

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΑΤΙΝΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Νέες τεχνολογίες και τάσεις στους κλωβούς εντατικής
ιχθυοκαλλιέργειας»**

Χρήστος Καλαϊτζίδης

ΒΟΛΟΣ, 2022

«Νέες τεχνολογίες και τάσεις στους κλωβούς εντατικής ιχθυοκαλλιέργειας»

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

- 1. Παναγιώτα Παναγιωτάκη**, Καθηγήτρια – Υδατοκαλλιέργειες, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Επιβλέπουσα.***
- 2. Νεοφύτου Νικόλαος**, Αναπληρωτής Καθηγητής – Υδατοκαλλιέργειες και Περιβάλλον, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Μέλος.***
- 3. Γκολομάζου Ελένη**, Επίκουρη Καθηγήτρια – Προστασία - Ευζωία Ιχθύων, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Μέλος.***

Αφιέρωση: Τη συγκεκριμένη προπτυχιακή διπλωματική εργασία την αφιερώνω στην οικογένεια και στους φίλους μου, οι οποίοι με στηρίζουν και με βοηθούν να βελτιώνομαι σαν άτομο. Επίσης την αφιερώνω σε όλους όσους με ενέπνευσαν και με στήριξαν κατά τη συγγραφή της.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στο να φέρω σε πέρας την παρούσα Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα της εργασίας αυτής, κ. Παναγιωτάκη Παναγιώτα για την πολύτιμη βοήθειά της και τη διαρκή υποστήριξή της, τόσο κατά τη συλλογή και αξιολόγηση των πληροφοριών, όσο και κατά τη συγγραφή της παρούσας εργασίας, καθώς και τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής μου, αποτελούμενη από τους κ. Νεοφύτου Ν. και Γκολομάζου Ε., για τις χρήσιμες συμβουλές τους και την καθοδήγησή τους καθ' όλα τα στάδια διεκπεραίωσης της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην οικογένειά μου για την αμέριστη συμπαράσταση, βοήθεια και προ πάντων κατανόηση και ανοχή καθ' όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι ιχθύες αποτελούν σημαντικό μέρος της διατροφής πολλών λαών ανά την υφήλιο για χιλιάδες χρόνια. Διάφοροι κοινωνικοί και περιβαλλοντικοί παράγοντες οδήγησαν τους ανθρώπους στη προσπάθεια εκτροφής των ιχθύων όπως συνέβαινε και με πολλά ζώα της χέρσου. Τον τελευταίο αιώνα, η διαδικασία της εκτροφής άρχισε να γίνεται εντονότερη και πιο παραγωγική χάρη στην τεχνολογική εξέλιξη της εποχής. Σε συνδυασμό με την όλο και μεγαλύτερη πίεση που ασκούσε η αλιεία στα ιχθυοαποθέματα, η βιομηχανία της εντατικής ιχθυοκαλλιέργειας βρήκε όλο και αυξανόμενο ρόλο στη προσφορά ιχθύων προς κατανάλωση. Καθώς όμως οι απαιτήσεις σε ιχθύες μεγαλώνουν, ενώ θέτονται ερωτήματα και για το εάν οι πρακτικές που ακολουθούνται θα πρέπει να γίνουν περισσότερο βιώσιμες και φιλικές προς το περιβάλλον, η ικανότητα των τωρινών μέσων παραγωγής βρίσκεται υπό αμφισβήτηση. Για τον λόγο αυτό γίνεται προσπάθεια εύρεσης και ανάπτυξης νέων πρακτικών οι οποίες θα έχουν τη δυνατότητα να παράγουν μεγαλύτερες ποσότητες ιχθύων, με μικρότερο περιβαλλοντικό αντίκτυπο και αποδοτικότερο τρόπο. Οι δύο πιο εφικτές λύσεις φαίνεται να είναι τα χερσαία κλειστά συστήματα ανακύκλωσης νερού RAS (Recirculating Aquaculture Systems), τα οποία προσφέρουν ελεγχόμενες συνθήκες εκτροφής και έχουν πολύ μειωμένες απαιτήσεις σε νερό, καθώς και η εγκατάσταση βυθιζόμενων ιχθυοκλωβών στην ανοιχτή θάλασσα. Οι περιπτώσεις αυτές, σε συνδυασμό με βελτιωμένες τεχνολογίες που μπορούν να εφαρμοστούν παράλληλα, δύναται να στρέψουν τον κλάδο σε πιο ακριβείς μεθόδους παραγωγής, που θα δίνουν βάση στην καλύτερη φροντίδα των ιχθύων, αλλά και στη σωστή διαχείριση των απαραίτητων για την εκτροφή πόρων.

Λέξεις κλειδιά: Βυθιζόμενοι ιχθυοκλωβοί, Recirculating Aquaculture Systems (RAS), Νέες τεχνολογίες

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή	1
1.1. Η διατροφική σημασία των ιχθύων	1
1.2. Πρώιμες ιχθυοκαλλιέργειες	2
1.3. Από την εκτατική στην εντατική Ιχθυοκαλλιέργεια	3
1.4. Η σύγκριση αλιείας και ιχθυοκαλλιέργειας σε αριθμούς.....	4
1.5. Το παρόν της εντατικής Ιχθυοκαλλιέργειας.....	4
2. Εφαρμοσμένες και συνήθεις μορφές Ιχθυοκλωβών	5
2.1. Χερσαίες ιχθυοκαλλιέργειες	5
2.1.1. Ορθογώνιες δεξαμενές	5
2.1.2. Κυκλικές δεξαμενές	6
2.1.3. Δεξαμενές τύπου Raceways	6
2.1.4. Ελλειψοειδείς δεξαμενές	8
2.2 Θαλάσσιες Ιχθυοκαλλιέργειες	8
2.2.1. Σταθεροί Ιχθυοκλωβοί	9
2.2.2. Πλωτοί Ιχθυοκλωβοί	10
2.2.3. Ημιβυθιζόμενοι και Βυθιζόμενοι Ιχθυοκλωβοί.....	13
3. Νέες τεχνολογίες και τάσεις στην Ιχθυοκαλλιέργεια	14
3.1. Οι εξελίξεις στις χερσαίες Ιχθυοκαλλιέργειες.....	15
3.1.1. Η περίπτωση των συστημάτων RAS.....	15
3.2. Οι εξελίξεις στις θαλάσσιες ιχθυοκαλλιέργειες.....	27
3.2.1. Βυθιζόμενοι ιχθυοκλωβοί.....	28
3.2.2. Νέες και βελτιωμένες τεχνολογίες.....	32
4. Συζήτηση.....	34
5. Βιβλιογραφία.....	36
5.1. Ελληνική Βιβλιογραφία.....	36
5.2. Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία	36
6. Abstract	46

1. Εισαγωγή

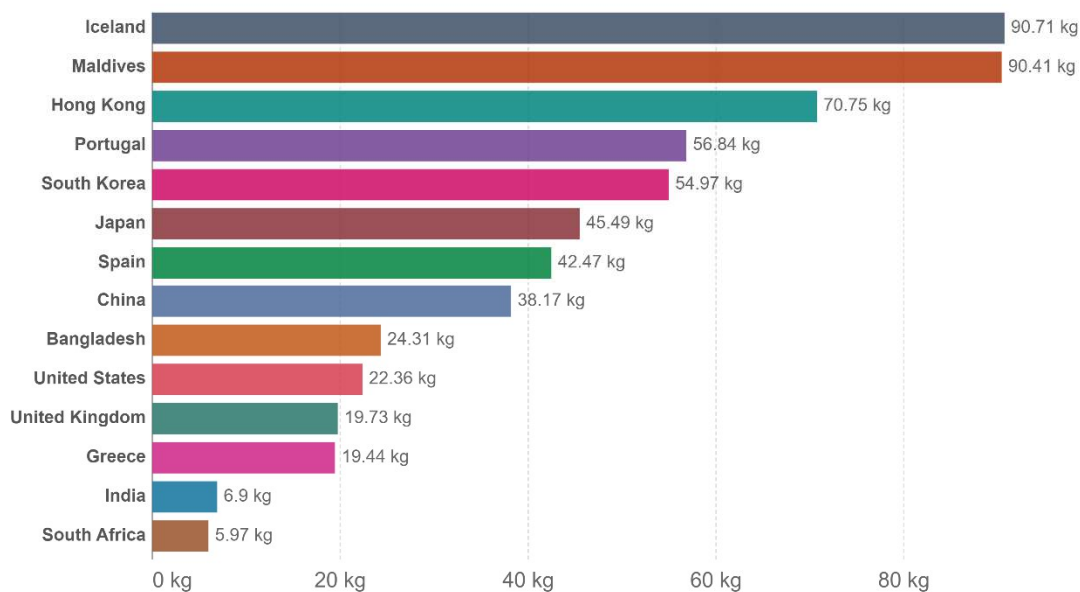
1.1. Η διατροφική σημασία των ιχθύων

Οι ιχθύες, από τις αρχές ακόμη των ανθρώπινων κοινωνιών έως και σήμερα, αποτελούν έναν σημαντικό πόρο για την εξασφάλιση των επισιτιστικών αναγκών του είδους μας. Ενδεικτικό είναι ότι το 2018 η κατανάλωση ιχθύων ως τροφή έφτασε τους 156 εκ. τόνους (FAO, 2021). Θεωρούνται ως μια από τις φθηνότερες πηγές ζωικής πρωτεΐνης, καθιστώντας τους ιδιαίτερα δημοφιλείς σε λιγότερο ανεπτυγμένες χώρες (Finegold C., 2009). Αυτό δεν σημαίνει όμως ότι οι πιο ανεπτυγμένες χώρες απορρίπτουν τους ιχθύες, με τους πολίτες της Νορβηγίας και της Ν. Κορέας να καταναλώνουν πάνω από 50 κιλά ψαριών ανά άτομο το 2017 (Ritchie & Roser, 2021).

Fish and seafood consumption per capita, 2017

Data is inclusive of all fish species and major seafood commodities, including crustaceans, cephalopods and other mollusc species.

Our World
in Data



Source: UN Food and Agriculture Organization (FAO)

OurWorldInData.org/seafood-production • CC BY

Note: Data is based on per capita food supply at the consumer level, but does not account for food waste at the consumer level.

Εικόνα 1: Κατανάλωση ιχθύων και άλλων θαλασσινίων ανά άτομο κατά το 2017. (Πηγή: <https://ourworldindata.org/>)

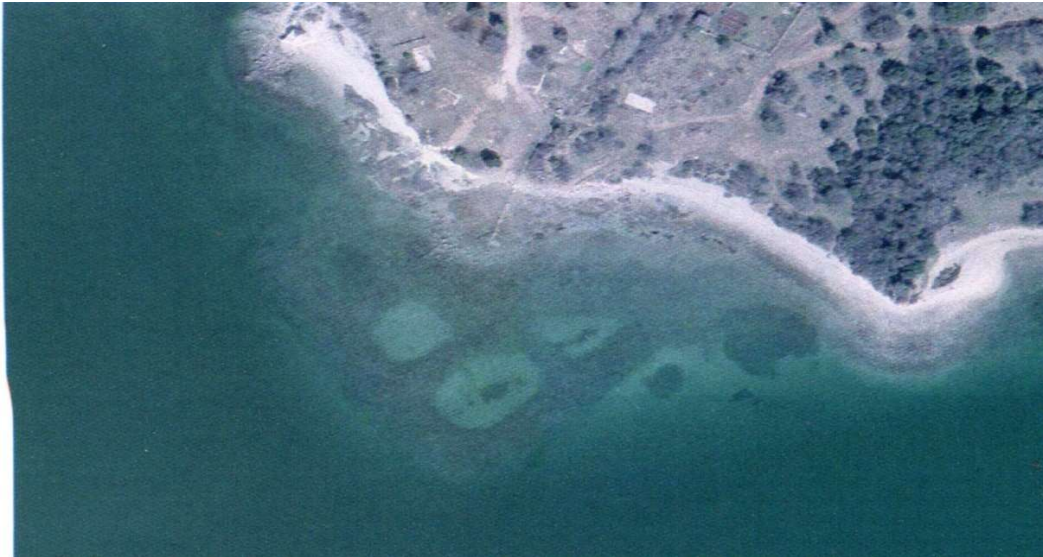
Η διατροφική τους αξία μπορεί να είναι ιδιαίτερα πλούσια, τόσο σε πρωτεΐνες, όσο και σε λιπαρά οξέα, καθώς και διάφορα ιχνοστοιχεία. Επίσης, η πρόσληψη των θρεπτικών αυτών στοιχείων φαίνεται πως παίζει σημαντικό ρόλο στην αποφυγή

ασθενειών και τη μακροζωία. Για παράδειγμα, τα ωμέγα-3 λιπαρά οξέα, τα οποία υπάρχουν άφθονα στους ιχθύες αλμυρών νερών, έχει βρεθεί ότι συμβάλλουν στη μειωμένη πιθανότητα καρδιακών νοσημάτων, ενώ αρκετοί συνδέουν το αυξημένο προσδόκιμο ζωής που παρατηρείται σε χώρες όπως η Νορβηγία και η Ιαπωνία, με τη συχνή κατανάλωση ψαριών στο διαιτολόγιό τους (B. P. Mohanty, 2015). Γίνεται έτσι εύκολα αντιληπτός ο λόγος για τον οποίο αρκετές κουλτούρες ανά την υφήλιο έχουν ενσωματώσει σε τέτοιο βαθμό τους ιχθύες στη διατροφή τους.

1.2. Πρώιμες ιχθυοκαλλιέργειες

Η συλλεκτική αλιεία όμως των ιχθύων αυτών δεν μπορεί να εγγυηθεί μια σταθερή και συνεχή προσφορά ατόμων προς κατανάλωση, ενώ συχνά απαιτείται η κάλυψη μεγάλων αποστάσεων για την εύρεση και την αλίευση ενός κοπαδιού. Τα προβλήματα αυτά, καθώς και η επιρροή θρησκευτικών και κοινωνικών πεποιθήσεων, συνέβαλλαν στην εμφάνιση των πρώιμων ιχθυοκαλλιεργειών σε διάφορα μέρη του πλανήτη, σε παρόμοιες χρονικές περιόδους (Beveridge & Little, 2002). Οι πρώτες γραπτές αναφορές σχετικά με την εκτροφή ιχθύων αλλά και τη καλλιέργεια υδρόβιων φυτών προέρχονται από την Κίνα, και χρονολογούνται πολύ πριν το 1000 π.Χ., ενώ λαοί όπως οι Έλληνες, οι Ρωμαίοι και οι Ασσύριοι είχαν παράλληλη ανάπτυξη εκτροφής (Nash, 2010). Οι πρωταρχικές αυτές μορφές ιχθυοκαλλιέργειας δεν είχαν καμία σχέση με τις σημερινές τεχνικές εκτροφής. Ουσιαστικά, η εκτροφή λάμβανε χώρα σε παγίδες ή λιμνούλες όπου οι ιχθύες είχαν παγιδευτεί, με τους "εκτροφείς" να χορηγούν απλά σε λίγες περιπτώσεις τροφή για να επιταχύνουν την πάχυνση (Tidwell, 2012).

Αυτός ο τρόπος εκτροφής ονομάζεται εκτατικός και αποτελούσε τη κυρίαρχη μέθοδο ιχθυοκαλλιέργειας για χιλιάδες χρόνια. Δέχτηκε κάποιες διαφοροποιήσεις και βελτιώσεις με τη πάροδο των χρόνων, όπως για παράδειγμα η εφαρμογή της πολυκαλλιέργειας, όπου εκτρέφονταν σε λιμνούλες ιχθύες συμβατοί και ευεργετικοί μεταξύ τους, προσομοιάζοντας ένα φυσικό βιότοπο. Παρόλα αυτά, οι βασικές αρχές παρέμεναν ίδιες.



Εικόνα 2: Το vivarium του Kuranja στη Κροατία, ημίκλειστες δομές στις οποίες διατηρούνταν και εκτρέφονταν ιχθύες με την εκτατική μέθοδο. (Πηγή: Carre et al., 2001)

1.3. Από την εκτατική στην εντατική Ιχθυοκαλλιέργεια

Ο τρόπος εκτροφής ιχθύων άλλαξε με την εδραίωση της εντατικής μεθόδου. Η διαφορά με τον εκτατικό τρόπο εκτροφής, ο οποίος αναφέρθηκε προηγουμένως, είναι η εξάρτηση του ιχθύ από τον εκτροφέα. Η εντατική εκτροφή απαιτεί από τον εκτροφέα τη πλήρη κάλυψη των διατροφικών αναγκών του παραγόμενου ιχθύ. Επίσης, είναι πιθανό οι ιχθύες να προέρχονται εξ ολοκλήρου από ιχθυοκαλλιέργειες, δηλαδή πέρα από τη φάση της πάχυνσης, να συμβαίνουν υπό αιχμαλωσία και αυτές της αναπαραγωγής, επώασης και ανάπτυξης. Στην αλλαγή αυτή έπαιξε σημαντικό ρόλο η αλματώδης τεχνολογική ανάπτυξη των 20^{ου} και 21^{ου} αιώνα, ειδικά όσον αφορά τους τρόπους αναπαραγωγής και εκτροφής ψαριών (FAO, 2021).

Παρόλο όμως που η εντατική ιχθυοκαλλιέργεια είχε αρχίσει να εφαρμόζεται σαν ιδέα στις Η.Π.Α. από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα, σε παγκόσμια κλίμακα οι ιχθυοκαλλιέργειες τέτοιου τύπου ήταν μικρής έκτασης. Η ευρεία παραγωγή ιχθύων με εντατικό τρόπο θα άρχιζε μετά από αρκετά χρόνια. Το ιχθυοαπόθεμα των ωκεανών, λόγω της όλο και αυξανόμενης αλιευτικής προσπάθειας για δεκαετίες, βρέθηκε υπό μεγάλη πίεση. Αποτέλεσμα της πίεσης αυτής ήταν να παρατηρηθεί μια στασιμότητα στα ποσοστά των αλιευμάτων κατά τη δεκαετία του 1970, αυξάνοντας έτσι τις ανησυχίες σχετικά με τη βιωσιμότητα της αλιείας (Syse, 2016). Το όλο κλίμα αβεβαιότητας και η ανάγκη

κάλυψης των απαιτήσεων σε ιχθύες δημιούργησε πρόσφορο έδαφος για τη ραγδαία ανάπτυξη της βιομηχανίας των ιχθυοκαλλιέργειών.

1.4. Η σύγκριση αλιείας και ιχθυοκαλλιέργειας σε αριθμούς

Από την δεκαετία του 1970 μέχρι και σήμερα ο κλάδος της ιχθυοκαλλιέργειας βίωσε μια πρωτόγνωρη ανάπτυξη, τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά. Αντίθετα, η αλιεία έμεινε στάσιμη, κυρίως λόγω της μείωσης των ιχθυοαποθεμάτων παγκοσμίως. Σύμφωνα με τον FAO (Food and Agriculture Organisation), για το χρονικό διάστημα 1990-2018, η παγκόσμια παραγωγή ιχθύων από ιχθυοκαλλιέργειες αυξήθηκε κατά 527%, ενώ για το ίδιο χρονικό διάστημα, η αλιευτική παραγωγή παρουσίασε αύξηση της τάξης του 14%.

