

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΗ ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Έξυπνα συστήματα για τη βελτίωση της διαχείρισης και της
ευζωίας των ψαριών σε συνθήκες εκτροφής σε κλωβούς»**

Βασίλειος Χριστοδούλου

ΒΟΛΟΣ 2024

**«Έξυπνα συστήματα για τη βελτίωση της διαχείρισης και της ευζωίας
των ψαριών σε συνθήκες εκτροφής σε κλωβούς»**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

- 1) Παναγιώτα Παναγιωτάκη, Καθηγήτρια, Υδατοκαλλιέργειες, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Επιβλέπουσα.**
- 2) Ελένη Γκολομάζου, Αν. Καθηγήτρια, Προστασία-Ευζωία Ιχθύων, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Μέλος**
- 3) Εμμανουήλ Μαλανδράκης, Επ. Καθηγητής, Εκτροφή Υδρόβιων Οργανισμών, Τμήμα Επιστήμης Ζωικής Παραγωγής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Μέλος**

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα Π. Παναγιωτάκη, Καθηγήτρια του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντάς μου το θέμα της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας. Η βοήθεια, η καθοδήγησή της καθώς και οι πολύτιμες συμβουλές και παρατηρήσεις της συνέβαλλαν ουσιαστικά στην ολοκλήρωση της διατριβής και του μεταπτυχιακού προγράμματος «Μεσογειακή Υδατοκαλλιέργεια».

Επιπρόσθετα, οφείλω να ευχαριστήσω θερμά την Αν. Καθηγήτρια κ. Ε. Γκολομάζου και τον κ. Ε. Μαλανδράκη, Επ. Καθηγητή ΓΠΑ για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφεραν σε επιστημονικό αλλά και σε συγγραφικό επίπεδο. Η συνεργασία μας ήταν αρμονική και η συμβολή τους ήταν καθοριστική σε όλα τα στάδια της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την υλική και ηθική συμπαράσταση που μου παρείχαν όλους αυτούς τους μήνες.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Με την τρέχουσα πληθυσμιακή αύξηση, η τεχνολογική ανάπτυξη έχει καταστεί ζωτικής σημασίας στον κλάδο της υδατοκαλλιέργειας για την προστασία των αποθεμάτων άγριων ψαριών, έλεγχο των τιμών των ψαριών και αύξηση της παραγωγικότητας. Καθώς, η αύξηση του πληθυσμού αυξάνει τις τιμές των ψαριών λόγω της αύξησης της ζήτησης και της έλλειψης θαλασσινών, ασκείται αυξανόμενη πίεση στα αποθέματα άγριων ψαριών. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας θα μπορούσε να μετριάσει την εξάντληση των αποθεμάτων των ψαριών, να βελτιώσει την κοινωνική συνοχή και να υποστηρίξει οικονομικά ευπαθείς ομάδες. Μελλοντικά αναμένεται με τη συνεχή προσαρμογή της τεχνολογίας των πληροφοριών σημαντική αύξηση του ρυθμού ανάπτυξης της βιομηχανίας των υδατοκαλλιεργειών και η μείωση του κόστους παραγωγής.

Από την ανασκόπηση της πρόσφατης βιβλιογραφίας, οι τρέχουσες εφαρμογές μπορούν να χωριστούν σε έξι κατηγορίες: αναγνώριση ζωντανών ψαριών, ταξινόμηση ειδών, ανάλυση συμπεριφοράς, αποφάσεις σίτισης, εκτίμηση μεγέθους ή βιομάζας και εκτίμηση ποιότητας νερού. Οι τεχνικές λεπτομέρειες των αναφερόμενων μεθόδων αναλύθηκαν διεξοδικά σύμφωνα με τα βασικά στοιχεία της τεχνητής νοημοσύνης (Artificial Intelligence, AI): δεδομένα και αλγόριθμοι. Συγκρίσεις απόδοσης με παραδοσιακές μεθόδους με βάση τα χαρακτηριστικά που εξάγονται με μη αυτόματο τρόπο υποδεικνύουν ότι η μεγαλύτερη συνεισφορά του ψηφιακής εκμάθησης (Digital Learning, DL) είναι η ικανότητά του να κάνει αυτόματα εξαγωγή χαρακτηριστικών. Επιπλέον, το DL παράγει αποτελέσματα επεξεργασίας υψηλής ακρίβειας. Ωστόσο, προς το παρόν, η τεχνολογία DL βρίσκεται ακόμα σε αδύναμο στάδιο τεχνητής νοημοσύνης και απαιτεί μεγάλο όγκο δεδομένων για εκπαίδευση. Αυτή η απαίτηση έχει γίνει εμπόδιο που περιορίζει περαιτέρω τις εφαρμογές της DL στην έξυπνη ιχθυοκαλλιέργεια.

Το DL εξακολουθεί να προσφέρει καινοτομίες για την επεξεργασία κειμένου, εικόνων, βίντεο, ήχου και άλλων δεδομένων και όλα αυτά μπορούν να παρέχουν ισχυρή υποστήριξη για την εφαρμογή της έξυπνης ιχθυοκαλλιέργειας. Στο μέλλον, αναμένεται επίσης να επεκταθεί σε νέους τομείς εφαρμογής, όπως π.χ. η διάγνωση ασθενειών των ψαριών.

Σύμφωνα με τον FAO, το επίπεδο της παρακολούθησης εξαρτάται από το μορφωτικό επίπεδο και τις δεξιότητες των εργαζομένων, το ενδιαφέρον για σωστή διαχείριση και κέρδος, το μέγεθος και την οργάνωση της υδατοκαλλιέργειας και την χορήγηση «εξωτερικής υποστήριξης» όταν απαιτείται. Οι «ευφυείς» εκμεταλλεύσεις υδατοκαλλιέργειας θα πρέπει να είναι σε θέση να πραγματοποιούν λεπτομερή έλεγχο σε διάφορα σημεία τους ώστε να διασφαλίζεται η ευζωία των εκτρεφόμενων οργανισμών, όπως πχ «ευφυής» χορήγηση τροφής, έλεγχος ποιότητας νερού, ανάλυση συμπεριφοράς, εκτίμηση βιομάζας, διάγνωση ασθενειών, κατάσταση λειτουργίας του εξοπλισμού και προειδοποίηση σφαλμάτων. Σκοπός της παρούσας διατριβής είναι να συγκεντρωθούν δεδομένα από τον χώρο υδατοκαλλιέργειας για την παρακολούθηση και τη χρήση τεχνολογιών, όπως π.χ. αισθητήρες και μη επανδρωμένα συστήματα ώστε να επιτευχθεί η ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης για το «ευφυές ιχθυοτροφείο».

Λέξης κλειδιά: υδατοκαλλιέργειες, AI, «ευφυείς» εκμεταλλεύσεις, ευζωία

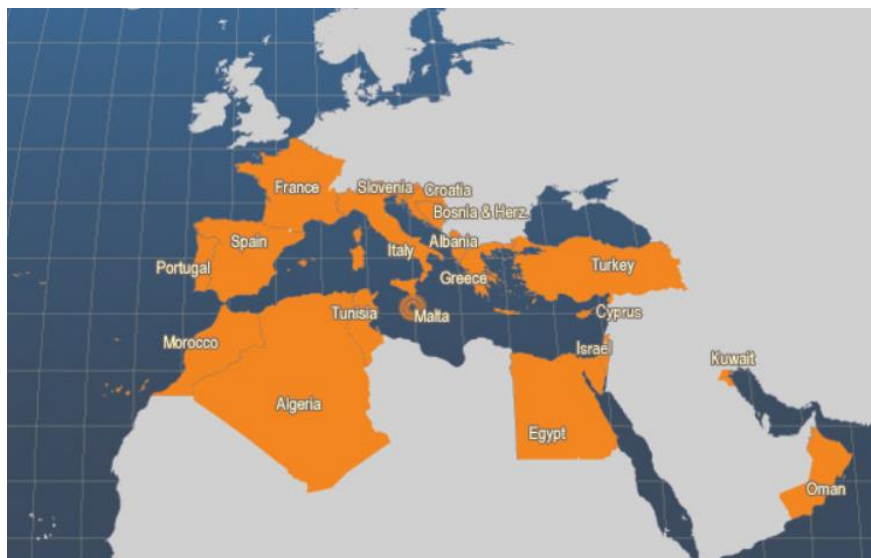
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή	8
Έξυπνη Ιχθυοκαλλιέργεια	12
Εφαρμογές Έξυπνης Ιχθυοκαλλιέργειας	20
Σίτιση	24
Χορήγηση Τροφής Χειρωνακτικά	24
Χορήγηση Τροφής	27
Έλεγχος της Ποιότητας Νερού του Συστήματος Εκτροφής	30
Ανάλυση Συμπεριφοράς και Διάγνωση Ασθενειών	34
Εκτίμηση Μεγέθους- Βιομάζας Διαχείριση Αβγών	39
Έλεγχος Ασφαλείας Εξοπλισμού	43
Πλεονεκτήματα	
Μειονεκτήματα	45
Παραδείγματα Έξυπνων Μονάδων	48
Συζήτηση	55
Συμπεράσματα-Μελλοντικές Τεχνικές Τάσεις στην Έξυπνη Ιχθυοκαλλιέργεια	60
Βιβλιογραφία	62
Abstract	70

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μεσογειακή Υδατοκαλλιέργεια

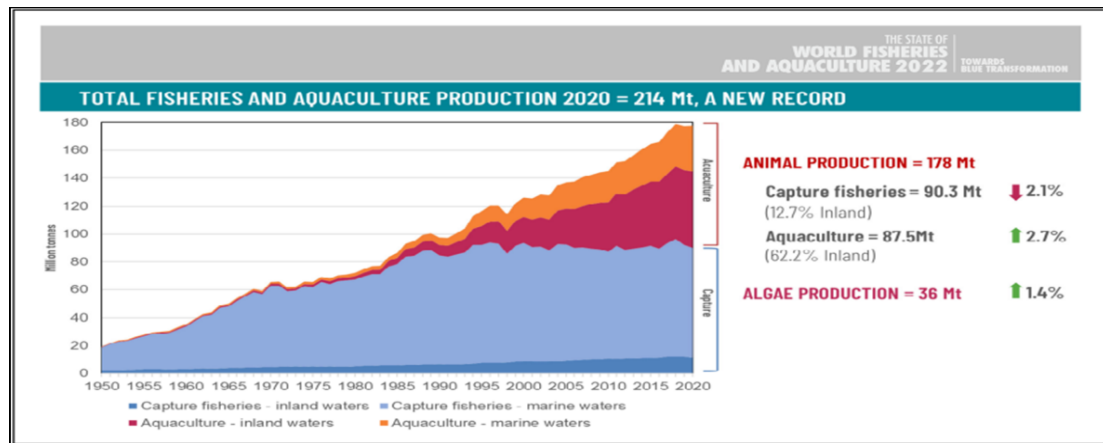
Η τσιπούρα και το λαβράκι είναι τα κατεξοχήν είδη για εκτροφή στη Μεσογειακή λεκάνη, λόγω του γρήγορου ρυθμού ανάπτυξης ως εμπορεύσιμα είδη, της ευκολίας εκτροφής, της ζήτησης τους στην αγορά και της υψηλής εμπορικής τιμής. Μπορούν να εκτραφούν με διάφορους τρόπους σε παράκτιες λίμνες και λιμνοθάλασσες με εντατικές ή ημιεντατικές μεθόδους, σε χερσαίες εγκαταστάσεις ή σε θαλάσσιους κλωβούς. Στις μεσογειακές χώρες, όπου είναι ευνοϊκές οι συνθήκες η καλλιέργεια γίνεται κυρίως σε κλωβούς. Στο Σχήμα 1 απεικονίζεται η γεωγραφική κατανομή της εκτρεφόμενης τσιπούρας και λαβρακιού.



Σχήμα 1. Κύριες χώρες παραγωγής τσιπούρας (FAO 2020)

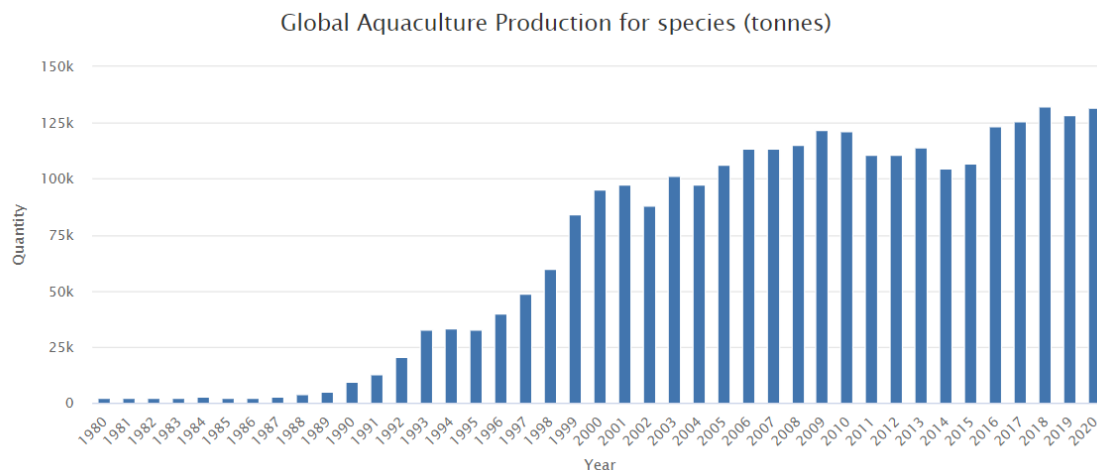
Υδατοκαλλιέργεια – Υφιστάμενη Κατάσταση

Τα τελευταία χρόνια παρουσιάζεται όλο και μεγαλύτερη αύξηση και ζήτηση στα προϊόντα υδατοκαλλιέργειας, με σκοπό να καλυφθούν οι παγκόσμιες διατροφικές ανάγκες (Σχήμα 2, 3 & Εικόνα 1). Σύμφωνα με τον FAO ένα νέο ρεκόρ των 157 εκατομμυρίων τόνων χρησιμοποιήθηκε για ανθρώπινη κατανάλωση, όπου τα προϊόντα υδατοκαλλιέργειας παρουσίασαν 2,7% αύξηση το 2020.



Σχήμα 2. Η συνολική παραγωγή αλιείας και υδατοκαλλιέργειας το 2020.

Η υδατοκαλλιέργεια σύμφωνα με τα τελευταία στοιχεία, παρέχει ήδη περισσότερα αλιευτικά προϊόντα (57%) στην ανθρωπότητα από ότι η ελεύθερη αλιεία (FAO, 2020).



Σχήμα 3. Παγκόσμια παραγωγή υδατοκαλλιέργειας (FAO, 2020)

Η Ελλάδα βρίσκεται στις δύο πρώτες χώρες παραγωγής ψαριών μεσογειακής υδατοκαλλιέργειας ως προς την αξία και τον όγκο παραγωγής υδατοκαλλιέργειας στην Ε.Ε. αντιπροσωπεύοντας το 25% της παραγωγής τους διεθνώς.



Εικόνα 1. Προσφορά και παραγωγή αλιευτικών προϊόντων στην Ελλάδα (ΗΑΡΟ, 2023)

Προβλήματα αυξημένης παραγωγής

Στον τομέα των Υδατοκαλλιεργειών υπήρχαν ανέκαθεν προβληματισμοί για την επίτευξη της μέγιστης παραγωγής με την καλύτερη ποιότητα και με το χαμηλότερο κόστος, καθώς επίσης παράγοντες που επηρεάζουν την βέλτιστη διαχείριση των εκτρεφόμενων οργανισμών για την ευζωία τους (FAWC, 1996) και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Σύμφωνα με τις «πέντε ελευθερίες» τα ψάρια θα πρέπει να είναι ελεύθερα από το αίσθημα της πείνας. Η σίτιση είναι σίγουρα ένας βασικός παράγοντας που επηρεάζει την κατάσταση ενός ζώου σε αιχμαλωσία, επειδή η τροφή πρέπει να είναι διαθέσιμη σε επαρκείς ποσότητες και με κατάλληλη σύνθεση για τη διατήρηση της υγείας και της φυσιολογικής συμπεριφοράς. Η πίεση στη βιομηχανία υδατοκαλλιέργειας να υιοθετήσει ολοκληρωμένα μέτρα βιωσιμότητας κατά τη διάρκεια της τελευταίας 20ετίας, βελτίωσε την τεχνολογία και τη διαχείριση σε πολλές

περιπτώσεις (Naylor *et al.*, 2021). Η συνεχής όμως επέκταση της υδατοκαλλιέργειας είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους των ζωοτροφών (Føre *et al.*, 2018).

Γνωρίζοντας ότι η τροφή καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος του κόστους παραγωγής των εκτρεφόμενων ειδών στην υδατοκαλλιέργεια, το οποίο μπορεί να κυμανθεί από 30 έως 70% του συνολικού κόστους εκτροφής έχουν γίνει μεγάλες προσπάθειες για την αντικατάσταση των ιχθυαλεύρων ή μέρους αυτών στις ιχθυοτροφές, καθώς τα ιχθυαποθέματα μειώνονται συνεχώς με αποτέλεσμα την αύξηση τιμής της πρώτης ύλης. Το υψηλό κόστος που σχετίζεται με τις διαδικασίες σίτισης και τη βελτιστοποίηση της αποδοτικότητας των ζωοτροφών και της υγείας των ψαριών είναι βασικές πτυχές για την οικονομική και περιβαλλοντική βιωσιμότητα των τον κύκλο παραγωγής.

Η μείωση της απόδοσης τροφής αποτελεί μέγιστο στόχο στον τομέα της Υδατοκαλλιέργειας και αυτό δεν εξαρτάται μόνο από την ποιότητα και τη σύσταση της τροφής αλλά και από τη μέθοδο τροφοληψίας. Θα πρέπει λοιπόν να υιοθετηθούν πρακτικές σίτισης που να ελαχιστοποιούν τη σπατάλη ζωοτροφών, διότι εκτός των άλλων, η σπατάλη ζωοτροφών μπορεί να έχει πολύ σημαντικό αντίκτυπο στην παραγωγή απορριμμάτων στο περιβάλλον από την εκτροφή ψαριών (Cho *et al.*, 2001). Στην υδατοκαλλιέργεια υπάρχουν παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν άμεσα ή έμμεσα την ανάπτυξη και την ευημερία των εκτρεφόμενων ψαριών όπως η θερμοκρασία, η θολερότητα, οι υψηλές ιχθυοφορτίσεις και το διαλυμένο οξυγόνο (Sun *et al.*, 2016) και μπορεί να οδηγήσουν τα ψάρια σε μειωμένη τροφοληψία και που σχετίζεται και με τον τρόπο χορήγησης της τροφής σε κατάσταση στρες, κάτι που αποτελεί τη βασική αιτία εμφάνισης πολλών παθολογικών προβλημάτων. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να δημιουργηθεί υποβάθμιση στην ποιότητα του τελικού προϊόντος ενώ παράλληλα μπορεί να επηρεαστεί η συμπεριφορά των ψαριών και να παρουσιάσουν εντονότερη

επιθετική συμπεριφορά σε περιόδους περιορισμένης τροφοληψίας (Papadakis *et al.*, 2012).

Όλοι οι προαναφερθέντες παράγοντες λαμβάνονται υπόψη από τους ερευνητές και παραγωγούς, καθώς οι νέες τάσεις στην ιχθυοκαλλιέργεια επικεντρώνονται σε στρατηγικές σίτισης και ανάπτυξης έξυπνων συστημάτων παρακολούθησης και σίτισης των ψαριών για την μεγιστοποίηση κέρδους και παραγωγής ενός ποιοτικού προϊόντος κάτω από τις καλύτερες συνθήκες ευζωίας.

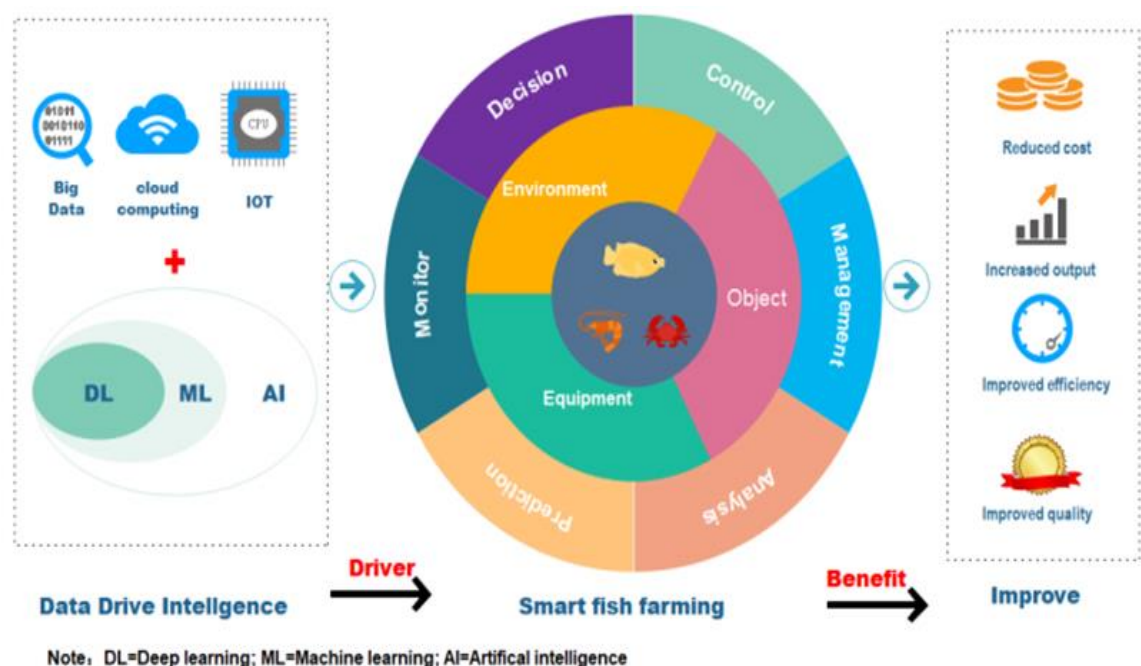
Η παρούσα εργασία θα επικεντρωθεί στη χρήση του Α.Ι. στην ιχθυοκαλλιέργεια, στις προοπτικές που υπάρχουν καθώς και στα προβλήματα που προκύπτουν.

