



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΜΗΜΑ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΣΤΗΝ ΑΓΡΟΤΙΚΗ
ΑΝΑΠΤΥΞΗ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ
ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΣΤΙΣ ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ**

ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ Ν. ΜΠΟΪΝΤΑ

Επιβλέπουσα: Μήλιου Ελένη, Καθηγήτρια Γ.Π.Α.

ΑΘΗΝΑ 2019



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΜΗΜΑ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΣΤΗΝ ΑΓΡΟΤΙΚΗ
ΑΝΑΠΤΥΞΗ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ
ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΣΤΙΣ ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ**

**APPLICATIONS OF WIRELESS SENSOR NETWORKS IN
AQUACULTURE**

ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ Ν. ΜΠΟΪΝΤΑ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Μήλιου Ελένη, Καθηγήτρια Τμήματος Επιστήμης Ζωικής Παραγωγής & Υδατοκαλλιεργειών,
Γ.Π.Α. (επιβλέπουσα)

Φουντάς Σπυρίδων, Αναπληρωτής Καθηγητής Τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων &
Γεωργικής Μηχανικής, Γ.Π.Α.

Νυχάς Γεώργιος-Ιωάννης, Καθηγητής Τμήματος Επιστήμης Τροφίμων & Διατροφής του
Ανθρώπου, Γ.Π.Α.

ΑΘΗΝΑ 2019

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΣΤΙΣ ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ

Περίληψη

Οι Υδατοκαλλιέργειες αποτελούν αναμφισβήτητα έναν από τους ταχύτερα αναπτυσσόμενους κλάδους τροφίμων στον κόσμο. Τα προϊόντα υδατοκαλλιέργειας είναι σημαντική πηγή τροφής για μεγάλο μέρος του πληθυσμού, καθώς συγκαταλέγονται στα τρόφιμα υψηλής θρεπτική αξίας με ωφέλιμη δράση στην ανθρώπινη υγεία. Σήμερα, εφαρμόζονται εντατικά συστήματα εκτροφής για την κάλυψη της αυξημένης ζήτησης προϊόντων υδατοκαλλιέργειας από τους καταναλωτές. Κύριος στόχος των μονάδων εντατικής παραγωγής είναι η βελτίωση της παραγωγικότητάς τους μέσω της ορθής διαχείρισης και του συνεχούς ελέγχου του περιβάλλοντος εκτροφής. Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων αποτελούν μια νέα τεχνολογία που εφαρμόζεται ολοένα και περισσότερο τα τελευταία χρόνια σε τέτοιου τύπου μονάδες εκτροφής. Η εφαρμογή τους αποτελεί μια πολύ καλή λύση για την παρακολούθηση της ποιότητας του νερού εκτροφής, το οποίο επηρεάζει άμεσα την επιβίωση και την ανάπτυξη των εκτρεφόμενων σε αυτό οργανισμών. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των ασύρματων δικτύων αισθητήρων είναι η απομακρυσμένη και σε πραγματικό χρόνο παρακολούθηση, η εύκολη εφαρμογή και η μη επανδρωμένη διαχείριση. Ωστόσο, το υψηλό τους κόστος αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για την επέκταση της εφαρμογής τους. Στην παρούσα Διπλωματική εργασία παρουσιάζονται ορισμένες μελέτες σχετικά με τα διαθέσιμα συστήματα παρακολούθησης της ποιότητας του νερού, καθώς επίσης και έρευνες που πραγματοποιήθηκαν για την παρακολούθηση της συμπεριφοράς των υδρόβιων οργανισμών. Επιπλέον, παρουσιάζονται οι διάφοροι τύποι αισθητήρων που χρησιμοποιούνται στα ασύρματα συστήματα παρακολούθησης και αναφέρονται κάποια από τα διαθέσιμα εμπορικά μοντέλα αυτών. Με βάση τα αποτελέσματα των μελετών, η εφαρμογή των ασύρματων δικτύων αισθητήρων για την παρακολούθηση της ποιότητας του νερού συμβάλλει στη βελτίωση της παραγωγικότητας, στη βελτίωση της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων, στην προστασία του υδάτινου περιβάλλοντος, στον έλεγχο της τροφής, στη μείωση των απωλειών του εκτρεφόμενου πληθυσμού και στην αύξηση του οικονομικού οφέλους των μονάδων.

Λέξεις-κλειδιά: Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων, ασύρματοι αισθητήρες, Υδατοκαλλιέργειες, παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο

APPLICATIONS OF WIRELESS SENSOR NETWORKS IN AQUACULTURE

Abstract

Aquaculture is undoubtedly one of the fastest growing food industries in the world. Aquaculture products are an important source of food for a large part of the population, as they are high-nutrient foods with beneficial effects on human health. Today, intensive farming systems are being deployed for the growing demand of aquaculture products by consumers. The main objective of intensive aquaculture production is to improve their productivity through suitable management and continuous control of the water environment. In recent years, Wireless Sensor Networks (WSNs) are a new technology which has been increasingly applied to intensive aquaculture systems. Their application is a very good solution for monitoring the quality of water, which directly affects the survival and the growth of the farmed species. The most important advantages of WSNs are remote and real-time monitoring, easy deployment and unmanned operation. Nevertheless, their high cost is slowing the expansion of their use. This Thesis presents some studies on the available water quality monitoring systems, as well as the research performed on fish behavior monitoring. In addition, the various types of sensors used in wireless sensors systems and some of their commercially available models, are presented. Based on the results of studies, the application of WSNs for water quality monitoring contributes to improving productivity, improving the product quality, protecting the aquatic environment, controlling food, reducing the mortality of the farmed species and increasing the economic benefit of the aquaculture farms.

Key words: Wireless Sensor Networks (WSNs), wireless sensors, Aquaculture, real-time monitoring

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

A/A	Τίτλος	Σελίδα
A	Περίληψη	I
B	Abstract	II
Κεφάλαιο 1	Υδατοκαλλιέργειες	1
1.1	Εισαγωγικά στοιχεία	1
1.1.1	Εισαγωγή	1
1.1.2	Ιστορική εξέλιξη	2
1.1.3	Παραγωγικά συστήματα Υδατοκαλλιεργειών	5
1.1.3.1	Συστήματα εκτροφής με βάση το ύψος της παραγωγής και το βαθμό της ανθρώπινης επέμβασης	5
I	Εκτατικό σύστημα	5
II	Ημικεκτατικό σύστημα	6
III	Ημιεντατικό σύστημα	6
IV	Εντατικό σύστημα	7
V	Υπερεντατικό σύστημα	7
1.1.3.2	Συστήματα εκτροφής με βάση την ανανέωση του νερού και το είδος των εγκαταστάσεων	8
I	Συστήματα συνεχούς ροής του νερού (ανοιχτό σύστημα)	8
II	Σύστημα πολλαπλής χρησιμοποίησης-επανακυκλοφορίας του νερού (ημίκλειστο σύστημα)	9
III	Κλειστό σύστημα	10
IV	Σύστημα χωρίς ανανέωση (παροχή και αποχέτευση) νερού	10
V	Σύστημα τεχνητών υδατοσυλλογών με συνεχή ανανέωση του νερού	11
1.2	Υφιστάμενη κατάσταση Υδατοκαλλιεργειών	12
1.2.1	Παγκόσμια Υδατοκαλλιέργεια	12
1.2.2	Ευρωπαϊκή Υδατοκαλλιέργεια	16
1.2.3	Υδατοκαλλιέργειες στην Ελλάδα	20
1.3	Διαιτητική αξία προϊόντων υδατοκαλλιέργειας	23
1.3.1	Πρωτεΐνες	24
1.3.2	Λίπη-Λιπαρά οξέα-Χοληστερόλη	26
1.3.3	Βιταμίνες	29
1.3.4	Ανόργανα στοιχεία	30
1.4	Σημασία και προοπτικές των Υδατοκαλλιεργειών	31
Κεφάλαιο 2	Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων	36
2.1	Εισαγωγή-Ορισμοί	36
2.1.1	Αισθητήρας (Sensor)	36
2.1.2	Ασύρματο Δίκτυο (Wireless Network)	36
2.1.3	Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων (Wireless Sensor Networks-WSNs)	38
2.2	Τεχνολογίες Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων	39
2.2.1	Bluetooth	40
2.2.2	ZigBee	41
2.2.3	Σύγκριση Bluetooth και ZigBee	42
2.3	Χαρακτηριστικά των Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων	43
2.4	Εφαρμογές των Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων	49
2.4.1	Γενικά	49
2.4.2	Στρατιωτικές εφαρμογές	50

2.4.3	Εμπορικές και Οικιακές εφαρμογές	51
2.4.4	Εφαρμογές στην Ιατρική και στην Υγεία	52
2.4.5	Περιβαλλοντικές εφαρμογές	53
2.4.6	Εφαρμογές στη Γεωργία και στην Κτηνοτροφία	55
Κεφάλαιο 3	Εφαρμογές των Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων στις Υδατοκαλλιέργειες	63
3.1	Ανάγκη για παρακολούθηση	63
3.2	Παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα του νερού εκτροφής	64
3.2.1	Θερμοκρασία	65
3.2.2	Αλατότητα	69
3.2.3	Διαλυμένο Οξυγόνο	70
3.2.4	Διοξείδιο του άνθρακα	73
3.2.5	pH	75
3.2.6	Αμμωνία	77
3.2.7	Θολότητα	81
3.3	Παρακολούθηση των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του νερού με τη χρήση αισθητήρων	84
3.3.1	Απαιτήσεις των αισθητήρων υδατοκαλλιέργειας	84
3.3.2	Είδη αισθητήρων	86
3.3.2.1	Αισθητήρες θερμοκρασίας	87
3.3.2.2	Αισθητήρες αλατότητας	90
3.3.2.3	Αισθητήρες οξυγόνου	91
3.3.2.4	Αισθητήρες θολότητας	92
3.3.2.5	Αισθητήρες pH	93
3.4	Εφαρμογές των WSNs στην ποιότητα του νερού	98
3.4.1	Παρακολούθηση των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του νερού	98
3.4.2	Παρακολούθηση της συμπεριφοράς εκτρεφόμενων οργανισμών	107
Κεφάλαιο 4	Συμπεράσματα	119
Κεφάλαιο 5	Βιβλιογραφία	124

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας	Τίτλος	Σελίδα
Πίνακας 1.1	Παγκόσμια παραγωγή υδατοκαλλιεργειών των κύριων ομάδων υδρόβιων οργανισμών το 2016	13
Πίνακας 1.2	Τα σημαντικότερα είδη υδρόβιων οργανισμών ανά κατηγορία που παράγονται παγκοσμίως από τις υδατοκαλλιέργειες	14
Πίνακας 1.3	Εξέλιξη της παραγωγής των υδατοκαλλιεργειών ανά ήπειρο και χώρες με μεγάλη παραγωγή	15
Πίνακας 1.4	Κύριοι εκτρεφόμενοι υδρόβιοι οργανισμοί στην Ε.Ε. (28) σε όγκο το	18
Πίνακας 1.5	Κύριοι εκτρεφόμενοι υδρόβιοι οργανισμοί στην Ε.Ε. (28) σε αξία το 2015	18
Πίνακας 1.6	Ποσότητα και αξία των εκτρεφόμενων - καλλιεργούμενων ειδών, 2015-2016	21
Πίνακας 1.7	Μέσοι όροι επιπέδων κύριων χημικών συστατικών του σώματος των διαφόρων εμπορεύσιμου μεγέθους εκτρεφόμενων και μεσογειακών ειδών ιχθύων ελεύθερης διαβίωσης, ποικίλης προελεύσεως και διαφόρων εποχών	25
Πίνακας 1.8	Περιεκτικότητα του εδώδιμου μέρους των Μαλάκιων και των Καρκινοειδών σε νερό, πρωτεΐνες, λίπη και υδατάνθρακες	25
Πίνακας 1.9	Μέση περιεκτικότητα σε λιπαρά οξέα σώματος Οστεϊχθύων	27
Πίνακας 1.10	Ολικές στερόλες του εδώδιμου μέρους Οστεϊχθύων, Μαλάκιων και Καρκινοειδών	29
Πίνακας 2.1	Τύποι ασύρματων δικτύων αισθητήρων (WSNs)	39
Πίνακας 2.2	Τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας	40
Πίνακας 2.3	Σύγκριση μεταξύ Bluetooth και ZigBee	42
Πίνακας 3.1	Απαιτήσεις σε ορισμένα βασικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του νερού, κοινών εκτρεφόμενων υδρόβιων οργανισμών	67
Πίνακας 3.2	Επίδραση διαφόρων τιμών του pH του νερού στις φυσιολογικές λειτουργίες διαφόρων υδρόβιων οργανισμών	76
Πίνακας 3.3	Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές ολικής αμμωνίας σε mg/L για διαφορετικούς συνδυασμούς pH και θερμοκρασίας	80
Πίνακας 3.4	Διάφοροι εμπορικά διαθέσιμοι αισθητήρες για μέτρηση μεμονωμένων παραγόντων	95
Πίνακας 3.5	Διάφοροι εμπορικά διαθέσιμοι multiparameters αισθητήρες	96

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα	Τίτλος	Σελίδα
Εικόνα 1.1	Η εξέλιξη της παγκόσμιας παραγωγής ζωικών και φυτικών υδρόβιων οργανισμών υδατοκαλλιέργειας από το 1990 έως το 2016	12
Εικόνα 1.2	Παγκόσμια παραγωγή υδρόβιων οργανισμών αλιείας και υδατοκαλλιέργειών	12
Εικόνα 1.3	Παραγωγή θαλάσσιων, ψυχρών υδάτων ειδών ιχθύων το 2016 ανά χώρα της Ε.Ε και ανά είδος	16
Εικόνα 1.4	Παραγωγή ιχθύων γλυκού νερού το 2016 ανά χώρα της Ε.Ε και ανά	16
Εικόνα 1.5	Παραγωγή μεσογειακών ειδών ιχθύων το 2016 ανά χώρα της Ε.Ε και ανά είδος	17
Εικόνα 1.6	Παραγωγή τσιπούρας και λαβρακιού στην Ε.Ε. 2010-2016	19
Εικόνα 1.7	Εξέλιξη παραγωγής ιχθύων στην Ελλάδα από το 2008 έως το 2016	20
Εικόνα 1.8	Ποσότητα και αξία ιχθύων στην Ελλάδα, 2014-2016	22
Εικόνα 1.9	Ποσότητα και αξία καρκινοειδών/οστρακοειδών στην Ελλάδα, 2014-2016	22
Εικόνα 2.1	Ένα τυπικό ασύρματο δίκτυο αισθητήρων	38
Εικόνα 2.2	Αριστερά ένας τυπικός πομποδέκτης Bluetooth και δεξιά ένας πομποδέκτης Zigbee	42
Εικόνα 3.1	Διάφοροι αισθητήρες μέτρησης της θερμοκρασίας	89
Εικόνα 3.2	Διάφοροι αισθητήρες μέτρησης της αλατότητας	91
Εικόνα 3.3	Διάφοροι αισθητήρες μέτρησης του δεσμευμένου οξυγόνου	92
Εικόνα 3.4	Διάφοροι αισθητήρες μέτρησης της θολότητας	93
Εικόνα 3.5	Διάφοροι αισθητήρες πρώτης γενιάς	94
Εικόνα 3.6	Διάφοροι αισθητήρες δεύτερης γενιάς	94
Εικόνα 3.7	Διάφοροι αισθητήρες τρίτης και τέταρτης γενιάς	97
Εικόνα 3.8	Multiparameters αισθητήρες	97
Εικόνα 3.9	Η διαμόρφωση του συστήματος ασύρματου δικτύου αισθητήρων από τους Chandanapalli <i>et al.</i> (2014)	100
Εικόνα 3.10	Η διαμόρφωση του συστήματος ασύρματου δικτύου αισθητήρων από τους Zhang <i>et al.</i> (2010)	101
Εικόνα 3.11	Η διαμόρφωση του συστήματος ασύρματου δικτύου αισθητήρων από τους Huan <i>et al.</i> (2014)	103
Εικόνα 3.12	Η διαμόρφωση του συστήματος ασύρματου δικτύου αισθητήρων από τους Simbeye & Yang (2014)	104
Εικόνα 3.13	Εικόνα από το λογισμικό του ασύρματου δικτύου παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο από τους Hongpin <i>et al.</i> (2015)	104
Εικόνα 3.14	Η διαμόρφωση του συστήματος ασύρματου δικτύου αισθητήρων από τους Lloret <i>et al.</i> (2011)	105
Εικόνα 3.15	Αριστερά: Οι αισθητήρες μέτρησης των παραμέτρων του νερού και το υπερηχητικό SeaModem. Δεξιά: Έλικα παροχής ενέργειας (Cario <i>et al.</i> , 2017)	106
Εικόνα 3.16	Η διαμόρφωση του προτεινόμενου συστήματος ασύρματου δικτύου αισθητήρων από τους Parra <i>et al.</i> (2017)	107

Εικόνα 3.17	Δισδιάστατη παρακολούθηση και υπολογισμός των χαρακτηριστικών του οργανισμού μέσω του αλγόριθμου “Fingerprint”	109
Εικόνα 3.18	Δισδιάστατη παρακολούθηση ιχθύων. Αριστερά: Μεμονωμένα άτομα ιχθύων με κίτρινο περίγραμμα στο σώμα τους και πράσινο στο σκελετό τους. Δεξιά: Παρακολούθηση ιχθύων με ανίχνευση του κεφαλιού του ιχθύος	109
Εικόνα 3.19	Τρισδιάστατη παρακολούθηση ιχθύων με κάμερα	109
Εικόνα 3.20	Αντιπροσωπευτικά παραδείγματα διαδρομών κολύμβησης ενός ατόμου κατά τη διάρκεια μίας ώρας την ημέρα και μίας ώρας τη νύχτα	111
Εικόνα 3.21	Σχηματική απεικόνιση που δείχνει τη λειτουργία του συστήματος FishGuard.	112
Εικόνα 3.22	Η διαμόρφωση του συστήματος ασύρματου δικτύου αισθητήρων από τους Garcia <i>et al.</i> (2010b)	116
Εικόνα 3.23	Αρχιτεκτονική του συστήματος που εφάρμοσαν οι Parra <i>et al.</i> (2018)	117
Εικόνα 3.24	Η εικόνα (a) δείχνει μέσα στους πράσινους κύκλους την πραγματική τροφή που βρίσκεται στον πυθμένα των δεξαμενών. Η εικόνα (b) δείχνει μέσα στους κόκκινους κύκλους την ψευδή τροφή. Η εικόνα (c) δείχνει σε δυαδική μορφή τις λευκές περιοχές που είναι η τελική ανιχνευόμενη τροφή	118

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

1.1.1 Εισαγωγή

Υπάρχουν διάφοροι ορισμοί που έχουν αποδοθεί για τον όρο Υδατοκαλλιέργειες μέχρι σήμερα.

Ένας ορισμός των Υδατοκαλλιιεργειών έχει δοθεί από το Ιαπωνικό Συμβούλιο Πόρων, Επιστήμης και Τεχνολογίας ως εξής: “Οι Υδατοκαλλιέργειες είναι μια βιομηχανική διαδικασία για την εκτροφή υδρόβιων οργανισμών μέχρι το τελικό στάδιο εμπορίας τους, με τη χρήση κατάλληλων υδάτινων περιοχών, τον έλεγχο των περιβαλλοντικών παραγόντων και τη σωστή διαχείριση της βιολογίας και ηθολογίας του οργανισμού. Ο κλάδος των Υδατοκαλλιιεργειών πρέπει να θεωρηθεί ως ανεξάρτητη βιομηχανία από τον κλάδο της αλιείας μέχρι σήμερα” (Jhingran, 1987).

Επιπλέον, σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας (FAO), με τον όρο Υδατοκαλλιέργειες εννοείται “η εκτροφή/καλλιέργεια όλων των υδρόβιων οργανισμών, συμπεριλαμβανομένων των ιχθύων, των μαλάκιων, των καρκινοειδών και των υδρόβιων φυτών, με τη χρήση διαφόρων τεχνικών με σκοπό την αύξηση, πέραν των φυσικών ικανοτήτων του περιβάλλοντος, της παραγωγής των εν λόγω οργανισμών. Οι οργανισμοί αυτοί παραμένουν, καθ’ όλη τη διάρκεια εκτροφής ή καλλιέργειάς τους και μέχρι την εξαλίευσή τους, στην ιδιοκτησία φυσικού ή νομικού προσώπου” (Edwards & Demaine, 1998).

Με πιο απλά λόγια θα μπορούσαμε να πούμε ότι οι Υδατοκαλλιέργειες είναι η εκτροφή/καλλιέργεια όλων των υδρόβιων οργανισμών, τόσο της φυτικής όσο και της ζωικής προέλευσης, η οποία πραγματοποιείται κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες.

Η εφαρμογή των Υδατοκαλλιιεργειών έχει ξεκινήσει από αρχαιοτάτων χρόνων και ο κυριότερος σκοπός της ήταν και εξακολουθεί να είναι η παραγωγή τροφίμων για τον άνθρωπο. Ωστόσο εξυπηρετεί και άλλους σκοπούς, όπως: παραγωγή προϊόντων για τη βιομηχανία, βελτίωση φυσικών αποθεμάτων υδρόβιων οργανισμών, βελτίωση φυσικών πληθυσμών απειλούμενων ειδών και ειδών υπό εξαφάνιση, αποκατάσταση φυσικών οικοτόπων, παραγωγή δολωμάτων κυρίως για την αλιεία, παραγωγή τροφίμων για κατοικίδια ζώα, παραγωγή διακοσμητικών υδρόβιων οργανισμών (ζωολογικοί κήποι και ενυδρεία) και ανακύκλωση οργανικών αποβλήτων (Παπουτσόγλου, 1997).

Οι λόγοι για την ταχεία ανάπτυξη του κλάδου των Υδατοκαλλιιεργειών τα τελευταία χρόνια είναι πολυάριθμοι. Ένας από τους σημαντικότερους λόγους είναι η θρεπτική αξία και το υψηλό

ποσοστό των πρωτεϊνών που περιέχουν τα προϊόντα του κλάδου αυτού, που πολλές φορές είναι στα ίδια επίπεδα με την αξία και το ποσοστό των πρωτεϊνών του κρέατος των χερσαίων ζώων. Επιπλέον, οι ζωικοί υδρόβιοι οργανισμοί παραμένουν οι φθηνότερες πηγές ζωικών πρωτεϊνών, τόσο από την πλευρά του καταναλωτή όσο και του παραγωγού. Ιδιαίτερα οι ιχθύες έχουν τους υψηλότερους ρυθμούς μετατρεψιμότητας της τροφής σε σχέση με άλλα είδη ζώων. Επίσης απαιτούν λιγότερες μονάδες ενέργειας, μικρότερο χώρο και έχουν υψηλότερη παραγωγικότητα από όλα τα παραγωγικά ζώα, συμπεριλαμβανομένων των πουλερικών (Nash, 1986).

Ένας ακόμη σημαντικός λόγος για τη ραγδαία ανάπτυξη των Υδατοκαλλιεργειών, ίσως και ο σημαντικότερος, είναι η διαφοροποίηση που παρουσιάζεται στον κλάδο αυτό, τόσο από πλευράς εκτρεφόμενων και καλλιεργούμενων ειδών όσο και από πλευράς του περιβάλλοντος διαβίωσής τους αλλά και των συστημάτων και των μεθόδων εκτροφής τους (Wyrych, 2010).

1.1.2 Ιστορική εξέλιξη

Στο παρελθόν, οι Υδατοκαλλιέργειες ως κλάδος παρέμενε πολυπολιτισμικός και απομονωμένος, καθώς κάθε περιοχή ανά τον κόσμο εξέλιξε το δικό της μοτίβο εκτροφής και παραγωγής υδρόβιων οργανισμών. Τα τελευταία χρόνια, με την εξέλιξη της τεχνολογίας, η ανάπτυξη ταχέως μέσω επικοινωνίας και η πραγματοποίηση αποστάσεων σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα, οδήγησαν στην υιοθέτηση συγκεκριμένων μέτρων και μεθόδων που είναι κατάλληλα για την εκτροφή των διαφόρων υδρόβιων οργανισμών (Jhingran, 1987).

Η «τέχνη» των Υδατοκαλλιεργειών είναι πολύ παλιά, καθώς διάφοροι ιστορικοί και ερευνητές υποστηρίζουν ότι κάποιες διαδικασίες εκτροφής ιχθύων είχαν ήδη αρχίσει να εφαρμόζονται σε περιοχές της Κίνας και της Ινδονησίας από το 4000 π.Χ. περίπου (Παπουτσόγλου, 1997). Βέβαια, για την εποχή αυτή, δεν υπάρχουν αρκετά στοιχεία για τα αποτελέσματα των διαδικασιών αυτών, καθώς δεν υπήρχε λεπτομερής περιγραφή τους ούτε ήταν γνωστό πώς και με χρήση ποιων τεχνικών το πετύχαιναν (Rabanal, 1988; Παπουτσόγλου, 1997). Από την άλλη μεριά, εκείνη την περίοδο δεν είχε γίνει ακόμα η εμφάνιση του Τύπου και έτσι τα μόνα διαθέσιμα στοιχεία ήταν γραμμένες αφηγήσεις που περνούσαν από γενιά σε γενιά (Rabanal, 1988).

Μεταγενέστερα δεδομένα (475 μ.Χ.), περιγράφουν με ικανοποιητική σαφήνεια τις τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν από το 2000 π.Χ. προκειμένου να επιτευχθεί η ελεγχόμενη εκτροφή του κοινού κυπρίνου (*Cyprinus carpio*), σύμβολο της καλής τύχης για τους κινέζους (Rabanal, 1988; Παπουτσόγλου, 1997). Περίπου την ίδια εποχή, δηλαδή το 2000 π.Χ., στη Αίγυπτο, άρχισε να εμφανίζεται η εκτροφή ενός άλλου είδους ιχθύος, της τιλάπιας (*Tilapia nilotica*) (Παπουτσόγλου, 1997). Οι ενδείξεις που υπάρχουν για την Αίγυπτο αφορούν σχήματα που

βρίσκονται σε αρχαίους αιγυπτιακούς τάφους και παριστάνουν ανθρώπους να συλλέγουν τιλάπιες από τεχνητές υδατοσυλλογές (Rabanal, 1988; Παπουτσόγλου, 1997). Επίσης, γύρω στο 2000 π.Χ. τοποθετείται και η πρώτη προσπάθεια εκτροφής στρειδιών σε παραλιακές περιοχές των Ιαπωνικών νήσων (Παπουτσόγλου, 1997).

Σε ό,τι αφορά τον Ευρωπαϊκό χώρο, φαίνεται πως η ανάπτυξη των Υδατοκαλλιεργειών ξεκίνησε κατά τη Ρωμαϊκή περίοδο (Σκούφας, 2007). Οι Ρωμαίοι λέγεται πως ήταν οι πρώτοι που κατασκεύασαν τεχνητές παράκτιες υδατοσυλλογές, πιθανότατα πριν το τέλος του δεύτερου αιώνα π.Χ. (2200 π.Χ.). Ο Πλίνιος στα γραπτά του ανέφερε ότι κάποιος ευγενής της εποχής εκείνης, είχε σημαντικές εκτάσεις στην κατοχή του με τεχνητές υδατοσυλλογές για την εκτροφή ιχθύων. Αυτή η ιδέα προφανώς υιοθετήθηκε και από άλλους ευγενείς, καθώς η κατοχή ζωντανών ιχθύων αποτελούσε ένδειξη κύρους και πλούτου (Beveridge & Little, 2002). Επιπλέον, εκείνη την περίοδο λέγεται πως γινόταν και εκτροφή στρειδιών, καθώς η κατανάλωσή τους ήταν γνωστή και προσφιλής στους Ρωμαίους αυτοκράτορες (Παπουτσόγλου, 1997).

Το 12ο περίπου αιώνα μ.Χ., παρατηρείται μία έξαρση στις εκτροφές ιχθύων γλυκού νερού και υπάρχουν αναφορές εκτροφής διάφορων ειδών ιχθύων γλυκού νερού σε χωμάτινες υδατοσυλλογές (Παπουτσόγλου, 1997; Σκούφας, 2007). Η μέθοδος των υδατοκαλλιεργειών που εφαρμοζόταν τότε σε εκείνα τα είδη ιχθύων, συνίσταται στην παγίδευσή τους στις υδατοσυλλογές αυτές, ώστε να εξασφαλίζεται η αναπαραγωγή τους σε ελεγχόμενο χώρο. Το γεγονός αυτό επέτρεπε και την παρακολούθηση της ανάπτυξής τους και την εξασφάλιση ιχθύων για κατανάλωση όταν ήταν επιθυμητό (Παπουτσόγλου, 1997).

Η εκτροφή του κοινού κυπρίνου άρχισε να γίνεται γνωστή στον ευρωπαϊκό χώρο περίπου το 1400-1500 μ.Χ. και ήταν αναμφισβήτητα καθοριστική για την ανάπτυξη των υδατοκαλλιεργειών κατά τη διάρκεια των τελευταίων δύο χιλιετιών (Παπουτσόγλου, 1997; Beveridge & Little, 2002). Ο κοινός κυπρίνος μέχρι τότε δεν ήταν γνωστός στην Ευρώπη (Παπουτσόγλου, 1997). Ωστόσο, οι προσπάθειες που είχαν γίνει κατά τη Ρωμαϊκή περίοδο για την εκτροφή τοπικών ιχθύων σε μεγάλες εκτάσεις και την αύξηση του εφοδιασμού με φρέσκα ψάρια αποτυγχάνουν και ως εκ τούτου, εισήχθη ο κοινός κυπρίνος από τον Δούναβη (Beveridge & Little, 2002). Την ίδια περίοδο, ο κοινός κυπρίνος εμφανίζεται στη Μεγάλη Βρετανία ως το κατεξοχήν είδος ιχθύος για εφαρμογή ελεγχόμενη εκτροφής, καθώς άρχισαν να χρησιμοποιούνται βοηθητικές υδατοσυλλογές για ανάπτυξη και διαχείριση των ιχθύων (Παπουτσόγλου, 1997). Καθ' όλη τη διάρκεια του Μεσαίωνα, στην ανάπτυξη της εκτροφής του κοινού κυπρίνου αλλά και άλλων ειδών ιχθύων στον Ευρωπαϊκό χώρο, συνέβαλαν και τα μοναστήρια στα οποία υπήρχαν εκτάσεις με τεχνητές υδατοσυλλογές για την εκτροφή τους

(Beveridge & Little, 2002). Αργότερα, από το 1600 μ.Χ. και μετά, υπάρχουν αναφορές και για άλλα είδη ιχθύων στα οποία η εκτροφή τους εξελισσόταν σε ολοένα και πιο ελεγχόμενη, κυρίως από την άποψη παροχής τροφής για τον άνθρωπο. Επίσης, την ίδια περίπου εποχή, στον ευρωπαϊκό χώρο, πραγματοποιείται ένα πολύ σημαντικό βήμα στην εξέλιξη της ελεγχόμενης εκτροφής ιχθύων με την επίτευξη τεχνητής γονιμοποίησης ώριμων γεννητικά ατόμων στην πέστροφα (*Salmo trutta fario*) (Παπουτσόγλου, 1997).

Γενικά, οι εκτροφές υδρόβιων οργανισμών τη μεγαλύτερή τους εξέλιξη τη γνώρισαν μετά τη δεκαετία του 1960, φτάνοντας στον απόλυτο έλεγχο από τον άνθρωπο, όχι μόνο της διατροφής, αλλά και όλων σχεδόν των φυσιολογικών και βιολογικών φάσεων των οργανισμών αυτών και του περιβάλλοντος εκτροφής τους (Παπουτσόγλου, 1997).

Στον ελληνικό χώρο, οι Υδατοκαλλιέργειες ακολούθησαν την ίδια σχεδόν πορεία με εκείνη του ευρωπαϊκού. Έτσι, πολλές περιοχές της χώρας μας οι οποίες αποτελούσαν και εξακολουθούν να αποτελούν τόπους φυσικής ανάπτυξης πολλών εμπορικά σημαντικών υδρόβιων οργανισμών, υπήρξαν εκείνες στις οποίες εφαρμόστηκαν για πρώτη φορά μέθοδοι εγκλωβισμού ιχθύων. Οι μέθοδοι αυτές συνίστανται κυρίως από ενέργειες και διαδικασίες οι οποίες έχουν σκοπό να εμποδιστεί η τοπικού χαρακτήρα μετανάστευση ιχθύων (τσιπούρα, λαβράκι, κέφαλος) από ημίκλειστες φυσικές θαλασσινές ή υφάλμυρες υδάτινες εκτάσεις, στην ανοιχτή θάλασσα. Ο συνωστισμός επομένως, των ιχθύων αυτών στα σημεία επαφής των δύο υδάτινων εκτάσεων δημιούργησε την ιδέα της παγίδευσής τους, με σκοπό την εύκολη αλιεία τους (Παπουτσόγλου, 1997).

Έτσι, μέχρι το 1950 ασκείτο η πατροπαράδοτη μορφή υδατοκαλλιέργειών. Η παραγωγή γινόταν σε λιμνοθάλασσες, θυνεία, ποταμούς και λίμνες υπό εκτατική μορφή σε μικρή έκταση. Στα τέλη του 1950 και αρχές του 1960 ξεκίνησε η εκτροφή, κυρίως πέστροφας, υπό εντατική μορφή ενώ τα χρόνια γύρω από το 1970 μπορεί να θεωρηθούν ως καμπή στην ελληνική υδατοκαλλιέργεια καθώς η εντατική μορφή εκτροφής άρχισε να αναπτύσσεται και να λαμβάνει μερίδιο από την εκτατική και την ημιεντατική που κυριαρχούσαν (Σίμος, 2013).

Το επόμενο ορόσημο για τις Υδατοκαλλιέργειες της χώρας μας, ήταν η δεκαετία του 1980 όπου το εθνικό ενδιαφέρον εστιάστηκε σε μεγάλο βαθμό στην παραγωγή υδρόβιων οργανισμών σε αλμυρά και υφάλμυρα νερά. Η παραγωγή τσιπούρας και λαβρακιού την περίοδο αυτή σημείωσε ραγδαία αύξηση, ενώ παράλληλα εντατικοποιήθηκαν οι προσπάθειες και για αύξηση της παραγωγής άλλων ειδών εκτρεφόμενων ιχθύων όπως πέστροφα, χέλι, κέφαλος κ.ά. (Σίμος, 2013).

Τέλος, από τη δεκαετία του '90 έως και σήμερα, η Ελλάδα κατέχει ηγετική θέση στην παραγωγή τσιπούρας και λαβρακίου, ανάμεσα σε άλλους σημαντικούς παραγωγούς της Ευρώπης (Σίμος, 2013).

1.1.3 Παραγωγικά συστήματα Υδατοκαλλιέργειών

Τα συστήματα και οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στις υδατοκαλλιέργειες, επιδιώκουν την εξασφάλιση όλων των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του νερού που θεωρούνται απαραίτητα για την εκτροφή των υδρόβιων οργανισμών (Παπουτσόγλου, 1997). Λόγω της μεγάλης βιοποικιλότητας που παρουσιάζουν οι συγκεκριμένοι οργανισμοί, υπάρχουν διάφορα συστήματα και μέθοδοι εκτροφής που εφαρμόζονται στις Υδατοκαλλιέργειες. Ως κριτήρια διαχωρισμού τους χρησιμοποιούνται το μέγεθος της ανθρώπινης επέμβασης προς την παραγωγή, καθώς και το ύψος της παραγωγής, ο τρόπος κυκλοφορίας και χρήσης του νερού και το είδος των εγκαταστάσεων (Παπουτσόγλου, 1997; Soltan, 2016).

1.1.3.1 Συστήματα εκτροφής με βάση το ύψος της παραγωγής και το βαθμό της ανθρώπινης επέμβασης

Το ύψος της παραγωγής έχει άμεση σχέση με την ένταση της εκτροφής. Με τον όρο ένταση εννοείται η πυκνότητα των οργανισμών ανά μονάδα όγκο ή ανά μονάδα επιφάνειας. Ο όρος αυτός χρησιμοποιείται κυρίως για σύγκριση της πυκνότητας της εκτροφής του ίδιου είδους ή συγγενικών ειδών ιχθύων και όχι οργανισμών από διαφορετικές ομάδες. Όσο μεγαλύτερη είναι η ένταση της εκτροφής, τόσο μεγαλύτερη είναι και η απαίτηση για εισροές στο σύστημα, άρα και μεγαλύτερος ο βαθμός της ανθρώπινης παρέμβασης (Soltan, 2016).

Ανάλογα λοιπόν, με το βαθμό της ανθρώπινης παρέμβασης και το ύψος της παραγωγής, τα συστήματα των Υδατοκαλλιέργειών διαχωρίζονται σε: εκτατικά, ημιεκτατικά, ημιεντατικά και εντατικά.

I. Εκτατικό σύστημα

Το εκτατικό σύστημα αποτελεί ένα από τα παλαιότερα που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος, για να ελέγχει την παραγωγικότητα των φυσικών υδατοσυλλογών (Παπουτσόγλου, 1997). Στο σύστημα αυτό οι οργανισμοί εκτρέφονται σε φυσικές υδατοσυλλογές (π.χ. μικρές λίμνες ή λιμνοθάλασσες) και εξαρτώνται σχεδόν αποκλειστικά από την τροφή που υπάρχει στο φυσικό περιβάλλον με ελάχιστη ή και καμία ανθρώπινη παρέμβαση (Γκάνιας, 2015).

Η παραγωγικότητα του εκτατικού συστήματος βασίζεται στις τυπικού ή όχι χαρακτήρα μεταναστεύσεις ιχθύων. Μετά την εκκόλαψη των αυγών και την παραμονή των ιχθυδίων στην ανοιχτή θάλασσα, ακολουθεί η «μετανάστευση» και η είσοδός τους σε ημίκλειστες παράκτιες

περιοχές, όπου οι φυσικοχημικές και βιολογικές συνθήκες παρέχουν σε αυτά κατάλληλο περιβάλλον ανάπτυξης. Οι ελεγχόμενες εισοδοί των υδατοσυλλογών κλείνουν μετά τη μαζική είσοδο των ιχθυδίων και παραμένουν κλειστές μέχρι την επόμενη περίοδο. Η εκτροφή των ιχθύων γίνεται μέσα σε αυτές τις υδατοσυλλογές και η διατροφή τους βασίζεται αποκλειστικά στους φυσικούς πόρους του περιβάλλοντος διαβίωσής τους. Η αναπαραγωγή τους όμως δεν πραγματοποιείται στα αβαθή νερά των λιμνοθαλασσών αλλά σε μεγάλα βάθη στην ανοιχτή θάλασσα. Έτσι, οι εγκλωβισμένοι ιχθύες στην προσπάθειά τους να διαφύγουν στην ανοιχτή θάλασσα, παγιδεύονται σε κατάλληλες συσκευές από τις οποίες αλιεύονται εύκολα (Παπουτσόγλου, 1997).

Το σύστημα αυτό εφαρμόζεται ευρύτατα και από πάρα πολλά χρόνια στα υφάλμυρα ή αλμυρά νερά των λιμνοθαλασσών (Παπουτσόγλου, 1997). Παραδείγματα συστημάτων εκτατικής εκτροφής αποτελούν οι υφάλμυρες λιμνοθάλασσες με υψηλά επίπεδα πρωτογενούς παραγωγικότητας ή η εκτροφή Μαλάκιων με απλή απελευθέρωση πρώιμων αναπτυξιακών σταδίων στον θαλάσσιο πυθμένα (Γκάνιας, 2015). Η παραγωγικότητα του συστήματος αυτού είναι από τις πιο χαμηλές και αντιστρόφως ανάλογη με τη χρησιμοποιούμενη υδάτινη έκταση (Παπουτσόγλου, 1997).

II. Ημικτατικό σύστημα

Ένας άλλος τύπος εκτατικού συστήματος είναι το ημικτατικό σύστημα. Στο σύστημα αυτό υπάρχουν κάποιες ανθρώπινες επεμβάσεις που επιδιώκουν τη βελτίωση και την αύξηση της πρωτογενούς παραγωγής της τεχνητής υδατοσυλλογής, με σκοπό την αύξηση της τελικής παραγωγικότητας. Η βελτίωση της βιολογικής δραστηριότητας της υδατοσυλλογής πετυχαίνεται με κατάλληλα χωματουργικά έργα που αποσκοπούν στην καλύτερη κυκλοφορία του νερού και στην εύκολη σύλληψη των οργανισμών, καθώς και με τη χρησιμοποίηση οργανικής ή ανόργανης λίπανσής τους (Παπουτσόγλου, 1997).

Το ημικτατικό σύστημα εφαρμόζεται συνήθως σε υδατοσυλλογές υφάλμυρων ή γλυκών νερών. Η τελική παραγωγικότητα της υδατοσυλλογής είναι μεγαλύτερη από εκείνη του εκτατικού συστήματος (Παπουτσόγλου, 1997).

III. Ημιεντατικό σύστημα

Στο ημιεντατικό σύστημα η εκτροφή γίνεται επίσης σε φυσικές υδατοσυλλογές, αλλά περιλαμβάνει περισσότερες ανθρώπινες επεμβάσεις σε σύγκριση με το ημικτατικό (Γκάνιας, 2015).

