιστώνουμε πως η λειτουργία των ιχθυοκαλλιιεργειών αλληλεπιδρά άμεσα στο υδάτινο περιβάλλον, καθώς οι ιχθυοκλωβοί αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι του θαλάσσιου οικοσυστήματος. Από την ανασκόπηση της Ελληνικής και Διεθνούς βιβλιογραφίας φαίνεται ότι οι ιχθυοκαλλιιεργείες επιδρούν τόσο στα θρεπτικά άλατα της υδάτινης στήλης όσο και στο βενθικό υπόστρωμα. Ωστόσο, συμπερασματικά μπορούμε να καταλήξουμε στο γεγονός ότι η επίδραση αυτή διαφέρει από τόπο σε τόπο και εξαρτάται από πλήθος παραγόντων όπως η ρευμάτωση, ο ρυθμός ανανέωσης των νερών και γενικότερα από την υδροδυναμική κατάσταση της κάθε περιοχής όπου δραστηριοποιούνται ιχθυοκαλλιιεργείες. Τέλος, η ανθρώπινη αυτή δραστηριότητα έχει πολύ μικρότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα σε σχέση με άλλες όπως η βιομηχανία, η γεωργία και ο τουρισμός, και επίσης έχει να προσφέρει πολλά στον τομέα της πρωτογενούς παραγωγής.

Λέξεις κλειδιά: ιχθυοκαλλιιεργεία, θρεπτικά άλατα, βενθικό υπόστρωμα, υδάτινο περιβάλλον.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΚΑΤΑΚΤΙΚΕΣ ΣΕΛΙΔΕΣ	i-v
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	1
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
1.1 Γενικά για τις Ιχθυοκαλλιέργειες.....	3
1.2 Ελληνική ιχθυοκαλλιέργεια.....	5
1.3 Τύποι ιχθυοκαλλιέργειας.....	7
2. ΙΧΘΥΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	14
3. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	19
3.1 Επιπτώσεις στα θρεπτικά άλατα της υδάτινης στήλης.....	19
3.2 Επιπτώσεις στο βενθικό υπόστρωμα.....	25
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	30
5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	33
6. ABSTRACT	38

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά για τις Ιχθυοκαλλιέργειες

Τις τελευταίες δεκαετίες ο ανθρώπινος πληθυσμός αυξάνεται ολοένα και περισσότερο, ενώ, ταυτόχρονα παρατηρείται μία σταθερότητα των εκφορτώσεων της συλλεκτικής αλιείας παγκοσμίως, κυρίως εξαιτίας του φαινομένου της υπεραλιεύσης. Επομένως, είναι φανερό ότι η υδατοκαλλιέργεια διαδραματίζει και θα διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην κάλυψη των τροφικών αναγκών και στη σωστή διατροφή των ανθρώπων, δεδομένου και του γεγονότος ότι το βιοτικό επίπεδο συνεχώς βελτιώνεται. Σύμφωνα με τον ορισμό του Παγκόσμιου Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργίας (FAO), υδατοκαλλιέργεια είναι: «η καλλιέργεια ή εκτροφή υδρόβιων οργανισμών σε ηπειρωτικές ή παράκτιες περιοχές, η οποία περιλαμβάνει παρεμβάσεις στη διαδικασία της αναπαραγωγής και της αύξησης προκειμένου να βελτιωθεί η παραγωγή και η ατομική ή συνεταιρική ιδιοκτησία του καλλιεργούμενου ή εκτρεφόμενου αποθέματος».

Η ιχθυοκαλλιέργεια είναι ο πιο διαδεδομένος κλάδος υδατοκαλλιέργειας και καλύπτει ένα ευρύ φάσμα τόσο της οικονομίας όσο και των διατροφικών αναγκών του ανθρώπινου πληθυσμού παγκοσμίως. Σύμφωνα με τα διαθέσιμα στοιχεία και την κατηγοριοποίηση του FAO (2018) το 2017, τα ψάρια αποτέλεσαν σχεδόν το ήμισυ της παγκόσμιας παραγωγής, καθώς ο όγκος παραγωγής ξεπέρασε το 47% του συνόλου των προϊόντων υδατοκαλλιέργειας που παρήχθησαν (53,40 εκ. τόνοι) και η αξία τους σε πρώτη πώληση ανήλθε στο 56% (111,8 δις. ευρώ) (Εικ. 1). Τα σημαντικότερα εκτρεφόμενα είδη ψαριών με υψηλή παραγωγή στην παγκόσμια υδατοκαλλιέργεια που συναντάμε τόσο σε αλμυρά όσο σε γλυκά αλλά και υφάλμυρα νερά είναι η ιριδοειδής πέστροφα (*Oncorhynchus mykiss*), ο σολομός (*Salmo salar*), η τσιπούρα (*Sparus aurata*), το λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*), η τιλάπια (*Oreochromis niloticus*) και ο κυπρίνος (*Cyprinus carpio*) (Εικ. 2).



Εικόνα 1. Παραγωγή υδατοκαλλιέργειας ανά κατηγορία προϊόντων το 2017 (FAO, 2018).

Oncorhynchus mykiss



Salmo salar



Sparus aurata



Dicentrarchus labrax



Oreochromis niloticus



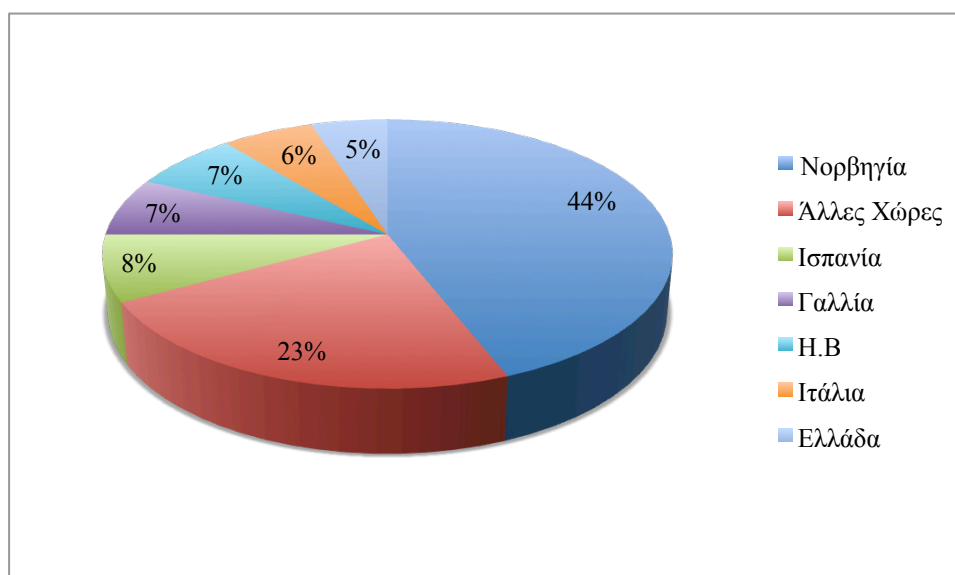
Cyprinus carpio



Εικόνα 2. Τα σημαντικότερα εκτρεφόμενα ψάρια στην παγκόσμια υδατοκαλλιέργεια (FAO, 2018).

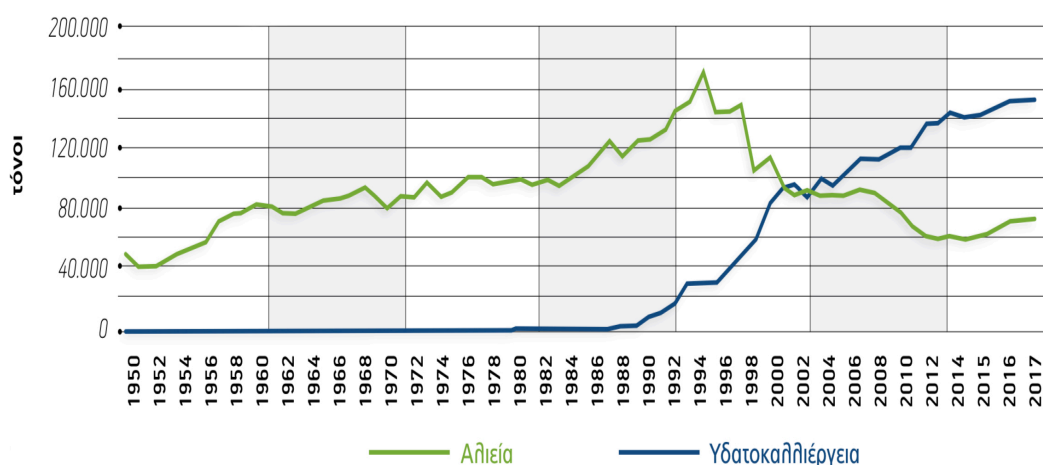
1.2 Ελληνική Ιχθυοκαλλιέργεια

Η ανάπτυξη του κλάδου των υδατοκαλλιεργειών στην Ελλάδα άρχισε στα μέσα της δεκαετίας του 1980. Η ανάπτυξη αυτή στηρίχθηκε στις ιδανικές γεωμορφολογικές, κλιματολογικές αλλά και υδροβιολογικές συνθήκες, στο έντονο επενδυτικό ενδιαφέρον, στις συνθήκες της αγοράς και στην ανάπτυξη της τεχνολογίας όσον αφορά τους βιολογικούς κύκλους των εκτρεφόμενων ψαριών αλλά και των συστημάτων εκτροφής και καλλιέργειας. Το 2013, η ελληνική ιχθυοκαλλιέργεια παρήγαγε σχεδόν 145.000 τόνους αλιευμάτων, κατέχοντας την έκτη θέση σε παραγωγή στην Ευρώπη σε σύνολο 40 κρατών σύμφωνα με στοιχεία του FAO (2016) (Εικ. 3).



Εικόνα 3. Σημαντικότερες χώρες παραγωγής στην Ευρωπαϊκή υδατοκαλλιέργεια και αντίστοιχα ποσοστά που καταλαμβάνουν επί του συνόλου της Ευρωπαϊκής παραγωγής σύμφωνα με στοιχεία του FAO (2016).

Οι τάσεις παραγωγής είναι εντυπωσιακά αυξητικές σε αντίθεση με την εμπορική αλιεία όπου η παραγωγή τα τελευταία χρόνια παρουσιάζει κάμψη. Αξίζει να υπογραμμιστεί ότι από το 2004 και μετά το 50% και άνω των αλιευμάτων προέρχεται από την υδατοκαλλιέργεια ενώ το 2017 άγγιξε το εντυπωσιακό ποσοστό του 62% (FAO, 2018) (Εικ. 4).



Εικόνα 4. Στοιχεία παραγωγής υδατοκαλλιεργείων και αλιευμάτων για την Ελλάδα από το 1950 έως σήμερα (FAO, 2018).

Είναι απόλυτα ενδιαφέρον το γεγονός ότι από τις 2 μονάδες που υπήρχαν το 1985 ο αριθμός τους το 2010 έφτασε (στοιχεία του Υπουργείου Γεωργίας) τις 338 μονάδες εκτροφής και τους 36 ιχθυογεννητικούς σταθμούς. Η συνολική ετήσια παραγωγή των ιχθυοκαλλιεργείων τα τελευταία χρόνια φτάνει και ξεπερνά τους 100.000 τόνους, ενώ η συνολική παραγωγή γόνου των ελληνικών ιχθυογεννητικών σταθμών κυμαίνεται στα 380-400 εκατομμύρια ιχθύδια ετησίως. Στην Ελλάδα αλλά και γενικότερα στη Μεσόγειο τα δύο κύρια είδη εκτροφής είναι η τσιπούρα (*Sparus aurata*) και το λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*) καλύπτοντας περίπου το 97% του συνολικού όγκου παραγωγής. Σε μικρότερη κλίμακα, περίπου 3%, εκτρέφονται το μυτάκι (*Diplodus puntazzo*), το λυθρίνι (*Pagellus erythrinus*), ο κρانيός (*Argyrosomus regius*) και η συναγρίδα (*Dentex dentex*) (ΣΕΘ, 2019) (πηγή: <https://www.fgm.com.gr/>).

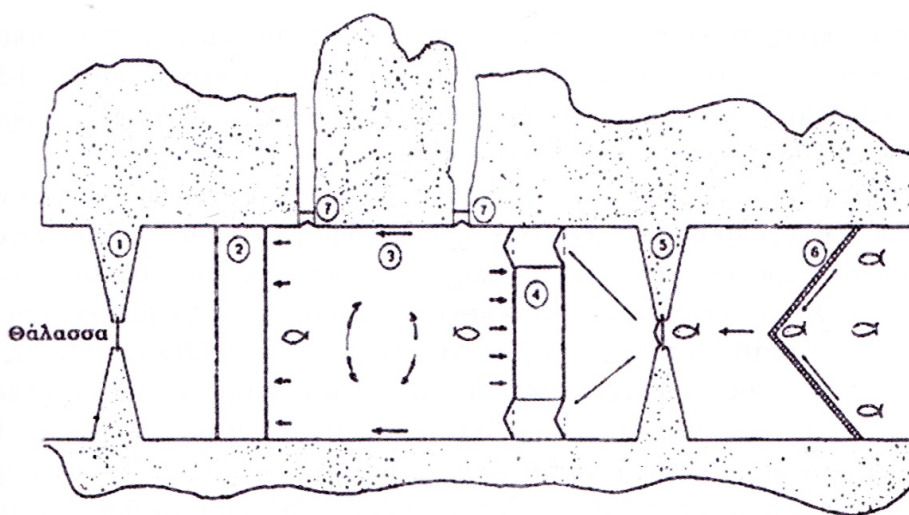
Ο κλάδος των ιχθυοκαλλιεργείων στην Ελλάδα, μέσα σε μια 35ετία συνεχούς ανοδικής πορείας, έδωσε εντυπωσιακά αποτελέσματα όχι μόνο στον τομέα της παραγωγής ψαριών αλλά και στη δημιουργία ενός «οικοδομήματος» τόσο κοινωνικού όσο και οικονομικού χαρακτήρα. Σήμερα στον κλάδο απασχολούνται άμεσα και έμμεσα περίπου 12.000 εργαζόμενοι διαφόρων ειδικοτήτων (ΣΕΘ, 2019). Τα ψάρια της ελληνικής ιχθυοκαλλιέργειας αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα εξαγόμενα αγροτικά προϊόντα της χώρας μας, καθώς καταλαμβάνουν σταθερά υψηλή θέση στο σύνολο των ελληνικών εξαγωγίμων προϊόντων (ΕΛΣΤΑΤ, 2018)(πηγή: <https://www.statistics.gr/>).