ΕΞΥΠΝΗ ΙΧΘΥΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ

Η έξυπνη ιχθυοκαλλιέργεια αναφέρεται σε ένα νέο επιστημονικό πεδίο, στόχος του οποίου είναι η βελτιστοποίηση της αποτελεσματικής χρήσης των πόρων και η προώθηση της αειφόρας ανάπτυξης στην υδατοκαλλιέργεια μέσω της βαθιάς ενσωμάτωσης μεγάλων δεδομένων (Internet of Things (IoT), Big Data, cloud computing), τεχνητή νοημοσύνη (AI) και άλλων σύγχρονων τεχνολογιών στον κλάδο της πληροφορικής (Εικόνα 2). Επιπλέον, η συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, η ποσοτική λήψη αποφάσεων, ο έξυπνος έλεγχος, η ακριβής επένδυση και εξατομικευμένη εξυπηρέτηση που έχουν επιτευχθεί οδηγούν τελικά σε ένα νέο τρόπος παραγωγής (Yang *et al.*, 2020). Έχει επεκταθεί πολύ στον κλάδο της κλασσικής υδατοκαλλιέργειας και την έχει εξελίξει σε μια αποτελεσματική, αυτοματοποιημένη και με ακριβή τρόπο μονάδα παραγωγής τα τελευταία χρόνια. Αν και οι εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης στην υδατοκαλλιέργεια προχωρούν γρήγορα, υπάρχουν ακόμη πολλές προκλήσεις για την πλήρη λειτουργία αυτοματοποιημένων συστημάτων. Λόγω της φύσης των πρακτικών και των προϊόντων της και της έλλειψης ανθρώπινου

δυναμικού (για τη διαχείριση υψηλού κινδύνου) η αυτοματοποίηση είναι περιορισμένη και εξακολουθεί να υπάρχει ανάγκη για παρατήρηση, ανάλυσης πληροφοριών και λήψη αποφάσεων κατά τη διαδικασία ιχθυοκαλλιέργειας. Οι εφαρμογές της μηχανικής μάθησης και των υπολογιστών στην υδατοκαλλιέργεια ήταν καθοριστικές συμβάλλοντας στην ανάπτυξη του κλάδου της υδατοκαλλιέργειας με αυτόματη τάση, και βελτίωση της παραγωγικότητας της γεωργίας.

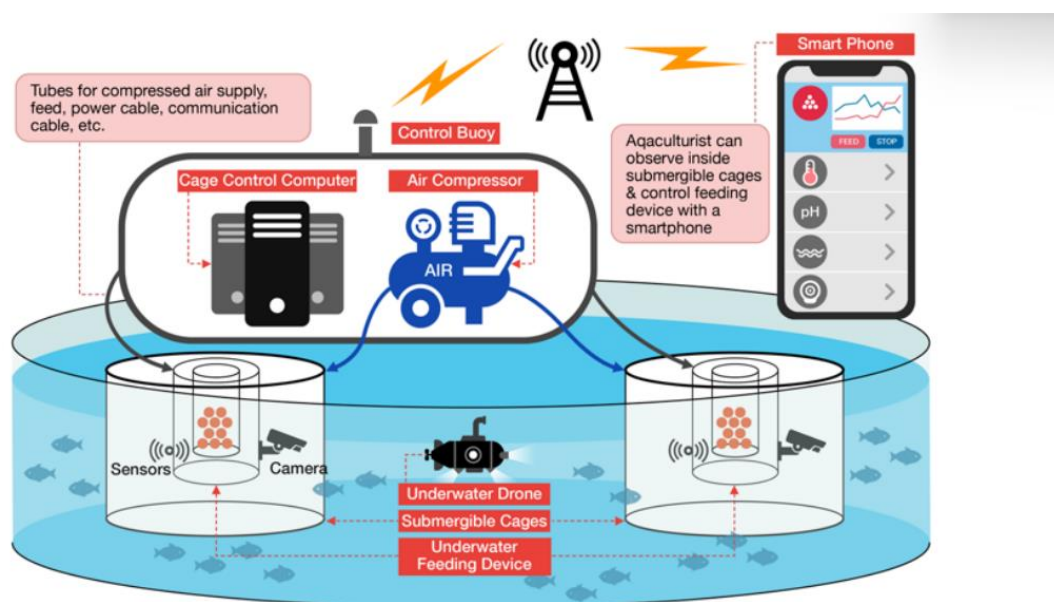
Υπάρχουν συνήθως τέσσερα περιβάλλοντα έξυπνων ιχθυοκαλλιεργειών προσαρμοσμένα στους παράγοντες της υδατοκαλλιέργειας και της αλιείας παγκοσμίως: (1) Έξυπνο ιχθυοτροφείο τύπου κλωβού, (2) έξυπνη θαλάσσια έκταση, (3) έξυπνος ιχθυογεννητικός σταθμός εργοστασιακού τύπου σε ξηρά καθώς και (4) έξυπνο ιχθυοτροφείο σε λιμνοθάλασσα (Wang *et al.*, 2021).



Εικόνα 2 : Ο ρόλος της DL και των Big Data στην έξυπνη ιχθυοκαλλιέργεια. Πηγή: (Wang *et al.*, 2021).

Ορισμοί

Ο όρος IoT (Internet of Things) αναφέρεται σε ένα δίκτυο συνδεδεμένων συσκευών, το οποίο εξυπηρετεί την επικοινωνία μεταξύ των συσκευών αυτών και των υπηρεσιών Cloud. Παγκοσμίως, υπάρχουν δισεκατομμύρια συσκευές που συνδέονται στο διαδίκτυο και πολλές από αυτές επικοινωνούν μεταξύ τους και ανταλλάσσουν δεδομένα. Επομένως, το Internet of Things (IoT) ενσωματώνει καθημερινά “πράγματα” στο διαδίκτυο. Υπάρχουν τέσσερα κύρια επίπεδα ενός Συστήματος Υδατοκαλλιέργειας IoT (Εικόνα 3): (1) Φυσικό Επίπεδο, (2) Επίπεδο παρακολούθησης, (3) Εικονικό επίπεδο και (4) Πρωτόκολλο σύνδεσης. Η έξυπνη υδατοκαλλιέργεια έχει γίνει η αναπόφευκτη τάση για τη μείωση του αριθμού απασχολούμενων και για να αυξηθεί η λειτουργική αποδοτικότητα και η παραγωγικότητα. Στο μέλλον τα συστήματα που βασίζονται στο IoT θα μπορούν επίσης να στοχεύουν στον εντοπισμό ασθενειών των ψαριών και στην πρόληψη της απώλειας παραγωγής.



Εικόνα 3 : Εννοιολογικό διάγραμμα έξυπνου συστήματος υδατοκαλλιέργειας: (Πηγή : Vo *et al.*, 2021).

Artificial Intelligence (AI), Machine Learning (ML), Data Mining (DM), Data Learning (DL)

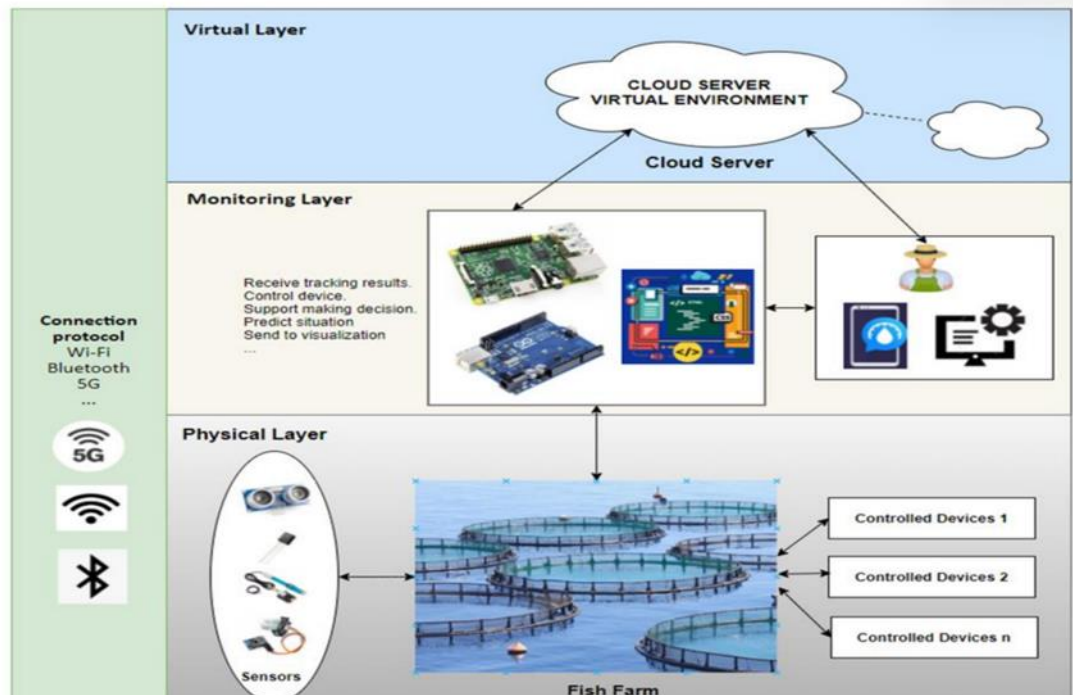
Η τεχνητή νοημοσύνη είναι έννοια ευρύτερη από το ML (Machine Learning-μηχανική μάθηση) που αφορά τη χρήση των υπολογιστών για τη μίμηση των γνωστικών λειτουργιών των ανθρώπων. Όταν οι μηχανές εκτελούν εργασίες βασισμένες σε αλγόριθμους με έναν έξυπνο τρόπο, τότε αναφερόμαστε στην τεχνητή νοημοσύνη AI (Artificial Intelligence).

Το ML είναι ένα υποσύνολο του AI και εστιάζει στην ικανότητα των μηχανών να λαμβάνουν ένα σύνολο δεδομένων και μαθαίνουν από αυτό, βελτιώνοντας τους αλγόριθμους καθώς μαθαίνουν περισσότερα από τις πληροφορίες που υποβάλλονται σε επεξεργασία. Το ML ενσωματώνει τις αρχές του DM (Data Mining-εξόρυξη δεδομένων).

Το DM και το ML έχουν την ίδια βάση αλλά με διαφορετικούς τρόπους (Εικόνα 4):

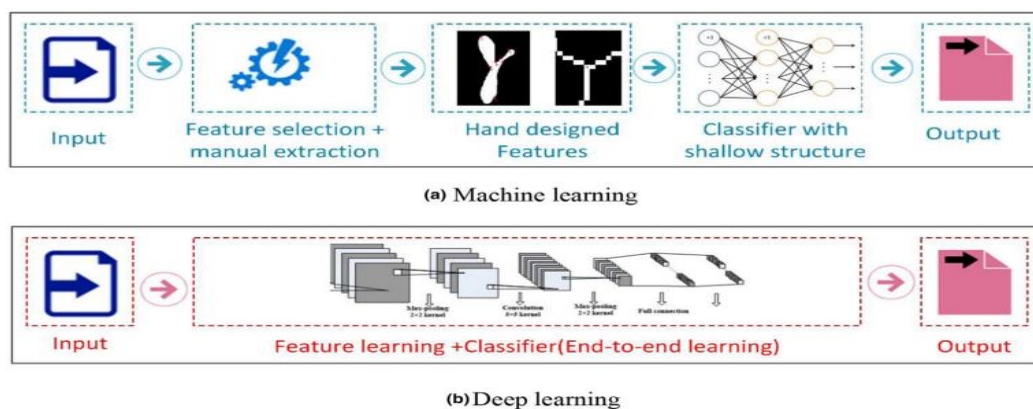
- Το DM απαιτεί ανθρώπινη αλληλεπίδραση.
- Το DM δεν μπορεί να δει τη σχέση μεταξύ διαφορετικών πτυχών δεδομένων με το ίδιο βάθος με το ML.
- Το ML μαθαίνει από τα δεδομένα και επιτρέπει στο μηχάνημα να διδάξει τον εαυτό του.
- Το DM χρησιμοποιείται συνήθως ως πηγή πληροφοριών για να αντλήσει από αυτό το ML.
- Το ML είναι περισσότερο για τη δημιουργία του μοντέλου πρόβλεψης.
- Το DM παράγει πληροφορίες.
- Το ML παράγει προβλέψεις.

- Το AI παράγει ενέργειες.

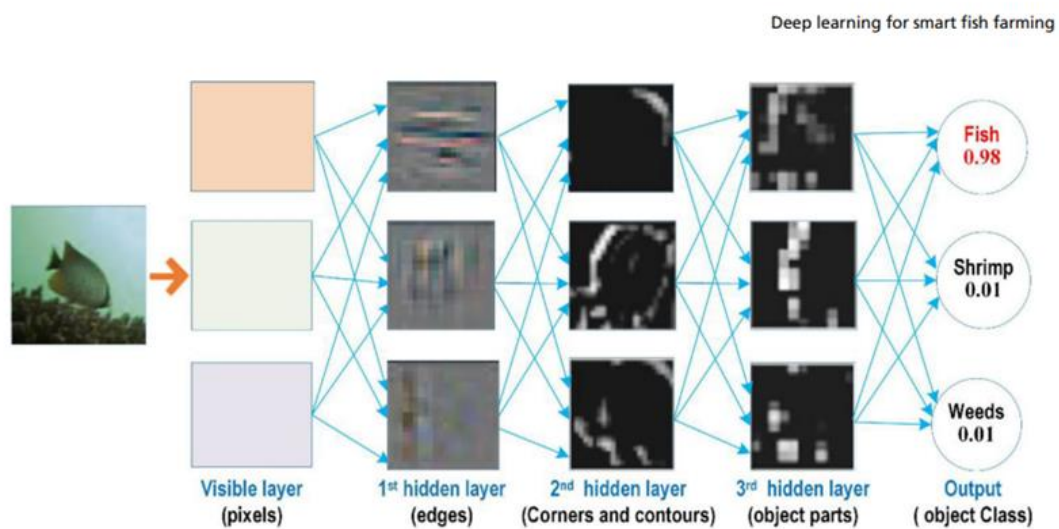


Εικόνα 4: Σύστημα υδατοκαλλιέργειας Internet of Things (IoT). (Πηγή: Vo *et al.*, 2021).

Η Data Learning (DL) είναι ένα υποσύνολο του ML. Οι αλγόριθμοι του DL πηγαίνουν ένα επίπεδο βαθύτερα από την κλασική ML που περιλαμβάνει πολλά επίπεδα (επίπεδα: σύνολο ένθετης ιεραρχίας σχετικών εννοιών). Η απάντηση σε μια ερώτηση λαμβάνεται απαντώντας σε άλλες σχετικές “βαθύτερες” ερωτήσεις (Εικόνα 5 & 6).



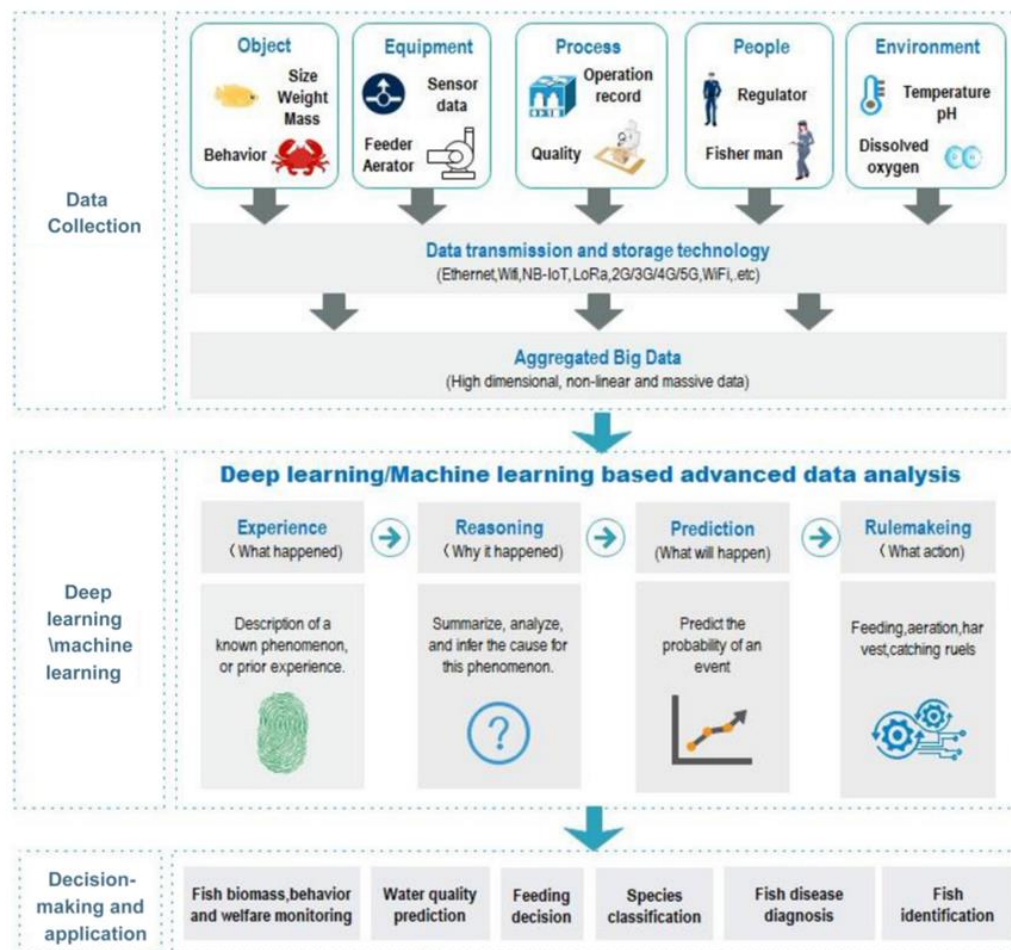
Εικόνα 5: Σύγκριση DL(b) και ML(a) (Πηγή: Yang *et al.*, 2020).



Εικόνα 6: Παράδειγμα DL στην υδατοκαλλιέργεια (Πηγή : Yang *et al.*, 2020).

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΝΕΦΟΣ (CLOUD COMPUTING)

Το υπολογιστικό νέφος (cloud computing) είναι η διάθεση υπολογιστικών πόρων μέσω διαδικτύου (π.χ. servers, apps κλπ.), από κεντρικά συστήματα που βρίσκονται απομακρυσμένα από τον τελικό χρήστη, τα οποία τον εξυπηρετούν αυτοματοποιώντας διαδικασίες, παρέχοντας διευκόλυνση και ευελιξία σύνδεσης (Εικόνα 7).



Εικόνα 7: Προηγμένα αναλυτικά στοιχεία με δυνατότητα DL για την έξυπνη ιχθυοκαλλιέργεια (Πηγή: Yang *et al.*, 2020).

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΤΕΧΝΗΤΗΣ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗΣ (ARTIFICIAL INTELLIGENCE)

Η τεχνητή νοημοσύνη έχει καταστεί βασική τεχνολογία που διασφαλίζει την ανάπτυξη ευφυών συστημάτων λήψης αποφάσεων μέσω της μίμησης των γνωστικών λειτουργιών των ζωντανών όντων. Με την τεχνητή νοημοσύνη να είναι η ευρύτερη επιστήμη της μίμησης της φυσικής συμπεριφοράς, η μηχανική μάθηση αποτελεί μία από τις επιστημονικές μεθόδους που εφαρμόζεται επί του παρόντος για την ανάπτυξη της τεχνητής νοημοσύνης και περιλαμβάνει τη μελέτη αλγορίθμων και στατιστικών μοντέλων που χρησιμοποιούνται από συστήματα υπολογιστών για την εκτέλεση συγκεκριμένων εργασιών με ελάχιστη ανθρώπινη παρέμβαση (Russell *et al.*, 2016). Στη μηχανική μάθηση, οι αλγόριθμοι χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία μαθηματικών μοντέλων που βασίζονται σε εκπαιδευμένα δεδομένα για να κάνουν προβλέψεις χωρίς να είναι ειδικά προγραμματισμένοι για την εκτέλεση της εργασίας. (Mustapha *et al.*, 2021). Στα πλαίσια της τεχνητής νοημοσύνης, ιδιαίτερα έχουν αναπτυχθεί η βαθιά μάθηση και τα συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα (CNN), συστατικά της μηχανικής μάθησης (Alzubaidi *et al.*, 2021). Στην υδατοκαλλιέργεια, η βαθιά μάθηση (DL) δίνει την ευκαιρία να εφαρμοστούν τεχνικές μηχανικής μάθησης στην ανάπτυξη μοντέλων που προβλέπουν απρόβλεπτα περιστατικά και χρησιμοποιεί μεγάλους όγκους δεδομένων για να αναλύσει και να ερμηνεύσει τα δεδομένα σε μικρότερες έννοιες (Yang *et al.*, 2020). Έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα χρήσιμη για την ταξινόμηση ειδών, τον έλεγχο της σίτισης, την εκτίμηση μεγέθους ή βιομάζας και την πρόβλεψη της ποιότητας νερού, οδηγώντας σε αποτελέσματα υψηλότερης ακρίβειας συγκριτικά με τις παραδοσιακές μεθόδους (Meng *et al.*, 2018; Naddaf *et al.*, 2018). Τα συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα είναι αλγόριθμοι βαθιάς μάθησης που καθίστανται ιδιαίτερα χρήσιμοι για την αναγνώριση και την ερμηνεία εικόνων (Alzubaidi *et al.*,

2021). Η τεχνολογία εξελίσσεται ραγδαία σε κάθε πτυχή της παρακολούθησης της υδατοκαλλιέργειας στηριζόμενη στην τεχνητή νοημοσύνη. Εμφανής είναι η τεχνολογική εξέλιξη πολλών συσκευών μέσω της μηχανοποίησης, του αυτοματισμού και του ευφυούς εξοπλισμού. Οι σύγχρονες συσκευές, επιτρέπουν τη χρήση στερεοσκοπικής παρατήρησης του μεγέθους, του σχήματος, της θέσης και της συμπεριφοράς των ψαριών. Αποτελεσματική είναι η εφαρμογή του μη επανδρωμένου εξοπλισμού και συγκεκριμένα των υποβρύχιων ρομπότ, των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων, του εξοπλισμού υδατοκαλλιέργειας τηλεχειρισμού κ.λπ. Αν και κάποιες εφαρμογές, είναι ακόμα σε πειραματικό στάδιο, φαίνεται να διαθέτουν προοπτικές (Wu *et al.*, 2022).