Σε απόλυτους αριθμούς παραγωγής, η ποσότητα των προϊόντων από ιχθυοκαλλιέργειες ανήλθε στους 82,1 εκ. τόνους (συμπεριλαμβανομένων των δίθυρων, των ολοθούριων κ.ά.), χαμηλότερο ποσό σε σχέση με την αλιεία, όπου αλιεύτηκαν 96,4 εκ. τόνοι (FAO, 2020).

Γίνεται αντιληπτό πως η συλλεκτική αλιεία συνεχίζει να διατηρεί τα πρωτεία στις ποσότητες που προσφέρει στην αγορά, η διαφορά πλέον όμως σε σχέση με τις ιχθυοκαλλιέργειες είναι μικρή, και με τον ρυθμό που αναπτύσσονται οι δύο κλάδοι, εκτιμάται ότι η ιχθυοκαλλιέργεια θα είναι ο κύριος προμηθευτής ιχθυηρών σε ποσοστό του 62% μέχρι το 2030 (Kibenge, 2016).

1.5. Το παρόν της εντατικής Ιχθυοκαλλιέργειας

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, βασικό ρόλο στην αύξηση της ποσότητας των παραγόμενων ιχθύων από ιχθυοκαλλιέργειες έπαιξε η βελτίωση των μέσων εκτροφής χάρη στη τεχνολογική πρόοδο του κλάδου. Πρόοδος η οποία εκφράστηκε στις ιχθυοτροφές και στην αποδοτικότητά τους, στην εισαγωγή νέων ειδών για εκτροφή, στην δημιουργία αντιβιοτικών και άλλων φαρμάκων για τη καταπολέμηση ασθενειών, αλλά και στη κατασκευή και αναδιαμόρφωση των δεξαμενών/κλωβών εκτροφής.

Οι κλωβοί συγκεκριμένα αποτελούν καθοριστικό παράγοντα για την ανάπτυξη αλλά και την ποσότητα των ιχθύων μέσα στο σύστημα εκτροφής. Χαρακτηριστικά όπως η αντοχή της κατασκευής σε καταστάσεις πίεσης λόγω δυσμενών καιρικών συνθηκών, η μέγιστη ιχθυοφόρτιση που μπορούν να υποστηρίξουν, η ευκολία με την οποία ελέγχονται και εκτρέφονται οι ιχθύες, καθώς και η αυξημένη προστασία των ιχθύων

από εξωτερικούς της εκτροφής παράγοντες βελτιώνονται συνεχώς, ευνοώντας την ανάπτυξη του κλάδου.

Η όλο και αυξανόμενη απαίτηση για ιχθυηρά ωθεί τον κλάδο σε περαιτέρω ανάπτυξη των μέσων εκτροφής, συνεπώς και των ιχθυοκλωβών. Η πίεση αυτή μετουσιώνεται σε έρευνες και εφαρμογές για τη δημιουργία κλωβών πρωτόγνωρων στην ιχθυοκαλλιέργεια. Κλωβοί ανοιχτής θαλάσσης διαφόρων σχημάτων και μεγεθών, όπως και κλωβοί οι οποίοι θα μπορούν να ρυμουλκούνται στον ωκεανό για να ευνοούν την ανάπτυξη ειδών όπως ο σολομός και κλειστά συστήματα RAS νέας γενιάς είναι μόνο κάποιες από τις υπό ανάπτυξη τεχνολογίες.

2. Εφαρμοσμένες και συνήθεις μορφές Ιχθυοκλωβών

2.1. Χερσαίες ιχθυοκαλλιέργειες

Η εκτροφή ιχθύων δεν περιορίζεται στα θαλάσσια περιβάλλοντα. Δημιουργώντας ειδικές κατασκευές, είναι δυνατή η παραγωγή και στη χέρσο. Συνήθως, οι ιχθύες που εκτρέφονται σε χερσαία συστήματα ανήκουν σε ενδαιτήματα γλυκού νερού. Παρόλα αυτά, δύναται και η ανάπτυξη ιχθύων θαλασσινού νερού σε χερσαίες ιχθυομονάδες, τόσο στους ιχθυογεννητικούς σταθμούς, όσο και στις μονάδες πάχυνσης.

Οι δεξαμενές οι οποίες κατασκευάζονται για να φιλοξενήσουν τους ιχθύες σε τέτοιες εκτροφές είναι συνήθως :

- Ορθογώνιες
- Κυκλικές
- Τύπου Raceway
- Ελλειψοειδείς

2.1.1. Ορθογώνιες δεξαμενές

Οι ορθογώνιες δεξαμενές ήταν αρκετά διαδεδομένες για την εκτροφή ιχθύων γλυκού νερού. Η εύκολη και γρήγορη κατασκευή τους, σε συνδυασμό με το χαμηλό τους κόστος συνέβαλλε στην εξάπλωσή τους. Είναι ανοιχτά συστήματα, δηλαδή η ροή του νερού είναι συνεχής και μη ανακυκλώσιμη. Δεν λείπουν όμως τα προβλήματα από τις συγκεκριμένες δεξαμενές. Το σχήμα της κατασκευής τους δημιουργεί σημεία τα οποία

παρουσιάζουν αυξημένες συγκεντρώσεις οργανικής ύλης και χαμηλά ποσοστά οξυγόνου, θέτοντας σε κίνδυνο την ευζωία των ιχθύων (Γκάνιας, 2015). Επίσης, ακόμα και η ίδια η συμπεριφορά των ιχθύων μπορεί να αποβεί μοιραία για την υγεία και τη ζωή τους λόγω του σχήματος των δεξαμενών αυτών. Οι εκτρεφόμενοι ιχθύες παρουσιάζουν τη τάση να συγκεντρώνονται στις γωνίες των ορθογώνιων δεξαμενών, με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν απώλεια λεπιών, ασυνεχειών στο δέρμα και συνεπώς να δημιουργούνται εστίες μόλυνσεων πάνω στους ιχθύες (Κλαουδάτος Σ. & Κλαουδάτος Δ., 2010).

Τα μειονεκτήματα αυτά υποβαθμίζουν όλο και περισσότερο τις ορθογώνιες δεξαμενές ως προς τη χρήση τους, με την εφαρμογή τους να αφορά όλο και περισσότερο την ανάπτυξη ζωντανής πλαγκτονικής τροφής μέσα στους ιχθυογεννητικούς σταθμούς, παρά την εκτροφή ιχθύων.

2.1.2. Κυκλικές δεξαμενές

Οι χερσαίες δεξαμενές κυκλικού σχήματος είναι άλλος ένας “τύπος” δεξαμενής που χρησιμοποιούν οι ιχθυοκαλλιέργειες. Το σχήμα των δεξαμενών είναι κυκλικό, όπως φανερώνει και η ονομασία τους εξάλλου, ενώ μπορούν να υπάρξουν διαφοροποιήσεις στο υλικό κατασκευής, στις διαστάσεις και στο σχήμα του πυθμένα. Για τον πυθμένα/βάση συγκεκριμένα, έχουμε δύο τύπους, τον επίπεδο και τον κωνικό. Οι δεξαμενές με επίπεδο πυθμένα έχουν τη δυνατότητα άμεσης εγκατάστασης, ενώ οι δεξαμενές με κωνικό πυθμένα χρειάζονται ειδικές βάσεις στήριξης, δίνουν όμως τη δυνατότητα καλύτερου καθαρισμού, βελτιωμένης κυκλοφορίας νερού κ.ά. (Κλαουδάτος Σ. & Κλαουδάτος Δ., 2010).

Επίσης, οι κυκλικές δεξαμενές έχουν τη δυνατότητα αυτοκαθαρισμού. Το σχήμα τους, σε συνδυασμό με την εγκατάσταση βαλβίδων αποστράγγισης στον πυθμένα της δεξαμενής μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την απομάκρυνση τυχόν νεκρών ιχθύων, υπολειμμάτων τροφής και γενικά των απεκκρίσεων που παράγονται.

2.1.3. Δεξαμενές τύπου Raceways

Οι συγκεκριμένες δεξαμενές χρησιμοποιούνται κατά κόρον για την πάχυνση ιχθύων γλυκού νερού όπως το είδος *Oncorhynchus mykiss* (ιριδίζουσα πέστροφα). Είναι κατασκευές συνήθως τσιμεντένιες, με σχήμα ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο. Επίσης, οι δεξαμενές raceways μιας ιχθυοκαλλιέργειας συνδέονται μεταξύ τους, χωρίς όμως να

επιτρέπεται η διέλευση των εκτρεφόμενων ιχθύων από δεξαμενή σε δεξαμενή. Η σύνδεση αναφέρεται στη διέλευση του παρεχόμενου για την εκτροφή νερού, το οποίο εισέρχεται σε μία δεξαμενή raceway και, περνώντας από μια αντίστοιχη συστοιχία δεξαμενών ίδιου τύπου, εξέρχεται από μια άλλη δεξαμενή.



Εικόνα 3: Δεξαμενές Raceways σε ιχθυογεννητικό σταθμό της Δυτικής Βιρτζίνια των Η.Π.Α (Πηγή: Brian M. Powell, CC BY-SA 3.0, Link)

Οι δεξαμενές raceways παρουσιάζουν πλεονεκτήματα σε σχέση με τους προηγούμενους τύπους, μιας και προσφέρουν τη δυνατότητα μεγαλύτερης ιχθυοφόρτισης, αυξάνοντας έτσι τη παραγόμενη ποσότητα ιχθύων στον ίδιο ωφέλιμο χώρο με τις προηγούμενες δεξαμενές. Επίσης είναι ευκολότερη η παρατήρηση των εκτρεφόμενων ιχθύων. Η ευκολότερη παρατήρηση μπορεί να βοηθήσει τους εκτροφείς στη καλύτερη μέτρηση του μεγέθους ενός ιχθύ σε διάφορα στάδια εκτροφής, την εκτίμηση της συμπεριφοράς, την έγκαιρη διάγνωση και αντιμετώπιση ασθενειών, καθώς και τη γρήγορη απομάκρυνση τυχόν νεκρών ατόμων (Tidwell, 2012).

Παρά τα πλεονεκτήματα που έχουν οι δεξαμενές raceways σε σχέση με τις υπόλοιπες δεξαμενές εκτροφής, δεν παύουν να υπάρχουν προβλήματα, ιδιαιτερότητες και οι απαιτήσεις. Ανάλογα με την διάταξη που θα έχουν οι συστοιχίες των δεξαμενών στον χώρο, αυξάνεται και η απαίτηση για μεγαλύτερη παροχή νερού, εμφανίζονται

δεξαμενές με λιγότερο οξυγόνο και μεγαλύτερη συγκέντρωση NH_3 και παραγώγων της, αυξάνονται τα αιωρούμενα σωματίδια μέσα στο νερό κ.ά. (Κλαουδάτος Σ. & Κλαουδάτος Δ., 2010).

2.1.4. Ελλειψοειδείς δεξαμενές

Οι ελλειψοειδείς δεξαμενές μπορούν να κατασκευαστούν με διάφορα στυλ, τα οποία αλλάζουν τον τρόπο ροής του νερού μέσα στις δεξαμενές, διατηρώντας όμως το ελλειψοειδές σχήμα τους. Η ροή του νερού στις δεξαμενές αυτές είναι κυκλική, και συνήθως χρησιμοποιούνται μέσα σε αυτές σωλήνες οι οποίοι εκτοξεύουν νερό σε συγκεκριμένες ταχύτητες, για την επίτευξη της κατάλληλης ταχύτητας και κυκλοφορίας.

2.2 Θαλάσσιες Ιχθυοκαλλιέργειες

Η εκτροφή ιχθύων δεν θα μπορούσε να περιορίζεται μόνο σε χερσαίες εγκαταστάσεις, μιας και πολλά από τα είδη των ιχθύων που έχουν γίνει διαθέσιμα προς εκτροφή γεννιούνται ή/και αναπτύσσονται σε υφάλμυρα και αλμυρά νερά. Επίσης δεν απαιτούνται τεχνικές προϋποθέσεις οι οποίες είναι αναγκαίες για την λειτουργία μιας χερσαίας ιχθυοκαλλιέργειας, όπως για παράδειγμα η εύρεση συνεχόμενης παροχής νερού, η κατασκευή δεξαμενών, η δημιουργία ρευμάτωσης με μηχανήματα ή συγκεκριμένες λεπτομέρειες στο σχέδιο των δεξαμενών κ.ά. Βέβαια, δεν παύουν και οι θαλάσσιες ιχθυοκαλλιέργειες να χρειάζονται συγκεκριμένες σταθερές, κατασκευές και συνθήκες για να λειτουργήσουν σωστά και με τη μέγιστη παραγωγική τους ισχύ.

Στις θαλάσσιες ιχθυοκαλλιέργειες εντατικού τύπου, οι ιχθύες ζούνε, αναπτύσσονται και εκτρέφονται σε κατασκευές οι οποίες ονομάζονται ιχθυοκλωβοί. Διαφοροποιήσεις στους ιχθυοκλωβούς εντατικής εκτροφής μπορούν να προκύψουν στα υλικά κατασκευής, στο σχήμα, στους μηχανισμούς αγκύρωσης και σταθεροποίησης στη θάλασσα, ακόμη και στο τρόπο εξαλίευσης των ιχθύων από τον ιχθυοκλωβό κατά τη διαλογή ή την συλλογή για πώληση. Οι διαφοροποιήσεις αυτές καθορίζονται από παράγοντες όπως η τοποθεσία της ιχθυοκαλλιέργειας, το είδος εκτροφής κ.ά.

Ανάλογα με τις βασικές διαφορές που υπάρχουν, μπορούμε να χωρίσουμε τους τύπους των θαλάσσιων ιχθυοκλωβών στις εξής τέσσερις κατηγορίες:

- Σταθεροί

- Πλωτοί
- Ημιβυθιζόμενοι
- Βυθιζόμενοι

(Beveridge, 2004)

Η κατηγοριοποίηση αυτή βασίζεται στη θέση που έχει η κάθε κατηγορία ιχθυοκλωβών στην υδάτινη στήλη.

Κάθε κατηγορία ιχθυοκλωβών έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της, ενώ ποικίλουν και στην εξάπλωσή τους, με τους δύο πρώτους τύπους να είναι γενικά πιο διαδεδομένοι και τους υπόλοιπους να βρίσκονται υπό ανάπτυξη και βελτίωση, μιας και υπάρχει ο στόχος ευρείας χρησιμοποίησής τους σε ιχθυοκαλλιέργειες ανοιχτής θαλάσσης.

2.2.1. Σταθεροί Ιχθυοκλωβοί

Ο συγκεκριμένος τύπος ιχθυοκλωβών είναι σχετικά απλός, για αυτό και συναντάται συχνότερα σε αναπτυσσόμενες χώρες. Η κατασκευή τους αποτελείται από δοκούς, ανθεκτικούς στο αλμυρό νερό όταν χρησιμοποιούνται στη θάλασσα, οι οποίοι είναι στερεωμένοι στον πυθμένα και στηρίζουν ένα δίχτυ στη περίμετρό τους (Beveridge, 2004).

Το σχήμα των στερεών κλωβών μπορεί να διαφέρει, όπως και το μέγεθός τους, ενώ συνήθως υπάρχει και ένα κάλυμμα πάνω από τους ιχθυοκλωβούς (Nguyen, 2009). Το κάλυμμα έχει ως σκοπό τη προστασία των εκτρεφόμενων ιχθύων από φυσικούς θηρευτές, όπως τα πουλιά, οι οποίοι θα μπορούσαν να αρπάξουν τους ιχθύες μέσα από τους κλωβούς. Ο κίνδυνος αυτός προκύπτει από το βασικό αρνητικό χαρακτηριστικό των σταθερών ιχθυοκλωβών. Οι κλωβοί τέτοιου είδους μπορεί να είναι σχετικά φθηνοί στη κατασκευή τους, όμως περιορίζονται μόνο σε ρηχά και προστατευμένα από τους κυματισμούς νερά, καθώς μόνο σε τέτοιες συνθήκες μπορούν να εγκατασταθούν (Xu & Qin, 2020).



Εικόνα 4: Σταθεροί ιχθυοκλωβοί στο Βιετνάμ, κατασκευασμένοι από ξύλο (Πηγή: [Nguyen, 2009](#))

Ο περιορισμός του βάθους και η απαιτητική επιλογή περιοχής επηρεάζει και τη ποικιλία των ειδών που μπορούν να εκτραφούν στους συγκεκριμένους ιχθυοκλωβούς, περιορίζοντας έτσι τη χρήση τους στις χώρες που έχουν τη δυνατότητα δημιουργίας εναλλακτικών κατασκευών.

2.2.2. Πλωτοί Ιχθυοκλωβοί

Οι πλωτοί ιχθυοκλωβοί είναι ευρύτατα διαδεδομένοι τόσο στις θαλάσσιες ιχθυοκαλλιέργειες της Ελλάδας, όσο και σε αυτές άλλων χωρών. Όπως υποδηλώνει η ονομασία τους, οι συγκεκριμένοι κλωβοί επιπλέουν στην επιφάνεια της θάλασσας, σε αντίθεση με τους σταθερούς ιχθυοκλωβούς, οι οποίοι είναι άμεσα στερεωμένοι στο πυθμένα. Πρέπει να αναφερθεί βέβαια πως και οι πλωτοί ιχθυοκλωβοί στερεώνονται στο πυθμένα της θάλασσας με συστήματα αγκυροβόλησης, για να εμποδιστεί η απομάκρυνσή τους λόγω των θαλάσσιων ρευμάτων. Διατηρούν όμως το πλεονέκτημα της ευελιξίας και του μεγαλύτερου ωφέλιμου χώρου σε σχέση με τους σταθερούς ιχθυοκλωβούς.

Το κύριο μέρος των πλωτών ιχθυοκλωβών αποτελείται από ένα πλαίσιο, το οποίο έχει συνήθως σχήμα τετράγωνο ή κυκλικό. Πάνω στο πλαίσιο αυτό μπορούν να τοποθετηθούν δίχτυα, το οποίο επεκτείνεται στην υδάτινη στήλη, ή κατασκευές από σκληρότερα υλικά, δημιουργώντας έτσι έναν “κλειστό” ωφέλιμο χώρο για την εκτροφή των ιχθύων.

Οι πλωτοί ιχθυοκλωβοί μπορούν να κατασκευαστούν με διαφορετικά υλικά, ανάλογα με τις συνθήκες που θα εκτεθούν αλλά και τις ανάγκες της εκάστοτε ιχθυοκαλλιέργειας. Οι κλωβοί αρχικά είχαν πλαίσια κατασκευασμένα από ξύλο, μιας και σχεδιάστηκαν για χρήση σε προστατευμένα ύδατα, όπως λίμνες, στη συνέχεια όμως η κατασκευή των πλαισίων βασίστηκε στο ατσάλι και το ενισχυμένο πλαστικό για να ανταπεξέλθουν σε λιγότερο προστατευμένα περιβάλλοντα και κυματισμούς (Κλαουδάτος Σ. & Κλαουδάτος Δ., 2010).