Η κυριότερη ανθρώπινη παρέμβαση είναι η χορήγηση συμπληρωματικού τεχνητού σιτηρεσίου, ιδιαίτερα τις περιόδους που μπορεί να χρησιμοποιηθεί επωφελώς από τους οργανισμούς, αν

και η κύρια πηγή τροφής των εκτρεφόμενων οργανισμών προέρχεται από τη φυσική υδατοσυλλογή. Επιπλέον, για τη βελτίωση της παραγωγικότητας της υδατοσυλλογής και την ενίσχυση της τροφικής αλυσίδας, μπορεί να χρειαστεί προσθήκη ανόργανων ή οργανικών λιπασμάτων. Τέλος, σε περιπτώσεις που δεν υπάρχει η δυνατότητα αυξημένης παροχής νερού, γίνεται τεχνητή οξυγόνωση προκειμένου να διατηρηθούν τα κατάλληλα επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου (Παπουτσόγλου, 1997; Soltan, 2016).

IV. Εντατικό σύστημα

Τα κύρια χαρακτηριστικά του συστήματος αυτού είναι η αποκλειστική χορήγηση τεχνητού σιτηρεσίου στους εκτρεφόμενους οργανισμούς και η πραγματοποίηση της εκτροφής τους σε δεξαμενές (όχι τεχνητές υδατοσυλλογές) ή σε πλωτούς ιχθυοκλωβούς. Το σύστημα αυτό είναι τελειώς ανεξάρτητο από τη βιολογική δραστηριότητα του νερού. Αντιθέτως, η εφαρμογή του προϋποθέτει την ύπαρξη των κατάλληλων φυσικοχημικών συνθηκών του νερού που είναι απαραίτητες για την ταχύτερη ανάπτυξη του οργανισμού που θα επιλεγεί για εκτροφή (Παπουτσόγλου, 1997).

Το σύστημα αυτό έχει υψηλότερες δαπάνες παραγωγής από τα προαναφερθέντα συστήματα, όμως έχει πολύ μεγαλύτερο ύψος παραγωγής (Παπουτσόγλου, 1997).

V. Υπερεντατικό σύστημα

Στο συγκεκριμένο σύστημα τα επίπεδα της ανθρώπινης παρέμβασης και ελέγχου είναι τα μέγιστα (Παπουτσόγλου, 1997; Γκάνιας., 2015). Η ανθρώπινη παρέμβαση σε αυτό το σύστημα δεν αφορά μόνο τη χορήγηση τεχνητού σιτηρεσίου και την εκτροφή των υδρόβιων οργανισμών σε δεξαμενές, αλλά και την παρακολούθηση και διατήρηση των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του νερού σε σταθερά επίπεδα που είναι κατάλληλα για το είδος το οποίο εκτρέφεται (Παπουτσόγλου, 1997).

Η μέγιστη πυκνότητα εκτροφής που επιτυγχάνεται σε κάθε περίπτωση εξαρτάται από το αν είναι σε θέση να διατηρηθούν οι κατάλληλες φυσικοχημικές συνθήκες του νερού που απαιτούνται από τον εκάστοτε εκτρεφόμενο οργανισμό (Soltan, 2016).

Το υπερεντατικό σύστημα, είναι το σύστημα με τις μεγαλύτερες παραγωγικές δαπάνες αλλά και τις μεγαλύτερες αποδόσεις στην τελική παραγωγή, από όλα τα συστήματα που έχουν αναφερθεί. Επομένως, προσφέρεται για εμπορικά σημαντικά εκτρεφόμενα είδη των οποίων η τιμή διάθεσης υπερκαλύπτει και δικαιολογεί τις δαπάνες παραγωγής, όπως για παράδειγμα τσιπούρα, λαβράκι, πέστροφα, κ. ά. (Παπουτσόγλου, 1997).

1.1.3.2 Συστήματα εκτροφής με βάση την ανανέωση του νερού και το είδος των εγκαταστάσεων

Η συγκεκριμένη διάκριση των συστημάτων βασίζεται στη χρήση ανοιχτού ή κλειστού κυκλώματος, στο είδος των εγκαταστάσεων εκτροφής και στη μερική ή όχι ανανέωση του νερού της εκτροφής. (Παπουτσόγλου, 1997; Soltan, 2016). Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα κύρια συστήματα που χρησιμοποιούνται και έχουν ιδιαίτερη σημασία για τις Υδατοκαλλιέργειες.

I. Συστήματα συνεχούς ροής του νερού (ανοιχτό σύστημα)

Το σύστημα αυτό είναι ένα από τα παλαιότερα που έχουν εφαρμοστεί, κυρίως για την εκτροφή ιχθύων της οικογένειας Salmonidae (πέστροφα, σολομός). Με την πάροδο του χρόνου όμως εφαρμόζεται και στην εκτροφή άλλων ειδών ιχθύων όπως ο κυπρίνος (Παπουτσόγλου, 1997).

Η εφαρμογή του συστήματος αυτού μπορεί να γίνει είτε σε χερσαίες δεξαμενές είτε σε φυσικές ή τεχνητές υδατοσυλλογές με τη χρήση πλωτών κλωβών (Παπουτσόγλου, 1997; Soltan, 2016).

Στην περίπτωση που το σύστημα αυτό πραγματοποιηθεί με τη χρήση δεξαμενών, η διαδικασία χρήσεως του νερού είναι απλή. Συνίσταται από μια παροχή και μια αποχέτευση του νερού, σε κάθε μια από τις δεξαμενές εκτροφής, με την οποία επιδιώκεται συγχρόνως με την απομάκρυνση του νερού και η απομάκρυνση των περιττωμάτων των ιχθύων καθώς και των υπολειμμάτων της τροφής. Το νερό που χρησιμοποιείται μπορεί να είναι οποιασδήποτε προελεύσεως, αρκεί να ανταποκρίνεται στις φυσικοχημικές απαιτήσεις του οργανισμού που θα εκτραφεί και να είναι δυνατή η παροχή του στις δεξαμενές της εκτροφής με αγωγό. Μετά τη χρησιμοποίησή του για την εκτροφή, το νερό απομακρύνεται και διοχετεύεται σε κάποια φυσική υδατοσυλλογή (Παπουτσόγλου, 1997).

Στην περίπτωση που η εφαρμογή του συστήματος αυτού γίνει με τη χρήση πλωτών κλωβών, οι υδρόβιοι οργανισμοί εκτρέφονται με τεχνητό σιτηρέσιο εντός των κλωβών, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι μέσα σε μια μεγάλη φυσική υδατοσυλλογή (π.χ. λίμνη ή ωκεανό) (Παπουτσόγλου, 1997; Soltan, 2016). Η ποιότητα του νερού εξαρτάται από τα φυσικά ρεύματα και δεν υπάρχει τεχνητή κυκλοφορία του νερού από ή προς την εκτροφή (Soltan, 2016). Για το λόγο αυτό, προκειμένου να γίνει χρήση πλωτών κλωβών πρέπει να υπάρχει το κατάλληλο βάθος και να υπάρχουν υδάτινα ρεύματα στην υδατοσυλλογή ώστε να πραγματοποιείται ανανέωση του νερού της εκτροφής (Παπουτσόγλου, 1997).

Επειδή η ποσότητα του νερού που χρησιμοποιεί το σύστημα αυτό είναι πολύ μεγάλη, τόσο στην περίπτωση των δεξαμενών όσο και στην περίπτωση των πλωτών κλωβών, αντιστοιχεί στον εντατικό τύπο συστήματος με βάση τον προηγούμενο διαχωρισμό των συστημάτων. Ένα

από τα βασικά του μειονεκτήματα είναι ο κίνδυνος αλλοίωσης των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του νερού της φυσικής υδατοσυλλογής στην οποία είτε γίνεται εκτροφή υδρόβιων οργανισμών με κλωβούς είτε διοχετεύεται το νερό των δεξαμενών της χερσαίας εκτροφής. Και στις δύο περιπτώσεις θα πρέπει η εφαρμογή του συστήματος αυτού να γίνεται ύστερα από σχετική μελέτη που θα αφορά την προστασία των φυσικών υδατοσυλλογών στις οποίες θα πραγματοποιηθεί η εκτροφή ή θα δέχεται τα νερά της χερσαίας εκτροφής (Παπουτσόγλου, 1997, Soltan, 2016).

II. Σύστημα πολλαπλής χρησιμοποίησης-επανακυκλοφορίας του νερού (ημίκλειστο σύστημα)

Στα συστήματα επανακυκλοφορίας, το νερό που έχει χρησιμοποιηθεί και εξέρχεται από τις δεξαμενές εκτροφής επαναχρησιμοποιείται, αντί να απελευθερώνεται και να χάνεται στο περιβάλλον όπως συμβαίνει στα ανοιχτά συστήματα (Γκάνιας, 2015). Κατά την έξοδό του, η μεγαλύτερη ποσότητα του νερού (50-90%) καθαρίζεται με τη διοχέτευσή του σε σύστημα φίλτρων (βιολογικά και μηχανικά), όπου απομακρύνονται τα αιωρούμενα σωματίδια και η αμμωνία (Παπουτσόγλου, 1997; Γκάνιας, 2015).

Ένα από τα βασικότερα πλεονεκτήματα των συστημάτων επανακυκλοφορίας του νερού είναι ότι μειώνεται το ποσοστό του νέου νερού που προέρχεται από το περιβάλλον και κατ' επέκταση η ποσότητα του συνολικού νερού που απαιτείται για τη λειτουργία του συστήματος (Παπουτσόγλου, 1997; Γκάνιας, 2015). Ως εκ τούτου, μονάδες με τέτοιου τύπου συστήματα μπορούν να δημιουργηθούν σε χώρους όπου ο όγκος του νερού αποτελεί περιοριστικό παράγοντα, αλλά και ήδη υπάρχουσες μονάδες μπορούν να αυξήσουν την παραγωγή τους χωρίς να αυξηθεί η ποσότητα του απαιτούμενου νερού (Γκάνιας, 2015). Επιπλέον, με τον τρόπο χειρισμού του νερού στο συγκεκριμένο σύστημα, μειώνονται οι πιθανότητες αλλοίωσης των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών της υδατοσυλλογής που θα δεχτεί τα νερά της εκτροφής. Κι αυτό γιατί, όχι μόνο τα νερά αυτά είναι μικρότερης ποσότητας αλλά γιατί είναι σχεδόν απαλλαγμένο από πολύπλοκες οργανικές ενώσεις (Παπουτσόγλου, 1997).

Επιπρόσθετα, με τη χρήση αυτού του συστήματος είναι δυνατή η εκτροφή ειδών που έχουν υψηλότερες θερμοκρασιακές απαιτήσεις από τη φυσική θερμοκρασία της περιοχής, όπως για παράδειγμα συμβαίνει με την εκτροφή θερμόφιλων ειδών σε υψηλά γεωγραφικά πλάτη του βορείου ημισφαιρίου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι με τη μείωση του ύψους του παρεχόμενου νέου νερού, οι ενεργειακές απαιτήσεις για τη θέρμανσή του επίσης μειώνονται, ελαττώνοντας συνεπώς το συνολικό κόστος της εγκατάστασης (Γκάνιας, 2015).

Εκτός όμως από πλεονεκτήματα, τα συστήματα επανακυκλοφορίας παρουσιάζουν και ορισμένα μειονεκτήματα. Τα δύο κύρια μειονεκτήματά τους είναι το κόστος επένδυσης και το κόστος λειτουργίας. Επειδή ο αριθμός και το μέγεθος των εξαρτημάτων για την επεξεργασία του νερού είναι μεγαλύτερα απ' ό,τι για ένα σύστημα συνεχούς ροής, το κόστος της επένδυσης είναι επίσης υψηλότερο ειδικά σε συστήματα με υψηλό βαθμό επαναχρησιμοποίησης του νερού (> 95%). Επίσης, για να εξασφαλιστεί η λειτουργία του συστήματος, οι απαιτήσεις για την παρακολούθηση της ποιότητας και της ροής του νερού είναι μεγαλύτερες απ' ό,τι στα συστήματα συνεχούς ροής. Ακόμη, μερικά από τα εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται στα σύστημα επαναχρησιμοποίησης απαιτούν υψηλό επίπεδο τεχνολογίας και βιολογικών γνώσεων για τη λειτουργία τους, ενώ η συντήρησή τους επίσης ανεβάζει αρκετά το κόστος (Γκάνιας, 2015).

III. Κλειστό σύστημα

Το σύστημα αυτό αποτελεί μία παραλλαγή του ημίκλειστου συστήματος με τη διαφορά ότι το νερό που χρησιμοποιείται είναι συνεχώς το ίδιο. Φυσικά για να επιτευχθεί αυτό είναι απαραίτητη η παρουσία συστήματος καθαρισμού του νερού (μηχανικά, βιολογικά φίλτρα, κτλ), προκειμένου να είναι δυνατή η συνεχής ανανέωση και χρήση του (Παπουτσόγλου, 1997).

Τα πλεονεκτήματα του συστήματος αυτού είναι παρόμοια με του προηγούμενου συστήματος που αναφέρθηκε. Από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα είναι ότι οι απαιτήσεις του συστήματος σε νερό είναι χαμηλές και επειδή δεν υπάρχει αποχέτευση δεν προκαλείται αλλοίωση των χαρακτηριστικών των φυσικών υδατοσυλλογών. Επιπλέον, η χρήση κλειστού κυκλώματος νερού, επιτρέπει τη ρύθμιση και τον πλήρη έλεγχο των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του νερού, όπως η θερμοκρασία, η αλατότητα, το οξυγόνο, κλπ. (Παπουτσόγλου, 1997; Soltan, 2016).

Στα μειονεκτήματα του συστήματος αυτού, περιλαμβάνονται το υψηλό κόστος επένδυσης αλλά και λειτουργίας. Παράλληλα χρειάζεται πολλή προσοχή στη διαχείρισή του, καθώς σε περίπτωση ασθενειών η μετάδοση από τον έναν οργανισμό στον άλλο είναι ραγδαία (Soltan, 2016).

IV. Σύστημα χωρίς ανανέωση (παροχή και αποχέτευση) νερού

Είναι το παλαιότερο σύστημα που έχει εφαρμοστεί για την εκτροφή διαφόρων ειδών ιχθύων, όπως ο κυπρίνος, ο κέφαλος κ.ά (Παπουτσόγλου, 1997).

Το σύστημα αυτό μπορεί να εφαρμοστεί είτε σε φυσικές υδατοσυλλογές (π.χ. λίμνες) είτε σε τεχνητές (Soltan, 2016). Και στις δύο περιπτώσεις παρέχεται νερό μια μόνο φορά για κάθε περίοδο εκτροφής (Παπουτσόγλου, 1997). Ωστόσο, μπορεί να υπάρχει κάποια συμπλήρωση

νερού λόγω εξάτμισης (Soltan, 2016). Δεν υπάρχει, επομένως, κατά τη διάρκεια της εκτροφής ούτε παροχή ούτε αποχέτευση του νερού. (Παπουτσόγλου, 1997, Soltan, 2016).

Στην περίπτωση εκτροφής σε τεχνητές υδατοσυλλογές, το συγκεκριμένο σύστημα παρουσιάζει ορισμένα προβλήματα που σχετίζονται με τα αυξημένα επίπεδα των αζωτούχων ενώσεων λόγω των προϊόντων του μεταβολισμού των ιχθύων και τα χαμηλά επίπεδα της συγκέντρωσης του οξυγόνου κατά τις νυκτερινές ώρες (Παπουτσόγλου, 1997; Soltan, 2016). Βελτίωση του συστήματος αυτού μπορεί να γίνει με παροχή τεχνητής οξυγόνωσης, λίπανσης και συμπληρωματικού τεχνητού σιτηρεσίου (Παπουτσόγλου, 1997).

Στο σύστημα αυτό, η απαίτηση σε έκταση και νερό θεωρείται μεγάλη γι' αυτό και αντιστοιχεί στο ημικτατικό ή ημιεντατικό τύπο Υδατοκαλλιεργειών με βάση τον προηγούμενο διαχωρισμό των συστημάτων. Η παραγωγή του επομένως είναι χαμηλή σε σχέση με την έκταση της υδατοσυλλογής και τον όγκο του νερού που χρησιμοποιείται (Παπουτσόγλου, 1997).

V. Σύστημα τεχνητών υδατοσυλλογών με συνεχή ανανέωση του νερού

Το συγκεκριμένο σύστημα είναι ένας συνδυασμός του ανοιχτού συστήματος δεξαμενών και του συστήματος χωρίς ανανέωση του νερού. Και αυτό γιατί συνδυάζει τη συνεχή ανανέωση του νερού της εκτροφής, αξιοποιώντας παράλληλα τη βιολογική δραστηριότητα του νερού (Παπουτσόγλου, 1997).

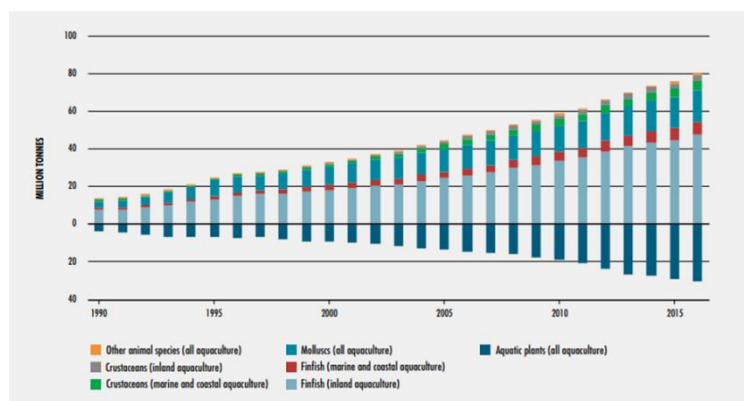
Ο τρόπος λειτουργίας του βασίζεται στη μετατροπή, από τα βακτήρια, των περιττωμάτων των ιχθύων σε θρεπτικά για τα φυτά στοιχεία, ένα μεγάλο μέρος από τα οποία χρησιμοποιείται από τους φυτικούς οργανισμούς της εκτροφής. Επιπλέον, η λειτουργία του στηρίζεται και στον καθαρισμό του νερού που πραγματοποιείται με την καθίζηση μεγάλης ποσότητας των αιωρούμενων σωματιδίων και τη συνεχή μερική απομάκρυνση του νερού εκτροφής, στην παροχή νέου νερού και στη συνεχή συλλογή των φυτοπλαγκτονικών οργανισμών (Παπουτσόγλου, 1997).

Το σύστημα αυτό απαιτεί αρκετά μεγάλη ποσότητα νερού και το νερό της αποχετεύσεώς του είναι δυνατό να προκαλέσει αλλαγές των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών της φυσικής υδατοσυλλογής που θα τα δεχτεί. Ωστόσο, η παραγωγή του είναι μεγαλύτερη σε σύγκριση με το σύστημα χωρίς ανανέωση νερού και αυτό οφείλεται κυρίως στη συνεχή μερική ανανέωση του νερού που βελτιώνει την κατάστασή του από πλευράς οξυγόνου και μετριάζει την επίδραση των προϊόντων του μεταβολισμού των ιχθύων (Παπουτσόγλου, 1997).

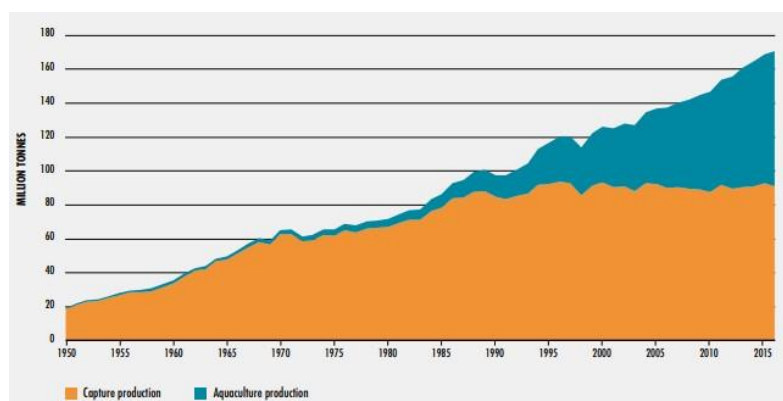
1.2 ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

1.2.1 Παγκόσμια Υδατοκαλλιέργεια

Ο κλάδος των Υδατοκαλλιεργειών αποτελεί έναν από τους ταχύτερα αναπτυσσόμενους κλάδους τροφίμων διεθνώς και παρόλο που από το 2000 δεν απολαμβάνει πλέον τους υψηλούς ρυθμούς ανάπτυξης που παρουσίαζε τη δεκαετία του '80 και του '90, φαίνεται πως συνεχίζει να αναπτύσσεται γρηγορότερα σε σχέση με άλλους μεγάλους κλάδους παραγωγής τροφίμων (Εικόνα 1.1) (FAO, 2018; ΣΕΘ, 2017).



Εικόνα 1.1: Η εξέλιξη της παγκόσμιας παραγωγής ζωικών και φυτικών υδρόβιων οργανισμών υδατοκαλλιέργειας από το 1990 έως το 2016 (Πηγή: The state of world Fisheries and Aquaculture, FAO, 2018, page 17)



Εικόνα 1.2: Παγκόσμια παραγωγή υδρόβιων οργανισμών αλιείας και υδατοκαλλιεργειών (Πηγή: The state of world Fisheries and Aquaculture, FAO, 2018, page 3)

Σύμφωνα με τα τελευταία στοιχεία του Παγκόσμιου Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργίας (FAO), το 2016 η παγκόσμια παραγωγή όλων των υδρόβιων οργανισμών υδατοκαλλιέργειας, ζωικής και φυτικής προέλευσης, ανήλθε σε 110,2 εκατομμύρια (εκατ.) τόνους (Εικόνα 1.2), ξεπερνώντας την αντίστοιχη από την αλιεία η οποία τα τελευταία δέκα χρόνια έχει σταθεροποιηθεί μεταξύ 90-93 εκατ. τόνων. Από αυτή τη συνολική παραγωγή τα 80,0 εκατ. τόνοι προέρχονται από την εκτροφή ζωικών υδρόβιων οργανισμών, τα 30,1 εκατ. τόνοι από την καλλιέργεια φυτικών υδρόβιων οργανισμών (FAO, 2018; ΣΕΘ, 2017).

Τα είδη των υδρόβιων οργανισμών με τη μεγαλύτερη παραγωγή σε όγκο για το 2016 είναι οι ιχθύες και τα μαλάκια, ενώ σε αξία είναι οι ιχθύες και τα καρκινοειδή. Έτσι, από τη συνολική παραγωγή των 80,0 εκατ. τόνων ζωικών υδρόβιων οργανισμών, τα 54,1 εκατ. τόνοι αποτελούν οι εκτρεφόμενοι ιχθύες γλυκού και αλμυρού, τα 17,1 εκατ. τόνοι αποτελούν τα μαλάκια, τα 7,9 εκατ. τόνοι είναι τα καρκινοειδή και 938.500 τόνοι είναι άλλα υδρόβια ζώα (όπως χελώνες, αγγούρια της θάλασσας, αχινοί, βατράχια και μέδουσες) (FAO, 2018).

Σε παγκόσμιο επίπεδο οι υδατοκαλλιέργειες γλυκού νερού προηγούνται έναντι αυτών του αλμυρού και υφάλμυρου νερού. Το 2016 το 64,2% (51,4 εκατ. τόνοι) της παγκόσμιας παραγωγής υδρόβιων οργανισμών προήλθε από τις υδατοκαλλιέργειες γλυκού νερού, ενώ το 2000 το ποσοστό αυτό έφτανε το 57,9%. Η εκτροφή ιχθύων γλυκού νερού εξακολουθεί να κυριαρχεί της συνολικής παραγωγής υδρόβιων οργανισμών γλυκού νερού, αντιπροσωπεύοντας το 92,5%. Το ποσοστό αυτό μειώθηκε από 97,2% που ήταν το 2000, καθώς αναπτύχθηκε η εκτροφή και άλλων ομάδων ειδών γλυκού νερού, ιδίως των καρκινοειδών και των μαλάκιων (FAO, 2018).

Όσον αφορά τις υδατοκαλλιέργειες αλμυρού και υφάλμυρου νερού, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας για το 2016 κατέγραψε περίπου 28,7 εκατ. εκατομμύρια τόνους υδρόβιων οργανισμών που παράγονται από αυτή την κατηγορία υδατοκαλλιεργειών και αντιστοιχούν σε ποσοστό 35,8% της παγκόσμιας παραγωγής υδρόβιων οργανισμών. Σε αντίθεση με την κυριαρχία της εκτροφής των ιχθύων στο γλυκό νερό, στο αλμυρό και υφάλμυρο νερό την πρώτη θέση σε παραγωγή έχουν τα μαλάκια με ποσοστό 58,8%, ενώ οι ιχθύες και τα καρκινοειδή συνολικά φτάνουν το ποσοστό του 39,9% της συνολικής παραγωγής υδρόβιων οργανισμών αλμυρού και υφάλμυρου νερού (FAO, 2018). Στον Πίνακα 1.1 παρουσιάζεται αναλυτικά η παραγωγή σε χιλιάδες τόνους των κύριων ομάδων υδρόβιων οργανισμών όπως καταγράφηκε από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας.

Πίνακας 1.1: Παγκόσμια παραγωγή υδατοκαλλιεργειών των κύριων ομάδων υδρόβιων οργανισμών το 2016 (Πηγή: The state of world Fisheries and Aquaculture, FAO, 2018)

Κατηγορία	Παραγωγή (χιλιάδες τόνοι)	Συμμετοχή στη συνολική παραγωγή
Γλυκού νερού		
Ιχθύες	47.516	59,4%
Καρκινοειδή	3.033	3,8%
Μαλάκια	286	0,4%
Άλλοι υδρόβιοι οργανισμοί	531	0,6%
Συνολική παραγωγή	51.367	64,2%
Αλμυρού & υφάλμυρου νερού		
Ιχθύες	6.575	8,2%

Καρκινοειδή	4.829	6,0%
Μαλάκια	16.853	21,1%
Άλλοι υδρόβιοι οργανισμοί	407	0,5%
Συνολική παραγωγή	28664	35,8%
Σύνολο υδατοκαλλιεργειών		
Ιχθύες	54.091	67,6%
Καρκινοειδή	7.862	9,8%
Μαλάκια	17.139	21,4%
Άλλοι υδρόβιοι οργανισμοί	939	1,2%
Παγκόσμια παραγωγή	80.031	100%

Τα τελευταία δέκα χρόνια ο συνολικός αριθμός των εμπορικά εκτρεφόμενων ειδών που καταγράφονται από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας αυξήθηκε κατά 26,7%, φτάνοντας τα 598 είδη, εκ των οποίων τα 360 είναι είδη ιχθύων ενώ τα υπόλοιπα είναι καρκινοειδή, μαλάκια και άλλα ζωικά υδρόβια είδη (FAO, 2018).

Ωστόσο, παρά τη μεγάλη ποικιλότητα των εκτρεφόμενων υδρόβιων οργανισμών, η παγκόσμια παραγωγή των υδατοκαλλιεργειών σε όγκο κυριαρχείται από ένα μικρό αριθμό συγκεκριμένων ειδών ή ομάδων ειδών που ανήκουν κυρίως στην κατηγορία των ιχθύων (Πίνακας 1.2). Επιπλέον, από την κατηγορία των καρκινοειδών, των μαλάκιων και άλλων υδρόβιων οργανισμών, τα είδη που εκτρέφονται είναι πάλι συγκεκριμένα αλλά πολύ λιγότερα σε σύγκριση με τους ιχθύς (FAO, 2018).

Πίνακας 1.2: Τα σημαντικότερα είδη υδρόβιων οργανισμών ανά κατηγορία που παράγονται παγκοσμίως από τις υδατοκαλλιέργειες (Πηγή: The state of world Fisheries and Aquaculture, FAO, 2018)

Είδος & Επιστημονική ονομασία	Παραγωγή (χιλιάδες τόνους)	Συμμετοχή στην παγκόσμια παραγωγή ανά κατηγορία (%)
Κινέζικος κυπρίνος, <i>Ctenopharyngodon idellus</i>	6.068	7,6%
Είδος κυπρίνου, <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	5.301	6,6%
Είδος στρειδιών, <i>Crassostrea spp.</i>	4.864	6,1%
Κοινός κυπρίνος, <i>Cyprinus carpio</i>	4.557	5,7%
Είδος κυδωνιού Ιαπωνίας, <i>Ruditapes philippinarum</i>	4.229	5,3%
Τυλάπια Νείλου, <i>Oreochromis niloticus</i>	4.200	5,2%
Γαρίδα Κεντρικής Αμερικής, <i>Penaeus vannamei</i>	4.156	5,1%
Είδος κυπρίνου, <i>Hypophthalmichthys nobilis</i>	3.527	4,4%
<i>Carassius spp.</i>	3.006	3,7%
Είδος κυπρίνου, <i>Catla catla</i>	2.961	3,6%
Διάφοροι Οστεϊχθύες	2.362	2,9%

Σολομός Ατλαντικού, <i>Salmo salar</i>	2.248	2,8%
Παγκόσμια Παραγωγή	80.031	100%

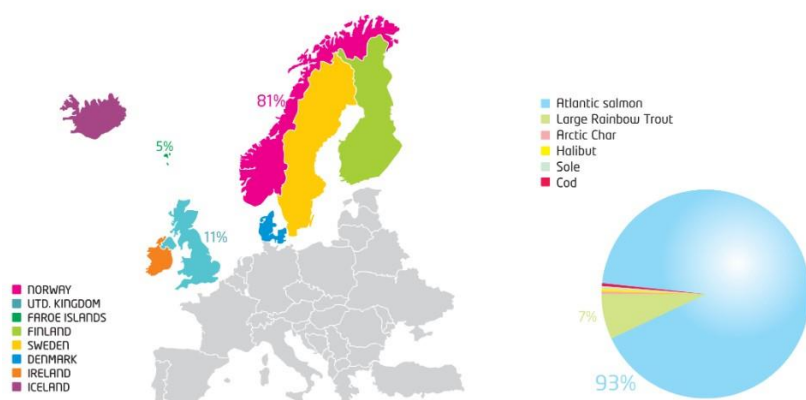
Τέλος, όσον αφορά την κατανομή της παραγωγής των υδατοκαλλιεργειών παγκοσμίως, αυτή φαίνεται να είναι άνιση αφού στις χώρες της Ασίας εκτρέφονται τα 2/3 της παγκόσμιας παραγωγής (Πίνακας 1.3). Η Ασία συμβάλλει στο 89% της παγκόσμιας παραγωγής, με την Κίνα να αποτελεί τον παγκόσμιο πρωταθλητή παράγοντας το 62% στη συνολική παγκόσμια παραγωγή. Άλλες μεγάλες χώρες παραγωγοί είναι η Αίγυπτος, η Νιγηρία, η Χιλή, η Ινδία, η Ινδονησία, το Βιετνάμ, το Μπαγκλαντές και η Νορβηγία που έχουν ενισχύσει το δικό τους μερίδιο στην παγκόσμια παραγωγή τις τελευταίες δύο δεκαετίες (FAO, 2018).

Πίνακας 1.3: Εξέλιξη της παραγωγής των υδατοκαλλιεργειών ανά ήπειρο και χώρες με μεγάλη παραγωγή (παραγωγή σε χιλιάδες τόνους, συμμετοχή σε ποσοστό παγκοσμίως) (Πηγή: The state of world fisheries and aquaculture, FAO, 2018)

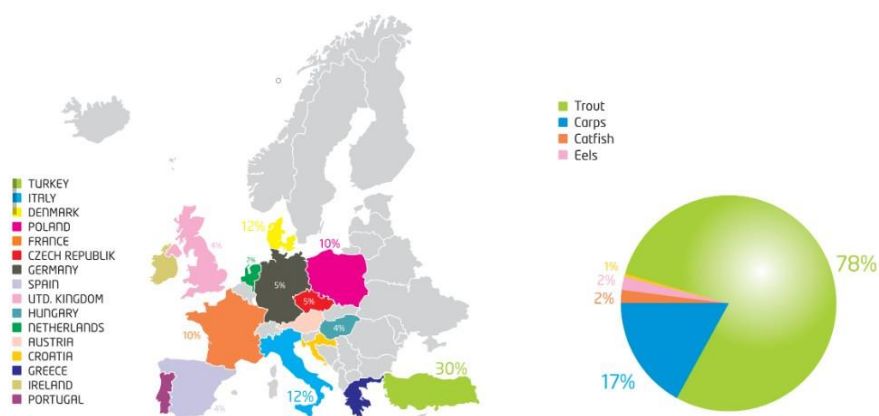
Ήπειροι/Χώρες	Έτη		
	2000	2010	2016
Αμερική	1.423	2.514	3.348
	4,4%	4,3%	4,2%
Λατινική Αμερική και Καραϊβική	447	1.154	1.667
	1,4%	2,0%	2,1%
Χιλή	392	701	1035
	1,2%	1,2%	1,3%
Ασία	28.423	52.452	71.546
	87,7%	89,0%	89,4%
Κίνα	21.522	36.734	49.244
	66,4%	62,3%	61,5%
Ινδία	1.943	3.786	5.700
	6,0%	6,4%	7,1%
Ινδονησία	789	2.305	4.950
	2,4%	3,9%	6,2%
Αφρική	400	1.286	1.982
	1,2%	2,2%	2,5%
Αίγυπτος	340	920	1.371
	1,1%	1,6%	1,7%
Ευρώπη	2.051	2.523	2.945
	6,3%	4,8%	3,7%
E.E - 28	1.403	1.263	1.292
	4,3%	2,1%	1,6%
Νορβηγία	491	1.020	1.326
	1,5%	1,7%	1,7%
Ωκεανία	122	187	210
	0,4%	0,3%	0,3%
Παγκόσμια παραγωγή	32.418	58.962	80.031

1.2.2 Ευρωπαϊκή Υδατοκαλλιέργεια

Η Ευρωπαϊκή Ένωση αποτελεί μια από τις μεγαλύτερες αγορές αλιευτικών προϊόντων παγκοσμίως και η υδατοκαλλιέργεια καλύπτει ένα σημαντικό ποσοστό αυτής της ζήτησης (ΣΕΘ, 2017). Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ομοσπονδία Ευρωπαίων Ιχθυοπαραγωγών (Federation of European Aquaculture Producers - FEAP) η συνολική παραγωγή ιχθύων από την υδατοκαλλιέργεια τόσο από τις χώρες της Ε.Ε. (28) όσο και από άλλες ευρωπαϊκές χώρες, το 2016 εκτιμάται σε 2.297.571 τόνους. Τα θαλάσσια είδη αντιπροσωπεύουν το 70% της συνολικής παραγωγής, τα είδη γλυκού νερού το 16% και τα μεσογειακά είδη το 14% (Εικόνα 1.3, Εικόνα 1.4 και Εικόνα 1.5) (FEAP, 2017).



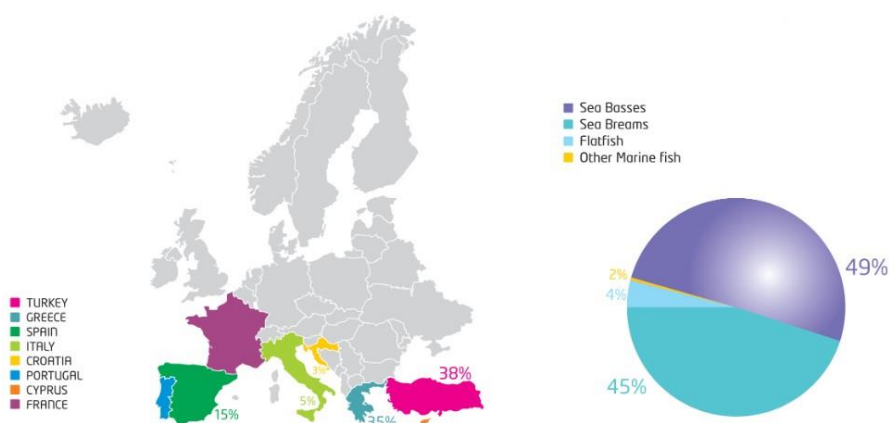
Εικόνα 1.3: Παραγωγή θαλάσσιων, ψυχρών υδάτων ειδών ιχθύων το 2016 ανά χώρα της Ε.Ε και ανά είδος (Πηγή: FEAP, 2017)



Εικόνα 1.4: Παραγωγή ιχθύων γλυκού νερού το 2016 ανά χώρα της Ε.Ε και ανά είδος (Πηγή: FEAP, 2017)

Η Νορβηγία παραμένει ο κυρίαρχος παραγωγός στην Ευρώπη με συμμετοχή 58% στη συνολική ευρωπαϊκή παραγωγή, εκτρέφοντας κυρίως σολομό, αλλά και πέστροφα. Οι άλλες χώρες που παράγουν περισσότερο από 100.000 τόνους ετησίως είναι η Τουρκία, το Ηνωμένο Βασίλειο και η Ελλάδα. Τα κυριότερα είδη που παράγονται είναι ο σολομός (*Salmo salar*), η πέστροφα (*Oncorhynchus mykiss*), το λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*), η τσιπούρα (*Sparus*

aurata) και ο κυπρίνος (*Cyprinus carpio*) και αντιπροσωπεύουν το 95% της συνολικής ευρωπαϊκής παραγωγής για το 2016 (FEAP, 2017).



Εικόνα 1.5: Παραγωγή μεσογειακών ειδών ιχθύων το 2016 ανά χώρα της Ε.Ε και ανά είδος (Πηγή: FEAP, 2017)

Ωστόσο, επειδή δεν έχουν ακόμη ανακοινωθεί αναλυτικά τα στατιστικά στοιχεία της κάθε ευρωπαϊκής χώρας για το 2016 όσον αφορά τα εκτρεφόμενα είδη, τον όγκο, την αξία τους κ.τ.λ., θα παρατεθούν τα στοιχεία του 2015 από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας (FAO) και από την Ευρωπαϊκή Στατιστική Υπηρεσία (Eurostat). Στα στοιχεία αυτά δεν περιλαμβάνονται στοιχεία από άλλες ευρωπαϊκές χώρες, όπως η Νορβηγία όπου η παραγωγή της το 2015 έφτασε τους 1,38 εκατ. τόνους, ξεπερνώντας το σύνολο της ευρωπαϊκής παραγωγής τόσο ως προς τον όγκο, όσο και ως προς την αξία.

Σύμφωνα, λοιπόν, με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας, η συνολική παραγωγή ειδών υδατοκαλλιέργειας στην Ε.Ε.(28) αυξήθηκε το 2015 φτάνοντας τους 1,3 εκατ. τόνους (Eurostat, 2017; ΣΕΘ, 2017). Οι υδρόβιοι οργανισμοί που εκτρέφονται είναι κυρίως ιχθύες και μαλάκια, ενώ τα υπόλοιπα είδη (φύκια, ασπόνδυλα, κλπ) αποτελούν ένα πάρα πολύ μικρό ποσοστό της παραγωγής (ΣΕΘ, 2017).

Πιο αναλυτικά, η συνολική παραγωγή ιχθύων υδατοκαλλιέργειας το 2015 ανήλθε σε 671.504,8 τόνους, των μαλάκιων σε 629.042,89 τόνους, ενώ παρήχθησαν και 621,83 τόνοι υδρόβιων φυτών (ΣΕΘ, 2017).

Ως προς τον όγκο παραγωγής τους, τα κυριότερα είδη στην Ε.Ε. (28) είναι το μύδι (είδη της οικογένειας *Mytilidae*), ο σολομός Ατλαντικού και η ιριδίζουσα πέστροφα, ενώ η τσιπούρα και το λαβράκι κατατάσσονται στην έβδομη και ένατη θέση αντίστοιχα (Πίνακας 1.4) (ΣΕΘ, 2017). Ως προς την αξία τους κατά την πρώτη πώληση, πρώτος είναι ο σολομός του Ατλαντικού, δεύτερη είναι η ιριδίζουσα πέστροφα και τρίτη είναι η τσιπούρα, ενώ το λαβράκι βρίσκεται στην πέμπτη θέση (Πίνακας 1.5) (ΣΕΘ, 2017).

Πίνακας 1.4: Κύριοι εκτρεφόμενοι υδρόβιοι οργανισμοί στην Ε.Ε. (28) σε όγκο το 2015 (Πηγή: Ελληνική Υδατοκαλλιέργεια, ΣΕΘ, 2017, σελ. 45)

Είδος	Επιστημονική Ονομασία	Τόνοι (χιλιάδες)	Συμμετοχή στο σύνολο (%)
Μύδια	<i>Mytilidae</i>	226.622,73	17,41
Σολομός Ατλαντικού	<i>Salmo salar</i>	185.994,78	14,29
Ιριδίζουσα πέστροφα	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	185.889,40	14,28
Μπλε μύδι	<i>Mytilus edulis</i>	164.794,00	12,66
Μεσογειακό μύδι	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	101.155,55	7,77
Στρείδι Ειρηνικού	<i>Crassostrea gigas</i>	87.182,32	6,70
Τσιπούρα	<i>Sparus aurata</i>	82.526,23	6,34
Κοινός κυπρίνος	<i>Cyprinus carpio</i>	71.209,84	5,47
Λαβράκι	<i>Dicentrarchus labrax</i>	69.030,73	5,30
Κυδώνι Ιαπωνίας	<i>Ruditapes philippinarum</i>	35.171,73	2,70
Σύνολο ειδών		1.209.577,31	92,94
Σύνολο στην Ε.Ε. (28)		1.301.482,68	100,00

Αξίζει βέβαια να αναφερθεί πως σύμφωνα με στοιχεία του FEAP, το 2015 ο όγκος παραγωγής τσιπούρας ήταν 99.649 τόνοι και του λαβρακιού 81.128 τόνοι κατατάσσοντάς τα στην έκτη και όγδοη θέση αντίστοιχα ως προς τον όγκο και στην τρίτη και τέταρτη θέση αντίστοιχα ως προς την αξία των κύριων εκτρεφόμενων ειδών στην Ε.Ε. (ΣΕΘ, 2017).