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΞΥΠΝΗΣ ΙΧΘΥΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ

Την τελευταία μισή δεκαετία εμφανίστηκαν έξυπνες τεχνολογίες ιχθυοκαλλιέργειας, όπως η επιτήρηση των περιβαλλοντικών συνθηκών, η εκτίμηση βιομάζας, η έξυπνη σίτιση, ο έξυπνος έλεγχος των γονιμοποιημένων αυγών των ψαριών, η συγκομιδή και επεξεργασία, η τεχνητή νοημοσύνη και η υδρόβια συμπεριφορά των ειδών και ανάλυση ασθενειών. Οι τεχνολογίες της τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να προσαρμοστούν και να εφαρμοστούν στο εκκολαπτήριο, στο τμήμα προπάχυνσης αλλά και στους κλωβούς των μονάδων πάχυνσης (Vo *et al.*, 2021). Τα κυριότερα πεδία, όπου παρεμβαίνει η τεχνητή νοημοσύνη στην παραγωγική διαδικασία της εντατικής εκτροφής των ψαριών και που συνδέονται άρρηκτα με την ευζωία τους, περιγράφονται στις ακόλουθες υπο-ενότητες:

Παρακολούθηση περιβαλλοντικών συνθηκών

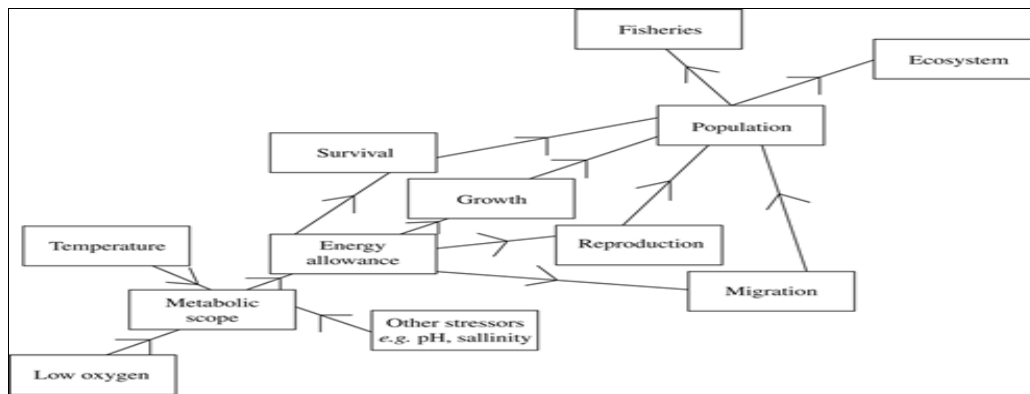
Η παρακολούθηση του περιβάλλοντος της υδατοκαλλιέργειας είναι σημαντική λόγω της μεγάλης μεταβλητότητας, ιδίως στην ανοιχτή θάλασσα, η οποία μπορεί να

αποτελέσει τεράστια απειλή για την υδατοκαλλιέργεια. Παραδοσιακά, είναι δύσκολο και χρονοβόρο και μερικές φορές επικίνδυνο για τα καλλιεργούμενα είδη εάν δεν εντοπιστούν έγκαιρα ανωμαλίες στην ποιότητα του νερού. Η παρακολούθηση του περιβάλλοντος σε πραγματικό χρόνο, της ποιότητας του νερού (διαλυμένο οξυγόνο, θερμοκρασία, pH, χλωροφύλλη, αμμωνία, άζωτο, νιτρώδη κ.λπ.) και η συμπεριφορά των ψαριών είναι απαραίτητη για να επέμβουν έγκαιρα οι διαχειριστές της υδατοκαλλιέργειας και μειώσουν τους κινδύνους. Το οξυγόνο αποτελεί τον πιο σημαντικό παράγοντα που μπορεί να επηρεάσει τα ψάρια στη σίτιση και την ευζωία τους. Τα χαμηλά επίπεδα οξυγόνου σε συνδυασμό με την αύξηση της θερμοκρασίας αποτελούν μια επικίνδυνη κατάσταση σε μια ιχθυοκαλλιέργεια, ενώ παράλληλα λόγω κλιματικής αλλαγής η θερμοκρασία μπορεί να θέσει νέες προκλήσεις για την αναπνοή. Για τους θαλάσσιους οργανισμούς ως «υποξία» λέγεται η κατάσταση κατά την οποία υπάρχει έλλειψη O_2 (κάτω από 2-3 mg O_2 /lt) και ανοξία όταν υπάρχει πλήρης έλλειψη οξυγόνου. Υπάρχει ένα επίπεδο οξυγόνου, η λεγόμενη «κρίσιμη συγκέντρωση οξυγόνου», κάτω από την οποία ο οργανισμός δεν μπορεί να ανταπεξέλθει ενεργειακά παρά μόνο για τις βασικές ανάγκες συντήρησης.

Εντός των φυσιολογικών ορίων θερμοκρασίας για τα περισσότερα ψάρια (0 έως 40 °C), υπάρχει μια μείωση 10 και 20% στο διαλυμένο O_2 για κάθε αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10 °C. Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε πως επηρεάζεται το υδάτινο οικοσύστημα από τα χαμηλά επίπεδα οξυγόνου σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες. Για την παρακολούθηση του περιβάλλοντος της υδατοκαλλιέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν αισθητήρες, drones, σηματοδότες, υποβρύχια ρομπότ, διαδικτυακή απομακρυσμένη παρακολούθηση κλπ (Σχήμα 4, Εικόνα 8 & 9).

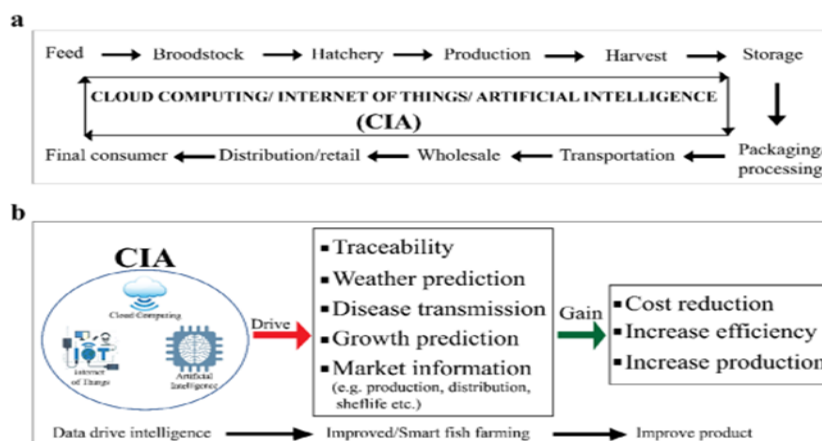
Η τεχνολογία διαδικτυακής παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο έχει εισαχθεί στην υδατοκαλλιέργεια σε κλωβούς για την παρακολούθηση των παραμέτρων ποιότητας του

νερού για τη βελτίωση της απόδοσης και την μείωση των κινδύνων. Η συμπεριφορά των ψαριών δίνει πολλές πληροφορίες σχετικά με την ανταπόκριση των ψαριών στο περιβάλλον. Η αλλαγή συμπεριφοράς των ψαριών είναι ένδειξη της συνδυασμένης επίδρασης περιβαλλοντικών διακυμάνσεων και της καταπόνησης (στρες) στα ψάρια.



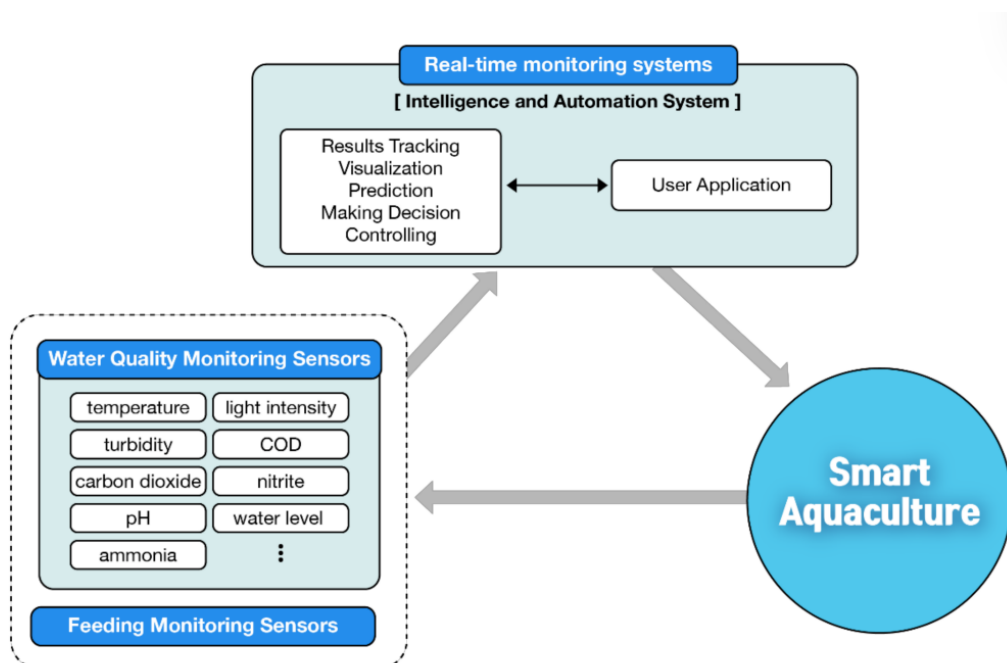
Σχήμα 4. Επίδραση παραγόντων στο υδάτινο οικοσύστημα (Townhill *et al.*, 2017).

Οι τεχνολογίες μηχανικής όρασης, ακουστικής ή σόναρ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατανόηση της συμπεριφοράς των ψαριών, όπως η διατροφική συμπεριφορά, η κολυμβητική συμπεριφορά, η απόκριση στο στρες, καθώς και οι διακυμάνσεις στο πληθυσμό των εκτρεφόμενων ιχθύων (Bae and Park 2014; Føre *et al.*, 2018).



Εικόνα 8 : Cloud computing internet of things και τεχνητή νοημοσύνη στην υδατοκαλλιέργεια (α) Εφαρμογή της CIA στη γραμμή παραγωγής υδατοκαλλιέργειας. (β) Η ώθηση της CIA στην έξυπνη γεωργία για την αύξηση της παραγωγικότητας (Πηγή: Mustapha *et al.*, 2021).

Το σύστημα μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (UAV) είναι ένα από τα πλέον συχνά χρησιμοποιούμενα drones AI στην υδατοκαλλιέργεια για την παρακολούθηση της ποιότητας του νερού του ιχθυοτροφείου. Οι Koraran *et al.*, (2018) ανέπτυξαν ένα UAV σύστημα που λειτουργεί με δορυφορική τηλεπισκόπηση που είναι ικανό για την συγκέντρωση ηλεκτρικής αγωγιμότητας, βάθους νερού, θολότητας, pH, βάθους αισθητήρα, θερμοκρασίας, νιτρικών αλάτων, χλωροφύλλης α και διαλυμένου οξυγόνου (Εικόνα 10). Ένας από τους σημαντικότερους περιορισμούς σε αυτό το σύστημα είναι η διάρκεια πτήσης, πρόβλημα που μπορεί εύκολα να λυθεί με την αύξηση της χωρητικότητα της μπαταρίας (Koraran *et al.*, 2018).



Εικόνα 9: Επισκόπηση έξυπνων αισθητήρων υδατοκαλλιέργειας και συστημάτων παρακολούθησης (Πηγή : Vo *et al.*, 2021).

ΣΙΤΙΣΗ

Χορήγηση τροφής χειρωνακτικά

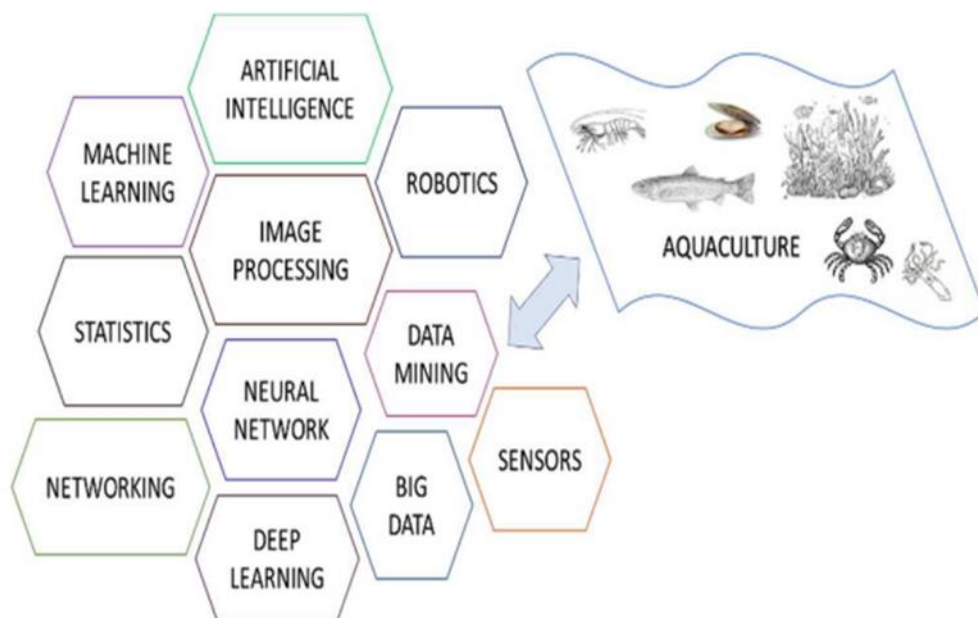
Η σίτιση στην υδατοκαλλιέργεια γίνεται εδώ και πολλά χρόνια με ανθρώπινο δυναμικό ταΐζοντας με το χέρι. Βασίζεται συνήθως σε πίνακες σίτισης που παρέχονται από τον κατασκευαστή της τροφής και συσχετίζουν τον ρυθμό σίτισης (σε g [feed]/ (g [BM] day)) με το (μέσο) μέγεθος των ψαριών και τη θερμοκρασία. Αυτοί οι πίνακες βασίζονται σε πειραματικές μελέτες σίτισης, μερικές από τις οποίες έχουν δημοσιευτεί. Η ανταπόκριση των ψαριών στο καθημερινό πρωτόκολλο σίτισης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις ειδικές διατροφικές συνήθειες για το είδος και την ανατομία του πεπτικού συστήματος.

Ωστόσο παρά τη ραγδαία ανάπτυξη του κλάδου, εξακολουθεί να υπάρχει η ανάγκη για τεχνολογική πρόοδο και ανάπτυξη για τη βελτίωση των πρακτικών και την αντιμετώπιση τυχόν προβλημάτων τόσο σε επίπεδο ιχθυογεννητικού σταθμού όσο και σε επίπεδο κλωβών. Οι προκλήσεις είναι πολλαπλές, συμπεριλαμβάνοντας την οικολογική επιβάρυνση και την υποβίβαση της ποιότητας των υδάτων, την αντιμετώπιση ασθενειών, την ποιότητα των γεννητόρων, των ιχθυδίων και των ενήλικων ιχθύων (Fearghal 2019; Michael, 2019). Οι διαχειρίσεις που πραγματοποιούνται στην υδατοκαλλιέργεια είναι χρονοβόρες και ενδεχομένως όχι και τόσο ακριβείς και αξιόπιστες καθώς έγκειται ο παράγοντας του ανθρώπινου σφάλματος, συνεπώς οι πιθανότητες της οικονομικής απώλειας μεγεθύνονται (Wu *et al.*, 2022). Συχνά, καθίστανται επίπονες για τους εκτρεφόμενους οργανισμούς, προκαλώντας στρες και υποβάθμιση των συνθηκών διαβίωσης τους. Άμεσο επακόλουθο, είναι ένα τελικό προϊόν υποβαθμισμένης ποιότητας και το αυξημένο ποσοστό θνησιμοτήτων (Gonzalez 2023).

Σκοπός λοιπόν είναι με την ενσωμάτωση των νέων τεχνολογιών, να διασφαλιστεί η ευζωία, η καλή διαβίωση των εκτρεφόμενων οργανισμών, που καθίσταται ιδιαίτερα σημαντική και η βελτίωση των πρακτικών διαχείρισης, ενισχύοντας την αποδοτικότητα της παραγωγής και τη βιωσιμότητα του κλάδου (Mustapha *et al.*, 2021). Για την επίτευξη των στόχων που προαναφέρθηκαν, ο κλάδος της ιχθυοκαλλιέργειας αναπτύσσει νέες τεχνικές και εξοπλισμούς, ενώ ταυτόχρονα αξιοποιεί και βελτιώνει τις ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες και ως εκ τούτου κρίνεται απαραίτητο να υιοθετηθούν καινοτόμες τεχνολογικές πρακτικές (Mustapha *et al.*, 2021). Πολλές πτυχές της τεχνολογίας είναι διαθέσιμες και αφορούν την Τεχνητή νοημοσύνη (AI), το διαδίκτυο των πραγμάτων Internet of Things (IoT) και τις τεχνολογίες του Cloud Computing. Συγκεκριμένα, παρέχουν υπηρεσίες όπως την εύκολη πρόσβαση σε ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών πληροφορικής, χωρίς προκαταβολικό κόστος, με αυξημένη ταχύτητα και χωρίς έξοδα για το υλικό και τις εγκαταστάσεις. Με την ανάπτυξη των έξυπνων συσκευών και με τη δυνατότητα διαδικτυακής σύνδεσης μπορούν να συλλέγονται και να μοιράζονται πληροφορίες σχετικά με τη χρήση και το περιβάλλον τους, χωρίς να απαιτείται ανθρώπινη παρέμβαση (IBM, 2016).

Δυστυχώς όμως, ο αντίκτυπος της τεχνολογικής προόδου στον τομέα της υδατοκαλλιέργειας δεν είναι μεγάλος σε σύγκριση με τους τομείς της γεωργίας και της μεταποίησης. Η έλευση του Cloud computing, του IoT και της Τεχνητής Νοημοσύνης (AI) έχει δημιουργήσει πολυάριθμες δυνατότητες για την εφαρμογή και την ενσωμάτωση της τεχνολογίας των πληροφοριών σε όλους τους τομείς. Η εμφάνιση και η ανάπτυξη έρευνας για τη CIA (cloud computing & AI) και η δυνατότητα να φέρει επανάσταση στη βιομηχανία υδατοκαλλιέργειας είναι πολλά υποσχόμενη. Η χρήση τεχνικών και εργαλείων της CIA όπως drones, nano και μικρό-αισθητήρες, βιονικά ρομπότ, απομακρυσμένες κάμερες, έξυπνη ταξινόμηση, ο εξοπλισμός επεξεργασίας, οι

στατιστικές ενότητες και οι αλγόριθμοι θα μειώσουν την ανθρώπινη παρέμβαση και θα αυξήσουν την παραγωγικότητα της υδατοκαλλιέργειας (Εικόνα 10).



Εικόνα 10: Τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στην υδατοκαλλιέργεια (Πηγή : Gladju *et al.*, 2022) .

Επίσης, η εφαρμογή του CIA στην αλυσίδα αξίας της υδατοκαλλιέργειας για τη διασφάλιση της αποτελεσματικότητας στην ιχνηλασιμότητα, τη διατροφή, την ανίχνευση ασθενειών, την πρόβλεψη ανάπτυξης, την περιβαλλοντική παρακολούθηση, την αγορά και τις πληροφορίες είναι το κλειδί για την αύξηση της παραγωγικότητας και της βιωσιμότητας της υδατοκαλλιέργειας (Gladju and Kanagaraj 2021). Ως εκ τούτου, το μέλλον των επιχειρήσεων υδατοκαλλιέργειας εκτιμάται πως θα είναι πιο αποδοτικό και με λιγότερη ανθρώπινη παρέμβαση.

Παρόλα αυτά η εμπειρία του παραγωγού οδηγεί στην τελική απόφαση της χορηγούμενης ποσότητας τροφής, του αριθμού γευμάτων και την ώρα ταΐσματος ανάλογα με το είδος και τις συνθήκες εκτροφής.

Χορήγηση τροφής μηχανικά

Για εξοικονόμηση ενέργειας και ανθρώπινου δυναμικού, έχουν μπει σε εφαρμογή εδώ και πολλά χρόνια συστήματα τροφοδοσίας στα εκτρεφόμενα ψάρια, όπου η συγκεκριμένη υπολογισμένη ποσότητα που θα δινόταν με το χέρι, δίνεται αυτόματα από ένα μηχάνημα την ορισμένη ώρα. Πλεονέκτημα αυτών των συστημάτων είναι επίσης ότι τα ψάρια δεν δέχονται την αρνητική επίπτωση στρες από την ανθρώπινη παρουσία. Παρόλα αυτά η διαχείριση απρόσμενων παραγόντων όπως μια ασθένεια, καταστάσεις στρες που ο πληθυσμός να μην είναι σε κατάσταση για την αναμενόμενη κατανάλωση τροφής οδηγεί στην υπερ-τροφοδοσία, με αποτέλεσμα τη σπατάλη τροφών και τη μείωση κέρδους, ενώ παράλληλα ο εκτρεφόμενος πληθυσμός μπορεί να οδηγηθεί σε μειωμένη τροφοληψία λόγω λανθασμένης εκτίμησης και να επιφέρει αρνητικούς συντελεστές αύξησης. Τεχνικές αναγνώρισης συμπεριφοράς τροφοδοσίας των ψαριών έχουν αναπτυχθεί ραγδαία και βασίζονται στην τεχνολογία όρασης του υπολογιστή και στην ακουστική. Έχουν επίσης αναπτυχθεί συστήματα τροφοδοσίας βασισμένα σε αλγόριθμους και μαθηματικά μοντέλα. Ωστόσο, τα μαθηματικά μοντέλα δεν είναι τόσο έξυπνα για να μπορούν να λάβουν υπόψη τους παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν την όρεξη των ψαριών (Zhou *et al.*, 2018a). Ένα σωστά ανεπτυγμένο σύστημα τροφοδοσίας θα μπορούσε να επιφέρει οικονομικά κέρδη και ανάπτυξη στη βιομηχανία Υδατοκαλλιέργειας.