Τροποποιήσεις όμως υπάρχουν και στην αρχιτεκτονική των κλωβών, με αποτέλεσμα να έχουμε δύο διαφορετικούς τύπους πλωτών ιχθυοκλωβών, τους εύκαμπτους και τους σταθερούς (είναι διαφορετικοί οι σταθεροί πλωτοί ιχθυοκλωβοί από τους σταθερούς κλωβούς που αναφέρθηκαν προηγουμένως). Οι εύκαμπτοι πλωτοί κλωβοί συνήθως αποτελούνται από ελαφριά συμβατικά δίχτυα, ενώ οι σταθεροί πλωτοί ιχθυοκλωβοί κατασκευάζονται από σκληρότερα υλικά, τα οποία μπορούν να παραμένουν σταθερά στα θαλάσσια ρεύματα (Huguenin & Ansuini, 1978).



Εικόνα 5: Συστοιχία κυκλικών πλωτών ιχθυοκλωβών (Πηγή: [Turner et al., 2015](#))

Οι πλωτοί κλωβοί, τόσο οι εύκαμπτοι όσο και οι σταθεροί, τοποθετούνται συνήθως σε περιοχές προστατευμένες από τους ανέμους (όπως για παράδειγμα κολπίσκοι), με μικρό ύψος κυμάτων, με σκοπό την ομαλή λειτουργία της ιχθυοκαλλιέργειας και τη διασφάλιση της ασφάλειας των ιχθύων αλλά και των υποδομών της μονάδας. Τοποθετούνται συνήθως σε συστοιχίες, ενώ στους σταθερούς πλωτούς ιχθυοκλωβούς υπάρχει η δυνατότητα εργασιών ακόμα και πάνω στη συστοιχία, με την εγκατάσταση κάποιας πλατφόρμας, ξύλινης ή μεταλλικής.

Στην Ελλάδα, η πλειονότητα των θαλάσσιων ιχθυοκαλλιεργειών εντατικού τύπου χρησιμοποιεί πλωτούς ιχθυοκλωβούς, κυκλικούς και τετράγωνους, εκμεταλλευόμενη τις ακτογραμμές της, οι οποίες προσφέρουν τις προστατευόμενες συνθήκες που αναφέρθηκαν προηγουμένως (FAO, 2009). Τα κύρια είδη που εκτρέφονται στην Ελλάδα σε τέτοιου είδους ιχθυοκλωβούς είναι κυρίως η τσιπούρα (*Sparus aurata*), και το λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*), φτάνοντας το 2019 σε παραγωγή ύψους 120.500 τόνων, αποτελώντας το 96% των συνολικών πωλήσεων εκτρεφόμενων ιχθύων (Σ.Ε.Θ., 2020). Γίνεται αντιληπτή η σημασία των συγκεκριμένων ιχθυοκλωβών στην εκτροφή και τη παραγωγή της συντριπτικής πλειονότητας των εκτρεφόμενων ιχθύων στην Ελλάδα.

Υπάρχουν όμως και σε αυτούς τους κλωβούς αρκετά μειονεκτήματα, τα οποία αποτελούν τροχοπέδη για τη περαιτέρω αύξηση της παραγωγής με τους τρόπους που εφαρμόζονται σήμερα κατά πλειοψηφία.

Αρχικά, οι πλωτοί ιχθυοκλωβοί επηρεάζονται άμεσα από τους κυματισμούς τις εκάστοτε περιοχής. Κυματισμοί οι οποίοι μπορούν να αποβούν αρκετά ζημιογόνοι, προκαλώντας καταστροφές στους κλωβούς, με αποτέλεσμα να υπάρχουν διαρροές ιχθύων και ανάγκη υλικοτεχνικών επισκευών. Τέτοιες περιπτώσεις έχουν μεγάλο οικονομικό κόστος για την κάθε επιχείρηση.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, οι πλωτοί κλωβοί ενισχύθηκαν κατασκευαστικά με τη πάροδο του χρόνου για να ανταπεξέρχονται σε δυσκολότερες συνθήκες από ότι είχαν αρχικά σχεδιαστεί να αντέχουν. Στη πλειονότητα τους όμως, χρειάζονται ακόμα σχετικά προστατευμένα περιβάλλοντα με ήπιους κυματισμούς, έτσι ώστε να μπορεί μια επιχείρηση να λειτουργεί με το μικρότερο δυνατό ρίσκο όσον αφορά τις καταστροφές από φυσικά φαινόμενα. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο εκτροφεία που χρησιμοποιούν πλωτούς ιχθυοκλωβούς είναι εγκατεστημένα σε κολπίσκους και άλλες, προστατευμένες από τους ανέμους και τους κυματισμούς περιοχές.

Καθώς οι εγκαταστάσεις θεωρούνται κτηνοτροφικές και λόγω της τοποθέτησής τους κοντά στην ακτογραμμή εξαιτίας των περιορισμών που προκύπτουν από τις δυνατότητες των πλωτών κλωβών, εφαρμόζονται συγκεκριμένοι νόμοι. Οι νόμοι αυτοί έχουν ως στόχο τη διασφάλιση της ευζωίας τόσο των εκτρεφόμενων οργανισμών όσο και των κατοίκων της περιοχής, μειώνουν όμως τη παραγωγική δυνατότητα μιας μονάδας.

Ενδεικτικά, κάποιιοι από τους περιορισμούς που υποχρεούνται να ακολουθήσουν οι παράκτιες ιχθυοκαλλιέργειες:

- Η μονάδα πρέπει να απέχει χίλια (1.000) μέτρα τουλάχιστον από λειτουργούσα τουριστική μονάδα ή εγκατάσταση και από υφιστάμενες οικιστικές αναπτύξεις και / ή προγραμματιζόμενες με βάση εγκεκριμένα ή υπό εκπόνηση (Β.1 σταδίου της σχετικής μελέτης) ΓΠΣ και ΣΧΟΟΑΠ και πεντακόσια (500) μέτρα, εφόσον δεν υπάρχει οπτική επαφή
- Πεντακόσια (500) μέτρα τουλάχιστον από καταδυτικά πάρκα του Ν. 3409/2005 (με εξαίρεση της συνδυασμένης χωροθέτησης) και παραλίες κολύμβησης (οργανωμένες ή μη)
- Χίλια (1000) μέτρα τουλάχιστον από μη συμβατές χρήσεις (βιομηχανικές μονάδες, εξορυκτικές εγκαταστάσεις κ.λπ.)
- Δύο (2) ναυτικά μίλια από λιμενικές εγκαταστάσεις διακίνησης πετρελαιοειδών ή βιομηχανικών μονάδων που εγκυμονούν σοβαρούς κινδύνους θαλάσσιας ρύπανσης
- Χίλια (1000) μέτρα τουλάχιστον η απόσταση βιολογικής από μη βιολογική καλλιέργεια
- Επίσης, το βάθος της έκτασης εγκατάστασής τους να είναι τουλάχιστον δεκαοκτώ (18) μ. και σε κάθε περίπτωση διπλάσιο του ωφέλιμου βάθους των μεγαλύτερων διχτυών των κλωβών εκτροφής

(Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2011)

2.2.3. Ημιβυθιζόμενοι και Βυθιζόμενοι Ιχθυοκλωβοί

Οι ημιβυθιζόμενοι και βυθιζόμενοι ιχθυοκλωβοί χρησιμοποιούνται, όπως και τα δύο προηγούμενα είδη κλωβών που αναφέρθηκαν, για την εκτροφή ιχθύων σε θαλάσσια περιβάλλοντα. Σε αντίθεση όμως με τους εύκαμπτους και τους σταθερούς πλωτούς ιχθυοκλωβούς, οι ημιβυθιζόμενοι και οι βυθιζόμενοι είναι ιδανικοί για εκτροφή ιχθύων στην ανοιχτή θάλασσα.

Οι ημιβυθιζόμενοι ιχθυοκλωβοί μπορούν να διαφοροποιηθούν και να κατανεμηθούν σε δύο κατηγορίες, ακριβώς όπως οι πλωτοί: στους εύκαμπτους και στους σταθερούς ημιβυθιζόμενους (Κλαουδάτος Σ. & Κλαουδάτος Δ., 2010). Οι εύκαμπτοι ημιβυθιζόμενοι κλωβοί έχουν τη δυνατότητα να βυθιστούν κάτω από την επιφάνεια

της θάλασσας για κάποιο χρονικό διάστημα εάν οι καιρικές συνθήκες είναι δυσμενείς, προστατεύοντας έτσι τους εκτρεφόμενους ιχθύες από πιθανούς τραυματισμούς και στρες (Sturrock et al., 2008). Οι σταθεροί ημβυθιζόμενοι ιχθυοκλωβοί μπορούν και αυτοί να βυθιστούν για προστασία όπως οι εύκαμπτοι, δεν μεταβάλλεται όμως ο όγκος του κλωβού ανάλογα με τους κυματισμούς, καθιστώντας τον κλωβό πιο δύσκαμπτο (Κλαουδάτος Σ. & Κλαουδάτος Δ., 2010).



Εικόνα 6: Ιχθυοκλωβός τύπου Sadco (Πηγή: [FAO](#))

Οι βυθιζόμενοι σταθεροί ιχθυοκλωβοί αποτελούν τη πιο βιώσιμη και ρεαλιστική λύση όσον αφορά την εκτροφή ιχθύων στην ανοιχτή θάλασσα και δη στους ωκεανούς. Είναι μοναδικοί, καθώς παραμένουν βυθισμένοι καθ' όλη τη διάρκεια της εκτροφής, κρατώντας προστατευμένους τους ιχθύες από φαινόμενα καιρικά και μη. Μέχρι στιγμής τα περισσότερα σχέδια για τέτοιους ιχθυοκλωβούς βρίσκονται σε πρώιμο στάδιο, οι μελλοντικές ικανότητές τους όμως τους καθιστούν άξιους αναφοράς, ενώ θα αναλυθούν διεξοδικότερα και στη συνέχεια.

3. Νέες τεχνολογίες και τάσεις στην Ιχθυοκαλλιέργεια

Αν και η παραγωγή ιχθύων από ιχθυοκαλλιέργειες τα τελευταία χρόνια παρουσιάζει σημαντική αύξηση, αναμένεται ακόμα μεγαλύτερη ζήτηση για ιχθύες, απαίτηση που πρέπει να καλύψει ο κλάδος της ιχθυοκαλλιέργειας. Η αυξημένη ζήτηση εκτρεφόμενων ιχθύων μπορεί να δικαιολογηθεί από τον πολλαπλασιασμό του ανθρώπινου πληθυσμού, την μεγαλύτερη κατανάλωση ιχθύων ανά άτομο, λόγω κοινωνικών και διατροφικών συνθηκών, την μείωση των άγριων ιχθυοαποθεμάτων και την ενίσχυση των αστικών οικονομιών (Little et al., 2016).

Η ζήτηση αυτή, σε συνδυασμό με το σχετικά πρόσφορο έδαφος για την ανάπτυξη των εντατικών ιχθυοκαλλιεργειών, μιας και αποτελούν μια νέα μέθοδο ζωικής εκτροφής σε σχέση με τις πιο γνωστές, αφήνουν χώρο για την βελτίωση των υπάρχοντων τεχνολογιών, αλλά και την ανάπτυξη νέων πάνω στο κομμάτι των ιχθυοκλωβών και όχι μόνο.

Στόχος των νέων και βελτιωμένων κατασκευών είναι η βελτιστοποίηση της παραγωγής καθώς και η ελαχιστοποίηση των αρνητικών χαρακτηριστικών και επιπτώσεων που υπάρχουν στις σημερινές ιχθυοκαλλιέργειες, χερσαίες και θαλάσσιες.

3.1. Οι εξελίξεις στις χερσαίες Ιχθυοκαλλιέργειες

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η χερσαία εντατική ιχθυοκαλλιέργεια έχει βασίσει τη παραγωγή της κυρίως σε δεξαμενές διαφόρων σχημάτων και συστήματα συνεχούς ροής όπως είναι τα raceways. Όμως, όλα αυτά τα συστήματα έχουν ως απαιτούμενο μεγάλες ποσότητες νερού κατά τη διάρκεια της εκτροφής, αλλά και διαρκή ανανέωση των ποσοτήτων αυτών με την αποβολή και τη ταυτόχρονη εισροή νερού στις δεξαμενές. Καθώς όμως οι απαιτήσεις για ιχθύες αυξάνονται, η δημιουργία περισσότερων τέτοιων μονάδων θα απαιτούσε όλο και περισσότερα κυβικά νερού, γλυκού μάλιστα αν αναφερόμαστε σε ιχθύες γλυκών νερών, όπως είναι σύνηθες να εκτρέφονται σε χερσαίες εγκαταστάσεις. Στην σημερινή εποχή τέτοιες περιπτώσεις δεν είναι καθόλου βιώσιμες, εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής που μαστίζει τον πλανήτη Γη. Σύμφωνα με μετρήσεις, η μέση θερμοκρασία της επιφάνειας του πλανήτη έχει αυξηθεί κατά 1°C τα τελευταία 40 χρόνια, με τις προβλέψεις να αναφέρονται σε περαιτέρω αύξηση τα επόμενα χρόνια (NASA, 2021). Εάν συνεχίσει η αύξηση της θερμοκρασίας, φαινόμενα όπως οι λειψυδρίες θα γίνονται όλο και συχνότερα, μετατρέποντας το γλυκό νερό σε υπερπολύτιμο αγαθό. Η λύση στο συγκεκριμένο πρόβλημα βιωσιμότητας για τις χερσαίες ιχθυοκαλλιέργειες μπορεί να έλθει από έναν τρόπο εκτροφής που ήδη έχει αρχίσει να εφαρμόζεται. Τα Recirculating Aquaculture Systems (RAS).

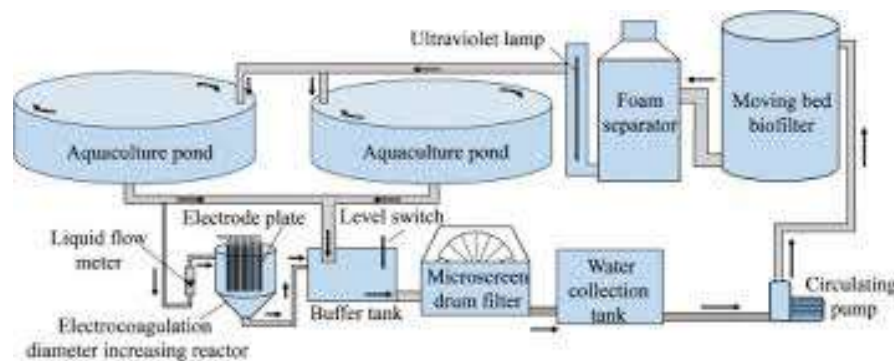
3.1.1. Η περίπτωση των συστημάτων RAS

RAS ονομάζεται η τεχνολογία με την οποία εκτρέφουμε ιχθύες ανακυκλώνοντας το ίδιο νερό μέσα στο σύστημα, καθαρίζοντάς το με μηχανικά και βιολογικά φίλτρα, ενώ ελεγχόμενες είναι και οι φυσικοχημικές συνθήκες του συστήματος (FAO, 2015). Αν και μπορεί να θεωρηθεί ακόμα νέα ως τεχνολογία και συνεχώς βελτιώνεται, η βασική

ιδέα ενός συστήματος επαναχρησιμοποίησης του νερού όπως είναι το RAS υπήρξε από τη δεκαετία του 1950 σε πειραματικό στάδιο στην Ιαπωνία (Saeki, 1958; Murray et al., 2014).

Για να λειτουργεί αποτελεσματικά ένα σύστημα RAS, πρέπει να εμπεριέχει τα εξής βασικά στοιχεία:

- Κατάλληλες δεξαμενές
- Εξασφάλιση επαρκούς ροής του νερού
- Μηχανικά φίλτρα
- Βιολογικά φίλτρα
- Έλεγχο και προσαρμογή των αερίων μέσα στο νερό του συστήματος
- Τρόπους απολύμανσης του νερού από πιθανούς παθογόνους μικροοργανισμούς
- Έλεγχο και προσαρμογή της θερμοκρασίας του νερού



Εικόνα 7: Ενδεικτικό παράδειγμα δομής μια εκτροφής RAS (Πηγή: [Xu et al., 2021](#))

Οι δεξαμενές όπως είναι λογικό, αποτελούν ένα από τα κύρια μέρη της μονάδας παραγωγής και πρέπει να γίνει προσεκτική επιλογή των κατάλληλων δεξαμενών, ανάλογα πάντα με το είδος που θα εκτραφεί στο σύστημα RAS, την ιχθυοφόρτιση που θα διατηρεί στις δεξαμενές ο εκάστοτε εκτροφέας, την σωστή εφαρμογή των διεργασιών που απαιτούνται σε ένα σύστημα RAS κ.ά. Οι τρεις τύποι δεξαμενών που χρησιμοποιούνται είναι οι κυκλικές δεξαμενές, οι ορθογώνιες και οι δεξαμενές τύπου raceways. Και οι τρεις τύποι είναι παρόμοιοι με τις δεξαμενές που μπορεί κάποιος να συναντήσει και σε συμβατικές χερσαίες ιχθυοκαλλιέργειες, υπάρχουν διαφορές όμως τόσο στα δομικά υλικά των δεξαμενών για συστήματα RAS όσο και στις συνδέσεις πάνω στις δεξαμενές αυτές.

Ο κύριος τύπος δεξαμενών είναι ο κυκλικός. Το σχήμα τους επιτρέπει την αποτελεσματικότερη απομάκρυνση των απεκκρίσεων και των στερεών υπολειμμάτων χάρη στην ροή που επιτυγχάνεται, ενώ μπορούν να κατασκευαστούν από υλικά όπως το πλαστικό και το fiberglass, διατηρώντας το σχήμα της δεξαμενής με τη βοήθεια της πίεσης του νερού στο εσωτερικό της δεξαμενής (Malone, 2013).

Σύμφωνα πάλι με τον Malone (2013), οι ορθογώνιες δεξαμενές μπορούν να έχουν και αυτές καλή απομάκρυνση των υπολειμμάτων, αλλά μόνο με συγκεκριμένο τρόπο κατασκευής της δεξαμενής, ενώ οι δεξαμενές τύπου raceways είναι ουσιαστικά συνδυασμός των δύο προηγούμενων τύπων δεξαμενών με όλα τα θετικά τους, μπορούν να εκτραφούν ευκολότερα θαλάσσια είδη, όμως το κόστος της δεξαμενής είναι υψηλότερο.

Οι ρυθμίσεις των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του νερού που βρίσκεται μέσα στο σύστημα αποτελούν επίσης σημαντική παράμετρο για την επιτυχή λειτουργία της εκτροφής. Κάθε εκτρεφόμενο είδος έχει διαφορετικές απαιτήσεις σε θερμοκρασία, διαλυμένο οξυγόνο, ταχύτητα ροής, αλλά και διαφορετικές αντοχές σε συγκεντρώσεις επιβλαβών αερίων (αμμωνιακά, CO₂) και αιωρούμενων σωματιδίων.