1.3 Τύποι ιχθυοκαλλιέργειας

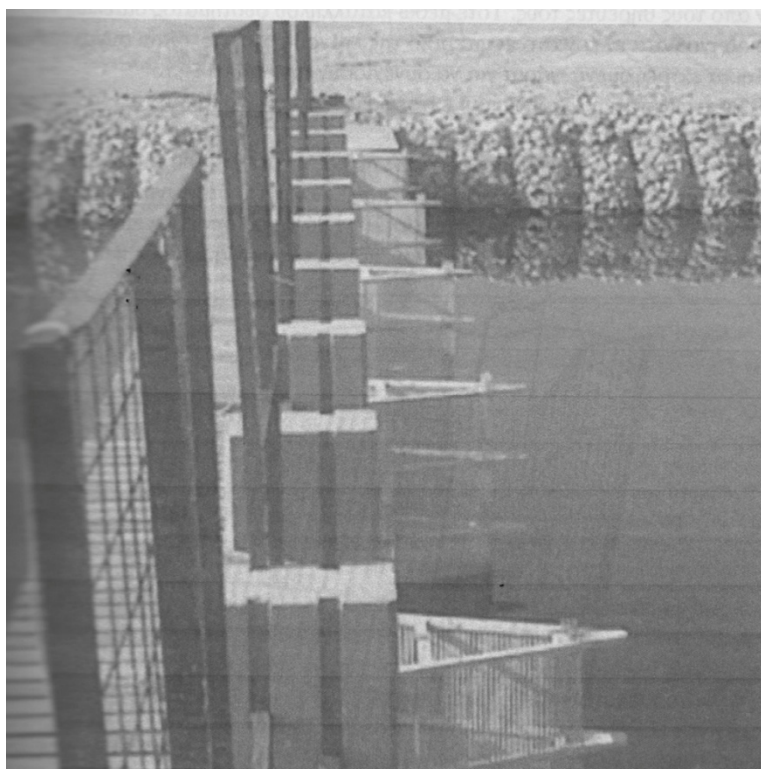
Η παραγωγή υδρόβιων ειδών μπορεί γενικά να διακριθεί, ανάλογα με το περιβάλλον στο οποίο λαμβάνει χώρα σε τρεις τύπους: τον εκτατικό, τον ημι-εντατικό και τον εντατικό.

A) Εκτατικός τύπος

Στον εκτατικό τύπο η εκτροφή των οργανισμών πραγματοποιείται σε φυσικά υδάτινα οικοσυστήματα, όπως οι λιμνοθάλασσες. Οι οργανισμοί λαμβάνουν την τροφή τους αποκλειστικά από το φυσικό τους περιβάλλον με ελάχιστη (εγκλωβισμός, σύλληψη) έως καθόλου ανθρώπινη παρέμβαση, καθώς ο τύπος αυτός βασίζεται κυρίως στις μεταναστεύσεις των ψαριών. Μετά την εκκόλαψη των αυγών και την για μικρό ή μεγάλο χρονικό διάστημα παραμονή των ιχθυδίων στην ανοιχτή θάλασσα, ακολουθεί η μετανάστευση και η είσοδός τους σε ημίκλειστες παράκτιες περιοχές, όπου οι φυσικοχημικές και βιολογικές συνθήκες τους, παρέχουν ένα περιβάλλον κατάλληλο για την ανάπτυξή τους (Εικ. 5). Αυτήν την εποχή της εισόδου, οι εσοδευτικές εγκαταστάσεις των υδατοσυλλογών (δρομίδες) είναι ανοιχτές και κλείνουν αφού γίνει μαζική είσοδος των ιχθυδίων (Εικ. 6) (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος, 2010).



Εικόνα 5. Σχηματική παράσταση σύγχρονης ιχθυοσυλλεπτικής εγκατάστασης ιχθύων, όπου 1&5: αμμονησίδες οριοθέτησης λιμνοθάλασσας, 2: κύριο διαμέρισμα συγκέντρωσης ψαριών, 3: λεκάνη συλλογής και εξαλίευσης ψαριών, 4: δευτερεύον διαμέρισμα συλλογής των ψαριών, 6: διαφράγματα σε σχήμα δρομίδας μεταξύ χθυοτροφείου και λεκάνης συλλογής των ψαριών, 7: δίοδοι διαφυγής ψαριών μικρού μεγέθους για επιστροφή στη λιμνοθάλασσα (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος, 2010).



Εικόνα 6. Εσοδευτική εγκατάσταση – δρομίδες, στην εισοδο λιμνοθάλασσας (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος, 2010).

Όταν το περιβάλλον των υδατοσυλλογών αυτών αλλοιωθεί, κυρίως από την άποψη της θερμοκρασίας του νερού, ή όταν οι οργανισμοί, για λόγους κυρίως γεννητικής ωριμότητας, προσπαθήσουν να επιστρέψουν στην ανοιχτή θάλασσα, εγκλωβίζονται σε κατάλληλες κατασκευές (π.χ λεκάνες συλλογής και εξαλίευσης) από τις οποίες αλιεύονται εύκολα με τη χρήση απλών εργαλίων όπως απόχες και δίχτυα (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος, 2012). Ο τύπος αυτός εφαρμόζεται ευρύτατα εδώ και πάρα πολλά χρόνια στα υφάλμυρα ή αλμυρά νερά των λιμνοθαλασσών, καθώς ταυτόχρονα αποτελεί έναν απο τους παλαιότερους τύπους υδατοκαλλιέργειας που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος για τον έλεγχο της παραγωγικότητας των φυσικών υδατοσυλλογών. Είδη ψαριών που παράγονται με αυτόν τον τύπο είναι η τσιπούρα, το λαβράκι, ο κέφαλος, κ.ά. (Παπουτσόγλου, 1985).

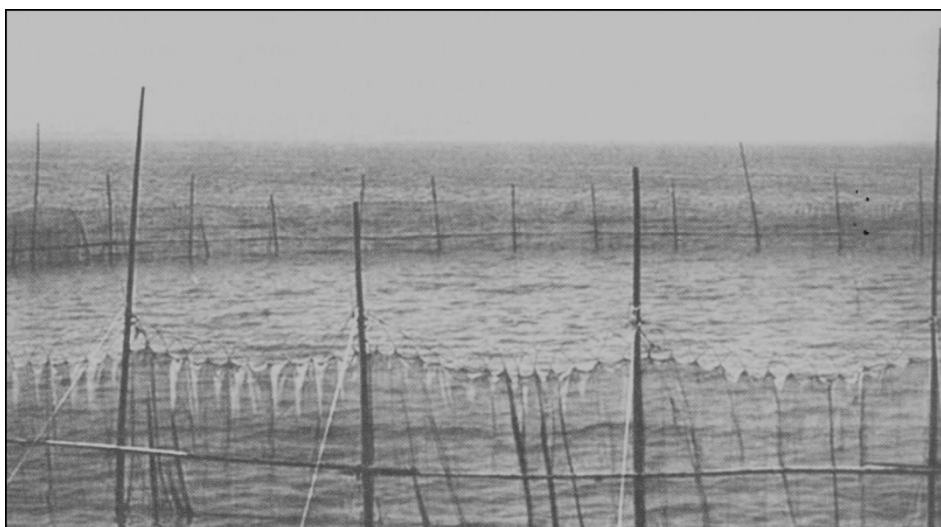
B) Ημιεντατικός τύπος

Στον ημιεντατικό τύπο εκτροφής η παραγωγή γίνεται επίσης σε φυσικές υδατοσυλλογές, όπως λιμνοδεξαμενές, οι οποίες είναι συλλογές περιορισμένης έκτασης στάσιμου νερού, σχετικά ρηχές και πρέπει να κατασκευάζονται σε εδάφη που έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε άργιλο για να αποφεύγεται η υπερβολική διαρροή του νερού, ενώ μπορεί να περιέχουν τόσο γλυκό, υφάλμυρο ή θαλασσινό νερό (Εικ. 7). Σε αυτές πραγματοποιείται η ανάπτυξη των υδρόβιων ζωικών οργανισμών με ανθρώπινη παρέμβαση όποτε αυτό κρίνεται αναγκαίο π.χ. παροχή τεχνητού σιτηρεσίου (θρεπτικές ουσίες, ζωοτροφές) στους εκτροφόμενους οργανισμούς. Η κύρια πηγή τροφής των οργανισμών είναι φυσικά διαθέσιμη στην υδατοσυλλογή και κατ' αυτό τον τρόπο η παροδική παροχή σιτηρεσίου έχει χαρακτήρα συμπληρωματικό και σκοπό την αύξηση της πρωτογενούς και δευτερογενούς παραγωγικότητας (Παπουτσογλου, 1985).



Εικόνα 7. Ημιεντατικός τύπος υδατοκαλλιέργειας
(Πηγή: <https://www.flickr.com/photos/unitedsoybean/9625236780>).

Αξίζει να αναφερθεί ότι στον ημιεντατικό τύπο εκτροφής η παραγωγή μπορεί να επιτευχθεί και στα περικόλιστα (Εικ. 8).



Εικόνα 8. Περίκλειστο, στο οποίο φαίνονται τα βασικά υλικά κατασκευής του, οι πάσσαλοι και τα δίχτυα (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος, 2010).

Τα περίκλειστα τοποθετούνται σε εξαιρετικά μικρά βάθη, μικρότερα των 10 m, και πάντα σε προφυλαγμένες παράκτιες περιοχές. Τα υλικά κατασκευής τους αποτελούνται από μεγάλους πασσάλους και δίχτυ. Οι πάσσαλοι στερεώνονται στο βενθικό υπόστρωμα και σε αυτούς από τον πυθμένα μέχρι και ενάμισι μέτρο πάνω από την επιφάνεια τις θάλασσας τοποθετείται το δίχτυ με κατάλληλο άνοιγμα ματιού. Στον χώρο που κατ' αυτό τον τρόπο περιφράσσεται τοποθετούνται τα εκτρεφόμενα είδη. Δεδομένου ότι η παραγωγικότητα του χώρου ο οποίος οριοθετείται από περίκλειστα δεν επαρκεί για την διατροφή των εκτρεφόμενων υδρόβιων οργανισμών και σε συνδυασμό με την αυξημένη πυκνότητά τους, απαιτείται η εφαρμογή ημιεντακτικού τύπου καλλιέργειας. Η προσφορά δηλαδή συμπληρωματικής τροφής. Η εφαρμογή των συστημάτων αυτών μπορεί σήμερα να έχει περιοριστεί. Αξίζει όμως να τονιστεί ότι αποτέλεσαν πρόδρομο των σημερινών κλωβών. Η χρήση τους υπήρξε καταλυτική για την καθιέρωση των υδατοκαλλιεργειών ως εναλλακτική πηγή ζωικών πρωτεϊνών του ανθρώπινου πληθυσμού, μετά τη στασιμότητα της παγκόσμιας αλιευτικής παραγωγής (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος, 2010).

Ο ημιεντακτικός τύπος υδατοκαλλιέργειας ήταν ο πρώτος τύπος οργανωμένης εκτροφής που αναπτύχθηκε και εξακολουθεί να χρησιμοποιείται ακόμα και σήμερα. Κύριος λόγος αυτού είναι ο συνδυασμός χαμηλών δαπανών και σχετικά υψηλών επιπέδων παραγωγής υδρόβιων οργανισμών με προϋπόθεση πάντα την ορθή διαχείριση. Παρά το γεγονός ότι ο ημιεντακτικός τύπος υδατοκαλλιέργειας έχει

χαμηλό κόστος κατασκευής και λειτουργίας σε σχέση με άλλους, επηρεάζεται από πάρα πολλούς εξωτερικούς παράγοντες για τους οποίους ο υδατοκαλλιεργητής έχει πολύ περιορισμένο έλεγχο. Αυτό έχει ως συνέπεια η παραγωγή να μην έχει την δυνατότητα εντατικοποίησης (Παπουτσόγλου, 1985).

Γ) Εντατικός τύπος

Η εντατική υδατοκαλλιέργεια αναφέρεται σε εκτροφές υδρόβιων οργανισμών, όπου ο άνθρωπος επεμβαίνει σε όλα τα στάδια ανάπτυξης, χρησιμοποιώντας διάφορες τεχνικές (σιτηρέσιο, δεξαμενές) ανάλογα με το είδος εκτροφής. Ο εντατικός τύπος εκτροφής παρουσιάζει εντονότατη αύξηση της παραγωγής (Παπουτσόγλου, 1985).

Αναλυτικότερα τα ψάρια στο στάδιο της λάρβας τρέφονται από Rotifers και ναυπλίους του καρκινοειδούς *Artemia sp.* Η παραγωγή αυτών είναι δυνατή χάρη στη χρήση μικροφυκών που χρησιμοποιούνται ως τροφή τους. Γι' αυτό τον λόγο διάφορα είδη μικροφυκών καλλιεργούνται από την ίδια την ιχθυογεννητική μονάδα. Η παραγωγή των ιχθύων ξεκινά στον ιχθυογεννητικό σταθμό. Εκεί οι γεννήτορες διατηρούνται σε υπαίθριες δεξαμενές οι οποίες βρίσκονται υπό κάλυψη για να υπάρχει η δυνατότητα του ελέγχου της φωτοπεριοδικότητας (Εικ. 9) (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος, 2012).