Πίνακας 1.5: Κύριοι εκτρεφόμενοι υδρόβιοι οργανισμοί στην Ε.Ε. (28) σε αξία το 2015 (Πηγή: Ελληνική Υδατοκαλλιέργεια, ΣΕΘ, 2017, σελ. 45)

Είδος	Επιστημονική Ονομασία	Αξία (χιλιάδες €)	Συμμετοχή στο σύνολο (%)
Σολομός Ατλαντικού	<i>Salmo salar</i>	864.647,70	24,12
Ιριδίζουσα πέστροφα	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	518.457,59	14,46
Τσιπούρα	<i>Sparus aurata</i>	398.294,86	11,11
Στρείδι Ειρηνικού	<i>Crassostrea gigas</i>	375.292,46	10,47
Λαβράκι	<i>Dicentrarchus labrax</i>	364.672,28	10,17
Μπλε μύδι	<i>Mytilus edulis</i>	221.975,06	6,19
Κοινός κυπρίνος	<i>Cyprinus carpio</i>	132.160,84	3,68
Μύδια	<i>Mytilidae</i>	103.084,45	2,87
Κυδώνι Ιαπωνίας	<i>Ruditapes philippinarum</i>	93.795,19	2,62
Μεσογειακό μύδι	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	74.201,76	2,07
Σύνολο αξίας ειδών		3.146.582,19	87,78
Σύνολο αξίας στην Ε.Ε. (28)		3.584.328,63	100

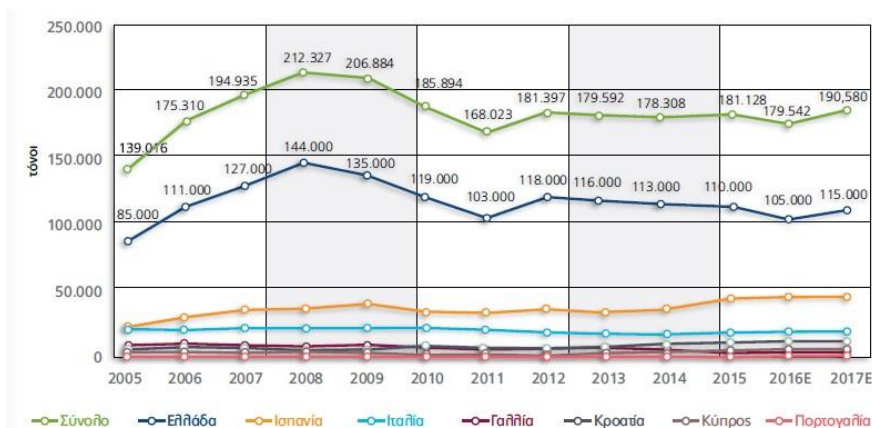
Όσον αφορά τη διάρθρωση της παραγωγής, πέντε κράτη μέλη της Ε.Ε. (Ισπανία, Ηνωμένο Βασίλειο, Γαλλία, Ιταλία και Ελλάδα) συμβάλλουν στα τρία τέταρτα της συνολικής παραγωγής υδρόβιων οργανισμών υδατοκαλλιέργειας, τόσο σε όγκο όσο και σε αξία (Eurostat, 2017). Ως προς τον όγκο της συνολικής ευρωπαϊκής παραγωγής, η Ισπανία είναι στην πρώτη θέση, ακολουθεί το Ηνωμένο Βασίλειο και τρίτη είναι η Γαλλία. Ως προς την συνολική αξία

παραγωγής την πρώτη θέση έχει το Ηνωμένο Βασίλειο, τη δεύτερη η Γαλλία και στην τρίτη θέση βρίσκεται η Ελλάδα (ΣΕΘ, 2017).

Τα κυριότερα είδη εκτρεφόμενων ιχθύων που παρήχθησαν στην Ε.Ε. (28) το 2015 από πλευράς όγκου παραγωγής ήταν ο σολομός Ατλαντικού, η ιριδίζουσα πέστροφα και η τσιπούρα. Από πλευράς αξίας, την πρώτη θέση έχει ο σολομός ατλαντικού, ακολουθεί η ιριδίζουσα πέστροφα στη δεύτερη θέση και στην τρίτη θέση είναι η τσιπούρα. Στην πρώτη θέση παραγωγής ιχθύων στην Ε.Ε. (28) βρίσκεται το Ηνωμένο Βασίλειο, το οποίο αντιπροσωπεύει το 27,6% του όγκου και το 31,56% της αξίας της συνολικής ευρωπαϊκής παραγωγής. Ακολουθεί η Ελλάδα, η οποία αντιπροσωπεύει το 13% του όγκου και το 15,29% της αξίας και στην τρίτη θέση βρίσκεται η Ισπανία που αντιπροσωπεύει το 9% του όγκου και το 10,9% της αξίας της συνολικής ευρωπαϊκής παραγωγής (ΣΕΘ, 2017).

Τα μαλάκια, που είναι η δεύτερη εμπορικά σημαντική κατηγορία προϊόντων υδατοκαλλιέργειας έφτασαν το 2015 τους 629.042 τόνους, εκ των οποίων το 78,3% είναι μύδια, το 14,8% είναι στρείδια και το υπόλοιπο 6,8% αποτελείται από χτένια και άλλα είδη. Ο μεγαλύτερος παραγωγός μυδιών είναι η Ισπανία, ακολουθούμενη από τη Γαλλία και την Ιταλία. Οι τρεις αυτές χώρες αντιπροσώπευαν το 2015, το 78% της συνολικής ευρωπαϊκής παραγωγής μαλάκιων υδατοκαλλιέργειας (ΣΕΘ, 2017).

Όσον αφορά την τσιπούρα και το λαβράκι που είναι τα σημαντικότερα σε εμπορική αξία μεσογειακά είδη, σε ευρωπαϊκό επίπεδο, η τσιπούρα και το λαβράκι αντιπροσωπεύουν το 22,42% του όγκου και το 36,05% της αξίας της συνολικής παραγωγής ιχθύων της Ε.Ε. Παράγονται κυρίως από επτά ευρωπαϊκές χώρες (Ελλάδα, Ισπανία, Ιταλία, Γαλλία, Κροατία, Πορτογαλία, Κύπρος) και παρά τις μεταβολές στην παραγωγή αυτών των κρατών, τα τελευταία δέκα χρόνια στο σύνολό της η παραγωγή τσιπούρας και λαβρακιού παραμένει σχεδόν στάσιμη (Εικόνα 1.6) (ΣΕΘ, 2017).



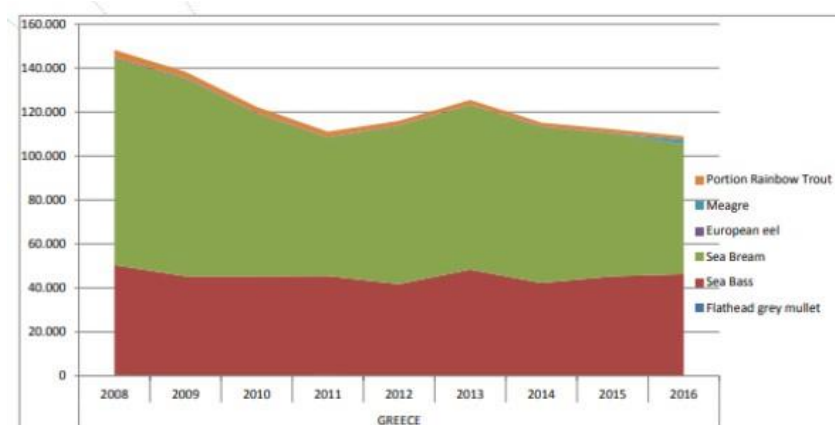
Εικόνα 1.6: Παραγωγή τσιπούρας και λαβρακιού στην Ε.Ε. 2010-2016 (Πηγή: ΣΕΘ, 2017)

Η μεγαλύτερη χώρα παραγωγός για το 2016 είναι η Ελλάδα αφού με 108.000 τόνους περίπου αντιπροσωπεύει το 58,5% της ευρωπαϊκής παραγωγής. Ακολουθούν στη δεύτερη θέση η Ισπανία με 38.061 τόνους (21,20%) και στην τρίτη θέση η Ιταλία με 14.400 τόνους (8,02%). (FEAP, 2017; ΣΕΘ, 2017).

Όσον αφορά τις εισαγωγές και εξαγωγές ιχθύων, καθώς και άλλων προϊόντων υδατοκαλλιέργειας, φαίνεται πως η ευρωπαϊκή αγορά αποτελεί μια κορυφαία αγορά αλιευτικών προϊόντων σε παγκόσμιο επίπεδο. Σύμφωνα με τα τελευταία στοιχεία από το Ευρωπαϊκό Παρατηρητήριο των αγορών προϊόντων αλιείας και υδατοκαλλιέργειας (EUMOFA), το 2017 η αξία των εμπορικών συναλλαγών της Ε.Ε. σε προϊόντα αλιείας και υδατοκαλλιέργειας ανήλθε σε 30,3 δις ευρώ και είναι η υψηλότερη σε παγκόσμιο επίπεδο (EUMOFA, 2018).

1.2.3 Υδατοκαλλιέργειες στην Ελλάδα

Η υδατοκαλλιέργεια και κυρίως η εκτροφή ιχθύων αποτελούν έναν από τους πιο σημαντικούς κλάδους του πρωτογενούς τομέα ζωικής παραγωγής της χώρας μας. Ο κλάδος των υδατοκαλλιεργειών έχει γνωρίσει ραγδαία ανάπτυξη τα τελευταία 30 χρόνια και ενώ το 1980 μόλις το 2% της εγχώριας προσφοράς αλιευτικών προϊόντων προερχόταν από την υδατοκαλλιέργεια, το 2015 εκτιμάται ότι το 63% της εγχώριας παραγωγής αλιευτικών προϊόντων προήλθε από την υδατοκαλλιέργεια (Εικόνα 1.7) (ΣΕΘ, 2017).



Εικόνα 1.7: Εξέλιξη παραγωγής ιχθύων στην Ελλάδα από το 2008 έως το 2016 (Πηγή: European Aquaculture Production Report 2008-2016, FEAP, 2017, page 16)

Στις ελληνικές θάλασσες εκτρέφονται δύο κατηγορίες ζωικών υδρόβιων οργανισμών: ιχθύες και οστρακοειδή, τα οποία παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα 1.6. Από την πρώτη κατηγορία εκτρέφονται κυρίως μεσογειακά είδη όπως τσιπούρα (*Sparus aurata*) και λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*) και σε ένα μικρότερο ποσοστό άλλα είδη όπως μυτάκι (*Diplodus puntazzo*), φαγκρί (*Pagrus pagrus*), λυθρίνι (*Pagellus erythrinus*), κρανιός (*Argyrosomus Regius*), συναγρίδα (*Dentex dentex*) κ.α. Η θαλάσσια εκτροφή ιχθύων έγινε δημοφιλής τη

δεκαετία του '80 με τη χρήση πλωτών ιχθυοκλωβών, μιας μεθόδου που χρησιμοποιούταν ευρέως στη Νορβηγία για την εκτροφή σολομού. Σήμερα υπάρχουν πάνω από 300 μονάδες με παραγωγή που ξεπερνάει τους 100.000 τόνους (ΣΕΘ, 2017).

Η δεύτερη πιο σημαντική κατηγορία εκτροφής είναι η εκτροφή οστρακοειδών, όπου στην Ελλάδα εκτρέφεται σχεδόν αποκλειστικά το μεσογειακό μύδι (*Mytilus galloprovincialis*). Η δραστηριότητα αυτή έχει ξεκινήσει από το 1970 και πραγματοποιείται κυρίως σε περιοχές του νομού Θεσσαλονίκης, Πιερίας, Ημαθίας και Καβάλας, με τις μονάδες να φτάνουν περίπου τις 600 στον αριθμό (ΣΕΘ, 2017).

Εκτός από τη θαλάσσια εκτροφή ιχθύων, ιδιαίτερη θέση κατέχει η υδατοκαλλιέργεια των εσωτερικών υδάτων καθώς αποτελεί μια παραδοσιακή μορφή πρωτογενούς παραγωγής αλλά και πηγή κύριας ή συμπληρωματικής απασχόλησης για τους κατοίκους ορεινών και απομακρυσμένων ηπειρωτικών περιοχών. Σήμερα δραστηριοποιούνται 78 μονάδες εντατικής εκτροφής ιχθύων, με κυριότερο είδος την ιριδιζούσα πέστροφα (*Oncorhynchus mykiss*), ενώ σε μικρότερη κλίμακα εκτρέφονται ο κυπρίνος (*Cyprinus carpio*) και το ευρωπαϊκό χέλι (*Anguilla anguilla*) (ΣΕΘ, 2017).

Επιπλέον, μία ακόμα μορφή υδατοκαλλιέργειών που υπάρχει στη χώρα μας είναι η παραδοσιακή εκτατική υδατοκαλλιέργεια των λιμνοθαλασσών με ιδιαίτερες οικονομικές και κοινωνικές διαστάσεις. Σήμερα λειτουργούν 72 οργανωμένες εκμεταλλεύσεις στις λιμνοθάλασσες με συνολική έκταση 400 χιλιάδες στρέμματα. Τα κυριότερα παραγόμενα είδη είναι τσιπούρες, λαβράκια, κέφαλοι (*Mugil cephalus*) και χέλια (ΣΕΘ, 2017).

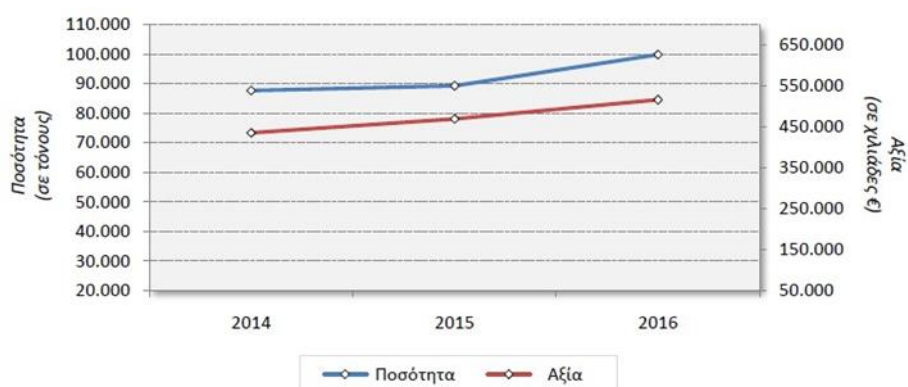
Πίνακας 1.6: Ποσότητα και αξία των εκτρεφόμενων - καλλιεργούμενων ειδών, 2015-2016 (ποσότητα σε τόνους, αξία σε χιλιάδες ευρώ) (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, 2017)

Εκτρεφόμενα- Καλλιεργούμενα είδη	2015		2016		Μεταβολή (%) 2016/2015	
	Ποσότητα	Αξία	Ποσότητα	Αξία	Ποσότη τα	Αξία
Γενικό σύνολο	108.032,1	477.503,9	123.332,2	525.667,0	14,2	10,1
Ιχθύες	89.334,9	469.968,0	99.997,8	516.660,8	11,9	9,9
Κέφαλοι	251,0	628,3	314,7	651,5	25,4	3,7
Λαυράκια	36.600,1	199.871,4	42.556,6	235.046,3	16,3	17,6
Μυλοκόπια	475,6	2.663,6	127,6	667,5	-73,2	-74,9
Μυτάκια	202,0	1.125,3	144,6	839,1	-28,4	-25,4
Πέστροφες	1.758,7	5.521,2	1.644,3	5.077,9	-6,5	-8,0
Τσιπούρες	47.713,3	246.551,1	49.265,3	240.519,9	3,3	-2,4
Φαγκριά	781,6	4.918,1	3.041,2	16.570,5	289,1	236,9
Χέλια	322,1	2.779,5	473,6	4.869,3	47,0	75,2
Άλλα είδη ιχθύων	1.230,4	5.909,4	2.430,0	12.418,9	97,5	110,2
Καρκινοειδή και Οστρακοειδή	18.680,2	6.889,1	23.321,0	8.480,4	24,8	23,1
Μύδια	18.628,4	6.848,9	23.288,6	8.449,5	25,0	23,4
Άλλα	51,8	40,2	32,4	31,0	-37,5	-22,9

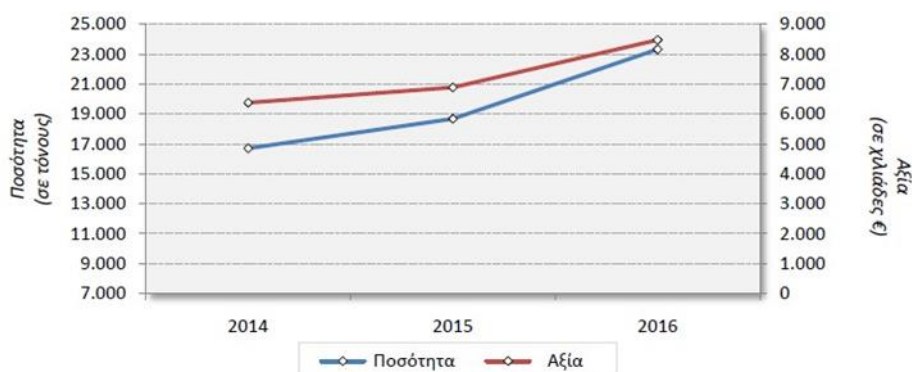
Σπιρουλίνα (Υδρόβια φυτά)	14,8	560,1	9,6	383,0	-35,1	-31,6
Κέφαλοι (Αυγοτάραχο)	2,3	86,7	3,7	142,8	60,9	64,7

Όσον αφορά τον συνολικό όγκο παραγωγής της Ελλάδας για το 2016, σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ομοσπονδία Ευρωπαϊών Ιχθυοπαραγωγών (Federation of European Aquaculture Producers - FEAP), ανήλθε σε 109.000 τόνους περίπου παρουσιάζοντας μια μικρή μείωση σε σχέση με το 2015, χωρίς να συμπεριλαμβάνονται όμως στατιστικά στοιχεία για την πέστροφα και το χέλι (FEAP, 2017). Τα αποτελέσματα της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (ΕΛΣΤΑΤ) ωστόσο είναι διαφορετικά. Σύμφωνα λοιπόν με την ΕΛΣΤΑΤ, ο συνολικός όγκος παραγωγής της χώρας μας για το 2016 ανήλθε στους 123.332 τόνους με αξία περίπου 525,6 εκατ. ευρώ (ΕΛΣΤΑΤ, 2017).

Τα είδη με τη μεγαλύτερη παραγωγή είναι η τσιπούρα, το λαβράκι και τα μύδια. Οι ιχθύες (τσιπούρα και λαβράκι) αντιπροσωπεύουν το μεγαλύτερο ποσοστό της συνολικής παραγωγής (74,5% του όγκου και 90,5% της αξίας) και ακολουθούν τα μύδια (18,9% του όγκου και 1,6% της αξίας) (Εικόνα 1.8 και Εικόνα 1.9) (ΕΛΣΤΑΤ, 2017).



Εικόνα 1.8: Ποσότητα και αξία ιχθύων στην Ελλάδα, 2014-2016 (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ)



Εικόνα 1.9: Ποσότητα και αξία καρκινοειδών/ οστρακοειδών στην Ελλάδα, 2014-2016 (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ)

Όσον αφορά την κατηγορία υδάτων, αυτή που συνέβαλε με μεγαλύτερο ποσοστό στη συνολική παραγωγή υδρόβιων οργανισμών είναι τα θαλάσσια ύδατα με 120.290,7 τόνους (97,5%), ενώ

σε αλμυρά και υφάλμυρα ύδατα παράχθηκαν 3.041,5 τόνοι (2,5%) υδρόβιοι οργανισμοί (ΕΛΣΤΑΤ, 2017).

Επιπλέον, σε ευρωπαϊκό επίπεδο η Ελλάδα θεωρείται από τις πλέον σημαντικές χώρες, καθώς καταλαμβάνει την πέμπτη θέση στην Ε.Ε. (28) ως προς τον όγκο της συνολικής παραγωγής υδατοκαλλιέργειας και την τρίτη ως προς την αξία της. Στην παραγωγή ιχθύων υδατοκαλλιέργειας κατέχει την δεύτερη θέση, τόσο ως προς την αξία όσο και ως προς τον όγκο, ενώ στην παραγωγή μαλάκιων υδατοκαλλιέργειας (18.680 τόνοι μύδια) κατατάσσεται έβδομη ως προς τον όγκο και ένατη ως προς την αξία παραγωγής (ΣΕΘ, 2017).

Τέλος, οι ιχθύες και άλλα προϊόντα των υδατοκαλλιεργειών αποτελούν έναν από τους πλέον εξωστρεφείς κλάδους της ελληνικής οικονομίας συμβάλλοντας θετικά στο εμπορικό ισοζύγιο της χώρας καθώς υπερβαίνουν τις αντίστοιχες εισαγωγές. Σύμφωνα με την ΕΛΣΤΑΤ το 2015 η συνολική αξία των εξαγωγών των αλιευτικών προϊόντων ανήλθε σε 653,5 εκατ. ευρώ, αντιπροσωπεύοντας το 10,7% των συνολικών εξαγωγών των αγροτικών προϊόντων της χώρας (6,1 δις ευρώ). Το μεγαλύτερο ποσοστό των εξαγωγών των αλιευτικών προϊόντων απορροφήθηκε από την Ε.Ε., ενώ ένα πολύ μικρό ποσοστό από τρίτες χώρες. Εκτιμάται πως οι ιχθύες υδατοκαλλιέργειας αντιπροσωπεύουν το 82% της αξίας των εξαγωγών αυτής της κατηγορίας. Όσον αφορά την καθαρή συμβολή της κατηγορίας αυτής στο εμπορικό ισοζύγιο το 2015, κατατάσσεται στην τρίτη πιο σημαντική θέση μετά τα φρούτα και τα έλαια με καθαρή συμμετοχή 221,6 εκ. ευρώ (ΣΕΘ, 2017).

1.3 ΔΙΑΤΡΟΦΙΚΗ ΑΞΙΑ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ

Οι Τελεόστεοι ιχθύες ή Οστεϊχθύες, καθώς και άλλοι υδρόβιοι οργανισμοί όπως τα Μαλάκια και τα Καρκινοειδή αποτελούν πηγή διατροφής για τον άνθρωπο εδώ και χιλιάδες χρόνια.

Τα τελευταία χρόνια με την πρόοδο της επιστήμης σε θέματα διατροφής και θρέψης του ανθρώπου, άρχισε να γίνεται γνωστό στο ευρύ κοινό η σημασία της καθημερινής κατανάλωσης πρωτεϊνών ζωικής προέλευσης. Η ανάγκη συνεχούς κάλυψης των απαραίτητων αμινοξέων στον ανθρώπινο οργανισμό θεωρείται υψίστης σημασίας τόσο για τη σωστή λειτουργία του όσο και για τη διατήρηση της υγείας του.

Επιπλέον, η ανάπτυξη των βιολογικών επιστημών αλλά και της τεχνολογίας στις αρχές του εικοστού αιώνα, οδήγησε στην εκπόνηση πολλών μελετών με θέμα τη διατροφική αξία των προϊόντων Υδατοκαλλιέργειας για την ανθρώπινη υγεία καθώς και στην εξέλιξη των μεθόδων εκτροφής των ήδη εκτρεφόμενων οργανισμών. Τα αποτελέσματα των μελετών έδειξαν ότι οι ιχθύες και τα θαλασσινά αποτελούν προϊόντα υψηλής βιολογικής αξίας γιατί είναι πλούσια

τόσο στα απαραίτητα αμινοξέα, όσο και σε μια ποικιλία βιταμινών και ανόργανων στοιχείων. Εκτός όμως από μία απλή εναλλακτική πηγή ζωικών πρωτεϊνών, οι υδρόβιοι οργανισμοί με κυριότερο εκπρόσωπο τους ιχθύς (και ιδιαίτερα τους λιπαρούς), είναι πλούσια πηγή ω-3 λιπαρών οξέων, μία ομάδα πολυακόρεστων Λ.Ο. που συνδέεται με διάφορες ευεργετικές δράσεις για τον ανθρώπινο οργανισμό όπως πρόληψη καρδιαγγειακών νόσων, εκφυλιστικών νόσων κ.ά.

Γενικά, η διατροφική αξία όλων των υδρόβιων οργανισμών που προορίζονται για κατανάλωση είναι αποτέλεσμα της χημικής σύστασης της σάρκας τους.

Βέβαια, η χημική σύσταση όλων των ειδών ποικίλλει ανάλογα με το είδος, την εποχή, τη γεωγραφική θέση από την οποία αλιεύτηκαν, το μέγεθος, το φύλο, τη φάση του αναπαραγωγικού κύκλου, τη διαθεσιμότητα της τροφής, τη θερμοκρασία, κ.ά. (Karakoltsidis et al., 1995; Ramasamy et al., 2012). Για παράδειγμα οι Οστεϊχθύες είναι οργανισμοί που μετακινούνται συνεχώς και εκτίθενται σε διαφορετικά διατροφικά περιβάλλοντα που επηρεάζουν τη σύσταση του σώματός τους, ενώ η διατροφή των Δίθυρων Μαλάκιων εξαρτάται από την κίνηση του νερού και τη μεταφορά τροφής μέσω αυτού (Karakoltsidis et al., 1995).

Το κυριότερο εδώδιμο τμήμα όλων των υδρόβιων ζωικών οργανισμών είναι η σάρκα. Βέβαια υπάρχουν και άλλα μέρη ή/και προϊόντα που μπορούν να καταναλωθούν όπως το ήπαρ των ιχθύων, από το οποίο παράγονται ιχθυέλαια και τα αυγά από τα οποία προέρχεται το χαβιάρι (Murray and Burt, 1983; Παπουτσόγλου, 2008). Το εδώδιμο μέρος των Τελεόστεων Ιχθύων είναι το 75% του συνολικού τους βάρους, ενώ των Δίθυρων Μαλάκιων και των Καρκινοειδών είναι περίπου το 40%. Το μεγαλύτερο ποσοστό εδώδιμου μέρους παρουσιάζεται στα Κεφαλόποδα και είναι περισσότερο από το 80% του συνολικού τους βάρους (Chakraborty et al., 2016).

Τα κυριότερα συστατικά της σάρκας των υδρόβιων ζωικών οργανισμών είναι το νερό το οποίο βρίσκεται σε μεγάλο ποσοστό, οι πρωτεΐνες, τα λίπη, οι υδατάνθρακες σε πολύ μικρό ποσοστό, οι βιταμίνες και τα ανόργανα στοιχεία. Ωστόσο, παρακάτω γίνεται αναφορά στην περιεκτικότητα των κυριότερων συστατικών, από πλευράς διατροφικής αξίας, που είναι οι πρωτεΐνες, τα λίπη, οι βιταμίνες και τα ανόργανα στοιχεία.

1.3.1 Πρωτεΐνες

Η σάρκα των Οστεϊχθύων έχει περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες περίπου 15-20% (Murray and Burt, 1983). Τα ίδια επίπεδα περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες παρουσιάζουν τόσο τα Μαλάκια όσο και τα Καρκινοειδή, με τα Καρκινοειδή όμως να έχουν μεγαλύτερα ποσοστά πρωτεϊνών (Karakoltsidis et al., 1995; Venugopal & Gopakumar, 2017).

Οι πρωτεΐνες αυτές θεωρούνται υψηλής βιολογικής αξίας, καθώς έχουν υψηλή πεπτικότητα και περιέχουν όλα τα απαραίτητα αμινοξέα (όπως μεθειονίνη, λυσίνη, αργινίνη κ.ά.) σε κατάλληλο συνδυασμό για τις διατροφικές ανάγκες του ανθρώπου. Μπορούν μάλιστα να συγκριθούν ικανοποιητικά με άλλες ζωικής προέλευσης πρωτεΐνες που προέρχονται από κρέας, γάλα και αυγά (Murray and Burt, 1983; Dong, 2001; Karakoltsidis et al., 1995).

Στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 1.7 και Πίνακας 1.8) παρουσιάζονται κάποια κύρια χημικά συστατικά του σώματος ορισμένων εκτρεφόμενων μεσογειακών ειδών Οστεϊχθύων, καθώς και ορισμένων Μαλακίων και Καρκινοειδών που συμπεριλαμβάνονται στη διατροφή του ανθρώπου.

Πίνακας 1.7: Μέσοι όροι επιπέδων κύριων χημικών συστατικών του σώματος των διαφόρων εμπορεύσιμου μεγέθους εκτρεφόμενων και μεσογειακών ειδών Οστεϊχθύων ελεύθερης διαβίωσης, ποικίλης προελεύσεως και διαφόρων εποχών (Τζήκας κ.ά., 2004; Παπουτσόγλου, 2008)

Είδη ιχθύων	Νερό ¹ %	ΟΑΟ ¹ (πρωτεΐνες) %	ΟΛΟ ¹ (λίπη) %	ΣΚΛΟ ² %	ΣΑΛΟ ² %	ΕΡΑ ³ %	ΔΑΗ ³ %
Γάρος <i>Engraulis encrasicolus</i>	74	19	3	49	51	2,42	5,41
Κολιός <i>Scomber japonicus</i>	70	23	5	50	50	5,3	16,86
Κοινός κυπρίνος <i>Cyprinus carpio</i>	73	16	8	33	67	4	4,4
Λαβράκι <i>Dicentrarchus labrax</i>	70	19	7	36	64	3,2	4,2
Μαρίδα <i>Spicara smaris</i>	77	17	2	56	44	1,98	9,42
Σαρδέλλα <i>Sardina pilchardus</i>	66	19	13	35	65	9,49	14,4
Σκουμπρί <i>Scomber scombrus</i>	74	19	3	28	72	4,98	20,01
Τσιπούρα <i>Sparus aurata</i>	65	19	13	41	59	2,1	2,5
Σαυρίδι <i>Trachurus mediterraneus</i>	77	21	1	-	-	-	-

ΟΑΟ: Ολικές Αζωτούχες Ουσίες. ΟΛΟ: Ολικά Λιπαρά Οξέα. ΣΚΛΟ: Σύνολο Κορεσμένων λιπαρών οξέων. ΣΑΛΟ: Σύνολο Ακόρεστων Λιπαρών οξέων. ΕΡΑ: Εικοσιπεντενοϊκό οξύ (20:5 ω₃). ΔΗΑ: Εικοσιδυοεξενοϊκό οξύ (22:6 ω₃). 1: Νωπού ιστού. 2: Στο % ποσοστό των λιπών. 3: Στο % ποσοστό των ακόρεστων λιπαρών οξέων.

Πίνακας 1.8: Περιεκτικότητα του εδώδιμου μέρους των Μαλάκιων και των Καρκινοειδών σε νερό, πρωτεΐνες, λίπη και υδατάνθρακες (Πηγή: Karakoltsidis et al., 1995)

Είδη	Νερό	Πρωτεΐνες	Λίπη	Υδατάνθρακες
Κεφαλόποδα				
Καλαμάρι <i>Loligo vulgaris</i>	78-80	13-15	0,2-1	3-7
Σουπιά <i>Sepia officinalis</i>	80	17	0,2	2
Χταπόδι <i>Octopus vulgaris</i>	82-88	11-15	0,2-1	2-3

Θράψαλο <i>Todarodes Saggitatus</i>	80	15	0,3	4
Δίθυρα μαλάκια				
Μύδι <i>Mytilus galloprovincialis</i>	82-87	8-13	1-2	2-5
Καρκινοειδή				
Καραβίδα <i>Nephrops norvegicus</i>	78-80	17-19	0,2-0,5	0,5-3
Γαρίδα <i>Aristeus antennatus</i>	79-80	16-19	0,2-2	2

1.3.2 Λίπη-Λιπαρά οξέα-Χοληστερόλη

Η συνολική περιεκτικότητα του σώματος των Οστεϊχθύων σε λίπος, κυμαίνεται από 1% μέχρι και 25% (Παπουτσόγλου, 2008). Αντίθετα, τα Μαλάκια και τα Καρκινοειδή έχουν χαμηλή ποσότητα λιπών, η οποία φτάνει περίπου το 2% του συνολικού βάρους του σώματός τους (Venugopal & Gopakumar, 2017).

Τα λίπη αποτελούν ένα από τα πιο σημαντικά οργανικά συστατικά τόσο των Οστεϊχθύων, όσο και των Μαλάκιων και των Καρκινοειδών, καθώς σύμφωνα με διάφορους επιστήμονες το προφίλ των λιπαρών τους οξέων παρουσιάζει πολλά οφέλη για την ανθρώπινη υγεία (Ackman, 1990; Karakoltsidis et al., 1995; Özogul and Özogul, 2007; Prato and Biandolino, 2012).

Τα λιπαρά οξέα έχουν πολύ μεγάλη σημασία τόσο στη διατροφή των ανθρώπων όσο και των ζώων, καθώς συμβάλλουν σε μια ποικιλία φυσιολογικών διεργασιών και συμμετέχουν στην παραγωγή μεταβολιτών που είναι ζωτικής σημασίας για τον οργανισμό.

Τα λιπαρά οξέα των λιπών διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τα κορεσμένα και τα ακόρεστα λιπαρά οξέα. Τα λίπη που περιέχονται στο σώμα των Οστεϊχθύων έχουν σχετικά χαμηλό ποσοστό κορεσμένων λιπαρών οξέων (συνήθως 26-33%), ενώ έχουν πολύ υψηλή περιεκτικότητα σε ακόρεστα λιπαρά οξέα (περίπου 40-75%) (Παπουτσόγλου, 2008). Πολύ σημαντικά είναι τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (PUFAs) και ιδιαίτερα αυτά της σειράς ω-3, με σημαντικότερους εκπροσώπους το εικοσιπεντανοϊκό (EPA: 20:5) και το εικοσιδυοεξαινοϊκό οξύ (DHA: 22:6), αλλά και της σειράς ω-6 όπως είναι για παράδειγμα το λινελαϊκό οξύ (18:1 ω₆). Οι ιχθύες αλλά και τα οστρακοειδή αποτελούν τη μοναδική φυσική πηγή από την οποία μπορεί να προμηθευτεί ο ανθρώπινος οργανισμός τα EPA και DHA (Larsen et al., 2011). Τα ποσοστά του EPA και του DHA είναι υψηλά και οι τιμές τους κυμαίνονται περίπου από 2-10% και 2,5-21% αντίστοιχα, επί του εκατοστιαίου ποσοστού των ακόρεστων λιπαρών οξέων (Παπουτσόγλου, 2008). Τα λίπη των Οστεϊχθύων περιέχουν επίσης και σημαντικές ποσότητες μονοακόρεστων λιπαρών οξέων (MUFAs), όπως είναι το παλμιτελαϊκό (16:1 ω₇), το ελαϊκό (18:1 ω₉) και το ερουκικό οξύ (22:1 ω₁₁) (Larsen et al., 2011). Στον Πίνακα 1.9 παρουσιάζεται

η περιεκτικότητα ορισμένων λιπαρών οξέων ως προς το εκατοστιαίο ποσοστό των συνολικών λιπαρών οξέων.

Σε ό,τι αφορά τα Μαλάκια και τα Καρκινοειδή, η σύνθεση των λιπαρών τους οξέων παρουσιάζει μικρές διαφορές ανάμεσα στα διάφορα είδη, σε σύγκριση με τους Οστεϊχθύς. Τα κορεσμένα λιπαρά οξέα κυμαίνονται από ένα χαμηλό επίπεδο της τάξεως του 30% στη γαρίδα έως ένα υψηλό της τάξεως του 50% στο καλαμάρι. Το ποσοστό των ακόρεστων λιπαρών οξέων κυμαίνεται από 48% στην караβίδα έως 70% στη γαρίδα. Επιπλέον, τόσο τα Μαλάκια όσο και τα Καρκινοειδή περιέχουν σημαντικές ποσότητες κορεσμένων και μονοακόρεστων λιπαρών οξέων, με κυρίαρχο και στις δύο κατηγορίες το παλμιτικό οξύ (Karakoltsidis et al., 1995).

Πίνακας 1.9: Μέση περιεκτικότητα (% του συνόλου των λιπαρών οξέων) σε λιπαρά οξέα σώματος Οστεϊχθύων (Παπουτσόγλου, 2008)

Λιπαρά οξέα	Περιεκτικότητα
Παλμιτικό (16:0)	18,0-21,0
Μυριστικό (14:0)	3,5-5,5
Στεατικό (18:0)	~3,5
Ελαϊκό (18:1 ω₉)	16,0-26,0
DHA (22:6 ω₃)	8,5-9,5
EPA (20:5 ω₃)	4,0-7,0
Λινελαϊκό (18:2 ω₆)	6,3-9,5
α-Λινολενικό (18:3 ω₃)	0,9-1,5
Αραχιδονικό 20:4 ω₆)	0,5-0,8
Ερουκικό (22:1 ω₁₁)	~1,5
ΣΚΛΟ	26,0-33,0
ΣΜΑΛΟ	33,0-41,0
ΣΠΑΛΟ	26,0-32,0
DHA/EPA	1,4-2,2
ω₃/ω₆	2,7-3,3

EPA: Εικοσιπεντανοϊκό οξύ. DHA: Εικοσιδυοεξενοϊκό οξύ. ΣΚΛΟ: Σύνολο Κορεσμένων Λιπαρών Οξέων.

ΣΜΑΛΟ: Σύνολο Μονοακόρεστων Λιπαρών Οξέων. ΣΠΑΛΟ: Σύνολο πολυακόρεστων λιπαρών Οξέων.

Όσον αφορά την περιεκτικότητα σε ω-3 λιπαρά οξέα, τα Μαλάκια και τα Καρκινοειδή αποτελούν εξίσου πολύτιμη πηγή και για τους δύο κύριους εκπροσώπους της κατηγορίας αυτής. Ωστόσο, η περιεκτικότητά τους σε σύγκριση με τους λιπαρούς Οστεϊχθύς, όπως ο σολομός, το σκουμπρί και η σαρδέλα, είναι μικρότερη. Γενικά, η περιεκτικότητα των Μαλάκιων και των Καρκινοειδών σε πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (PUFAs) είναι υψηλότερη από αυτή των κορεσμένων λιπαρών οξέων (SFAs) και των μονοακόρεστων λιπαρών οξέων (MUFAs) (Venugopal & Gopakumar, 2017).

Τα PUFAs έχουν πολλές ευεργετικές ιδιότητες για την ανθρώπινη υγεία και έχουν αποτελέσει αντικείμενο χιλιάδων ερευνών. Τα τελευταία χρόνια πολλές επιδημιολογικές μελέτες έχουν συνδέσει τη δράση των ω-3 PUFAs με την πρόληψη ή τη μείωση του κινδύνου καρδιαγγειακών παθήσεων (όπως καρδιακή αρρυθμία, αθηροσκλήρωση) και καρδιακών επεισοδίων (Ariño et al., 2005; Larsen et al., 2011; Harvard). Τα ω-3 PUFAs μπορούν να μειώσουν τα επίπεδα της πίεσης του αίματος και του καρδιακού ρυθμού, βελτιώνοντας τη λειτουργία των αιμοφόρων αγγείων και κατ'έκταση της καρδιάς (Larsen et al., 2011; Harvard). Μελέτη του τμήματος Δημόσιας Υγείας του Πανεπιστημίου του Harvard αναφέρει ότι η κατανάλωση 1-2 γευμάτων την εβδομάδα ιχθύων πλούσιων σε ω-3 ΠΑΛΟ μειώνει τις πιθανότητες θανάτου από καρδιαγγειακή πάθηση κατά 36% περίπου (Harvard).

Πολλές μελέτες επίσης, έχουν δείξει ότι η επαρκής πρόσληψη των ω-3 PUFAs των Οστεϊχθύων και ιδιαίτερα του DHA, το οποίο συγκεντρώνεται κυρίως στον εγκέφαλο και στον αμφιβληστροειδή χιτώνα, είναι σημαντική για τη βέλτιστη ανάπτυξη του εγκεφάλου και του νευρικού συστήματος των εμβρύων και των βρεφών, καθώς και για την ανάπτυξη του αμφιβληστροειδούς χιτώνα των βρεφών. Γι' αυτό συνίσταται οι γυναίκες, κυρίως κατά το τρίτο τρίμηνο της εγκυμοσύνης που αναπτύσσεται ο εγκέφαλος και ο νευρικός ιστός αλλά και αργότερα κατά το θηλασμό, να καταναλώνουν ιχθύς πλούσιους σε ω-3 PUFAs. Επιπλέον, το DHA δρα προστατευτικά έναντι ορισμένων εκφυλιστικών ασθενειών όπως είναι η νόσος του Alzheimer, έναντι ορισμένων ψυχολογικών διαταραχών και έναντι της δημιουργίας της ωχράς κηλίδας (Ariño et al., 2005; Larsen et al., 2011).

Τέλος, η αυξημένη πρόσληψη EPA και DHA σύμφωνα με κάποιες επιστημονικές μελέτες έχει συσχετισθεί και με άλλες ευεργετικές δράσεις για την ανθρώπινη υγεία όπως: πρόληψη διαφόρων φλεγμονωδών νόσων όπως είναι η ρευματοειδής αρθρίτιδα και ορισμένες φλεγμονώδεις νόσοι του εντέρου, μείωση του κινδύνου εμφάνισης διαβήτη, πρόληψη ορισμένων μορφών καρκίνου και θετικές επιπτώσεις στην καταπολέμηση της παχυσαρκίας (Larsen et al., 2011).

Το μόνο “μειονέκτημα” των ω-3 PUFAs είναι ότι είναι ευαίσθητα κάτω από ορισμένες καταστάσεις οξείδωσης και μπορεί να καταστραφούν. Για να διατηρηθεί λοιπόν η περιεκτικότητα της σάρκας των αλιευμάτων σε ω-3 PUFAs ή τουλάχιστον να υπάρξουν οι λιγότερο δυνατές απώλειες αυτών, συνίσταται να καταψύχονται σε σύντομο χρονικό διάστημα από τη στιγμή της θανάτωσής τους, να αποφεύγεται η πολύωρη έκθεσή τους σε αέρα και ήλιο και το μαγείρεμά τους να γίνεται σε ήπιες θερμοκρασίες και όχι σε υψηλές (Ariño et al., 2005).