Το διαλυμένο οξυγόνο για παράδειγμα μπορεί εύκολα να ελεγχθεί και να μεταβληθεί. Σε συστήματα με χαμηλότερη ιχθυοφόρτιση δεν απαιτείται επιπρόσθετη ποσότητα καθαρού οξυγόνου στο σύστημα, μιας και η αναμόχλευση του νερού με μηχανικά μέσα βοηθά στη διάλυση του απαραίτητου οξυγόνου από τον ατμοσφαιρικό αέρα στο νερό. Συσκευές όπως αερόπετρες (σε αρκετά μικρές μονάδες), αντλίες και μάνικες αέρα, αλλά και επιφανειακοί πάροχοι αέρα προσφέρουν την απαραίτητη αναμόχλευση για την ανανέωση του οξυγόνου στο σύστημα (Malone, 2013). Μια κυκλική δεξαμενή έχει καλύτερη κατανομή οξυγόνου σε όλο τον όγκο της ενώ μια ορθογώνια δεξαμενή έχει μειωμένα ποσοστά διαλυμένου οξυγόνου στο άκρο αντίθετα από την εισροή του νερού (FAO, 2015).

Η απομάκρυνση των στερεών σωματιδίων αλλά και η μετατροπή των τοξικών αερίων όπως τα αμμωνιακά (NH₄⁺) και τα νιτρώδη (NO₂⁻) στη λιγότερη τοξική μορφή τους, τα νιτρώδη (NO₃⁻), επιτυγχάνεται με τη χρήση των μηχανικών και των βιολογικών φίλτρων αντίστοιχα. Το φιλτράρισμα του νερού θα πρέπει να είναι άκρως αποτελεσματικό, μιας και το νερό στα συστήματα RAS είναι επαναχρησιμοποιούμενο, άρα ιδιαίτερα επιβαρυνόμενο.

Τα μηχανικά φίλτρα βασίζονται σε φυσικές διεργασίες, στη κατακράτηση των στερεών σωματιδίων από τα υλικά πλήρωσης του κάθε φίλτρου. Υπάρχουν διάφοροι τύποι μηχανικών φίλτρων, όμως οι περισσότερες ιχθυοκαλλιέργειες RAS χρησιμοποιούν την τεχνική *microscreen*, στη πλειονότητα *drumfilters*, τα οποία προσφέρουν πλεονεκτήματα όπως:

- Μείωση του οργανικού φορτίου που θα καταλήξει στα βιοφίλτρα
- Αύξηση της καθαρότητας (διαύγειας) του νερού
- Σταθεροποίηση της διαδικασίας της νιτροποίησης στα βιολογικά φίλτρα και αποφυγή “εμφράξεων” (FAO, 2015)

Τα *drumfilters* αποτελούνται από έναν κύλινδρο, ο οποίος περιβάλλεται με δίχτυ για την απομάκρυνση των στερεών υπολειμμάτων και τη διέλευση του καθαρού νερού, και διαφέρουν ανάλογα με τον τρόπο που θα εισάγεται το νερό στο φίλτρο, είτε μέσα στον κύλινδρο ή με ψεκασμό πάνω στον κύλινδρο (Κλαουδάτος Σ. & Κλαουδάτος Δ., 2010). Λόγω του τρόπου λειτουργίας τους δεν χρειάζονται καθημερινή συντήρηση αφού τα στερεά σωματίδια απομακρύνονται αυτόματα και συνεχώς, όμως έχουν το μειονέκτημα της συνεχόμενης απαίτησης σε ηλεκτρικό ρεύμα (AquacultureID, 2022).



Εικόνα 8: Μηχανικό φίλτρο τύπου Drummfilter (Πηγή: <https://www.innovasea.com/land-based-aquaculture/ras-equipment-supply/drum-filters/>)

Τα βιολογικά φίλτρα κατέχουν τον σημαντικό ρόλο της μετατροπής των τοξικών αερίων σε μη τοξικά. Η μετατροπή που συντελείται ονομάζεται νιτροποίηση, οφείλεται στα νιτροποιητικά βακτήρια *Nitrosomonas* και *Nitrobacter*, εκφράζεται με τον τύπο $\text{NH}_4^+ + 2 \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^- + 2 \text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}$ και είναι μια βιολογική αερόβια διαδικασία απαραίτητη για την επιβίωση των ιχθύων (Tidwell, 2012). Τα βιολογικά φίλτρα μπορούν να χωριστούν σε δύο τύπους, τα σταθερά, τα οποία παρέχουν έναν σταθερό πυθμένα για την ανάπτυξη των νιτροποιητικών βακτηρίων, και τα αιωρούμενα, τα οποία αποτελούνται από μάζες νιτροποιητικών βακτηρίων, αιωρούμενες μέσα στο νερό με σκοπό την απευθείας νιτροποίηση μέσα στο σύστημα (Gutierrez-Wing & Malone, 2006; Office of Water Programs, 2019). Ο αιωρούμενος τύπος βιολογικών φίλτρων αν και είναι διαδεδομένος στις εγκαταστάσεις βιολογικών καθαρισμών, βρίσκεται στα πρώτα του βήματα στον κλάδο των ιχθυοκαλλιεργειών και θα αναλυθεί περαιτέρω στη συνέχεια.

Η απολύμανση του νερού είναι επίσης αναγκαία για τη λειτουργία των RAS. Εάν εμφανιστεί κάποιος παθογόνος οργανισμός σε μια δεξαμενή και δεν αντιμετωπιστεί κατάλληλα κατά την επεξεργασία του νερού πριν εισέλθει πάλι στις δεξαμενές, μπορεί να μολύνει όλες της δεξαμενές της μονάδας, προκαλώντας αυξημένες θνησιμότητες. Χημικά για την απολύμανση του νερού σε συστήματα RAS, όπως το υπεροξείδιο του υδρογόνου (H_2O_2) και το υποχλωριώδες νάτριο/χλωρίνη (NaClO) χρησιμοποιούνται με το H_2O_2 να παρατηρείται συχνότερα σε μονάδες της Νορβηγίας και το NaClO σε μονάδες της Βορείου Αμερικής (Lazado & Good, 2021). Ακόμη, μπορούν να εφαρμοστούν απολυμάνσεις με τη βοήθεια λαμπών UV (UltraViolet) ή αερίου όζοντος (Qi et al., 2020).

3.1.1.1. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των RAS

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ο πλανήτης αντιμετωπίζει ζητήματα κρίσιμης σημασίας, επισιτιστικά και κλιματικά. Η ανάπτυξη ιχθυοκαλλιεργειών βασισμένες σε συστήματα RAS προσφέρει εναλλακτικές λύσεις για τη παραγωγή ιχθύων, οι οποίες μπορούν να χαρακτηριστούν βιώσιμες τόσο από άποψη κατανάλωσης σημαντικών πόρων όσο και από τη κατάληψη μικρότερου χώρου αλλά και περιβαλλοντικής επιβάρυνσης.

Αρχικά, μια ιχθυοκαλλιέργεια η οποία διαλέγει να εκθρέψει ιχθύες βασιζόμενη σε κλειστά συστήματα RAS, χρειάζεται λιγότερο χώρο σε σχέση με κάποια συμβατική

ιχθυοκαλλιέργεια. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, σε μια ιχθυοκαλλιέργεια RAS η ιχθυοπυκνότητα (η βιομάζα των ιχθύων προς τον όγκο του νερού που βρίσκονται) κυμαίνεται στα 70 με 120 kg/m³ και η παραγωγή στους 400 με 500 τόνους ετησίως, με τις τιμές τόσο της ιχθυοφόρτισης όσο και της παραγωγής να είναι ακόμα μεγαλύτερες σε διάφορες ιχθυοκαλλιέργειες (Helfrich & Libey, 2000; Murray et al., 2014; Ahmed & Turchini, 2021). Συγκριτικά, σε μια συμβατική ιχθυοκαλλιέργεια μπορούν να θεωρηθούν υψηλές οι ιχθυοφορτίσεις της τάξης των 40 kg/m³, αναλόγως βέβαια με το είδος (Ward et al., 2012). Γίνεται αντιληπτό πως μια ιχθυοκαλλιέργεια RAS μπορεί να είναι το ίδιο ή και περισσότερο αποδοτική με τις συμβατικές ιχθυοκαλλιέργειες.

Η αποδοτικότητα παραγωγής σε σχέση με τον απαιτούμενο χώρο μπορεί να αποδειχθεί ωφέλιμη και σε περιπτώσεις στις οποίες η συμβατική ιχθυοκαλλιέργεια είναι κοστοβόρα ή απλά αδύνατον να εφαρμοστεί λόγω των εκάστοτε συνθηκών. Ένα τέτοιο παράδειγμα μπορεί να βρεθεί στη περιοχή της χώρας των Βάσκων στην Ισπανία, όπου οι ακατάλληλες κλιματικές συνθήκες της περιοχής σε συνδυασμό με τον περιορισμένο χώρο λόγω των απότομων ακτογραμμών οδήγησε την τοπική κυβέρνηση στην απόφαση να παρουσιάσει στρατηγικό σχέδιο με βάση τα συστήματα RAS, με τη πρώτη τέτοια μονάδα να ανοίγει το 2010 (Gobierno Vasco, 2008; Badiola et al., 2012).

Ακόμη ένα πλεονέκτημα των RAS είναι η μειωμένη απαίτηση τους σε γλυκό νερό. Μέσω της κατάλληλης επεξεργασίας και κάθαρσης του νερού, ένα σύστημα RAS μπορεί να επαναχρησιμοποιήσει 90-99% του υδάτινου όγκου που υπάρχει μέσα στο σύστημα (Badiola et al., 2012). Η ανακύκλωση σε τέτοια ποσοστά κρίνεται απαραίτητη για το μέλλον, καθώς το νερό θα γίνεται όλο και λιγότερο, οπότε οι συμβατικές χερσαίες ιχθυοκαλλιέργειες θα κρίνονται ασύμφορες κοστολογικά και περιβαλλοντικά.

Χάρη στην επεξεργασία του νερού στο κλειστό σύστημα RAS με σκοπό την επαναχρησιμοποίησή του, προκύπτουν ωφέλιμες μειώσεις και για τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο που έχουν οι ρύποι μιας ιχθυοκαλλιέργειας. Για παράδειγμα, παρατηρήθηκε πως η μετατροπή μιας πεστροφοκαλλιέργειας από ανοικτή και συνεχούς ροής σε κλειστή και RAS (συμπεριλαμβανομένων και των τμημάτων διαχείρισης αποβλήτων), μείωσε την περιβαλλοντική επιβάρυνση της καλλιέργειας, με την αποτελεσματικότητα αφαίρεσης των ρύπων στο σύστημα RAS να βρίσκεται στο 85-98% για τα στερεά σωματίδια και την οργανική ύλη και για τον φωσφόρο στο 65-96% (Martins et al., 2010).

Δυστυχώς όμως τα συστήματα RAS δεν στερούνται μειονεκτημάτων. Μεγάλο “αγκάθι” στην ευρεία εξάπλωση των RAS αποτελεί το κόστος. Το κόστος για τη δημιουργία μιας τέτοιας εγκατάστασης και τη λειτουργία της, η οποία απαιτεί συνεχώς ηλεκτρικό ρεύμα για διάφορες εγκαταστάσεις του συστήματος, είναι αρκετά υψηλό και σε συνδυασμό με τη πολυπλοκότητά του γίνεται ακόμα πιο κοστοβόρο (Dalsgaard et al., 2013).

Επίσης, η τεχνολογία των RAS είναι σχετικά νέα σε σχέση με τις περισσότερες εφαρμοσμένες πρακτικές στην ιχθυοκαλλιέργεια, με αποτέλεσμα, αν και προσφέρει περισσότερες δυνατότητες για περαιτέρω ανάπτυξη, να μην λειτουργεί σωστά σε όλες τις περιπτώσεις. Είναι ενδεικτικό ότι σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε, με ερωτηθείσες εταιρίες, προμηθευτές/συμβουλάτορες αλλά και ερευνητές, διαπιστώθηκε πως πέντε στους έξι πιστεύουν ότι η κακή αρχική σχεδίαση του εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε προκαλεί προβλήματα στη παραγωγή και στη διατήρηση της ευζωίας των εκτρεφόμενων ιχθύων σε συστήματα RAS (Badiola et al., 2012).

Η διαχείριση των ασθενειών που μπορεί να προκύψουν σε ένα σύστημα RAS είναι εξίσου σημαντικό ζήτημα. Σε μια συμβατική ιχθυοκαλλιέργεια υπάρχει η δυνατότητα απομόνωσης των ιχθύων, μπορεί οι δεξαμενές να μην έχουν καμία επικοινωνία ενώ οι ρευματώσεις ή η συνεχής ροή του νερού μπορούν να περιορίσουν την ανάπτυξη παθογόνων καθώς το νερό ανανεώνεται συνεχώς. Στα συστήματα RAS, των οποίων το βασικό χαρακτηριστικό είναι η επαναχρησιμοποίηση του νερού που εξέρχεται από τις δεξαμενές, ο κίνδυνος ανάπτυξης και εξάπλωσης παθογόνων μικροοργανισμών μεγεθύνεται και μπορεί να γίνει ταχύτερα, για αυτό και είναι αναγκαία η επεξεργασία και η απολύμανση του νερού πριν εισέλθει ξανά στις δεξαμενές. Η απολύμανση του νερού πρέπει να είναι συγκεκριμένη, μιας και υπάρχουν μικροβιακές κοινότητες ωφέλιμες για τους οργανισμούς μέσα στην εκτροφή, οι οποίοι οργανισμοί συνήθως είναι και οι ίδιοι πιο ανθεκτικά είδη σε ασθένειες, λόγω των υψηλών ιχθυοφορτίσεων που παρατηρούνται στις δεξαμενές του συστήματος (Martins et al., 2005; Martins et al., 2010).

Ακόμη και τα μέσα απολύμανσης μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα στα ψάρια αλλά και στο περιβάλλον. Η αντιμετώπιση με τη χρήση αντιβιοτικών και άλλων χημικών για την απομάκρυνση των παθογόνων είναι διαδεδομένη, όμως μπορούν να προκαλέσουν μείωση της ανοσοποιητικής ικανότητας των ιχθύων, εμφάνιση

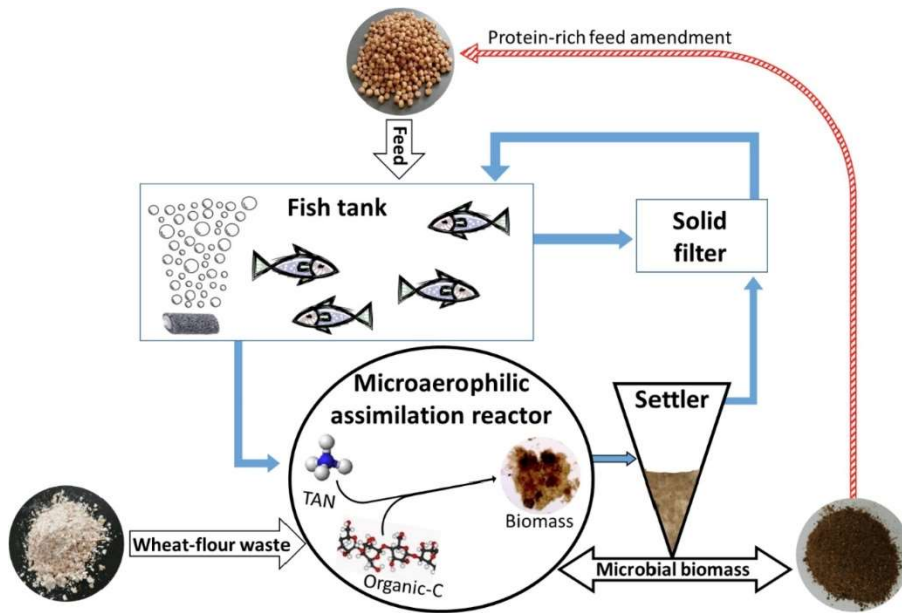
ανθεκτικότερων παθογόνων και κατάλοιπα των ουσιών αυτών στους ιχθύες που θα διατεθούν προς βρώση (Azzam et al., 2017; Yang et al., 2017). Αυτό ισχύει τόσο στα RAS όσο και σε άλλους τύπους ιχθυοκαλλιέργειών. Επίσης, κάποιοι τύποι λαμπτήρων UV μπορούν να καταστρέψουν το DNA των εκτρεφόμενων ιχθύων (UVC), ενώ οι λαμπτήρες UV που χρησιμοποιούνται στη θέση τους (χαμηλής πίεσης ατμών υδραργύρου) περιέχουν υδράργυρο, μέταλλο τοξικό τόσο για τους ιχθύες όσο και για τους ανθρώπους (Timmons & Ebeling, 2013; Qi et al., 2020).

3.1.1.2. Αναπτυσσόμενες τεχνολογίες για τη βελτίωση των RAS

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η εντατική ιχθυοκαλλιέργεια με τη μέθοδο RAS είναι σχετικά νέα στον κλάδο, συνεχώς αναπτυσσόμενη και ελπιδοφόρα. Αυτό σημαίνει πως γίνονται συνεχώς έρευνες για τη βελτίωση των υφιστάμενων στοιχείων ενός συστήματος RAS και την εισαγωγή νέων τεχνολογιών.

Η δημιουργία και η καθιέρωση καλύτερων μεθόδων για την απολύμανση του ανακυκλώσιμου νερού (με βελτιωμένα φίλτρα, μηχανικά και βιολογικά) αποτελεί έναν από τους βασικούς στόχους των ερευνών. Το νερό που επιστρέφει στις δεξαμενές δεν πρέπει να είναι απλά καθαρό από παθογόνους μικροοργανισμούς, αλλά και να στερείται τοξικών αερίων όπως τα αμμωνιακά, να έχει αφαιρεθεί η όποια περίσσεια αζώτου που θα έβλαπτε τους ιχθύες και να έχουν απομακρυνθεί στερεά σωματίδια τα οποία μειώνουν τη διαύγεια του νερού, τα επίπεδα του οξυγόνου μέσα στις δεξαμενές και αυξάνουν τα τοξικά αέρια της αμμωνίας λόγω της διάσπασής τους.

Μια υποσχόμενη βελτιωμένη εκδοχή βιοφίλτρων είναι το βιοφίλτρο τύπου BFT (Biofloc technology). Η έρευνα πάνω στα BFT έχει ξεκινήσει από τις αρχές της δεκαετίας του 1990, και μπορεί πλέον να θεωρηθεί αρκετά ώριμη για ευρεία εφαρμογή (El-Sayed, 2021) συμπεριλαμβανομένων και στα συστήματα RAS. Το BFT μπορεί να οριστεί ως μια μίξη από άλγη, πρωτόζωα, βακτήρια, οργανική ύλη σε μορφή περιττωμάτων και τροφής, όπου σε συνδυασμό με νηματώδη και ζωοπλαγκτόν δημιουργούν ένα ανεξάρτητο οικοσύστημα (Hargreaves, 2013).