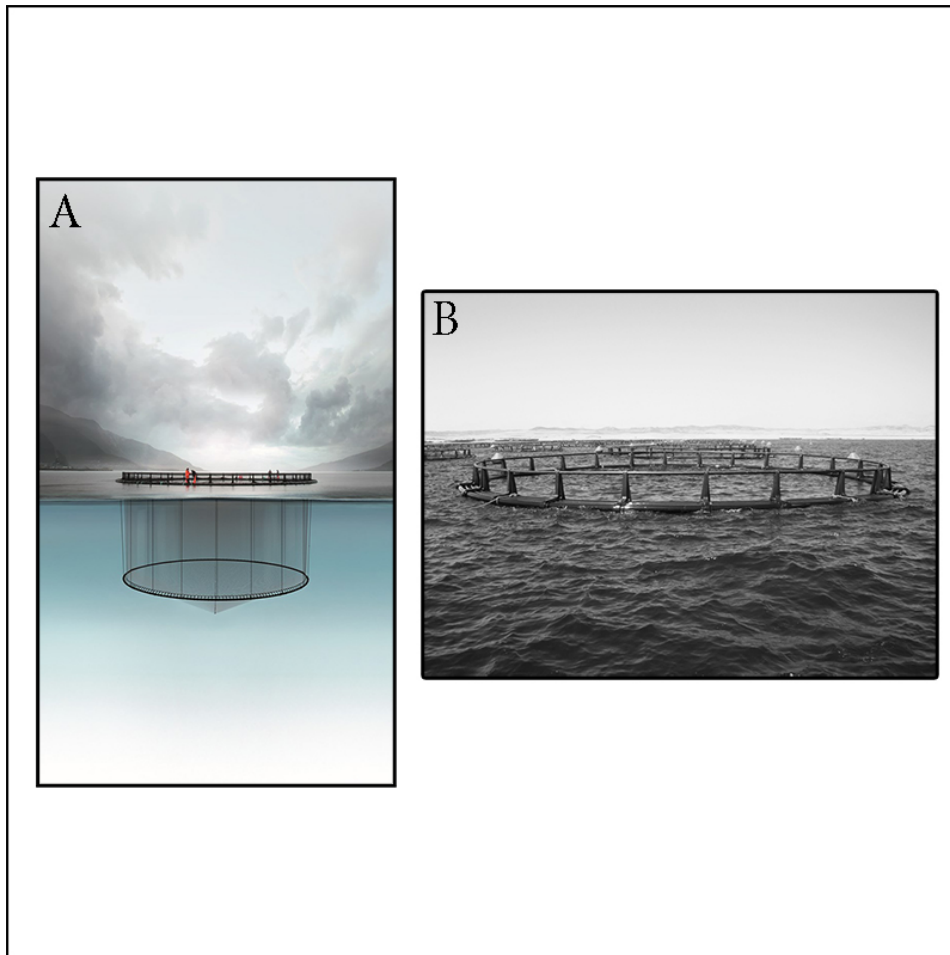
Η ωρίμανση των αυγών μπορεί να ακολουθήσει είτε τους φυσικούς κύκλους είτε τους ελεγχόμενους αναπαραγωγικούς κύκλους όπου η ωοτοκία ρυθμίζεται μέσω του ελέγχου της φωτοπεριόδου και της θερμοκρασίας του νερού. Με αυτόν τον τρόπο η παραγωγή αυγών μπορεί να επιτευχθεί όλο τον χρόνο. Τα αυγά συλλέγονται τοποθετώντας φίλτρα στο νερό, που εξέρχεται από τις δεξαμενές όπου παραμένουν οι γεννήτορες κατά την περίοδο της ελεγχόμενης ωοτοκίας. Έπειτα γίνεται έλεγχος πλευστότητας και τα αυγά που επιπλέουν μεταφέρονται στο στάδιο της εκκόλαψης. Τα αυγά αυτά τοποθετούνται σε θερμοκρασία που κυμαίνεται από 16 – 24 °C και κατ' αυτό τον τρόπο γίνεται η εκκόλαψη των αυγών. Ακολουθεί η μεταφορά των προνυμφών σε δεξαμενές για να περάσουν στο στάδιο της εκτροφής. Μετά από 3-4 ημέρες από την εκκόλαψη οι προνύμφες αρχίζουν να ταΐζονται με είδη ζωοπλαγκτού (Rotifers, Artemia) για τις επόμενες 35-40 ημέρες. Στη συνέχεια στα ψάρια πραγματοποιείται η μεταμόρφωση, κατά την οποία οι νύμφες αποκτούν όλα τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα που τις καθιστούν μικρογραφία ενός ενήλικου ατόμου.



Εικόνα 9. Ιχθυογεννητική μονάδα Σελόντας. (Πηγή: <http://www.selonda.com/gr/>).

Από τη μεταμόρφωση και μετά αναφέρονται ως ιχθύδια. Τότε πραγματοποιείται ο «απογαλακτισμός», δηλαδή η διακοπή προσφοράς ζωντανής τροφής (ζωοπλαγκτό) και η προσαρμογή τους σε προσφερόμενα σύμπληκτα (τεχνητή-ξηρά τροφή) με τα οποία θα διατρέφονται μέχρι την ολοκλήρωση της εκτροφής τους, περνώντας έτσι στο στάδιο της προπάχυνσης. Στο στάδιο αυτό τα νεαρά ιχθύδια μεταφέρονται σε καλυμμένες δεξαμενές (προπάχυνσης), οι οποίες έχουν ποικιλία σχημάτων, όγκων, διαστάσεων και υλικών κατασκευής. Εκεί υπάρχει το ενδεχόμενο να παραμείνουν μέχρι να αποκτήσουν μέσο βάρος 5g/άτομο, με κύριο σκοπό την προσαρμογή και τον εγκλιματισμό τους στις φυσικές συνθήκες εκτροφής έτσι ώστε να μεταφερθούν στις εγκαταστάσεις πάχυνσης. Αμέσως μετά ακολουθεί η διαδικασία της πάχυνσης, όπου τα νεαρά ιχθύδια μεταφέρονται σε πλωτούς ιχθυοκλωβούς για να συνεχιστεί η εκτροφή τους (Εικ. 10). Ο κλωβός αποτελείται από ένα πλωτό πλαίσιο, συνήθως πλαστικό και σε ορισμένες περιπτώσεις μεταλλικό ενώ παλαιότερα ήταν ξύλινο. Το σχήμα του είναι τετράγωνο ή κυκλικό και ποικίλει σε μεγέθη ανάλογα με τις ανάγκες

της κάθε μονάδας εκτροφής. Από το πλωτό αυτό πλαίσιο κρέμεται ένα δίχτυ διαφόρων σχημάτων και διαστάσεων, κατασκευασμένο από νάιλον ή μετάξι, στο οποίο ζουν και μεγαλώνουν εκτρεφόμενα ψάρια. Το άνοιγμα του ματιού τους είναι προσαρμοσμένο στο είδος και το μέγεθος αυτών (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος, 2010).



Εικόνα 10. Κλωβός ιχθυοκαλλιέργειας με σχηματική αναπαράσταση του δικτυού (A) (Πηγή:<https://www.akvagroup.com/press%20news/gallery/released%20images/econet%20illustration.jpg>), Πλαστικός κυκλικός κλωβός (B) (Πηγή:<https://www.gesikat.gr/>).

Τα ψάρια που διαβιούν στους ιχθυοκλωβούς τρέφονται με τυποποιημένες τροφές που έχουν ως κύρια συστατικά τα ιχθυάλευρα και τα ιχθυέλαια και παρέχονται σε καθορισμένες ποσότητες, λαμβάνοντας κυρίως υπόψη το βάρος των ψαριών και τη θερμοκρασία του νερού. Τα εκτρεφόμενα ψάρια φτάνουν σε εμπορεύσιμο βάρος 300-400 γραμμαρίων μετά από 14-18 μήνες εκτροφής (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος, 2012).

2. ΙΧΘΥΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Η μικρή απόδοση των εκτατικών ιχθυοκαλλιεργειών που πραγματοποιούνταν στις λιμνοθάλασσες και η αδυναμία της αλιευτικής παραγωγής να καλύψει τη ζήτηση αλιευτικών προϊόντων, είχε ως αποτέλεσμα να στραφεί ο άνθρωπος σε άλλες μεθόδους εκτροφής των ψαριών και να εφαρμόσει άλλα συστήματα που επέτρεψαν αποτελεσματικότερο και καλύτερο έλεγχο της εκτροφής τους. Συνοπτικά, τρεις ήταν οι κυριότεροι παράγοντες στους οποίους οφείλεται η σημερινή ανάπτυξη των ιχθυοκαλλιεργειών (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος, 2010).

1. Η ικανότητα διατήρησης σε αιχμαλωσία των ενήλικων ατόμων των διαφόρων ειδών για αναπαραγωγή, τα οποία κάτω από άριστες συνθήκες παραμονής και διατροφής, είτε χωρίς καμία επέμβαση, είτε με τη βοήθεια ορμονικών σκευασμάτων και με τον κατάλληλο έλεγχο των περιβαλλοντικών συνθηκών (θερμοκρασία, ένταση και διάρκεια φωτός) απελευθερώνουν βιώσιμα αυγά.
2. Η ικανότητα παραγωγής σε μεγάλες ποσότητες ζωντανών τροφών (φυτοπλαγκτόν, ζωοπλαγκτόν) για την ικανοποίηση των τροφικών απαιτήσεων των αρχικών σταδίων των εκτρεφόμενων ειδών κατά την μετάβαση από την ενδογενή στην εξωγενή φάση διατροφής.
3. Η ικανότητα παρασκευής συμπύκτων, για την ικανοποίηση των διατροφικών απαιτήσεων των ψαριών στη διάρκεια της εκτροφής τους.

Αρχικά λοιπόν ο άνθρωπος στράφηκε στην ημιεντατική εκτροφή και στη συνέχεια στην εντατική μέθοδο εκτροφής σε πλωτούς ιχθυοκλωβούς. Η επανάσταση στις ιχθυοκαλλιέργειες προήλθε το 1970 από τη Νορβηγία, όταν χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά ιχθυοκλωβοί για εκτροφή πέστροφας και σολομού. Με τη χρήση των ιχθυοκλωβών η παραγωγή της πέστροφας μέσα σε μια δεκαετία αυξήθηκε από τους 100 στους 6.000 τόνους και του σολομού από τους 540 στους 23.000 τόνους. Συνεπώς, η χρησιμοποίηση των πλωτών ιχθυοκλωβών και η εφαρμογή της εντατικής μεθόδου εκτροφής χάραξε μια σημαντική εξελικτική πορεία καθώς τα εκτρεφόμενα ψάρια ζουν και αναπτύσσονται μέσα στο φυσικό τους περιβάλλον, στο οποίο οι κινήσεις τους περιορίζονται μόνο από ένα δίχτυ. Έτσι λοιπόν η χρήση πλωτών ιχθυοκλωβών καθιερώθηκε παγκοσμίως. Η ραγδαία όμως αυτή ανάπτυξη της ιχθυοκαλλιέργειας σε πλωτούς κλωβούς προκαλεί και προβλήματα ρύπανσης, γιατί δεν υπάρχει τρόπος επεξεργασίας τόσο των υπολειμμάτων της προσφερόμενης

τροφής όσο και των προϊόντων μεταβολισμού των εκτρεφόμενων οργανισμών με αποτέλεσμα όλα αυτά να καταλήγουν ανεξέλεγκτα προς το υδάτινο περιβάλλον. Οι ιχθυομονάδες αυτές ουσιαστικά αποτελούν μέρος του ίδιου του περιβάλλοντος και επιδρούν άμεσα σε αυτό εφόσον το σύνολο των αποβλήτων τους αποτίθεται ανεξέλεγκτα μέσα σ' αυτό, χωρίς τη δυνατότητα κάποιου είδους επεξεργασίας. Ταυτόχρονα το υδάτινο περιβάλλον επιδρά στη λειτουργία μιας μονάδας εκτροφής και καθορίζει την επιτυχία ή την αποτυχία της, καθώς οι μεταβολές των φυσικοχημικών παραμέτρων του νερού έχουν άμεση επίδραση στον ρυθμό ανάπτυξης των εκτρεφόμενων οργανισμών, αλλά και η όποια μορφή επιβάρυνσης προκληθεί στο υδάτινο περιβάλλον από την εκτροφή των ιχθύων επιδρά άμεσα στην υγιεινή κατάσταση και την επιβίωση των ίδιων των εκτρεφόμενων οργανισμών (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος, 2010).

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της θαλάσσιας ιχθυοκαλλιέργειας σε κλωβούς στην υδάτινη στήλη εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το είδος που εκτρέφεται, την πυκνότητα των οργανισμών, τον τύπο των ιχθυοτροφών που χορηγούνται, την υδρογραφία του περιβάλλοντος, την παράκτια μορφολογία της περιοχής, το βάθος εγκατάστασης των πλωτών ιχθυοκλωβών, καθώς και τις πρακτικές εκτροφής. Υπάρχουν πολλές αναφορές για την πορεία των θρεπτικών (N, P, C) που εισρέουν και κατόπιν εκρέουν από τους ιχθυοκλωβούς (Neofitou & Kladatos, 2008). Γενικά, περίπου το 52-95% του αζώτου, το 85% του φωσφόρου και το 80-88% του άνθρακα, που προσφέρεται στη θαλάσσια ιχθυοκαλλιέργεια ως τροφή των ιχθύων μπορεί να εισέλθει στο υδάτινο περιβάλλον μέσω των υπολειμμάτων τροφής των οργανισμών και των απεκκρίσεων τους (ούρα, κόπρανα) (Wu, 1995). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μεταβάλλεται η ποιότητα του νερού και σε ορισμένες περιπτώσεις να δημιουργείται το φαινόμενο του ευτροφισμού (Dostad, 2001). Το γεγονός αυτό, έχει αρνητικές προεκτάσεις και για την ίδια την μονάδα, αφού οποιαδήποτε υποβάθμιση του φυσικού περιβάλλοντος είναι πολύ πιθανό να μειώσει την αποτελεσματικότητα της εκτροφής.