Επιπρόσθετα, τα Μαλάκια και τα Καρκινοειδή έχουν αναφερθεί από διάφορες μελέτες ότι παρόλο που έχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε λίπος, αποτελούν τρόφιμα πλούσια σε

χοληστερόλη (Dong, 2001). Η χοληστερόλη είναι ο κύριος εκπρόσωπος των στερολών ζωικής προέλευσης, οι οποίες αποτελούν απαραίτητο συστατικό των κυτταρικών μεμβρανών. Περίσσεια της χοληστερόλης, ιδίως από λήψη ζωικών τροφών, όπως κρέας, γάλα, βούτυρο κ.ά., μπορεί να οδηγήσει σε αρτηριοσκλήρυνση και σε καρδιακές παθήσεις (Ανδρικόπουλος, 2015).

Ακόμη, αν και τα περισσότερα ζωικά προϊόντα με υψηλή περιεκτικότητα σε κορεσμένα λίπη έχουν επίσης υψηλή περιεκτικότητα σε χοληστερόλη, υπάρχουν ορισμένα τρόφιμα, όπως το καλαμάρι και ο κρόκος αυγού, που έχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε κορεσμένα λιπαρά αλλά υψηλή σε χοληστερόλη (Dong, 2001). Ωστόσο, όταν τα τρόφιμα έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε PUFAs (όπως το καλαμάρι και ο κρόκος αυγού) η δυνατότητα για αύξηση του επιπέδου χοληστερόλης στο αίμα είναι πολύ μικρότερη σε σχέση με τρόφιμα χαμηλότερης περιεκτικότητας PUFAs, καθώς τα PUFAs έχουν την ιδιότητα να μειώνουν τη χοληστερόλη (Ανδρέου & Κρουσταλά, 2010). Στον Πίνακα 1.10 παρουσιάζονται οι ολικές στερόλες ορισμένων ειδών Οστεϊχθύων, Μαλάκιων και Καρκινοειδών.

Πίνακας 1.10: Ολικές στερόλες του εδάδιμου μέρους Οστεϊχθύων, Μαλάκιων και Καρκινοειδών (Πηγή: Karakoltsidis et al., 1995)

Κοινή ονομασία	Επιστημονική	Ολικές στερόλες (mg/100 g)
Ιχθύες		
Γάυρος	<i>Engraulis encrasicolus</i>	61 ± 0.2
Τσιπούρα	<i>Sparus aurata</i>	13 ± 0.1
Σκουμπρί	<i>Scomber scombrus</i>	74 ± 0.3
Λαβράκι	<i>Dicentrarchus labrax</i>	72 ± 0.3
Μαρίδα	<i>Spicara vulgaris</i>	62 ± 0.8
Σαρδέλλα	<i>Sardina pilchardus</i>	63 ± 1.1
Καρκινοειδή		
Αστακός	<i>Homarus gammarus</i>	159 ± 1.5
Καραβίδα	<i>Nephrops norvegicus</i>	97 ± 0.9
Γαρίδα	<i>Aristeus antennatus</i>	108 ± 1.2
Δίθυρα Μαλάκια		
Μύδι	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	121 ± 1.1
Στρείδι	<i>Ostra edulis</i>	150 ± 1.3
Κεφαλόποδα		
Καλαμάρι	<i>Loligo vulgaris</i>	64 ± 1.2
Σουπιά	<i>Sepia officinalis</i>	61 ± 1.2
Χταπόδι	<i>Octopus vulgaris</i>	72 ± 0.8
Θράψαλο	<i>Todarodes Saggitatus</i>	56 ± 0.2

1.3.3 Βιταμίνες

Η σάρκα των Οστεϊχθύων περιέχει όλες τις λιποδιαλυτές βιταμίνες (A, D, E και K) και από τις υδατοδιαλυτές (B, C) κυρίως αυτές του συμπλέγματος B (Ariño et al., 2005).

Από τις λιποδιαλυτές βιταμίνες ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι Α και D. Τα επίπεδα των βιταμινών αυτών είναι στενά συνδεδεμένα με την περιεκτικότητα του σώματος των Οστεϊχθύων σε λίπος. Έτσι, οι λιπαροί Οστεϊχθύες είναι πλούσιοι τόσο στη βιταμίνη Α όσο και στη D (και ιδιαίτερα στη D), ενώ στους άπαχους η ποσότητά τους είναι σχεδόν αμελητέα. Η βιταμίνη Ε σε ορισμένα είδη Οστεϊχθύων βρίσκεται σε αξιόλογες συγκεντρώσεις, όμως μόνο ένα μέρος της είναι βιοδιαθέσιμο για τον οργανισμό, καθώς το υπόλοιπο οξειδώνεται προστατεύοντας τα λιπαρά οξέα από την οξείδωση (Ariño et al., 2005).

Στις υδατοδιαλυτές βιταμίνες ιδιαίτερη σημασία, από πλευράς διατροφικής αξίας, έχουν οι βιταμίνες του συμπλέγματος Β. Οι Οστεϊχθύες περιέχουν αξιόλογη ποσότητα βιταμινών του συμπλέγματος Β όπως Β₂, Β₆, νιασίνη, Β₁₂, παντοθενικό οξύ, φυλλικό οξύ και βιοτίνη. Οι συγκεντρώσεις των βιταμινών αυτών είναι σχετικά υψηλές, ωστόσο ποικίλλουν ανάλογα με το είδος του ιχθύος. Έτσι, οι λιπαροί Οστεϊχθύες έχουν μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε βιταμίνες Β₁₂, νιασίνης, Β₆ και παντοθενικού οξέος σε σχέση με τους άπαχους (Ariño et al., 2005). Επίσης, οι λευκοί και σε αρκετές περιπτώσεις και οι φαιού χρώματος μύες των περισσότερων από τα πιο κινητικά είδη Οστεϊχθύων χαρακτηρίζονται από σχετικά υψηλότερες συγκεντρώσεις των βιταμινών Β₁₂, παντοθενικού οξέος, φυλλικού οξέος, Β₂ και Β₆ (Παπουτσόγλου, 2008).

Επιπρόσθετα, τα περισσότερα είδη Μαλάκιων και Καρκινοειδών παρουσιάζουν επίσης αξιόλογες ποσότητες σε αρκετές από τις βιταμίνες. Οι βιταμίνες που συναντάμε συνήθως στις συγκεκριμένες κατηγορίες υδρόβιων οργανισμών είναι κυρίως αυτές του συμπλέγματος Β, με κυριότερο εκπρόσωπο τη βιταμίνη Β₁₂. Έτσι, τα στρείδια, τα μύδια και οι αχιβάδες είναι καλές πηγές βιταμίνης Β₁₂ και νιασίνης. Επιπλέον, οι γαρίδες, τα μύδια, τα στρείδια και τα χτένια είναι καλές πηγές βιταμίνης Α, ενώ οι γαρίδες εμφανίζουν και αξιόλογη ποσότητα σε βιταμίνη D₃ (Venugopal & Gopakumar, 2017).

1.3.4 Ανόργανα στοιχεία

Η κατανάλωση των θαλάσσιων Οστεϊχθύων προμηθεύει τον ανθρώπινο οργανισμό με τα απαραίτητα γι' αυτόν ανόργανα στοιχεία, τόσο πλαστικά όσο και ιχνοστοιχεία.

Η σάρκα των Οστεϊχθύων σε σύγκριση με εκείνη των χερσαίων ζώων, περιέχει μεγαλύτερη ποσότητα ασβεστίου (Ca). Μάλιστα, οι μικροί σε μέγεθος Οστεϊχθύες που καταναλώνονται μαζί με τα οστά (όπως οι σαρδέλες) αυξάνουν την προσλαμβανόμενη ποσότητα του ασβεστίου. Οι Οστεϊχθύες αποτελούν επίσης, πολύτιμη πηγή μαγνησίου (Mg) και φωσφόρου (P) ισάξια με το κρέας των χερσαίων παραγωγικών ζώων, ενώ η περιεκτικότητά τους σε νάτριο (Na) και κάλιο (K) είναι σχετικά χαμηλή όπως και σε άλλα τρόφιμα ζωικής προέλευσης (Ariño et al., 2005).

Όσον αφορά τα ιχνοστοιχεία που περιέχονται στη σάρκα τους, αξιόλογη σημασία έχουν το σελήνιο (Se) και το ιώδιο (I), τα οποία βρίσκονται σε υψηλότερες συγκεντρώσεις συγκριτικά με το κρέας των χερσαίων ζώων. Σε ικανοποιητική ποσότητα περιέχονται επίσης ο σίδηρος (Fe), ο ψευδάργυρος (Zn) και ο χαλκός (Cu). Μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σιδήρου παρατηρούνται κυρίως στους λιπαρούς Οστεϊχθύς (Agiño et al., 2005).

Τα Μαλάκια και τα Καρκινοειδή είναι επίσης πλούσια σε διάφορα ανόργανα στοιχεία, τα οποία είναι απαραίτητα στον ανθρώπινο οργανισμό (Dong, 2001; Venugopal & Gopakumar, 2017).

Από τα πλαστικά στοιχεία ιδιαίτερη σημασία παρουσιάζουν το νάτριο, το κάλιο, το ασβέστιο, ο φώσφορος και το μαγνήσιο, τα οποία περιέχονται σε σημαντικές ποσότητες στα περισσότερα είδη Μαλάκιων και Καρκινοειδών. Από τα Καρκινοειδή ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι γαρίδες, καθώς περιέχουν αξιόλογη ποσότητα νατρίου, καλίου, ασβεστίου, μαγνησίου, και φωσφόρου (Karakoltsidis et al., 1995; Venugopal & Gopakumar, 2017). Από τα Δίθυρα Μαλάκια, τα στρείδια είναι αυτά με την υψηλότερη περιεκτικότητα σε κάλιο, νάτριο και μαγνήσιο, ενώ τα μύδια είναι πλούσια σε φώσφορο (Sidwell et al., 1977). Επιπλέον, από τα Κεφαλόποδα το καλαμάρι είναι πλούσια πηγή μαγνησίου, ενώ η σουπιά περιέχει αρκετή ποσότητα καλίου και ασβεστίου (Chakraborty et al., 2016).

Από τα ιχνοστοιχεία ο σίδηρος, ο ψευδάργυρος και ο χαλκός είναι τα σημαντικότερα από πλευράς θρεπτικής αξίας για τη ανθρώπινη υγεία, τα οποία βρίσκονται σε αξιόλογες ποσότητες στα Μαλάκια και στα Καρκινοειδή (Karakoltsidis et al., 1995; Venugopal & Gopakumar, 2017). Αν και το μοσχαρίσιο κρέας και άλλα είδη κόκκινου κρέατος προσφέρονται συχνά ως πλούσιες πηγές σιδήρου, τα μύδια και το καλαμάρι έχουν περιεκτικότητα σε σίδηρο, η οποία συγκρίνεται με εκείνη του κόκκινου κρέατος και αφομοιώνεται εύκολα από τον ανθρώπινο οργανισμό (Karakoltsidis et al., 1995; Dong, 2001). Επιπλέον, το χταπόδι και η γαρίδα είναι πολύτιμες πηγές ψευδαργύρου, ενώ το καλαμάρι είναι πλούσιο σε χαλκό και γι' αυτό συστήνεται να συμπεριλαμβάνονται τακτικά στην ανθρώπινη διατροφή (Karakoltsidis et al., 1995, Venugopal & Gopakumar, 2017).

1.4 ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΤΟΥ ΚΛΑΔΟΥ ΤΩΝ ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

Οι Υδατοκαλλιέργειες είναι ένας από τους πιο δυναμικά αναπτυσσόμενους κλάδους προϊόντων διατροφής ζωικής παραγωγής παγκοσμίως. Σύμφωνα με τις προβλέψεις του Παγκόσμιου Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργίας μέχρι το 2030 το 62% των αλιευτικών προϊόντων θα προέρχεται από τις Υδατοκαλλιέργειες (FAO, 2018).

Σε παγκόσμιο επίπεδο, οι ιχθύες και τα προϊόντα τους παρέχουν κατά μέσο όρο περίπου 34 θερμίδες ανά άτομο ανά ημέρα. Ωστόσο, η ημερήσια συνεισφορά τους μπορεί να υπερβεί τις 130 θερμίδες ανά άτομο σε χώρες όπου οι εναλλακτικές λύσεις σε τρόφιμα πλούσια σε πρωτεΐνες λείπουν και όπου η προτίμηση για τους ιχθύς έχει αναπτυχθεί. Επιπλέον, εκτός από πλευράς ενέργειας, η διατροφική συμβολή των ιχθύων είναι σημαντική και από πλευράς θρέψης, αφού περιέχουν πρωτεΐνες υψηλής θρεπτικής αξίας που αφομοιώνονται εύκολα από τον οργανισμό. Μία μερίδα 150 g ψαριού παρέχει περίπου το 50-60% της ημερήσιας ποσότητας ζωικών πρωτεϊνών που χρειάζεται ένας ενήλικας (FAO, 2018).

Η μέση κατανάλωση ιχθύων ανά άτομο ποικίλλει ανάμεσα στις χώρες αλλά και ανάμεσα σε περιοχές της ίδιας χώρας λόγω της επιρροής πολιτιστικών, οικονομικών και γεωγραφικών παραγόντων. Η ετήσια κατανάλωση ιχθύων ανά άτομο είναι υψηλότερη στις ανεπτυγμένες χώρες (24,9 kg το 2015) σε σύγκριση με τις αναπτυσσόμενες (19,3 kg το 2015), ενώ είναι πολύ χαμηλή στις υποανάπτυκτες χώρες (7,7 kg το 2015). Βέβαια, αξίζει να αναφερθεί ότι, παρά τα σχετικά χαμηλά επίπεδα κατανάλωσης ιχθύων, το διαιτολόγιο του πληθυσμού στις αναπτυσσόμενες χώρες έχει υψηλότερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες ιχθύων σε σχέση με αυτό του πληθυσμού των ανεπτυγμένων χωρών (FAO, 2018).

Η συνολική παραγωγή ιχθύων το 2016 έφτασε τους 171 εκατομμύρια τόνους, από τους οποίους το 88% (πάνω από 151 εκατομμύρια τόνοι) χρησιμοποιήθηκε για άμεση κατανάλωση από τον άνθρωπο. Έτσι, το 2016 η παγκόσμια κατά κεφαλήν κατανάλωση ιχθύων έφτασε το επίπεδο-ρεκόρ των 20,3 kg. Η αύξηση της κατανάλωσης προέρχεται τόσο από την αύξηση της παραγωγής αλλά και από ένα συνδυασμό διάφορων άλλων παραγόντων όπως είναι η μειωμένη σπατάλη, η καλύτερη χρήση, η βελτίωση των καναλιών διανομής και η αυξανόμενη ζήτηση, που συνδέεται με την αύξηση του πληθυσμού, την αύξηση των εισοδημάτων και την αστικοποίηση (FAO, 2018).

Το διεθνές εμπόριο αποτελεί έναν από τους παράγοντες που οδήγησαν σε αυτή την αύξηση, καθώς συνέβαλε στη μείωση του αντίκτυπου της γεωγραφικής θέσης και του περιορισμού της εγχώριας παραγωγής, στη διεύρυνση των αγορών για πολλά είδη ιχθύων και στην προσφορά περισσότερων επιλογών στους καταναλωτές. Οι εισαγωγές αποτελούν ένα σημαντικό και ολοένα αυξανόμενο τομέα για χώρες στις οποίες μειώθηκε η εγχώρια αλιευτική παραγωγή αλλά υπάρχει και αύξηση της ζήτησης ιχθύων και ιδιαίτερα για είδη που δεν εκτρέφονται εγχώρια. Για παράδειγμα, η κατανάλωση ιχθύων στην Ευρώπη και στη Βόρεια Αμερική βασίζεται στις εισαγωγές σε ποσοστό 70%, ενώ στην Αφρική σε ποσοστό 40%. Παράλληλα, για πολλές αναπτυσσόμενες χώρες οι εξαγωγές σε είδη ιχθύων που εκτρέφονται σε αυτές συμβάλλουν στην ανάπτυξη του εγχώριου εισοδήματος και την ενίσχυση της εθνικής

οικονομίας. Επίσης, το διεθνές εμπόριο συμβάλλει στη διαφοροποίηση των ειδών ιχθύων που καταναλώνονται παγκοσμίως (FAO, 2018).

Ένας άλλος παράγοντας που βοήθησε στην αύξηση της κατανάλωσης ιχθύων σε παγκόσμιο επίπεδο, είναι η ανάπτυξη του μάρκετινγκ και οι διάφορες εκστρατείες ενημέρωσης και ευαισθητοποίησης των καταναλωτών σχετικά με το όφελος των τροφίμων αυτών στην υγεία τους. Αυτό αφορά περισσότερο περιοχές στις οποίες η ζήτηση για κατανάλωση ιχθύων είναι χαμηλή και αυτό οφείλεται στο ότι οι άνθρωποι στις συγκεκριμένες περιοχές ενδέχεται να μη συνδέονται ιστορικά με την κατανάλωση ιχθύων ή με την κατανάλωση μεγάλων ποσοτήτων ιχθύων και να μην έχουν πολιτιστική και διατροφική εξοικείωση με αυτή την ομάδα τροφίμων (FAO, 2018).

Επιπλέον, η ανάπτυξη του κλάδου των Υδατοκαλλιέργειών και η αύξηση της παραγωγής των εκτρεφόμενων ιχθύων είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την αύξηση της κατανάλωσης των ιχθύων και των προϊόντων τους παγκοσμίως, αλλά και με τη μείωση των αποθεμάτων της αλιείας. Το ποσοστό των προϊόντων υδατοκαλλιέργειας στη συνολική κατανάλωση ιχθύων ήταν 51% το 2015, σε σύγκριση με 41% το 2006, 14% το 1986 και 6% το 1966. Οι παραγωγοί των μονάδων υδατοκαλλιέργειας είναι πλέον σε θέση να ασκούν πολύ μεγαλύτερο έλεγχο στα συστήματα και στις διαδικασίες παραγωγής των ιχθύων σε σχέση με την αλιεία. Έτσι, ο κλάδος των υδατοκαλλιέργειών είναι πιο αποτελεσματικός στην παραγωγή και τις αλυσίδες εφοδιασμού, μεταφέροντας τους ιχθύς και τα προϊόντα τους από τον παραγωγό στον καταναλωτή και είναι γενικά σε θέση να απευθυνθεί στον καταναλωτή για τυχόν ανησυχίες σχετικά με τη βιωσιμότητα και την καταγωγή του προϊόντος (FAO, 2018).

Η παγκοσμιοποίηση αποτελεί έναν επιπλέον παράγοντα, ο οποίος καθορίζει τη ζήτηση και τις τάσεις κατανάλωσης των ιχθύων και των προϊόντων τους ανά τον κόσμο. Η απελευθέρωση του εμπορίου σε πολλά μέρη του κόσμου και η εξέλιξη των διαδικασιών συντήρησης και μεταφοράς τροφίμων μέσω της ανάπτυξη της τεχνολογίας, οδήγησαν στην ανάπτυξη των καναλιών διανομής και κατέστησαν τους ιχθύς μία προσβάσιμη κατηγορία τροφίμων παγκοσμίως. Έτσι οι αλυσίδες παραγωγής έχουν εξελιχθεί στο σημείο όπου ένα προϊόν μπορεί να παράγεται σε μία χώρα, να επεξεργάζεται σε άλλη και να καταναλώνεται από άλλες. Η εξέλιξη αυτή επέτρεψε στους καταναλωτές την πρόσβαση σε διάφορα είδη ιχθύων που αλιεύονται ή εκτρέφονται σε περιοχές μακριά από το σημείο αγοράς τους και εισήγαγε νέα προϊόντα και γεύσεις που πριν υπήρχαν μόνο σε τοπικές αγορές. Επίσης, η ευαισθητοποίηση των καταναλωτών σχετικά με την προέλευση των ιχθύων αλλά και των προϊόντων τους που είναι διαθέσιμα στην αγορά, οδήγησε στην ανάγκη για την ανάπτυξη συστημάτων

ανιχνευσιμότητας και συστημάτων πιστοποίησης που αποσκοπούν στη διασφάλιση της βιωσιμότητας και της ποιότητας των προϊόντων αυτών (FAO, 2018).

Ένας παράγοντας που επίσης έχει διαμορφώσει την έκταση της κατανάλωσης ιχθύων σε πολλές χώρες είναι η αστικοποίηση. Υποστηρίζεται ότι οι κάτοικοι των πόλεων συνήθως έχουν περισσότερο διαθέσιμο εισόδημα για να δαπανήσουν σε ζωικές πρωτεΐνες όπως οι ιχθύες ή να τρώνε εκτός σπιτιού πιο συχνά. Επιπλέον, η φυσική υποδομή και αυξημένη πυκνότητα πληθυσμού που χαρακτηρίζουν τις αστικές περιοχές επιτρέπουν καλύτερη και αποτελεσματικότερη αποθήκευση, διανομή και εμπορία ιχθύων και αλιευτικών προϊόντων. Οι υπεραγορές και τα σούπερ μάρκετ γίνονται όλο και πιο πολυάριθμα και τα προϊόντα ιχθύων πωλούνται ολοένα και περισσότερο σε αυτά τα κανάλια, αντί των παραδοσιακών ιχθυοπωλείων ή τις αγορές ιχθύων. Επιπλέον, οι προτιμήσεις των σύγχρονων καταναλωτών χαρακτηρίζονται επίσης από μια έμφαση στην υγιεινή διαβίωση και από ένα σχετικά υψηλό ενδιαφέρον για την προέλευση των τροφίμων που καταναλώνουν, τάσεις οι οποίες θα εξακολουθήσουν να επηρεάζουν τα πρότυπα κατανάλωσης ιχθύων τόσο στις υπάρχουσες όσο και στις αναπτυσσόμενες αγορές (FAO, 2018).

Επιπρόσθετα, ο κλάδος των Υδατοκαλλιεργειών αποτελεί έναν πολύ σημαντικό κοινωνικο-οικονομικό παράγοντα που συμβάλει στην οικονομία μιας χώρας απασχολώντας χιλιάδες εργαζόμενους. Εκατομμύρια άνθρωποι σε όλο τον κόσμο βρίσκουν μία πηγή εισοδήματος και διαβίωσης στον κλάδο της αλιείας και των υδατοκαλλιεργειών. Τα πιο πρόσφατα επίσημα στατιστικά στοιχεία δείχνουν ότι 59,6 εκατομμύρια άνθρωποι απασχολούνταν σε αυτό τον κλάδο του πρωτογενούς τομέα το 2016, με τα 19,3 εκατομμύρια να απασχολούνται στην υδατοκαλλιέργεια και τα 40,3 εκατομμύρια στην αλιεία (FAO, 2018).

Τέλος, σύμφωνα με τις προβλέψεις του Παγκόσμιου Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργίας, το ποσοστό της παραγωγής ιχθύων που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση αναμένεται να συνεχίζει να αυξάνεται (περίπου 90%). Η κινητήρια δύναμη της αύξησης αυτής θα είναι ο συνδυασμός της αύξησης των εισοδημάτων και της αστικοποίησης, που συνδέονται με την αύξηση της παραγωγής ιχθύων και τη βελτίωση των καναλιών διανομής. Η παγκόσμια κατανάλωση των ιχθύων και των προϊόντων τους το 2030, προβλέπεται να είναι 20% υψηλότερη από ό, τι το 2016, οδηγώντας σε αύξηση της κατά κεφαλήν κατανάλωσης σε παγκόσμιο επίπεδο, στα 21,5 κιλά το 2030, από 20,3 κιλά το 2016 (FAO, 2018).

Η κάλυψη των αναγκών αυτών θα προέλθει από τις μονάδες εντατικής εκτροφής υδρόβιων οργανισμών. Στόχος των μονάδων αυτών για τα επόμενα χρόνια είναι η βελτίωση και η αύξηση της παραγωγής, καθώς και η βελτίωση της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων. Η εφαρμογή των ασύρματων δικτύων αισθητήρων για την παρακολούθηση της ποιότητας του

νερού, αποτελεί μια αποτελεσματική λύση για τον έλεγχο των φυσικοχημικών παραμέτρων και της τροφής σε μονάδες που εφαρμόζουν εντατικά συστήματα παραγωγής. Από τη μια πλευρά, η παρακολούθηση των φυσικοχημικών παραμέτρων του νερού συμβάλλει στη βελτίωση της παραγωγικής διαδικασίας και στην καλύτερη διαχείριση της εκτροφής μέσω της μείωσης της καταπόνησης των εκτρεφόμενων οργανισμών και της μείωσης της θνησιμότητας. Από την άλλη μεριά, η παρακολούθηση και ο έλεγχος της τροφής, τόσο σε ποσότητα όσο και σε ποιότητα, συμβάλλει στη βελτίωση της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων υδατοκαλλιέργειας καθιστώντας τα πιο ελκυστικά στο καταναλωτικό κοινό, στην αύξηση του οικονομικού οφέλους των μονάδων λόγω της μείωσης της περίσσειας τροφής και στην προστασία του υδάτινου περιβάλλοντος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΟΡΙΣΜΟΙ

2.1.1 Αισθητήρας (Sensor)

Ένας αισθητήρας με ένα ευρύτερο ορισμό, είναι η συσκευή εκείνη που μετρά μια φυσική ή χημική ποσότητα (όπως η θερμότητα, το φως, ο ήχος, η πίεση, ο μαγνητισμός ή μια συγκεκριμένη κίνηση) και τη μετατρέπει σε ένα μέγεθος (σήμα) που μπορεί να το διαβάσει ένας παρατηρητής. (Πετρόπουλος, 2011; Marriam-Webster, 2019). Το πρωτογενές φυσικό μέγεθος εκείνο που δέχεται ο αισθητήρας κατά τη μέτρηση ορίζεται ως ερέθισμα (stimulus) ή μετρούμενο μέγεθος (measurand) (Πετρόπουλος, 2011).

Πιο ειδικά, ένας αισθητήρας νοείται ως μια συσκευή που δέχεται ένα ερέθισμα και αποκρίνεται σε αυτό με ένα ηλεκτρικό σήμα, το οποίο στέλνεται σε μια άλλη ηλεκτρική συσκευή ή σε έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή (Πετρόπουλος, 2011; Marriam-Webster, 2019).

Κατά τη λειτουργία οποιουδήποτε είδους αισθητήρα, λαμβάνει χώρα τόσο η μεταφορά ενέργειας από το αντικείμενο μέτρησης προς τη συσκευή, όσο και η μετατροπή της ενέργειας αυτής σε διαφορετική μορφή. Η μεταφορά της ενέργειας είναι συνυφασμένη με την μεταφορά πληροφορίας που πραγματοποιείται κατά τη διαδικασία της μέτρησης μέσω ενός αισθητήρα (sensing process). Αντίστοιχα, η μετατροπή ενέργειας αφορά την μετατροπή του ερεθίσματος (όπως πίεση, ταχύτητα, θερμοκρασία, χημική σύσταση) σε ηλεκτρικό σήμα (Πετρόπουλος, 2011).

2.1.2 Ασύρματο Δίκτυο (Wireless Network)

Ένα δίκτυο υπολογιστών είναι ένα σύστημα επικοινωνιών που διαθέτει συσκευές τηλεπικοινωνιών, τηλεπικοινωνιακούς κόμβους και φυσικά μέσα διέλευσης της πληροφορίας. Τα δύο βασικά δομικά στοιχεία ενός δικτύου υπολογιστών είναι οι επικοινωνιακοί κόμβοι και οι γραμμές. Στα δίκτυα υπολογιστών, οι επικοινωνιακοί κόμβοι που συνήθως είναι μονάδες ηλεκτρονικών υπολογιστών ανταλλάσσουν δεδομένα μεταξύ τους χρησιμοποιώντας μία σύνδεση δεδομένων. Η σύνδεση μεταξύ των επικοινωνιακών κόμβων πραγματοποιείται με τις γραμμές, που συνήθως είναι τα καλώδια αλλά μπορεί να γίνει και ασύρματα (Αμπατζόγλου, n.d.).

Το ασύρματο δίκτυο είναι ένα δίκτυο υπολογιστών που επιτρέπει σε διάφορες συσκευές να συνδέονται και να επικοινωνούν ασύρματα, σε αντίθεση με το παραδοσιακό ενσύρματο δίκτυο στο οποίο οι συσκευές επικοινωνούν μέσω καλωδίων. Στο ασύρματο δίκτυο η μεταφορά των

πληροφοριών γίνεται με τη μετάδοση μέσω αέρα και για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται ειδικά διαμορφωμένα οπτικά, υπέρυθρα ή και ραδιοκυματικά σήματα (Techterms, 2017).

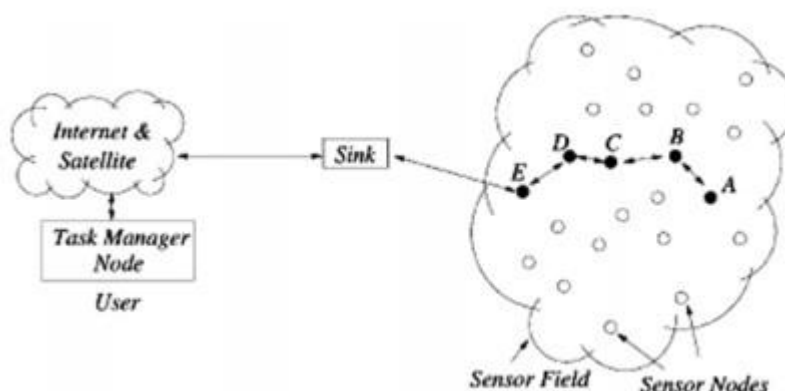
Τα ασύρματα δίκτυα ανάλογα με το μέγεθός τους χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

- **Ασύρματα Δίκτυα Προσωπικής Περιοχής (Wireless Personal Area Network - WPAN):** Αποτελούν ασύρματα δίκτυα υπολογιστών μικρής εμβέλειας, τα οποία χρησιμοποιούνται για μετάδοση δεδομένων. Η λειτουργία τους βασίζεται στις ISM συχνότητες και οι βασικές εφαρμογές έχουν να κάνουν με τη διασύνδεση για παράδειγμα του κινητού τηλεφώνου με τον προσωπικό υπολογιστή του χρήστη και γενικά με όποιες συσκευές συνδέονται με μικρού μήκους καλώδια. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της κατηγορίας είναι το Bluetooth (Οικονόμου, n.d.; Wikipedia, 2019).
- **Ασύρματα Δίκτυα Τοπικής Περιοχής (Wireless Local Area Network-WLAN):** Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN), είναι τα δίκτυα που επιτρέπουν σε ένα χρήστη κινητής συσκευής, όπως είναι ένας φορητός υπολογιστής, ένα έξυπνο τηλέφωνο ή ένα tablet, να συνδέονται σε ένα τοπικό δίκτυο (LAN) μέσω μιας ασύρματης σύνδεσης που χρησιμοποιεί υψηλής συχνότητας ραδιοκύματα (Αμπατζόγλου, n.d.). Η έκταση ενός τέτοιου δικτύου περιορίζεται σε ένα κτίριο ή το πολύ σε δύο γειτονικών κτιρίων. Τα δίκτυα WLAN μπορούν να συνδεθούν με ένα ενσύρματο δίκτυο LAN ή μπορούν να αποτελέσουν βάση για ένα άλλο δίκτυο LAN (Μουρκογιάννη, 2016). Για παράδειγμα, ένα σύστημα από τρία σημεία πρόσβασης (Access Points) σχηματίζει ένα WLAN και επιτρέπει σε φορητές συσκευές, εντός εμβέλειας του σήματος, να συνδεθούν με αυτά. Τα σημεία πρόσβασης συνδέονται ενσύρματα με έναν μεταγωγέα (switch) και στη συνέχεια με το ενσύρματο τοπικό δίκτυο (LAN). Με αυτόν τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα επέκτασης του τοπικού δικτύου και παροχής δικτυακών υπηρεσιών σε ένα μεγαλύτερο αριθμό συσκευών (Αμπατζόγλου, n.d; Μουρκογιάννη, 2016). Το σημείο πρόσβασης μπορεί να είναι hardware ή κάποιος υπολογιστής. Παράδειγμα αυτής της κατηγορίας αποτελεί το Wi-Fi (Μουρκογιάννη, 2016).
- **Δίκτυα Ευρείας Περιοχής (Wide Area Network-WAN):** Τα ασύρματα δίκτυα ευρείας περιοχής (WAN) δίνουν τη δυνατότητα σε συσκευές που βρίσκονται σε πολύ μεγάλη απόσταση να μπορούν να επικοινωνήσουν με τη βοήθεια κάποιου ψηφιακού τηλεφωνικού δικτύου ή τηλεφωνικών γραμμών αποκλειστικής σύνδεσης (Μουρκογιάννη, 2016). Το δίκτυο WAN είναι ένα σύνολο υπολογιστών που εκτείνονται σε μια ευρεία γεωγραφική περιοχή και δημιουργούν μεταξύ τους ένα δίκτυο επικοινωνίας (Wikipedia, 2019). Συνήθως, ένα δίκτυο WAN αποτελείται από

μικρότερα δίκτυα LAN-WLAN ή/και PAN. Όσο για τη ταχύτητα διάδοσης των δεδομένων ποικίλει ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης, τη ταχύτητα των γραμμών των επιμέρους δικτύων και των φυσικών εμποδίων. Το πιο γνωστό δίκτυο ευρείας περιοχής θεωρείται το Internet (Μουρκογιάννη, 2016). Επιπλέον, μία υποκατηγορία των δικτύων WAN είναι τα Μητροπολιτικά Δίκτυα (Metropolitan Area Network-MAN) τα οποία συνδέουν υπολογιστές που βρίσκονται σε μικρότερη απόσταση από αυτή που καλύπτουν τα δίκτυα WAN (για παράδειγμα έκταση ενός οργανισμού ή μιας πόλεως) (Μουρκογιάννη, 2016; Wikipedia, 2019).

2.1.3 Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων (Wireless Sensor Networks-WSNs)

Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (WSN) αποτελείται από διασκορπισμένους, αυτόνομους επικοινωνιακούς κόμβους και αισθητήρες, που χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση φυσικών ή περιβαλλοντικών συνθηκών, όπως η θερμοκρασία, ο ήχος, η πίεση, η κίνηση κτλ. Η επικοινωνία μεταξύ των κόμβων και των αισθητήρων πραγματοποιείται ασύρματα μέσω ραδιοκυμάτων και τα δεδομένα που συλλέγονται αποστέλλονται μέσω του δικτύου σε μία κύρια τοποθεσία (Gateway ή Sink) όπου μπορούν να μελετηθούν και να αναλυθούν (Bokare & Ralegaonkar, 2012; Matin & Islam, 2012).



Εικόνα 2.1: Ένα τυπικό ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (Πηγή: Matin & Islam, 2012)

Συνήθως το WSN αποτελείται από εκατοντάδες ή χιλιάδες επικοινωνιακούς κόμβους, καθένας από τους οποίους συνδέεται με έναν ή και περισσότερους αισθητήρες (Matin & Islam, 2012). Κάθε τέτοιος κόμβος είναι εφοδιασμένος με ένα αισθητήρα-μετατροπέα (transducer), ένα μικροϋπολογιστή, ένα πομποδέκτη (transceiver) και μια πηγή τροφοδοσίας. Ο μετατροπέας (transducer) μετατρέπει σε ηλεκτρικό σήμα την είσοδο που παίρνει από τα φυσικά φαινόμενα που παρακολουθεί. Ο μικροϋπολογιστής επεξεργάζεται και αποθηκεύει το σήμα εξόδου του αισθητήρα. Ο πομποδέκτης, που είναι συνδεδεμένος με μια εσωτερική κεραία ή σε κάποια εξωτερική κεραία, μεταδίδει τα δεδομένα στον κεντρικό υπολογιστή. Η ηλεκτρική ισχύς που απαιτείται για τη λειτουργία του κάθε κόμβου-αισθητήρα προέρχεται συνήθως από μια

μπαταρία ή μια ενσωματωμένη μορφή παροχής ενέργειας (Yick et al., 2008; Matin & Islam, 2012; Μαυρίδης, 2014).

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WSNs) ανάλογα με το περιβάλλον στο οποίο εφαρμόζονται, διακρίνονται σε πέντε τύπους: στα χερσαία, στα υπόγεια, στα υποβρύχια, στα multi-media (δεδομένων πολυμέσων) και στα φορητά WSNs (Yick et al., 2008). Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζεται μία σύγκριση ανάμεσα στους διαφορετικούς τύπους των WSNs.

Πίνακας 2.1: Τύποι ασύρματων δικτύων αισθητήρων (WSNs) (Yick et al., 2008).

Τύπος WSN	Ορισμός	Εφαρμογές
Χερσαίο	Ένα δίκτυο που αποτελείται από εκατοντάδες έως και χιλιάδες κόμβους αισθητήρων που αναπτύσσονται στην ξηρά	<ul style="list-style-type: none"> • Περιβαλλοντική ανίχνευση • και την παρακολούθηση • Βιομηχανική παρακολούθηση • Παρακολούθηση επιφανειών
Υπόγεια	Ένα δίκτυο που αποτελείται από ασύρματους κόμβους αισθητήρων, οι οποίοι αναπτύσσονται υπόγεια, σε σπηλιές ή σε ορυχεία	<ul style="list-style-type: none"> • Εφαρμογές στη Γεωργία • Διαχείριση του τοπίου • Υπόγεια δομική παρακολούθηση • Υπόγεια παρακολούθηση του εδάφους, του νερού ή των ορυκτών • Στρατιωτική παρακολούθηση των συνόρων
Υποβρύχιο	Ένα δίκτυο που αποτελείται από ασύρματους αισθητήρες ή/και οχήματα που αναπτύσσονται στο περιβάλλον των ωκεανών, καθώς και σε άλλα υδάτινα περιβάλλοντα	<ul style="list-style-type: none"> • Παρακολούθηση της ρύπανσης των υδάτων • Υποβρύχια επιτήρηση και εξερεύνηση • Πρόληψη καταστροφών • Σεισμική παρακολούθηση • Παρακολούθηση εξοπλισμού • Υποβρύχια ρομποτική
Multi-media	Ένα δίκτυο που αποτελείται από ασύρματες συσκευές αισθητήρων που έχουν τη δυνατότητα αποθήκευσης, επεξεργασίας και ανάκτησης δεδομένων πολυμέσων όπως βίντεο, ήχου και εικόνας	<ul style="list-style-type: none"> • Βελτίωση στις υπάρχουσες εφαρμογές των WSNs, όπως ανίχνευση και παρακολούθηση
Φορητό	Ένα δίκτυο που αποτελείται από κινητούς κόμβους αισθητήρων οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα να μετακινούνται	<ul style="list-style-type: none"> • Περιβαλλοντική παρακολούθηση • Παρακολούθηση των οικοτόπων • Στρατιωτική παρακολούθηση • Παρακολούθηση στόχων • Υποβρύχια παρακολούθηση • Εύρεση και Διάσωση

2.2 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

Υπάρχουν διάφορες τεχνολογίες για ασύρματη επικοινωνία και μετάδοση δεδομένων, οι οποίες παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.2. Η επιλογή της ασύρματης τεχνολογίας που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από τις απαιτήσεις του ασύρματου δικτύου αισθητήρων που προτείνεται να εφαρμοστεί, το οποίο με τη σειρά του θα καθοριστεί κυρίως από τον τύπο των δεδομένων που θα μεταφέρονται, τις αποστάσεις που θα καλύπτουν οι επικοινωνιακοί κόμβοι, καθώς και αν τα δεδομένα πρόκειται να αποσταλούν σε πραγματικό χρόνο ή όχι (Albaladejo et al., 2010).

Πίνακας 2.2: Τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας (Albaladejo et al., 2010)

Τεχνολογία	Πρότυπο	Περιγραφή	Ταχύτητα	Εύρος	Συχνότητα
Wi-Fi	IEEE 802.11a	Σύστημα ασύρματης μετάδοσης δεδομένων ανάμεσα σε υπολογιστικά δίκτυα	11/54/300 Mbps	<100 m	5 GHz
	IEEE 802.11b/g/n				2.4 GHz
WiMAX	802.16	Πρότυπο για τη μετάδοση δεδομένων μέσω ραδιοκυμάτων	<75 Mbps	<10 km	2–11 GHz Ευρώπη: 3.5GHz
Bluetooth	IEEE 802.15.1	Βιομηχανικό πρότυπο για τα δίκτυα WPAN, για τη μετάδοση φωνής και δεδομένων μεταξύ διαφορετικών συσκευών	v. 1.2: 1 Mbps v. 2.0: 3 Mbps	Class 1: 100 m Class 2: 15-20 m Class 3: 1 m	2.4 GHz
GSM		Πρότυπο σύστημα επικοινωνίας μέσω κινητών τηλεφώνων με ψηφιακή τεχνολογία	9.6 Kbps	Εξαρτάται από τον πάροχο υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας	Ευρώπη: 900/1800 MHz Αμερική: 1900 MHz
GPRS		Επέκταση GSM για μη μεταφερόμενη μετάδοση δεδομένων	56–144 Kbps	Εξαρτάται από τον πάροχο υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας	2.5 GHz
	IEEE 802.15.4	Πρότυπο που ορίζει το φυσικό επίπεδο και το υπόστρωμα ελέγχου προσπέλασης μέσω των WPAN με χαμηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων	Ευρώπη: 20 Kbps Αμερική: 40Kbps: Παγκόσμια: 250 Kbps	<100 m	Ευρώπη: 868 MHz Αμερική: 915 MHz Παγκόσμια: 2.4 GHz
ZigBee	IEEE 802.15.4	Πρότυπο ενός συνόλου υψηλού επιπέδου πρωτοκόλλων ασύρματης επικοινωνίας για χρήση ψηφιακών ραδιοσυχνοτήτων χαμηλής κατανάλωσης σε WPAN δίκτυα	Παγκόσμια: 250 Kbps	<75 m	2.4 GHz

Τα ασύρματα δίκτυα χρησιμοποιούν κυρίως δύο βασικές τεχνολογίες: το Bluetooth και το ZigBee.