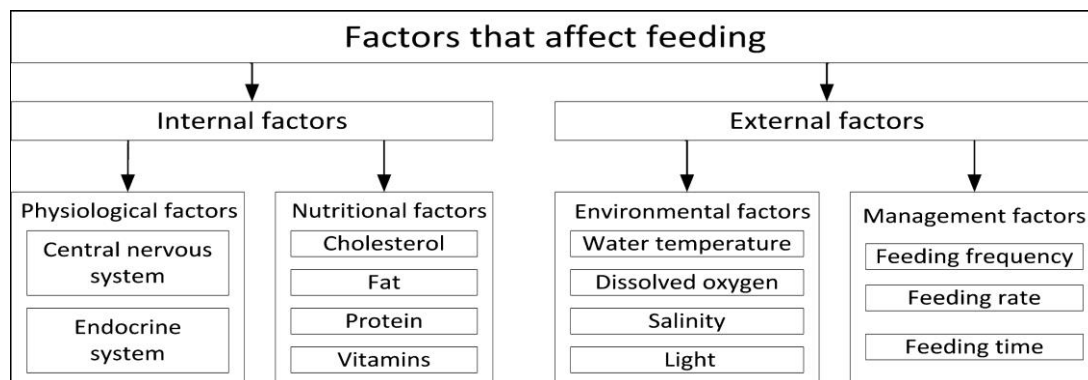
Χορήγηση τροφής με αυτοχειρισμό

Η μηχανή τροφοδοσίας κατά απαίτηση έχει αναδειχθεί ως πιθανή εναλλακτική λύση. Αυτά τα συστήματα περιέχουν συνήθως έναν αισθητήρα που καταγράφει και ανταποκρίνεται στην κατάσταση σίτισης των ψαριών και τα χορηγεί τροφή όταν ενεργοποιούνται. Αυτά τα συστήματα έχουν τη δυνατότητα να επιτρέπουν

αποτελεσματική, αυτόματη σίτιση με βάση τη ζήτηση, αλλά ανάλογα με το είδος μπορεί να υπάρξουν κυρίαρχα άτομα που μπορούν να εμποδίσουν άλλα πεινασμένα ψάρια να πλησιάσουν τον τροφοδότη. Είναι μια μέθοδος κατάλληλη μόνο για εκπαιδευμένα ψάρια, καθώς τα μη εκπαιδευμένα ψάρια δεν μπορούν να χρησιμοποιήσουν αυτή τη μηχανή τροφοδοσίας. Με τα συστήματα αυτοτροφοδοσίας, βάσει μελέτης, τα ψάρια έδειξαν την ικανότητα να επιλέξουν μακροθρεπτικά συστατικά και να συνθέσουν τη δική τους ισορροπημένη διατροφή.

Η μέθοδος αλλά και η συχνότητα σίτισης, αποτελούν παράγοντες που συμβάλλουν καθοριστικά στην απόδοση της παραγωγής, στο κόστος παραγωγής αλλά και στην ποιότητα των υδάτων (Chen *et al.*, 2019; Ubina *et al.*, 2023). Το κόστος της τροφής αντιπροσωπεύει περίπου το 60% του συνολικού κόστους (Føre *et al.*, 2016; de Verdal *et al.*, 2017). Έτσι η ανεξέλεγκτη σίτιση, μειώνει την αποδοτικότητα της παραγωγής, περιορίζει την αποτελεσματικότητα μετατροπής της, τα υπολείμματα τροφής θα επιβαρύνουν την ποιότητα του νερού ενώ η ανεπαρκής σίτιση θα επηρεάσει την ανάπτυξη των ψαριών (Zhou *et al.* 2018a). Λόγω της απουσίας αποτελεσματικής τεχνολογίας ελέγχου τροφοδοσίας, η παραδοσιακή, η χειροκίνητη μέθοδος ταΐσματος, οδηγεί στην υπερβολική κατανάλωση τροφής και στην υποβάθμιση ποιότητας του νερού. Από την άλλη, οι αυτόματες μέθοδοι σίτισης με απώτερο σκοπό τη μείωση κόστους και την εξοικονόμηση χρόνου, λειτουργούν σε έγκαιρη βάση, ανεξάρτητα ωστόσο από την κατάσταση του νερού με σοβαρό ενδεχόμενο την επιβάρυνση της ποιότητας του (Liu *et al.*, 2014). Με την τεχνητή νοημοσύνη ενδέχεται να αντιμετωπιστούν οι προαναφερθείσες προκλήσεις, συμβάλλοντας στην καλύτερη απόδοση των πρακτικών σίτισης. Σε ένα σύστημα αυτοματοποιημένης σίτισης, η τεχνολογία παρακολούθησης του περιβάλλοντος είναι αλληλένδετη με ένα αυτόματο σύστημα τροφοδοσίας επιτρέποντας την παρακολούθηση της σίτισης και καθιστώντας

δυνατή την προσαρμογή ή τη διακοπή της, ανάλογα με την ποιότητα του νερού ή τη συμπεριφορά των ψαριών (Yang *et al.*, 2021). Στο παρακάτω σχήμα (Σχ.5) βλέπουμε όλους τους παράγοντες που επηρεάζουν το τάισμα των ψαριών.



Σχήμα 5. Παράγοντες που επηρεάζουν τη σίτιση (Zhou *et al.*, 2018a)

Στον ακόλουθο Πίνακα 1 παρουσιάζονται κάποιες εφαρμογές με σκοπό τη βελτίωση τη σίτισης των ψαριών.

Πίνακας 1. Εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης για τον έλεγχο της σίτισης

Πρακτικές Τεχνητής Νοημοσύνης	Εφαρμογή	Βιβλιογραφική Αναφορά
Συνελκτικό νευρωνικό δίκτυο (CNN) και μηχανική όραση	Αυτόματη μέθοδος αξιολόγησης της έντασης σίτισης για την παρακολούθηση της όρεξης.	Zhou <i>et al.</i> , 2019
Τεχνικές μηχανικής μάθησης	Αξιολόγηση της συμπεριφοράς της πείνας ή της κατάστασης των ψαριών μέσω αυτοματοποιημένου τροφοδότη και επεξεργασίας εικόνας για τη βελτίωση της κατανάλωσης τροφής.	Razman <i>et al.</i> , 2019
Τεχνικές μηχανικής μάθησης	Συνεχής παρακολούθηση και αυτοματοποιημένος έλεγχος της σίτισης των ψαριών.	Atoum <i>et al.</i> , 2015
Τεχνικές μηχανικής μάθησης	Αυτόματη παροχή τροφοδοσίας και έλεγχος της θερμοκρασίας σε εκκολαπτήριο ψαριών.	Hoy <i>et al.</i> , 1985

ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΚΤΡΟΦΗΣ

Η ποιότητα του νερού στα συστήματα εκτροφής επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τον ρυθμό ανάπτυξης, την υγεία, τις συνθήκες καλής διαβίωσης και την αποδοτικότητα πρόσληψης τροφής (Wang *et al.*, 2021). Στις παραμέτρους της ποιότητας νερού που παρακολουθούνται συνήθως, περιλαμβάνονται η θερμοκρασία, το διαλυμένο οξυγόνο, το pH, η αλκαλικότητα, η αμμωνία και τα νιτρώδη. Η διαχείριση της ποιότητας των υδάτων αποτελεί ένα σημαντικό κομμάτι της υδατοκαλλιέργειας και απαιτεί ανθρώπινη παρέμβαση όποτε υπάρξει απότομη αλλαγή σε οποιαδήποτε από τις παραμέτρους οδηγώντας σε υποβάθμιση του μέσου εκτροφής (Zhou *et al.*, 2019). Για να ελαχιστοποιηθεί η ανθρώπινη παρέμβαση με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση κόστους και την έγκαιρη επίλυση του προβλήματος, η αυτοματοποίηση μέσω ανάπτυξης συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης είναι ιδανική (Mustafa 2016). Στον Πίνακα 2 συνοψίζονται ορισμένες από τις μελέτες που αφορούν τις εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης για την παρακολούθηση της ποιότητας του νερού.

Πίνακας 2. Πρόσφατες έρευνες εφαρμογών της τεχνητής νοημοσύνης σε ιχθυοκλωβούς για την πρόβλεψη της ποιότητας νερού

Παράμετρος πρόβλεψης	Δείκτες αξιολόγησης	Επίδραση - Βιβλιογραφική αναφορά
pH, θερμοκρασία νερού και διαλυμένο οξυγόνο	Ποσοστό ακρίβειας 93,06%	Chen <i>et al.</i> , 2022
pH, θερμοκρασία νερού	Ποσοστό 95,76% και 96,88% αντίστοιχα	Hu <i>et al.</i> , 2019
Διαλυμένο οξυγόνο, νερό θερμοκρασία, αλατότητα και χλωροφύλλη	Ποσοστό ακρίβειας 96,1%	Yñiguez <i>et al.</i> , 2020

Στην εντατική υδατοκαλλιέργεια, το επίπεδο διατροφής των ψαριών καθορίζει άμεσα την αποδοτικότητα παραγωγής και το κόστος παραγωγής (Chen *et al.* 2019). Στην πραγματική παραγωγή, το κόστος τροφοδοσίας για ορισμένες ποικιλίες ψαριών αντιπροσωπεύει περισσότερο από το 60% του συνολικού κόστος. Έτσι, η αλόγιστη σίτιση θα μειώσει την παραγωγική αποτελεσματικότητα, ενώ η ανεπαρκής σίτιση θα επηρεάσει την ανάπτυξη των ιχθύων. Η υπερβολική τροφοδοσία μειώνει επίσης την απόδοση μετατροπής της τροφής και η υπολειπόμενη τροφή θα μολύνει το περιβάλλον (Zhou *et al.*, 2018a). Επομένως, μεγάλα οικονομικά οφέλη μπορούν να επιτευχθούν με τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας σίτισης (Zhou *et al.*, 2018c). Ωστόσο, πολλοί παράγοντες επηρεάζουν τη διατροφή των ψαριών, συμπεριλαμβανομένων των φυσιολογικών, διατροφικών, περιβαλλοντικών και φυσικών παραγόντων. Κατά συνέπεια, είναι δύσκολο να ανιχνευθούν οι πραγματικές ανάγκες των εκτρεφόμενων ιχθύων (Sun *et al.*, 2016). Παραδοσιακά, οι αποφάσεις σίτισης εξαρτώνται κυρίως από την εμπειρία και τους απλούς ελέγχους χρόνου (Liu *et al.*, 2014). Προς το παρόν, οι περισσότερες έρευνες σχετικά με τη λήψη αποφάσεων σίτισης με χρήση DL έχουν επικεντρωθεί κυρίως στην ανάλυση εικόνας. Με τη χρήση της μηχανικής όρασης, μπορεί να αναπτυχθεί μια βελτιωμένη στρατηγική σίτισης σύμφωνα με τη συμπεριφορά των ψαριών. Ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να τερματίσει τη διαδικασία σίτισης σε πιο κατάλληλους χρόνους, μειώνοντας έτσι την περιττή εργασία και βελτιώνοντας την ευημερία των ιχθύων (Zhou *et al.*, 2018a). Η ένταση τροφοδοσίας των ψαριών μπορεί επίσης να βαθμολογηθεί στο περίπου και να χρησιμοποιηθεί για την καθοδήγηση της σίτισης. Ένας συνδυασμός CNN και μηχανικής όρασης έχει αποδειχθεί αποτελεσματικός τρόπος για την αξιολόγηση των χαρακτηριστικών της έντασης τροφοδοσίας των ψαριών (Zhou *et al.*, 2019). Η ακρίβεια του εκπαιδευμένου μοντέλου ήταν ανώτερη από αυτή δύο δεικτών χαρακτηριστικών που εξήχθησαν

χειροκίνητα: δείκτης συμπεριφοράς τροφοδοσίας ψαριών (FIFFB) και έντασης αρπαγής συμπεριφοράς τροφοδοσίας ψαριών (Zhou *et al.*, 2017b). Αυτή η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό και την αξιολόγηση της όρεξης των ψαριών για να καθοδηγήσει τις πρακτικές παραγωγής. Λόγω των πρόσφατων προόδων στα CNN, θα ήταν ενδιαφέρον να εξεταστεί η χρήση νεότερων πλαισίων νευρωνικών δικτύων για εξαγωγή χαρακτηριστικών τόσο στο χώρο όσο και στην κίνηση. Όταν συνδυάζονται με πληροφορίες χρονοσειρών, τέτοια μοντέλα μπορεί να επιτρέψουν καλύτερες αποφάσεις τροφοδοσίας. Με βάση αυτή την ιδέα, οι Maløy *et al.*, (2019) εξέτασαν τόσο τη χρονική όσο και τη χωρική ροή συνδυάζοντας ένα τρισδιάστατο CNN (3D-CNN) και ένα RNN για να σχηματίσει ένα νέο διπλό βαθύ νευρωνικό δίκτυο. Το 3D-CNN και το RNN χρησιμοποιήθηκαν για τη σύλληψη χωρικών και χρονικών πληροφοριών ακολουθίας αντίστοιχα, επιτυγχάνοντας έτσι την αναγνώριση τόσο των τροφοδοτικών όσο και των μη τροφοδοτικών συμπεριφορών. Μια σύγκριση έδειξε ότι τα αποτελέσματα αναγνώρισης που επιτεύχθηκαν με αυτήν τη δομή διπλής ροής ήταν καλύτερα από αυτά των μεμονωμένων μοντέλων CNN ή RNN. Οι μελέτες που συζητήθηκαν παραπάνω επικεντρώθηκαν κυρίως σε εικόνες. Ωστόσο, επειδή πολλοί παράγοντες επηρεάζουν τη διατροφή των ψαριών (Sun *et al.*, 2016) δεν αρκεί να λαμβάνουμε υπόψη μόνο τις εικόνες. Στο μέλλον, θα πρέπει να ενσωματωθούν πρόσθετα δεδομένα, όπως περιβαλλοντικές μετρήσεις και φυσιολογικά δεδομένα ψαριών, για να επιτευχθούν πιο λογικές αποφάσεις για τη διατροφή.

Τα ακουστικά σήματα και οι αισθητήρες που βασίζονται σε κραδασμούς είναι ικανά να διακρίνουν τα πεινασμένα ψάρια από τα σωστά σιτισμένα. Η Umitron είναι ένα από τα έξυπνα συστήματα τροφοδοσίας που χρησιμοποιεί το IoT, η μηχανική εκμάθηση και η δορυφορική τηλεπισκόπηση που εγκαταστάθηκαν για πρώτη φορά στην πόλη Ainan, στην Ιαπωνία. Είναι ενδιαφέρον ότι η Umitron μπορεί να έχει πρόσβαση εξ

αποστάσεως μέσω υπολογιστικού νέφους και smartphone συσκευών (Umitron, 2023). Μια start-up εταιρεία (eFishery) με έδρα την Ινδονησία έχει αναπτύξει παρόμοια τεχνολογία που είναι ικανή να παρακολουθεί τα επίπεδα πείνας των ψαριών σε αιχμαλωσία μέσω των κραδασμών τους (Huzaifah, 2023). Η συγκομιδή έχει αυξηθεί κατά τουλάχιστον 35% και έχουν διπλασιαστεί σημαντικά τα καθαρά κέρδη (Huzaifah, 2023). Επί του παρόντος, αυτό το σύστημα έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως σε όλο τον κόσμο, ιδιαίτερα στην Κίνα, την Αίγυπτο, την Ινδονησία και τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα (Huzaifah, 2023).

ΕΞΥΠΝΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΓΟΝΙΜΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΑΥΓΩΝ - ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΙΧΘΥΩΝ

Ο έλεγχος των αυγών των ιχθύων είναι απαραίτητος για να διασφαλιστεί ότι οι ιχθύες μπορούν να αναπτυχθούν υγιής στο ενήλικο στάδιο ή στο στάδιο της συγκομιδής. Ωστόσο, η παραδοσιακή εξέταση των αυγών των ιχθύων είναι και επίπονη και δαπανηρή. Το 2019, το Πανεπιστήμιο Kindai λάνσαρε την έξυπνη εφαρμογή του Microsoft Azure Machine Learning Studio σε συνδυασμό με το IoT και άλλες τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης για την ταξινόμηση των μικρών λαρβών αποτελεσματικά (Microsoft Asia News Center, 2019). Ακόμη, ένα αρθρωτό σύστημα συγκομιδής που εισήγαγε η κυβέρνηση της Νέας Ζηλανδίας επιτρέπει την αφαίρεση των μικρών ανεπιθύμητων ψαριών με ασφάλεια από το σύστημα αιχμαλωσίας. Ο εξοπλισμός του Radmantis από τις ΗΠΑ μπορεί να κατευθύνει ασθενή ψάρια σε άλλη εγκατάσταση εκμετάλλευσης για να αποφευχθεί η εξάπλωση της μόλυνσης σε πρώιμα στάδια (Kidangoor, 2022). Πρόσφατα παρουσιάστηκε μια βελτιωμένη έκδοση αποκεφαλισμού και φιλετοποίησης σολομού εξοπλισμένη με τεχνολογία όρασης επιτυγχάνοντας επεξεργασία έως και 25 ψαριών ανά λεπτό.

ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΓΝΩΣΗ ΑΣΘΕΝΕΙΩΝ

Τα ψάρια είναι ευαίσθητα στις περιβαλλοντικές αλλαγές και εκτίθενται στις αλλαγές των περιβαλλοντικών παραγόντων μέσω της εκδήλωσης αλλαγών στη συμπεριφορά (Saberioon *et al.*, 2016, Saberioon and Cisar, 2018). Η παρακολούθηση και η ανάλυση των αλλαγών στη συμπεριφορά τους, είναι ζωτικής σημασίας για την αξιολόγηση της υγείας και την ευημερία των ψαριών, καθοδηγώντας τη διατροφή και περιορίζοντας την επιβάρυνση της ποιότητας του νερού (Liu *et al.*, 2022). Η σχετική παρακολούθηση συμπεριφοράς, ειδικά για ασυνήθιστες συμπεριφορές, μπορεί να παρέχει μια έγκαιρη προειδοποίηση για την κατάσταση των ψαριών. Η παρακολούθηση της συμπεριφοράς των ψαριών σε πραγματικό χρόνο είναι απαραίτητη στην κατανόηση της κατάστασής τους και στη διευκόλυνση της σύλληψης τροφής και αποφάσεις σίτισης (Papadakis *et al.*, 2012). Με την τεχνική νοημοσύνη μπορούν να εξεταστούν συμπεριφορές και να ελεγχθούν οι συνθήκες διαβίωσης των ψαριών προλαμβάνοντας έτσι έγκαιρα καταστάσεις (Πίνακας 2). Ωστόσο, έχει εφαρμοστεί η τεχνολογία της βαθιάς μάθησης για τον έλεγχο της συμπεριφοράς των ψαριών, αλλά η διασταύρωση και η επικάλυψη που προκαλούνται από ψάρια που κολυμπούν ελεύθερα (Zhao *et al.*, 2018a) όπως και οι περιβαλλοντικές εικόνες χαμηλής ποιότητας (Zhou *et al.*, 2019) αποτελούν σημαντικές προκλήσεις για την ανάλυση συμπεριφοράς (Πιν. 3).

Πίνακας 3. Εφαρμογές που στηρίζονται στην παρακολούθηση συμπεριφοράς των εκτρεφόμενων οργανισμών

Τομέας Τεχνητής Νοημοσύνης	Εφαρμογή	Βιβλιογραφική αναφορά
Τεχνικές Βαθείας Μάθησης	Ασιτία και έλλειψη οξυγόνου.	Hu <i>et al.</i> , 2021
Τεχνικές Βαθείας Μάθησης	Διατροφική συμπεριφορά σε διαφορετικές συγκεντρώσεις αμμωνίας.	Xu <i>et al.</i> , 2020
Τεχνικές Μηχανικής Μάθησης	Κατανόηση της αιτίας, του αποτελέσματος της κοινωνικής μάθησης και της συμπεριφοράς αναζήτησης τροφής στα ψάρια χρησιμοποιώντας δεδομένα χρονοσειρών και αλληλεπιδράσεων μεταξύ ατόμων.	Ochiai <i>et al.</i> , 2013
Τεχνικές Μηχανικής μάθησης	Παρακολούθηση και συσχέτιση της κινητικής δραστηριότητας και της αναπνευστικής συχνότητας με το σωματικό βάρος για αξιόπιστο φαινότυπο, με σκοπό την επιλογή των αποτελεσματικότερων ψαριών.	Ferrer <i>et al.</i> , 2020
Τεχνικές Μηχανικής Μάθησης	Χρήση μηχανικής όρασης για παρακολούθηση της δραστηριότητας, του μέγεθος και της τρέχουσας κατάστασης επί τόπου χωρίς να διαταράσσεται η συμπεριφορά των οργανισμών.	Whitsell <i>et al.</i> , 1997
Τεχνικές Μηχανικής Μάθησης	Παρακολούθηση της συμπεριφοράς των ψαριών και λήψη αποφάσεων με βάση δεδομένα τηλεμετρίας.	Hassan <i>et al.</i> , 2019

Η ανάλυση της συμπεριφοράς των υδρόβιων ειδών μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας υποστήριξη διανυσματικής μηχανής (SVM) και βαθιά συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα (DCNN) για την ταξινόμηση των φύλων των ψαριών με βάση το χρώμα του ουραίου πτερυγίου και την εμφάνιση του ιχθύος (Hosseini *et al.*, 2019). Σε μια άλλη προσέγγιση, οι Xia *et al.* (2018) χρησιμοποίησαν την όραση υπολογιστή και την DL για διεξαγωγή υδατοτοξικών αναλύσεων παρακολουθώντας τη συμπεριφορά των ψαριών. Το μοντέλο τους είχε συγκεντρώσει με επιτυχία αρκετά λεπτομερή δεδομένα συμπεριφοράς για την πρόβλεψη τοξικότητας των ψαριών στα συστήματα αιχμαλωσίας (Xia *et al.*, 2018). Οι O'Donncha *et al.*, (2021) ανέπτυξαν μια νέα ανάλυση υδροακουστικών συνόλων δεδομένων με χρήση αυτοματοποιημένων εργαλείων μηχανικής εκμάθησης. Σημαντικό πλεονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι ότι επιτρέπει σε μοντέλα υψηλής ποιότητας που είναι ειδικά για τα δεδομένα στο να εκπαιδευτεί ακόμη και ελλείψει εμπειρογνωμοσύνης στην επιστήμη των δεδομένων. Μετρήσεις υψηλής πυκνότητας της συμπεριφοράς των ψαριών όπως ο αριθμός των ψειρών, η κατάσταση των βραγχίων και η πρόβλεψη της θνησιμότητας επιτράπηκαν μέσω αυτής της προσέγγισης (O'Donncha *et al.*, 2021). Μελλοντικά οι ερευνητές σκοπεύουν να βελτιώσουν περαιτέρω την ακρίβεια των μετρήσεών τους μέσω της ανίχνευσης των μοτίβων κίνησης, της σήμανση των ιχθύων (ετικέτες ψαριών) για τη διεξαγωγή ατομικής επιτήρησης ιχθύων, καθώς και να αποτυπώσουν μεμονωμένες κινήσεις ψαριών σε τρεις διαστάσεις (O'Donncha *et al.*, 2021).