Επιπρόσθετα, η εναπόθεση οργανικών αποβλήτων από τις ιχθυοκαλλιέργειες επιδρά στο ίζημα (Neofitou et al., 2010). Τα θρεπτικά απόβλητα από ένα σύστημα ιχθυοκλωβών μπορούν να διαχωριστούν σε διαλυμένα (εκκρίνονται διαλυμένα και ξαναδιαλύονται στο ίζημα) και σωματιδιακά (υπολείμματα τροφών, σφαιρίδια κοπράνων). Αυτό το ρυπαντικό φορτίο συσσωρεύεται και εγκαθίσταται τελικά στο ίζημα (Dominguez et al., 2001). Σύμφωνα με τον Wu (1995), διάφορες έρευνες που

πραγματοποιήθηκαν έδειξαν ότι το 23% του άνθρακα, το 21% αζώτου και το 53% του φωσφόρου από την προσφερόμενη τροφή στα εκτρεφόμενα ψάρια συσσωρεύεται στο ίζημα του πυθμένα. Κατ' αυτό το τροπό δημιουργούνται μεταβολές στα φυσικά, χημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά του ιζήματος, καθώς ενισχύεται η εμφάνιση ανοξικών συνθηκών και η παραγωγή τοξικών αερίων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μίας αζωικής ζώνης, η οποία τυπικά απαντάται κάτω από τους ιχθυοκλωβούς, όπως επίσης και τη μείωση της βενθικής βιοποικιλότητας στην εγγύς περιοχή γύρω από τη μονάδα εκτροφής (Ritz et al., 1989; Tsutsumi et al., 1991; Wu et al., 1994).

Οι ιχθυοκλωβοί προσελκύουν γύρω τους άγριους πληθυσμούς ψαριών. Πράγματι έρευνες έχουν δείξει ότι γύρω από τις μονάδες εκτροφής συγκεντρώνονται πολλά ενδημικά είδη (Neofitou, 2016). Οι ιχθυοκαλλιέργειες δρουν ως μικρά καταφύγια για τους άγριους πληθυσμούς. Οι οργανισμοί αυτοί καταναλώνουν σημαντικές ποσότητες διαφύγουσας τροφής από τα εκτρεφόμενα ψάρια και ο ρόλος τους φαίνεται να είναι εξαιρετικά σημαντικός, καθώς οι τροφές αυτές δεν προλαβαίνουν να καθιζάνουν στο βενθικό υπόστρωμα και να επηρεάσουν αρνητικά το υδάτινο περιβάλλον. Ωστόσο, η παρουσία άγριας πανίδας γύρω από τις εγκαταστάσεις ιχθυοκαλλιέργειας μπορεί να επιφέρει και σοβαρά προβλήματα στην ίδια την μονάδα καθώς μπορούν να καταστρέψουν τα δίκτυα των ιχθυοκλωβών με ότι αρνητικό μπορεί να συνεπάγεται το γεγονός αυτό προς το υδάτινο περιβάλλον, αφού οι εκτρεφόμενοι οργανισμοί «απελευθερώνονται» μέσα σε αυτό (Καραμανλής, 2018).

Ένας ακόμα περιβαλλοντικός κίνδυνος που σχετίζεται με την δραστηριότητα των ιχθυοκαλλιεργειών στο υδάτινο περιβάλλον είναι οι γενετικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των εκτρεφόμενων ψαριών που διαφεύγουν από τους ιχθυοκλωβούς και των άγριων ψαριών (Grigorakis, 2010). Η διαφυγή ψαριών από τους ιχθυοκλωβούς είναι ένα αναπόφευκτο φαινόμενο, καθώς προκύπτει από εσφαλμένους χειρισμούς κατά τη λειτουργία της εκτροφής (routine handling), από ζημιές που προκαλούνται κατά την διάρκεια δυσμενών καιρικών συνθηκών και από οργανισμούς (φώκιες και δελφίνια) που επιχειρούν να σχίσουν τα δίκτυα (Grigorakis & Rigos, 2011). Με τη διαφυγή των εκτρεφόμενων ψαριών και την αλληλεπίδραση αυτών με τους τοπικούς άγριους πληθυσμούς, μπορεί να παρατηρηθεί μεταβολή στη γενετική σύνθεση των οργανισμών του περιβάλλοντος μέσω της μεταφορά γονιδίων από τους εκτρεφόμενους προς τους άγριους οργανισμούς και της αποδυνάμωσης των ενδημικών ειδών λόγω της ύπαρξης ανταγωνισμού (τροφή, αναπαραγωγή) με τα

εκτρεφόμενα (Grigorakis, 2010). Το μέγεθος των επιπτώσεων εξαρτάται επίσης από το ποσοστό των μη ενδημικών ειδών που χρησιμοποιούνται για εκτροφή. Η εισαγωγή αυτών των ξενικών ειδών προκαλεί επιπτώσεις στην αυτόχθονη πανίδα και χλωρίδα με την μετάδοση ασθενειών από τα εκτρεφόμενα ψάρια στους τοπικούς πληθυσμούς, καθώς και με την εμφάνιση ανταγωνισμού μεταξύ των ειδών που οδηγεί στη μείωση της βιοποικιλότητας αλλά και στη διατάραξη του φυσικού περιβάλλοντος (Turchini & De Silva, 2008).

Η εμφάνιση ασθενειών στα εκτρεφόμενα είδη είναι συνηθισμένο φαινόμενο. Κατά την εκτροφή σε κλωβούς η αλληλεπίδραση μεταξύ εκτρεφόμενων και άγριων πληθυσμών θεωρείται δεδομένη. Συνεπώς, η μετάδοση ασθενειών από τους εκτρεφόμενους στους άγριους οργανισμούς και αντίστροφα είναι αναπόφευκτη (Grigorakis & Rigos, 2011). Η νόσος της εγκεφαλοπάθειας και της αμφιβληστροειδοπάθειας που προκαλείται από ιούς της οικογένειας *Nodaviridae* έχει προκαλέσει σοβαρή θνησιμότητα σε εκτρεφόμενα είδη ψαριών στη Μεσόγειο, ενώ φαίνεται να είναι σημαντική απειλή για τους άγριους πληθυσμούς (Rigos & Katharios, 2010). Από τα κυρίαρχα νοσήματα πλέον είναι η ανάπτυξη του παρασίτου της θαλάσσιας ψείρας, η οποία μεταφέρεται στους άγριους πληθυσμούς από εκτροφές σολομού και λαβρακιού. Τα περισσότερα παράσιτα των ψαριών δεν είναι παθογόνα για τον άνθρωπο, με εξαίρεση μερικά όπως τα βακτηρία του γένους *Streptococcus* που μπορούν να καταστούν επικίνδυνα για την υγεία του. Για την καταπολέμηση των ασθενειών στα εκτρεφόμενα ψάρια γίνεται χρήση φαρμακευτικών ουσιών και προληπτικός εμβολιασμός.

Σημαντική επίσης επίδραση στο υδάτινο περιβάλλον σε περιοχές όπου δραστηριοποιούνται μονάδες εκτροφής ψαριών είναι τα υπολείμματα των δραστικών φαρμακευτικών ουσιών, που χρησιμοποιούνται για τη θεραπεία ασθενειών των εκτρεφόμενων οργανισμών, αλλά και διαφόρων άλλων τοξικών ουσιών, γνωστών ως antifouling, που χρησιμοποιούνται για τη μείωση της προσκόλλησης φυτοπλαγκτονικών και ζωοπλαγκτονικών οργανισμών στα δίχτυα των ιχθυοκλωβών, ώστε να μην εμποδίζεται η καλή κυκλοφορία του νερού από και προς τους κλωβούς (Nikolaou et al., 2014). Οι ουσίες αυτές απελευθερώνονται μετά τη χρήση τους στο υδάτινο περιβάλλον και επιδρούν σε άλλα άγρια είδη μη εκτρεφόμενα, σε μικροοργανισμούς και σε βενθικούς οργανισμούς. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την επιβάρυνση οργανισμών «μή στόχων», τη διατάραξη της χημείας της υδάτινης

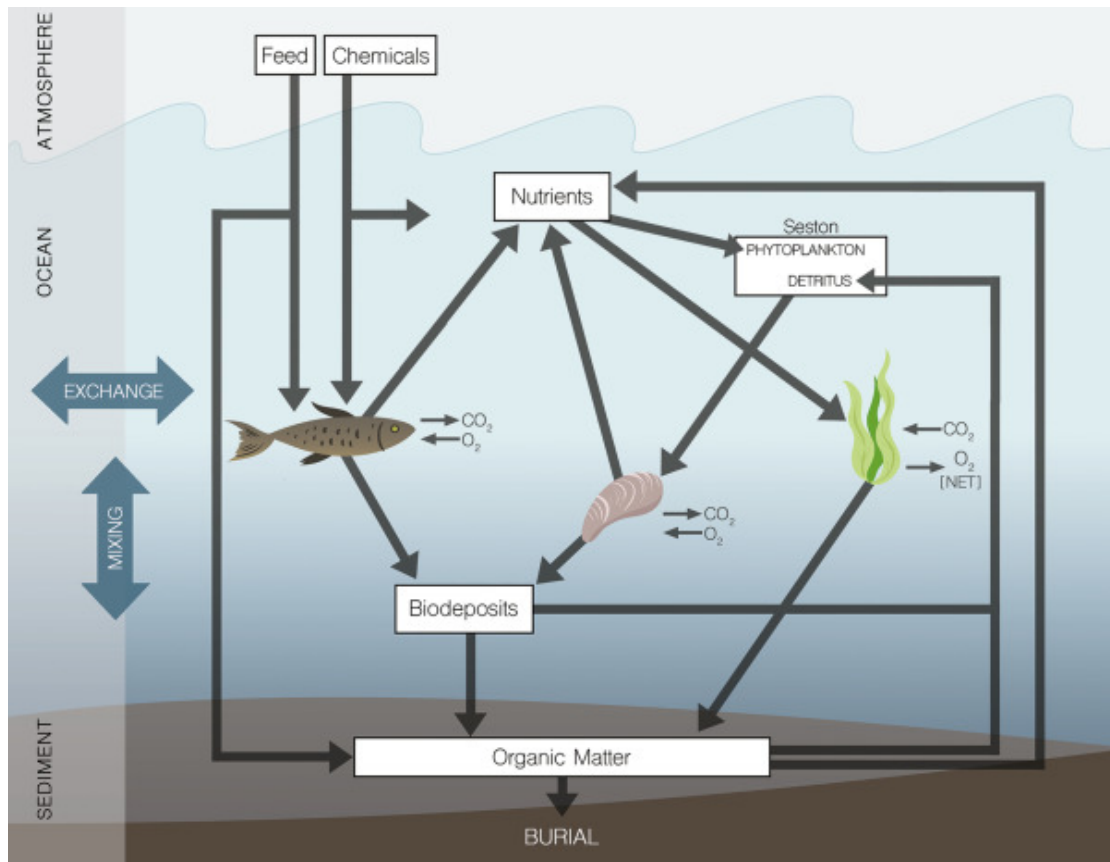
στήλης και του ιζήματος και την εισαγωγή αυτών των ουσιών στην τροφική αλυσίδα των υδρόβιων οργανισμών (Grigorakis & Rigos, 2011). Η χορήγηση φαρμακευτικών ουσιών στα εκτρεφόμενα ψάρια αποσκοπεί τόσο στην προληπτική όσο και στη θεραπευτική αγωγή τους απέναντι σε ασθένειες που απειλούν την υγεία τους. Σημαντικές παράμετροι των φαρμακευτικών αυτών ουσιών είναι η μέγιστη ποσότητα που κατακρατείται από τους ιστούς και ο χρόνος απέκκρισής τους. Παρά τη βελτιστοποίηση των θεραπευτικών πρακτικών, σημαντικές ποσότητες αντιβιοτικών ουσιών μπορούν να απελευθερωθούν γύρω από τους κλωβούς εκτροφής (Rigos & Troisi, 2005). Οι τρόποι απελευθέρωσης των φαρμακευτικών αυτών ουσιών στο υδάτινο περιβάλλον είναι τα υπολείμματα φαρμακευτικών σφαιριδίων, το ουροποιητικό (ούρα) και το πεπτικό σύστημα (κόπρανα) (Rigos et al., 2004). Επιπρόσθετα, σε πλωτούς ιχθυοκλωβούς χρησιμοποιούνται οι σάκοι θεραπείας, μέσα στους οποίους γίνεται διάλυση των φαρμακευτικών σκευασμάτων (απολυμαντικά κατά των παρασίτων ή αναισθητικά) και η εμβάπτιση των υπό θεραπεία ψαριών. Γίνεται λοιπόν ορατός ο κίνδυνος της διασποράς των φαρμακευτικών αυτών ουσιών στο υδάτινο περιβάλλον. Η διασπορά αυτή έχει ως αποτέλεσμα τη ρύπανση της εγγύς περιοχής όπου λειτουργεί η εκτροφή και την αρνητική επίδραση τόσο στα εκτρεφόμενα ψάρια όσο και σε άλλους υδρόβιους οργανισμούς μη στόχους (Haya et al., 2005). Δεδομένου ότι τα δίχτυα των κλωβών βρίσκονται σε άμεση επαφή με το νερό, το γεγονός αυτό, τα καθιστά επιφάνεια επικάθισης και ανάπτυξης διαφόρων υδρόβιων μικροοργανισμών (π.χ μικρόφύκη). Το φαινόμενο αυτό προκαλεί σημαντικά προβλήματα στις ιχθυοκαλλιέργειες, όπως την αύξηση του βάρους των εγκαταστάσεων και τη μείωση της ροής του ύδατος εντός των ιχθυοκλωβών με αποτέλεσμα τη μείωση της ανανέωσής του (Γατίδου, 2005). Έτσι λοιπόν κρίνεται απαραίτητο ο καθαρισμός και η συντήρηση των εγκαταστάσεων. Για τον περιορισμό της συχνότητας καθαρισμού των δικτύων χρησιμοποιούνται χημικές ουσίες (antifouling) με τις οποίες αυτά εμβαπτίζονται με σκοπό να μειώσουν το ρυθμό επικάθισης μικροοργανισμών. Η χρήση αυτών των χημικών ουσιών έχει ως αποτέλεσμα τη συσσώρευση βαρέων μετάλλων (Cu, Zn) στα εκτρεφόμενα είδη και την είσοδο τους στην τροφική αλυσίδα και τον άνθρωπο ως τελικό καταναλωτή, την εφαρμογή της τοξικής τους δράσης σε οργανισμούς μη-στόχους του υδάτινου περιβάλλοντος και την ανάπτυξη μηχανισμών αντίστασης των βακτηρίων (Καραμανλής, 2018).

3. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1 Επιπτώσεις στα θρεπτικά άλατα της υδάτινης στήλης

Η ιχθυοκαλλιέργεια σε κλωβούς απελευθερώνει σωματίδια και διαλυμένες ενώσεις στην υδάτινη στήλη, οι οποίες επηρεάζουν την ποιότητα του νερού, όπως το διαλυμένο οξυγόνο και τα επίπεδα των οργανικών και ανόργανων ουσιών (Wu, 1995). Η αλληλεπίδραση μεταξύ εκτροφής ιχθύων σε κλωβούς και υδάτινου περιβάλλοντος σχετίζεται με τις απεκκρίσεις των ψαριών μέσω του πεπτικού (κόπρανα), του ουροποιητικού (αμμωνία, ουρία) και του αναπνευστικού συστήματος (O_2 , CO_2), τις ιχθυοτροφές που δεν καταναλώθηκαν και τις χημικές ουσίες που χρησιμοποιήθηκαν (Εικ. 11) (Weitzman et al., 2019). Τα προϊόντα αυτά διαχέονται στην υδάτινη στήλη και αποτίθενται στον πυθμένα. Η τροφή που προσφέρεται στα εκτρεφόμενα ψάρια είναι πλούσια σε πρωτεΐνες, υδατάνθρακες, λιπίδια και άλλα θρεπτικά συστατικά όπως φώσφορο και άζωτο. Συνεπώς το μεγαλύτερο ποσοστό αποβλήτων των ιχθυοκαλλιεργητικών μονάδων περιλαμβάνει οργανικό άνθρακα, άζωτο και φώσφορο που απελευθερώνονται μέσω των περιττωμάτων και της απώλειας προσφερόμενης τροφής στην υδάτινη στήλη (Wang et al., 2012). Επιπρόσθετα τα ψάρια εκκρίνουν διαλυμένες ενώσεις αζώτου και φωσφόρου μέσω των βραγχίων και των νεφρών τους στο υδάτινο περιβάλλον (Grigorakis & Rigos, 2011). Επίσης, η αποσύνθεση οργανικών συστατικών, όπως τα απόβλητα των ιχθυοτροφών και τα περιττώματα των ψαριών που αποτίθενται κάτω και γύρω από τους κλωβούς, απελευθερώνει αμμωνία και φωσφορικά άλατα στην υδάτινη στήλη (Holmer et al., 2002). Σημαντικός παράγοντας στην αύξηση των θρεπτικών συστατικών της υδάτινης στήλης φαίνεται να είναι τα υπολείματα της προσφερόμενης τροφής στους εκτρεφόμενους οργανισμούς (Islam, 2005; Grigorakis & Rigos, 2011). Σύμφωνα με τον Wu (1995), οι απώλειες των ιχθυοτροφών μπορούν να κυμανθούν μεταξύ 1-38% σε διάφορα συστήματα εντατικής ιχθυοκαλλιέργειας. Αν και ο τύπος της χρησιμοποιούμενης ιχθυοτροφής και οι πρακτικές διατροφής ποικίλουν ανάλογα με τις διάφορες περιοχές και την ένταση της εκτροφής, γενικά, η επιβάρυνση της υδάτινης στήλης με θρεπτικά άλατα μπορεί να αποδοθεί στις απώλειες ιχθυοτροφής λόγω μη ορθής διαχείρισής της, στη μειωμένη ποιότητα της

τροφής (π.χ υψηλή διαλυτότητα στο νερό) και στην περιορισμένη πεπτικότητα της από τους εκτρεφόμενους οργανισμούς (Islam, 2005).



Εικόνα 11. Διάγραμμα που παρουσιάζει την αλληλεπίδραση μεταξύ εκτρεφόμενων ψαριών και υδάτινου περιβάλλοντος (Weitzman et al., 2019).

Οι Merican & Philips (1985), αναφέρουν ότι ο υπολογισμός των τροφικών αποβλήτων είναι δύσκολο να προσδιοριστεί εξαιτίας της αδυναμίας διαχωρισμού της μη καταναλούμενης τροφής από τα άλλα στερεά απόβλητα. Ωστόσο, πολλές έρευνες που πραγματοποιήθηκαν σχετικά με τις επιπτώσεις των ιχθυοκαλλιεργειών σε κλωβούς στο υδάτινο περιβάλλον έδειξαν σημαντική αύξηση του επιπέδου των αιωρούμενων στερεών σωματιδίων και θρεπτικών ουσιών (ιδιαίτερα των αζωτούχων και των φωσφορικών) και μείωση των επιπέδων του διαλυμένου οξυγόνου γύρω από τους κλωβούς.

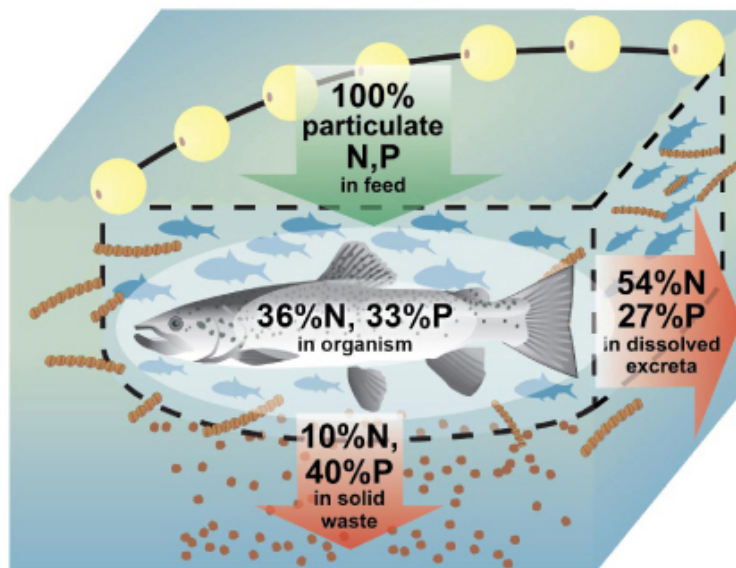
Η έρευνα των Holmer et al. (2008), που διεξήχθη σε τέσσερις διαφορετικούς κόλπους της Μεσογείου (στην Κύπρο, στην Ελλάδα, στην Ιταλία και στην Ισπανία) που λειτουργούσαν εκτροφές λαβρακιού και τσιπούρας απέδειξε ότι η ιχθυοκαλλιέργεια της Ιταλίας είχε τη μεγαλύτερη ετήσια απελευθέρωση θρεπτικών ουσιών σε σύγκριση με τις άλλες τρεις, εξαιτίας του μεγάλου όγκου παραγωγής και

του μεγάλου δείκτη μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR). Η αύξηση της διαθεσιμότητας των θρεπτικών που καταγράφηκε στις τέσσερις ιχθυοτροφικές μονάδες βασίστηκε στην καταγραφή των πληθυσμών μικροφυκών και μακροφυκών του περιβάλλοντα χώρου τους ιχθυοκαλλιεργειών. Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντική αύξηση της πρωτογενούς παραγωγικότητας, με έως και 6,7 φορές μεγαλύτερη βιομάζα φυτοπλαγκτού στα όρια των ιχθυοκαλλιεργειών σε σχέση με τα σημεία αναφοράς (Holmer et al., 2008).

Η διέγερση της πρωτογενούς παραγωγής που προκαλείται από την αύξηση των θρεπτικών λόγω της λειτουργίας των ιχθυοκαλλιεργειών, μπορεί να αποδοθεί στις oligοτροφικές συνθήκες της Μεσογείου στην οποία ακόμα και μία μικρή αύξηση των θρεπτικών ουσιών μπορεί να προκαλέσει ταχεία ανάπτυξη του φυτοπλαγκτού (Zohary et al., 2005).

Οι Bouwman et al. (2013), για την εκτίμηση απελευθέρωσης διαλυμένου και σωματιδιακού αζώτου (N) και φωσφόρου (P) από την εκτροφή σολομού και ιριδίζουσας πέστροφας σε κλωβούς, χρησιμοποίησαν ένα μοντέλο που λάμβανε υπόψη την εισροή θρεπτικών συστατικών και ιχθυοτροφών στα ψάρια, τον συντελεστή μετατρεψιμότητας τροφής (FCR), την πεπτικότητα της τροφής και την απομάκρυνση των θρεπτικών από τους εκτρεφόμενους οργανισμούς. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι 36% του αζώτου και 33% του φωσφόρου που περιέχονταν στην ιχθυοτροφή απορροφάται από τους εκτρεφόμενους οργανισμούς, το 54% του αζώτου και 27% του φωσφόρου αποβάλλεται σε διαλυμένη μορφή, ενώ το υπόλοιπο 10% και 40%, αντίστοιχα, αποβάλλεται σε στερεά μορφή (Εικ. 12). Η ιχθυοκαλλιέργεια σε κλωβούς μεταβάλλει τη φυσική κυκλοφορία των θρεπτικών συστατικών της υδάτινης στήλης, με αυξημένη απελευθέρωση διαλυμένων θρεπτικών και στερεών αποβλήτων (αμμώνιο, νιτρικά και φωσφορικά άλατα, ουρία) μέσω διεργασιών απέκκρισης. Ο εμπλουτισμός της υδάτινης στήλης με θρεπτικά άλατα μπορεί να οδηγήσει σε ευτροφισμό (Baudinet et al., 1990). Οι οργανισμοί παράγουν αμμώνιο, ως μεταβολικό παραπροϊόν, το οποίο είναι η προτιμότερη μορφή αζώτου για το φυτοπλαγκτόν (Neofitou & Kloudatos, 2008). Η απόκριση του οικοσυστήματος, στις αυξημένες ποσότητες θρεπτικών αλάτων συνδέεται με την αύξηση της βιομάζας του φυτοπλαγκτού, με τη συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α και με τα αυξημένα επίπεδα πρωτογενούς παραγωγής (Islam, 2005).

Ο ευτροφισμός είναι η κατάσταση που περιέχονται τα υδάτινα οικοσυστήματα, εξαιτίας αυξημένης εισροής θρεπτικών, που συνεπάγεται αύξηση των φυτικών οργανισμών (Καραμανλής, 2018).



Εικόνα 12. Διάγραμμα της πορείας των θρεπτικών ουσιών (N, P) σε εκτροφή σολομού και ιριδίζουσας πέστροφας (Bouwman et al., 2013).

Ο Κλαουδάτος (2005), αναφέρει ότι τα απόβλητα μιας ιχθυοκαλλιεργητικής μονάδας, από μόνα τους δεν μπορούν να προκαλέσουν το φαινόμενο του ευτροφισμού σε μια περιοχή και μόνο αν δράσουν αθροιστικά με άλλες πηγές ρύπανσης δύναται να συντελέσουν στην αύξηση της συγκέντρωσης του στοιχείου που αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για την ανάπτυξη του φυτοπλαγκτού και που στο θαλασσίνο περιβάλλον είναι κατά κύριο λόγο το διαλυμένο ανόργανο άζωτο αλλά και ο φώσφορος σε μικρότερο βαθμό.

Η έρευνα των Neofitou & Klaoudatos (2008), που διεξήχθη στον Παγασητικό κόλπο σχετίζεται με την επίδραση της εκτροφής τσιπούρας και λαυρακιού σε ιχθυοκλωβούς στην συγκέντρωση θρεπτικών αλάτων της υδάτινης στήλης. Τα αποτελέσματα έδειξαν μεταβολές στα επίπεδα αζώτου και φωσφόρου οι οποίες όμως δεν έχουν επιπτώσεις στην αναλογία N/P του Παγασητικού κόλπου ώστε να εκδηλωθεί το φαινόμενο του ευτροφισμού. Αντίθετα τα αποτελέσματα μιας άλλης έρευνας που πραγματοποιήθηκε στην Κίνα από τους Jiang et al. (2012), έδειξαν ότι τα πολύ υψηλά επίπεδα θρεπτικών αλάτων (διαλυμένου φωσφόρου και αζώτου)

γύρω από τις ιχθυοκαλλιέργειες που προέρχονται κυρίως από τα υπολείμματα των ιχθυοτροφών και από τα απεκκρίματα των εκτρεφόμενων οργανισμών, συνέβαλαν ουσιαστικά στην εμφάνιση ευτροφισμού στην περιοχή. Συνεπώς, θα μπορούσε να ειπωθεί ότι η εμφάνιση του ευτροφισμού σε μια υδάτινη περιοχή εξαρτάται από πλήθος παραγόντων. Μεταξύ άλλων είναι συνάρτηση του φορτίου των θρεπτικών αλάτων που εισέρχονται σ' αυτήν, του ποσοστού που κατακρατείται από το ίζημα του πυθμένα, του ποσοστού που απομακρύνεται από τα όρια της περιοχής με τον κυματισμό και τα ρευμάτα, του ρυθμού ανανέωσης των νερών και της γενικότερης υδροδυναμικής κατάστασης της περιοχής (Κλαουδάτος, 2005).