2.2.1 Bluetooth

Η τεχνολογία Bluetooth, η οποία βασίζεται στο πρότυπο IEEE 802.15.1, αναπτύχθηκε ως ασύρματο πρότυπο για επικοινωνία μικρής εμβέλειας σε ασύρματα προσωπικά δίκτυα (WPAN). Οι ζώνες ραδιοσυχνοτήτων που χρησιμοποιεί για επικοινωνία είναι τα 868 και 915 MHz, καθώς και τα 2,4 GHz με ταχύτητα 1 Mb/sec ανάμεσα σε 7 συσκευές το μέγιστο (Πίνακας 2.1) (Ruiz-Garcia et al., 2009). Με την τεχνολογία αυτή μπορεί να γίνει σύνδεση και επικοινωνία ανάμεσα σε διάφορες συσκευές όπως κινητά τηλέφωνα, laptop, εκτυπωτές, ψηφιακές κάμερες κ.λ.π. μέσω μιας ασφαλούς ραδιοσυχνότητας (Γεωργακόπουλος, 2007). Το πρότυπο αυτό σχεδιάστηκε έχοντας υπόψη την χαμηλή κατανάλωση ρεύματος και την

δημιουργία συσκευών λήψης/μετάδοσης οι οποίες θα έχουν πολύ μικρό μέγεθος και χαμηλό κόστος (Γεωργακόπουλος, 2007).

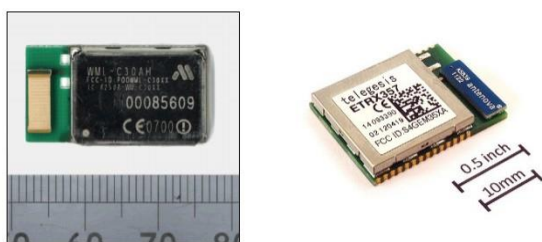
Η ραδιοσυχνότητα των 2,4 GHz στην οποία λειτουργεί το Bluetooth είναι η ίδια με τα πρότυπα Wi-Fi (Γεωργακόπουλος, 2007; Ruiz-Garcia et al., 2009). Ωστόσο, το Wi-Fi χρησιμοποιείται σε ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN) και προορίζεται ως αντικατάσταση καλωδίων υψηλής ταχύτητας για πρόσβαση στο διαδίκτυο σε χώρους εργασίας ή στο σπίτι, ενώ το Bluetooth αποτελεί αντικατάσταση καλωδίωσης διαφόρων φορητών εξοπλισμών και εφαρμογών με χρήση σε ασύρματα προσωπικά δίκτυα (WPAN) (Wikipedia, 2019). Επιπλέον, το Bluetooth χρησιμοποιεί πολύ μικρότερη ισχύ και διαφορετικούς τρόπους πολύπλεξης του σήματος και γι' αυτό είναι αποτελεσματικό σε αποστάσεις που τυπικά κινούνται από 1-10 μέτρα και σε χαμηλότερες ταχύτητες (Γεωργακόπουλος, 2007; Ruiz-Garcia et al., 2009). Επίσης, το Bluetooth βρίσκει διαφορετικές εφαρμογές από τα πρότυπα Wi-Fi καθώς το δεύτερο θεωρείται ένα τύπος ασύρματου Ethernet ενώ το Bluetooth θεωρείται μια μορφή ασύρματης USB σύνδεσης (Γεωργακόπουλος, 2007).

2.2.2 ZigBee

Η τεχνολογία Zigbee βασίζεται στο πρότυπο IEEE 802.15.4, το οποίο αποτελεί ένα σύνολο υψηλού επιπέδου πρωτοκόλλων ασύρματης επικοινωνίας για χρήση ψηφιακών ραδιοσυχνοτήτων χαμηλής κατανάλωσης σε ασύρματα προσωπικά δίκτυα (WPAN) (Γεωργακόπουλος, 2007; Ruiz-Garcia et al., 2009; Wikipedia, 2019). Το Zigbee λοιπόν, είναι ένα ασύρματο ad hoc δίκτυο χαμηλής κατανάλωσης, χαμηλής ταχύτητας δεδομένων και άμεσης εγγύτητας (Wikipedia, 2019). Το πρότυπο Zigbee χρησιμοποιεί τις ίδιες συχνότητες με το Bluetooth και το Wi-Fi, ωστόσο η τεχνολογία του είναι απλούστερη και χαμηλότερου κόστους (Γεωργακόπουλος, 2007; Ruiz-Garcia et al., 2009). Λόγω του ότι οι ραδιοσυσκευές του πρότυπου Zigbee είναι χαμηλότερου κόστους και απαιτούν περίπου το 50% του κώδικα που χρειάζεται μια συσκευή Bluetooth για τον έλεγχο τους (κατά συνέπεια απαιτούν λιγότερο χώρο στη μνήμη της φορητής συσκευής-γεγονός σημαντικό για τις μικρές μνήμες), το πρότυπο Zigbee στοχεύει στην αντικατάσταση του Bluetooth (Γεωργακόπουλος, 2007).

Το Zigbee χρησιμοποιείται συνήθως σε εφαρμογές ασύρματης επικοινωνίας χαμηλού ρυθμού μεταφοράς δεδομένων, που απαιτούν ασφάλεια και μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας (Γεωργακόπουλος, 2007; Wikipedia, 2019). Η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας περιορίζει τις αποστάσεις μετάδοσης σε περίπου 10-100 μέτρα, ανάλογα με την ισχύ εξόδου και τα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά (Ruiz-Garcia et al., 2009). Οι εφαρμογές του Zigbee περιλαμβάνουν συσκευές οικιακού και βιομηχανικού εξοπλισμού, γεωργίας, κατασκευής κτιρίων, αυτοματισμού, ασφάλειας, ηλεκτρονικών ειδών ευρείας κατανάλωσης,

περιφερειακών προσωπικών υπολογιστών, ιατρικής παρακολούθησης και παιχνιδιών, που απαιτούν ασύρματη μεταφορά δεδομένων μικρής εμβέλειας (Γεωργακόπουλος, 2007; Ruiz-Garcia et al., 2009; Wikipedia, 2019).



Εικόνα 2.2: Αριστερά ένας τυπικός πομποδέκτης Bluetooth (Πηγή: Γεωργακόπουλος, 2007) και δεξιά ένας πομποδέκτης Zigbee (Πηγή: Wikipedia, 2019)

2.2.3 Σύγκριση Bluetooth και ZigBee

Στον Πίνακα 2.3 παρουσιάζεται μια σύγκριση μεταξύ των προτύπων ZigBee και Bluetooth. Για εφαρμογές όπου οι υψηλότερες ταχύτητες δεδομένων είναι σημαντικές, το Bluetooth έχει σαφώς το πλεονέκτημα, δεδομένου ότι μπορεί να υποστηρίξει ένα ευρύτερο φάσμα τύπων κυκλοφορίας των δεδομένων σε σχέση με το ZigBee (Ruiz-Garcia et al., 2009). Ωστόσο, η κατανάλωση ενέργειας σε ένα δίκτυο αισθητήρων είναι πρωταρχικής σημασίας και πρέπει να είναι εξαιρετικά χαμηλή (Akyildiz et al., 2001; Ruiz-Garcia et al., 2009; Garcia et al., 2010; Matin & Islam, 2012). Το Bluetooth δεν είναι κατάλληλο για εφαρμογές που απαιτούν εξαιρετικά χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, λόγω της γενικής διαχείρισης επεξεργασίας και διαχείρισης του πρωτοκόλλου που απαιτείται για την ad hoc δικτύωση. Αντίθετα, το πρωτόκολλο ZigBee δίνει πρωταρχική σημασία στη διαχείριση ενέργειας και γι' αυτό σχεδιάστηκε για συσκευές που απαιτούν χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Επίσης, το ZigBee παρέχει μεγαλύτερη ευελιξία δικτύου από το Bluetooth, επιτρέποντας διαφορετικές τοπολογίες. Τέλος, το ZigBee επιτρέπει μεγαλύτερο αριθμό επικοινωνιακών κόμβων-πάνω από 65.000-σύμφωνα με τις προδιαγραφές (Ruiz-Garcia et al., 2009).

Πίνακας 2.3: Σύγκριση μεταξύ Bluetooth και ZigBee (Ruiz-Garcia et al., 2009)

Χαρακτηριστικά	Bluetooth	ZigBee
Πρότυπο	IEEE 802.15.1	IEEE 802.15.4
Ταχύτητα	1 Mb/s	20-250 kb/s
Χρόνος απόκρισης	< 10 s	30 ms
Συχνότητα	2.4 GHz	2.4 GHz
Αριθμός κόμβων	8	65000
Εύρος	8 m (Class II, III) to 100 m (Class I)	1-100 m
Τύπος δεδομένων	Ήχος, γραφικά, εικόνες, αρχεία	Μικρά πακέτα δεδομένων
Διάρκεια μπαταρίας	1 εβδομάδα	> 1 χρόνο
Επεκτασιμότητα	Όχι	Ναι

2.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που συντελούν στη διαμόρφωση των χαρακτηριστικών ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων, οι οποίοι λειτουργούν ως κατευθυντήρια γραμμή για το σχεδιασμό ενός πρωτοκόλλου ή ενός αλγορίθμου που θα χρησιμοποιηθεί από το δίκτυο (Akyildiz et al.; 2001, Matin & Islam, 2012).

Οι παράγοντες αυτοί είναι οι εξής:

- **Ανοχή σφάλματος (Fault tolerance)**

Πολλές φορές οι κόμβοι αισθητήρων τοποθετούνται σε αντίξοες συνθήκες περιβάλλοντος. Έτσι, υπάρχει η πιθανότητα να αποτύχουν λόγω προβλημάτων λογισμικού ή φυσικής βλάβης ή και εξάντλησης των αποθεμάτων ενέργειας. Ωστόσο η αποτυχία λειτουργίας των κόμβων δεν θα πρέπει να επηρεάζει τη συνολική λειτουργία του δικτύου των αισθητήρων. Αυτό ονομάζεται αξιοπιστία ή ανοχή σφάλματος. Η ανοχή σφάλματος είναι η ικανότητα να διατηρούνται οι λειτουργίες του δικτύου των αισθητήρων χωρίς διακοπή λόγω βλαβών σε ορισμένους από αυτούς.

Τα πρωτόκολλα και οι αλγόριθμοι που αναπτύσσονται σε ένα δίκτυο αισθητήρων θα πρέπει να είναι σε θέση να ανιχνεύουν αυτές τις δυσλειτουργίες το συντομότερο δυνατό και να είναι σχεδιασμένα για να αντιμετωπίζουν το επίπεδο ανοχής σφάλματος που απαιτούνται από τα δίκτυα των αισθητήρων. Τα διαφορετικά περιβάλλοντα εγκατάστασης θέτουν διαφορετικές απαιτήσεις ανοχής σφάλματος. Αν το περιβάλλον στο οποίο τοποθετούνται οι κόμβοι αισθητήρων έχει μικρή παρέμβαση, τότε τα πρωτόκολλα μπορεί να έχουν μεγαλύτερη ανοχή σφάλματος. Για παράδειγμα, αν υπάρχουν κόμβοι αισθητήρων σε ένα σπίτι για την παρακολούθηση των επιπέδων της υγρασίας και της θερμοκρασίας, η απαίτηση στην ανοχή σφάλματος μπορεί να είναι χαμηλή, δεδομένου ότι αυτοί οι τύποι αισθητήρων δεν καταστρέφονται εύκολα ή παρεμποδίζονται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Από την άλλη πλευρά, εάν υπάρχουν κόμβοι αισθητήρων που αναπτύσσονται σε ένα πεδίο μάχης για παρακολούθηση και ανίχνευση, τότε η απαίτηση του συστήματος στην ανοχή σφάλματος πρέπει να είναι υψηλή επειδή τα δεδομένα που αξιολογούνται είναι κρίσιμα και οι αισθητήρες μπορεί να καταστραφούν από εχθρικές ενέργειες (Akyildiz et al., 2001; Garcia et al., 2010a; Matin & Islam, 2012).

- **Επεκτασιμότητα (Scalability)**

Με τον όρο αυτό εννοούμε τον αριθμό των κόμβων αισθητήρων που χρησιμοποιούνται σε μια περιοχή ή αλλιώς την πυκνότητα των κόμβων του δικτύου των αισθητήρων.

Ο αριθμός των κόμβων αισθητήρων που αναπτύσσονται σε μια μελέτη μπορεί να είναι εκατοντάδες ή και χιλιάδες. Ανάλογα με την εφαρμογή, ο αριθμός αυτός μπορεί να φτάσει ακόμα και σε εκατομμύρια. Επομένως, η πυκνότητα των κόμβων ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων είναι επίσης μεταβλητή και εξαρτάται από την εφαρμογή στην οποία οι κόμβοι αισθητήρων αναπτύσσονται. Για παράδειγμα, η εφαρμογή για τη διάγνωση λειτουργίας μηχανών είναι περίπου 300 κόμβοι αισθητήρων σε μια περιοχή 25 τετραγωνικών μέτρων, ενώ η πυκνότητα της εφαρμογής για την παρακολούθηση της κυκλοφορίας οχημάτων είναι περίπου 10 κόμβοι αισθητήρων ανά περιοχή.

Τα νέα συστήματα δικτύων αισθητήρων πρέπει να είναι σε θέση να λειτουργούν με αυτόν τον αριθμό κόμβων. Επίσης, τα πρωτόκολλα που αναπτύσσονται στα διάφορα δίκτυα αισθητήρων πρέπει να έχουν την ικανότητα να επεκτείνονται σε αυτά τα επίπεδα και να μπορούν να έχουν υψηλές επιδόσεις (Akyildiz et al., 2001; Matin & Islam, 2012).

- **Κόστος παραγωγής (Production cost)**

Δεδομένου ότι τα δίκτυα αισθητήρων αποτελούνται από ένα μεγάλο αριθμό κόμβων αισθητήρων, το κόστος ενός μόνο κόμβου είναι πολύ σημαντικό για να δικαιολογηθεί το συνολικό κόστος του δικτύου. Εάν το κόστος για την ανάπτυξη του δικτύου είναι μεγαλύτερο από την παραδοσιακή εφαρμογή των αισθητήρων, τότε το κόστος του δικτύου των αισθητήρων είναι ασύμφορο. Όταν αναπτύσσεται ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων, σκοπός του είναι το κόστος κάθε κόμβου αισθητήρων να είναι χαμηλό. Η τιμή-στόχος που προβλέπεται για έναν κόμβο αισθητήρων πρέπει ιδανικά να είναι μικρότερη του 1 δολαρίου (Akyildiz et al., 2001; Garcia et al., 2010a; Matin & Islam, 2012).

- **Περιορισμοί εξαρτημάτων (Hardware constrains)**

Ένας κόμβος αισθητήρα αποτελείται από τέσσερα βασικά εξαρτήματα: μια μονάδα ανίχνευσης, μια μονάδα επεξεργασίας, έναν πομποδέκτη και μια μονάδα παροχής ενέργειας.

Ο τρόπος λειτουργίας των κόμβων αισθητήρων είναι απλός. Οι μονάδες ανίχνευσης αποτελούνται συνήθως από δύο υπομονάδες: τους αισθητήρες και τους μετατροπείς των αναλογικών σε ψηφιακά σήματα (ADC). Τα αναλογικά σήματα που παράγονται από τους αισθητήρες με βάση τη μετρούμενη ποσότητα, μετατρέπονται σε ψηφιακά σήματα από τους μετατροπείς και μετά τροφοδοτούνται στη μονάδα επεξεργασίας. Η μονάδα επεξεργασίας, η οποία συνήθως συνοδεύεται με μια μικρή μονάδα αποθήκευσης, διαχειρίζεται τις διαδικασίες που καθιστούν τον επικοινωνιακό κόμβο να συνεργάζεται με τους άλλους κόμβους ώστε να πραγματοποιούνται οι εργασίες ανίχνευσης. Ένας πομποδέκτης συνδέει τον κόμβο με το δίκτυο. Τέλος, ένα από τα πιο σημαντικά στοιχεία

των κόμβων αισθητήρων είναι η μονάδα ισχύος, η οποία παρέχει την ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία τους.

Ένας κόμβος αισθητήρων μπορεί επίσης να έχει επιπλέον εξαρτήματα που εξαρτώνται από την εφαρμογή για την οποία θα χρησιμοποιηθεί, όπως ένα σύστημα εντοπισμού θέσης, μια γεννήτρια ισχύος κ.ά. Όλα αυτά τα εξαρτήματα μπορεί να χρειαστεί να χωρέσουν σε ένα κουτί πολύ μικρό σε μέγεθος όπως είναι ένα κουτί με σπίρτα. Σε μερικές περιπτώσεις, το απαιτούμενο μέγεθος μπορεί να είναι μικρότερο και από ένα κυβικό εκατοστό, το οποίο είναι αρκετά ελαφρύ ώστε να παραμένει αναρτημένο στο αέρα. Εκτός από το μέγεθος, υπάρχουν και άλλοι αυστηροί περιορισμοί για τους κόμβους αισθητήρων, όπως: η κατανάλωση εξαιρετικά χαμηλής ενέργειας, η λειτουργία σε υψηλές πυκνότητες, το χαμηλό κόστος παραγωγής, η αυτονομία και η προσαρμογή στο περιβάλλον εφαρμογής.

Γενικά, κάθε κόμβος αισθητήρων πρέπει να διαθέτει τουλάχιστον μια μονάδα ανίχνευσης, μια μονάδα επεξεργασίας, έναν πομποδέκτη και μια μονάδα παροχής ρεύματος. Εκτός από αυτά, οι κόμβοι προαιρετικά μπορεί να έχουν και άλλους ενσωματωμένους αισθητήρες ή πρόσθετες συσκευές, ανάλογα με την εφαρμογή για την οποία χρησιμοποιούνται. Ωστόσο, κάθε πρόσθετη λειτουργικότητα έρχεται με επιπλέον κόστος και αυξάνει την κατανάλωση ενέργειας και το φυσικό μέγεθος του κόμβου. Έτσι, η πρόσθετη λειτουργικότητα πρέπει να είναι πάντα ισορροπημένη με τις απαιτήσεις για χαμηλό κόστος και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας (Akyildiz et al., 2001; Garcia et al., 2010a; Matin & Islam, 2012).

- **Τοπολογία δικτύου αισθητήρων (Sensor Network Topology)**

Τοπολογία δικτύου ονομάζεται ο τρόπος με τον οποίο συνδέονται οι υπολογιστές και οι διάφορες συσκευές μεταξύ τους, δηλαδή η μορφή της σύνδεσης μεταξύ των κόμβων ενός δικτύου (Ανδρεοπούλου, n.d.). Η δομή ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων περιλαμβάνει διαφορετικές τοπολογίες για την επικοινωνία των δικτύων μέσω ραδιοκυμάτων. Έτσι, η τοπολογία που μπορεί να υπάρχει σε ένα τέτοιο δίκτυο μπορεί να είναι:

- i. Τοπολογία αστέρα: Στην τοπολογία αστέρα όλοι οι κόμβοι του δικτύου συνδέονται με μια κεντρική συσκευή. Η κεντρική συσκευή που μπορεί να είναι μεταγωγέας (switch), δηλαδή να δέχεται μηνύματα από τους κόμβους, ή διανομέας (hub), δηλαδή να στέλνει μηνύματα σε αυτούς, ή ακόμα και κάποιος υπολογιστής. Ωστόσο, οι κόμβοι δεν επικοινωνούν μεταξύ τους. Το πλεονέκτημα αυτού του τύπου δικτύου για τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων περιλαμβάνει την απλότητα και την ικανότητα να διατηρείται στο ελάχιστο η κατανάλωση ισχύος του απομακρυσμένου κόμβου.

Επιτρέπει επίσης επικοινωνίες χαμηλής λανθάνουσας απόστασης μεταξύ του απομακρυσμένου κόμβου και της κεντρικής συσκευής. Τα μειονεκτήματα ενός τέτοιου δικτύου είναι ότι η κεντρική συσκευή πρέπει να βρίσκεται εντός της περιοχής εκπομπής ραδιοκυμάτων των κόμβων και ότι σε περίπτωση βλάβης του κεντρικού κόμβου όλο το δίκτυο σταματά να λειτουργεί.

- ii. Τοπολογία πλέγματος: Ένα δίκτυο με τοπολογία πλέγματος επιτρέπει την άμεση μετάδοση δεδομένων από έναν κόμβο σε έναν άλλο. Δηλαδή εάν ένας κόμβος θέλει να επικοινωνήσει με έναν άλλο κόμβο που βρίσκεται εκτός εμβέλειας ραδιοεπικοινωνιών, μπορεί να χρησιμοποιήσει έναν ενδιάμεσο κόμβο για να το επιτύχει. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα αυτού του είδους της τοπολογίας δικτύου είναι η επεκτασιμότητα που τη χαρακτηρίζει. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα είναι ότι εάν ένας μεμονωμένος κόμβος αποτύχει, ένας άλλος κόμβος μπορεί ακόμα να επικοινωνήσει με οποιονδήποτε άλλο κόμβο της περιοχής του και να μεταφερθεί το μήνυμα στην τελική κεντρική συσκευή. Από την άλλη πλευρά, το βασικότερο μειονέκτημα αυτού του τύπου δικτύου είναι στην κατανάλωση ενέργειας, η οποία είναι υψηλή λόγω της πολυπλοκότητας της επικοινωνίας των κόμβων μεταξύ τους.
- iii. Υβριδική τοπολογία αστέρα-πλέγματος: Ένα δίκτυο με υβριδική τοπολογία μεταξύ της τοπολογίας αστέρα και πλέγματος, αποτελεί ένα ισχυρό και ευπροσάρμοστο δίκτυο επικοινωνιών, διατηρώντας ταυτόχρονα την κατανάλωση ενέργειας στο ελάχιστο. Σε αυτόν τον τύπο τοπολογίας δικτύου, οι κόμβοι αισθητήρων με τη χαμηλότερη ισχύ δεν είναι ενεργοποιημένοι με τη δυνατότητα προώθησης μηνυμάτων. Ωστόσο, άλλοι κόμβοι στο δίκτυο είναι ενεργοποιημένοι να μεταφέρουν μηνύματα από τους κόμβους χαμηλής ισχύος σε άλλους κόμβους του δικτύου. Αυτό επιτρέπει τη διατήρηση της κατανάλωσης ενέργειας σε πολύ χαμηλά επίπεδα.

Παρόλο που τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων έχουν εξελιχθεί από πολλές απόψεις, συνεχίζουν να είναι δίκτυα με περιορισμένους πόρους όσον αφορά την ενέργεια, την υπολογιστική ισχύ, τη μνήμη και τις δυνατότητες επικοινωνίας. Από αυτούς τους περιορισμούς, η κατανάλωση ενέργειας είναι υψίστης σημασίας, γεγονός που καταδεικνύεται από τον μεγάλο αριθμό αλγορίθμων, τεχνικών και πρωτοκόλλων που έχουν αναπτυχθεί για την εξοικονόμηση ενέργειας και, συνεπώς, την παράταση του χρόνου ζωής του δικτύου. Η διατήρηση της τοπολογίας είναι ένα από τα πιο σημαντικά ζητήματα για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και γι' αυτό το λόγο πρέπει να μελετάται κατά τη σχεδίαση ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων (Akyildiz et al., 2001; Matin & Islam, 2012).

- **Περιβάλλον εφαρμογής (Application Environment)**

Οι κόμβοι αισθητήρων αναπτύσσονται σε μεγάλες πυκνότητες είτε πολύ κοντά είτε απευθείας μέσα στο φαινόμενο που πρέπει να παρατηρηθεί. Συνήθως εργάζονται χωρίς επίβλεψη σε απομακρυσμένες γεωγραφικές περιοχές. Μπορεί να εγκατασταθούν στο εσωτερικό ενός μεγάλου μηχανήματος, στο βάθος ενός ωκεανού, στην επιφάνεια ενός ωκεανού κατά τη διάρκεια ενός ανεμοστρόβιλου, σε βιολογικά ή χημικά μολυσμένο περιβάλλον, σε ένα πεδίο μάχης, σε ένα σπίτι ή σε ένα μεγάλο κτίριο, σε μια μεγάλη αποθήκη, ακόμα και προσαρτημένοι σε ζώα, σε ταχύτατα κινούμενα οχήματα κτλ.

Όλα αυτά δίνουν μια ιδέα σχετικά με τις συνθήκες κάτω από τις οποίες καλούνται να λειτουργήσουν. Δουλεύουν κάτω από υψηλή πίεση στον πυθμένα ενός ωκεανού, σε σκληρά περιβάλλοντα όπως σε συντρίμια ή σε πεδία μάχης, κάτω από υπερβολικά χαμηλές θερμοκρασίες στις περιοχές της Αρκτικής και σε εξαιρετικά θορυβώδη περιβάλλοντα όπως τα πεδία βολής (Akyildiz et al., 2001).

- **Μέσα μετάδοσης (Transmission media)**

Σε ένα δίκτυο με μεγάλο αριθμό κόμβων αισθητήρων η επικοινωνία μεταξύ των κόμβων πραγματοποιείται μέσω ενός ασύρματου μέσου. Η μετάδοση των πληροφοριών ασύρματα μπορεί να γίνει με ραδιοκύματα, υπέρυθρα ή οπτικά μέσα. Για να μπορέσουν να τεθούν σε λειτουργία αυτά τα δίκτυα σε παγκόσμιο επίπεδο, το επιλεγμένο μέσο μετάδοσης πρέπει να είναι διαθέσιμο παγκοσμίως.

Μια επιλογή για την επικοινωνία μέσω ραδιοκυμάτων είναι η χρήση βιομηχανικών, επιστημονικών και ιατρικών (Industrial, Scientific and Medical - ISM) ζωνών, οι οποίες στις περισσότερες χώρες προσφέρει επικοινωνία χωρίς να απαιτείται κάποια άδεια. Ορισμένες από αυτές τις ζώνες συχνότητων χρησιμοποιούνται ήδη για επικοινωνία σε ασύρματα τηλεφωνικά συστήματα και ασύρματα τοπικά δίκτυα. Για τα δίκτυα αισθητήρων απαιτείται ένας πομποδέκτης μικρού μεγέθους, χαμηλού κόστους και πολύ χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας. Τα βασικά πλεονεκτήματα της χρήσης των ζωνών ISM είναι η δωρεάν επικοινωνία μέσω ραδιοκυμάτων, η τεράστια κατανομή φάσματος και η παγκόσμια διαθεσιμότητα. Επιπλέον, δεν συνδέονται με ένα συγκεκριμένο πρότυπο, παρέχοντας έτσι μεγαλύτερη ελευθερία για την εφαρμογή στρατηγικών εξοικονόμησης ενέργειας στα δίκτυα αισθητήρων. Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν διάφοροι κανόνες και περιορισμοί, όπως οι περιορισμοί στην κατανάλωση ενέργειας και επιβλαβείς παρεμβολές από υπάρχουσες εφαρμογές.

Ένας άλλος τρόπος εσωτερικής επικοινωνίας των κόμβων στα δίκτυα αισθητήρων είναι μέσω υπέρυθρων. Η επικοινωνία με υπέρυθρες δεν χρειάζεται κάποια άδεια και είναι ισχυρή στην αντιμετώπιση παρεμβολών από άλλες ηλεκτρικές συσκευές. Οι πομποδέκτες των υπέρυθρων είναι φθηνότεροι και πιο εύκολοι στην ανάπτυξη ενός δικτύου. Πολλοί

από τους σημερινούς φορητούς υπολογιστές, τα PDAs (personal digital assistants) και τα κινητά τηλέφωνα προσφέρουν μια σύνδεση υπέρυθρων δεδομένων. Το κύριο μειονέκτημα, όμως, είναι ότι απαιτείται οπτική επαφή μεταξύ του αποστολέα και του δέκτη. Αυτό καθιστά ακατάλληλη την επιλογή των υπέρυθρων ως μέσο μετάδοσης σε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων.

Οι απαιτήσεις των ασυνήθιστων εφαρμογών των δικτύων αισθητήρων κάνουν την επιλογή των μέσων μετάδοσης πιο δύσκολη. Για παράδειγμα, οι θαλάσσιες εφαρμογές ενδέχεται να απαιτούν τη χρήση ενός υδάτινου μέσου μετάδοσης. Οι εφαρμογές σε ακατάλληλα περιβάλλοντα ή σε πεδία μάχης ενδέχεται να αντιμετωπίζουν σφάλματα στα κανάλια μετάδοσης και μεγαλύτερες παρεμβολές. Επιπλέον, η κεραία ενός αισθητήρα μπορεί να μην έχει την ισχύ ύψους και ακτινοβολίας όπως άλλων ασύρματων συσκευών. Ως εκ τούτου, η επιλογή του μέσου μετάδοσης πρέπει να υποστηρίζεται από ισχυρά προγράμματα κωδικοποίησης και διαμόρφωσης που λειτουργούν αποτελεσματικά στις εκάστοτε απαιτήσεις ενός δικτύου (Akyildiz et al., 2001).

- **Κατανάλωση ενέργειας (Power consumption)**

Ο κόμβος ασύρματων αισθητήρων, που είναι μια μικρο-ηλεκτρονική συσκευή, μπορεί να είναι εξοπλισμένος μόνο με μία μικρή μονάδα ενέργειας. Σε μερικές εφαρμογές, η αναπλήρωση της ενέργειας των αισθητήρων μπορεί να είναι αδύνατη. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, ο χρόνος ζωής του αισθητήρα να εμφανίζει ισχυρή εξάρτηση από τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας του. Σε άλλες εφαρμογές ασύρματων δικτύων αισθητήρων, η κατανάλωση ενέργειας αποτέλεσε σημαντικό παράγοντα σχεδιασμού του δικτύου, χωρίς όμως να είναι το πρωταρχικό μέλημα, απλά και μόνο επειδή οι πηγές ενέργειας μπορούσαν να αντικατασταθούν από τον χρήστη.

Το κύριο έργο ενός κόμβου αισθητήρων σε ένα πεδίο εφαρμογής είναι η ανίχνευση συμβάντων, η ταχεία επεξεργασία των δεδομένων και στη συνέχεια η μετάδοσή τους. Επομένως, η κατανάλωση ενέργειας μπορεί να χωριστεί σε τρία πεδία: στην αίσθηση, στην επικοινωνία και στην επεξεργασία δεδομένων.

Η κατανάλωση ενέργειας ενός αισθητήρα για ανίχνευση ποικίλλει, ανάλογα με το είδος της εφαρμογής. Για παράδειγμα, μπορεί να υπάρχουν σποραδικές μετρήσεις που καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια σε σύγκριση με την συνεχή παρακολούθηση συμβάντων που καταναλώνουν περισσότερη. Επιπλέον, η ανίχνευση σε ένα πολύπλοκο περιβάλλον επίσης διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό των ενεργειακών δαπανών των αισθητήρων. Για παράδειγμα, η ανίχνευση σε ένα περιβάλλον με υψηλά επίπεδα θορύβου μπορεί να αλλοιώσει και να αυξήσει την περιπλοκότητα της ανίχνευσης.

Γενικότερα, από τα τρία πεδία κατανάλωσης ενέργειας σε έναν κόμβο αισθητήρων, αυτό που καταναλώνει τη μέγιστη ενέργεια είναι η επικοινωνία για τη μεταφορά των δεδομένων, που αφορά τόσο τη μετάδοση όσο και τη λήψη δεδομένων (Akyildiz et al., 2001; Garcia et al., 2010a).

- **Ασφάλεια**

Σε αντίθεση με τα ενσύρματα δίκτυα, τα ασύρματα μεταδίδουν τα μηνύματά τους στο μέσο (medium). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να είναι ευάλωτα σε απειλές και κινδύνους. Έτσι, κάποιος μη εξουσιοδοτημένος χρήστης μπορεί να εισβάλλει στις πληροφορίες των κόμβων, να μεταβάλει την ακεραιότητα των δεδομένων, να παρακολουθήσει μηνύματα, να εισάγει ψεύτικα μηνύματα και να καταναλώσει την ενέργεια του δικτύου. Τα δίκτυα αυτά θα πρέπει να είναι σε θέση να κρατούν την πληροφορία που συλλέγουν κρυφή και προστατευμένη. Θα πρέπει, λοιπόν, το σύστημα να μπορεί να διατηρεί τη μυστικότητά του χρησιμοποιώντας τεχνικές κρυπτογράφησης και αυθεντικότητας. Βέβαια, η χρήση των μηχανισμών αυτών επιδρά αρνητικά στην κατανάλωση ενέργειας και στο διαθέσιμο εύρος ζώνης του δικτύου (Yick et al., 2008; Ζωγόπουλος, 2016).

2.4 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

2.4.1 Γενικά

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WSNs) αρχικά δημιουργήθηκαν και χρησιμοποιούνταν από το στρατό. Ωστόσο, η εξέλιξη της τεχνολογίας οδήγησε στην ανάπτυξη διαφόρων τύπων αισθητήρων, με αποτέλεσμα να εφαρμοστούν και σε άλλους κλάδους. Σήμερα τα WSNs βρίσκουν εφαρμογή σε πολλούς τομείς της καθημερινότητάς μας.

Τα WSNs εφαρμόζονται με σκοπό ο κάτοχος τους να έχει την πλήρη εποπτεία και τον πλήρη έλεγχο του γύρω περιβάλλοντος. Επιπλέον, πέρα από την εποπτεία, οι αισθητήρες συμβάλλουν στην καταγραφή και στην επεξεργασία των δεδομένων, την ανάλυση τους αλλά και την εξαγωγή συμπερασμάτων. Τα δεδομένα μπορούν να συλλεχθούν και να αποθηκευτούν για μεγάλο χρονικό διάστημα (Potdar et al., 2009).

Για να είναι επιτυχημένη η εφαρμογή ενός τέτοιου δικτύου, πρέπει οι αισθητήρες να είναι τοποθετημένοι σωστά στο χώρο που βρίσκεται σε εποπτεία αλλά και να υπάρχουν αρκετοί ώστε ο έλεγχος των παραμέτρων να γίνεται με επιτυχία. Επιπλέον, ο χώρος στον οποίο γίνεται η εποπτεία πρέπει να διαθέτει τις κατάλληλες υποδομές ώστε να δεχθεί τους αισθητήρες, αλλά και να υπάρχει η κατάλληλη τεχνολογία για την καταχώρηση και την επεξεργασία των δεδομένων. Τέλος, για την επιτυχία της εφαρμογής των WSNs χρειάζεται το προσωπικό που

τα χειρίζεται να είναι άρτια καταρτισμένο στην ανάλυση και την επεξεργασία των δεδομένων προκειμένου να δίνονται σωστά και έγκυρα αποτελέσματα (Potdar et al., 2009).

Παρακάτω, περιγράφονται οι σημαντικότεροι τομείς που χρησιμοποιούνται και εφαρμόζονται τα WSNs.

2.4.2 Στρατιωτικές εφαρμογές

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, τα ασύρματα δίκτυα εφαρμόστηκαν για πρώτη φορά στο στρατό. Από τότε μέχρι και σήμερα χρησιμοποιούνται με διάφορες χρήσεις προκειμένου να προάγουν την ασφάλεια και τη προστασία ενός κράτους.

Από όσα είναι δυνατόν να γνωρίζουμε λόγω του στρατιωτικού απόρρητου, οι εφαρμογές των WSNs στο στρατό είναι πάρα πολλές.

Αρχικά, με τη βοήθεια ενός WSN, οι ανώτερες βαθμίδες διεύθυνσης του στρατού μπορούν πάντα να ελέγχουν την κατάσταση των στρατευμάτων, του εξοπλισμού και των πυρομαχικών. Οι ασύρματοι αισθητήρες είναι ιδανικοί για τη παρακολούθηση και την εποπτεία του εξοπλισμού αλλά και του ανθρώπινου δυναμικού τους, καθώς αποστέλλουν πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο σχετικά με το ακριβές σημείο στο οποίο βρίσκονται μέσα στο στρατόπεδο. Επιπλέον, έχουν την ιδιότητα να αναγνωρίζουν οποιαδήποτε ζημιά υποστεί ο εξοπλισμός ή το μέρος το οποίο ελέγχουν (Chatterjee & Pandey, 2014). Τα ασύρματα δίκτυα σε αντίθεση με τα κλασσικά μπορούν να λειτουργήσουν και να επικοινωνήσουν μεταξύ τους ακόμα και αν μερικά από αυτά καταστραφούν στο πεδίο μάχης από τους αντιπάλους, γι' αυτό και θεωρούνται ιδανικά για ένα στράτευμα (Jovanov et al., 2001).

Άλλη μια εφαρμογή των αισθητήρων των ασύρματων δικτύων στο στρατό είναι η παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο του μέρους όπου διεξάγεται η μάχη. Οι αισθητήρες μπορεί να τοποθετηθούν σε μυστικά περάσματα και δρόμους και να λειτουργήσουν ως μέσο διαφυγής του στρατού σε περίπτωση ανάγκης. Έχουν τη δυνατότητα να επανατοποθετηθούν σε νέους δρόμους και περάσματα όποτε χρειαστεί. Επιπλέον, με τα WSNs υπάρχει η δυνατότητα να ελέγχεται και να προσδιορίζεται ένας στόχος. Τα WSNs μπορούν να ενσωματώνονται σε έξυπνα συστήματα καθοδήγησης και να έχουν τη δυνατότητα να αναγνωρίζουν και να υπολογίζουν το χρόνο που η βολή θα χτυπήσει και θα αναισθητοποιήσει ένα πιθανό στόχο (Akyildiz et al., 2001; Chatterjee & Pandey, 2014).

Τέλος, ακόμα μία εφαρμογή των WSNs στο στρατό είναι να αναγνωρίζουν και να ανιχνεύουν την χρήση πυρηνικών, βιολογικών και χημικών όπλων. Αυτά τα όπλα είναι πολύ υψηλού κινδύνου και μπορούν να μολύνουν τεράστιες εκτάσεις για μεγάλο χρονικό διάστημα. Οι αισθητήρες έχουν την ικανότητα να μετράνε περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά όπως είναι η

θερμοκρασία και ο αέρας, αλλά μπορούν ακόμη να εντοπίσουν τις ακριβείς περιοχές και τα σημεία που έχουν μολυνθεί ώστε να μην εκτεθεί κανείς σε αυτές τις επικίνδυνες ουσίες. Έτσι για παράδειγμα, μπορεί να γίνει αναγνώριση μιας περιοχής μολυσμένης με πυρηνικά χωρίς να εκτεθεί καμία ομάδα στρατιωτικών στη ραδιενέργεια (Akyildiz et al.; 2001, Kachirski and Guha, 2003; Chatterjee & Pandey, 2014).

2.4.3 Εμπορικές και Οικιακές εφαρμογές

Ο κλάδος του εμπορίου έχει ενσωματώσει εδώ και πολλά χρόνια την χρησιμοποίηση των WSNs για τον έλεγχο των μηχανών, τον έλεγχο των περιβαλλοντικών συνθηκών (μέσα και έξω από την επιχείρηση) και τον έλεγχο των διαδικασιών του αυτοματισμού (Chong & Kumar, 2003; Erdelj et al., 2012).

Αρχικά, ο κυριότερος λόγος της εφαρμογής των αισθητήρων στη βιομηχανία ήταν η παρακολούθηση των μηχανών ώστε να μειωθεί το κόστος απόδοσης και συντήρησής τους. Η παρακολούθηση της καλής λειτουργίας των μηχανών μέσω του προσδιορισμού των κραδασμών ή των επιπέδων φθοράς και λίπανσης και η εισαγωγή αισθητήρων σε περιοχές μη προσβάσιμες από τον άνθρωπο, είναι μόνο μερικά παραδείγματα των βιομηχανικών εφαρμογών των αισθητήρων (Chong & Kumar, 2003).

Επιπλέον, μία άλλη βασική εφαρμογή των WSNs στο χώρο της βιομηχανίας είναι ο έλεγχος και η διαχείριση των αποθεμάτων της. Κάθε προϊόν στην αποθήκη μπορεί να έχει ενσωματωμένο έναν αισθητήρα εντοπισμού, ώστε ο διαχειριστής να μπορεί να μάθει την ακριβή τοποθεσία του και να μπορεί να μετρήσει προϊόντα που ανήκουν στην ίδια κατηγορία. Έτσι, τα προϊόντα θα μπορούν να εντοπίζονται ανά πάσα στιγμή (Akyildiz et al., 2001). Ακόμη, σε βιομηχανίες με αυτοματοποιημένη γραμμή παραγωγής μπορεί να πραγματοποιηθούν δοκιμές ελέγχου ποιότητας στα παραγόμενα προϊόντα, απομακρυσμένα μέσω των WSNs (Chong & Kumar, 2003).

Μία ακόμη βασική εφαρμογή των WSNs στη βιομηχανία είναι ο περιβαλλοντικός έλεγχος των χώρων των επιχειρήσεων, τόσο των εσωτερικών που αφορούν την ασφάλεια των εργαζομένων και του εξοπλισμού, όσο και των εξωτερικών που αφορούν την προστασία του περιβάλλοντος. Οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις βρίσκονται συχνά σε περιβάλλοντα πιο επικίνδυνα από αυτά των κατοικημένων περιοχών, ιδίως στην περίπτωση των βιομηχανιών εξόρυξης πετρελαίου, φυσικού αερίου και άνθρακα ή γεωργικές βιομηχανίες. Ως εκ τούτου, η κατάλληλη και έγκαιρη προειδοποίηση για οποιαδήποτε μεταβολή των περιβαλλοντικών συνθηκών ή η πρόγνωση κάποιας καταστροφής, αποτελεί ένα πολύτιμο πλεονέκτημα τόσο για την προστασία του προσωπικού όσο και του εξοπλισμού (Erdelj et al., 2013).