Οι ασθένειες των ψαριών μπορούν να ταξινομηθούν σε βακτηριακές, μυκητιακές, παρασιτικές, ασθένειες πρωτόζωων και πληγές. Οι ασθένειες των ψαριών εξαπλώνονται με μεγάλη ταχύτητα δημιουργώντας δυσκολία στην αναγνώριση της νόσου. Στο παρελθόν οι ασθένειες των ψαριών αναγνωρίζονταν χειροκίνητα που οδηγεί σε καθυστέρηση στην ακριβή διάγνωση και θεραπεία. Η χρήση τεχνικών

επεξεργασίας εικόνων, μηχανικής μάθησης και εξόρυξης δεδομένων για την διαχείριση της υγείας των ψαριών μπορεί να συμβάλει στην έγκαιρη παρακολούθηση, διατήρηση υγιεινού περιβάλλοντος και εφαρμογή τακτικών εμβολιασμών. Ανωμαλίες ανίχνευσης, πρόβλεψης, αναγνώρισης προτύπων, υποστήριξης συστήματος αποφάσεων και οι ευφυείς αλγόριθμοι είναι μερικές από τις μεθόδους εξόρυξης δεδομένων που επεξεργάζονται φυσιολογικά δεδομένα μαζί με αισθητήρες για να μετρήσουν ζωτικές παραμέτρους όπως η γλυκόζη στο αίμα, ο καρδιακός ρυθμός και ο κορεσμός οξυγόνου στο έξυπνο σύστημα παρακολούθησης. Για την ανίχνευση της νόσου των ψαριών και τη διάγνωση χρησιμοποιώντας τεχνητή νοημοσύνη, οι Ahmed *et al.*, (2022) χρησιμοποίησαν βάσει εικόνας προσέγγιση της μηχανικής μάθησης δηλαδή SVM με λειτουργία πυρήνα σε άτομα σολομού. Μελλοντικά οι επιστήμονες αποσκοπούν στην βελτίωση περαιτέρω της ακρίβειας του συστήματος με τη σύζευξη μιας πραγματικής συσκευής IoT (Ahmed *et al.*, 2022). Τέλος οι Darapaneni *et al.*, (2022) έχουν επίσης αναπτύξει ένα σύστημα ανίχνευσης ασθενειών που βασίζεται σε ΑΙ που είναι ικανό μέσω οπτικής επιτήρησης των εκτρεφόμενων ψαριών να ανιχνεύσει ασθένειες κατά την έναρξη τους, καθώς και να ειδοποιήσει άμεσα τους ενδιαφερόμενους με ελάχιστη χρονική υστέρηση. Αυτό το σύστημα επιτρέπει σε όλα τα ενδιαφερόμενα μέρη να αντιδράσουν και να λάβουν άμεσα διορθωτικά μέτρα για τον περιορισμό της εξάπλωσης της νόσου σε πραγματικό χρόνο (Darapaneni *et al.*, 2022). Οι ασθένειες των ιχθύων έχουν καταστεί κατασταλτικός παράγοντας που περιορίζουν τη βιώσιμη ανάπτυξη της υδατοκαλλιέργειας (Wang *et al.*, 2021). Αναμφίβολα η εμφάνιση ασθενειών και παθογόνων μικροοργανισμών επηρεάζουν την υγεία και την ποιότητα διαβίωσης των εκτρεφόμενων οργανισμών είτε πρόκειται για τους γεννήτορες και την ποιότητα των αβγών, είτε για τα ιχθύδια, είτε για τους ενήλικες ιχθύες που εκτρέφονται στους κλωβούς. Καθοριστική φαίνεται να έχει αποδειχθεί και για τη διαμόρφωση του

συνολικού κόστους της παραγωγής. Στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται επιπλέον εφαρμογές βασιζόμενες στην τεχνητή νοημοσύνη, εμπορικά διαθέσιμες, με στόχο τη βελτίωση των πρακτικών διαχείρισης και την εξασφάλιση της καλής διαβίωσης των εκτρεφόμενων οργανισμών. Γι' αυτό, κρίνεται απαραίτητη μεταξύ άλλων, η έγκαιρη διάγνωση και η θεραπεία μιας ασθένειας προκειμένου να αποτραπούν οι απώλειες στην παραγωγή (Gladju *et al.*, 2022). Ωστόσο, με τα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης παρέχεται η δυνατότητα πρόληψης κρουσμάτων ασθενειών, ερμηνεύοντας τα δεδομένα που συλλέγονται, παρουσιάζοντάς τα και εφαρμόζοντας προληπτικά μέτρα. Ειδικότερα, η ανίχνευση ασθενειών με βάση τη συμπεριφορά και την εμφάνιση εξωτερικών γνωρισμάτων που υποδηλώνουν την ύπαρξη νόσου, έχει αναδειχθεί ως ένα πολλά υποσχόμενος τομέας για την εφαρμογή τεχνητής νοημοσύνης (Ahmed *et al.*, 2021). Ήδη έχουν πραγματοποιηθεί μελέτες για την πρόληψη και την αντιμετώπιση μολυσματικών νοσημάτων. Χαρακτηριστικά, οι Chen *et al.*, (2022) εστίασαν σε ένα σύστημα ανάλυσης εικόνας δύο φάσεων που εφαρμόζει βαθιά μάθηση σε συνδυασμό με ένα συνελκτικό νευρωνικό δίκτυο για την ταξινόμηση τριών τύπων ανωμαλίας σε εκτρεφόμενους ιχθύες με ποσοστό ακρίβειας 98,94%. Ταυτόχρονα, οι Darapaneni *et al.*, (2022) πρότειναν ένα σύστημα για την έγκαιρη ανίχνευση εστιών ασθενειών που βασίζεται σε υποβρύχιες κάμερες για τη λήψη εικόνων που θα αναλυθούν μέσω ενός μοντέλου τεχνητής νοημοσύνης.

Πίνακας 4. Εμπορικά διαθέσιμες εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης (Πηγή: Gladju *et al.*, 2022).

Εφαρμογή	Ιδρυτής
Παρακολούθηση και έλεγχος του ρυθμού σίτισης	Observe Technologies
Παρακολούθηση και έλεγχος της ποιότητας νερού	eFishery Feeder Real Tech- Liquid AI Umitron-CELI, FAI & EAGLE AQ1 feeding systems
Παρακολούθηση της βιομάζας και του ρυθμού αύξησης	AquaManager Osmo Systems- Osmobot Siemens Xpert Sea- Xpert count
Παρακολούθηση και πρόβλεψη εκδήλωσης ασθένειας	AquaScan AquaCloud
Παρακολούθηση της συμπεριφοράς	Biosort- iFarm Cage- Eye

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ - ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Η παρακολούθηση συνεχώς των παραμέτρων των ιχθύων όπως η αφθονία, η ποσότητα, το μέγεθος και το βάρος κατά τη διαχείριση της μονάδας είναι εξέχουσας σημασίας (Franca Albuquerque *et al.*, 2019). Η ποσοτική εκτίμηση της βιομάζας των ιχθύων αποτελεί τη βάση των επιστημονικών στρατηγικών διαχείρισης και διατήρησης της βιώσιμης παραγωγής ιχθύων (Zion 2012). Ωστόσο, είναι δύσκολο να εκτιμηθεί η βιομάζα των ψαριών χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση γιατί τα ψάρια είναι ευαίσθητα και κινούνται ελεύθερα μέσα σε ένα περιβάλλον όπου η ορατότητα, ο φωτισμός και η σταθερότητα είναι συνήθως ανεξέλεγκτη (Li *et al.*, 2019). Οι πρόσφατες εφαρμογές του DL στην επιστήμη της αλιείας προσφέρουν πολλά υποσχόμενες ευκαιρίες για μαζική δειγματοληψία στην έξυπνη ιχθυοκαλλιέργεια. Η μηχανική όραση σε συνδυασμό με το DL μπορεί να επιτρέψει περισσότερες ακριβείς εκτιμήσεις των μορφολογικών χαρακτηριστικών των ψαριών όπως μήκος, πλάτος, βάρος και επιφάνεια. Για παράδειγμα, η αρχιτεκτονική Mask R-CNN χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση του μεγέθους των *Pollachius virens*, *Micromesistius poutassou*, *Sebastes spp.*, *Scomber scombrus*, *Etmopterus spinax*, *Trisopterus esmarkii*, *Clupea harengus* (Garcia *et al.*, 2019). Άλλη μέθοδος για την έμμεση εκτίμηση του μεγέθους των ψαριών

είναι πρώτα να εντοπιστεί το κεφάλι και η ουρά του ψαριού με μοντέλο DL και μετά να υπολογιστεί το μήκος των ψαριών σε αυτή τη βάση, αν και αυτή η προσέγγιση αυξάνει τον φόρτο εργασίας (Tseng *et al.*, 2020). Η ηλικιακή δομή ενός ιχθυοτροφείου είναι ένα άλλο σημαντικό στοιχείο για τα μοντέλα αξιολόγησης της αλιείας. Η τρέχουσα μέθοδος για τον προσδιορισμό της δομής ηλικίας ομάδων ψαριών βασίζεται σε εγχειρίδιο εκτίμησης της ωτολιθικής ηλικίας, η οποία είναι έντασης εργασίας και διαδικασία που εξαρτάται από την εμπειρογνωμοσύνη. Χρησιμοποιώντας μια προσέγγιση DL, η αναγνώριση μπορεί αντ' αυτού να πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας ένα προ εκπαιδευμένο CNN για την εκτίμηση της ηλικίας των ψαριών από εικόνες ωτόλιθου. Η παρακολούθηση της βιομάζας των ιχθύων που περιλαμβάνει την εκτίμηση του βάρους, του μήκους, της αφθονίας καθίσταται απαραίτητη από το στάδιο των ιχθυδίων μέχρι το στάδιο απόκτησης εμπορικού μεγέθους (Franca Albuquerque *et al.*, 2019; Wu *et al.*, 2022). Η ποσοτική εκτίμηση της βιομάζας αποτελεί τη βάση για τη διαχείριση και τη διατήρηση της αειφόρου παραγωγής ψαριών. Ωστόσο, είναι δύσκολο να εκτιμηθεί η βιομάζα χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση γιατί τα ψάρια είναι ευαίσθητα και κινούνται ελεύθερα μέσα σε ένα περιβάλλον όπου η ορατότητα, ο φωτισμός και η σταθερότητα είναι συνήθως ανεξέλεγκτα. Η τεχνητή νοημοσύνη καθίσταται ωφέλιμη για την εκτίμηση της βιομάζας και τον έλεγχο των ιχθυαποθεμάτων και έχουν αναπτυχθεί αρκετές μελέτες για την εφαρμογή της (Πίνακας 5). Συγκεκριμένα, στα πλαίσια του εκκολαπτηρίου, έχουν αναπτυχθεί υποβρύχιες κάμερες που χρησιμοποιούν μια μηχανή τεχνητής νοημοσύνης που λαμβάνει δείγματα ιχθυδίων από μια δεξαμενή και υπολογίζει μέγεθος και βάρος του καθενός. Χρησιμοποιώντας αποθηκευμένα βιολογικά δεδομένα, η συσκευή υπολογίζει τη συνολική βιομάζας στη δεξαμενή, συμβάλλοντας στον προσδιορισμό των μοντέλων σίτισης αλλά και του εύρους μεγέθους των ψαριών. Όλο

και περισσότερο, συσκευές όπως αυτή θα συνοδεύονται από ενσωμάτωση κινητής τηλεφωνίας, επιτρέποντας τον απομακρυσμένο έλεγχο χρησιμοποιώντας κινητές συσκευές (Arellano, 2021). Επιπλέον, η καταμέτρηση των προνυμφών είναι απαραίτητη για την παρακολούθηση του ρυθμού ανάπτυξης. Ωστόσο, στην περίπτωση των οπτικών εκτιμήσεων, η διαδικασία είναι χρονοβόρα και προκύπτουν απώλειες από τις υπερεκτιμημένες ή υποτιμημένες μετρήσεις. Επομένως, η αυτοματοποίηση της καταμέτρησης των προνυμφών ψαριών θα καθιστούσε τη διαδικασία πιο ακριβή (Ferreira *et al.*, 2019). Σύμφωνα με τους Celso *et al.*, (2022), πραγματοποιήθηκε μελέτη ανίχνευσης και καταμέτρησης προνυμφών του είδους *Oreochromis niloticus* σε εικόνες που καταγράφηκαν από κάμερες smartphone, εφαρμόζοντας την τεχνολογία της βαθιάς μάθησης, συγκεκριμένα των νευρωνικών δικτύων. Επίσης πρόσφατα, οι Gonçalves *et al.*, (2022) περιέγραψαν τη χρήση ενός συνελκτικού νευρωνικού δικτύου για την καταμέτρηση ιχθυδίων στηριζόμενο σε διαδοχικές εικόνες που επέτρεπαν την απαρίθμηση τους ακόμα και όταν δύο ή περισσότερα ψάρια βρίσκονταν σε επαφή.

Πίνακας 5. Εφαρμογές για την εκτίμηση της βιομάζας

Τεχνητή νοημοσύνη	Εφαρμογή	Βιβλιογραφική Αναφορά
Σύστημα στερεοόρασης με συγχρονισμένες συγκλίνουσες κάμερες για την εκτέλεση τρισδιάστατης τμηματοποίησης ψαριών με αντιστάθμιση φωτισμού	Προσδιορισμός βάρους από το υπολογισμένο μήκος, χρησιμοποιώντας τις βασικές σχέσεις μήκους-βάρους	Dios and Serna 2003
Σύστημα οπτικής εμβέλειας διπλής υποβρύχιας κάμερας χρησιμοποιώντας νευρωνικό δίκτυο, γεωμετρικό αλγόριθμο και ανάλυση Fourier.	Απομακρυσμένη παρακολούθηση του ρυθμού ανάπτυξης ψαριών, εξάγοντας δεδομένα και μεγέθους	Costa <i>et al.</i> , 2006
Σύστημα όρασης υπολογιστή σε	Μέτρηση της περιοχής σώματος, του μήκους και του ύψους	Fernandes <i>et al.</i> , 2020

συνδυασμό με δίκτυα βαθιάς εκμάθησης		
---	--	--

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΙΔΩΝ

Τα ψάρια είναι ποικίλα, με περισσότερα από 33.000 είδη (Oosting *et al.*, 2019). Στην υδατοκαλλιέργεια, η ταξινόμηση των ειδών είναι χρήσιμη για την πρόβλεψη απόδοσης, τη διαχείριση της παραγωγής και την παρακολούθηση του οικοσυστήματος (Alcaraz *et al.*, 2015). Τα είδη ψαριών συνήθως διακρίνονται από οπτικά χαρακτηριστικά όπως το μέγεθος, το σχήμα και το χρώμα (Hu *et al.*, 2012). Ωστόσο, λόγω αλλαγών στην ένταση του φωτός και στην κίνηση των ψαριών, καθώς και ομοιότητες στα σχήματα και τα σχέδια μεταξύ των διαφορετικών ειδών, η ακριβής ταξινόμηση των ειδών ψαριών καθίσταται πρόκληση. Τα μοντέλα DL μπορούν να μάθουν μοναδικά οπτικά χαρακτηριστικά ειδών που δεν είναι ευαίσθητα σε περιβαλλοντικές αλλαγές και παραλλαγές. Λαμβάνοντας ως παράδειγμα ένα δεδομένο υποβρύχιο βίντεο, μια μονάδα ανίχνευσης αντικειμένων δημιουργεί πρώτα ένα σειρά προτάσεων patch για κάθε πλαίσιο. Κάθε patch στη συνέχεια χρησιμοποιείται ως είσοδος στον ταξινομητή και λαμβάνεται ένα διάνυσμα κατανομής ετικέτας. Οι ετικέτες με την υψηλότερη πιθανότητα θεωρούνται οι ετικέτες αυτών των patches. Ένα μοντέλο DL μπορεί να διακρίνει καλύτερα τις διαφορές στα χαρακτηριστικά, τις κατηγορίες και το περιβάλλον, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή των χαρακτηριστικών των ψαριών-στόχων από μια εικόνα. Τα είδη ψαριών μπορούν να ταξινομηθούν για τον εντοπισμό πολλών βασικών μορφολογικών χαρακτηριστικών. Τα περισσότερα από τα μοντέλα DL παρουσιάζουν καλύτερα αποτελέσματα σε σύγκριση με τις παραδοσιακές προσεγγίσεις, επιτυγχάνοντας ακρίβεια ταξινόμησης άνω του 90%

στα σύνολα δεδομένων ψαριών αναφοράς Life CLEF 14 και Life CLEF 15 (Ahmad *et al.*, 2016).

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΒΓΩΝ

Στο εκκολαπτήριο, ο διαχωρισμός των μη υγιών ή νεκρών αυγών και προνυμφών από τα βιώσιμα γίνεται υποχρεωτικά με επίπונες και λιγότερο αξιόπιστες χειροκίνητες ή ημιαυτόματες μεθόδους. Γι' αυτό, αναπτύχθηκε και αξιολογήθηκε ένα ευφρές σύστημα βασισμένο σε ανάλυση χαρακτηριστικών εικόνων χρησιμοποιώντας νευρωνικό δίκτυο πολλαπλών στρωμάτων και αλγόριθμους για την ακριβή αναγνώριση και τον διαχωρισμό ζωντανών γονιμοποιημένων και νεκρών αυγών της πέστροφας (*Onchorhynchus mykiss*) (Rohani *et al.*, 2019). Ο συνδυασμός τέτοιου λογισμικού επεξεργασίας εικόνας με συστήματα μηχανικής μπορεί να αποδειχθεί ιδιαίτερα χρήσιμος για τη διαλογή των αυγών σε εκκολαπτήρια παραγωγής μεγάλης κλίμακας.

ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

Ο έλεγχος του εξοπλισμού παραγωγής θαλασσινού νερού σε βάθος πραγματοποιείται κυρίως από δύτες. Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας τεχνητής νοημοσύνης και αισθητήρων, αναπτύχθηκε η υποβρύχια επιθεώρηση με ρομπότ. Πρόκειται για μια τεχνική αποτελεσματική, αξιόπιστη που διακρίνεται από μεγαλύτερη ταχύτητα συγκριτικά με την παραδοσιακή μέθοδο ελέγχου (Wu *et al.*, 2022).

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Το βασικό πλεονέκτημα του DL στην υδατοκαλλιέργεια είναι ότι τα μοντέλα DL αποδίδουν καλύτερα από τις παραδοσιακές μεθόδους. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο ότι οι παραδοσιακοί αλγόριθμοι μηχανικής εκμάθησης απαιτούν τη μη αυτόματη

λειτουργία εξαγωγής από εικόνες. Η μη αυτόματη επιλογή χαρακτηριστικών είναι μια επίπονη προσέγγιση και το αποτέλεσμα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό τόσο από την τύχη όσο και από την εμπειρία (Mohanty *et al.*, 2016). Αντίθετα, ένας αλγόριθμος DL μπορεί αυτόματα να μάθει και να εξάγει τα βασικά χαρακτηριστικά από εικόνες σε ένα δείγμα δεδομένων. Τέτοιοι αλγόριθμοι προσφέρουν υψηλή ακρίβεια και ισχυρή σταθερότητα για ακανόνιστη αναγνώριση στόχων σε σύνθετα περιβάλλοντα (Daoliang and Jianhua, 2018) και μπορούν να μάθουν αποτελεσματικά αντιστοιχίσεις και συσχετίσεις μεταξύ ενός δείγματος και αντικειμένων από αυτό το δείγμα. Επιπλέον, μπορούν να μάθουν χρήσιμες λειτουργίες αυτόματα χρησιμοποιώντας μια διαδικασία μάθησης γενικού σκοπού. Για παράδειγμα, στην αναγνώριση ψαριών, ένα μοντέλο DL μπορεί να εξάγει αποτελεσματικά βασικά χαρακτηριστικά ψαριών. Τέτοια μοντέλα έχουν δείξει ισχυρή σταθερότητα κάτω από δύσκολες συνθήκες όπως ο χαμηλός φωτισμός και ο έντονος θόρυβος και αποδίδουν καλύτερα από τις παραδοσιακές μεθόδους εξαγωγής τεχνητών χαρακτηριστικών (Sun *et al.*, 2018). Σε έρευνα ανάλυσης συμπεριφοράς, ένα μοντέλο DL μπορεί να αντιμετωπίσει αποτελεσματικά προβλήματα που σχετίζονται με την απόφραξη (Wang *et al.*, 2017). Επιπλέον, ένα μοντέλο DL μπορεί να χρησιμοποιηθεί όχι μόνο για την παρακολούθηση άγνωστων αντικειμένων ή ανωμαλιών αλλά και να προβλέπει παραμέτρους όπως η ποιότητα του νερού. Αν και τα μοντέλα DL απαιτούν περισσότερη υπολογιστική ισχύ και μεγαλύτερους χρόνους εκπαίδευσης από τις παραδοσιακές μεθόδους (όπως οι μέθοδοι SVM κ.ά.), μετά την ολοκλήρωση της εκπαίδευσης, τα μοντέλα είναι εξαιρετικά αποτελεσματικά στην εκτέλεση εργασιών δοκιμής. Για παράδειγμα, σε μια μελέτη αναγνώρισης ψαριών (Villon *et al.*, 2018), χρησιμοποιώντας 900.000 εικόνες, η εκπαιδευτική διαδικασία διήρκεσε 8 ημέρες σε υπολογιστή με 64 GB RAM, επεξεργαστής i7 @3,50 GHz και κάρτα Titan X GPU. Ωστόσο, μετά την ολοκλήρωση της εκπαίδευσης, ο χρόνος αναγνώρισης για κάθε καρτέ

ήταν μόνο 0,06 δευτερόλεπτα. Σε μια μελέτη των Ahmad *et al.* (2016), για εκπαίδευση του CNN, το μοντέλο απαιτούσε 5~6 ώρες χωρίς υλοποίηση GPU. Ωστόσο, κατά τη διάρκεια της δοκιμής, για κάθε ψάρι εικόνα απαιτείται μόνο περίπου 1 ms για ταξινόμηση, καθιστώντας αυτό το μοντέλο πλήρως συμβατό με τις ανάγκες επεξεργασίας σε πραγματικό χρόνο.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Προς το παρόν, η τεχνολογία DL βρίσκεται ακόμη σε αδύναμο στάδιο AI (Lu *et al.*, 2018), και ενώ τα αδύναμα συστήματα AI μπορούν να προσομοιώσουν τις λειτουργίες του νου μέσω ενός υπολογιστικού συστήματος ωστόσο, δεν μπορούν ακόμη αναδημιουργήσουν τεχνητά ένα μυαλό (Di Nucci and McHugh, 2006). Η ικανότητα των μοντέλων DL να μαθαίνουν συνεχώς και να βελτιώνονται είναι ακόμα πολύ αδύναμη. Στην έξυπνη ιχθυοκαλλιέργεια, τα μοντέλα DL χρησιμοποιούνται μόνο ως «μαύρα κουτιά». Επειδή τα μοντέλα DL εξαρτώνται υπερβολικά από δεδομένα δείγματος και έχουν χαμηλή ερμηνευτικότητα, μπορούν συνήθως να αποκτούν εμπειρία μόνο από ένα συγκεκριμένο σύνολο δεδομένων. Επιπλέον, όταν αντιμετωπίζουν μη ισορροπημένη εκπαίδευση στα δεδομένα, τα περισσότερα μοντέλα τείνουν να αγνοούν ορισμένα σημαντικά χαρακτηριστικά (Zhang and Zhu, 2018).