Ωστόσο, 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. Επιπρόσθετα, η ανάπτυξη των υδρόβιων φυτικών οργανισμών (φυτοπλαγκτόν, υδρόβια φυτά) εμπλουτίζει το νερό, μέσω της φωτοσυνθετικής τους δραστηριότητας, με οξυγόνο. Όμως στις εύτροφες 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 (ερυθρά ή καφέ παλίρροια) με επικράτηση αντίξοων συνθηκών για την επιβίωση των υδρόβιων οργανισμών και τέλος, τη μείωση του αριθμού φυτοπλαγκτού που είναι σημαντικό για την εκτροφή των υδρόβιων οργανισμών. Η υπερβολική αύξηση της βιομάζας των φυτικών οργανισμών προκαλεί επιβλαβείς επιδράσεις στην θαλάσσια ζωή (harmful algal blooms ή HABs) (Price et al., 2015) (Εικόνα 13). Η αυξημένη πυκνότητα του φυτοπλαγκτού πυροδοτεί την αύξηση μικροοργανισμών που καταναλώνουν το διαλυμένο οξυγόνο, ενώ ταυτόχρονα αποτρέπει την διείσδυση ηλιακής ακτινοβολίας στη στήλη του νερού που συνεπώς οδηγεί στη μείωση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας, ακόμη και μερικά εκατοστά της στήλης του νερού κάτω από την επιφάνεια. Η εξάντληση του διαλυμένου οξυγόνου μειώνει τους ρυθμούς ανάπτυξης των υδρόβιων οργανισμών και σε ακραίες περιπτώσεις οδηγεί στον θάνατο τους. Επιπλέον, λόγω των αναερόβιων συνθηκών που επικρατούν, παράγονται τοξικά αέρια, όπως το μεθάνιο, η αμμώνια και το υδρόθειο που είναι εξαιρετικά επικίνδυνα τόσο για τους ζωικούς όσο και για τους φυτικούς υδρόβιους οργανισμούς.



Εικόνα 13. Harmful algal blooms (HABs)(Πηγή: <https://www.heraldnet.com/nation-world/everything-you-need-to-know-about-toxic-algae-blooms/>).

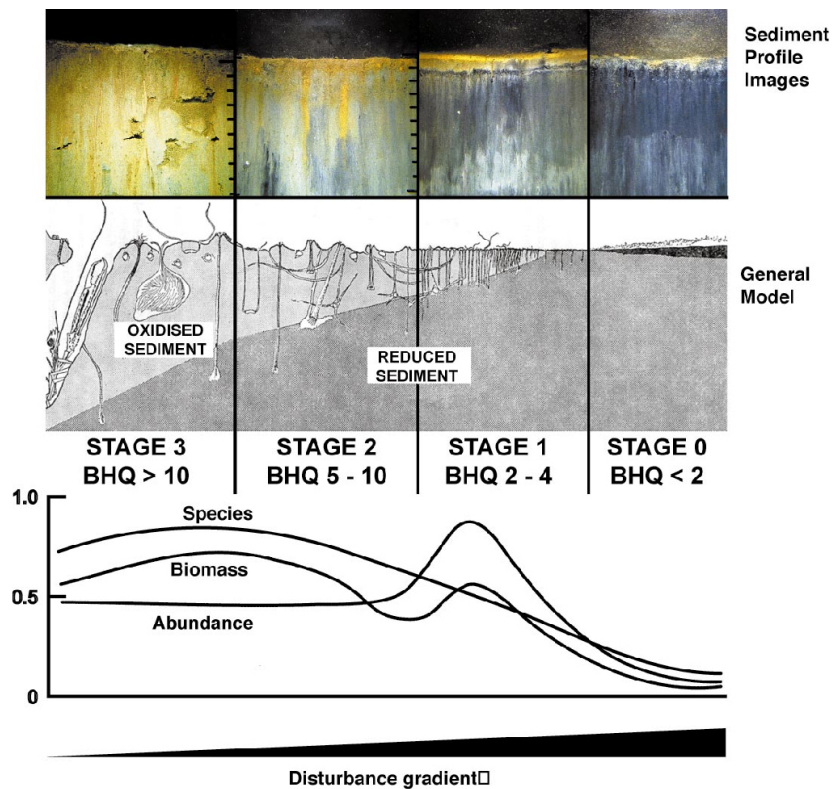
Οι Bouwman et al. (2013) αναφέρουν ότι η αυξημένη απελευθέρωση θρεπτικών αλάτων από τις ιχθυοκαλλιέργειες μπορεί να οδηγήσει στην υπερανάπτυξη των φυτικών οργανισμών και στη συνέχεια να προκαλέσει συνθήκες υποξίας αλλά και την εμφάνιση τοξικών ειδών φυτοπλακτού (HABs). Τα τοξικά είδη φυτοπλακτού εμφανίζονται μετά την απονέκρωση και αποσύνθεση των φυκών που παραμένουν συσσωρευμένα στην υδάτινη επιφάνεια μέσω της έντονης ηλιακής ακτινοβολίας με αποτέλεσμα να απελευθερώνουν τοξικές ουσίες (βιοτοξίνες). Οι Jiang et al. (2012) στην έρευνα τους αναφέρουν πως από τη λειτουργία των ιχθυοκαλλιεργειών που δραστηριοποιούνται δίπλα από εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στον ευτροφικό κόλπο Xiangshan, αυξήθηκε σημαντικά η συγκέντρωση των θρεπτικών αλάτων ενώ μειώθηκε σημαντικά η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου κυρίως κατά τις θερμότερες εποχές αλλά δεν παρουσιάστηκε επιδείνωση του ευτροφισμού. Ωστόσο παρατηρήθηκε αφθονία και κυριαρχία τοξικών δινομαστιγωτών (*Prorocentrum minimum*) κατά την χειμερινή περίοδο που την απέδωσαν στη λειτουργία της ιχθυομονάδας και του εργοστασίου παραγωγής

ενέργειας το οποίο προκάλεσε θερμική ρύπανση των υδάτων. Γενικά, τα HABs (harmful algal blooms) είναι μικροφύκη από τα οποία μπορούν να προκληθούν μαζικοί θάνατοι των εκτρεφόμενων οργανισμών και παράλληλα να επιφέρουν κινδύνους για την δημόσια υγεία λόγω συσσώρευσης τοξίνων στα ψάρια τα οποία πρόκειται να καταναλώσουν οι άνθρωποι (Backer & McGillicuddy, 2006). Παρόλα αυτά το φαινόμενο αυτό παρατηρείται κυρίως σε ημίκλειστους κόλπους και σε εύτροφα υδάτινα περιβάλλοντα και αποδίδεται στη γενικότερη ρύπανση των υδάτων και όχι αποκλειστικά στη δραστηριότητα των ιχθυοκαλλιεργειών.

3.2 Επιπτώσεις στο βενθικό υπόστρωμα

Το ρυπαντικό φορτίο το οποίο προέρχεται από τη λειτουργία των ιχθυοκαλλιεργειών μπορεί να επιδράσει σημαντικά όχι μόνο στην υδάτινη στήλη αλλά και στο ίζημα, καθώς αυτό καθιζάνει σταδιακά στον πυθμένα. Κατ' αυτόν τον τρόπο όταν η εναπόθεση οργανικής ύλης ξεπερνά την φυσική ταχύτητα διάσπασής της τότε συσσωρεύεται στον πυθμένα (Stoeck et al., 2018), κόντα στις μονάδες εκτροφής προκαλώντας έτσι χημικές αλλοιώσεις στο ίζημα που επιδρούν στην συνέχεια στις τοπικές βενθικές κοινότητες (Kalantzi & Karakasis, 2006). Αναλυτικότερα, τα επιφανειακά παράκτια θαλάσσια βενθικά ιζήματα αποτελούνται από ένα οξειδωμένο στρώμα το οποίο συνήθως καλύπτει ανοξικά στρώματα. Η παρουσία και το πάχος αυτού του οξειδωμένου στρώματος εξαρτάται από την ισορροπία ανάμεσα στην κατανάλωση και στον εφοδιασμό του με το διαλυμένο οξυγόνο. Ως εκ τούτου, κάθε επιπλέον προσθήκη οργανικού υλικού στο ίζημα αυξάνει την κατανάλωση του προσφερόμενου οξυγόνου, λόγω δράσης των βενθικών οργανισμών που ζουν μέσα στο ίζημα και επιτελούν την αποικοδόμηση του οργανικού υλικού. Όταν η κατανάλωση του οξυγόνου ξεπεράσει τη φέρουσα ικανότητα του βενθικού υποστρώματος, τότε το ίζημα γίνεται ανοξικό και σε αυτό το σημείο αρχίζουν οι μεταβολές στη χημεία του ιζήματος και κατ' επέκταση στην οικολογία των οργανισμών (Κλαουδάτος, 2005). Σε εξαιρετικά οργανικά εμπλουτισμένα ιζήματα παρατηρείται ο σχηματισμός αναερόβιων βακτηριακών στρώσεων και η μετάβαση από οξικές προς ανοξικές διεργασίες η οποία οδηγεί στην παραγωγή τοξικών αερίων όπως μεθάνιο, υδρόθειο και αμμωνία. Οι ανοξικές συνθήκες που σχηματίζονται στα επιφανειακά ιζήματα, εξαιτίας της αυξημένης

οργανικής ύλης οδηγούν στην εξαφάνιση των βενθικών οργανισμών, καθώς δεν υπάρχει διαθέσιμο οξυγόνο για να επιτευχθεί η διαδικασία της αναπνοής (Rosenberg, 2001). Οι γεωχημικές αλλαγές στην δομή του πυθμένα συνοδεύονται από σημαντικές αλλαγές στις επιβενθικές και ενδοβενθικές κοινότητες (Holmer et al., 2005). Γενικά, οι μεταβολές της βενθικής κοινότητας ακολουθούν το μοντέλο διαδοχής της απόκρισης στην αύξηση του οργανικού εμπλουτισμού των ιζημάτων που περιγράφεται από το μοντέλο Pearson και Rosenberg (1978) (Εικ. 14). Το μοντέλο αυτό περιγράφει ότι αρχικά η αφθονία σταδιακά αυξάνεται ενώ καθώς αυξάνεται το φορτίο της οργανικής ύλης αυτή αυξάνεται πιο έντονα έως ότου φτάσει στο μέγιστο και κατόπιν πέφτει απότομα, καθώς μειώνεται η συγκέντρωση του οξυγόνου (Parageorgiou et al., 2010). Η βιομάζα ακολουθεί το ίδιο μοτίβο της αφθονίας με την κορυφή της να εμφανίζεται πλησίον και χαμηλότερα από εκείνη. Τέλος, ο μέγιστος αριθμός ειδών συμπίπτει με την κορυφή της βιομάζας (Parageorgiou et al., 2010). Η επίδραση του οργανικού εμπλουτισμού στο βένθος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως περιγραφικό εργαλείο για την κατάσταση των ιζημάτων (Gray et al., 2002) και για βιοπαρακολούθηση (Parageorgiou et al., 2010). Οι επιπτώσεις στον πυθμένα της θάλασσας κάτω από τους ιχθυοκλωβούς βρέθηκαν να κυμαίνονται από πολύ σημαντικές έως σχετικά αμελητέες ανάλογα με τον τύπο του ιζήματος και τα τοπικά ρεύματα νερού (Karakassis, 2001). Συνεπώς, ανάλογα με τον τύπο του υποστρώματος και την ρευμάτωση η καθίζηση των αποβλήτων από τους ιχθυοκλωβούς μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της οργανικής ύλης, του οργανικού άνθρακα και του αζώτου στα ιζήματα αλλά και στην παραγωγή τοξικών αερίων, ενώ ταυτόχρονα το δυναμικό οξειδοαναγωγής (redox potential) και η βιοποικιλότητα της βενθικής μακροπανίδας παρουσιάζει μείωση (Hargrave, 2010). Τυπικά, το αποτύπωμα της εναπόθεσης οργανικής ύλης από τους ιχθυοκλωβούς παρατηρείται ως επί το πλείστον στα 25-100 m κατάντη των κλωβών (Keeley et al., 2012), ενώ, όσο αυξάνεται η απόσταση από τους κλωβούς το αποτύπωμα μειώνεται ολοένα και περισσότερο (Stoeck et al., 2018). Η υπερβολική συσσώρευση οργανικής ύλης προκαλεί δραματική μείωση του οξυγόνου του ιζήματος, προκαλώντας υποξία με τελικό αποτέλεσμα το ίζημα να καταστεί ανόξιμο (Sanz-Lazaro & Marin, 2008). Εξαιτίας της ολικής κατανάλωσης του οξυγόνου εμφανίζονται βακτήρια με αναερόβιο μεταβολισμό που χρησιμοποιούν ενώσεις διαφορετικές από το οξυγόνο ως δέκτες ηλεκτρονίων για την απόκτηση ενέργειας (Sanz-Lazaro & Marin, 2008).