Άλλες εμπορικές εφαρμογές των WSNs είναι ο έλεγχος της δομής των κτιρίων των επιχειρήσεων, η εποπτεία των χώρων για αποφυγή κλοπών στα προϊόντα και τον εξοπλισμό των επιχειρήσεων, ο εντοπισμός ανά πάσα στιγμή του εξοπλισμού των επιχειρήσεων (για παράδειγμα επαγγελματικά οχήματα), η πλήρης παρακολούθηση και ο έλεγχος της παραγωγής των προϊόντων, των πρώτων υλών, κτλ. (Akyildiz et al., 2001; Erdelj et al., 2013).

Εκτός από τις εμπορικές εφαρμογές, τα WSNs χρησιμοποιούνται και για οικιακές χρήσεις.

Παραδείγματα εφαρμογών οικιακής χρήσης των WSNs αποτελούν οι οικιακοί αυτοματισμοί και τα “έξυπνα” σπίτια με περιβάλλοντα που προσαρμόζονται ανάλογα με τις εξωτερικές συνθήκες ή τις επιλογές του χρήστη. Κύριος στόχος είναι η μείωση της σπατάλης σε ενέργεια με τον έλεγχο των εσωτερικών περιβαλλοντικών συνθηκών. Έτσι όχι μόνο πετυχαίνεται η εξοικονόμηση ενέργειας αλλά βελτιώνεται και το βιοτικό επίπεδο των κατοίκων και ιδιαίτερα αυτών που ανήκουν σε ευπαθείς ομάδες όπως οι ηλικιωμένοι, οι άνθρωποι με κινητικά προβλήματα κτλ. (Akyildiz et al., 2001; Agalya et al., 2015).

Επιπλέον, με την πρόοδο της τεχνολογίας, έξυπνοι κόμβοι αισθητήρων μπορούν να ενσωματωθούν σε συσκευές, όπως ηλεκτρικές σκούπες, φούρνους μικροκυμάτων, ψυγεία και τηλεοράσεις. Αυτοί οι αισθητήρες μπορούν να αλληλεπιδρούν τόσο μεταξύ τους όσο και με το εξωτερικό δίκτυο μέσω του Διαδικτύου ή δορυφόρου. Έτσι, οι τελικοί χρήστες μπορούν να διαχειριστούν τις οικιακές συσκευές απομακρυσμένα (Akyildiz et al., 2001).

2.4.4 Εφαρμογές στην Ιατρική και στην Υγεία

Ο κλάδος της Ιατρικής είναι ένας από τους σημαντικότερους χώρους όπου τα WSNs εφαρμόζονται με σκοπό να βελτιώσουν και να συμβάλουν στην προαγωγή της υγείας.

Στον συγκεκριμένο κλάδο, οι αισθητήρες χρησιμοποιούνται σε διάφορες περιπτώσεις όπως είναι η παρακολούθηση των ασθενών με χρόνιες παθήσεις και των ατόμων με ειδικές ανάγκες, οι διαγνώσεις, καθώς και η διαχείριση του φαρμακευτικού και του ιατρικού εξοπλισμού των νοσοκομείων. Μέσα από την τηλε-παρακολούθηση οι αισθητήρες μπορούν να ελέγξουν την κατάσταση ενός ασθενή προσδιορίζοντας και αποθηκεύοντας τις τιμές των εξεταζόμενων παραμέτρων του (θερμοκρασία, παλμοί) (Akyildiz et al., 2001). Επιπλέον, ορισμένοι αισθητήρες έχουν την ικανότητα να αναγνωρίζουν τις αλλεργίες των ασθενών και να αποτρέπουν τη λήψη επικίνδυνων φαρμάκων (Gao et al., 2005). Ακόμη τα WSNs δίνουν τη δυνατότητα στους γιατρούς και το υπόλοιπο προσωπικό ενός νοσοκομείου να επικοινωνούν μεταξύ τους, καθώς επίσης και να παρακολουθούν τους ασθενείς τους και να εντοπίζουν τη θέση τους εντός του κτιρίου (Akyildiz et al., 2001).

Τα WSNs βρίσκουν εφαρμογή και στην παρακολούθηση της υγείας στο σπίτι, καθώς μπορούν να τοποθετηθούν στο σπίτι ενός ασθενούς και να το μετατρέψουν σε ένα έξυπνο-αυτοματοποιημένο σπίτι. Σε αυτή τη περίπτωση οι ασθενείς, βρίσκονται ταυτόχρονα υπό συνθήκες κατοίκων παρακολούθησης, η οποία χαρακτηρίζεται από διακριτικότητα, είναι μη παρεμβατική και προσδίδει καλύτερη ποιότητα ζωής. Η εφαρμογή τέτοιου τύπου συστημάτων βοηθάει ιδιαίτερα τους ασθενείς με χρόνιες παθήσεις (Akyildiz et al., 2001; Agalya et al., 2015). Για παράδειγμα, υπάρχουν WSNs που εφαρμόζονται για την παρακολούθηση της υγείας ασθενών με ιστορικό καρδιακών παθήσεων, προκειμένου να αποτραπεί ένα πιθανό καρδιακό επεισόδιο (Lo et al., 2005).

2.4.5 Περιβαλλοντικές εφαρμογές

Σήμερα υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός αισθητήρων που καταγράφει τις αλλαγές που συμβαίνουν στο περιβάλλον, τόσο στο χερσαίο όσο και στο υδάτινο. Οι αισθητήρες ασύρματων δικτύων θεωρούνται οι καταλληλότεροι για να καταγράφουν τις αλλαγές, καθώς μπορούν να προσαρμόζονται σχεδόν παντού λόγω του μικρού τους μεγέθους και επιπλέον έχουν την ικανότητα να επικοινωνούν τόσο μεταξύ τους όσο και με το κεντρικό σύστημα ασύρματα αποφεύγοντας την παρεμβολή φυσικών εμποδίων.

Μία από τις εφαρμογές των WSNs στο περιβάλλον είναι η παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και η επίδρασή της στο κλίμα του πλανήτη και στην ανθρώπινη υγεία. Οι αισθητήρες ασύρματων δικτύων έχουν εφαρμοστεί σε διάφορες πόλεις για να παρακολουθούν τη συγκέντρωση επικίνδυνων αερίων για τους πολίτες (Bokare & Ralegaonkar, 2012). Επιπλέον, χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση των αερίων που είναι υπεύθυνα για το φαινόμενο του θερμοκηπίου, το οποίο συμβάλλει σε πολύ μεγάλο βαθμό στην κλιματική αλλαγή. Τα αποτελέσματα που προέρχονται από τις μετρήσεις των αισθητήρων είναι πολύ σημαντικά, καθώς, ακόμη και μια πολύ μικρή μεταβολή σε κάποιο στοιχείο μπορεί να είναι σημαντική για την κλιματική αλλαγή και τη προστασία του περιβάλλοντος (Chatterjee & Pandey, 2014).

Επίσης, εκτός από τις μετρήσεις στην ατμόσφαιρα, οι ασύρματοι αισθητήρες χρησιμοποιούνται και για τον έλεγχο της ποιότητας του νερού στα υδάτινα οικοσυστήματα. Στην περίπτωση αυτή, ελέγχονται διάφορες περιβαλλοντικές παράμετροι όπως η θερμοκρασία του νερού, τα επίπεδα pH, τα διαλυμένα επίπεδα χημικών στοιχείων, η ταχύτητα του ανέμου και το επίπεδο στάθμης του νερού. Τα WSNs έχουν χρησιμοποιηθεί και σε περιπτώσεις ανίχνευσης διαρροής επικίνδυνων για την υγεία χημικών με αποτέλεσμα να διασφαλιστεί η προστασία των ατόμων στις μολυσμένες περιοχές (Chatterjee & Pandey, 2014).

Μια επιπλέον σημαντική εφαρμογή των WSNs, όσον αφορά το περιβάλλον, είναι η παρακολούθηση της κατάστασης των διαφόρων φυσικών οικοτόπων, καθώς και η παρακολούθηση των πληθυσμών διαφόρων ειδών του πλανήτη (Akyildiz et al., 2001; Chong & Kumar, 2003; Chatterjee & Pandey, 2014). Υπάρχουν συγκεκριμένοι τύποι αισθητήρων, όπως οι ακουστικοί αισθητήρες και οι αισθητήρες απεικόνισης, που μπορούν να ανιχνεύσουν και να καταγράψουν τον αριθμό διαφόρων ειδών ζώων, πουλιών, ερπετών, ιχθύων κ.ά., καθώς επίσης και τις μετακινήσεις τους. Συνήθως αυτοί οι αισθητήρες επικεντρώνονται σε σπάνια είδη ζώων ή σε πολύ μικρά είδη και έντομα, τα οποία είναι δύσκολο να ανιχνευθούν και να ελεγχθούν από τον άνθρωπο (Akyildiz et al., 2001; Chong & Kumar, 2003).

Άλλοι τύποι αισθητήρων χρησιμοποιούνται σε διάφορες περιβαλλοντικές μελέτες για την παρακολούθηση της βιοποικιλότητας του περιβάλλοντος, την απόκριση της βλάστησης μιας περιοχής στις κλιματολογικές αλλαγές ή στις ασθένειες, τα κυρίαρχα φυτικά είδη σε μια περιοχή, κ.ά. (Akyildiz et al., 2001; Chong & Kumar, 2003). Επίσης, υπάρχουν και ασύρματοι υποβρύχιοι αισθητήρες, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση του υδάτινου περιβάλλοντος όπως για παράδειγμα σε περιοχές με κοραλλιογενείς υφάλους, καθώς επίσης και για την παρακολούθηση των αποθεμάτων της αλιείας (Chatterjee & Pandey, 2014).

Μία ακόμα σημαντική εφαρμογή των WSNs στο περιβάλλον είναι η πρόληψη διαφόρων φυσικών καταστροφών, όπως είναι η πυρκαγιά, η πλημμύρα, ο σεισμός, οι κατολισθήσεις, η έκρηξη ενός ηφαιστείου κ.τ.λ. (Akyildiz et al., 2001; Bokare and Ralegaonkar, 2012).

Ένας μεγάλος αριθμός κόμβων αισθητήρων μπορούν να εφαρμοστεί και να εγκατασταθεί σε δασικές περιοχές με σκοπό την ανίχνευση κάποιας εστίας φωτιάς. Οι κόμβοι αυτοί είναι εξοπλισμένοι με αισθητήρες που μπορούν να μετράνε τη θερμοκρασία, την υγρασία και τα αέρια που παράγονται από μία πυρκαγιά, δίνοντας την ακριβή προέλευση της φωτιάς. Με αυτό τον τρόπο οι πυροσβεστικές δυνάμεις είναι σε θέση να ενημερωθούν έγκαιρα και να δράσουν στη συγκεκριμένη περιοχή πριν εξαπλωθεί η φωτιά (Akyildiz et al., 2001; Bokare and Ralegaonkar, 2012; Chatterjee & Pandey, 2014).

Ασύρματοι αισθητήρες μπορούν να εφαρμοστούν επίσης για την ανίχνευση πλημμυρών. Συγκεκριμένοι τύποι αισθητήρων χρησιμοποιούνται για να μελετούν τις καιρικές συνθήκες και να ελέγχουν τις βροχοπτώσεις και τη στάθμη του νερού. Τα δεδομένα συλλέγονται σε μια βάση δεδομένων και επεξεργάζονται από λογισμικό σύστημα, το οποίο ειδοποιεί τους αρμόδιους σε περίπτωση πλημμύρας σε μια περιοχή (Chatterjee & Pandey, 2014).

Τέλος, ένα σύστημα ανίχνευσης κατολισθήσεων χρησιμοποιεί ένα WSN για την ανίχνευση των μικρών κινήσεων του εδάφους και τις αλλαγές διαφόρων παραμέτρων που σχετίζονται με το

έδαφος και που μπορεί να συμβούν πριν ή κατά τη διάρκεια μιας κατολίσθησης. Μέσω των δεδομένων που συγκεντρώνουν οι αισθητήρες υπάρχει η δυνατότητα να ανιχνευθεί μία κατολίσθηση πολύ πριν συμβεί και να παρθούν προληπτικά μέτρα ώστε να αποφευχθούν πιθανά ατυχήματα, ζημιές και τραυματισμοί (Bokare and Ralegaonkar, 2012).

2.4.6 Εφαρμογές στη Γεωργία και στην Κτηνοτροφία

Η σύγχρονη γεωργία και κτηνοτροφία απαιτούν εργαλεία και τεχνολογίες που μπορούν να βελτιώσουν την απόδοση της παραγωγής και την ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων τους, μειώνοντας παράλληλα το κόστος παραγωγής και βελτιώνοντας την οικονομική κατάσταση του παραγωγού. Τα WSNs αποτελούν μια τέτοιου τύπου τεχνολογία που εφαρμόζεται ολοένα και περισσότερο τα τελευταία χρόνια τόσο στη γεωργία όσο και στην κτηνοτροφία (Shinghal et al., 2010; Pujari & Bogiri, 2017).

Η εξέλιξη στην τεχνολογία των WSNs στη γεωργία, η ανάπτυξη διαφόρων πρωτοκόλλων επικοινωνίας αλλά και η δημιουργία διαφόρων λογισμικών επεξεργασίας και ανάλυσης δεδομένων, οδήγησαν στην αυτοματοποίηση πολλών διαδικασιών των εκμεταλλεύσεων και στη δημιουργία του όρου Γεωργία Ακριβείας (Precision Agriculture-PA). Ως Γεωργία Ακριβείας (ΓΑ) μπορεί να οριστεί η τεχνική εφαρμογής της σωστής ποσότητας εισροών (νερό, λίπασμα, παρασιτοκτόνο κ.λπ.) στη σωστή θέση και στον κατάλληλο χρόνο για να βελτιωθεί η παραγωγή και η ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων, προστατεύοντας παράλληλα το περιβάλλον (Shinghal et al., 2010; Fountas et al., 2015).

Πριν από μερικές δεκαετίες οι γεωργικές εκμεταλλεύσεις ήταν μικρές και ο παραγωγός έπρεπε να παρατηρεί τις αλλαγές στην καλλιέργειά του για να λαμβάνει τις κατάλληλες αποφάσεις διαχείρισης σε κάθε περίπτωση. Η διαχείριση που έκανε είχε σχέση με τη μνήμη του σε συνδυασμό με την άμεση παρατήρηση. Το πρόβλημα ήταν ότι στις περισσότερες περιπτώσεις οι αποφάσεις του επηρεάστηκαν περισσότερο από τα αποτελέσματα των τελευταίων ετών που είχαν διατηρηθεί στη μνήμη του, τα οποία όμως μπορεί να είχαν επηρεαστεί περισσότερο από τις καιρικές συνθήκες ή από άλλους παράγοντες που δεν υπήρχαν τα επόμενα χρόνια. Αυτή η σύνδεση της μνήμης και της γνώσης της καλλιέργειας μειώθηκε με την αύξηση του μεγέθους των εκμεταλλεύσεων αλλά και με την αυτοματοποίηση διαφόρων εργασιών. Έτσι όσο μεγαλύτερη είναι η εκμετάλλευση και το πεδίο εφαρμογής της καλλιέργειας, τόσο μικρότερη είναι η γνώση του παραγωγού για τη μεταβλητότητα της καλλιέργειάς του (Fountas et al., 2015).

Η εφαρμογή της ΓΑ μέσω των WSNs σε μία γεωργική εκμετάλλευση ή σε ένα θερμοκήπιο, μπορεί να παρέχει συνεχώς πληροφορίες για την κατάσταση της καλλιέργειας στον παραγωγό.

Οι πληροφορίες που συλλέγουν οι αισθητήρες αφορούν κυρίως παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν τα καλλιεργούμενα είδη, όπως η ατμοσφαιρική θερμοκρασία και υγρασία, η υγρασία του εδάφους, το ύψος των βροχοπτώσεων, κτλ. Με αυτό τον τρόπο ο παραγωγός είναι σε θέση να παρακολουθεί συνεχώς την καλλιέργειά του, να γνωρίζει οποιονδήποτε παράγοντα που μπορεί να την επηρεάσει αρνητικά, να ειδοποιείται σε περίπτωση που χρειάζεται να επέμβει και γενικά να διαχειρίζεται καλύτερα την καλλιέργειά του. Η καλή διαχείριση μιας καλλιέργειας περιλαμβάνει διάφορες πρακτικές, όπως την ορθή διαχείριση του νερού που χρειάζεται η καλλιέργεια, την ορθή εφαρμογή λιπασμάτων και παρασιτοκτόνων, κ.ά. (Shinghal et al., 2010; Bokare and Ralegaonkar, 2012; Pujari & Bogiri, 2017; Kiani & Seyyedabbasi, 2018).

Καθώς οι απαιτήσεις κάθε καλλιεργούμενου είδους σε θερμοκρασία, υγρασία, ηλιοφάνεια κτλ. διαφέρουν, ταυτόχρονα είναι πολύ σημαντικές για την καλή ανάπτυξη του εκάστοτε φυτικού οργανισμού. Για το λόγο αυτό ο έλεγχος των περιβαλλοντικών παραμέτρων σε μια καλλιέργεια χρήζει ιδιαίτερης σημασίας.

Οι Chaudhary *et al.* (2011) δημιούργησαν σε πειραματικό στάδιο ένα αυτόματο σύστημα παρακολούθησης και ελέγχου των περιβαλλοντικών παραμέτρων σε ένα θερμοκήπιο χρησιμοποιώντας WSNs. Διάφοροι τύποι αισθητήρων τοποθετήθηκαν εντός και εκτός του θερμοκηπίου για την παρακολούθηση και τη συλλογή δεδομένων της ταχύτητας και της κατεύθυνσης του ανέμου, του ηλιακού φωτός, της θερμοκρασίας, της ατμοσφαιρικής πίεσης, της υγρασίας και του ποσοστού του διοξειδίου του άνθρακα. Το σύστημα με βάση τα δεδομένα τόσο του εξωτερικού όσο και του εσωτερικού περιβάλλοντος του θερμοκηπίου, είχε τη δυνατότητα να ρυθμίζει το μικρόκλιμα εντός του θερμοκηπίου διατηρώντας τις βέλτιστες συνθήκες για την ανάπτυξη των φυτών. Επιπλέον, στο σύστημα συμπεριλαμβάνονταν και αισθητήρες για την παρακολούθηση διαφόρων παραμέτρων που σχετίζονται με το έδαφος, όπως η υγρασία και η θερμοκρασία του εδάφους, η τιμή του pH του και η ηλεκτρική του αγωγιμότητα. Με τη χρήση αυτών των αισθητήρων το σύστημα ήταν σε θέση να αποφασίζει για την πραγματοποίηση άρδευσης ή όχι. Το σύστημα αυτό αν και σε πειραματικό επίπεδο, ήταν αρκετά αξιόπιστο και αποτελεί μια πάρα πολύ καλή λύση για τέτοιου τύπου εφαρμογές τόσο σε θερμοκήπια όσο και σε άλλες μορφές καλλιέργειας της γεωργίας.

Η άρδευση και γενικότερα η χρήση του νερού σε μία καλλιέργεια αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα των καλλιεργούμενων ειδών και το κόστος της παραγωγής. Από την άλλη μεριά, οι σύγχρονες καλλιέργειες καλούνται να ανταποκριθούν στις κοινωνικές απαιτήσεις για μείωση της κατανάλωσης του νερού που χρησιμοποιούν, συμβάλλοντας έτσι στην προστασία του περιβάλλοντος. Η εφαρμογή της ΓΑ

στα διάφορα συστήματα άρδευσης, έχει σαν αποτέλεσμα την καλύτερη αξιοποίηση του νερού ελαχιστοποιώντας τις απώλειες και συμβάλλοντας στην εξοικονόμησή του και ιδιαίτερα σε καλλιέργειες ειδών με μεγάλη εμπορική αξία και μεγάλες απαιτήσεις σε άρδευση (Shinghal et al., 2010; Zarco-Tejada et al., 2014). Επιπλέον, μέσω των WSNs τα συστήματα παροχής νερού μπορούν να παρακολουθούνται με τη χρήση αισθητήρων πίεσης που ελέγχουν τη στάθμη του νερού των δεξαμενών, οι αντλίες μπορούν να ελέγχονται από ασύρματες συσκευές και η χρήση του νερού μπορεί να μετρηθεί. Ακόμη, η αυτοματοποίηση στην άρδευση επιτρέπει πιο αποτελεσματική χρήση νερού και μειώνει τα απόβλητα. (Bokare & Ralegaonkar, 2012).

Οι Shinghal *et al.* (2010) ανέπτυξαν ένα σύστημα διαχείρισης της άρδευσης μέσω της εφαρμογής ενός WSN με σκοπό την καλύτερη απόδοση της καλλιέργειας. Το σύστημα αυτό εφαρμόστηκε σε καλλιέργεια πατάτας, η οποία είναι ένα είδος με ιδιαίτερες απαιτήσεις σε νερό, καθώς το ριζικό του σύστημα είναι ρηχό αφήνοντας πολύ μικρά περιθώρια σφάλματος στην άρδευση. Μια ομάδα ασύρματων κόμβων αισθητήρων είχε εφαρμοστεί στο πεδίο της καλλιέργειας μετρώντας το βάθος εφαρμογής του νερού στο έδαφος, την ένταση της άρδευσης, την ικανότητα του συστήματος και ορισμένες άλλες παραμέτρους, τα αποτελέσματα των οποίων στέλνονταν στην κεντρική μονάδα επεξεργασίας από εξειδικευμένο λογισμικό. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι η εφαρμογή αυτού του συστήματος, εκτός του ότι εξασφαλίζει καλύτερη απόδοση στην καλλιέργεια, αυξάνει την απόδοση της εφαρμογής του συστήματος άρδευσης κατά 10%.

Σε μια άλλη μελέτη, οι Isic *et al.* (2017), χρησιμοποιώντας την τεχνολογία των WSNs, εφάρμοσαν ένα αυτόματο σύστημα άρδευσης σε καλλιεργούμενα φυτά. Το συγκεκριμένο σύστημα είχε τη δυνατότητα μέσω βαλβίδων να ρυθμίζει αυτόματα την ποσότητα του νερού που θα αρδευτεί, ανάλογα με τις απαιτήσεις που είχαν τα φυτά σε κάθε στάδιο της ανάπτυξής τους. Στην περίπτωση που η ποσότητα του νερού ήταν υπερβολική λόγω έντονης βροχόπτωσης, η προγραμματισμένη άρδευση δεν πραγματοποιούνταν. Επιπλέον, είχαν σχεδιάσει εφαρμογή που ήταν συμβατή με συσκευές IOS ή Android και μέσω αυτής μπορούσε να γίνει έλεγχος της λειτουργίας των βαλβίδων και των αντλιών καθώς και των επιπέδων υγρασίας του εδάφους. Η εφαρμογή ενός τέτοιου συστήματος άρδευσης σε μια καλλιέργεια θεωρήθηκε πολύ αποτελεσματική, αφενός γιατί η εφαρμογή μέσω κινητού τηλεφώνου ήταν πολύ εύκολη στη χρήση και προσβάσιμη από κάθε παραγωγό μειώνοντας το χρόνο εργασίας του και αφετέρου, υπήρξε εξοικονόμηση νερού αφού η ποσότητα που χρησιμοποιήθηκε υπολογίστηκε με βάση τις ανάγκες των φυτών.

Τα διάφορα συστήματα ΓΑ που έχουν εφαρμοστεί έως τώρα αφορούν κυρίως τον έλεγχο της άρδευσης και την παρακολούθηση ορισμένων παραμέτρων που μπορεί να επηρεάσουν τις

καλλιέργειες (Ali et al., 2018; Kiani & Seyyedabbasi, 2018). Ωστόσο, οι εφαρμογές της ΓΑ μέσω των ασύρματων δικτύων αισθητήρων είναι πολύ περισσότερες. Για παράδειγμα, μπορεί να γίνει χαρτογράφηση της απόδοσης μιας καλλιέργειας με τη χρήση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Οι αισθητήρες μπορούν να τοποθετηθούν σε μηχανές συγκομιδής μετρώντας την απόδοση ανά τετραγωνικό μέτρο και κάποια ποιοτικά χαρακτηριστικά των φυτών (Fountas et al., 2015).

Επιπλέον, για τις περισσότερες καλλιέργειες και ειδικά για τα φρούτα και τα λαχανικά, η ποιότητα παίζει πολύ σημαντικό ρόλο, ανάμεσα σε άλλα, και στην εμπορική αξία των προϊόντων αυτών. Βέβαια, υπάρχουν και προϊόντα που μπορεί να χρειάζονται και άλλα χαρακτηριστικά τα οποία τους δίνουν προστιθέμενη αξία. Ένα τέτοιο προϊόν είναι το σκληρό σιτάρι που χρησιμοποιείται για την παρασκευή ζυμαρικών και η υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες αυξάνει την τιμή πώλησής του (Fountas et al., 2015). Μέσω της ΓΑ υπάρχουν διάφορα συστήματα παρακολούθησης και αξιολόγησης της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων (Zarco-Tejada et al., 2014; Fountas et al., 2015). Τα συστήματα αυτά παρακολουθούν και καταγράφουν παραμέτρους που σχετίζονται με την ποιότητα των τελικών προϊόντων όπως το χρώμα, το μέγεθος, το σχήμα, τυχόν εξωτερικά ελαττώματα, ακόμα και την περιεκτικότητα σε σάκχαρα, την οξύτητα, καθώς και κάποιες ακόμη εσωτερικές ιδιότητες (Zarco-Tejada et al., 2014).

Μια άλλη σημαντική εφαρμογή της ΓΑ στις καλλιέργειες είναι η βελτιστοποίηση της χρήσης των λιπασμάτων, ξεκινώντας από τα τρία κύρια θρεπτικά συστατικά που είναι το άζωτο, ο φώσφορος και το κάλιο. Στις συμβατικές καλλιέργειες, αυτά τα λιπάσματα εφαρμόζονται ομοιόμορφα στις καλλιέργειες σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους κατά τη διάρκεια του έτους. Αυτό οδηγεί σε υπερβολική εφαρμογή σε ορισμένα σημεία και σε ελλιπή σε άλλα. Το περιβαλλοντικό κόστος συνδέεται άμεσα με την υπερβολική εφαρμογή που επιτρέπει την έκπλυση αζώτου και φωσφόρου από τις καλλιέργειες στα υπόγεια και επιφανειακά ύδατα ή σε άλλες περιοχές όπου δεν είναι επιθυμητό. Με την εφαρμογή μεθόδων ΓΑ, μπορούν να εφαρμοστούν λιπάσματα σε ακριβέστερες ποσότητες, υπολογίζοντας το χώρο και το χρόνο με σκοπό τη βελτιστοποίηση της εφαρμογής. Επιπλέον, η παρακολούθηση των εργασιών της καλλιέργειας, όπως οι χημικές ουσίες που ψεκάζονται και η χρήση λιπασμάτων, μπορεί να παρέχει ολοκληρωμένες μεθόδους επεξεργασίας στα οπωροκηπευτικά (Zarco-Tejada et al., 2014).

Εκτός από τον κλάδο της γεωργίας, τα WSNs βρίσκουν εφαρμογή και στον κλάδο της κτηνοτροφίας. Παλαιότερα, η διαχείριση και η παρακολούθηση του ζωικού πληθυσμού μιας κτηνοτροφικής εκμετάλλευσης βασιζόταν στην παρατήρηση, την κρίση και την εμπειρία του

κτηνοτρόφου. Για την ακρίβεια, ο μόνος τρόπος εντοπισμού και παρακολούθησης των ζώων ήταν να υπάρχουν άνθρωποι να τα παρατηρούν, κάτι που ήταν χρονοβόρο και δαπανηρό. Με τη χρήση της τεχνολογίας των WSNs, η διαχείριση της κτηνοτροφίας απέκτησε άλλες διαστάσεις αφού πλέον μπορεί να γίνει απομακρυσμένη παρακολούθηση, ασύρματη λήψη μετρήσεων σχετικά με την κατάσταση του κάθε ζώου και ενημέρωση του κτηνοτρόφου (Ambrósio, 2015).

Όπως και στη ΓΑ, η αυτοματοποίηση πολλών εργασιών που γίνονται σήμερα στον κλάδο της κτηνοτροφίας δημιούργησε τον όρο Κτηνοτροφία Ακριβείας (Precision Livestock Farming-PLF). Η Κτηνοτροφία Ακριβείας (ΚΑ) έχει σαν σκοπό τη δημιουργία ενός συστήματος διαχείρισης βασισμένο σε συνεχή αυτόματη παρακολούθηση και έλεγχο σε πραγματικό χρόνο της παραγωγής, της αναπαραγωγής, της υγείας και της ευζωίας των ζώων, καθώς επίσης και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της ζωικής παραγωγής (Berckmans, 2014). Έτσι μπορεί να βελτιωθεί η αποτελεσματικότητα της παραγωγής, ενώ ταυτόχρονα να αυξηθεί η ευζωία των ζώων και η ευημερία του ανθρώπου, μέσω της εφαρμογής προηγμένων τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνιών και του ακριβούς ελέγχου της παραγωγικής διαδικασίας (Banhazi et al., 2012).

Τα τελευταία χρόνια η αύξηση της κατανάλωσης του κρέατος είχε σαν αποτέλεσμα την αύξηση της ζήτησης και κατ' επέκταση την ανάγκη για μεγαλύτερη παραγωγή. Σύμφωνα με τους ειδικούς αναμένεται αύξηση της τάξεως του 40% στα απόμεινα 15 χρόνια. Έτσι, οι κτηνοτρόφοι καλούνται να επιτύχουν υψηλή ποιότητα και ασφαλή παραγωγή κρέατος που να μπορεί να καλύψει τις αυξανόμενες ανάγκες του πληθυσμού. Εντωμεταξύ, ενώ η παγκόσμια ζήτηση για προϊόντα ζωικής προέλευσης αυξάνεται, ο αριθμός των κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων μειώνεται χρόνο με το χρόνο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα στις υπάρχουσες μονάδες να αντιστοιχεί όλο και μεγαλύτερο μερίδιο από τη συνολική ζωική παραγωγή που απαιτείται. Έτσι, ο κάθε παραγωγός χρειάζεται να αυξήσει το ζωικό πληθυσμό της μονάδας του και ως επακόλουθο χρειάζεται και περισσότερο χρόνο για να παρακολουθεί τα ζώα του και να διαχειρίζεται τη μονάδα του (Berckmans, 2014).

Παράλληλα, ο κλάδος της κτηνοτροφίας καλείται να αντιμετωπίσει διάφορα προβλήματα, καθώς αυξάνουν οι ανησυχίες για την υγεία των ζώων και τις επιπτώσεις που μπορεί να έχει αυτό στην ασφάλεια των τροφίμων και στην ανθρώπινη υγεία. Επιπλέον, η σύγχρονη κτηνοτροφία καλείται να συμμορφωθεί στους κανόνες για την ευζωία των εκτρεφόμενων ζώων αλλά και στις κοινωνικές απαιτήσεις για μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη ζωική παραγωγή. Έτσι οι κτηνοτρόφοι καλούνται να διαχειριστούν έναν αριθμό διαδικασιών

προκειμένου να συμμορφωθούν στους κανόνες αυτούς, προσπαθώντας παράλληλα να αποκτήσουν ένα αξιοπρεπές εισόδημα για την εργασία τους (Berckmans, 2014).

Η ανάπτυξη και η πρόοδος στην τεχνολογία επικοινωνιών μέσω της τεχνολογίας των κινητών τηλεφώνων, των τηλεπικοινωνιών και του Διαδικτύου, έχουν προχωρήσει σε τέτοιο βαθμό στη σημερινή εποχή, που στον κτηνοτρόφο είναι πλέον διαθέσιμα διάφορα εργαλεία με προηγμένη τεχνολογία (Banhazi et al., 2012; Berckmans, 2014). Με τη χρήση αυτών των σύγχρονων τεχνολογιών μπορεί να ελέγξει διαφορετικές παραμέτρους της κτηνοτροφικής του εκμετάλλευσης, όπως είναι ο ρυθμός εξαερισμού, η παροχή τροφής, η θέρμανση και η ψύξη των εσωτερικών χώρων της εκμετάλλευσης, κ.ά. Οι τεχνολογίες αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν κάμερες, μικρόφωνα, αισθητήρες (όπως 3D επιταχυνσιόμετρα, αισθητήρες θερμοκρασίας, αισθητήρες αγωγιμότητας δέρματος και αισθητήρες γλυκόζης), ασύρματα εργαλεία επικοινωνίας, συνδέσεις Internet και την αποθήκευση δεδομένων με χρήση της τεχνολογία Cloud. Επιπλέον, οι κάμερες, τα μικρόφωνα και οι αισθητήρες μπορεί να τοποθετηθούν αρκετά κοντά στην εκτροφή ώστε να αντικαταστήσουν τα μάτια και τα αφτιά του κτηνοτρόφου στην παρακολούθηση των ζώων (Berckmans, 2014).

Η ΚΑ παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα και αν εφαρμοστεί σωστά μπορεί : να βελτιώσει ή τουλάχιστον να διασφαλίσει την καλή διαβίωση των ζώων στις κτηνοτροφικές εκμεταλλεύσεις, να μειώσει τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου και να βελτιώσει τις περιβαλλοντικές επιδόσεις των εκμεταλλεύσεων, να διευκολύνει την κατηγοριοποίηση και την εμπορία των ζωικών προϊόντων, να μειώσει την παράνομη εμπορία των ζωικών προϊόντων και να βελτιώσει την οικονομική σταθερότητα των αγροτικών περιοχών (Banhazi et al., 2012).

Η παρακολούθηση της υγείας και της γενικής κατάστασης των ζώων είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας της επιτυχίας μιας μονάδας εκτροφής και ιδιαίτερα για τις μεγάλες κτηνοτροφικές εκμεταλλεύσεις. Με την παρακολούθηση οι κτηνοτρόφοι μπορούν να προλάβουν τυχόν κρούσματα από διάφορες ασθένειες που μπορεί να προσβάλλουν τα ζώα τους, προκαλώντας μείωση των αποδόσεων των εκτρεφόμενων ζώων, επιπτώσεις στην ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων, οικονομικές απώλειες στους ίδιους και πιθανό κίνδυνο στην υγεία των καταναλωτών (Kwong et al., 2009). Πολλές φορές η συμπεριφορά των εκτρεφόμενων ζώων και οι αλλαγές που μπορεί να παρουσιάσει, ενδεχομένως να υποδηλώνει κάποια ασθένεια ή κάποιον άλλο παράγοντα εντός της εκτροφής που πιθανό να επηρεάζει τη φυσιολογική τους κατάσταση. Διάφοροι ερευνητές έχουν χρησιμοποιήσει την ΚΑ με τη χρήση των WSNs προκειμένου να παρακολουθήσουν μεμονωμένα τη δραστηριότητα και την κατάσταση της υγείας των ζώων (Kwong et al., 2009).

Οι Bhavsar *et al.* (2013) δημιούργησαν ένα WSN με σκοπό την παρακολούθηση της υγείας εκτρεφόμενων μοσχαριών. Για τη μελέτη τους χρησιμοποίησαν αισθητήρες ενσωματωμένους στα ζώα και αισθητήρες εφαρμοσμένους στο περιβάλλον. Οι αισθητήρες που είχαν τοποθετηθεί στα ζώα λάμβαναν μετρήσεις για τη θερμοκρασία του σώματος, τους παλμούς και το ρυθμό της αναπνοής, ώστε να ελέγχονται εάν υπάρχουν συμπτώματα ασθένειας. Οι τιμές που λάμβαναν οι αισθητήρες συγκρίνονταν με τις φυσιολογικές που ισχύουν σε υγιή ζώα και οποιαδήποτε απόκλιση αποτελούσε ένδειξη ασθένειας. Οι αισθητήρες που τοποθετήθηκαν στο περιβάλλον της εκτροφής έπαιρναν μετρήσεις ορισμένων περιβαλλοντικών παραμέτρων όπως τη ρύπανση των υδάτων, τη μόλυνση του εδάφους, το ποσοστό σκόνης και την υγρασία του αέρα. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι η εφαρμογή ενός τέτοιου συστήματος θα μπορούσε να βοηθήσει στη λήψη άμεσων και κατάλληλων μέτρων από την πλευρά των κτηνοτρόφων ώστε να βελτιωθεί η ευζωία των ζώων, να αυξηθεί η απόδοση των προϊόντων και να βελτιωθεί η ποιότητα της ζωής των ίδιων.

Αρκετές μονάδες εντατικής εκτροφής αντιμετωπίζουν πολύ συχνά προβλήματα από μολυσματικές ασθένειες. Για παράδειγμα στις εντατικές χοιροτροφικές μονάδες, τα ζώα είναι πολύ ευαίσθητα σε λοιμώξεις του αναπνευστικού οι οποίες προκαλούν πολύ υψηλή θνησιμότητα. Οι Chung *et al.* (2013), χρησιμοποίησαν ένα WSN παρακολούθησης των ήχων σε μία χοιροτροφική εκμετάλλευση, με σκοπό την ανίχνευση και την αναγνώριση κάποιας ασθένειας στους χοίρους. Για να μπορέσουν να συλλέξουν δεδομένα ήχου και να δημιουργήσουν τον αλγόριθμο που να μπορεί να επεξεργάζεται τους ήχους και να μπορεί να δίνει αποτελέσματα ύπαρξης ή όχι ασθένειας, χρησιμοποίησαν ασύρματα μικρόφωνα. Τα μικρόφωνα τοποθετήθηκαν και σε στάβλους με υγιή ζώα και σε στάβλους με άρρωστα ζώα, απομονώνοντας τους εξωτερικούς ήχους και καταγράφοντας μόνο τους ήχους των ζώων. Τα αποτελέσματα του πειράματος έδειξαν ότι η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε μπορεί να εφαρμοστεί με επιτυχία δίνοντας 94% ακρίβεια στην ανίχνευση και 91% ακρίβεια στην ταξινόμηση της ασθένειας.

Η αξιολόγηση της καλής μεταχείρισης των ζώων, δηλαδή της ευζωίας τους, μπορεί επίσης να προσδιοριστεί μέσω ασύρματης παρακολούθησης και να δώσει τη δυνατότητα στον κτηνοτρόφο να λάβει τη σωστή απόφαση με βάση τη διαχείριση σε πραγματικό χρόνο (Ruiz-Garcia *et al.*, 2009).

Οι Chitalkar *et al.* (2018), δημιούργησαν ένα σύστημα παρακολούθησης της ευζωίας των εκτρεφόμενων ζώων μέσω WSNs. Για τη λήψη δεδομένων το σύστημα χρησιμοποίησε δύο είδη αισθητήρων. Το ένα είδος ήταν φορητές συσκευές που εφαρμόστηκαν πάνω στα ζώα και μετρούσαν τη θερμοκρασία του σώματος και την υγρασία. Το άλλο ήταν αισθητήρας που είχε

τοποθετηθεί εντός του στάβλου και μετρούσε ορισμένες περιβαλλοντικές παραμέτρους όπως την θερμοκρασία και την υγρασία. Το σύστημα περιλάμβανε επίσης κάμερες για την παρακολούθηση του ταΐσματος και απομακρυσμένη διαχείριση του ανεμιστήρα για τον έλεγχο της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος του στάβλου. Όλα τα δεδομένα που συλλέγονταν, στέλνονταν στο κεντρικό σύστημα για επεξεργασία και τα αποτελέσματα στέλνονταν μέσω εφαρμογής στα κινητά των υπεύθυνων διαχείρισης την μονάδας προκειμένου να ειδοποιούνται για την κατάσταση της υγείας των ζώων και του περιβάλλοντος διαβίωσής τους.

Τα παραπάνω παραδείγματα αποτελούν μερικές μόνο εφαρμογές της ΚΑ. Υπάρχουν πολλές ακόμη διαδικασίες στην κτηνοτροφία στις οποίες βρίσκει εφαρμογή η ΚΑ, όπως η ανάπτυξη των ζώων (μέτρηση του βάρους και υπολογισμός του τελικού βάρους), η παραγωγή γάλακτος και αυγών, ζητήματα σχετικά με τη συμπεριφορά των ζώων, οι συνθήκες μέσα στο περιβάλλον της εκτροφής και ο υπολογισμός των εκπομπών αερίων ρύπων (Zarco-Tejada et al., 2014).

Τα νέα συστήματα της ΚΑ περιλαμβάνουν συστήματα παρακολούθησης του γάλακτος για τον έλεγχο του επιπέδου του λίπους και των μικροβίων, βοηθώντας να υποδείξουν πιθανές λοιμώξεις, καθώς και νέα ρομποτικά συστήματα τροφοδοσίας, συστήματα ζύγισης, ρομποτικά συστήματα καθαρισμού, συστήματα τροφοδοσίας και άλλα βοηθητικά σύγχρονα συστήματα για τον κτηνοτρόφο. Επιπλέον, υπάρχουν συστήματα παρακολούθησης της κατανάλωσης ζωοτροφών και νερού, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την έγκαιρη ανίχνευση λοιμώξεων (Zarco-Tejada et al., 2014).