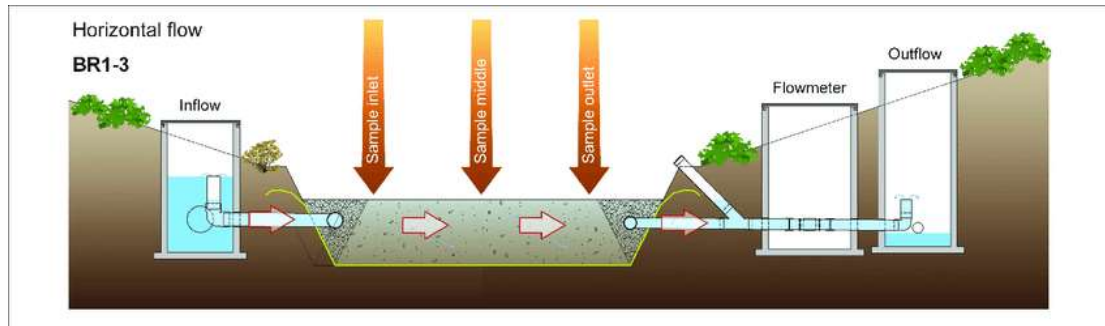
Εικόνα 9: Απεικόνιση της λειτουργίας ενός βιοφίλτρου Biofloc (Πηγή: [Yogev & Gross, 2019](#))

Για την ανάπτυξη ενός BFT δεν είναι απαραίτητη ξεχωριστή δομή από το κύριο σύστημα RAS, μιας και μπορούν να λειτουργήσουν in-situ, στην ίδια στήλη νερού με την καλλιέργεια, έχοντας μάλιστα τη δυνατότητα να μετατρέψουν απόβλητη οργανική ύλη σε επαναχρησιμοποιούμενη για τους ιχθύες μέσω της κατανάλωσης (Agnimelech, 2012; Liu et al., 2016). Βιοφίλτρα τεχνολογίας BFT μπορούν ταυτόχρονα να μετατρέψουν τις τοξικές μορφές της αμμωνίας σε νιτρικά μέσω της νιτροποίησης αλλά και να αφαιρέσουν ποσότητες αζώτου και φωσφόρου επικίνδυνες για το σύστημα μέσω ετερότροφης απονιτροποίησης, απλά ελέγχοντας την προσθήκη υδατανθράκων στο φίλτρο, καθιστώντας έτσι ένα φίλτρο BFT ιδανικό για την απομάκρυνση διαφόρων ρύπων με τη χρήση ενός μόνο φίλτρου (Liu et al., 2021).

Αν και τα βιοφίλτρα BFT μοιάζουν έτοιμα για μαζική εγκατάσταση και βελτίωση των συστημάτων RAS, η απαίτησή τους σε ενέργεια προβληματίζει. Μέχρι στιγμής, τα BFT χρειάζονται αρκετό ηλεκτρισμό για να λειτουργήσουν, ενώ ακόμα ερευνώνται λύσεις για την ορθή διαχείριση των στερεών υπολειμμάτων που προκύπτουν από τη διαδικασία της βιοφίλτρασης (Ray et al., 2010). Σε συνδυασμό με το υψηλό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας μιας ιχθυοκαλλιέργειας RAS, τα έξοδα χρήσης ανεβαίνουν αρκετά σε σχέση με τους συμβατικούς τρόπους ιχθυοκαλλιέργειας.

Εναλλακτικό, και οικονομικότερο τρόπο διαχείρισης των αποβλήτων, με σκοπό την απομάκρυνση του αζώτου από τα απόβλητα της ιχθυοκαλλιέργειας μπορούν να

προσφέρουν δομές όπως οι βιοαντιδραστήρες ροκανιδιών, οι τεχνητοί υγρότοποι και τα φίλτρα άμμου, συνδεδεμένα ως ένα σύστημα επεξεργασίας του νερού.



Εικόνα 10: Σχεδιάγραμμα λειτουργίας ενός βιοαντιδραστήρα ροκανιδιών (Πηγή: [Jégliot et al., 2021](#))

Οι βιοαντιδραστήρες ροκανιδιών είναι σχεδιασμένα συστήματα, τα οποία εμπεριέχουν άνθρακα (στη συγκεκριμένη περίπτωση ροκανίδια), τα οποία έχουν την ιδιότητα να απομακρύνουν το άζωτο από το νερό που περνά μέσα στο σύστημα μέσω της απονιτροποίησης (Lepine et al., 2018). Οι βιοαντιδραστήρες τέτοιου τύπου χρησιμοποιούνται ευρέως σε κλάδους όπως η γεωργία (Greenan et al., 2009; Christianson et al., 2012) και η ξυλεία (Homyak et al., 2008), ενώ από θέμα κόστους δεν έχουν μεγάλη διαφορά σε σχέση με βιοαντιδραστήρες οι οποίοι λαμβάνουν άνθρακα από εξωτερικές πηγές, με τη διαφορά στο εύρος των τιμών να μη ξεπερνά τα 1.1\$ ανά κιλό αζώτου που αφαιρείται (Pulkkinen et al., 2021).

Τα constructed wetlands μπορούν να φιλτράρουν και να οξυγονώσουν περαιτέρω το νερό που περνά μέσα από αυτά. Είναι ειδικά κατασκευασμένα για την απομάκρυνση των αποβλήτων από το διερχόμενο νερό και τη βελτίωση των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του νερού αυτού, χρησιμοποιώντας υδρόβια φυτά, μικροοργανισμούς και το ίδιο το χώμα για να εκκινήσουν φυσικές διεργασίες επεξεργασίας (Atuga & Jembe, 2022). Η ικανότητα απομάκρυνσης των επιπλέον χημικών στοιχείων σε συνδυασμό με την οξυγόνωση του νερού καθιστούν τα constructed wetlands απαραίτητα για το σύστημα μετά την έξοδο του υπό επεξεργασία νερού από τους βιοαντιδραστήρες ροκανιδιών, μιας και η ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου μειώνεται αρκετά (Pulkkinen et al., 2021).

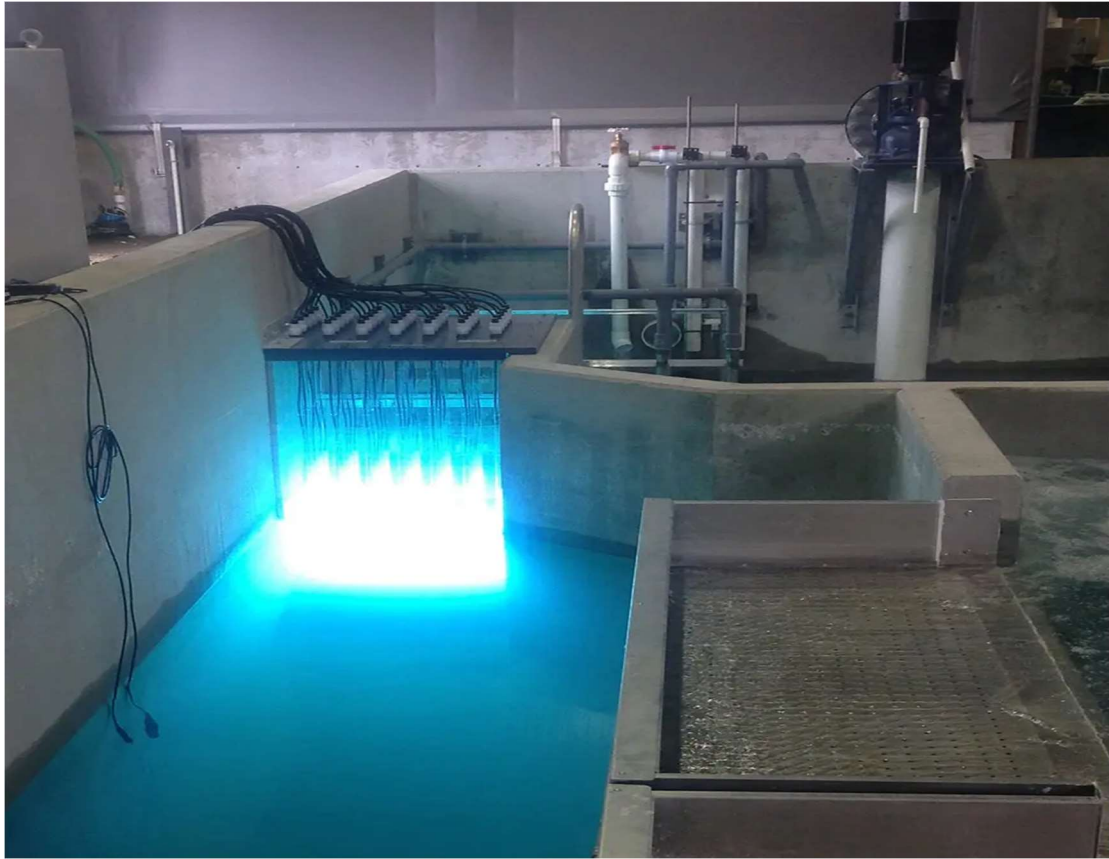
Τα φίλτρα άμμου συμπληρώνουν τα δύο προηγούμενα μέρη του συστήματος, απομακρύνοντας όποια στερεή και διαλυμένη στο νερό οργανική ύλη μέσω της τεχνικής MAR (Managed Artificial Recharge), διαδικασία η οποία χρησιμοποιείται

αποτελεσματικά τόσο σε εγκαταστάσεις καθαρισμού νερού στις Βόρειες χώρες, όσο και στις ιχθυοκαλλιέργειες (Lindroos et al., 2002; Kolehmainen et al., 2009; Lindholm-Lehto et al., 2020; Lindroos et al., 2020)

Το χαμηλό κόστος εφαρμογής και συντήρησης επισκιάζεται από προβλήματα που μπορούν να προκύψουν σε μια από τις δομές του συστήματος λόγω των υψηλών συγκεντρώσεων στερεών υπολειμμάτων. Τα στερεά υπολείμματα που παράγονται συνεχώς και σε μεγάλες ποσότητες από ιχθυοκαλλιέργειες τύπου RAS σε συνδυασμό με τις υψηλές απαιτήσεις σε οξυγόνο για χημικές διεργασίες (COD) (Sharrer et al., 2010a) μπορεί να οδηγήσει τον βιοαντιδραστήρα σε πρόωρη κατάρρευση, ειδικά εάν δέχεται αρκετά επιβαρυνόμενα ύδατα (Lepine et al., 2018). Επίσης, η χαμηλή ποσότητα διαλυμένου οξυγόνου στο νερό όταν εισέρχεται στα constructed wetlands και στα φίλτρα άμμου, η οποία επιβαρύνεται ακόμα περισσότερο κατά τους χειμερινούς μήνες, αποτελεί το μεγαλύτερο εμπόδιο αυτή τη στιγμή για τη βέλτιστη εφαρμογή του συγκεκριμένου τρόπου επεξεργασίας (Pulkkinen et al., 2021).

Εξελίξεις υπάρχουν και στους τρόπους απολύμανσης του νερού που επανακυκλοφορεί σε ένα σύστημα RAS, τομέας ιδιαίτερα σημαντικός για τη περαιτέρω αύξηση της παραγωγικότητας τέτοιου είδους εκτροφείων. Οι ασθένειες αποτελούν τροχοπέδη για όλους του τύπους εντατικής ιχθυοκαλλιέργειας σήμερα, και μπορούν να χαρακτηριστούν ως ο κυριότερος περιοριστικός παράγοντας στην ανάπτυξη του κλάδου (Stentiford et al., 2012, Stentiford et al., 2017).

Σαν νέος τρόπος απολύμανσης του νερού μέσα στα RAS θα μπορούσε να θεωρηθεί η βελτίωση μιας υπάρχουσας και ήδη εφαρμοσμένης τεχνικής, η απολύμανση με τη βοήθεια λαμπτήρων UV. Αναφέρθηκε προηγουμένως ότι οι λαμπτήρες UV χρησιμοποιούνται από τις μονάδες για απολύμανση, όμως η ποσότητα υδραργύρου που περιέχουν είναι ρυπογόνα και επικίνδυνη. Ως λύση θα μπορούσε να είναι η αντικατάσταση των βλαβερών λαμπτήρων με λαμπτήρες νέας τεχνολογίας UV-LED (Ultraviolet Light-Emitting Diode). Οι λαμπτήρες UV-LED είναι φιλικότεροι προς το περιβάλλον μιας και δεν περιέχουν υδράργυρο, ανθεκτικότεροι από τους απλούς UV, λιγότερο ογκώδεις, με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και δυνητικά μικρότερη κατανάλωση ενέργειας (Moreno-Andrés et al., 2020).



Εικόνα 11: Απολύμανση νερού σε σύστημα RAS με χρήση λαμπών UV (Πηγή: <https://www.globalseafood.org/advocate/unit-processes-in-ras-systems/>)

Για παράδειγμα, σύμφωνα με τους Qi *et al.* (2020), η χρήση λαμπτήρων UVA-LED, σε συνδυασμό με υπεροξυμονοθειικά (HSO_5^-) τα οποία μπορούν να βρεθούν στην αγορά με τη μορφή τριπλού άλατος, απενεργοποιούν αποτελεσματικότερα το βακτήριο *Escherichia coli* συνδυαστικά σε σχέση με την αυτούσια εφαρμογή τους, μειώνοντας παράλληλα την κατανάλωση ενέργειας του λαμπτήρα. Το αρνητικό είναι πως ο συγκεκριμένος συνδυασμός πιθανόν να δρα έως και δέκα φορές πιο αργά σε πραγματικές συνθήκες, λόγω των διάφορων ανόργανων και οργανικών καταλοίπων στο νερό αλλά και της ανθεκτικότητας των φυσικά εμφανιζόμενων βακτηρίων στο νερό εκτροφής των RAS (Qi *et al.*, 2020)

Άλλο ένα παράδειγμα συνεργατικής χρήσης των νέων λαμπτήρων UV-LED με χημικές ενώσεις για καλύτερη απολύμανση του νερού είναι ο συνδυασμός λαμπτήρων UV-LED με H_2O_2 . Σύμφωνα με τους Moreno-Andrés *et al.* (2020), ο συνδυασμός λαμπτήρων UV-LED και H_2O_2 και η εφαρμογή του σε πραγματικό νερό εκτροφής RAS, είχαν τη καλύτερη αναλογία αποτελεσματικότητας-κόστους όσο αφορά την απενεργοποίηση των φυσικά εμφανιζόμενων βακτηρίων *Aeromonas*

hydrophila και *Citrobacter gillenii* σε σύγκριση με διάφορους συνδυασμούς φωτολυτικών, φωτοχημικών και φωτοκαταλυτικών διεργασιών.

Η βελτίωση επεκτείνεται όμως και στους ίδιους τους ιχθύες, δίνοντας έμφαση στη παρατήρηση της συμπεριφοράς τους. Με τη χρήση ενός πομπού, ο οποίος προσκολλάται πάνω σε εκτρεφόμενους σολομούς, μπορεί να παρατηρηθεί σε πραγματικό χρόνο η κολυμβητική δραστηριότητα των εκτρεφόμενων ιχθύων μέσα στις δεξαμενές, η οποία με τη σειρά της είναι χρήσιμο ερμηνευτικό εργαλείο για τις αντιδράσεις των ιχθύων σε φυσικοχημικές αλλαγές και όχι μόνο (Kolarevic et al., 2016).

3.2. Οι εξελίξεις στις θαλάσσιες ιχθυοκαλλιέργειες

Οι θαλάσσιες ιχθυοκαλλιέργειες εντατικής εκτροφής τοποθετούν μέχρι σήμερα τους κλωβούς τους σε περιοχές προστατευμένες από ακραία καιρικά φαινόμενα, κοντά στην ακτή και με συγκεκριμένες φυσικοχημικές συνθήκες στην περιοχή εγκατάστασης, για τη διασφάλιση της ευζωίας των ιχθύων αλλά και τη μείωση όσο γίνεται των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Τα εμπόδια όμως για την περαιτέρω ανάπτυξη των θαλάσσιων ιχθυοκαλλιεργειών αν παραμείνουν μόνο σε τοποθεσίες κοντά στην ακτή είναι αρκετά. Οι διαθέσιμες τοποθεσίες για την εγκατάσταση τέτοιων μονάδων είναι περιορισμένες, ειδικά αν λάβουμε υπόψη τις αυστηρές νομοθεσίες αρκετών χωρών σχετικά με την εγκατάσταση ενός εκτροφείου, την απαιτούμενη έκταση που χρειάζεται μια ιχθυοκαλλιέργεια για να λειτουργήσει, τόσο στη θάλασσα όσο και στη στεριά, καθώς και τις προϋποθέσεις λειτουργίας των ίδιων των κλωβών στις εκάστοτε ιχθυοκαλλιέργειες (προστατευμένα από σφοδρά κύματα κ.ά.). Επίσης, οι συγκρούσεις που μπορούν να προκύψουν ανάμεσα σε μια ιχθυοκαλλιέργεια και σε άλλα φυσικά και νομικά πρόσωπα που δραστηριοποιούνται ή κατοικούν στη γύρω περιοχή, για λόγους είτε οικονομικούς ή ευζωίας (ακόμα και δυσπιστίας σχετικά με την επίπτωση μιας ιχθυοκαλλιέργειας στη περιοχή) μπορεί να θέσει σε κίνδυνο την λειτουργία ή ακόμα και την εγκατάσταση της ιχθυοκαλλιέργειας στη περιοχή αυτή.

Και η περιβαλλοντική επίπτωση των εκτροφείων παίζει σημαντικό ρόλο στην ανάγκη εκτόπισης των κλωβών στην ανοιχτή θάλασσα. Στη Νορβηγία για παράδειγμα, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της όλο και αυξανόμενη παραγωγή σολομού (*Salmo salar*) σε ιχθυοκλωβούς μπορούν να μειωθούν με τη μετακίνηση των εκτροφείων στην

ανοιχτή θάλασσα, αυξάνοντας έτσι και τη δυνατότητα παραγωγής (Tveteras, 2002, Bannister et al., 2013).

Οι παραπάνω λόγοι, σε συνδυασμό με την αυξανόμενη ζήτηση για ιχθύες και την ανικανότητα αλίευσης των απαιτούμενων ποσοτήτων εξηγούν τη τάση που παρουσιάζεται ανάμεσα στις ιχθυοκαλλιέργειες να απομακρύνονται όλο και περισσότερο από την ακτή, εγκαθιστώντας τους κλωβούς τους στην ανοιχτή θάλασσα (Gentry et al., 2016).

Η απομάκρυνση αυτή προϋποθέτει την ανάπτυξη κλωβών οι οποίοι θα έχουν την αντοχή να ανταπεξέλθουν στις δυσμενείς συνθήκες που υπάρχουν στην ανοιχτή θάλασσα ή ακόμα και σε αυτές των ωκεανών. Η πλειονότητα των κλωβών που χρησιμοποιείται σήμερα στην ιχθυοκαλλιέργεια (σταθεροί και πλωτοί επιπλέοντες ιχθυοκλωβοί) είναι ακατάλληλοι για εκτροφή σε τέτοιες συνθήκες, εκτός κάποιων εξαιρέσεων, για λόγους που αναφέρθηκαν στην ανάλυση των σημερινών ιχθυοκλωβών.

3.2.1. Βυθιζόμενοι ιχθυοκλωβοί

Οι βυθιζόμενοι ιχθυοκλωβοί φαίνονται αυτή τη στιγμή ως η καλύτερη λύση για την ανάπτυξη του κλάδου ποσοτικά και την εξάπλωση των δραστηριοτήτων του σε σημεία του ωκεανού ανεκμετάλλευτα μέχρι σήμερα.