Εικόνα 14. Γενικό μοντέλο κατανομής των βενθικών οργανισμών σε διαδοχικά στάδια κατά μήκος μιας αυξανόμενης περιβαλλοντικής διαταραχής από τα αριστερά προς τα δεξιά (Pearson & Rosenberg, 1978) και του σχετικού δείκτη ποιότητας του βενθικού ενδιαίτηματος Benthic Habitat Quality (BHQ) (Nilsson and Rosenberg 1997). Οι εγκάρσιες τομές των ιζημάτων που αντιστοιχούν σε ένα διαδοχικά στάδια και τοποθετούνται πάνω από το γενικό μοντέλο (τα χρώματα έχουν μειωμένο σε οξυγόνο ίζημα ή το ανοξικό είναι γκρι ή μαύρο (Rosenberg, 2001).

Τα κυρίαρχα βακτήρια αυτών των οργανικά εμπλουτισμένων-ανοξικών ιζημάτων είναι τα *Beggiatoa* (Hargrave, 2010), τα οποία παράγουν σουλφίδια (π.χ υδρόθειο) ως υπολείμματα του μεταβολισμού τους, ενώ υπάρχουν, σε μικρότερη αφθονία άλλα αναερόβια βακτήρια που παράγουν αμμώνιο και μεθάνιο. Οι Enell & Lof (1983), έδειξαν ότι το αμμώνιο διαλύεται στο νερό και η απελευθέρωση του από ανοξικό ίζημα γίνεται με ρυθμό 2,6-3,3 φορές μεγαλύτερο από τον ρυθμό που παρατηρείται στα αδιατάραχτα οξειδωμένα ιζήματα.

Ένα από τα πιο μελετημένα Μεσογειακά βενθικά οικοσυστήματα, όσον αφορά τις επιπτώσεις της ιχθυοκαλλιέργειας, είναι τα λιβάδια ποσειδωνίας (*Posidonia oceanica*) (Delgado et al., 1999; Holmer et al., 2008; Apostolaki et al., 2009) (Εικ. 15). Γενικά, στην Μεσόγειο οι επιπτώσεις στο ίζημα από τους

ιχθυοκλωβούς απαντώνται σε βάθος περίπου 25 m και σε απόσταση έως και 1000 m από τους κλωβούς (Sara et al., 2004). Το φυτοβενθικό αυτό είδος αποτελεί σημαντικό βιοδείκτη καθαρότητας του περιβάλλοντος μιας και είναι πολύ ευαίσθητο στην οργανική ρύπανση. Είναι κοινό ενδημικό είδος της Μεσογείου. Αποτελεί βασική πηγή τροφής για πολλούς βενθικούς οργανισμούς, προσφέρει καταφύγιο από θηρευτές και ενδιαίτημα για ένα πλήθος υδρόβιων ειδών, και γενικά παίζει σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωση και αρχιτεκτονική του οικοσυστήματος της Μεσογείου (Duarte, 2002). Οι επιδράσεις των ιχθυοκαλλιέργειών στο φύκος αυτό φαίνεται να είναι περίπλοκες και ποικίλες.



Εικόνα 15. *Posidonia oceanica*

(Πηγή: <https://www.flickr.com/photos/arnaudabadie/38157305642>).

Η αύξηση σουλφιδίων στο ίζημα έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της ποσειδωνίας. Επίσης, οι ιχθυοκαλλιέργειες μπορούν να προκαλέσουν αύξηση των επίφυτων και σε ορισμένες περιπτώσεις αύξηση του πληθυσμού των αχινών, οι οποίοι εν τέλει θα εξαφανίσουν την ποσειδωνία μέσω της υπερβόσκησης. Έρευνες έδειξαν ότι τα λιβάδια ποσειδωνίας κοντά σε ιχθυοκλωβούς μειώνονται στο ήμισυ μέσα σε 3-26 μήνες, ενώ εξαφανίζονται μέσα σε περίπου 5 – 11 έτη. Σε κάθε περίπτωση οι

ιχθυοκαλλιέργειες θα πρέπει να βρίσκονται σε μία απόσταση μεγαλύτερη των 800 m, έτσι ώστε να μην επηρεάζουν την ποσειδωνία (Holmer et al., 2008).

Οι Kalaitzi & Karakassis (2006), πραγματοποίησαν μία μετα-ανάλυση (Meta-Analysis) σε 41 επιστημονικά άρθρα για την επίδραση των ιχθυοκαλλιεργειών στο βένθος. Τα πιο σημαντικά συμπεράσματα τους συνοψίζονται ως εξής:

- Η αύξηση του βάθους έχει δύο συνέπειες. Πρώτον επιτρέπει τη διασπορά των αποβλήτων σε μεγαλύτερη επιφάνεια, και άρα ανά μονάδα επιφάνειας υπάρχει μικρότερη επίδραση με αποτέλεσμα να αυξάνεται το δυναμικό οξειδοαναγωγής, το διαλυμένο οξυγόνο, καθώς και η βενθική βιοποικιλότητα. Δεύτερον, συνεπάγεται μεταβολές στην κοκκομετρία του ιζήματος, επειδή αυξάνεται η αναλογία των λεπτόκοκκων σωματιδίων, τα οποία με την σειρά τους επιτρέπουν υψηλότερη απορροφητικότητα της οργανικής ύλης, καθώς και χαμηλότερα επίπεδα μακροβενθικής βιομάζας.
- Ο τύπος του ιζήματος κάτω από την μονάδα εκτροφής είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας προσδιορισμού τόσο της έντασης όσο και της έκτασης των επιδράσεων.
- Τέλος, η οριζόντια απόσταση που επιδρούν τα απόβλητα μιας ιχθυοκαλλιέργειας μειώνεται με την αύξηση του βάθους, την μείωση του γεωγραφικού πλάτους και τη μείωση της διαμέτρου των κόκκων του ιζήματος.

Τα αποτελέσματα αυτά μπορούν σε γενικές γραμμές να θεωρηθούν οι βασικές αρχές με τις οποίες θα εκτιμηθεί η επίδραση μιας ιχθυοκαλλιέργειας στο βένθος. Ωστόσο, όλα αυτά τα συμπεράσματα φαίνεται να υποδεικνύουν ότι είναι δύσκολο να υιοθετηθούν κοινά μέτρα αντιμετώπισης σε μεγάλες γεωγραφικές περιοχές (π.χ Ε.Ε), αφού ο προσδιορισμός του βαθμού των βενθικών επιδράσεων επηρεάζεται από περίπλοκους συνδυασμούς διαφόρων παραγόντων, όπως π.χ το βάθος, το γεωγραφικό πλάτος και τον τύπο του ιζήματος. Στη σύγχρονη βιβλιογραφία φαίνεται πως ίσως να παίζουν ρόλο και άλλοι παράγοντες όπως η ρευμάτωση (Henderson et al., 2001; Cromey et al., 2002) και η ταχύτητα καθίζησης των απεκκρίσεων από μονάδες ιχθυοκαλλιέργειας (Magill et al., 2006).

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκε μια βιβλιογραφική ανασκόπηση της αλληλεπίδρασεως των ιχθυοκαλλιιεργειών με το υδατικό περιβάλλον, καθώς επίσης και της επίδρασης αυτών στην υδάτινη στήλη και στο βενθικό υπόστρωμα.

Οι ιχθείς στον πλανήτη αντιπροσωπεύουν το 48,1 %, τα θηλαστικά το 10,8 % τα πτηνά το 20,7 %, τα ερπετά το 14,4 % και τα αμφίβια το 6 %. Τα ποσοστά αυτά φανερώνουν τη μεγάλη σημασία των ψαριών για τη διατροφή του ανθρώπου (Νεοφύτου, 2015).

Η εκρηκτική αύξηση του ανθρώπινου πληθυσμού και το μεγάλο ενδιαφέρον των καταναλωτών για ποιοτική διατροφή οδήγησε σε αυξημένη ζήτηση θαλασσινών τροφίμων. Η υδατοκαλλιέργεια αποτελεί δυνητική λύση για αυτή τη ζήτηση αλλά και την εξασφάλιση επάρκειας των ανωτέρω προϊόντων, καθώς η κάλυψη αυτών είναι αδύνατη από την αλιευτική παραγωγή. Η μέση κατά κεφαλήν κατανάλωση ψαριών σήμερα ανέρχεται στα 22,3 κιλά (ΣΕΘ). Συνεπώς, η εκτροφή ιχθύων αποτελεί μία από τις πιο σημαντικές προσπάθειες παραγωγής κατάλληλων τροφίμων, καθώς τα ψάρια περιέχουν πρωτεΐνες υψηλής βιολογικής αξίας και πολυακόρεστα λιπαρά οξέα που είναι σημαντικά για την ανθρώπινη υγεία.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η εκτροφή ιχθύων σε κλωβούς αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι του υδατικού περιβάλλοντος. Το γεγονός αυτό, παρά του ότι παρουσιάζει πλεονεκτήματα αφού τα ψάρια διαβίουν μέσα στο φυσικό τους περιβάλλον προκαλεί ταυτόχρονα αρνητικές επιπτώσεις σε αυτό. Κατά την εκτροφή ιχθύων απελευθερώνονται θρεπτικά άλατα τα οποία είτε διαλύονται στην υδάτινη στήλη είτε καθιζάνουν σταδιακά στο ίζημα. Κατά αυτό τον τρόπο γίνεται αντιληπτό πως οι εκροές από τις ιχθυοκαλλιέργειες μεταβάλλουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των υδατινών οικοσυστημάτων με αποτέλεσμα να υποβαθμίζεται το περιβάλλον αλλά, και αυτή η υποβάθμιση να προκαλεί επιπτώσεις στην ίδια τη μονάδα δεδομένου ότι οι σχέσεις υδατικού περιβάλλοντος και εκτροφών είναι αμφίδρομες. Από την βιβλιογραφία μπορούμε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι οι επιπτώσεις των αποβλήτων των ιχθυοκαλλιιεργειών διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή και εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες, όπως τη γεωμορφολογία και την υδρολογία της περιοχής, τον ρυθμό ανανέωσης του νερού, το βάθος και τη φύση του ιζήματος. Ωστόσο, σημαντικοί παράγοντες φαίνεται να είναι η θερμοκρασία, η ποιότητα, η

ποσότητα αλλά και η πεπτικότητα της χορηγούμενης τροφής, καθώς επίσης και η φυσική διάσπαση της οργανικής ύλης που αποβάλλεται από την εκτροφή (Κλαουδάτος, 2005).

Από τη βιβλιογραφία σχετικά με τις επιπτώσεις των ιχθυοκαλλιεργειών στο υδάτινο περιβάλλον μπορούμε να καταλήξουμε στα εξής συμπεράσματα:

- Απελευθέρωση αποβλήτων ιχθυοκαλλιεργειών στο υδάτινο περιβάλλον. (διαφυγούσα τροφή, προϊόντα μεταβολισμού των εκτρεφόμενων ψαριών, φαρμακευτικές ουσίες που χορηγούνται).
- Μεταβολή της φυσικής κυκλοφορίας των θρεπτικών συστατικών της υδάτινης στήλης.
- Ανάπτυξη φυτοπλαγκτονικών οργανισμών (ευτροφισμός).
- Συσσώρευση οργανικής ύλης στο ίζημα σε απόσταση 25- 50 m από τους ιχθυοκλωβούς.
- Μεταβολή φυσικών, χημικών και βιολογικών χαρακτηριστικών του ιζήματος.
- Επίδραση στα λιβάδια Ποσειδωνίας.

Οι παραπάνω επιπτώσεις των ιχθυοκαλλιεργειών στο υδάτινο περιβάλλον αποτελούν υπαρκτό γεγονός. Όμως από τη βιβλιογραφία καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι οι επιπτώσεις αυτές εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις τοπικές συνθήκες και γι' αυτό διαφέρουν από περιβάλλον σε περιβάλλον.

Τέλος, κρίνεται απαραίτητη η προστασία του περιβάλλοντος η οποία είναι στενά συνδεδεμένη με την αειφόρο ανάπτυξη, ώστε να μην υποβαθμίζεται από ιχθυοκαλλιεργητικές δραστηριότητες. Βέβαια σπάνια η υποβάθμιση του υδάτινου περιβάλλοντος έχει αποδοθεί αποκλειστικά στις ιχθυοκαλλιεργείες. Όμως τηρώντας τις παρακάτω προτάσεις:

- Τοποθέτηση των ιχθυοκαλλιεργειών σύμφωνα με τα περιβαλλοντικά κριτήρια και τη νομοθεσία.
- Διατήρηση της βιομάζας των εκτρεφόμενων υδρόβιων οργανισμών σε επίπεδα που επιτρέπει το υδάτινο οικοσύστημα (φέρουσα ικανότητα).

- Ορθολογική χρήση των ιχθυοτροφών, σύμφωνα με τις διατροφικές ανάγκες των ιχθύων και με την πεπτικότητά τους.
- Καταγραφή δεδομένων που αφορούν την υγεία των ψαριών, την ανάπτυξή τους, τους δείκτες μετατρεψιμότητας της τροφής, καθώς και τις θεραπευτικές αγωγές που εφαρμόζονται.
- Συστηματική καταγραφή δεδομένων που αφορούν στις μεταβολές της ποιότητας του υδάτινου περιβάλλοντος αλλά και του ιζήματος.
- Χρήση εμβολίων ώστε να μειωθεί κατά το δυνατόν η χρήση φαρμακευτικών σκευασμάτων. Η εφαρμογή θεραπειών με χρήση αντιβιοτικών να γίνεται ύστερα από κτηνιατρική γνωμάτευση.
- Απομάκρυνση νεκρών ιχθύων από τους χώρους της εκτροφής, καθώς αποτελούν πηγή μετάδοσης ασθενειών στους άγριους οργανισμούς.