Άλλα συστήματα περιλαμβάνουν την παρακολούθηση του κοπαδιού όπου η μέτρηση της ανάπτυξης σε πραγματικό χρόνο είναι σημαντική και δίνει τη δυνατότητα στους παραγωγούς να υπολογίζουν το συντελεστή μετατρεψιμότητας της τροφής και το ρυθμό αύξησης. Επιπλέον, υπάρχουν διάφοροι τύποι αισθητήρων που χρησιμοποιούνται για να παρέχουν ειδοποιήσεις σχετικά με τη γέννηση και τη γονιμότητα, καθώς επίσης και αισθητήρες - κολπικά θερμομέτρα που παρακολουθούν τη θερμοκρασία, την επικείμενη γέννηση και το σπάσιμο των νερών και επικοινωνούν με τον κτηνοτρόφο μέσω SMS. Ακόμη, υπάρχουν αισθητήρες τοποθετημένοι στο περιλαίμιο των ζώων που καταγράφουν παραμέτρους για την ανίχνευση ύπαρξης οίστρου και της ετοιμότητας για γονιμοποίηση. Και σε αυτή την περίπτωση δίνεται η δυνατότητα να ειδοποιείται ο κτηνοτρόφος μέσω SMS (Zarco-Tejada et al., 2014).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΣΤΙΣ ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ

3.1 ΑΝΑΓΚΗ ΓΙΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ

Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας (FAO) εκτιμά ότι η παγκόσμια παραγωγή τροφίμων πρέπει να αυξηθεί κατά 60% μέχρι το 2050, ώστε να μπορέσει να καλύψει τις αυξανόμενες διατροφικές ανάγκες του πληθυσμού της Γης. Τη στιγμή που τα αποθέματα των θαλάσσιων οικοσυστημάτων μειώνονται από την υπεραλίευση και τη ρύπανση, ο κλάδος των Υδατοκαλλιεργειών αναδεικνύεται σε έναν από τους ταχύτερα αναπτυσσόμενους κλάδους, συμβάλλοντας στην παγκόσμια αυτή επισιτιστική κρίση (FAO, 2018).

Η ανάπτυξη του κλάδου των Υδατοκαλλιεργειών σε συνδυασμό με τη μεγάλη ανάπτυξη της τεχνολογίας, είχε σαν αποτέλεσμα την εξέλιξη των συστημάτων και των μεθόδων εκτροφής. Η εφαρμογή εντατικών συστημάτων υδατοκαλλιέργειας θεωρείται πολύ καλή λύση για τις υψηλές απαιτήσεις των καταναλωτών σε εναλλακτικά τρόφιμα ζωικής προέλευσης. Πρωταρχικός στόχος των μονάδων εντατικής εκτροφής είναι η βελτίωση της παραγωγικότητάς τους, μέσω της σωστής διαχείρισης και του συνεχούς ελέγχου του περιβάλλοντος της εκτροφής.

Σε αντίθεση με τις καλλιέργειες και την εκτροφή ζώων στη ξηρά, οι ιχθύες και άλλοι υδρόβιοι οργανισμοί είναι είδη ιδιαίτερα ευαίσθητα στο περιβάλλον εκτροφής τους, καθώς έρχονται σε άμεση επαφή με το νερό (Simbeye et al., 2014). Καθώς τόσο τα χαρακτηριστικά του νερού, όσο και η ποιότητά του είναι καθοριστικά για την ανάπτυξη των υδρόβιων οργανισμών, και κατά συνέπεια και για την εκτροφή τους, η παρακολούθηση των φυσικοχημικών παραμέτρων αποτελεί ένδειξη της καλής κατάστασης και της υγείας στην εκτροφή και κρίνεται αναγκαία (Fowler et al., 1994).

Τα τελευταία χρόνια, η πρόοδος στις ασύρματες επικοινωνίες, στις τεχνολογίες των αισθητήρων, στα φορητά συστήματα πληροφορικής αλλά και στην ανάπτυξη διαφόρων λογισμικών σε συνδυασμό με τη δημιουργία σχετικά χαμηλού κόστους μικρών αισθητήρων, έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη συστημάτων παρακολούθησης των περιβαλλοντικών παραμέτρων σε εκτροφές υδρόβιων οργανισμών μέσω ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Τα συστήματα αυτά επιτρέπουν τον έλεγχο και την καλή διαχείριση της ποιότητας του νερού εκτροφής, αποφεύγοντας την εμφάνιση δυσμενών συνθηκών που μπορεί να είναι επιβλαβής για τους εκτρεφόμενους οργανισμούς (Fowler et al., 1994, Simbeye et al., 2014).

Εκτός όμως από τον έλεγχο του περιβάλλοντος του νερού εκτροφής, σε μια μονάδα υδατοκαλλιέργειών είναι απαραίτητο να εξετάζονται και να παρακολουθούνται και άλλες παράμετροι που αφορούν το περιβάλλον. Οι υδατοκαλλιέργειες και η εφαρμογή κυρίως εντατικών συστημάτων μπορούν να επηρεάσουν το περιβάλλον με διάφορους τρόπους, συμπεριλαμβανομένων του εμπλουτισμού της περιοχής γύρω από τις εκμεταλλεύσεις με οργανικές ενώσεις, της αύξησης των διαλυμένων θρεπτικών ή χημικών ουσιών στις περιοχές εκτροφής, της διαφυγής ειδών που επηρεάζουν τα τοπικά είδη, της απώλειας οικότοπων και τόπων αναψυχής. Αυτές οι επιπτώσεις μπορούν να μειωθούν με προσεκτική επιλογή της τοποθεσίας για την παροχή των κατάλληλων συνθηκών εκτροφής στα υδρόβια είδη και με καλή διαχείριση των μονάδων (Crawford et al., 2009).

Νέες τεχνικές αναπτύσσονται συνεχώς για να καταστήσουν την εκτροφή ιχθύων και άλλων υδρόβιων οργανισμών πιο αποτελεσματική και φιλική προς το περιβάλλον, με προβλέψιμα οφέλη τόσο για το περιβάλλον όσο και για τους εκτροφείς (Day et al., 2015). Οι πρόσφατες εξελίξεις στην τηλεπισκόπηση και τη χαρτογράφηση του θαλάσσιου βυθού έχουν οδηγήσει στη βελτίωση της επιλογή της τοποθεσίας μιας μονάδας υδατοκαλλιέργειών. Παράλληλα, η παρακολούθηση και η αξιολόγηση του περιβάλλοντος γύρω από τις εκμεταλλεύσεις υδατοκαλλιέργειας γίνεται όλο και πιο κοινή, πάλι λόγω της εφαρμογής νέων τεχνολογιών, που περιλαμβάνουν τη χρήση οπτικών τεχνικών με ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές και τηλεκατευθυνόμενα ή αυτόνομα υποβρύχια οχήματα (Crawford et al., 2009).

3.2 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΕΚΤΡΟΦΗΣ

Προκειμένου να είναι επιτυχημένη μια εκτροφή και να παρουσιάσει τη βέλτιστη παραγωγικότητα είναι απαραίτητο το νερό της εκτροφής να έχει όλα τα επιθυμητά χαρακτηριστικά που χρειάζονται οι εκάστοτε εκτρεφόμενοι οργανισμοί.

Η ποιότητα του νερού εξαρτάται από τα φυσικοχημικά του χαρακτηριστικά, όπως είναι η θερμοκρασία (temperature), η αλατότητα (salinity), το διαλυμένο οξυγόνο (Dissolved Oxygen, D.O.), το pH, οι ενώσεις αζώτου που συμπεριλαμβάνουν την αμμωνία, τα νιτρικά (nitrates) και τα νιτρώδη (nitrites), και η θολότητα (turbidity) δηλαδή η συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών (Βαΐτσας και Ραβασόπουλος, 1997; Παπουτσόγλου, 1997).

Τα όρια ανοχής των εκτρεφόμενων οργανισμών στις διάφορες παραμέτρους ποιότητας του νερού εξαρτώνται όχι μόνο από την περιοχή, αλλά και από το ίδιο το εκτρεφόμενο είδος (Βαΐτσας και Ραβασόπουλος, 1997; Παπουτσόγλου, 1997).

Ορισμένες από αυτές τις παραμέτρους παρουσιάζουν ενδιαφέρον και από περιβαλλοντικής πλευράς και όχι μόνο από πλευράς εκτροφής (Lloret et al., 2011).

Επιπλέον, πολλές παράμετροι δεν παραμένουν σταθερές, αλλά είναι δυνατόν να μεταβάλλονται συνεχώς, εποχιακά ή περιοδικά, γι' αυτό και χρήζουν συνεχούς παρακολούθησης (monitoring). Τέλος, οι παράμετροι της ποιότητας του νερού χαρακτηρίζονται και ως συνεργητικές· γι' αυτό το λόγο δε μπορούν να αξιολογηθούν η καθεμία ξεχωριστά από την άλλη. Για την επιτυχία και την ασφαλή λειτουργία μιας εκτροφής λοιπόν, θα πρέπει να είναι γνωστά τα επιτρεπτά όρια των τιμών αυτών των παραμέτρων, για την αποφυγή της καταπόνησης (stress) των εκτρεφόμενων οργανισμών (Βαΐτσας και Ραβασόπουλος, 1997).

3.2.1 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία είναι μία από τις σημαντικότερες παραμέτρους που χρήζει συνεχώς παρακολούθηση στις μονάδες Υδατοκαλλιεργειών, καθώς επηρεάζει άμεσα και έμμεσα τη διαβίωση και τις φυσιολογικές λειτουργίες των υδρόβιων οργανισμών.

Η θερμοκρασία παρουσιάζει διαφορετικές τιμές από περιοχή σε περιοχή, αλλά και κατά τη διάρκεια του έτους. Επιπλέον, διαφορετικές τιμές παρουσιάζονται και στη θερμοκρασία μιας υδάτινης μάζας ανάλογα με το βάθος (Parra et al., 2018b).

Η θερμοκρασία είναι ένας βασικός παράγοντας που καθορίζει τη γεωγραφική κατανομή των ειδών στο φυσικό περιβάλλον (Hagun et al., 2012). Οι περισσότεροι υδρόβιοι οργανισμοί, όπως οι ιχθύες, είναι ποικιλόθερμοι και αδυνατούν να ρυθμίσουν την εσωτερική τους θερμοκρασία, η οποία επηρεάζεται άμεσα από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Έτσι, παρουσιάζουν μεταβολή στη θερμοκρασία του σώματος τους (είναι ίδια με, ή 0,5 έως 1 °C πάνω ή κάτω), η οποία είναι ανάλογη με τη θερμοκρασία του νερού στο οποίο διαβιούν (Svobodova et al., 1993; Παπουτσόγλου, 1997; Καρακατσούλη, 2010; Χώτος, 2015).

Το γεγονός αυτό έχει πολύ μεγάλη σημασία για τις εκτροφές του κλάδου των Υδατοκαλλιεργειών, καθώς ο ρυθμός μεταβολισμού των ιχθύων συσχετίζεται στενά με τη θερμοκρασία του νερού (Svobodova et al., 1993; Παπουτσόγλου, 1997; Καρακατσούλη, 2010). Έτσι, όσο αυξάνεται η θερμοκρασία του νερού τόσο αυξάνεται ο ρυθμός μεταβολισμού των εκτρεφόμενων οργανισμών και κατ' επέκταση ο ρυθμός ανάπτυξής τους (Svobodova et al., 1993; Καρακατσούλη, 2010). Μεγαλύτερος ρυθμός ανάπτυξης σημαίνει ότι οι εκτρεφόμενοι οργανισμοί θα αποκτήσουν το εμπορεύσιμο μέγεθος πιο γρήγορα (Καρακατσούλη, 2010).

Αυτή η γενίκευση, βέβαια, εφαρμόζεται ιδιαίτερα σε είδη θερμών υδάτων. Τα είδη ψυχρών υδάτων, όπως είναι τα σαλμονοειδή και η πέστροφα, έχουν διαφορετικό τύπο μεταβολισμού και ο μεταβολικός του ρυθμός μπορεί να συνεχιστεί σε συγκριτικά χαμηλές θερμοκρασίες, ενώ

σε υψηλές θερμοκρασίες (συνήθως πάνω από 20 °C), καθίστανται λιγότερο δραστήρια και καταναλώνουν λιγότερη τροφή (Svobodova et al., 1993).

Επιπλέον, μεταξύ των εκτρεφόμενων υδρόβιων οργανισμών υπάρχουν μεγάλες διαφορές ως προς τις βιολογικές θερμοκρασιακές τους απαιτήσεις, δηλαδή ως προς το εύρος της θερμοκρασίας όπου πραγματοποιούνται οι βασικές βιολογικές τους διεργασίες όπως είναι η αναπαραγωγή, η ανάπτυξη και γενικά η επιβίωση (Καρακατσούλη, 2010; Χώτος, 2015). Οι θερμοκρασιακές αυτές απαιτήσεις είναι καθορισμένες και πρέπει να ικανοποιούνται (Παπουτσόγλου, 1997). Έτσι, ανάλογα με το εύρος των θερμοκρασιών μέσα στο οποίο είναι δυνατό να επιβιώσουν, οι υδρόβιοι οργανισμοί μπορούν να διακριθούν σε ευρύθερμους, με ανθεκτικότητα σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών (τσιπούρα, λαβράκι) και σε στενόθερμους, με ανθεκτικότητα σε μικρές μόνο μεταβολές της θερμοκρασίας (πέστροφα, κυπρίνος) (Καρακατσούλη, 2010; Χώτος, 2015).

Για κάθε είδος, υπάρχει ένα μέγιστο και ένα ελάχιστο όριο ανοχής θερμοκρασιών, καθώς και ένα εύρος βέλτιστων τιμών ανάπτυξης, το οποίο αλλάζει με την ηλικία (Παπουτσόγλου, 1997; Summerfelt, 1998). Κάθε προσπάθεια εκτροφής ενός είδους ιχθύος σε νερό με διαφορετικά θερμοκρασιακά επίπεδα από αυτά που είναι κατάλληλα για το είδος αυτό, συνεπάγεται παραγωγή ενέργειας από μέρους του ιχθύος για θέρμανση ή ψύξη του σώματός του. Θίγεται, λοιπόν, η ομοιοστασία του οργανισμού, επικρατούν καταβολικές διεργασίες και ο ρυθμός ανάπτυξης μειώνεται. Σαν αποτέλεσμα επηρεάζεται η συνολική παραγωγή, άρα και το κόστος παραγωγής σε μια μονάδα εκτροφής ιχθύων (Yu et al., 2008; Καρακατσούλη, 2010).

Εκτός από το ρυθμό ανάπτυξης, η θερμοκρασία μπορεί να επηρεάσει και άλλα στοιχεία της φυσιολογίας των υδρόβιων οργανισμών, όπως είναι η αναπαραγωγή (Reid et al., 2014), η βιωσιμότητα και η εκκόλαψη των αυγών (Χώτος, 2015; Okunsebor et al., 2015; Parra et al., 2018b), η δυνατότητα κολύμβησης των νεαρών ατόμων (Green & Fisher, 2003) κ.ά.

Επίσης, η θερμοκρασία του νερού έχει μεγάλη επίδραση στο ανοσοποιητικό σύστημα των εκτρεφόμενων οργανισμών (Svobodova et al., 1993; Βαΐτσας και Ραβασόπουλος, 1997; Summerfelt, 1998; Χώτος, 2015). Το ανοσοποιητικό σύστημα της πλειοψηφίας των διάφορων ειδών ιχθύων έχει τη βέλτιστη απόδοση σε θερμοκρασίες νερού περίπου 15°C (Svobodova et al., 1993). Η πτώση της θερμοκρασίας κάτω από τα επιθυμητά επίπεδα ή η άνοδος της πάνω από τα όρια ανοχής κάθε υδρόβιου είδους, μπορεί να προκαλέσει θερμικό σοκ, καταπόνηση (stress), εξασθένηση του ανοσοποιητικού συστήματος, ξέσπασμα διαφόρων ασθενειών, ακόμα και υψηλή θνησιμότητα (Svobodova et al., 1993; Βαΐτσας και Ραβασόπουλος, 1997; Summerfelt, 1998). Γενικά, οι ιχθύες αντιμετωπίζουν καλύτερα την αύξηση της θερμοκρασίας απ' ό,τι μείωση ίδιου μεγέθους (Χώτος, 2015). Πολλές ασθένειες εξαρτώνται από τη

θερμοκρασία όχι μόνο έμμεσα, εξαιτίας της επίδρασής της στο ανοσοποιητικό σύστημα των οργανισμών, αλλά και άμεσα καθώς η θερμοκρασία επηρεάζει την τοξικότητα των παθογόνων μικροοργανισμών. Για παράδειγμα, η ασθένεια που προκαλούν τα βακτήρια του γένους *Aeromonas* στους 4°C καταλήγει σε θνησιμότητα 14% του νοσούντος πληθυσμού πέστροφας, ενώ στους 21°C η θνησιμότητα φτάνει το 100% (Χώτος, 2015).

Πέρα από την άμεση επίδραση της θερμοκρασίας στους εκτρεφόμενους οργανισμούς, που αναλύθηκε πιο πάνω, η θερμοκρασία επηρεάζει και έμμεσα τις εκτροφές των διάφορων υδρόβιων οργανισμών. Η έμμεση επίδρασή της μπορεί να είναι ο συνδυασμός της με άλλους παράγοντες, όπως η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου, η φωτοπερίοδος κ.ά., οι οποίοι επηρεάζουν την κατανάλωση τροφής, το μεταβολισμό, την κατανάλωση ενέργειας και γενικά την ανάπτυξη των ποικιλόθερων ειδών (Buentello et al., 1999). Επιπλέον, έμμεσα μπορεί να επηρεάσει την ανάπτυξη των εκτρεφόμενων οργανισμών, μεταβάλλοντας τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του νερού (π.χ. αλατότητα, διαλυτότητα οξυγόνου, κ.ά.) στο οποίο εκτρέφονται. Η θερμοκρασία ελέγχει τη διαλυτότητα των αερίων στο νερό, το ποσοστό αντίδρασης των χημικών ουσιών, την τοξικότητα της αμμωνίας και των φαρμάκων που χρησιμοποιούνται για τις ασθένειες. Για παράδειγμα έχει βρεθεί ότι σε γλυκά νερά, η διαλυτότητα οξυγόνου είναι 11,3 mg/L στους 10 °C, αλλά μόνο 9,0 mg/L όταν η θερμοκρασία αυξήθηκε στους 21,1 °C (Summerfelt, 1998).

Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζονται οι απαιτήσεις σε ορισμένα βασικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του νερού, κοινών εκτρεφόμενων υδρόβιων οργανισμών.

Πίνακας 3.1: Απαιτήσεις σε ορισμένα βασικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του νερού, κοινών εκτρεφόμενων υδρόβιων οργανισμών (Παπουτσόγλου, 1997)

Οργανισμοί	Χαρακτηριστικά νερού			
	Θερμοκρασία (°C)	Αλατότητα (S ‰)	Οξυγόνο (ppm)	pH
Ιχθύες				
Κοινός κυπρίνος <i>Cyprinus carpio</i>	Εύρος επιβίωσης: 4-30 Αναπαραγωγή: 18 (17-22) Μέγιστη ανάπτυξη: 16-17	Γλυκού νερού	Πάντοτε κορεσμένο (μεγάλη αντοχή σε πολύ μικρές ποσότητες οξυγόνου)	6,0-8,5
Αισατικά είδη κυπρίνου <i>Aristichthys nobilis</i> <i>Hypophthalmichthys molitrix</i> <i>Ctenopharyngodon idellus</i>	Εύρος επιβίωσης: 9-30 Αναπαραγωγή: 21-26 Μέγιστη ανάπτυξη: 20-28	Γλυκού νερού	Πάντοτε κορεσμένο (μεγάλη αντοχή σε πολύ μικρές ποσότητες οξυγόνου)	6,0-8,5
Ινδικοί κυπρίνοι <i>Labeo rohita</i> <i>Cirrhinus mrigala</i>	Αναπαραγωγή: 27 (24-31)	Γλυκού νερού Ικανοποιητική προσαρμογή και ανάπτυξη μέχρι 7	8,6-10	7,3-8,4
Ιριδίζουσα πέστροφα	Εύρος επιβίωσης: 5-28 Αναπαραγωγή: 8-13	Γλυκού νερού	Πάντοτε κορεσμένο	7,0

<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Μέγιστη ανάπτυξη: 16-17	Ικανοποιητική προσαρμογή και ανάπτυξη μέχρι 25		
Είδη τιλάπιας <i>Tilapia mossambica</i> <i>Tilapia nilotica</i>	Εύρος επιβίωσης: 12-40 Αναπαραγωγή: 25 Μέγιστη ανάπτυξη: 28 (20-35)	Γλυκού νερού Ικανοποιητική προσαρμογή και ανάπτυξη σε νερά αυξημένης αλατότητας	Μεγάλη αντοχή σε πολύ μικρές ποσότητες οξυγόνου	7,0-8,0
Οξύρυνχος <i>Acipenser ruthenus</i> Χέλι <i>Anguilla anguilla</i>	Αναπαραγωγή: 13-16 Μέγιστη ανάπτυξη: 17-25 Εύρος επιβίωσης: 5-32 Αναπαραγωγή: 18-20 Μέγιστη ανάπτυξη: 22	Γλυκού νερού Δύο φάσεις διαβίωσης: Θαλάσσιου και γλυκού νερού 0-35 %	Πάντοτε κορεσμένο Πάντοτε κορεσμένο (μεγάλη αντοχή σε πολύ μικρές ποσότητες οξυγόνου)	- 7,8-8,5
Τσιπούρα <i>Sparus aurata</i>	Εύρος επιβίωσης: 10-30 Αναπαραγωγή: 13-17 Μέγιστη ανάπτυξη: 22	Ευρύαλο είδος	Πάντοτε κορεσμένο	7,8-8,3
Λαβράκι <i>Dicentrarchus labrax</i> Κέφαλος <i>Mugil cephalus</i>	Εύρος επιβίωσης: 8-30 Αναπαραγωγή: 11-19 (13) Μέγιστη ανάπτυξη: 22 Εύρος επιβίωσης: 3-35 Αναπαραγωγή: 23-24 Μέγιστη ανάπτυξη: 23-26	Ευρύαλο είδος Ευρύαλο είδος	Πάντοτε κορεσμένο Μεγάλη αντοχή σε πολύ χαμηλές ποσότητες οξυγόνου	- 7,0
Χάνος <i>Chanos chanos</i>	Εύρος επιβίωσης: 9-30 Αναπαραγωγή: 15-17 Μέγιστη ανάπτυξη: 15-25	0-14	Μεγάλη αντοχή σε πολύ χαμηλές ποσότητες οξυγόνου	7,0
Καρκινοειδή				
Γαρίδα του γλυκού νερού <i>Macrobrachium rosenbergii</i>	Εύρος επιβίωσης: 16-34 Αναπαραγωγή: 24 Μέγιστη ανάπτυξη: 31	5-14	Πάντοτε κορεσμένο (μεγάλη αντοχή σε πολύ μικρές ποσότητες οξυγόνου)	7,8-8,5
Καραβίδα του γλυκού νερού <i>Astacus fluviatilis</i>	Εύρος επιβίωσης: 7-22 Αναπαραγωγή: >15 Μέγιστη ανάπτυξη: >15	Γλυκού νερού	Πολύ μεγάλη αντοχή σε πολύ μικρές ποσότητες οξυγόνου	6,0-8,2
Γαρίδα <i>Penaeus kerathurus</i>	Εύρος επιβίωσης: 15-33 Αναπαραγωγή: 26-28 Μέγιστη ανάπτυξη: 25-28	Θαλάσσιου νερού	Πάντοτε κορεσμένο	7,5-7,8
Αστακός <i>Homarus vulgaris</i>	Εύρος επιβίωσης: 15-33 Αναπαραγωγή: 26-28 Μέγιστη ανάπτυξη: 25-28	Θαλάσσιου νερού	Πάντοτε κορεσμένο (μεγάλη αντοχή σε πολύ μικρές ποσότητες οξυγόνου)	7,5-7,8
Μαλάκια				
Μύδι <i>Mytilus galloprovincialis</i>	Εύρος επιβίωσης: 1-27 Αναπαραγωγή: 10-20 Μέγιστη ανάπτυξη: 10-19	5-35	Πάντοτε κορεσμένο (μεγάλη αντοχή σε πολύ μικρές ποσότητες οξυγόνου)	7,5-8,1
Στρείδι <i>Ostrea edulis</i>	Εύρος επιβίωσης: 5-20 Αναπαραγωγή: 15-20 Μέγιστη ανάπτυξη: 19-24	Ευρύαλο είδος	Πάντοτε κορεσμένο (αξιόλογη αντοχή σε πολύ μικρές ποσότητες οξυγόνου)	7,5-8,2
Στρείδια <i>Crassostrea sp.</i>	Εύρος επιβίωσης: 5-20 Αναπαραγωγή: 15-20 Μέγιστη ανάπτυξη: 19-24	Ευρύαλα είδη	Πάντοτε κορεσμένο (αξιόλογη αντοχή σε πολύ μικρές ποσότητες οξυγόνου)	7,5-8,2

3.2.2 Αλατότητα

Η αλατότητα ορίζεται ως η συνολική συγκέντρωση των ιόντων στο νερό ή το συνολικό ποσό των ανόργανων διαλυμένων υλικών στο νερό, η οποία ποικίλλει πολύ μεταξύ των διαφόρων υδάτων (Boyd & Tucker, 1998; Παπουτσόγλου, 1992). Ανάλογα με την τιμή της αλατότητας το νερό μπορεί να είναι θαλασσινό (αλμυρό), υφάλμυρο ή γλυκό (Boyd & Tucker, 1998; Χώτος, 2015).

Γενικά, η αλατότητα μετριέται σε mg/L ή σε ppm, αλλά σε νερά με υψηλή αλατότητα, είναι πιο συνηθισμένο η μέτρηση να αναφέρεται σε g διαλυμένης ουσίας ανά kg διαλύματος, που ισοδυναμεί με ppt (ή ως σύμβολο ‰) (Boyd & Tucker, 1998; Χώτος, 2015).

Η τιμή της αλατότητας του θαλασσινού νερού είναι περίπου 35-37 ‰, ενώ του γλυκού κυμαίνεται από 3 έως 5 ‰. Τιμές αλατότητας με ενδιάμεσες του γλυκού και του θαλασσινού νερού, παρουσιάζονται σε περιοχές με υφάλμυρο νερό. Ωστόσο, είναι δυνατό να παρατηρηθούν σημαντικές διακυμάνσεις της τιμής αυτής ανάλογα με το κλίμα, την περιοχή, την τοπογραφία, τη γεωλογία της υδρορροής της περιοχής, την εποχή και το βάθος της υδάτινης στήλης (Boyd & Tucker, 1998; Παπουτσόγλου, 1992).

Η αλατότητα έχει πολύ σημαντικό ρόλο, τόσο από φυσιολογική όσο και από οικολογική άποψη, στη ρύθμιση της ωσμωτικής πίεσης του νερού και κατ' επέκταση στη διαβίωση των υδρόβιων οργανισμών (Παπουτσόγλου, 1992; Χώτος, 2015).

Αναφορικά με την αλατότητα, διακρίνουμε υδρόβια είδη θαλασσινού, υφάλμυρου και γλυκού νερού. Η διαβίωση των υδρόβιων οργανισμών σε νερό τόσο διαφορετικής αλατότητας εξασφαλίζεται μέσω των μηχανισμών ιοντικής και ωσμωτικής ρύθμισης (Καρακατσούλη, 2010). Ένα είδος θαλασσινού νερού ζει σε περιβάλλον όπου η συγκέντρωση των αλάτων είναι μεγαλύτερη από εκείνη των εσωτερικών υγρών του (δηλαδή, είναι υποτονικό ως προς το περιβάλλον του), ενώ το αντίθετο συμβαίνει για τα είδη γλυκού νερού (δηλαδή, είναι υπερτονικά ως προς το περιβάλλον τους) (Boyd & Tucker, 1998; Nielsen et al., 2003; Καρακατσούλη, 2010). Και στις δύο περιπτώσεις, οι μηχανισμοί ιοντικής και ωσμωτικής ρύθμισης αποσκοπούν, και φυσικά επιτυγχάνουν, να διατηρήσουν σταθερή την συγκέντρωση των υγρών του σώματος των υδρόβιων οργανισμών. Εν τούτοις, για κάθε περίπτωση, οι μηχανισμοί αυτοί είναι σχεδόν αντίστροφοι, και έτσι ένα είδος θαλασσινού νερού δεν μπορεί να επιβιώσει σε γλυκό νερό (Καρακατσούλη, 2010).

Επιπλέον, οι υδρόβιοι οργανισμοί ανάλογα με την ικανότητα που έχουν να προσαρμόζονται στις μεταβολές της αλατότητας, διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τα ευρύαλα είδη, που έχουν αντοχή σε μεγάλες και απότομες αλλαγές της αλατότητας και τα στενόαλα είδη που

διαβιούν σε ύδατα σταθερής ή με πολύ μικρές διακυμάνσεις αλατότητας. (Παπουτσόγλου, 1992; Nielsen et al., 2003; Χώτος, 2015).

Κάθε είδος υδρόβιου οργανισμού έχει ένα εύρος βέλτιστων τιμών αλατότητας για ανάπτυξη αλλά και αναπαραγωγή. Τιμές αλατότητας εκτός αυτού του εύρους, αναγκάζουν τους οργανισμούς να δαπανήσουν ενέργεια για ωσμωρρύθμιση με αποτέλεσμα να μειώνεται ο ρυθμός ανάπτυξής τους και σε ακραίες περιπτώσεις να οδηγούνται σε θάνατο. Γενικά, τα όρια ανοχής της αλατότητας για τα περισσότερα υδρόβια είδη είναι αρκετά μεγάλα και μόνο πολύ μεγάλες ή ξαφνικές αλλαγές της αλατότητας μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα στο περιβάλλον διαβίωσής τους (Boyd & Tucker, 1998).

Η αλατότητα του νερού εκτροφής είναι μία από τις πιο σημαντικές παραμέτρους που επηρεάζουν τη φυσιολογία του κάθε είδους, επηρεάζοντας την πρόσληψη τροφής και την απόδοση ανάπτυξης (Dhaneesh et al., 2011). Οι Dhaneesh et al. (2011), μελέτησαν την επίδραση της αλατότητας σε νεαρά ψάρια κλόουν του είδους *Amphiprion akallopisos* και βρήκαν ότι σε τιμές αλατότητας εκτός του βέλτιστου, για αυτό το είδος, εύρους, τα νεαρά άτομα παρουσίασαν απώλεια όρεξης και μετακίνησης που τελικά κατέληξε σε θάνατο.

Επιπλέον, υπάρχουν μελέτες που επίσης έχουν συσχετίσει την επίδραση της αλατότητας σε νεαρά ιχθύδια αλλά και σε αυγά. Σε μελέτη που έγινε σε ένα είδος πέρκας, βρέθηκε ότι τα αυγά του είδους είχαν μόνο 50% ποσοστό επιβίωσης όταν η τιμή της αλατότητας του νερού εκτροφής ήταν 3000 mg / L και τα νεαρά ιχθύδια που εκκολάφθηκαν από τη συγκεκριμένη εκτροφή ήταν μικρότερα σε μέγεθος, σε σχέση με αυτά που εκκολάφθηκαν στο βέλτιστο εύρος αλατότητας για το συγκεκριμένο είδος (Nielsen et al., 2003).

Τέλος, έχει αποδειχθεί ότι η αλατότητα επηρεάζει έμμεσα τους εκτρεφόμενους οργανισμούς, διότι η μεταβολή της προκαλεί και μεταβολή της γενικότερης φυσικοχημικής κατάστασης του νερού, συμπεριλαμβάνοντας τη μεταβολή ιόντων Na^+ , K^+ , Cl^- , Mg^{++} και SO_4^- , τη μεταβολή της διαλυτότητας των αερίων, κ.ά. (Βαΐτσας και Ραβασόπουλος, 1997). Πρακτικής σημασίας είναι το γεγονός ότι όσο αυξάνεται η αλατότητα του νερού, τόσο μειώνεται η ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου, ενώ παράλληλα μειώνεται και το ποσοστό της ελεύθερης αμμωνίας (Boyd & Tucker, 1998).

3.2.3 Διαλυμένο Οξυγόνο

Το διαλυμένο οξυγόνο στο νερό είναι το απαραίτητο στοιχείο για τη διαβίωση των οργανισμών στα υδάτινα συστήματα και αποτελεί μία από τις σημαντικότερες παραμέτρους αξιολόγησης της ποιότητας του νερού στην εκτροφή ιχθύων (Mwego et al., 2010). Αν και είναι γνωστό πως κάθε μόριο νερού χαρακτηρίζεται σχεδόν από 90% οξυγόνο κατά βάρος, η μορφή αυτή

είναι συνδεδεμένη με υδρογόνο και δεν είναι διαθέσιμο για αναπνοή. Το οξυγόνο που χρησιμοποιείται στην αναπνοή από τους υδρόβιους οργανισμούς είναι το αέριο οξυγόνο (O_2), το οποίο δεν είναι τόσο διαλυτό στο νερό (Boyd & Tucker, 1998; Χώτος, 2015).

Ο εμπλουτισμός των υδάτινων μαζών με O_2 γίνεται είτε με διάχυση από την ατμόσφαιρα, είτε μέσω κυματισμού, είτε μέσω της φωτοσύνθεσης (Παπουτσόγλου, 1992; Svobodova et al., 1993; Βαΐτσας & Ραβασόπουλος, 1997; Yu et al., 2008; Mwegoha et al., 2010; Χώτος, 2015). Από την άλλη πλευρά, φυσικές διεργασίες οι οποίες συντελούν στην μείωση του O_2 είναι η διάχυσή του προς την ατμόσφαιρα, η αναπνοή όλων των υδρόβιων οργανισμών, καθώς επίσης και η αερόβια αποσύνθεση των οργανικών ουσιών από τα βακτήρια (Παπουτσόγλου, 1992; Svobodova et al., 1993; Χώτος, 2015). Γενικά, τα επίπεδα του O_2 στο νερό εξαρτώνται από την ισορροπία μεταξύ των εισροών του από τον αέρα και τους φυτικούς οργανισμούς και την κατανάλωσή του από όλες τις μορφές υδάτινης ζωής (Svobodova et al., 1993).

Η συγκέντρωση του διαλυμένου O_2 στο νερό εκφράζεται σε ppm, η οποία είναι ισοδύναμη με mg O_2 /L νερού. Ένας άλλος τρόπος μέτρησης του διαλυμένου O_2 είναι ως εκατοστιαίο ποσοστό κορεσμού κάτω από πίεση μιας ατμόσφαιρας (Παπουτσόγλου, 1992; Svobodova et al., 1993; Boyd & Tucker, 1998; Summerfelt, 1998).

Γενικότερα, η ποσότητα του O_2 στο νερό επηρεάζεται από τη θερμοκρασία, το υψόμετρο (στην περίπτωση των εσωτερικών υδάτων), την αλατότητα και το βάθος της υδάτινης στήλης (Παπουτσόγλου, 1997; Χώτος, 2015). Έχει παρατηρηθεί μείωση της συγκέντρωσής του όταν αυξάνεται η θερμοκρασία του νερού, καθώς επίσης και όταν αυξάνεται το υψόμετρο και η αλατότητα (Boyd & Tucker, 1998; Yu et al., 2008; Χώτος, 2015).

Η περιεκτικότητα του O_2 στο θαλάσσιο νερό κυμαίνεται από 0 έως περίπου 9 ppm, ενώ στα γλυκά και υφάλμυρα ύδατα, οι τιμές του κυμαίνονται από 3 έως 5 ppm (Παπουτσόγλου, 1992; Βαΐτσας & Ραβασόπουλος, 1997).

Τα διάφορα είδη ιχθύων έχουν διαφορετικές απαιτήσεις στη συγκέντρωση του διαλυμένου O_2 στο νερό (Παπουτσόγλου, 1997; Svobodova et al., 1993; Yu et al., 2008; Χώτος, 2015). Για παράδειγμα, ο σολομός έχει υψηλές απαιτήσεις για O_2 και η βέλτιστη τιμή για το είδος αυτό είναι 8-10 mg/L. Αντίθετα, ο κυπρίνος έχει ανοχή σε μεγαλύτερο εύρος συγκέντρωσης του διαλυμένου O_2 και μπορεί να αναπτυχθεί καλά σε νερό με περιεκτικότητα O_2 6-8 mg/L (Svobodova et al., 1993).

Επιπλέον, οι απαιτήσεις σε O_2 είναι διαφορετικές τόσο κατά τις διάφορες φάσεις της ζωής των υδρόβιων οργανισμών, όπως είναι η διατροφή, ο ρυθμός ανάπτυξης και η αναπαραγωγή, όσο και κατά τη διάρκεια αυτών των φάσεων (Παπουτσόγλου, 1997; Χώτος, 2015). Σε βέλτιστες

θερμοκρασίες για ανάπτυξη και σε συγκεντρώσεις διαλυμένου O_2 μικρότερες από 5 mg/L, οι ιχθύες καταπονούνται και δημιουργούνται σημαντικά προβλήματα στην ανάπτυξη ή ακόμα και στην επιβίωσή τους, ενώ τα 2 mg/L είναι η συγκέντρωση κάτω από την οποία οι υδρόβιοι οργανισμοί δεν μπορούν πλέον να επιβιώσουν (Βαΐτσας & Ραβασόπουλος, 1997; Summerfelt, 1998; Yu et al., 2008 Mwegoha et al., 2010). Για παράδειγμα στην ιριδίζουσα πέστροφα, η θνησιμότητα μπορεί να αρχίσει στα 3 mg/L, αλλά το γατόψαρο αντέχει λιγότερο από 2 mg/L πριν αρχίσει η θνησιμότητα (Summerfelt, 1998). Για το λαβράκι, από μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί σε εκτροφές, συγκεντρώσεις έως και 2 ppm είναι ανεκτές χωρίς την ύπαρξη θανάτων (Βαΐτσας & Ραβασόπουλος, 1997). Επιπλέον, τα χρόνια χαμηλά επίπεδα διαλυμένου O_2 στις εκτροφές, σε συνδυασμό με τα αυξημένα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα και αμμωνίας, προκαλούν καταπόνηση (stress) στους εκτρεφόμενους ιχθύς με αποτέλεσμα τη μείωση της διατροφής, της μετατρεψιμότητας της τροφής και της ανάπτυξης και την εκδήλωση ασθενειών (Summerfelt, 1998; Mwegoha et al., 2010).

Ο προσδιορισμός της απαιτούμενης ποσότητας O_2 για την εκτροφή ενός υδρόβιου οργανισμού είναι ύψιστης σημασίας σε μια μονάδα υδατοκαλλιεργειών (Παπουτσόγλου, 1997). Τα βασικά κριτήρια για τον προσδιορισμό των απαιτήσεων των ιχθύων σε O_2 περιλαμβάνουν τη θερμοκρασία, το μέσο ατομικό βάρος, καθώς επίσης και το συνολικό βάρος των ιχθύων ανά μονάδα όγκου νερού. Για παράδειγμα, οι απαιτήσεις σε O_2 αυξάνονται σε υψηλές θερμοκρασίες (αύξηση της θερμοκρασίας του νερού από 10 σε 20 °C, διπλασιάζει τη ζήτηση σε O_2), ενώ ένα υψηλότερο συνολικό βάρος ιχθύων ανά μονάδα όγκου νερού μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη δραστηριότητα και αυξημένη αναπνοή ως αποτέλεσμα της υψηλής πυκνότητας (Svobodova et al., 1993; Yu et al., 2008).

Επιπρόσθετα, η ποσότητα O_2 που καταναλώνεται από τους ιχθύς είναι συνάρτηση του μεγέθους, του βάρους, του ρυθμού σίτισης, του επιπέδου δραστηριότητας, της θερμοκρασίας και του τύπου του ιχθύος. Γενικά, οι μικρότεροι σε μέγεθος ιχθύες καταναλώνουν περισσότερο O_2 ανά μονάδα σωματικού βάρους σε σχέση με τους μεγαλύτερους, λόγω του υψηλότερου μεταβολικού ρυθμού τους (Summerfelt, 1998; Yu et al., 2008; Χώτος, 2015). Ακόμα, οι ιχθύες που κολυμπούν καταναλώνουν περισσότερο O_2 από αυτούς που μένουν στάσιμοι, ενώ η κατανάλωση οξυγόνου των ιχθύων αυξάνεται μετά από τη σίτιση. Γενικά, ο ρυθμός κατανάλωσης του O_2 διαφορετικών ειδών ιχθύων κυμαίνεται από 200-500 mg/kg/h (Summerfelt, 1998).

Συνοψίζοντας, η περιεκτικότητα του νερού σε O_2 είναι άμεσα συνδεδεμένη με την επιβίωση των εκτρεφόμενων ειδών, με το ρυθμό του μεταβολισμού τους και την ανάπτυξή τους, την αναπαραγωγή, την ικανότητα κολύμβησης και γενικότερα τη συμπεριφορά τους

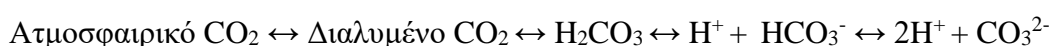
(Παπουτσόγλου, 1997; Χώτος, 2015). Η διαρκής λήψη της πληροφορίας που αφορά το διαλυμένο O₂ αποτελεί σημαντική παράμετρο στις μονάδες εκτροφής ιχθύων για την βελτίωση της παραγωγής, αλλά και για την αποφυγή απωλειών, τόσο οικονομικών όσο και αποθέματος (Mwegooha et al., 2010).