Τέτοιου είδους κλωβοί δεν υπάρχουν σε ευρεία κλίμακα, με τις περισσότερες καινοτομίες να είναι σε αναπτυξιακό ή δοκιμαστικό στάδιο. Παρόλα αυτά, υπάρχουν κλωβοί αυτού του τύπου, οι οποίοι χρησιμοποιούνται πιο εκτεταμένα. Οι κλωβοί Sadco, ρωσικής κατασκευής και οι κλωβοί Trident-Aquarod, οι οποίοι αναπτύχθηκαν στις ανατολικές ακτές του Καναδά, είναι δύο περιπτώσεις βυθιζόμενων ιχθυοκλωβών, οι οποίοι αναπτύχθηκαν πριν αρκετά χρόνια, με τους Sadco μάλιστα να υπάρχουν τόσο στη Κασπία και τη Μαύρη θάλασσα, όσο και στη Μεσόγειο (Κλαουδάτος Σ. & Κλαουδάτος Δ., 2010), πάντα σε μικρότερο βαθμό βέβαια σε σχέση με τους πλωτούς ιχθυοκλωβούς.



Εικόνα 12: Ιχθυοκλωβός τύπου Aquapod (Πηγή: <https://atlasofthefuture.org/project/aquapod-fish-farm/>)

Όπως γίνεται κατανοητό, οι βυθιζόμενοι ιχθυοκλωβοί πρέπει να έχουν τη δυνατότητα εύκολης βύθισης αλλά και επιστροφής στην επιφάνεια όποτε κριθεί αναγκαίο, καθώς και σωστή αγκυροβόληση έτσι ώστε να εξασφαλισθεί η σταθερότητα του κλωβού και η πρόεπουσα βύθισή του. Γενικά, οι βυθιζόμενοι ιχθυοκλωβοί εμπεριέχουν σωλήνες τόσο στην επιφάνεια όσο και στο κάτω μέρος του κλωβού, οι οποίοι με τη βοήθεια βαλβίδων νερού ελέγχουν τη βύθιση του ιχθυοκλωβού, καθώς και δύο ομάδες πλωτήρων, μία για την αγκυροβόληση και μία για τη βύθιση των κλωβών (Δημητρίου, 2017).

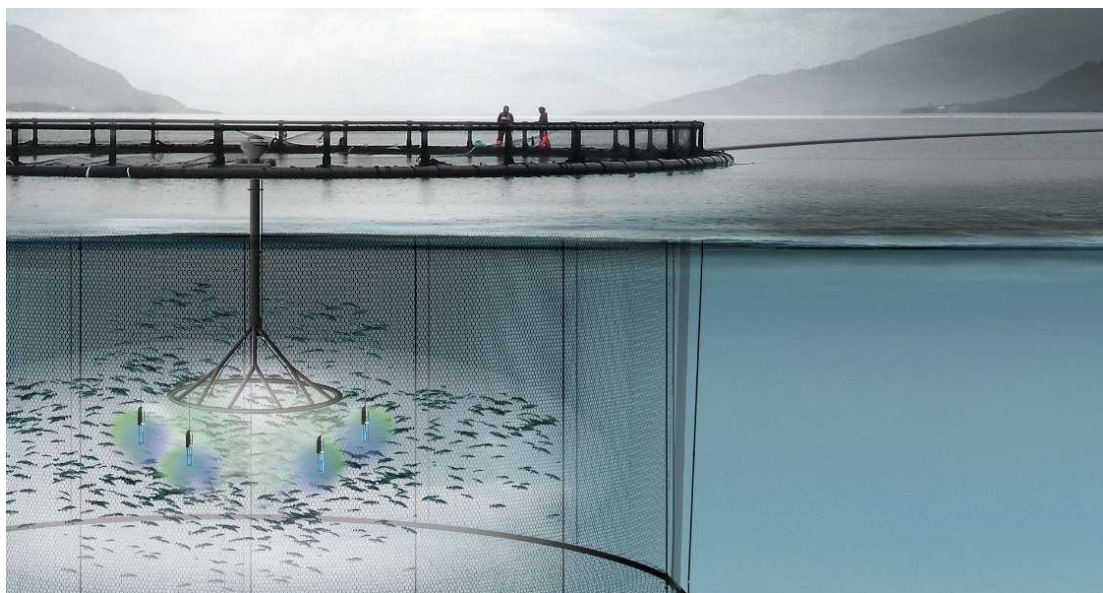
3.2.1.1. Πλεονεκτήματα των βυθιζόμενων ιχθυοκλωβών

Οι βυθιζόμενοι ιχθυοκλωβοί έχουν αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τους συμβατικούς πλωτούς κλωβούς που χρησιμοποιούνται κατά κόρον στην ιχθυοκαλλιέργεια σήμερα.

Αρχικά, το γεγονός ότι παραμένουν βυθισμένοι κάτω από την επιφάνεια του νερού, τους καθιστά ιδανικούς για εκτροφή σε ανοικτές θάλασσες. Οι κλωβοί είναι προστατευμένοι από τα επιφανειακά ρεύματα, τους δυνατούς ανέμους και κυματισμούς, διάφορα συντρίμια που μπορεί να βρεθούν επιπλέοντα και σε ένα βαθμό από τα επικίνδυνα καιρικά φαινόμενα, ενώ χρειάζεται λιγότερο ισχυρή αγκυροβόληση σε σχέση με έναν πλωτό κλωβό όπου τα ρεύματα τον παρασέρνουν

ευκολότερα (Scott & Muir, 2000; Chu et al., 2020). Η προστασία αυτή και η ανθεκτικότητα σε δυσμενείς συνθήκες μειώνουν το ρίσκο καταστροφής του κλωβού, της καταπόνησης των ιχθύων μέσα στο κλωβό από τα φυσικά φαινόμενα, αλλά και τη περίπτωση διαφυγής των ιχθύων από τον κλωβό λόγω υψηλών κυματισμών κ.ά.

Για να λειτουργήσει ένας βυθιζόμενος ιχθυοκλωβός θα πρέπει επίσης να περιλαμβάνει τη δυνατότητα αυτόματου ταΐσματος για τους εκτρεφόμενους ιχθύες, καθώς ο κλωβός μένει βυθισμένος στο νερό κατά τη διάρκεια της εκτροφής. Το τάισμα των ιχθύων με αυτοματοποιημένα συστήματα μπορεί να οδηγήσει σε μείωση των απωλειών τροφής, χάρη στην ακριβή χορήγηση τροφής σε σχέση με την ανθρώπινη εκτίμηση, καθώς και να διευκολύνει τους εκτροφείς τόσο από άποψη χρόνου, όσο και από άποψη δυσκολιών, μιας και η χορήγηση τροφής γίνεται ιδιαίτερα δύσκολη σε δυσμενείς καιρικές συνθήκες (Karningsih et al., 2021).



Εικόνα 13: Αυτόματο σύστημα ταΐσματος της εταιρίας AKVA (Πηγή: <https://www.akvagroup.com/sea-based-aquaculture/feed-systems/subsea-feeding>)

Ακόμα, το γεγονός ότι οι βυθιζόμενοι ιχθυοκλωβοί εγκαθίστανται μακριά από την ακτή, αποτρέπει τα προβλήματα που μπορούν να προκύψουν από αντιδράσεις κατοίκων και επιχειρήσεων μιας παράκτιας περιοχής, οι οποίοι λόγω φόβου, άγνοιας ή και χειραγώγησης ανησυχούν για τις επιπτώσεις μιας ιχθυοκαλλιέργειας στο ευ ζην και στη περιβαλλοντική ισορροπία της περιοχής. Αν και κάθε εγκατάσταση πρέπει να εγκριθεί έχοντας παρουσιάσει ενδεδειγμένες περιβαλλοντικές μελέτες για την αποφυγή περιβαλλοντικών επιπτώσεων, οι αντιδράσεις είναι ένα θέμα που εμφανίζεται συχνά

στις παράκτιες εγκαταστάσεις, οπότε η απομάκρυνση των εγκαταστάσεων από την ακτή ελαχιστοποιεί το πρόβλημα.

Στα πλεονεκτήματα των βυθιζόμενων ιχθυοκλωβών περιλαμβάνεται και η σταθερή δομή τους. Οι συνθήκες όσον αφορά τη ταχύτητα των ρευμάτων, τα κύματα και τα καιρικά φαινόμενα σε περιοχές απομακρυσμένες από την ακτή είναι δυσκολότερες όπως προαναφέρθηκε. Η σταθερότητα όμως των βυθιζόμενων ιχθυοκλωβών σε συνδυασμό με τη δυνατότητα βύθισης, πέρα από τη προστασία ενάντια στα φυσικά φαινόμενα, συνεισφέρει στη μείωση της ταχύτητας με την οποία το ρεύμα διαπερνά το κλωβό, αλλά και η δυσκαμψία του κλωβού δεν μειώνει τον ωφέλιμο χώρο όπως θα συνέβαινε σε έναν εύκαμπτο ιχθυοκλωβό, επιτρέποντας στα ψάρια να διατηρήσουν το μοτίβο κολύμβησης που έχουν συνήθως στον κλωβό (Hvas et al., 2020).

Η βύθιση των κλωβών ωφελεί ακόμα και σε περιπτώσεις ασθeneιών. Η προσβολή των σολομών από θαλάσσιες ψείρες (*Leporhtheirus salmonis*), ένα παρασιτικό είδος, προκαλεί μεγάλες απώλειες στη παραγωγή και η αντιμετώπισή τους μπορεί να φτάσει σε κόστος τα 230 με 590 \$US ανά τόνο (Liu & Bjielland, 2014; Brooker et al., 2018). Για την αντιμετώπιση τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορα “εμπόδια”, έτσι ώστε να μειωθεί η πιθανότητα επαφής του παρασίτου με τον εκτρεφόμενο σολομό. Οι βυθιζόμενοι ιχθυοκλωβοί δημιουργούν αυτό το εμπόδιο χάρη στο γεγονός πως βυθίζονται, αφού οι θαλάσσιες ψείρες παρασιτούν ευκολότερα στα επιφανειακά στρώματα (Johannessen, 1978; Costelloe et al., 1995; McKibben & Hay, 2004), με αποτέλεσμα τη μείωση προσβολής των σολομών από τα συγκεκριμένα παράσιτα (Hvas et al., 2020; Orpedal et al., 2020).

3.2.1.2. Μειονεκτήματα των βυθιζόμενων ιχθυοκλωβών

Αν και η προοπτική των βυθιζόμενων ιχθυοκλωβών φαίνεται αρκετά ελπιδοφόρα για την εξέλιξη των τρόπων που εκτρέφουμε ιχθύες, το γεγονός ότι η εξάπλωσή τους είναι σχετικά πρόωμη αφήνει μετέωρα κάποια προβλήματα όσον αφορά την εφαρμογή τους.

Ένα μειονέκτημα το οποίο εμποδίζει την πλειονότητα των νέων τεχνολογιών να γίνουν διαθέσιμες ευρέως πιο γρήγορα, τόσο στον κλάδο των ιχθυοκαλλιεργειών όσο και σε άλλους τομείς, είναι το κόστος. Όσο πιο “νέα” είναι μια τεχνολογία, τόσο λιγότερο έχουν εξερευνηθεί οι τρόποι ανάπτυξής της που θα μπορούσαν να είναι φθηνότεροι, μιας και οι αρχικές έρευνες επικεντρώνονται στο κατά πόσο είναι εφαρμόσιμη μια νέα τεχνολογία και στη βελτίωσή της ποιοτικά. Το κόστος για την

απόκτηση, τη λειτουργία και τη συντήρηση βυθιζόμενων ιχθυοκλωβών παραμένει ακόμη αρκετά υψηλότερο σε σχέση με τους συμβατικούς ιχθυοκλωβούς, ένα πρόβλημα το οποίο αντιμετωπίζουν και τα συστήματα RAS που αναφέρθηκαν προηγουμένως (Edwards, 2015; Liu et al., 2016). Το αυξημένο κόστος ανεβάζει αναπόφευκτα και τη τιμή πώλησης του παραχθέντος ιχθύ, ενώ περιορίζονται και τα είδη που θα μπορούσαν να εκτραφούν σε αυτούς τους κλωβούς, μιας και κάποια είδη δεν θα επέστρεφαν οικονομικό κέρδος λόγω της χαμηλής τους αξίας.

Ακόμη ένα πρόβλημα προκύπτει από την ίδια την ανατομία των ιχθύων. Η εκτροφή στην ανοιχτή θάλασσα εκθέτει τους εκτρεφόμενους ιχθύες σε μεγαλύτερες ταχύτητες ρευμάτων σε σχέση με εκτροφές που εγκαθίστανται σε προστατευμένα σημεία κοντά στην ακτή. Οι συνθήκες αυτές επιτρέπουν την εκτροφή συγκεκριμένων ειδών όπως ο σολομός *Salmo salar* (L.1758), ο οποίος θεωρείται ικανός κολυμβητής, αλλά καθιστούν απαγορευτική την εκτροφή ιχθύων οι οποίοι δεν ανταπεξέρχονται σε μεγάλες ταχύτητες κολύμβησης. Εάν τώρα εστιάσουμε συγκεκριμένα στους βυθιζόμενους ιχθυοκλωβούς, εμφανίζονται θέματα που αφορούν τη νηκτική κύστη των ιχθύων. Η νηκτική κύστη είναι ένας μονόχωρος ή δίχωρος ανθεκτικός σάκος που αναπτύσσεται ανάμεσα στο πεπτικό σωλήνα και στην αορτή του ψαριού, ο οποίος γεμίζει αέρα και επιτρέπει στους ιχθύες τη ρύθμιση της πλευστότητάς τους (Νεοφύτου Χ. & Νεοφύτου Ν., 2015). Ανάλογα με το εάν η νηκτική κύστη επικοινωνεί με τον οισοφάγο ή είναι κλειστή τα είδη που έχουν νηκτική κύστη μπορούν να χωριστούν σε φυσόστομα και φυσόκλειστα αντίστοιχα (Βερίλλης & Μεντέ, 2017). Οι βυθιζόμενοι ιχθυοκλωβοί εμποδίζουν την αναπλήρωση της νηκτικής κύστης π.χ. του σολομού, αφού βρίσκονται βυθισμένοι κάτω από την επιφάνεια του νερού, κάνοντας αναγκαία τη παροχή αέρα μέσω κάποιου θόλου ή την συστηματική ανάδυσή του κλωβού ώστε να αποφευχθούν καταστροφικές συνέπειες στην υγεία του ιχθύ (Hvas et al., 2020).

Τίθεται επίσης ο προβληματισμός της ασφαλούς εργασίας σε μονάδες που βρίσκονται μακριά από την ακτή. Λόγω των δυσμενών καιρικών συνθηκών, ο ανθρώπινος έλεγχος και οι παρεμβάσεις θα πρέπει να γίνονται όσο το δυνατόν πιο αυτοματοποιημένα, για να αποφευχθεί η ανάγκη έκθεσης των εργαζομένων σε κίνδυνο.

3.2.2. Νέες και βελτιωμένες τεχνολογίες

Πέρα από την επέκταση της εκτροφής ιχθύων στην ανοιχτή θάλασσα μέσω της χρήσης βυθιζόμενων ιχθυοκλωβών, ο κλάδος αναπτύσσεται και με την εφαρμογή νέων

τρόπων παρατήρησης, τάισματός και βελτίωσης της παραγωγής αλλά και της ευζωίας των εκτρεφόμενων ιχθύων. Η νοοτροπία αυτή της προσεκτικής φροντίδας έχει ως στόχο την ελαχιστοποίηση των απωλειών τόσο σε πόρους όσο και σε ιχθύες.

Η απλή παρατήρηση δεν αρκεί μιας και είναι αδύνατον το ανθρώπινο μάτι να προσέχει συνεχώς τις κινήσεις των ιχθύων, εάν εμφανίζουν συμπεριφορές που συνδέονται με το στρες και τη καταπόνηση, και το κυριότερο, η παρατήρηση από την επιφάνεια είναι ελλιπέστατη. Για την αντιμετώπιση αυτών των εμποδίων, δημιουργούνται συστήματα παρατήρησης αλλά και αυτόματης καταμέτρησης ιχθύων και απωλειών τροφής, καταγραφή αλλαγών συμπεριφοράς, συνεχή μέτρηση φυσικοχημικών συνθηκών κ.ά.

Ένα παράδειγμα είναι η ανάπτυξη υπολογιστικών αλγορίθμων, οι οποίοι σε συνδυασμό με παρεχόμενες εικόνες από κάποιες υποβρύχιες κάμερες μέσα στον κλωβό εκτροφής θα μπορούν να αναλύσουν διάφορους παράγοντες (Føre et al., 2018). Υπάρχει η δυνατότητα μέσω υπολογιστικών προγραμμάτων να αναλυθούν παράμετροι όπως:

- Η κίνηση και ο συνωστισμός των ιχθύων (Eguiraun, López-de-Iriña, & Martinez, 2014)

- Το μέγεθος των ιχθύων (Hao et al., 2016)

- Η αλλαγή συμπεριφοράς εξαιτίας κάποιου χημικού παράγοντα (Eguiraun & Martinez, 2015b; Eguiraun et al., 2016)

- Η κατάσταση του δέρματος των ιχθύων (Wallat et al., 2002)

- Η ποσότητα pellet τροφής μέσα στο νερό (Skøien, et al., 2014)

(Føre et al., 2018)

Επίσης, η μέτρηση των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του νερού ανά τακτά χρονικά διαστήματα με τη βοήθεια αυτόματων αισθητήριων οργάνων μπορεί να συνεισφέρει στη μείωση του κόστους παραγωγής μακροπρόθεσμα, κάνοντας τη τροφοληψία των ιχθύων αποδοτικότερη (Wei et al., 2020).

Για να υπάρξει ουσιαστική διευκόλυνση, ειδικά όσον αφορά κλωβούς οι οποίοι βρίσκονται στην ανοικτή θάλασσα, θα πρέπει όλα τα δεδομένα που συλλέγονται και μεταφράζονται από τα αυτοματοποιημένα συστήματα που αναφέρθηκαν, να

μεταφέρονται γρήγορα και εύκολα στην ακτή και να γίνονται ακόμη και άμεσα προσβάσιμα στον εκάστοτε υπεύθυνο. Η λύση σε αυτό το πρόβλημα μπορεί να βρεθεί με την αξιοποίηση:

- Των ευρυζωνικών δικτύων 3G σε συνδυασμό με τον κατάλληλο εξοπλισμό για την αναμετάδοση των πληροφοριών σε κέντρα δεδομένων στην ακτή (Wang et al., 2012), ενώ υπάρχει και η δυνατότητα πλέον χρησιμοποίησης δικτύων 4G και 5G.

- Εφαρμογών οι οποίες εκμεταλλευόμενες το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things), ένα δίκτυο το οποίο επιτρέπει την μεταφορά δεδομένων σε αισθητήρες, συσκευές, οχήματα κ.ά., θα έχουν την ικανότητα να μεταφέρουν τα δεδομένα από όλους τους αισθητήρες σε εφαρμογές που θα μπορούν να υπάρχουν ακόμα και σε μια συσκευή Android (Wei et al., 2020; Tamim et al., 2021).