Ένα από τα πιο σημαντικά μειονεκτήματα του DL είναι ο μεγάλος όγκος δεδομένων (ελλιπή στοιχεία) που απαιτείται κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης. Για παράδειγμα, όταν χρησιμοποιείται το DL για τον προσδιορισμό του μεγέθους των λαρβών, όχι μόνο είναι πολλά είδη ψαριών αλλά το σχήμα του σώματός τους και η στάση κάθε σταδίου ανάπτυξης είναι επίσης αρκετά διαφορετικά. Ωστόσο, στην παραδοσιακή αλιεία, δεν υπάρχουν τέτοια σύνολα δεδομένων ή τα διαθέσιμα σύνολα δεδομένων δεν είναι επαρκώς ολοκληρωμένα, με αποτέλεσμα σε αυτό το αρχικό στάδιο απομένει να γίνει

πολλή βασική εργασία συλλογής δεδομένων. Αν και η τεχνολογία αύξησης δεδομένων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προσθήκη ορισμένων δειγμάτων με ετικέτα σε ένα υπάρχον σύνολο δεδομένων, όταν αντιμετωπίζουμε σύνθετα προβλήματα (π.χ. προβλήματα πολλαπλών τάξεων με υψηλή ακρίβεια απαιτήσεις), απαιτούνται περισσότερα διαφοροποιημένα δεδομένα εκπαίδευσης για τη βελτίωση της ακρίβειας (Patrício and Rieder, 2018).

Επειδή ο σχολιασμός δεδομένων είναι μια απαραίτητη λειτουργία στις περισσότερες περιπτώσεις, ορισμένες σύνθετες εργασίες απαιτούν ειδικούς να επιτηρούν τα δεδομένα και αυτοί οι ειδικοί εθελοντές είναι επιρρεπείς σε λάθη κατά τη διάρκεια του σχολιασμού δεδομένων, ειδικά για απαιτητικές εργασίες, όπως η αναγνώριση ειδών ψαριών (Hanbury, 2008; Bhagat and Choudhary, 2018). Επιπλέον, η προ επεξεργασία C δεδομένων είναι συχνά μια απαραίτητη και χρονοβόρα εργασία στο DL, είτε για δεδομένα εικόνας ή κειμένου (Choi *et al.*, 2018). Επιπλέον, ορισμένα υπάρχοντα σύνολα δεδομένων δεν αντιπροσωπεύουν πλήρως το πρόβλημα στο οποίο προσανατολίζονται. Τέλος, στον τομέα της έξυπνης ιχθυοκαλλιέργειας, οι ερευνητές δεν έχουν πρόσβαση σε πολλά δημόσια διαθέσιμα σύνολα δεδομένων, έτσι, σε πολλές περιπτώσεις, χρειάζεται να αναπτύξουν σύνολα εικόνων, τα οποία μπορεί να χρειαστούν ώρες ή ημέρες εργασίας.

Ένα άλλο μεγάλο μειονέκτημα είναι το υψηλό κόστος. Οι αισθητήρες πρέπει να αναπτύσσονται κατά τη συλλογή δεδομένων, κάνοντας την επένδυση κόστους από νωρίς στάδιο ουσιαστικό. Ένας άλλος περιορισμός είναι ότι τα μοντέλα DL απαιτούν υψηλά επίπεδα υπολογιστικής ισχύος. Είναι γεγονός ότι οι διαθέσιμες κοινές CPU συνήθως δεν μπορούν να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις της DL (Shi *et al.*, 2016). Αντίθετα, οι GPU και οι μονάδες επεξεργασίας (TPU) είναι οι κύριες πηγές

υπολογιστικής ισχύος κατάλληλες για DL. Κατά συνέπεια, οι απαιτήσεις υλικού είναι πολύ υψηλές και το κόστος είναι επίσης αρκετά υψηλό (Wei and Brooks, 2019). Ακόμη ελλείπει των αναμενόμενων αποτελεσμάτων, είναι πιο δύσκολο να πειστούν οι επιχειρηματίες να κάνουν επενδύσεις στην έξυπνη βιομηχανία αναπαραγωγής, κάτι που ισχύει σε κάθε χώρα.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΞΥΠΝΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ - Η ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΗΤΗΣ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗΣ ΣΤΗΝ ΙΧΘΥΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ

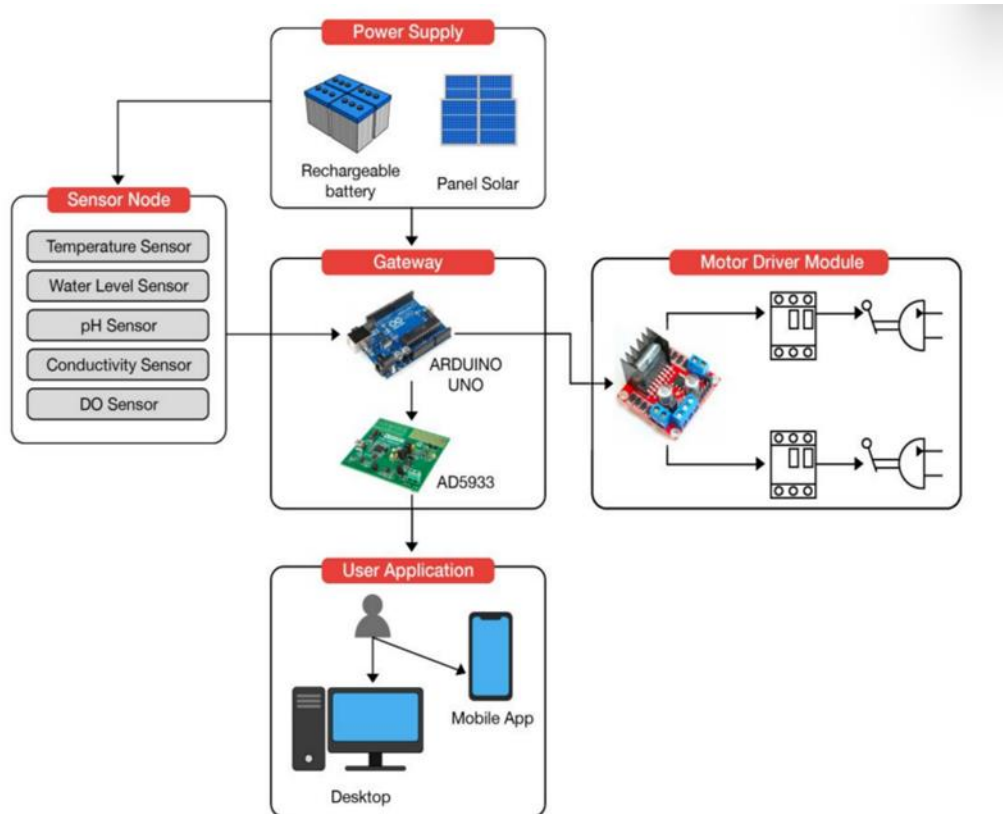
Ο κλάδος της ιχθυοκαλλιέργειας δεν θα μπορούσε να μην επωφεληθεί από τις τεχνολογικές εξελίξεις που προέκυψαν στο τομέα της τεχνητής νοημοσύνης. Εξάλλου, η ίδια η φύση του κλάδου (υποβρύχιες εκτροφές, συχνές αντίξοες συνθήκες, διαφορετική επαφή με τον εκτρεφόμενο οργανισμό σε σχέση με τα χερσαία ζώα) έχει ανάγκη τέτοιες τεχνολογίες εάν θέλει να αναπτυχθεί περαιτέρω.

Η τεχνητή νοημοσύνη όσον αφορά την ιχθυοκαλλιέργεια εφαρμόζεται κυρίως σε πέντε μέτωπα: στη ποιότητα του νερού εκτροφής, στην ανακύκλωση του νερού (αφορά ιχθυοκαλλιέργειες κλειστού τύπου), στη σίτιση των ιχθύων, στη μεταφορά και τον εντοπισμό των ιχθύων μετά την εξαλίευση, καθώς και στην ευζωία των ιχθύων (Bernal-Higuera *et al.*, 2023).

Αναλόγως την περίπτωση, ο απαραίτητος εξοπλισμός για την εφαρμογή των νέων τεχνολογιών μπορεί να μεταβληθεί. Κάτι το οποίο είναι φυσιολογικό μιας και η τεχνητή νοημοσύνη έχει τη δυνατότητα να φτάσει σε λογικά συμπεράσματα και να προτείνει δράσεις (μερικές φορές υπάρχει η δυνατότητα αυτούσιας απόφασης), χρειάζονται όμως τα κατάλληλα εργαλεία για να υπάρξουν σωστές μετρήσεις και παρατηρήσεις. Μέσα από αυτές τις παρατηρήσεις το πρόγραμμα της τεχνητής νοημοσύνης θα μπορεί να αντλήσει τις πληροφορίες που χρειάζεται.

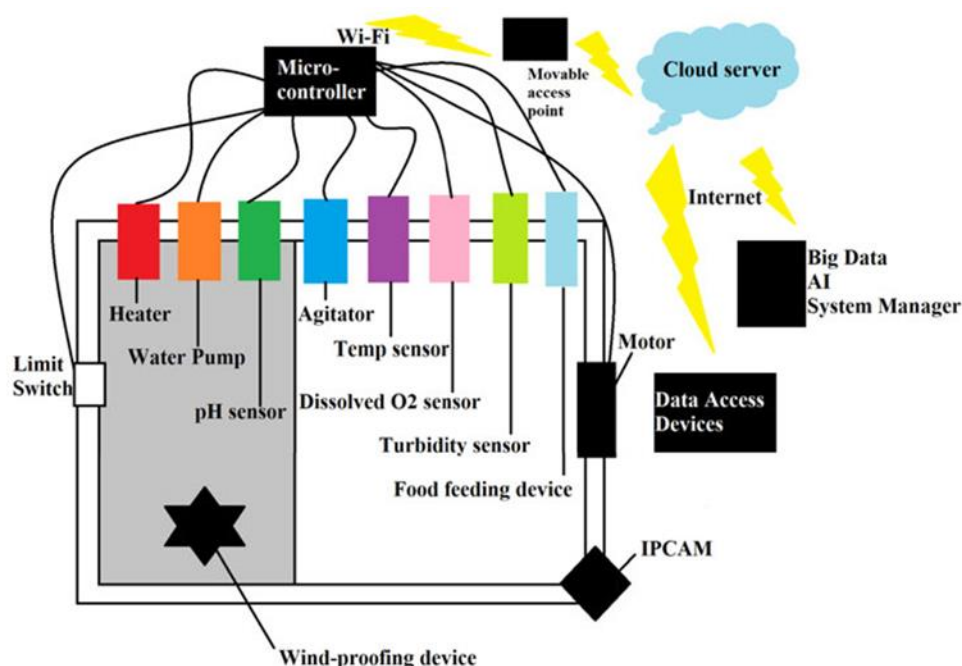
Προχωρώντας στο πρακτικό κομμάτι της εφαρμογής, θα αναφερθούν διάφορα παραδείγματα τα οποία αντλήθηκαν από τη μελέτη της υπάρχουσας βιβλιογραφίας.

Το έξυπνο σύστημα ιχθυοκαλλιέργειας που προτείνεται από τους Chiu *et al.* (2022) στην λίμνη California Bass στην Ταιβάν φαίνεται στην Εικόνα 11.



Εικόνα 11 : Σύστημα παρακολούθησης ποιότητας νερού IoT (Πηγή: Chiu *et al.* (2022)).

Η προτεινόμενη έξυπνη εκτροφή ψαριών περιλαμβάνει αρκετούς αισθητήρες όπως αισθητήρα διαλυμένου οξυγόνου, αισθητήρα pH, αισθητήρα θολότητας και αισθητήρα θερμοκρασίας. Η πηγή θερμότητας, η αντλία και ο αισθητήρας pH είναι υπό την προστασία της αντιανεμικής συσκευής καθ' όλη τη λειτουργία. Άλλες συσκευές που αλληλεπιδρούν απευθείας με τη λίμνη χωρίς την προστασία της αντιανεμικής συσκευής είναι η συσκευή τροφοδοσίας, ο αισθητήρας θολότητας, ο αισθητήρας διαλυμένου οξυγόνου, ο αισθητήρας θερμοκρασίας και ο αναδευτήρας. Η θερμάστρα, η αντλία νερού, ο οριακός διακόπτης, όλοι οι αισθητήρες, η συσκευή τροφοδοσίας τροφίμων, το IPCAM, ο κινητήρας και ο αναδευτήρας είναι καθοδηγούνται από έναν μικροελεγκτή, δηλαδή το Arduino Mega2560 με ενσωματωμένη μονάδα Wi-Fi για παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο.



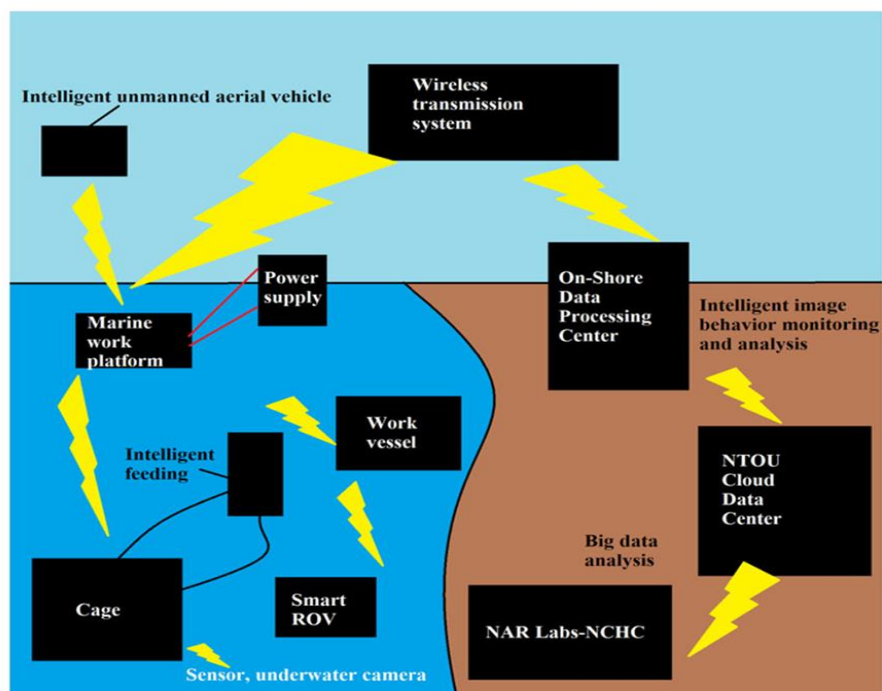
Εικόνα 12 : Το έξυπνο σύστημα ιχθυοκαλλιέργειας που προτείνεται από τους Chiu *et al.*, (2022) στην Ταϊβάν. (Πηγή: Lim, 2023).

Στο ευφυές σύστημα υδατοκαλλιέργειας σε κλουβιά που προτείνεται από τους Chang *et al.* (2021) στην Ταϊβάν (Εικόνα 12). Τα ψάρια του ωκεανού εκτράφηκαν μέσα σε ένα έξυπνο κλουβί AIoT βυθισμένο κάτω από τη θάλασσα, εξοπλισμένο με υποβρύχια κάμερα, ενσωματωμένους αισθητήρες και ένα σύστημα επικοινωνίας.

Όλα τα δεδομένα συλλέχθηκαν μέσω ενός έξυπνου οχήματος ROV, μη επανδρωμένο εναέριο όχημα ενσωματωμένα σε σύστημα Omni IoT. Αυτό το σύστημα είναι ικανό να καθοδηγεί τον έξυπνο αλγόριθμο παράδοσης φαγητού αυτόματα. Όλα τα δεδομένα αποθηκεύτηκαν σε ένα cloud διασυνδεδεμένο με το χερσαίο κέντρο επεξεργασίας δεδομένων. Το κέντρο δεδομένων cloud που χρησιμοποιείται ανήκε σε αυτό του National Taiwan Ocean University.

Οι Chang *et al.*, (2021) ανέπτυξαν ένα σύστημα "έξυπνης" ιχθυοκαλλιέργειας, το οποίο μπορεί, με τη χρήση τεχνητής νοημοσύνης και εργαλείων παρατήρησης όπως κάμερες,

αισθητήρες, ROV κ.α., να υπολογίσει το συσχετισμό της κίνησης των εκτρεφόμενων ιχθύων κατά τη χορήγηση τροφής με τη ποσότητα που πρέπει να χορηγηθεί, και σε συνδυασμό με περιβαλλοντικές παραμέτρους να χορηγήσει αυτόματα όση ποσότητα χρειάζεται (Εικόνα 13). Το πρόγραμμα τεχνητής νοημοσύνης που αναπτύχθηκε ήταν επίσης ικανό να μετρήσει το μήκος και το βάρος κάθε ιχθύ με ακρίβεια που φτάνει το 90%.



Εικόνα 13 : Το ευφυές σύστημα υδατοκαλλιέργειας σε κλουβιά που προτείνεται από τους Chang *et al.*, (2021) στην Ταϊβάν. (Πηγή: Lim, 2023).

Οι Chiu *et al.*, (2022) ανέπτυξαν ένα παρόμοιο σύστημα έξυπνης ιχθυοκαλλιέργειας, το οποίο παρέχει τη δυνατότητα καταγραφής δεδομένων φυσικοχημικών παραμέτρων σε πραγματικό χρόνο και την ανάρτηση των δεδομένων αυτών στο cloud για πιο γρήγορη επεξεργασία των δεδομένων από το πρόγραμμα τεχνητής νοημοσύνης DL που ανέπτυξαν. Επίσης, το εν λόγω πρόγραμμα τεχνητής νοημοσύνης έχει την ικανότητα

να υπολογίσει με βάση τα δεδομένα την μέση ανάπτυξη των εκτρεφόμενων ιχθύων και να προσαρμόσει τη ποσότητα χορηγούμενης τροφής.

Οι Li *et al.*, (2022) μελέτησαν τέσσερις διαφορετικές τεχνικές ML (Back Propagation Neural Network/BPNN, Radial Basis Function Neural Network/RBFNN, Support Vector Machine/SVM, Least Squares Support Vector Machine/LSSVM) με σκοπό να συγκρίνουν την ικανότητα του κάθε προγράμματος να προβλέπει με ακρίβεια τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού (pH, αμμωνία και τα παράγωγά της, διαλυμένο οξυγόνο). Μέσα από τις συγκρίσεις τους προέκυψε ότι το πρόγραμμα SVM είχε ποσοστό ακρίβειας στις προβλέψεις στο 99%.

Οι Ranjan *et al.*, (2023) συνδύασαν υποβρύχιες κάμερες με τροποποιημένο πρόγραμμα τεχνητής νοημοσύνης YOLOv7, έχοντας ως σκοπό τη δημιουργία συστήματος καταμέτρησης νεκρών ψαριών σε κλειστά συστήματα RAS. Χρησιμοποιώντας συλλογή φωτογραφιών που συλλέξαν μέσα από το κλειστό σύστημα για ενενήντα ημέρες, σε διαφορετικές συνθήκες φωτισμού, εκπαιδύσαν, επαληθεύσαν και δοκίμασαν την αποτελεσματικότητα που είχε το σύστημα στον ορθό εντοπισμό των νεκρών ιχθύων. Η μέση ακρίβεια του συστήματος για όλες τις συνθήκες φωτισμού συνδυαστικά έφτασε το 93.4%, και το σκορ F1 το 0.89. Το συγκεκριμένο σύστημα παρέχει επίσης τη δυνατότητα αποστολής email και μηνυμάτων για απευθείας ειδοποίηση εάν η θνησιμότητα παρέκκλινε του φυσιολογικού.

Οι Gonçalves *et al.*, (2022) ανέπτυξαν, εκμεταλλευόμενοι τεχνητή νοημοσύνη που λειτουργεί με Convolutional Neural Networks (CNN), ένα πρόγραμμα το οποίο είναι ικανό να καταμετρήσει τα ιχθυόδια μιας δεξαμενής με τη χρήση εικόνων. Εκπαιδύοντας το πρόγραμμα να προβλέπει τη πιθανότητα εμφάνισης ενός ιχθυοδίου σε κάποιο pixel αλλά και τις πιθανές κινήσεις των ιχθυοδίων μέσα στη δεξαμενή, καταφέραν να έχουν

αποτελέσματα F1 ίσα και μεγαλύτερα του 95.42, ανάλογα με τον αριθμό των ιχθυδίων σε κάθε φωτογραφία (από ένα έως δέκα). Επίσης, στις περισσότερες περιπτώσεις, το πρόγραμμα ήταν ικανό να εντοπίσει εάν υπήρχε επαφή μεταξύ δύο ή και περισσότερων ιχθυδίων, κάτι το οποίο αποτελούσε μεγάλη πρόκληση για την επιτυχή εφαρμογή του.