ακολουθείται η ασφαλής αλλά και σωστή διαχείριση των φυσικών πόρων, ώστε να ικανοποιούνται οι συνεχής ανθρώπινες ανάγκες όχι μόνο του παρόντος αλλά και του μέλλοντος.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική βιβλιογραφία

Γατίδου Γ (2005). Ανάπτυξη μεθόδων προσδιορισμού βιοκτόνων ουσιών των υφαλοχρωμάτων, μελέτη της τοξικότητάς τους και ανίχνευσή τους στο περιβάλλον. Διδακτορική Διατριβή. Παν. Αιγαίου, Μυτιλήνη.

Καραμανλής Ξ. Ν. (2018) Υδάτινο περιβάλλον & αλληλεπιδράσεις μεταξύ περιβάλλοντος και υδατοκαλλιεργειών. Σημειώσεις Τμήματος Κτηνιατρικής Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Κλαουδάτος Σ., & Κλαουδάτος Δ. (2012) Καλλιέργειες φυτικών και εκτροφές υδρόβιων ζωικών οργανισμών. Εκδόσεις Προπομπός, Αθήνα.

Κλαουδάτος Σ., & Κλαουδάτος Δ. (2010) Κατασκευές υδατοκαλλιεργητικών συστημάτων θαλάσσιες – λιμνοθαλάσσιες – χερσαίες. Εκδόσεις Προπομπός, σελ. 86-152.

Κλαουδάτος Σ. (2005) Υδατοκαλλιέργειες & Περιβάλλον. Εκδόσεις Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, σελ. 37-109.

Νεοφύτου Χ. Ν. (2015) Βιολογία Ιχθύων & Θαλάσσιων Θηλαστικών. Εκδόσεις University Studio Press, σελ. 13-16.

Παπουτσόγλου Σ., (1985) Εισαγωγή στις υδατοκαλλιέργειες. Εκδόσεις Σταμούλης, σελ. 251-257.

Ξένη βιβλιογραφία

Apostolaki E. T., Marbà N., Holmer M., Karakassis, I. (2009). Fish farming enhances biomass and nutrient loss in *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 81: 390–400.

Backer L., McGillicuddy D. (2006). Harmful Algal Blooms at the Interface Between Coastal Oceanography and Human Health. *Oceanography*, 19: 94–106.

Baudinet D., Alliot E., Berland B., Grenz C., Plante-Cuny M.-R., Plante R., & Salen-Picard C. (1990). Incidence of mussel culture on biogeochemical fluxes at the sediment-water interface. *Hydrobiologia*, 207: 187–196.

- Bouwman L., Beusen A., Glibert P. M., Overbeek C., Pawlowski M., Herrera J., Mulsow S., Yu R., Zhou M. (2013). Mariculture: significant and expanding cause of coastal nutrient enrichment. *Environmental Research Letters*, 8: 44026.
- Cromey C.J., Nickell T.D., Black K.D. (2002). DEPOMOD-modelling the deposition and biological effects of waste solids from marine cage farms. *Aquaculture*, 214: 211-239.
- Delgado O., Ruiz J., Pérez M., Romero J., Ballesteros E. (1999). Effects of fish farming on seagrass (*Posidonia oceanica*) in a Mediterranean bay: seagrass decline after organic loading cessation. *Oceanologica Acta*, 22: 109–117.
- Domínguez L. M., López Calero G., Vergara Martín J., Robaina Robaina L. (2001). A comparative study of sediments under a marine cage farm at Gran Canaria Island (Spain). Preliminary results. *Aquaculture*, 192: 225–231.
- Dosdat A., (2001). Environmental impact of aquaculture in the Mediterranean: Nutritional and feeding aspects. *Cahiers Options Méditerranéennes*, 55: 23-36.
- Duarte C. M. (2002). The future of seagrass meadows. *Environmental Conservation*, 29: 192–206.
- Enell M., Lof E. (1983) Environmental impact of aquaculture – sedimentation and nutrient loadings from fish cage culture. *Vatten* 39: 364-375.
- FAO (2016) The state of World fisheries and aquaculture, Fisheries and Aquaculture Department, Food and Agriculture Organization of the United, Rome, pp. 200.
- FAO (2018) The state of World fisheries and aquaculture, Fisheries and Aquaculture Department, Food and Agriculture Organization of the United, Rome, pp. 200.
- Gray J., Wu R. S. S., Or Y. (2002). Effects of hypoxia and organic enrichment on the coastal marine environment. *Marine Ecology Progress Series*, 238: 249–279.
- Grigorakis K., (2010). Ethical Issues in Aquaculture Production. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 23: 345–370.
- Grigorakis K., & Rigos G. (2011). Aquaculture effects on environmental and public welfare – The case of Mediterranean mariculture. *Chemosphere*, 85: 899-919.
- Hargrave B. (2010). Empirical relationships describing benthic impacts of salmon aquaculture. *Aquaculture Environment Interactions*, 1: 33–46.
- Haya K., Burrige L. E., Davies I. M., Ervik, A. (2005). A Review and Assessment of Environmental Risk of Chemicals Used for the Treatment of Sea Lice Infestations of Cultured Salmon. In *Handbook of Environmental Chemistry* pp. 305–340.
- Henderson A., Gamito S., Karakassis I., Pederson P., Smaal A. (2001). Use of hydrodynamic and benthic models for managing environmental impacts. *Journal of Applied Ichthyology*, 17 pp 163-172.

Holmer M., Marbá N., Terrados J., Duarte C. M., Fortes, M. D. (2002). Impacts of milkfish (*Chanos chanos*) aquaculture on carbon and nutrient fluxes in the Bolinao area, Philippines. *Marine Pollution Bulletin*, 44: 685–696.

Holmer M., Argyrou M., Dalsgaard T., Danovaro R., Diaz-Almela E., Duarte C. M., Frederiksen M., Grau A., Karakassis I., Marba N., Mirto S., Perez M., Pusceddu A., Tsapakis M. (2008). Effects of fish farm waste on *Posidonia oceanica* meadows: Synthesis and provision of monitoring and management tools. *Marine Pollution Bulletin*, 56: 1618–1629.

Holmer M., Wildish D., Hargrave B. (2005) Organic Enrichment from Marine Finfish Aquaculture and Effects on Sediment Biogeochemical Processes. In *Handbook of Environmental Chemistry*, pp. 181–206.

Islam M. S., (2005). Nitrogen and phosphorus budget in coastal and marine cage aquaculture and impacts of effluent loading on ecosystem: review and analysis towards model development. *Marine Pollution Bulletin*, 50: 48–61.

Jiang Z., Chen Q., Zeng J., Liao Y., Shou L., Liu J. (2012). Phytoplankton community distribution in relation to environmental parameters in three aquaculture systems in a Chinese subtropical eutrophic bay. *Marine Ecology Progress Series*, 446: 73–89.

Kalantzi I., Karakassis I. (2006). Benthic impacts of fish farming: Meta-analysis of community and geochemical data. *Marine Pollution Bulletin*, 52: 484–493.

Karakassis I., (2001) Ecological effects of fish farming in the Mediterranean. *Cahiers Options Méditerranéennes*, 55: 15-22.

Keeley N. B., Forrest B. M., Crawford C., Macleod C. K. (2012). Exploiting salmon farm benthic enrichment gradients to evaluate the regional performance of biotic indices and environmental indicators. *Ecological Indicators*, 23: 453–466.

Magill S. H., Thetmeyer H., Cromey C. J. (2006). Settling velocity of faecal pellets of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) and sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) and sensitivity analysis using measured data in a deposition model. *Aquaculture*, 251: 295–305.

Merican Z. O., Phillips M. J. (1985). Solid waste production from rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson, cage culture. *Aquaculture Research*, 16: 55–69.

Neofitou N., Klaoudatos S. (2008). Effect of fish farming on the water column nutrient concentration in a semi-enclosed gulf of the Eastern Mediterranean. *Aquaculture Research*, 39: 482–490.

Neofitou N., Vafidis D., Klaoudatos S. (2010). Spatial and temporal effects of fish farming on benthic community structure in a semi-enclosed gulf of the Eastern Mediterranean. *Aquaculture Environment Interactions*, 1(2), 95–105.

Neofitou N. (2016). Waste feed from fish farms of the Eastern Mediterranean and attraction of wild fish. *Universal Journal of Geoscience*, 4: 112-115.

Nilsson H. C., Rosenberg R. (1997). Benthic habitat quality assessment of an oxygen stressed fjord by surface and sediment profile images. *Journal of Marine Systems*, 11: 249–264.

Nikolaou M., Neofitou N., Skordas K., Castritsi-Catharios I., Tziantziou L. (2014). Fish farming and anti-fouling paints: a potential source of Cu and Zn in farmed fish. *Aquaculture Environment Interactions*, 5: 163–171.

Papageorgiou N., Kalantzi I., Karakassis I. (2010). Effects of fish farming on the biological and geochemical properties of muddy and sandy sediments in the Mediterranean Sea. *Marine Environmental Research*, 69: 326–336.

Pearson T. H., Rosenberg R. (1978). Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanography Marine Biology* 16: 229-311.

Price C., Black K., Hargrave B., Morris J., (2015). Marine cage culture and the environment: effects on water quality and primary production. *Aquaculture Environment Interactions*, 6:151–174

Rigos G., Katharios P. (2010). Pathological obstacles of newly-introduced fish species in Mediterranean mariculture: a review. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 20: 47–70.

Rigos G., Nengas I., Alexis M., Troisi G. M. (2004). Potential drug (oxytetracycline and oxolinic acid) pollution from Mediterranean sparid fish farms. *Aquatic Toxicology*, 69: 281–288.

Rigos G., Troisi G. M. (2005). Antibacterial Agents in Mediterranean Finfish Farming: A Synopsis of Drug Pharmacokinetics in Important Euryhaline Fish Species and Possible Environmental Implications. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 15: 53–73.

Ritz D. A., Lewis M. E., Shen M. (1989). Response to organic enrichment of infaunal macrobenthic communities under salmonid seacages. *Marine Biology*, 103: 211–214.

Rosenberg R. (2001). Marine benthic faunal successional stages and related sedimentary activity. *Scientia Marina*, 65: 107–119.

Sanz-Lazaro C., Marin A. (2008). Assessment of Finfish Aquaculture Impact on the Benthic Communities in the Mediterranean Sea. *Global Science Books* pp. 21-32.

Sarà G., Scilipoti D., Mazzola A., Modica A. (2004). Effects of fish farming waste to sedimentary and particulate organic matter in a southern Mediterranean area (Gulf of Castellammare, Sicily): a multiple stable isotope study ($\delta_{13}\text{C}$ and $\delta_{15}\text{N}$). *Aquaculture*, 234: 199–213.

Stoeck T., Kochems R., Forster D., Lejzerowicz F., Pawlowski J. (2018). Metabarcoding of benthic ciliate communities shows high potential for environmental monitoring in salmon aquaculture. *Ecological Indicators*, 85: 153–164.

Tsutsumi H., Kikuchi T., Tanaka M., Higashi T., Imasaka K., Miyazaki M. (1991). Benthic faunal succession in a cove organically polluted by fish farming. *Marine Pollution Bulletin*, 23: 233–238.

Turchini G. M., & De Silva, S. S. (2008). Bio-economical and ethical impacts of alien finfish culture in European inland waters. *Aquaculture International*, 16: 243–272.

Wang X., Olsen L., Reitan K., & Olsen Y. (2012). Discharge of nutrient wastes from salmon farms: environmental effects, and potential for integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture Environment Interactions*, 2: 267–283.

Weitzman J., Steeves L., Bradford J., & Filgueira R. (2019). Far-Field and Near-Field Effects of Marine Aquaculture. In *World Seas: an Environmental Evaluation. Volume III: Ecological Issues and Environmental Impacts*, 197-220.

Wu R. S. S., Lam K. S., MacKay D. W., Lau T. C., Yam V. (1994). Impact of marine fish farming on water quality and bottom sediment: A case study in the sub-tropical environment. *Marine Environmental Research*, 38: 115–145.

Wu, R. S. S., (1995). The environmental impact of marine fish culture: Towards a sustainable future. *Marine Pollution Bulletin*, 31: 159-166.

Zohary T., Herut B., Krom M. D., Fauzi C. Mantoura R., Pitta P., Psarra S., Rassoulzadegan F., Stambler N., Tanaka T., Thingstad F., Woodward S. (2005). P-limited bacteria but N and P co-limited phytoplankton in the Eastern Mediterranean- A microcosm experiment. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 52: 3011–3023.

Ηλεκτρονική βιβλιογραφία

<https://www.fgm.com.gr/>

<https://www.statistics.gr/>

<https://www.flickr.com/photos/unitedsoybean/9625236780>

<http://selonda.com/>

<https://www.akvagroup.com>

<https://www.gesikat.gr/>

<https://www.heraldnet.com/nation-world/everything-you-need-to-know-about-toxic-algae-blooms/>

<https://www.flickr.com/photos/arnaudabadie/38157305642>

6. ABSTRACT

The main purpose of this study was to assess the environmental impact of intensive fish farming on nutrients of the water column, on eutrophication and on benthic seabed. For this purpose, a review of the existing literature was done and the results of the related studies were analyzed in order to export scientific conclusions about the environmental foot print of fish farming. The main issue is that intensive fish farming interacts directly to the aquatic environment, as the fish cages form an integral part of it. The review of the greek and international literature refers to numerous effects of fish culture on nutrients of the water column and also on the seabed, mainly from waste products of the cultured organisms (faeces) and uneaten food (pellets). In conclusion all these impacts differ from place to place and depend on a variety of factors such as water renewal rate and in general from the hydrodynamic conditions of each area that a fish culture is operating. Finally, fish farming has a much smaller environmental footprint in comparison to other human activities such as industry, agriculture and tourism, and also has much to offer on meeting global food needs.

Keywords: fish farming, nutrients, benthic seabed, aquatic environment.