4. Συζήτηση

Με την κατάσταση των ιχθυοαποθεμάτων στη φύση να μην δείχνει σημάδια βελτίωσης όσο δεν λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα διαχείρισης, σε συνδυασμό με την όλο και αυξανόμενη απαίτηση για ιχθύες, οι ιχθυοκαλλιέργειες θα έχουν την ευκαιρία να συμπληρώσουν το κενό στην αγορά, αποκτώντας μεγαλύτερη και πλεονεκτική θέση σε σχέση με την αλιεία. Το γεγονός αυτό θα δώσει στον κλάδο περισσότερα κέρδη καθώς και ευκαιρίες ανάπτυξης. Οι τρόποι παραγωγής όμως που εφαρμόζονται σήμερα στη πλειοψηφία των εκτροφείων δεν δείχνουν ικανοί να αυξήσουν τη παραγωγή ιχθύων σε βαθμό που να ικανοποιεί τις μελλοντικές απαιτήσεις, λαμβάνοντας υπόψιν πάντα την ορθή λειτουργία που θα πρέπει να τις διέπει (αποφυγή περισσότερων περιβαλλοντικών επιπτώσεων, διατήρηση των τιμών σε ανταγωνιστικά πλαίσια κ.ά.).

Οι παρόντες τρόποι εκτροφής καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες νερού (π.χ. χερσαίες εκτροφές), μπορούν να προκαλέσουν οικολογικές καταστροφές εάν δεν υπάρχει σωστή σχεδίαση, ενώ ακόμα και αποφάσεις όπως η χορήγηση τροφής, η διαλογή των ιχθύων και η πρόληψη ασθενειών βασίζεται αρκετές φορές στην εμπειρία των εκάστοτε υπευθύνων. Η μετάβαση σε ιχθυοκαλλιέργειες μεγαλύτερης ακρίβειας

αλλά και υπερπολλαπλάσιων δυνατοτήτων ανάπτυξης και επέκτασης θα πρέπει να τεθεί ως ένας από τους βασικούς στόχους του κλάδου. Μέσω των νέων αυτών τρόπων ιχθυοκαλλιέργειας προκύπτουν πολύπλευρα οφέλη, οικονομικά, περιβαλλοντικά, ακόμα και κοινωνικά. Ένα σύστημα RAS εξοικονομεί πολύ περισσότερο νερό σε σχέση με μια απλή χειρσαία εκτροφή, ενώ προσφέρει ελεγχόμενες συνθήκες διαβίωσης των ιχθύων, με αποτέλεσμα τόσο τη μείωση απωλειών ιχθύων και τροφής, όσο και τη δυνατότητα ένταξης νέων ειδών στα ήδη εκτρεφόμενα είδη ιχθύων. Οι βυθιζόμενοι κλωβοί ανοιχτής θαλάσσης μπορούν να ρίξουν αρκετά τις οικονομικές ζημιές που προκύπτουν από καταστροφές των κλωβών, διαφυγόντες ιχθύες και θανάτους ιχθύων ελέω στρες, καιρικών φαινομένων κ.ά.

Ακόμα και η εφαρμογή νέων τρόπων καταγραφής δεδομένων και παρατήρησης συνεισφέρει στην ανάπτυξη του κλάδου. Η χρήση δεδομένων όσον αφορά τις συνθήκες του νερού εκτροφής, της τροφής που μπορεί να μην καταναλώνεται από τους ιχθύες, αλλά και την ίδια την υγεία και ανάπτυξη των ιχθύων, περιορίζει τις απώλειες τροφής και μειώνει τόσο τους θανάτους μιας εκτροφής όσο και το ίδιο το κόστος παραγωγής.

Με λίγα λόγια, η ανάπτυξη του κλάδου της ιχθυοκαλλιέργειας βασίζεται σε δύο άξονες:

- Στην ακριβέστερη εκτροφή, βασισμένη σε έγκυρα και πραγματικού χρόνου δεδομένα, έτσι ώστε να προσφέρεται η καλύτερη ποιότητα ζωής στους εκτρεφόμενους ιχθύες, μειώνοντας παράλληλα τα έξοδα και τις περιβαλλοντικές συνέπειες από κοστοβόρα μέρη της παραγωγής όπως η τροφή

- Στην καλύτερη αξιοποίηση των διαθέσιμων χώρων που υπάρχουν για εκτροφή, είτε μέσω των συστημάτων RAS στις χειρσαίες ιχθυοκαλλιέργειες ή μέσω των ιχθυοκλωβών ανοιχτής θαλάσσης στις θαλάσσιες. Έτσι, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις μειώνονται, ενώ παράλληλα διασφαλίζεται μεγαλύτερη παραγωγή ποσοτικά, σε νέες τοποθεσίες, μη ριψοκινδυνεύοντας παράλληλα την εμφάνιση εμποδίων από επιχειρήσεις που μπορεί να δραστηριοποιούνται σε άλλα μέρη (π.χ. οι παράκτιες ιχθυοκαλλιέργειες)

Υπάρχει ακόμη δρόμος έως ότου οι νέοι αυτοί τρόποι να αποτελέσουν το κύριο μέρος της εκτροφής ιχθύων. Μπορεί τα RAS να είναι περισσότερο διαδεδομένα σε σχέση με τους κλωβούς ανοιχτής θαλάσσης, παραμένουν όμως και οι δύο σχετικά “φρέσκιες” εξελίξεις. Εάν μάλιστα η επισιτιστική και ενεργειακή κρίση που δείχνουν εν έτη 2022

να απειλούν την Ευρώπη και τον πλανήτη μετουσιωθούν σε πραγματικότητα, τότε η ιχθυοκαλλιέργεια θα πρέπει να παράγει με λιγότερους πόρους περισσότερες ποσότητες για να καλυφθούν οι ανάγκες σε τρόφιμα, βάζοντας σε παύση την ανάπτυξη των νέων αυτών μεθόδων, οι οποίες αν και αποδοτικότερες, παραμένουν αρκετά κοστοβόρες.

Εν τέλει, η εξέλιξη όλων αυτών των πρωτοποριών είναι συνυφασμένη με τις συνθήκες που θα διαμορφωθούν. Προσφέρουν πολλές δυνατότητες, φιλικότερες στο περιβάλλον σε σχέση με τις υπόλοιπες, κάτι το οποίο είναι σημαντικότερο για το μέλλον του πλανήτη, παραμένουν όμως ένα επιχειρησιακό ρίσκο όσο οι συνθήκες είναι ασταθείς.

5. Βιβλιογραφία

5.1. Ελληνική Βιβλιογραφία

Βερίλλης, Π., Μεντέ, Έ., 2017. Ιστοφυσιολογία Ιχθύων και Καρκινοειδών. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας, Βόλος.

Δημητρίου, Β., 2017. Διερεύνηση συμπεριφοράς ιχθυοκλωβού σε συνθήκες ανοιχτής θάλασσας 104.

Κλαουδάτος, Σ., Κλαουδάτος, Δ., 2010. Κατασκευές Υδατοκαλλιεργητικών Συστημάτων, 1η. ed. Εκδόσεις Προπομπός.

Νεοφύτου, Χ., 2015. Ιχθυολογία, 2η. ed. University Studio Press, Θεσσαλονίκη.

Φιλίππου, Π., 2016. Κατασκευή μοντέλου υδατοκαλλιεργητικού συστήματος εκτροφής ψαριών σε πλωτούς ιχθυοκλωβούς.

5.2. Ξενόγλωσσή Βιβλιογραφία

Ahmad, A., Sheikh Abdullah, S.R., Hasan, H.A., Othman, A.R., Ismail, N. 'Izzati, 2021. Aquaculture industry: Supply and demand, best practices, effluent and its current issues and treatment technology. *Journal of Environmental Management* 287, 112271. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112271>

Ahmed, N., Thompson, S., Glaser, M., 2019. Global Aquaculture Productivity, Environmental Sustainability, and Climate Change Adaptability. *Environmental Management* 63, 159–172. <https://doi.org/10.1007/s00267-018-1117-3>

Ahmed, N., Turchini, G.M., 2021. Recirculating aquaculture systems (RAS): Environmental solution and climate change adaptation. *Journal of Cleaner Production* 297, 126604. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126604>

Asche, F., Roll, K.H., Sandvold, H.N., Sørvig, A., Zhang, D., 2013. Salmon Aquaculture: Larger Companies and Increased Production. *Aquaculture Economics & Management* 17, 322–339. <https://doi.org/10.1080/13657305.2013.812156>

- Atuga, G., Jembe, T., 2022. Constructed wetlands' application for flower farms wastewater treatment in developing countries: Case study in Kenya. pp. 257–269. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821664-4.00004-2>
- Azzam, M.I., Ezzat, S.M., Othman, B.A., El-Dougdoug, K.A., 2017. Antibiotics resistance phenomenon and virulence ability in bacteria from water environment. *Water Science* 31, 109–121. <https://doi.org/10.1016/j.wsj.2017.10.001>
- Badiola, M., Basurko, O.C., Piedrahita, R., Hundley, P., Mendiola, D., 2018. Energy use in Recirculating Aquaculture Systems (RAS): A review. *Aquacultural Engineering* 81, 57–70. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2018.03.003>
- Badiola, M., Mendiola, D., Bostock, J., 2012. Recirculating Aquaculture Systems (RAS) analysis: Main issues on management and future challenges. *Aquacultural Engineering* 51, 26–35. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2012.07.004>
- Bannister, J., Sievers, M., Bush, F., Bloecher, N., 2019. Biofouling in marine aquaculture: a review of recent research and developments. *null* 35, 631–648. <https://doi.org/10.1080/08927014.2019.1640214>
- Bennich, T., 2015. The economic sustainability of land-based aquaculture systems: An integrated analysis 104.
- Biofloc technology: a practical guide book. [WWW Document], n.d. URL <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20113266301> (accessed 5.27.22).
- Blancheton, J.P., Piedrahita, R., Eding, E.H., Bergheim, A., Fivelstad, S., 2007. Intensification of landbased aquaculture production in single pass and reuse systems 28.
- Bostock, J., Lane, A., Hough, C., Yamamoto, K., 2016. An assessment of the economic contribution of EU aquaculture production and the influence of policies for its sustainable development. *Aquacult Int* 24, 699–733. <https://doi.org/10.1007/s10499-016-9992-1>
- Bostock, J., McAndrew, B., Richards, R., Jauncey, K., Telfer, T., Lorenzen, K., Little, D., Ross, L., Handisyde, N., Gatward, I., Corner, R., 2010. Aquaculture: global status and trends. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 365, 2897–2912. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0170>
- Bregnballe, J., Eurofish, F., 2015. A guide to recirculation aquaculture: an introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems. Food and Agriculture Organization of the United Nations : Eurofish, Copenhagen.
- Brooker, A.J., Skern-Mauritzen, R., Bron, J.E., 2018. Production, mortality, and infectivity of planktonic larval sea lice, *Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer, 1837): current knowledge and implications for epidemiological modelling. *ICES Journal of Marine Science* 75, 1214–1234. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsy015>
- Christianson, L.E., Lepine, C., Sibrell, P.L., Penn, C., Summerfelt, S.T., 2017. Denitrifying woodchip bioreactor and phosphorus filter pairing to minimize pollution swapping. *Water Research* 121, 129–139. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.05.026>
- Chu, Y.I., Wang, C.M., Park, J.C., Lader, P.F., 2020. Review of cage and containment tank designs for offshore fish farming. *Aquaculture* 519, 734928. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.734928>

- Climate Change Evidence: How Do We Know? [WWW Document], n.d. . Climate Change: Vital Signs of the Planet. URL <https://climate.nasa.gov/evidence> (accessed 5.23.22).
- Coche, A.G., Muir, J.F., Laughlin, T., Nations, F. and A.O. of the U., 1996. Simple Methods for Aquaculture: Management for Freshwater Fish Culture Ponds and Water Practices. Food & Agriculture Org.
- Costa-Pierce, B.A., 2010. Sustainable Ecological Aquaculture Systems: The Need for a New Social Contract for Aquaculture Development. *Marine Technology Society Journal* 44, 88–112. <https://doi.org/10.4031/MTSJ.44.3.3>
- Costelloe, J., Costelloe, M., Roche, N., 1995. Variation in sea lice infestation on Atlantic salmon smolts in Killary Harbour, West Coast of Ireland. *Aquacult Int* 3, 379–393. <https://doi.org/10.1007/BF00121626>
- Dalsgaard, J., Lund, I., Thorarinsdottir, R., Drenstvig, A., Arvonen, K., Pedersen, P.B., 2013. Farming different species in RAS in Nordic countries: Current status and future perspectives. *Aquacultural Engineering, Workshop on Recirculating Aquaculture Systems* 53, 2–13. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2012.11.008>
- Di Trapani, A.M., Sgroi, F., Testa, R., Tudisca, S., 2014. Economic comparison between offshore and inshore aquaculture production systems of European sea bass in Italy. *Aquaculture* 434, 334–339. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.09.001>
- Edwards, P., 2015. Aquaculture environment interactions: Past, present and likely future trends. *Aquaculture, Research for the Next 40 Years of Sustainable Global Aquaculture* 447, 2–14. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.02.001>
- Eguiraun, H., López-de-Ipiña, K., Martínez, I., 2016. Shannon Entropy in a European Seabass (*Dicentrarchus labrax*) System during the Initial Recovery Period after a Short-Term Exposure to Methylmercury. *Entropy* 18, 209. <https://doi.org/10.3390/e18060209>
- El-Sayed, A.-F.M., 2021. Use of biofloc technology in shrimp aquaculture: a comprehensive review, with emphasis on the last decade. *Reviews in Aquaculture* 13, 676–705. <https://doi.org/10.1111/raq.12494>
- Emerenciano, M.G.C., Miranda-Baeza, A., Martínez-Porchas, M., Poli, M.A., Vieira, F. do N., 2021. Biofloc Technology (BFT) in Shrimp Farming: Past and Present Shaping the Future. *Frontiers in Marine Science* 8.
- Finegold, C., n.d. THE IMPORTANCE OF FISHERIES AND AQUACULTURE TO DEVELOPMENT 12.
- Fisheries and Aquaculture - Fisheries and Aquaculture - Aquaculture technology [WWW Document], n.d. URL <https://www.fao.org/fishery/en/technology/aquaculture/en> (accessed 5.23.22).
- Fisheries and Aquaculture - Fisheries and Aquaculture - Aquaculture [WWW Document], n.d. URL <https://www.fao.org/fishery/en/aquaculture/en> (accessed 5.23.22).
- Fløysand, A., Jakobsen, S.-E., 2017. Industrial renewal: narratives in play in the development of green technologies in the Norwegian salmon farming industry. *The Geographical Journal* 183, 140–151. <https://doi.org/10.1111/geoj.12194>
- Føre, M., Frank, K., Norton, T., Svendsen, E., Alfredsen, J.A., Dempster, T., Eguiraun, H., Watson, W., Stahl, A., Sunde, L.M., Schellewald, C., Skøien, K.R., Alver, M.O., Berckmans, D., 2018. Precision

fish farming: A new framework to improve production in aquaculture. *Biosystems Engineering, Advances in the Engineering of Sensor-based Monitoring and Management Systems for Precision Livestock Farming* 173, 176–193. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.10.014>

Fornshell, G., 2019. Raceways – Freshwater Aquaculture [WWW Document]. URL <https://freshwater-aquaculture.extension.org/raceways/> (accessed 5.23.22).

Gentry, R.R., Froehlich, H.E., Grimm, D., Kareiva, P., Parke, M., Rust, M., Gaines, S.D., Halpern, B.S., 2017a. Mapping the global potential for marine aquaculture. *Nat Ecol Evol* 1, 1317–1324. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0257-9>

Gentry, R.R., Lester, S.E., Kappel, C.V., White, C., Bell, T.W., Stevens, J., Gaines, S.D., 2017b. Offshore aquaculture: Spatial planning principles for sustainable development. *Ecology and Evolution* 7, 733–743. <https://doi.org/10.1002/ece3.2637>

Greenan, C.M., Moorman, T.B., Parkin, T.B., Kaspar, T.C., Jaynes, D.B., 2009. Denitrification in Wood Chip Bioreactors at Different Water Flows. *Journal of Environmental Quality* 38, 1664–1671. <https://doi.org/10.2134/jeq2008.0413>

Gutierrez-Wing, M.T., Malone, R.F., 2006. Biological filters in aquaculture: Trends and research directions for freshwater and marine applications. *Aquacultural Engineering, Design and Selection of Biological Filters for Freshwater and Marine Applications* 34, 163–171. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.08.003>

Hao, M., Yu, H., Li, D., 2016. The Measurement of Fish Size by Machine Vision - A Review, in: Li, D., Li, Z. (Eds.), *Computer and Computing Technologies in Agriculture IX, IFIP Advances in Information and Communication Technology*. Springer International Publishing, Cham, pp. 15–32. https://doi.org/10.1007/978-3-319-48354-2_2

Hargreaves, J.A., 2013. *Biofloc Production Systems for Aquaculture* 16.

Helfrich, L.A., Libey, G., n.d. *RECIRCULATING AQUACULTURE SYSTEMS* 19.

Henriksson, P.J.G., Troell, M., Banks, L.K., Belton, B., Beveridge, M.C.M., Klinger, D.H., Pelletier, N., Phillips, M.J., Tran, N., 2021. Interventions for improving the productivity and environmental performance of global aquaculture for future food security. *One Earth* 4, 1220–1232. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.08.009>

Hincapié-Cárdenas, C., 2007. *Macrobiofouling on open-ocean submerged aquaculture cages in Puerto Rico* (Thesis).