Τα παραδείγματα που αναφέρθηκαν προηγουμένως είναι μόνο κάποια από τα υπό ανάπτυξη που υπάρχουν παγκοσμίως και αποσκοπούν στη βελτίωση του κλάδου της ιχθυοκαλλιέργειας. Όπως κάθε νέα τεχνολογία που αναπτύσσεται και εφαρμόζεται για πρώτη φορά, η χρήση της τεχνητής νοημοσύνης στην ιχθυοκαλλιέργεια έχει τόσο θετικά, όσο και αρνητικά. Οι προοπτικές που προσφέρονται μελλοντικά, εάν η τεχνολογία αυτή μελετηθεί και εφαρμοστεί σωστά και στοχευμένα, είναι υψηλότερες και μπορούν να αποτελέσουν εφαλτήριο για τον κλάδο και τη δημιουργία ιχθυοκαλλιεργειών ακριβείας.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΔΙΑΘΕΣΙΜΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΠΟΥ ΜΠΟΡΟΥΝ ΝΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΘΟΥΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ

Η καινοτομία είναι γεγονός ότι δεν έχει μόνο θετικά. Δεν υπάρχει ακόμα εκτενής γνώση σχετικά με τη τεχνητή νοημοσύνη, όχι μόνο το κομμάτι που αφορά τις ιχθυοκαλλιέργειες αλλά και γενικά, μπορεί να οδηγήσει σε αστοχίες, και καχυποψία. Οι προοπτικές και το μέλλον της τεχνητής νοημοσύνης μπορεί να φαίνονται αβέβαια, ωστόσο αρκετοί έχουν κάνει ήδη το πρώτο βήμα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η καναδική εταιρεία ReelData AI που έχει αναπτύξει δύο προϊόντα για την υδατοκαλλιέργεια: το Reel Appetite για την παρακολούθηση και προσαρμογή της κατανάλωσης και της παροχής τροφής και το Reel Biomass που παρέχει εκτιμήσεις για την κατανομή μεγέθους και βάρους (Lutz, 2023). Παράλληλα, η εταιρεία Umitron Corporation με έδρα το Τόκιο, έχει αναπτύξει ένα σύστημα παρακολούθησης της κολυμβητικής συμπεριφοράς, για τη λήψη αποφάσεων σχετικά με την ποσότητα και τη

συχνότητα ταΐσματος σε κάθε κλωβό, βελτιώνοντας την αποτελεσματικότητα της μετατροπής της τροφής και περιορίζοντας τα υπολείμματα συγκριτικά με τον παραδοσιακό τρόπο σίτισης (Lutz, 2023).

Ο παγκόσμιος παραγωγός σολομού Cermaq έχει εστιάσει αρκετά χρόνια σε ένα σύστημα AI, με στόχο τη βελτίωση της υγείας και την ευζωία των ψαριών. Οι τρέχουσες δοκιμές σχετίζονται με τεχνολογίες αισθητήρων και αλγόριθμους μηχανικής μάθησης. Επίσης, η ανάπτυξη μεθόδων για την ταξινόμηση των ψαριών έχει καταστεί προτεραιότητα αποσκοπώντας στην παρακολούθηση και τη θεραπεία μεμονωμένων ψαριών (Lutz, 2023).

ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η μελέτη της τεχνητής νοημοσύνης δεν είναι κάτι νέο. Ήδη τα τελευταία 65 χρόνια διεξάγονται έρευνες και τεχνολογικές αναπτύξεις της τεχνητής νοημοσύνης, με εξαιρετικά αποτελέσματα και εφαρμογές σε διάφορους κλάδους, θεωρητικούς και πρακτικούς (Kaynak, 2021). Τα πλεονεκτήματα της εφαρμογής προγραμμάτων τεχνητής νοημοσύνης είναι πολλά και σε διαφορετικούς τομείς της ιχθυοκαλλιέργειας. Για παράδειγμα, έχοντας ένα εξειδικευμένο πρόγραμμα τεχνητής νοημοσύνης να καταμετρά την ύπαρξη νεκρών ατόμων σε πραγματικό χρόνο και να αξιολογεί εάν υπερβαίνουν του φυσιολογικού, μπορεί να υπάρξει έγκαιρη παρέμβαση μετά από ειδοποίηση του προγράμματος, φροντίζοντας έτσι για την ευζωία των εκτρεφόμενων ατόμων και αποτρέποντας μελλοντικές θνησιμότητες (Ranjan *et al.*, 2023). Επίσης, η χρήση τεχνητής νοημοσύνης μπορεί να συνεισφέρει και στην εξοικονόμηση τροφής, παρακολουθώντας την αναταραχή που υπάρχει στο νερό κατά τη τροφοληψία και σταματώντας το τάισμα μόλις η αναταραχή αυτή κοπάσει, με αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση της τροφής που δεν καταναλώνεται (Chang *et al.*, 2021). Η μείωση της απώλειας τροφής μπορεί να βοηθήσει τόσο στην εξοικονόμηση χρημάτων όσο και στη προστασία του περιβάλλοντος. Ακόμη, η τεχνητή νοημοσύνης μπορεί να βοηθήσει στη πρόληψη ασθενειών, προτού αυτές οδηγήσουν σε θανάτους. Η κατανομή κανονικών ατόμων ενός είδους και ατόμων με δυσμορφίες μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη χρήση τεχνητής νοημοσύνης, παρατηρώντας έτσι εάν υπάρχει μεγάλος αριθμός ατόμων με δυσμορφίες και επιλύοντας το πρόβλημα πριν επεκταθεί περισσότερο (Chen *et al.*, 2022).

Η τεχνητή νοημοσύνη πέρα από την αξιολόγηση μιας κατάστασης μπορεί να συνεισφέρει θετικά και στη πρόβλεψη συνθηκών, ανάπτυξης κ.α. Εάν υπάρχει για

παράδειγμα ανάλυση της συσχέτισης των συνθηκών εκτροφής με την ανάπτυξη των εκτρεφόμενων ιχθύων, ο εκτροφέας μπορεί να φροντίσει έτσι ώστε οι συνθήκες να είναι βέλτιστες, ενώ θα μπορεί και να τις κατηγοριοποιήσει ανάλογα με τη σημαντικότητά τους (Chiu *et al.*, 2022). Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τη πρόβλεψη μεταβολής των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών με βάση δεδομένα ερευνητικά αλλά και μετρήσεις πεδίου, δίνοντας τη δυνατότητα προσαρμογής και προετοιμασίας προτού υπάρξει αλλαγή των συνθηκών (Li *et al.*, 2022).

Πέρα από μετρήσεις και αξιολογήσεις, η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να προσφέρει μια γενική ανάπτυξη των αυτοματοποιήσεων σε μια ιχθυοκαλλιέργεια, δημιουργώντας έτσι ιδανικότερες και ασφαλέστερες συνθήκες εργασίας για εργαζόμενους σε ιχθυοκαλλιέργειες ανοιχτής θάλασσας, οι οποίες συχνά αντιμετωπίζουν αρκετά δυσμενείς καιρικές συνθήκες. Όπως προαναφέρθηκε, η χρήση της τεχνητής νοημοσύνης στον κλάδο της ιχθυοκαλλιέργειας είναι ακόμα στο πρωταρχικό στάδιο, με αποτέλεσμα να μην έχουν αντιμετωπιστεί ακόμα διάφορα προβλήματα τα οποία έχουν προκύψει. Ένα κύριο πρόβλημα, το οποίο υπάρχει στις περισσότερες καινοτόμες τεχνολογίες είναι το κόστος. Το κόστος εφαρμογής και λειτουργίας όχι μόνο των προγραμμάτων τεχνητής νοημοσύνης αλλά και του επιπρόσθετου απαραίτητου εξοπλισμού είναι προς το παρόν απαγορευτικό για τις περισσότερες ιχθυοκαλλιέργειες μικρής και μεσαίας κλίμακας (Vo *et al.*, 2021; Wu *et al.*, 2022).

Ακόμη ένα πρόβλημα αποτελεί η έλλειψη επαρκών δεδομένων. Η τεχνητή νοημοσύνη τύπου ML/DL χρειάζεται δεδομένα (κατά τον προγραμματισμό ή και κατά την εκπαίδευση της) για να μπορέσει να λειτουργήσει σωστά. Η έλλειψη των δεδομένων αυτών αποτελεί σημαντικό πρόβλημα, μπορεί να οδηγήσει σε ανακρίβειες κατά τη λειτουργία του προγράμματος, ενώ τίθεται ακόμα και θέμα ασφαλείας σχετικά με τα

δεδομένα που θα αποφασίσουν να μοιραστούν οι ιχθυοκαλλιέργειες για την ανάπτυξη της βάσης δεδομένων (Zhao *et al.*, 2021; Vo *et al.*, 2021; Gladju *et al.*, 2022).

Επίσης, σημασία έχει και η ποιότητα των δεδομένων που λαμβάνει ένα πρόγραμμα τεχνητής νοημοσύνης το οποίο καλείται να αξιολογήσει τις εισροές που δέχεται προτού προτείνει ή αποφασίσει. Για παράδειγμα, προγράμματα επεξεργασίας εικόνας και βίντεο, τα οποία μετατρέπουν την οπτική πληροφορία που λαμβάνουν μέσω καμερών σε δεδομένα, μπορεί να αντιμετωπίσουν πρόβλημα εάν η πληροφορία αυτή δεν έχει τη κατάλληλη ευκρίνεια, λόγω θολερότητας του νερού, βλάβης στον εξοπλισμό, αλλαγών στις συνθήκες φωτισμού κ.ο.κ. Μέχρι στιγμής, η πιο διαδεδομένη μορφή τεχνητής νοημοσύνης στη καθημερινότητα των ανθρώπων είναι η Artificial Narrow Intelligence (ANI), η οποία εφαρμόζεται σε συστήματα τα οποία απαιτούν απλά τη λύση ενός προβλήματος, με τις δυνατότητές της όμως να περιορίζονται ανάλογα με το άτομο που τις δημιούργησε (Jiang *et al.*, 2022). Δηλαδή, οποιαδήποτε εφαρμογή τεχνητής νοημοσύνης αυτού του τύπου θα επιτελέσει τις λειτουργίες που προκαθόρισε ένας άνθρωπος κατά τη δημιουργία της, με την ικανότητα της εφαρμογής να εξαρτάται από την ικανότητα του υπεύθυνου ανθρώπου να δημιουργήσει τον απαραίτητο κώδικα.

Ένα από τα χρησιμότερα σκέλη της ANI όσον αφορά και την ιχθυοκαλλιέργεια είναι το Machine Learning (ML). Ως ML ορίζεται η δυνατότητα ενός προγράμματος να δημιουργεί αυτόματα συσχετισμούς και μοτίβα μέσα από παραδείγματα και παρατηρήσεις, αντί να υπάρχει ήδη κωδικοποιημένη η γνώση μέσα στο πρόγραμμα (Bishop, 2006). Τα τελευταία χρόνια, η εξέλιξη και η έρευνα όσον αφορά το ML οδήγησε στην ανάπτυξη του Deep Learning (DL), αλγόριθμοι οι οποίοι θα έχουν ακόμα μεγαλύτερη δυνατότητα γνώσης σε σχέση με πριν (Goodfellow *et al.*, 2016; LeCun *et al.*, 2015), πλησιάζοντας την ανθρώπινη ικανότητα ή ακόμα και ξεπερνώντας τη σε

ορισμένες πειραματικές περιπτώσεις (Madani *et al.*, 2018; Silver *et al.*, 2018). Οι περισσότερες βιομηχανίες σήμερα αναζητούν τρόπους αυτοματοποίησης σε όλους τους τομείς της παραγωγικής διαδικασίας, από την αξιολόγηση των δεδομένων μέχρι την παραγωγή/προσφορά του αγαθού. Στόχος είναι η εξοικονόμηση χρημάτων, η παροχή φθηνότερων προϊόντων ή/και καλύτερων υπηρεσιών για τους καταναλωτές, η μείωση των απαιτούμενων πόρων που χρειάζονται για τη παραγωγή ενός αγαθού μέσω ακριβέστερων πρακτικών κ.α.

Τη λύση σε όλους αυτούς τους στόχους μπορεί να δώσει η τεχνητή νοημοσύνη, η οποία αναπτύσσεται ραγδαία τα τελευταία χρόνια, και προσφέρει πολλές δυνατότητες οι οποίες είναι ακόμα ανεξερεύνητες. Όπως προαναφέρθηκε, ένας από τους κλάδους που μπορεί να επωφεληθεί από τη τεχνητή νοημοσύνη είναι και αυτός των ιχθυοκαλλιέργειών. Η αυτοματοποίηση μπορεί να εφαρμοστεί σε τομείς όπως το τάισμα ή ο έλεγχος ροής του εισερχόμενου νερού σε κλειστά συστήματα ιχθυοκαλλιέργειας, εξαλείφοντας έτσι την εξάρτηση στον ανθρώπινο παράγοντα και στις αστοχίες που μπορεί να προκύψουν εξαιτίας αυτού. Επίσης, η αναλυτική δύναμη της τεχνητής νοημοσύνης, η οποία χρησιμεύει σε παραδείγματα που αναφερθήκαν προηγουμένως, είναι ένα εξαιρετικό εργαλείο για την παρατήρηση και ανάλυση των δεδομένων εκτροφής σε πραγματικό χρόνο, προσφέροντας τη δυνατότητα στους εκτροφείς να αποφασίζουν με πραγματικά δεδομένα εκείνη τη στιγμή και όχι εμπειρικά-αναδρομικά.

Θα πρέπει βέβαια να συνυπολογισθούν θέματα που είναι πιθανόν να προκύψουν εάν υπάρξει μεγαλύτερη εξάρτηση στην αυτοματοποίηση που προσφέρει η τεχνητή νοημοσύνη.

- Πως θα επηρεαστεί το εργατικό δυναμικό που απασχολείται στις ιχθυοκαλλιέργειες
- Πόσο αξιόπιστο μπορεί να είναι ένα πρόγραμμα τεχνητής νοημοσύνης εάν χρειαστεί να αντιμετωπίσει μια κατάσταση για την οποία δεν έχει αποκτήσει δεδομένα μέχρι στιγμής
- Τι έλεγχο πάνω στα προγράμματα αυτά θα έχουν οι εταιρίες που τα προμηθεύουν και πως θα διαχειρίζονται τα δεδομένα που θα αποκτά το εκάστοτε πρόγραμμα από την ιχθυοκαλλιέργεια που το χρησιμοποιεί
- Πως θα αντιμετωπιστεί η έλλειψη των αναγκαίων δεδομένων που υπάρχει αυτή τη στιγμή για διάφορους τομείς στην ιχθυοκαλλιέργεια, εάν οι εκτροφείς δεν εμπιστευτούν αυτή τη νέα τεχνολογία

Οι προκλήσεις που απορρέουν από τις τεχνολογίες της τεχνητής νοημοσύνης δεν εκλείπουν. Οι επενδύσεις είναι πολύ υψηλότερες αλλά και το κόστος των εξαρτημάτων που απαιτούνται για την επεξεργασία των συστημάτων, εξακολουθεί να είναι υψηλό, οι τάσεις βέβαια κόστους και οι νέες προσεγγίσεις, ενδέχεται μελλοντικά να καταστούν πιο προσιτές (Liu *et al.*, 2023). Δεν μπορεί ωστόσο να παραλειφτεί και η απειλή της ανεργίας για τους εργαζομένους, καθώς με την εδραίωση των τεχνολογιών της τεχνητής νοημοσύνης μεγεθύνεται το ενδεχόμενο μείωσης του προσωπικού (Chrispin *et al.*, 2020). Παρά τις προκλήσεις που σχετίζονται με τον όγκο, την πολυπλοκότητα, την ποιότητα και την ασφάλεια των δεδομένων, στο εγγύς μέλλον, η υιοθέτηση έξυπνων συστημάτων είναι αναπόφευκτη για την υδατοκαλλιέργεια. Η ανάγκη αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι διευκολύνει και επιταχύνει προληπτικές αποφάσεις και ενέργειες που θα μπορούσαν να αποτρέψουν απώλειες στην παραγωγή όπως και την ταχεία μείωση των ιχθυοπληθυσμών λόγω της υποκειμενικής ανθρώπινης εμπειρίας και των σφαλμάτων (Mustapha *et al.*, 2021).

Χρειάζονται ακόμα αρκετά βήματα έτσι ώστε η τεχνητή νοημοσύνη να υιοθετηθεί σε μεγάλη κλίμακα από τον κλάδο. Μείωση του κόστους εφαρμογής, απόκτηση εμπιστοσύνης από τους εκτροφείς όσον αφορά την ικανότητα να χρησιμοποιηθούν τέτοια εργαλεία στην ιχθυοκαλλιέργεια επιτυχώς, ανάπτυξη ισχυρότερων προγραμμάτων τεχνητής νοημοσύνης κ.α. Το σίγουρο είναι πως η εξέλιξη αυτή δεν μπορεί να αφήσει ανεπηρέαστη την ιχθυοκαλλιέργεια, αντιθέτως έχει να τις προσφέρει πολλά, ειδικά με τις κατάλληλες συνθήκες.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΚΑΙ ΤΑΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΞΥΠΝΗ ΙΧΘΥΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ

Οι εφαρμογές του DL στην υδατοκαλλιέργεια θα συνεχίσουν να επεκτείνονται ή να εμφανίζονται. Τα τρέχοντα πεδία εφαρμογής περιλαμβάνουν ταυτοποίηση ζωντανών ψαριών, ταξινόμηση ειδών, ανάλυση συμπεριφοράς, αποφάσεις διατροφής, μέγεθος ή εκτίμηση βιομάζας και πρόβλεψη ποιότητας νερού. Άλλοι πιθανοί τομείς εφαρμογής με μεγάλες δυνατότητες περιλαμβάνουν τη διάγνωση ασθενειών των ψαριών, τον ποιοτικό έλεγχο της ασφάλειας των υδρόβιων προϊόντων και την ιχνηλασιμότητα, αν και σχετική έρευνα δεν έχει αναφερθεί μέχρι σήμερα. Για παράδειγμα, εργαλεία που κάνουν αυτόματη διάγνωση ασθενειών ψαριών και να παρέχουν εύλογες προτάσεις για τη διαχείριση των εντοπισμένων ασθενειών αναμένεται να είναι ένα σημαντικό πεδίο εφαρμογής, ειδικά σε σχέση με την επεξεργασία εικόνας.

Το διαθέσιμο σύνολο δεδομένων γίνεται όλο και πιο σημαντικό, με τη βελτιωμένη διαφάνεια του σε πληροφορίες για την υδατοκαλλιέργεια και τη δημιουργία ανοιχτών βάσεων δεδομένων αλιείας, οι ερευνητές θα μπορούν να έχουν πρόσβαση σε μια ευρύτερη ποικιλία δειγματοληπτικών δεδομένων πιο εύκολα, αν και ο αριθμός των δημοσίως διαθέσιμων συνόλων δεδομένων είναι ακόμα μικρός. Οι ερευνητές μπορούν

χρησιμοποιήσουν αυτά τα σύνολα δεδομένων για να δοκιμάσουν τα μοντέλα DL ή για να προ-εκπαιδεύσουν μοντέλα DL και στη συνέχεια να τα προσαρμόσουν σε πιο συγκεκριμένες μελλοντικές προκλήσεις. Λόγω της περιορισμένης διαθεσιμότητας δεδομένων και της δυσκολίας συλλογής πραγματικών δεδομένων, οι μέθοδοι βελτίωσης του ποσοστού αναγνώρισης από μικρό αριθμό δειγμάτων αποτελούν αναπόφευκτη κατεύθυνση για μελλοντική έρευνα. Η μάθηση «με μεταφορά» μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση του προβλήματος της ανεπάρκειας δείγματος δεδομένων.

Πιο προηγμένα και πολύπλοκα μοντέλα θα συνεχίσουν να βελτιώνουν την απόδοση του DL. Ένα συνδυαστικό μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίλυση πολλών από τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν τα μεμονωμένα μοντέλα. Ως αποτέλεσμα, θα προκύψουν πιο σύνθετες αρχιτεκτονικές. Όλοι οι τύποι μοντέλων και ταξινομητών DL καθώς και τα χαρακτηριστικά μπορούν να συνδυαστούν για να βελτιώσουν τα συνολικά αποτελέσματα. Τα CNN χρησιμοποιούνται ευρέως, αλλά εξετάζουν κάθε πλαίσιο ανεξάρτητα και αγνοούν τις χρονικές συσχετίσεις μεταξύ γειτονικών πλαισίων. Επομένως, είναι απαραίτητο να εξεταστούν μοντέλα που μπορούν να εξηγήσουν χωροχρονικές ακολουθίες. Αναμένεται ότι στο μέλλον θα υπάρξουν περισσότερες μέθοδοι παρόμοιες με τα δίκτυα LSTM ή άλλα μοντέλα RNN, τα οποία υιοθετήθηκαν για την επίτευξη υψηλότερων επιδόσεων ταξινόμησης ή πρόβλεψης που αξιοποιούν την χρονική διάσταση. Παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών περιλαμβάνουν την εκτίμηση της ανάπτυξης των ψαριών με βάση προηγούμενες συνεχείς παρατηρήσεις, την αξιολόγηση των απαιτήσεων σε νερό των ψαριών, την ανάπτυξη μέτρων για την αποφυγή ασθενειών ψαριών και την ανάλυση συμπεριφοράς. Τέτοια μοντέλα μπορούν επίσης να εφαρμοστούν σε περιβαλλοντικές μελέτες για την πρόβλεψη αλλαγών.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ahmed, M. S., Aurpa, T. T., & Azad, M. A. K. (2022). Fish disease detection using image-based machine learning technique in aquaculture. *Journal of King Saud University Computer and Information Sciences*, 34(8), 5170–5182.

Ahmad, S., Ahsan, J., Faisal, S., Ajmal, M., Mark, S., James, S., Euan, H. (2016). Fish species classification in unconstrained underwater environments based on deep learning. *Limnology Oceanography Methods*, 14, 570–585.

Alcaraz C, Gholami Z, Esmaeili HR, Garcia-Berthou E. (2015). Herbivory and seasonal changes in diet of a highly endemic cyprinodontid fish (*Aphanius farsicus*). *Environmental Biology of Fishes* 98: 1541–1554.

Alzubaidi, L., Zhang, J., Humaidi, A. J., Al-Dujaili, A., Duan, Y., Al-Shamma, O., Santamaría, J., Fadhel, M. A., Al-Amidie, M., Farhan, L. (2021). Review of deep learning: concepts, CNN architectures, challenges, applications, future directions. *Journal of Big Data*, 8(1).

Atoum, Y., Srivastava, X., Liu. (2015). Automatic feeding control for dense aquaculture fish tanks, *IEEE Signal Process Lett.* 22, 1089–1093.

Bae MJ, Park YS. (2014). Biological early warning system based on the responses of aquatic organisms to disturbances: a review. *Science of the Total Environment* 466–467: 635–649.

Bhagat PK, Choudhary P. (2018). Image annotation: then and now. *Image and Vision Computing* 80: 1–23.

Bernal-Higueta, F., Acosta-Coll, M., Ballester-Merelo, F., De-la-Hoz-Franco, E., 2023. Implementation of information and communication technologies to increase sustainable productivity in freshwater finfish aquaculture – A review. *Journal of Cleaner Production* 408, 137124.

Chang, C. C., Wang, J. H., Wu, J. L., Hsieh, Y. Z., Wu, T. D., Cheng, S. C., & Lin, C. Y. (2021). Applying artificial intelligence (AI) techniques to implement a practical smart cage aquaculture management system. *Journal of Medical and Biological Engineering*, 41, 652–658.

Chen L, Yang X, Sun C, Wang Y (2019) Feed intake prediction model for group fish using the MEA-BP neural network in intensive aquaculture. *Information Processing in Agriculture* 7:261–271

Chen, J.C., Chen, T.L., Wang, H.L., Chang, P.C., 2022. Underwater abnormal classification system based on deep learning: A case study on aquaculture fish farm in Taiwan. *Aquacultural Engineering* 99, 102290.

Chiu, M. C., Yan, W. M., Bhat, S. A., Huang, N. F. (2022). Development of smart aquaculture farm management system using AI-based surrogate models. *Journal of Agriculture and Food Research*, 9, 100357.

Choi K, Fazekas G, Sandler M, Cho K (2018). A comparison of audio signal preprocessing methods for deep neural networks on music tagging. In: 2018 26th European Signal Processing Conference (EUSIPCO), pp. 1870–1874. IEEE, Rome, Italy

Chrispin, L., Jothiswaran, C., Velumani, T., Agnes Daney Angela, S., Jayaraman, R. (2020). Application of Artificial Intelligence in Fisheries and Aquaculture Biotechnology Research, 2, 499–502.

Daoliang L, Jianhua B. (2018). Research progress on key technologies of underwater operation robot for aquaculture. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* 36: 1–9.

Darapaneni, N., Sreekanth, S., Paduri, A. R., Roche, A. S., Murugappan, V., Singha, K. K., Shenwai, A. V. (2022). AI based farm fish disease detection system to help micro and small fish farmers. In: 2022 Interdisciplinary Research in Technology and Management, 1–5.

Di Nucci E, McHugh C (2006). *Content, Consciousness, and Perception: Essays in Contemporary Philosophy of Mind*. Cambridge Scholars Press, Newcastle, UK

Dios, C., Serna, A. (2003). Computer vision and robotics techniques in fish farms, *Robotica*, 21, 233.

FAO. (2020). *The State of World Fisheries and Aquaculture. Sustainability in Action*. Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 244.

FAO. (2023). *FAO Aquaculture News*, June 2023 – No. 67, FAO Aquaculture Newsletter. FAO, Rome, Italy.

FAWC (2014). *Opinion on the Welfare of Farmed Fish*. Farm Animal Welfare Committee, Area 5E, Nobel House, 17 Smith Square, London, SW1P 3JR. www.defra.gov.uk/fawc

Fearghal, O. (2019). *Data-Driven Aquaculture Management*.

Ferrer, J.A. Calduch-Giner, M. Díaz, J. Sosa, E. Rosell-Moll, J.S. Abril, G.S. Sosa, T.B. Delgado, C. Carmona, J.A. Martos-Sitcha, E. Cabruja, J.M. Afonso, A. Vega, M. Lozano, J.A. Montiel-Nelson, J. Perez-Sanchez. (2020). From operculum and body tail movements to different coupling of physical activity and respiratory frequency in farmed gilthead sea bream and European sea bass. *Insights on aquaculture biosensing, Comput. Electron. Agricult.* 175:105531

Føre M, Frank K, Norton T, Svendsen E, Alfredsen JA, Dempster T. (2018). Precision fish farming: a new framework to improve production in aquaculture. *Biosystems Engineering* 173: 176–193

Føre, M., Alver, M., Alfredsen, J.A., Marafioti, G., Senneset G, Birkevold J (2016). Modelling growth performance and feeding behaviour of Atlantic salmon.

Franca Albuquerque PL, Garcia V, da Silva Oliveira A, Lewandowski T, Detweiler C, Goncalves AB et al. (2019). Automatic live fingerlings counting using computer vision. *Computers and Electronics in Agriculture* 167: 105015.

Garcia R, Prados R, Quintana J, Tempelaar A, Gracias N, Rosen S. (2019). Automatic segmentation of fish using deep learning with application to fish size measurement. *ICES Journal of Marine Science*. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsz186>

Gladju, J., & Kanagaraj, A. (2021). Potential applications of data mining in Aquaculture. (2021). *International Conference on Advancements in Electrical, Electronics, Communication, Computing and Automation (ICAECA)*.

Gladju, J., Kamalam, B. S., & Kanagaraj, A. (2022). Applications of data mining and machine learning framework in aquaculture and fisheries: A Review. *Smart Agricultural Technology*, 2, 100061.

Gonçalves, D.N., Acosta, P.R., Ramos, A.P.M., Osco, L.P., Furuya, D.E.G., Furuya, M.T.G., Li, J., Junior, J.M., Pistori, H., Gonçalves, W.N. (2022). Using a convolutional neural network for fingerling counting: A multi-task learning approach. *Aquaculture* 557, 738334.

Gonzalez, T. J. (2023). ‘Positive’ animal welfare in aquaculture as a cardinal principle for sustainable development. *Frontiers in Animal Science*, 4.

Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A., 2016. *Deep Learning*. MIT Press.

Hanbury A. (2008). A survey of methods for image annotation. *Journal of Visual Languages & Computing* 19: 617–627. Hartill BW, Taylor SM, Keller K, Weltersbach MS (2020.) Digital camera monitoring of recreational fishing effort: applications and challenges. *Fish and Fisheries* 21: 204–215.

Hellenic Aquaculture Producers Organization (HAPO). (2023). *Greek Aquaculture: Annual Report 2023*. 100pp.

Hassan,W., Føre, J.B. Ulvund, J.A. Alfredsen. (2019). Internet of Fish: integration of acoustic telemetry with LPWAN for efficient real-time monitoring of fish in marine farms, *Computers and Electronics in Agriculture*, 163, 104850.

Hosseini, S., Simianer, H., Tetens, J., Brenig, B., Herzog, S., Sharifi, A. R. (2019). Efficient phenotypic sex classification of zebrafish using machine learning methods. *Ecology and evolution*, 9(23), 13332–13343.

Hoy, J. B. (1985). A microcomputer-based system for feed control, temperature control and temperature recording In an experimental fish hatchery. In *Computers and Electronics in Agriculture*, i.

Hu J, Li D, Duan Q, Han Y, Chen G, Si X. (2012). Fish species classification by color, texture and multi-class support vector machine using computer vision. *Computers and Electronics in Agriculture* 88: 133–140.

Huzaifah, G. (2023). Creating the future of aquaculture with an IoT smart feeding technology to help hundreds of millions of farmers at the bottom of the pyramid. Retrieved from: <https://unreasonable.group.com/ventures/e-fishery>

Jiang, Y., Li, X., Luo, H., Yin, S., Kaynak, O., 2022. Quo vadis artificial intelligence? *Discov Artif Intell* 2, 4.

Kaynak, O., 2021. The golden age of Artificial Intelligence. *Discov Artif Intell* 1, 1.

Kidangoor, A. (2022). Tech companies work to make fishing, aquaculture more sustainable. Retrieved from: <https://news.mongabay.com/2022/12/tech-companies-work-to-make-fishing-aquaculture-more-sustainable/>

Koparan, C., Koc, A. B., Privette, C. V., & Sawyer, C. B. (2018). In situ water quality measurements using an unmanned aerial vehicle (UAV) system. *Water*, 10(3), 264. <https://doi.org/10.3390/w10030264>.

LeCun, Y., Bengio, Y., Hinton, G., 2015. Deep learning. *Nature* 521, 436–444.

Lim, L. W. (2023). Implementation of Artificial Intelligence in aquaculture and fisheries: Deep learning, machine vision, Big Data, internet of things, robots and beyond. *Journal of Computational and Cognitive Engineering*. doi:10.47852/bonviewjcce3202803.

Liu S, Xu L, Jiang Y, Li D, Chen Y, Li Z. (2014). A hybrid WA–CPSO–LSSVR model for dissolved oxygen content prediction in crab culture. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 29: 114–124.

Liu, Z., Li, X., Fan, L., Lu, H., Liu, L., Liu, Y. (2014). Measuring feeding activity of fish in RAS using computer vision. *Aquacultural Engineering* 60: 20–27.

Liu, J., Bienvenido, F., Yang, X., Zhao, Z., Feng, S., Zhou, C. (2022). Nonintrusive and automatic quantitative analysis methods for fish behaviour in aquaculture. *Aquaculture Research*, 53, 2985–3000.

Liu, H., Ma, X., Yu, Y., Wang, L., & Hao, L. (2023). Application of Deep Learning Based Object Detection Techniques in Fish Aquaculture: A Review. In *Journal of Marine Science and Engineering*, 11,4.

Lu, H., Yu, X., Liu, G. (2018). Abnormal behavior detection method of fish school under low dissolved oxygen stress based on image processing and compressed sensing. *Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Sciences)* 44: 499–506.

Maløy H, Aamodt A, Misimi E. (2019). A spatio-temporal recurrent network for salmon feeding action recognition from underwater videos in aquaculture. *Computers and Electronics in Agriculture* 167: 105087.

Meng, L., Hirayama, T., Oyanag, S. (2018). Underwater drone with panoramic camera for automatic fish recognition based on deep learning. *IEEE Access* 6: 17880–17886.

Mohanty SP, Hughes DP, Salathe M. (2016). Using deep learning for image-based plant disease detection. *Frontiers in Plant Science* 7(1419): 1–10.

Michael, H. (2019). 5 Innovations In: Aquaculture Worth Catching On To Now.

Mustafa, F. H. (2016). A Review of Smart Fish Farming Systems. *Journal of Aquaculture Engineering and Fisheries Research*, 193–200.

Mustapha, U. F., Alhassan, A. W., Jiang, D. N., & Li, G. L. (2021). Sustainable aquaculture development: a review on the roles of cloud computing, internet of things and artificial intelligence (CIA). In *Reviews in Aquaculture* Vol. 13 (4) pp.2076–2091.

Naddaf, M.M., Myler, H., Zargarzadeh, H. (2018). Design and implementation of an assistive real-time red lionfish detection system for AUV/ROVs. *Complexity* 2018:1–10.

Naylor, R.L., Hardy, R.W., Buschmann, A.H., Bush, S.R., Cao, L., Klinger, D.H., Little, D. C., Lubchenco, J., Shumway, S.E., Troell, M. (2021). A 20-year retrospective review of global aquaculture. *Nature* 591, 551–563.

Ochiai, T., Suehiro, K. Nishinari, T. Kubo, H. Takeuchi. (2013). A new data-mining method to search for behavioral properties that induce alignment and their involvement in social learning in medaka fish (*Oryzias latipes*), 71685.

O'Donncha, F., Stockwell, C. L., Planellas, S. R., Micallef, G., Palmes, P., Webb, C., Grant, J. (2021). Data driven insight into fish behaviour and their use for precision aquaculture. *Frontiers in Animal Science*, 2, 695054.

Oosting T, Star B, Barrett JH, Wellenreuther M, Ritchie PA, Rawlence NJ. (2019). Unlocking the potential of ancient fish DNA in the genomic era. *Evolutionary Applications* 12:1513–1522

Papadakis, VM., Papadakis, IE., Lamprianidou, F., Glaropoulos, A., Kentouri, M. (2012). A computer-vision system and methodology for the analysis of fish behavior. *Aquacultural Engineering* 46: 53–59.

Patricio D.I, Rieder R. (2018). Computer vision and artificial intelligence in precision agriculture for grain crops: a systematic review. *Computers and Electronics in Agriculture* 153:69–81

Ranjan, R., Sharrer, K., Tsukuda, S., Good, C., 2023. MortCam: An Artificial Intelligence aided fish mortality detection and alert system for recirculating aquaculture. *Aquacultural Engineering* 102, 102341.

Razman, M., Susto, A. Cenedese, A.P.A. Majeed, R.M. Musa, A.S.A. Ghani, F.A. Adnan, K.M. Ismail, Z. Taha, Y. Mukai. (2019). Hunger classification of Lates

calcarifer by means of an automated feeder and image processing, *Comput. Electron. Agric.* 163, 104883.

Rohani, A., Taki, M., Bahrami, M. (2019). Application of artificial intelligence for separation of live and dead rainbow trout fish eggs, *Artif. Intell. Agriculture*, 27–34.

Russell, S.J., Stuart, J., Davis, E., Norvig, P. (2016). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.

Madani, A., Arnaout, Ramy, Mofrad, M., Arnaout, Rima, 2018. Fast and accurate view classification of echocardiograms using deep learning. *npj Digital Med* 1, 1–8.

Saberioon, A., Gholizadeh, P., Cisar, A. Pautsina, J. Urban. (2016). Application of machine vision systems in aquaculture with emphasis on fish: state-of-the-art and key issues, *Rev. Aquaculture* 9, 369–387.

Silver, D., Hubert, T., Schrittwieser, J., Antonoglou, I., Lai, M., Guez, A., Lanctot, M., Sifre, L., Kumaran, D., Graepel, T., Lillicrap, T., Simonyan, K., Hassabis, D. (2018). A general reinforcement learning algorithm that masters chess, shogi, and go through self-play. *Science* 362, 1140–1144.

Shi S, Wang Q, Xu P, Chu X. (2016). Benchmarking state-of-the-art deep learning software tools. In: 2016 7th International Conference on Cloud Computing and Big Data (CCBD), pp.99–104. IEEE

Sun M, Hassan SG, Li D. (2016). Models for estimating feed intake in aquaculture: a review. *Computers and Electronics in Agriculture* 127: 425–438.

Sun X, Shi J, Liu L, Dong J, Plant C, Wang X et al. (2018). Transferring deep knowledge for object recognition in Low-quality underwater videos. *Neurocomputing* 275: 897–908.

Townhill, B.L., Van Der Molen, J., Metcalfe, J.D., Farcas, A., Pinnegar, J.K. (2017). Consequences of climate-induced low oxygen conditions for commercially important fish. *Marine Ecology Progress Series* 580 (191-204).

de Verdal H, Komen H, Quillet E, Chatain B, Allal F, Benzie JAH (2017). Improving feed efficiency in fish using selective breeding: a review. *Reviews in Aquaculture* 10: 833–851.

Villon S, Mouillot D, Chaumont M, Darling ES, Subsol G, Claverie T (2018). A deep learning method for accurate and fast identification of coral reef fishes in underwater images. *Ecological Informatics* 48: 238–244

Vo, T.T.E., Ko, H., Huh, J.-H., Kim, Y., 2021. Overview of Smart Aquaculture System: Focusing on Applications of Machine Learning and Computer Vision. *Electronics* 10, 2882.

Wang, S.H., Zhao, J.W., Chen, Y.Q., (2017). Robust tracking of fish schools using CNN forehead identification. *Multimed. Tools Appl.* 76, 23679–23697.

Wang, C., Li, Z., Wang, T., Xu, X., Zhang, X., & Li, D. (2021). Intelligent fish farm: the future of aquaculture. In *Aquaculture International* (Vol. 29, Issue 6, pp. 2681–2711). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH.

Wei G-Y, Brooks D (2019). Benchmarking TPU, GPU, and CPU platforms for deep learning. arXiv preprint arXiv:1907.10701.

Whitsell A., J.L. Whitson, P.G. Lee. (1997). A machine vision system for aquaculture: re-al-time identification of individual animals and estimation of animal activity. In: *Advances in Aquacultural Engineering*. Northeast Regional Agricultural Engineering Service, 105, Cornell, NY, NRAES, pp. 112–128.

Wu, Y., Duan, Y., Wei, Y., An, D., Liu, J. (2022). Application of intelligent and unmanned equipment in aquaculture: A review. *Computers and Electronics in Agriculture* 199, 107201.

Xia, C., Fu, L., Liu, Z., Liu, H., Chen, L., Liu, Y. (2018). Aquatic toxic analysis by monitoring fish behavior using computer vision: A recent progress. *Journal of Toxicology*, 2018,2591924. <https://doi.org/10.1155/2018/2591924>

Xu, W., Zhu, Z., Ge, F., Han, Z., Fengli, G. (2020). Analysis of behavior trajectory Based on Deep Learning in ammonia environment for Fish. *Sensors*, 20, 4425.

Ubina, N. A., Lan, H.-Y., Cheng, S.-C., Chang, C.-C., Lin, S.-S., Zhang, K.-X., Lu, H.-Y., Cheng, C.-Y., Hsieh, Y.-Z. (2023). Digital twin-based intelligent fish farming with Artificial Intelligence Internet of Things (AIoT). *Smart Agricultural Technology*, 5, 100285.

Yang, L., Liu, Y., Yu, H., Fang, X., Song, L., Li, D., Chen, Y. (2021). Computer Vision Models in Intelligent Aquaculture with Emphasis on Fish Detection and Behavior Analysis: A Review. *Arch Computat Methods Eng* 28, 2785–2816.

Zhang QS, Zhu SC (2018). Visual interpretability for deep learning: a survey. *Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering* 19: 27–39.

Zhao J, Bao W, Zhang F, Zhu S, Liu, Y, Lu, H. (2018a). Modified motion influence map and recurrent neural network-based monitoring of the local unusual behaviors for fish school in intensive aquaculture. *Aquaculture* 493: 165–175.

Zhao J, Li Y, Zhang F, Zhu S, Liu Y, Lu H et al. (2018b). Semi supervised learning-based live fish identification in aquaculture using modified deep convolutional generative adversarial networks. *Transactions of the ASABE* 61: 699–710.

Zhao, S., Zhang, S., Liu, J., Wang, H., Zhu, J., Li, D., & Zhao, R. (2021). Application of machine learning in intelligent fish aquaculture: A review. *Aquaculture*, 540.

Zhou C, Lin K, Xu D, Chen L, Guo Q, Sun C. (2018a). Near infrared computer vision and neuro-fuzzy model-based feeding decision system for fish in aquaculture. *Computers and Electronics in Agriculture* 146: 114–124.

Zhou C, Xu D, Lin K, Sun C, Yang X (2018c). Intelligent feeding control methods in aquaculture with an emphasis on fish: a review. *Reviews in Aquaculture* 10: 975–993.

Zhou C, Xu D, Chen L, Zhang S, Sun C, Yang X. (2019). Evaluation of fish feeding intensity in aquaculture using a convolutional neural network and machine vision. *Aquaculture* 507: 457–465.

Zion B (2012). The use of computer vision technologies in aquaculture – a review. *Computers and Electronics in Agriculture* 88: 125–132.

Zhou, C., Lin, K., Xu, D., Chen, L., Guo, Q., Sun, C. (2018a). Near infrared computer vision and neuro-fuzzy model-based feeding decision system for fish in aquaculture. *Computers and Electronics in Agriculture* 146: 114–124.

Yang, X., Zhang, S., Liu, J., Gao, Q., Dong, S., Zhou, C. (2020). Deep learning for smart fish farming: Applications, opportunities and challenges. *Reviews in Aquaculture*, 13(1), 66–90. doi:10.1111/raq.12464

Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία:

Arellano., N. (2021). Top trends in hatchery technology. Hatchery International. Available at: <https://www.hatcheryinternational.com/top-trends-in-hatchery-technology/>

Lutz., G. (2023). The rise of AI in aquaculture. Available at: <https://thefishsite.com/articles/the-rise-of-ai-in-aquaculture-artificial-intelligence>

IBM (2016). What is the Internet of Things, and How Does it Work? [Cited 09 April 2020.] Available at: <https://www.ibm.com/blogs/internet-of-things/what-is-the-iot/>

Abstract

With the current population growth, technological development has become vital in the aquaculture industry to protect wild fish stocks, control fish prices and increase productivity. The development of the technology could mitigate the depletion of fish stocks, improve social cohesion and support economically vulnerable groups. In the future, with the continuous adaptation of information technology, a significant increase in the growth rate of the aquaculture industry and a reduction in production costs are expected. "Intelligent" aquaculture farms should be able to carry out detailed control at various points to ensure the well-being of farmed organisms, such as "intelligent" feeding, water quality control, behavior analysis, biomass estimation, disease diagnosis, equipment operating status and error warning. From the review of recent literature, current applications can be divided into six categories: live fish identification, species classification, behavior analysis, feeding decisions, size or biomass estimation, and water quality estimation. The technical details of the mentioned methods were thoroughly analyzed according to the fundamentals of Artificial Intelligence (AI): data and algorithms. Performance comparisons with traditional methods based on manually extracted features indicate that the greatest contribution of Digital Learning (DL) is its ability to automatically extract features. In addition, DL produces highly accurate processing results. However, at present, DL technology is still at a weak stage of artificial intelligence and requires a large amount of data for training. This requirement has become an obstacle that further limits the applications of DL in smart aquaculture. The purpose of this thesis is to collect data from the aquaculture area for the monitoring and use of technologies, such as e.g. sensors and unmanned systems to achieve the integration of artificial intelligence for the "intelligent fish farm".