Holmer, M., 2010. Environmental issues of fish farming in offshore waters: perspectives, concerns and research needs. *Aquaculture Environment Interactions* 1, 57–70. <https://doi.org/10.3354/aei00007>

Homyak, P.M., Yanai, R.D., Burns, D.A., Briggs, R.D., Germain, R.H., 2008. Nitrogen immobilization by wood-chip application: Protecting water quality in a northern hardwood forest. *Forest Ecology and Management, Large-scale experimentation and oak regeneration* 255, 2589–2601. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.01.018>

Huguenin, J.E., Ansuini, F.J., 1978. A review of the technology and economics of marine fish cage systems. *Aquaculture* 15, 151–170. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(78\)90060-1](https://doi.org/10.1016/0044-8486(78)90060-1)

- Hvas, M., Folkedal, O., Oppedal, F., 2021. Fish welfare in offshore salmon aquaculture. *Reviews in Aquaculture* 13, 836–852. <https://doi.org/10.1111/raq.12501>
- Implementation of an Offshore Verification Test for a Large-scale Open Water Aquaculture System— | NIPPON STEEL ENGINEERING [WWW Document], n.d. URL <https://www.eng.nipponsteel.com/english/news/2016/20161003.html> (accessed 5.23.22).
- JAMAL, M.T., BROOM, M., AL-MUR, B.A., AL HARBI, M., GHANDOURAH, M., AL OTAIBI, A., HAQUE, M.F., 2020. Biofloc Technology: Emerging Microbial Biotechnology for the Improvement of Aquaculture Productivity. *Pol J Microbiol* 69, 401–409. <https://doi.org/10.33073/pjm-2020-049>
- Jensen, Ø., Dempster, T., Thorstad, E.B., Uglem, I., Fredheim, A., 2010. Escapes of fishes from Norwegian sea-cage aquaculture: causes, consequences and prevention. *Aquaculture Environment Interactions* 1, 71–83. <https://doi.org/10.3354/aei00008>
- Johannessen, A., 1977. Early stages of *Lepeophtheirus salmonis* (Copepoda, Caligidae). *Sarsia* 63, 169–176. <https://doi.org/10.1080/00364827.1978.10411336>
- Karimanzira, D., Keesman, K., Kloas, W., Baganz, D., Rauschenbach, T., 2017. Efficient and economical way of operating a recirculation aquaculture system in an aquaponics farm. *Aquaculture Economics & Management* 21, 470–486. <https://doi.org/10.1080/13657305.2016.1259368>
- Karningsih, P.D., Kusumawardani, R., Syahroni, N., Mulyadi, Y., Saad, M.S.B.M., 2021. Automated fish feeding system for an offshore aquaculture unit. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 1072, 012073. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1072/1/012073>
- Khan, M., Masud, M., Akowuah, B., 2021a. Development of IoT Based Fish Monitoring System for Aquaculture. *Intelligent Automation & Soft Computing* 32. <https://doi.org/10.32604/iasc.2022.021559>
- Khan, M., Masud, M., Akowuah, B., 2021b. Development of IoT Based Fish Monitoring System for Aquaculture. *Intelligent Automation & Soft Computing* 32. <https://doi.org/10.32604/iasc.2022.021559>
- Kibenge, F.S.B., 2016. Chapter 1 - Introduction to Aquaculture and Fisheries, in: Kibenge, Frederick S. B., Godoy, M.G. (Eds.), *Aquaculture Virology*. Academic Press, San Diego, pp. 3–8. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801573-5.00001-2>
- Kolarevic, J., Aas-Hansen, Ø., Espmark, Å., Baeverfjord, G., Terjesen, B.F., Damsgård, B., 2016. The use of acoustic acceleration transmitter tags for monitoring of Atlantic salmon swimming activity in recirculating aquaculture systems (RAS). *Aquacultural Engineering* 72–73, 30–39. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2016.03.002>
- Kolehmainen, R.E., Kortelainen, N.M., Langwaldt, J.H., Puhakka, J.A., 2009. Biodegradation of Natural Organic Matter in Long-Term, Continuous-Flow Experiments Simulating Artificial Ground Water Recharge for Drinking Water Production. *Journal of Environmental Quality* 38, 44–52. <https://doi.org/10.2134/jeq2008.0054>
- Land-based Aquaculture in Recirculating Aquaculture Systems [WWW Document], 2018. . Living Oceans. URL <https://livingoceans.org/initiatives/salmon-farming/issues/land-based-aquaculture-recirculating-aquaculture-systems> (accessed 5.23.22).

- Lazado, C.C., Good, C., 2021. Survey findings of disinfection strategies at selected Norwegian and North American land-based RAS facilities: A comparative insight. *Aquaculture* 532, 736038. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.736038>
- Lee, P.G., 1995. A review of automated control systems for aquaculture and design criteria for their implementation. *Aquacultural Engineering* 14, 205–227. [https://doi.org/10.1016/0144-8609\(94\)00002-1](https://doi.org/10.1016/0144-8609(94)00002-1)
- Lepine, C., Christianson, L., Davidson, J., Summerfelt, S., 2018. Woodchip bioreactors as treatment for recirculating aquaculture systems' wastewater: A cost assessment of nitrogen removal. *Aquacultural Engineering* 83, 85–92. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2018.09.001>
- Lindholm-Lehto, P., Pulkkinen, J., Kiuru, T., Koskela, J., Vielma, J., 2020. Water quality in recirculating aquaculture system using woodchip denitrification and slow sand filtration. *Environmental Science and Pollution Research* 27, 17314–17328. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08196-3>
- Lindroos, A.-J., Kitunen, V., Derome, J., Helmisaari, H.-S., 2002. Changes in dissolved organic carbon during artificial recharge of groundwater in a forested esker in Southern Finland. *Water Research* 36, 4951–4958. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(02\)00226-9](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(02)00226-9)
- Lindroos, A.-J., Lindholm-Lehto, P., Pulkkinen, J., Kiuru, T., Vielma, J., 2020. The Effect of Filtration with Natural Esker Sand on the Removal of Organic Carbon and Suspended Solids from the Effluent of Experimental Recirculating Aquaculture Systems. *Water Air Soil Pollut* 231, 209. <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04589-9>
- Little, D.C., Newton, R.W., Beveridge, M.C.M., 2016. Aquaculture: a rapidly growing and significant source of sustainable food? Status, transitions and potential. *Proceedings of the Nutrition Society* 75, 274–286. <https://doi.org/10.1017/S0029665116000665>
- Liu, W., Du, X., Tan, H., Xie, J., Luo, G., Sun, D., 2021. Performance of a recirculating aquaculture system using biofloc biofilters with convertible water-treatment efficiencies. *Science of The Total Environment* 754, 141918. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141918>
- Liu, W., Ke, H., Xie, J., Tan, H., Luo, G., Xu, B., Abakari, G., 2020. Characterizing the water quality and microbial communities in different zones of a recirculating aquaculture system using biofloc biofilters. *Aquaculture* 529, 735624. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735624>
- Liu, W., Luo, G., Tan, H., Sun, D., 2016. Effects of sludge retention time on water quality and bioflocs yield, nutritional composition, apparent digestibility coefficients treating recirculating aquaculture system effluent in sequencing batch reactor. *Aquacultural Engineering* 72–73, 58–64. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2016.04.002>
- Liu, Y., Bjelland, H. vanhauwaer, 2014. Estimating costs of sea lice control strategy in Norway. *Preventive Veterinary Medicine* 117, 469–477. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2014.08.018>
- Ly, N., n.d. Figure 7: Floating cages Wooden fixed cage: The framework is made of... [WWW Document]. ResearchGate. URL https://www.researchgate.net/figure/Floating-cages-Wooden-fixed-cage-The-framework-is-made-of-salt-resistant-wood-Wooden_fig5_33418501 (accessed 5.23.22).
- Malone, R., 2013. Recirculating Aquaculture Tank Production Systems 12.

- Manual on polyculture and integrated fish farming in Bangladesh [WWW Document], n.d. URL <https://www.fao.org/3/ac375e/AC375E03.htm> (accessed 5.23.22).
- Martins, C.I.M., Eding, E.H., Verdegem, M.C.J., Heinsbroek, L.T.N., Schneider, O., Blancheton, J.P., d'Orbcastel, E.R., Verreth, J.A.J., 2010. New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. *Aquacultural Engineering* 43, 83–93. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2010.09.002>
- McKibben, M.A., Hay, D.W., 2004. Distributions of planktonic sea lice larvae *Lepeophtheirus salmonis* in the inter-tidal zone in Loch Torridon, Western Scotland in relation to salmon farm production cycles. *Aquaculture Research* 35, 742–750. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2004.01096.x>
- Mohanty, B., 2015. NUTRITIONAL VALUE OF FOOD FISH. pp. 15–21.
- Moreno-Andrés, J., Rueda-Márquez, J.J., Homola, T., Vielma, J., Moríñigo, M.Á., Mikola, A., Sillanpää, M., Acevedo-Merino, A., Nebot, E., Levchuk, I., 2020. A comparison of photolytic, photochemical and photocatalytic processes for disinfection of recirculation aquaculture systems (RAS) streams. *Water Research* 181, 115928. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115928>
- Murray, F., Bostock, J., Fletcher, D., 2014. Review of recirculation aquaculture system technologies and their commercial application.
- Nam, H., An, S., Kim, C.-H., Park, S.-H., Kim, Y.-W., Lim, S.-H., 2014. Remote monitoring system based on ocean sensor networks for offshore aquaculture, in: 2014 Oceans - St. John's. Presented at the 2014 Oceans - St. John's, pp. 1–7. <https://doi.org/10.1109/OCEANS.2014.7003046>
- Nash, C., 2010. *The History of Aquaculture*. John Wiley & Sons.
- Nations, F. and A.O. of the U., 2007. *Cage Aquaculture: Regional Reviews and Global Overview*. Food & Agriculture Org.
- Oppedal, F., Folkedal, O., Stien, L.H., Vågseth, T., Fosse, J.O., Dempster, T., Warren-Myers, F., 2020. Atlantic salmon cope in submerged cages when given access to an air dome that enables fish to maintain neutral buoyancy. *Aquaculture* 525, 735286. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735286>
- Paisley, L., Ariel, E., Lyngstad, T., Jónsson, G., Vennerström, P., Hellström, A., Østergaard, P., 2010. An Overview of Aquaculture in the Nordic Countries. *Journal of the World Aquaculture Society* 41.
- Pulkkinen, J.T., Ronkanen, A.-K., Pasanen, A., Kiani, S., Kiuru, T., Koskela, J., Lindholm-Lehto, P., Lindroos, A.-J., Muniruzzaman, M., Solismaa, L., Klöve, B., Vielma, J., 2021. Start-up of a “zero-discharge” recirculating aquaculture system using woodchip denitrification, constructed wetland, and sand infiltration. *Aquacultural Engineering* 93, 102161. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2021.102161>
- Qi, W., Zhu, S., Shitu, A., Ye, Z., Liu, D., 2020. Low concentration peroxymonosulfate and UVA-LED combination for *E. coli* inactivation and wastewater disinfection from recirculating aquaculture systems. *Journal of Water Process Engineering* 36, 101362. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101362>

- Ray, A.J., Seaborn, G., Leffler, J.W., Wilde, S.B., Lawson, A., Browdy, C.L., 2010. Characterization of microbial communities in minimal-exchange, intensive aquaculture systems and the effects of suspended solids management. *Aquaculture* 310, 130–138. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.10.019>
- Recirculating aquaculture system or RAS [WWW Document], n.d. . Aquaculture ID. URL <https://www.aquacultureid.com/recirculating-aquaculture-system/> (accessed 5.23.22).
- Reverter, M., Tapissier-Bontemps, N., Sarter, S., Sasal, P., Caruso, D., 2021. Moving towards more sustainable aquaculture practices: a meta-analysis on the potential of plant-enriched diets to improve fish growth, immunity and disease resistance. *Reviews in Aquaculture* 13, 537–555. <https://doi.org/10.1111/raq.12485>
- Ritchie, H., Roser, M., 2021. Biodiversity. Our World in Data.
- Scott D.C.B., Muir J.F., 2000. Offshore cage systems: A practical overview, in: Basurco B., Muir J. (Eds.), *Mediterranean Offshore Mariculture, Options Méditerranéennes : Série B. Etudes et Recherches*. Zaragoza : CIHEAM, pp. 79–89.
- Sharrer, M., Rishel, K., Taylor, A., Vinci, B.J., Summerfelt, S.T., 2010. The cost and effectiveness of solids thickening technologies for treating backwash and recovering nutrients from intensive aquaculture systems. *Bioresource Technology* 101, 6630–6641. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.03.101>
- Shen, Y., Ma, K., Yue, G.H., 2021. Status, challenges and trends of aquaculture in Singapore. *Aquaculture* 533, 736210. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.736210>
- Sievers, M., Korsøen, Ø., Warren-Myers, F., Oppedal, F., Macaulay, G., Folkedal, O., Dempster, T., 2022. Submerged cage aquaculture of marine fish: A review of the biological challenges and opportunities. *Reviews in Aquaculture* 14, 106–119. <https://doi.org/10.1111/raq.12587>
- Skjøien, K.R., Alver, M.O., Alfredsen, J.A., 2014. A computer vision approach for detection and quantification of feed particles in marine fish farms, in: 2014 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). Presented at the 2014 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), pp. 1648–1652. <https://doi.org/10.1109/ICIP.2014.7025330>
- Stentiford, G.D., Neil, D.M., Peeler, E.J., Shields, J.D., Small, H.J., Flegel, T.W., Vlak, J.M., Jones, B., Morado, F., Moss, S., Lotz, J., Bartholomay, L., Behringer, D.C., Hauton, C., Lightner, D.V., 2012. Disease will limit future food supply from the global crustacean fishery and aquaculture sectors. *Journal of Invertebrate Pathology, Diseases in Aquatic Crustaceans: Problems and Solutions for Global Food Security* 110, 141–157. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2012.03.013>
- Stentiford, G.D., Sritunyalucksana, K., Flegel, T.W., Williams, B.A.P., Withyachumnarnkul, B., Itsathitphaisarn, O., Bass, D., 2017. New Paradigms to Help Solve the Global Aquaculture Disease Crisis. *PLOS Pathogens* 13, e1006160. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1006160>
- Sturrock, H., Newton, R., Paffrath, S., Bostock, J., Muir, J., Young, J., Immink, A., Dickson, M., 2008. Prospective Analysis of the Aquaculture Sector in the EU. PART 2: Characterisation of Emerging Aquaculture Systems.
- Submersible Aquaculture Systems [WWW Document], n.d.. Innovasea. URL <https://www.innovasea.com/open-ocean-aquaculture/submersible-aquaculture-systems/> (accessed 5.23.22).

- Submersible Tension Leg Fish Cage for Mariculture in Unsheltered and Offshore Areas | SubCage Project | Fact Sheet | H2020 [WWW Document], n.d. . CORDIS | European Commission. URL <https://cordis.europa.eu/project/id/712119/de> (accessed 5.23.22).
- Suhr, K.I., Pedersen, P.B., 2010. Nitrification in moving bed and fixed bed biofilters treating effluent water from a large commercial outdoor rainbow trout RAS. *Aquacultural Engineering* 42, 31–37. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2009.10.001>
- Swann, L., 1992. History • Water Quality Types of Aquaculture • Production Methods 11.
- Syse, H.L., 2016. Investigating Off-Grid Energy Solutions for the Salmon Farming Industry 115.
- The State of World Fisheries and Aquaculture 2020 [WWW Document], n.d. . www.fao.org. <https://doi.org/10.4060/CA9229EN>
- Tidwell, J.H., 2012. *Aquaculture Production Systems*. John Wiley & Sons.
- Timmons, M.B., Ebeling, J.M., 2013. *Recirculating Aquaculture*, 3rd ed. Ithaca Publishing Company LLC.
- Timmons, M.B., Summerfelt, S.T., Vinci, B.J., 1998. Review of circular tank technology and management. *Aquacultural Engineering* 18, 51–69. [https://doi.org/10.1016/S0144-8609\(98\)00023-5](https://doi.org/10.1016/S0144-8609(98)00023-5)
- Tveterås, S., 2002. Norwegian Salmon Aquaculture and Sustainability: The Relationship Between Environmental Quality and Industry Growth. *Marine Resource Economics* 17, 121–132. <https://doi.org/10.1086/mre.17.2.42629356>
- Types of closed production units - Aquaculture Engineering [WWW Document], n.d. . BrainKart. URL https://www.brainkart.com/article/Types-of-closed-production-units---Aquaculture-Engineering_15087/ (accessed 5.23.22).
- Valenti, W.C., Barros, H.P., Moraes-Valenti, P., Bueno, G.W., Cavalli, R.O., 2021. Aquaculture in Brazil: past, present and future. *Aquaculture Reports* 19, 100611. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100611>
- Voultsiadou, E., Ampatzopoulos, T., Antonopoulou, E., Gkanias, K., Gkelis, S., Staikou, A., Triantafyllidis, A., Βουλτσιάδου, Ε., Αμπατζόπουλος, Θ., Αντωνοπούλου, Ε., Γκάνιας, Κ., Γκέλης, Σ., Στάικου, Α., Τριανταφυλλίδης, Α., 2016. AQUACULTURE.
- Wallat, G.K., Luzuriaga, D.A., Balaban, M.O., Chapman, F.A., 2002. Analysis of Skin Color Development in Live Goldfish Using a Color Machine Vision System. *North American Journal of Aquaculture* 64, 79–84. [https://doi.org/10.1577/1548-8454\(2002\)064<0079:AOSCDI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8454(2002)064<0079:AOSCDI>2.0.CO;2)
- Wang, Q., Cheng, L., Liu, J., Li, Z., Xie, S., De Silva, S.S., 2015. Freshwater aquaculture in PR China: trends and prospects. *Reviews in Aquaculture* 7, 283–302. <https://doi.org/10.1111/raq.12086>
- Wang, Y., Qi, C., Pan, H., 2012. Design of Remote Monitoring System for Aquaculture Cages Based on 3G Networks and ARM-Android Embedded System. *Procedia Engineering*, 2012 International Workshop on Information and Electronics Engineering 29, 79–83. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.12.672>
- Ward, D., Føre, M., Howell, W.H., Watson, W., 2012. The Influence of Stocking Density on the Swimming Behavior of Adult Atlantic Cod, *Gadus morhua*, in a Near Shore Net Pen. *Journal of*

- the World Aquaculture Society 43, 621–634. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2012.00593.x>
- Wei, Y., Wei, Q., An, D., 2020. Intelligent monitoring and control technologies of open sea cage culture: A review. *Computers and Electronics in Agriculture* 169, 105119. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105119>
- Welch, A.W., Knapp, A.N., El Tourky, S., Daughtery, Z., Hitchcock, G., Benetti, D., 2019. The nutrient footprint of a submerged-cage offshore aquaculture facility located in the tropical Caribbean. *Journal of the World Aquaculture Society* 50, 299–316. <https://doi.org/10.1111/jwas.12593>
- Wik, T.E.I., Lindén, B.T., Wramner, P.I., 2009. Integrated dynamic aquaculture and wastewater treatment modelling for recirculating aquaculture systems. *Aquaculture* 287, 361–370. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.10.056>
- Xu, Z., Qin, H., 2020. Fluid-structure interactions of cage based aquaculture: From structures to organisms. *Ocean Engineering* 217, 107961. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107961>
- Yang, J.H., Bhargava, P., McCloskey, D., Mao, N., Palsson, B.O., Collins, J.J., 2017. Antibiotic-Induced Changes to the Host Metabolic Environment Inhibit Drug Efficacy and Alter Immune Function. *Cell Host & Microbe* 22, 757-765.e3. <https://doi.org/10.1016/j.chom.2017.10.020>
- Yogev, U., Gross, A., 2019. Reducing environmental impact of recirculating aquaculture systems by introducing a novel microaerophilic assimilation reactor: Modeling and proof of concept. *Journal of Cleaner Production* 226, 1042–1050. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.003>
- Yue, K., Shen, Y., 2022. An overview of disruptive technologies for aquaculture. *Aquaculture and Fisheries, SI: Emerging and disruptive technologies for aquaculture* 7, 111–120. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2021.04.009>
- 有常佐伯, 1958. 循環水槽によるウナギの飼育. *水産増殖* 6, 36–42. <https://doi.org/10.11233/aquaculturesci1953.6.36>

6. Abstract

Fish have been an important part of people's diet around the globe for thousands of years. A complex of social and environmental factors has driven people to try and "farm" fish, just like they did with different land animals. In the last century the aquaculture process became more intense and productive, thanks to the technological advancements of the era. Combined with the pressure fishing had applied to fish stocks, the aquaculture industry found an even bigger role in the fish market. But, as demand for fish gets greater, and questions are raised about the environmental impact of aquaculture practices, the current means of production are under doubt. For this reason, there has been a search for new technologies, that will have the ability to produce a greater amount of fish, more efficient and with less environmental impact. The best two solutions for these problems appear to be the land-based Recirculating Aquaculture Systems (RAS), systems that use a lot less water and provide controlled aquaculture conditions, with the other solution being the placement of submerged aquaculture cages in the open sea. These aquaculture techniques, with the addition of helping technologies that can be applied, can steer the industry to more precise production methods and to an optimal management of the needed resources.

Keywords: Submerged cages, Recirculating Aquaculture Systems, New technologies