3.2.4 Διοξείδιο του άνθρακα

Ενώ τα επίπεδα οξυγόνου και αμμωνίας συχνά, αλλά και ορθά, θεωρούνται κρίσιμα για την υγεία και τις αποδόσεις των εκτρεφόμενων υδρόβιων οργανισμών, το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) τείνει να αγνοείται και πολύ λίγες μονάδες υδατοκαλλιέργειας παρακολουθούν τακτικά τα επίπεδά του. Από τη μια πλευρά αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το ελεύθερο CO₂ δεν είναι εύκολο να μετρηθεί και από την άλλη στο ότι εάν οι άλλες παράμετροι ποιότητας του νερού, και ιδιαίτερα το O₂, είναι στα επιθυμητά επίπεδα τότε το CO₂ δεν θα αποτελέσει πρόβλημα για την εκτροφή (Southgate, 2005).

Όπως και στην περίπτωση του O₂, η συγκέντρωση του CO₂ στο νερό, εξαρτάται από το βαθμό της δέσμευσής του στα επιφανειακά ύδατα, από τα υπερκείμενα ατμοσφαιρικά στρώματα, από την ένταση της κινήσεως των υδάτων, καθώς και από την ένταση της βιολογικής δραστηριότητας. Η βιολογική αυτή δραστηριότητα συνίσταται στην αφαίρεση CO₂ από το νερό μέσω της αναπνευστικής και φωτοσυνθετικής διαδικασίας των υδρόβιων φυτικών και ζωικών οργανισμών και μέσω της αποσύνθεσης οργανικού υλικού (Παπουτσόγλου, 1992; Southgate, 2005).

Το CO₂ στο νερό, το οποίο είναι περισσότερο διαλυτό σε σύγκριση με το O₂, βρίσκεται κυρίως με τη μορφή διττανθρακικών ιόντων (HCO₃⁻), καθώς επίσης, ως ανθρακικό οξύ (H₂CO₃), ανθρακικό τριοξείδιο (CO₃²⁻) και ως διαλυμένο CO₂ (Παπουτσόγλου, 1992). Η παρουσία όλων αυτών των χημικών ενώσεων και των ιόντων είναι σημαντική, καθώς συμβάλλει στη διαμόρφωση της τιμής του pH του νερού αλλά και στη ρυθμιστική του ικανότητα (Παπουτσόγλου, 1992; Snobodova et al., 1993; Χώτος, 2015). Η χημική εξίσωση η οποία περιγράφει την ισορροπία μεταξύ του ατμοσφαιρικού CO₂, του διαλυμένου στο νερό CO₂, και των H₂CO₃, HCO₃⁻, CO₃²⁻, καθώς και της συγκέντρωσης των ιόντων στο νερό, ονομάζεται ανθρακικό ρυθμιστικό σύστημα και είναι η εξής:



Η ισορροπία αυτή έχει πολύ μεγάλη σημασία για το θαλάσσιο νερό, του οποίου η συγκέντρωση του διαλυμένου CO₂ παραμένει σχετικά σταθερή μεταξύ 45 και 54 ml/L (Παπουτσόγλου, 1992).

Η τοξική δράση του CO₂ στους υδρόβιους οργανισμούς είναι είτε έμμεση, επηρεάζοντας άλλα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του νερού, είτε άμεση. Η έμμεση δράση τόσο του ελεύθερου όσο και του δεσμευμένου CO₂ ασκείται στους υδρόβιους οργανισμούς μέσω της επίδρασής του στο pH του νερού, ειδικά όπου, οι τιμές αυξάνονται σε τοξικά επίπεδα. Επίσης, οι μεταβολές στο pH επηρεάζουν την τοξικότητα εκείνων των χημικών που υπάρχουν στις διαλυμένες και αδιάλυτες μορφές τους, των οποίων μόνο ένα είναι τοξικό, όπως το υδρόθειο και η αμμωνία. Επιπλέον, η συγκέντρωση του CO₂ επιδρά και στο pH του αίματος των υδρόβιων οργανισμών, προκαλώντας οξεοβασικές διαταραχές, οι οποίες περιγράφονται παρακάτω (ενότητα 3.2.5) (Svobodova et al., 1993).

Η άμεση επίδραση παρουσιάζεται όταν υπάρχει περίσσεια ή έλλειψη ελεύθερου CO₂ (Svobodova et al., 1993). Τα επίπεδα συγκέντρωσης του CO₂ κάτω από 10 mg/l θεωρούνται ότι είναι καλά ανεκτά από τους ιχθύς, αν και η ευαισθησία στο αέριο ποικίλλει μεταξύ των ειδών (Southgate, 2005).

Σε ύδατα χαμηλής περιεκτικότητας σε O₂, που μπορεί να οφείλεται στην έντονη βιοαποικοδόμηση ή στην υψηλή πυκνότητα εκτροφής, το ελεύθερο CO₂ μπορεί να φτάσει σε επιβλαβή για τους οργανισμούς επίπεδα (Svobodova et al., 1993). Σε αυτές τις περιπτώσεις, όπου η ανταλλαγή αερίων στην αναπνευστική επιφάνεια είναι περιορισμένη, οι υδρόβιοι οργανισμοί εμφανίζουν σημάδια υποξίας, κολυμπώντας στην επιφάνεια και αυξάνοντας τον ρυθμό αναπνοής, ενώ μπορεί να καταλήξουν και σε θάνατο εάν η συγκέντρωση O₂ μειωθεί στο κατώτατο επίπεδο προκαλώντας δηλητηρίαση από την υψηλή συγκέντρωση CO₂ στο αίμα (Svobodova et al., 1993; Χώτος, 2015). Η μέγιστη επιτρεπτή συγκέντρωση ελεύθερου CO₂ ανά λίτρο για την πέστροφα θεωρείται τα 20 mg (υψηλότερες συγκεντρώσεις μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα στα νεφρά), ενώ για τον κυπρίνο είναι τα 25 mg (σε pH μέχρι 4,5). Η ευαισθησία των ιχθύων και γενικά όλων των υδρόβιων οργανισμών στο ελεύθερο CO₂ μειώνεται με τη μείωση της τιμής του pH του νερού (Svobodova et al., 1993).

Στις περιπτώσεις που χρησιμοποιείται υπερβολικά το ελεύθερο CO₂ για τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα από τους φυτικούς οργανισμούς ή όταν το νερό αερίζεται πιο έντονα από ό,τι είναι απαραίτητο, υπάρχει έλλειψη ελεύθερου CO₂ στο νερό. Οι ελεύθερες συγκεντρώσεις CO₂ κάτω από 1 mg ανά λίτρο επηρεάζουν την οξεοβασική ισορροπία στο αίμα και τους ιστούς των ιχθύων (Svobodova et al., 1993). Επιπλέον, σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις CO₂ στο νερό, ο υπερκορεσμός του O₂ μπορεί να προκαλέσει στους ιχθύς την ασθένεια της φυσαλίδας. Κατά την ασθένεια αυτή, το αίμα προσλαμβάνει και μεταφέρει πολύ μεγάλη ποσότητα O₂ με αποτέλεσμα το πλεονάζον από το διαλυμένο στο αίμα O₂ να δημιουργεί φυσαλίδες στα

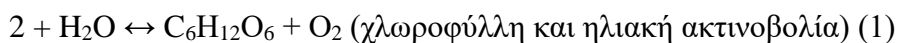
βράγγια, στα μάτια, ακόμα και στα πτερύγια, ενώ μπορεί να προκαλέσει ακόμα και θάνατο (Χώτος, 2015).

3.2.5 pH

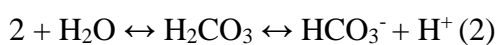
Ως pH ορίζεται ο αρνητικός λογάριθμος της συγκέντρωσης των ιόντων του υδρογόνου στο νερό και επομένως η τιμή του αποτελεί δείκτη της συγκέντρωσης αυτών χαρακτηρίζοντας το νερό από όξινο έως αλκαλικό (Summerfelt, 1998; Arora, 2017). Η κλίμακα pH είναι λογαριθμική και κυμαίνεται από 0 έως 14. Αυτό σημαίνει ότι η μεταβολή του pH κατά μία ακέραια μονάδα σημαίνει δεκαπλάσια μεταβολή στη συγκέντρωση του αριθμού των ιόντων υδρογόνου (Χώτος, 2015; Arora, 2017).

Η τιμή του pH διαμορφώνεται και επηρεάζεται όχι μόνο από την περιεκτικότητα του νερού σε οξυγόνο και διοξείδιο του άνθρακα, αλλά και από τη θερμοκρασία, την αλατότητα και την υδροστατική πίεση (Παπουτσόγλου, 1992). Η ρύπανση επίσης επηρεάζει την τιμή του pH του νερού. Τα βιομηχανικά απόβλητα που περιέχουν οξέα και μεταλλικά ιόντα μειώνουν την τιμή του pH, ενώ τα λύματα και οι εκπλύσεις από αγροτικές καλλιέργειες προκαλούν αύξηση της τιμής του (Χώτος, 2015).

Γενικά, το pH των πιο παραγωγικών φυσικών υδάτων, που δεν επηρεάζονται από τη ρύπανση, κυμαίνεται συνήθως από 6,5 έως 8,5. Η ημερήσια διακύμανση σχετίζεται με τη φωτοσύνθεση και περιγράφεται από την αντίδραση του τύπου (1):



Ο παράγοντας ελέγχου για το pH στις περισσότερες εγκαταστάσεις υδατοκαλλιέργειας είναι η σχέση μεταξύ του ρυθμιστικού συστήματος της φωτοσύνθεσης των φυκιών, του CO_2 και των ιόντων HCO_3^- , που παρουσιάζεται στην αντίδραση του τύπου (2):



Την νύχτα, η αναπνοή από τα βακτήρια, τα φυτά και τους υδρόβιους οργανισμούς καταλήγει σε κατανάλωση O_2 και παραγωγή CO_2 . Η αντίδραση στον τύπο (2) πηγαίνει από αριστερά προς τα δεξιά, παράγοντας ανθρακικό οξύ (H_2CO_3) και στη συνέχεια διττανθρακικά ιόντα HCO_3^- και ιόντα υδρογόνου H^+ . Η αύξηση των ιόντων H^+ προκαλεί την πτώση του pH. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, η αναπνοή συνεχίζεται, αλλά οι φυτικοί οργανισμοί χρησιμοποιούν το CO_2 για τη φωτοσύνθεση. Η αντίδραση στο τύπο (1) πηγαίνει από τα δεξιά προς τα αριστερά, μειώνοντας την αφθονία των ιόντων H^+ και έτσι το pH αυξάνεται. Στις παραγωγικές λίμνες, ειδικά σε αυτές με χαμηλή αλκαλικότητα, το pH της ημέρας μπορεί να φθάσει το 10, το οποίο μπορεί να είναι θανατηφόρο για τα νεαρά ιχθύδια (Summerfelt, 1998).

Στο θαλασσινό νερό η τιμή του pH συνήθως κυμαίνεται από 7,5 έως 8,4, ενώ στο γλυκό νερό από 3 έως 11 (Παπουτσόγλου, 1992). Το θαλασσινό νερό, εξαιτίας της υψηλής περιεκτικότητάς του σε άλατα, περιλαμβάνει υψηλότερη συγκέντρωση ρυθμιστικών ουσιών (όπως CO_3^{2-} και HCO_3^-) σε σχέση με το γλυκό νερό και γι' αυτό η τιμή του pH του είναι πιο σταθερή (Χώτος, 2015).

Το pH του νερού και οι διακυμάνσεις της τιμής του επηρεάζουν άμεσα την επιβίωση και τις λειτουργίες των υδρόβιων οργανισμών (Πίνακας 3.2). Η σημασία του pH στη φυσιολογία των ιχθύων έγκειται στην ανάγκη των οργανισμών αυτών να διατηρήσουν ένα σταθερό εσωτερικό περιβάλλον pH και μια ισορροπημένη αναλογία οξέος/βάσεως στο αίμα τους. Εάν το pH του νερού ξεπερνά για μακρύ χρονικό διάστημα το βέλτιστο και φυσιολογικό εύρος τιμών, για κάθε είδος, ή αυξομειώνεται έντονα, τότε μπορεί να παρουσιαστούν συμπτώματα οξέωσης ή αλκάλωσης. Η οξέωση παρουσιάζεται σε χαμηλές τιμές pH, συνήθως κάτω από 5,5, ενώ η αλκάλωση σε τιμές pH πάνω από 8-9. Ωστόσο, τα συμπτώματα οξέωσης ή αλκάλωσης που μπορεί να παρουσιαστούν εξαρτώνται από το είδος του υδρόβιου οργανισμού και το pH του φυσικού του περιβάλλοντος (Χώτος, 2015).

Πίνακας 3.2: Επίδραση διαφόρων τιμών του pH του νερού στις φυσιολογικές λειτουργίες διαφόρων υδρόβιων οργανισμών (Παπουτσόγλου, 1997)

Τιμή pH	Επίδραση
3,0-3,5	Επιβίωση ιχθύων για μερικές ώρες. Υπάρχει δυνατότητα να επιβιώσουν μόνο είδη ασπόνδυλων υδρόβιων οργανισμών και ορισμένα είδη υδρόβιων φυτών.
3,5-4,0	Ελάχιστο όριο επιβίωσης για είδη των Salmonidae (πέστροφα, σολομός, κλπ.). Άλλα είδη όπως το <i>Tinca tinca</i> , το <i>Perca fluviatilis</i> και το <i>Esox lucius</i> , μπορούν να επιβιώσουν ύστερα από εγκλιματισμό.
4,0-4,5	Βλαβερή επίδραση για είδη ιχθύων που δεν έχουν εγκλιματιστεί σε χαμηλές τιμές pH. Με εγκλιματισμό επιβιώνουν μόνο ορισμένα είδη ιχθύων όπως το <i>Perca fluviatilis</i> , το <i>Abramis brama</i> , το <i>Rutilus rutilus</i> και το <i>Esox lucius</i> .
4,5-5,0	Βλαβερή επίδραση στα αυγά, στα ιχθυόδια και σε ώριμα άτομα της οικογένειας Salmonidae, καθώς επίσης και στον κοινό κυπρίνο (<i>Cyprinus carpio</i>). Το φαινόμενο γίνεται μεγαλύτερο στην περίπτωση των μαλακών υδάτων, στα οποία η συγκέντρωση του ασβεστίου, του νατρίου και του χλωρίου είναι χαμηλή.
5,0-6,0	Σπάνια πρόκληση δυσμενούς επιδράσεως σε οποιοδήποτε είδος ιχθύος, εκτός αν η συγκέντρωση του CO_2 είναι μεγαλύτερη από 20 mg/l. Η χαμηλότερη τιμή αυτού του εύρους μπορεί να είναι δυσμενής για μη εγκλιματισμένα άτομα των Salmonidae, καθώς επίσης και για τη φάση της αναπαραγωγής του <i>Rutilus rutilus</i> .
6,0-6,5	Η τιμή αυτή δεν προκαλεί κάποια δυσμενή επίδραση στους ιχθύς, εκτός αν η συγκέντρωση του CO_2 είναι μεγαλύτερη από 100mg/l.
6,5-9,0	Τιμή αβλαβής για τους ιχθύς. Ωστόσο, αυξομείωση του pH σε αυτό το εύρος μπορεί να προκαλέσει την ενεργοποίηση της δηλητηριώδους δράσης τοξικών ουσιών.
9,0-9,5	Ακατάλληλες τιμές pH για εκτροφή πέστροφας και άλλων ειδών της οικογένειας Salmonidae, καθώς και για το είδος <i>Perca fluviatilis</i> αν εκτεθεί για μεγάλο διάστημα.
9,50-10,0	Ακατάλληλες τιμές pH για την κανονική ανάπτυξη πολλών ειδών ιχθύων. Επιπλέον, οι τιμές αυτές είναι κρίσιμες και για τα είδη της οικογένειας Salmonidae όταν εκτεθούν για μεγάλο χρονικό διάστημα.
10,0-10,5	Θεωρείται πιθανή η επιβίωση ειδών της οικογένειας Salmonidae και του είδους <i>Rutilus rutilus</i> . Ωστόσο οι τιμές αυτές του pH είναι ακατάλληλες για έκθεση μεγάλων χρονικά διαστημάτων.
10,5-11,0	Άμεση θανατηφόρα επίδραση στα Salmonidae. Επιπλέον, θανατηφόρα επίδραση μετά από παρατεταμένη παραμονή στα είδη <i>Cyprinus carpio</i> , <i>Tinca tinca</i> και <i>Esox lucius</i> .
11,0-11,5	Τιμές pH με άμεση θανατηφόρα επίδραση για όλα τα είδη των ιχθύων.

Οι βέλτιστες τιμές του pH για τα περισσότερα είδη υδρόβιων οργανισμών είναι από 6,5 έως 8,5 (Svobodova et al., 1993; Χώτος, 2015; Arora, 2017). Όσον αφορά τους ιχθύς, που φαίνεται να έχουν ένα στενό εύρος ανοχής στην αλλαγή της τιμής του pH, μία μελέτη του Boyd (1982) έδειξε ότι μπορεί να επέλθει θάνατος σε περίπτωση που το pH είναι πάνω από 11 ή κάτω από 4 (Uzoka et al., 2015). Αλκαλικές τιμές του pH άνω του 9,2 και οξύτητα με pH μικρότερο του 4,8 μπορεί να βλάψουν και να θανατώσουν τα σαλμονοειδή και αντίστοιχα, τιμές pH πάνω από 10,8 και κάτω από 5,0 μπορεί να είναι θανατηφόρες για τα κυπρινοειδή (Svobodova et al., 1993, Sagar et al., 2015). Επιπλέον, νερά πιο όξινα από τιμή pH 6,5 ή περισσότερο αλκαλικά από τιμή pH 9,0 για μεγάλες χρονικές περιόδους, μπορεί να μειώσουν την ανάπτυξη και να προκαλέσουν προβλήματα στην αναπαραγωγή (Uzoka et al., 2015). Επίσης, σε ακραίες τιμές της κλίμακας pH (2 ή 13), παρατηρούνται φυσικές βλάβες στα βράγχια, τον εξωσκελετό και τα πτερύγια των ιχθύων (Arora, 2017). Επιπρόσθετα, ορισμένες μελέτες που βασίστηκαν σε μεταβολές του pH έδειξαν την επίδραση του σε μυϊκές και κυτταρικές παραμέτρους καθώς και στο αίμα των ιχθύων (Uzoka et al., 2015).

Τέλος, οι μεταβολές του pH στο νερό εκτός από την ανάπτυξη και την αναπαραγωγή, επιδρούν και στη συγκέντρωση διαφόρων ουσιών με αποτέλεσμα την εμφάνιση τοξικότητας ορισμένων μετάλλων όπως ο χαλκός και άλλα βαριά μέταλλα καθώς επίσης και την εμφάνιση της τοξικότητας την αμμωνίας, η οποία γίνεται εξαιρετικά επικίνδυνη σε αλκαλικό περιβάλλον (Sagar et al., 2015; Χώτος, 2015; Arora, 2017).

3.2.6 Αμμωνία - Νιτρώδη και Νιτρικά ιόντα

Η περιεκτικότητα του νερού σε αμμωνία θεωρείται ένα από τα σημαντικότερα κριτήρια για την αξιολόγηση της ποιότητας του νερού, που χρησιμοποιείται ή πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για την εκτροφή υδρόβιων οργανισμών (Παπουτσόγλου, 1997).

Η αμμωνία αποτελεί προϊόν του μεταβολισμού των υδρόβιων οργανισμών (καταβολισμός των πρωτεϊνών), που γίνεται για ενεργειακούς λόγους και αποβάλλεται από το σώμα τους, ως μέρος του φυσιολογικού μηχανισμού ελέγχου των ιόντων στο αίμα (Βαϊτσας & Ραβασόπουλος, 1997; Summerfelt, 1998; Χώτος, 2015). Τα περιττώματα των εκτρεφόμενων οργανισμών και τα υπολείμματα της τροφής από μια ιχθυοκαλλιέργεια αποτελούν επίσης πηγές προέλευσης αμμωνίας (Βαϊτσας & Ραβασόπουλος, 1997; Χώτος, 2015).

Άλλες σημαντικές πηγές αμμωνίας στις διάφορες υδατοσυλλογές είναι κυρίως τα αστικά και βιομηχανικά λύματα, τα οποία εκχύνονται στο υδάτινο περιβάλλον άμεσα μέσω αποχετευτικών συστημάτων ή έμμεσα μέσω των ποταμών, οι οποίοι είναι αποδέκτες κατεργασμένων λυμάτων. Πηγές αμμωνίας είναι επίσης τα γεωργικά λιπάσματα και φάρμακα, που μεταφέρονται με την

έκπλυσή τους από τα νερά της βροχής (Παπουτσόγλου, 1992; Svobodova et al., 1993; Βαΐτσας & Ραβασόπουλος, 1997; Παπουτσόγλου, 1997).

Ανεξάρτητα από την πηγή από την οποία προέρχεται η αμμωνία στο νερό, η αντίδρασή της με αυτό περιγράφεται με την παρακάτω χημική εξίσωση:



Η αμμωνία βρίσκεται σε δύο μορφές μέσα στο νερό: στην ελεύθερη αμμωνία (NH_3), που είναι η μη ιονισμένη μορφή της και στο αμμώνιο (NH_4^+) που αποτελεί την ιονισμένη της μορφή (Svobodova et al., 1993; Summerfelt, 1998; Χώτος, 2015). Το άθροισμα της μη ιονισμένης και της ιονισμένης μορφής της αμμωνίας, αποτελεί την ολική αμμωνία (TAN - Total Ammonia Nitrogen) (Summerfelt, 1998; Χώτος, 2015). Η ελεύθερη αμμωνία (NH_3) είναι πολύ περισσότερο τοξική για τους υδρόβιους οργανισμούς σε σύγκριση με την ιονισμένη της μορφή (Svobodova et al., 1993; Summerfelt, 1998; Χώτος, 2015). Στην τοξικότητα της NH_3 συντελεί πολύ το γεγονός της εύκολης διαπερατότητάς της από τις κυτταρικές μεμβράνες, σε αντίθεση με το αμμώνιο το οποίο δεν μπορεί να τις διαπεράσει (Παπουτσόγλου, 1997; Χώτος, 2015). Η αναλογία της ιονισμένης μορφής (NH_4^+) προς τη μη ιονισμένη (NH_3) στο νερό, επηρεάζεται από το pH και τη θερμοκρασία του νερού (Svobodova et al., 1993; Summerfelt, 1998).

Η τοξική δράση της NH_3 προκαλεί σημαντικές επιπτώσεις στη φυσιολογία των υδρόβιων οργανισμών. Τα αποτελέσματα της τοξικότητάς της είναι η μείωση του ρυθμού ανταλλαγής των αερίων, η βλάβη του επιθηλίου των βραγχίων, η μείωση της ικανότητας του αίματος στη μεταφορά του O_2 , η μείωση του αριθμού των ερυθρών αιμοσφαιρίων και η πρόκληση αιμόλυσης (Svobodova et al., 1993; Βαΐτσας & Ραβασόπουλος, 1997; Παπουτσόγλου, 1997; Χώτος, 2015). Επιπλέον, η NH_3 προκαλεί αύξηση του ρυθμού των αναπνευστικών κινήσεων, των χτύπων της καρδιάς και της πίεσης του αίματος. Ακόμη, διαταράσσει το ωσμορυθμιστικό σύστημα των οργανισμών, προκαλώντας σε ιχθύς γλυκού νερού αυξημένη παραγωγή ούρων και σε ιχθύς θαλασσινού νερού αύξηση του ρυθμού κατάποσης του νερού (Χώτος, 2015). Επίσης, προκαλεί μείωση του ρυθμού ανάπτυξης και της ανθεκτικότητας των εκτρεφόμενων οργανισμών σε μολυσματικές ασθένειες. (Βαΐτσας & Ραβασόπουλος, 1997; Παπουτσόγλου, 1997). Τέλος, η NH_3 έχει ιδιαίτερη τοξική επίδραση στον εγκέφαλο και στο κεντρικό νευρικό σύστημα και αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο τα νευρικά συμπτώματα είναι τόσο έντονα σε περιπτώσεις τοξικότητας NH_3 στους ιχθύς (Svobodova et al., 1993; Χώτος, 2015).

Ο κύριος παράγοντας που ελέγχει την τοξικότητα της NH_3 στο νερό είναι η τιμή του pH, η οποία, σε συνδυασμό με τη θερμοκρασία του νερού, ρυθμίζει τη συγκέντρωσή της (Παπουτσόγλου, 1997; Χώτος, 2015). Έτσι, σε χαμηλές θερμοκρασίες και σε συνδυασμό με

χαμηλό pH, η χημική εξίσωση που περιγράφει την αντίδραση της NH₃ με το νερό, μετατοπίζεται από αριστερά προς τα δεξιά, μειώνοντας το ποσοστό της NH₃ (Svobodova et al., 1993; Summerfelt, 1998). Αντίθετα, αν παράλληλα με την τιμή του pH αυξηθεί και η θερμοκρασία, η συγκέντρωση της NH₃ στο νερό αυξάνεται ακόμα περισσότερο (Χώτος, 2015).

Εκτός από το pH και τη θερμοκρασία του νερού, σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την τοξικότητα της NH₃ είναι η αλατότητα του νερού. Έχει παρατηρηθεί ότι η αύξηση της αλατότητας έχει ευεργετικά αποτελέσματα, καθώς η τοξικότητα της NH₃ μειώνεται (Παπουτσόγλου, 1997; Χώτος, 2015). Για παράδειγμα για την ίδια τιμή του pH, η συγκέντρωση της ολικής αμμωνίας είναι 30% λιγότερο τοξική για τους οργανισμούς στο θαλασσινό νερό σε σύγκριση με το γλυκό λόγω της διαφοράς στην αλατότητα (Χώτος, 2015).

Επιπλέον, άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την τοξικότητα της NH₃ περιλαμβάνουν τη συγκέντρωση του διαλυμένου O₂ στο νερό, καθώς και το ποσοστό του CO₂. Όσο χαμηλότερη είναι η συγκέντρωση O₂ στο νερό και συνεπώς αυξημένη η συγκέντρωση του CO₂, τόσο μεγαλύτερη είναι η τοξικότητα της NH₃ (Svobodova et al., 1993; Παπουτσόγλου, 1997).

Η παρακολούθηση της ποιότητας των υδάτων των εγκαταστάσεων υδατοκαλλιέργειας, περιλαμβάνει τη μέτρηση της συγκέντρωσης της ολικής αμμωνίας (TAN). Για να εκτιμηθεί η πιθανή τοξικότητα αυτής της συγκέντρωσης, είναι σημαντικό να γνωρίζουμε την ποσότητα της NH₃ που υπάρχει. Αυτό υπολογίζεται από τις μετρούμενες τιμές της ολικής αμμωνίας, της θερμοκρασίας και του pH του νερού χρησιμοποιώντας την παρακάτω μαθηματική εξίσωση:

$$NH_3 = \frac{NH_4^+ + NH_3}{10^{(10.07 - 0.33T - pH)} + 1}$$

Εναλλακτικά, οι τιμές μπορούν να βρεθούν από διάφορους πίνακες που συντάσσονται από τους υπολογισμούς βάσει αυτής της εξίσωσης (Svobodova et al., 1993). Σε κάθε περίπτωση, η όποια μετρούμενη συγκέντρωση ολικής αμμωνίας στο νερό, μπορεί να αξιολογηθεί ως προς την τοξικότητά της μόνο αφού μετρηθούν το pH, η θερμοκρασία και η αλατότητα του νερού (Χώτος, 2015). Στον Πίνακα 3.3 παρουσιάζονται οι μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές ολικής αμμωνίας σε ορισμένους συνδυασμούς pH και θερμοκρασίας (Χώτος, 2015).

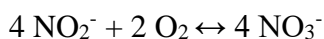
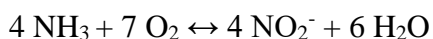
Η NH₃ είναι ιδιαίτερα τοξική στην ελάχιστη συγκέντρωση των 0,2-0,5 mg/L, όπου παρουσιάζεται θνησιμότητα των υδρόβιων οργανισμών λόγω οξείας αμμωνιακής δηλητηρίασης. Το μέγιστο επίπεδο συγκέντρωσης της NH₃, το οποίο είναι ανεκτό για μακρό χρονικό διάστημα από πολλά είδη ιχθύων, χωρίς αρνητικές επιπτώσεις από ασθένειες, είναι 0,01-0,02 mg/L (Χώτος, 2015). Βέβαια, το εύρος αυτών των τιμών ποικίλει ανάμεσα στα διάφορα είδη. Επιπλέον, για τα περισσότερα είδη ιχθύων, η “κρίσιμη” συγκέντρωση της NH₃

βρίσκεται στο εύρος 0,2-2,0 mg/L (Παπουτσόγλου, 1997). Για τα σαλμονοειδή, επειδή θεωρούνται αρκετά ευαίσθητα ως προς την NH₃, συνίσταται η συγκέντρωσή της να μην υπερβαίνει τα 0,005 mg/L και για τα κυπρινοειδή να είναι περίπου 0,05 mg/L, ενώ για την ιριδίζουσα πέστροφα να είναι περίπου 0,32 mg/L και για το γατόψαρο 1,50-3,10 mg/L (Svobodova et al., 1993; Χώτος, 2015). Αξίζει να σημειωθεί ότι τα αυγά και τα νεαρά ιχθύδια είναι πιο ευαίσθητα στην τοξικότητα της NH₃ σε σχέση με τα ενήλικα άτομα (Χώτος, 2015).

Πίνακας 3.3: Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές ολικής αμμωνίας (TAN) σε mg/L για διαφορετικούς συνδυασμούς pH και θερμοκρασίας (Χώτος, 2015)

pH	Θερμοκρασία (°C)				
	5	10	15	20	25
6,5	50,0	33,3	22,2	15,4	11,1
7,0	16,7	10,5	7,4	5,0	3,6
7,5	5,1	3,4	2,3	1,6	1,2
8,0	1,6	1,1	0,7	0,5	0,4
8,5	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
9,0	0,2	0,1	0,09	0,07	0,05

Κατά την πρώτη φάση της διαδικασίας της νιτροποίησης, η NH₃ οξειδώνεται σε νιτρώδη ιόντα (NO₂⁻) μέσω της επίδρασης βακτηρίων του γένους *Nitrosomonas*. Στη συνέχεια, τα νιτρώδη οξειδώνονται σε νιτρικά ιόντα (NO₃⁻) από βακτήρια του γένους *Nitrobacter*. Οι χημικές εξισώσεις που περιγράφουν την οξείδωση της αμμωνίας σε νιτρώδη και νιτρικά είναι οι εξής:



Αν και δεν παραμένουν για μεγάλο χρονικό διάστημα στις φυσικές υδατοσυλλογές, καθώς οξειδώνονται γρήγορα σε νιτρικά, η σημασία των νιτρωδών (NO₂⁻), σε ό,τι αφορά την τοξικότητά τους, είναι αξιόλογη σε περιοχές που εφαρμόζονται εντατικά συστήματα υδατοκαλλιεργειών και στις οποίες μπορεί να εκχύνονται αστικά λύματα και υπολείμματα αζωτούχων γεωργικών φαρμάκων και λιπασμάτων, καθώς επίσης και στα κλειστά συστήματα εκτροφής (Svobodova et al., 1993; Βαΐτσας & Ραβασόπουλος, 1997; Παπουτσόγλου, 1997).

Η τοξικότητα των NO₂⁻ έγκειται στο γεγονός ότι έχουν την ικανότητα να οξειδώνουν το σίδηρο που περιέχει η αιμογλοβίνη του αίματος των υδρόβιων οργανισμών, με αποτέλεσμα αυτή να μετατρέπεται σε μεθαιμογλοβίνη και να μειώνεται η ικανότητα μεταφοράς O₂ στο αίμα (Svobodova et al., 1993; Βαΐτσας & Ραβασόπουλος, 1997; Χώτος, 2015). Εάν οι οργανισμοί τοποθετηθούν σε νερό χωρίς NO₂⁻, η κατάσταση μπορεί να γίνει αναστρέψιμη και η μεθαιμογλοβίνη μετατρέπεται ξανά σε αιμογλοβίνη. Στην περίπτωση όμως που υπάρξει δηλητηρίαση από NO₂⁻, οι υδρόβιοι οργανισμοί παθαίνουν ανοξία και οδηγούνται σε θάνατο (Svobodova et al., 1993; Χώτος, 2015).

Παρόλο που τα NO_2^- είναι λιγότερο τοξικά από την NH_3 , σε συγκεντρώσεις 5-10 mg/L μπορεί να προκαλέσουν θνησιμότητα στους εκτρεφόμενους οργανισμούς (Χώτος, 2015). Η τοξική δράση τους στους οργανισμούς εξαρτάται από διάφορους παράγοντες που σχετίζονται με το είδος, την ηλικία και το βάρος τους, αλλά και με τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του νερού εκτροφής (Svobodova et al., 1993; Χώτος, 2015). Η τοξικότητα των NO_2^- επηρεάζεται από το pH, το διαλυμένο O_2 , τη θερμοκρασία, την αλατότητα, τη συνολική σκληρότητα των νερών και τις συγκεντρώσεις διαφόρων αλάτων μετάλλων, όπως είναι τα ιόντα χλωρίου, ασβεστίου, νατρίου και μαγνησίου (Svobodova et al., 1993; Βαΐτσας & Ραβασόπουλος, 1997; Παπουτσόγλου, 1997; Χώτος, 2015). Έχει βρεθεί ότι η αύξηση της συγκέντρωσης των διαλυμένων αλάτων στο νερό, μειώνει κατά πολύ την τοξικότητα των NO_2^- . Για παράδειγμα, το θαλασσινό νερό, στο οποίο περιλαμβάνονται υψηλές συγκεντρώσεις ιόντων χλωρίου και ασβεστίου, παρουσιάζει πολύ μικρότερη τοξικότητα NO_2^- σε σχέση με το γλυκό (Βαΐτσας & Ραβασόπουλος, 1997; Παπουτσόγλου, 1997; Χώτος, 2015).

Όσον αφορά τα νιτρικά ιόντα (NO_3^-), αυτά είναι λιγότερο τοξικά σε σύγκριση με τα NO_2^- , αλλά το εύρος της τοξικότητάς τους διαφέρει ανάμεσα στα υδρόβια είδη (Παπουτσόγλου, 1997; Svobodova et al., 1993). Θνησιμότητα από τοξικότητα NO_3^- έχει καταγραφεί μόνο όταν οι συγκεντρώσεις υπερέβαιναν τα 1000 mg/L (Svobodova et al., 1993). Στα πολύ ευαίσθητα είδη ιχθύων, το εύρος της τοξικής συγκέντρωσης των NO_3^- είναι 50-300 mg/L (Χώτος, 2015). Για παράδειγμα, για τους κυπρίνους η μέγιστη αποδεκτή συγκέντρωση NO_3^- είναι 80 mg/L, ενώ για την ιριδίζουσα πέστροφα είναι 20 mg/L (Svobodova et al., 1993).

3.2.7 Θολότητα - Αιωρούμενα σωματίδια

Με τον όρο θολότητα (turbidity) προσδιορίζεται το σύνολο των διαφόρων αιωρούμενων σωματιδίων και διαλυμένων υλικών στο νερό, μέσω των οποίων καθορίζεται ο βαθμός της διαύγειάς (clarity) του (Παπουτσόγλου, 1992; Βαΐτσας & Ραβασόπουλος, 1997; Παπουτσόγλου, 1997).

Τα αιωρούμενα σωματίδια περιλαμβάνουν οτιδήποτε παρασύρεται ή επιπλέει στο νερό, από ιζήματα, λάσπη και άμμο μέχρι πλαγκτόν και φύκια. Τα περισσότερα από αυτά αποτελούνται από ανόργανα υλικά, αν και στη συνολική συγκέντρωση των στερεών μπορούν επίσης να συνεισφέρουν τα φύκια, οι φυτικοί και ζωικοί οργανισμοί που μέσω της διαδικασίας αποσύνθεσης εισέρχονται στην υδάτινη στήλη και σωματίδια οργανικής ύλης (Card et al., 2014).

Παράγοντες που επηρεάζουν τη θολότητα του νερού μιας περιοχής είναι η αλατότητα, η θερμοκρασία, η ηλιακή ακτινοβολία, τα ρεύματα, η εναλλαγή των υδάτινων μαζών και ο

ρυθμός απόθεσης των αιωρούμενων στερεών στο ίζημα (Παπουτσόγλου, 1992; Βαΐτσας & Ραβασόπουλος, 1997; Card et al., 2014).

Η αλατότητα επηρεάζει τη συσσωμάτωση και την ταχύτητα καθίζησης των αιωρούμενων σωματιδίων. Συγκεκριμένα, τα ιόντα αλατιού έχουν την τάση να συλλέγουν τα αιωρούμενα σωματίδια και τα συνδέουν μεταξύ τους, αυξάνοντας τα βάρη τους και, συνεπώς, την δυνατότητά τους να καθιζάνουν και να καταλήγουν στον πυθμένα (Card et al., 2014). Λόγω αυτού του μηχανισμού, οι ωκεανοί και γενικότερα οι υδάτινες μάζες με θαλασσινό νερό, τείνουν να έχουν χαμηλότερη θολότητα από τις λίμνες και τους ποταμούς (Παπουτσόγλου, 1992; Card et al., 2014).

Επιπλέον, η θολότητα επηρεάζεται και από τη θερμοκρασία, όπως αναφέρθηκε νωρίτερα. Τα θολά ύδατα έχουν μεγαλύτερη θερμοκρασία σε σχέση με τα πιο διαυγή και αυτό οφείλεται στα υψηλά επίπεδα ολικών αιωρούμενων στερεών που περιέχουν. Τα αιωρούμενα στερεά έχουν την τάση να απορροφούν περισσότερη θερμότητα από την ηλιακή ακτινοβολία, την οποία μεταφέρουν στο περιβάλλον του νερού μέσω της αγωγής. Η υψηλή θερμοκρασία στα ύδατα όμως, έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση των επιπέδων του διαλυμένου οξυγόνου και κατ' επέκταση της φωτοσύνθεσης (Patel & Vashi, 2015).

Ένας σημαντικός ρόλος της θολότητας στα υδρόβια οικοσυστήματα συνδέεται με την επίδραση που ασκεί στη διείσδυση του φωτός μέσα σε μια υδάτινη μάζα και κατ' επέκταση στην παραγωγικότητά της (Παπουτσόγλου, 1992). Όσο μεγαλύτερη διαύγεια έχει μια υδάτινη μάζα, τόσο μεγαλύτερο είναι και το βάθος που μπορεί να φτάσει το φως μέσα σε αυτή, άρα τόσο μεγαλύτερη είναι η παραγωγικότητα του ύδατος μέσω της φωτοσύνθεσης. Αντιθέτως, όσο υψηλότερα είναι τα επίπεδα θολότητας, τόσο λιγότερο φως μπορεί να φτάσει στα χαμηλότερα επίπεδα νερού, εμποδίζοντας τη φωτοσύνθεση. Η διακοπή ή η μειωμένη φωτοσύνθεση σημαίνει μείωση της επιβίωσης των φυτικών οργανισμών, μείωση της παραγωγής του διαλυμένου οξυγόνου και διατάραξη της ισορροπίας της τροφικής αλυσίδας (Card et al., 2014).

Γενικότερα, η αυξημένη θολότητα μιας υδάτινης μάζας υποδηλώνει ότι το νερό είναι χαμηλής ποιότητας. Εκτός όμως από την υποβάθμιση της ποιότητας του νερού, αύξηση θολότητας μπορεί να προέρχεται και από τη ρύπανση των υδάτων λόγω έκχυσης αποβλήτων από εγκαταστάσεις υδατοκαλλιεργειών (περίσσεια τροφής, περιττώματα εκτρεφόμενων οργανισμών), αστικών αποβλήτων και βιομηχανικών λυμάτων. Ρύποι, όπως διαλυμένα μέταλλα και παθογόνα, μπορούν να προσκολληθούν σε αιωρούμενα σωματίδια και να εισέλθουν στο νερό μολύνοντάς το (Βαΐτσας & Ραβασόπουλος, 1997; Card et al., 2014).

Η θολότητα του νερού επηρεάζει τη φυσιολογία και την καλή διαβίωση των υδρόβιων οργανισμών. Βέβαια, η ευαισθησία των διαφόρων υδρόβιων ειδών στην παρουσία των αιωρούμενων σωματιδίων διαφέρει από είδος σε είδος. Για παράδειγμα, ιχθύες του είδους *Cyprinus carpio* (κυπρίνος) μπορούν να επιζήσουν έως και τρεις εβδομάδες σε νερά με συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων από 100000 έως 225000 mg/L, ενώ η πέστροφα (*Salmo gairdneri*) σε νερό με συγκέντρωση σωματιδίων 160000 μπορεί να επιζήσει μόνο μία μέρα (Παπουτσόγλου, 1997).

Η αυξημένη θολότητα περιορίζει την όραση των υδρόβιων οργανισμών, επηρεάζοντας άμεσα την ικανότητα κολύμβησής τους, την ικανότητα να βρουν τροφή με αποτέλεσμα τη μείωση του ρυθμού ανάπτυξής τους, την εύρυθμη λειτουργία του ανοσοποιητικού τους συστήματος και την ικανότητά τους να αντιστέκονται στους θηρευτές. Η θολότητα μπορεί επίσης να επηρεάσει ανασταλτικά την επιτυχή ολοκλήρωση διάφορων φάσεων του βιολογικού κύκλου των ιχθύων, όπως την εκκόλαψη και την ανάπτυξη των νεαρών ατόμων (Βαΐτσας & Ραβασόπουλος, 1997; Παπουτσόγλου, 1997).

Επιπλέον, αυξημένες συγκεντρώσεις αιωρούμενου στερεού υλικού μπορεί να προκαλέσουν το φράξιμο των βράγχων, με αποτέλεσμα την παρεμπόδιση της αναπνοής των ιχθύων (Βαΐτσας & Ραβασόπουλος, 1997; Card et al., 2014). Ασφυκτικές συνθήκες προκαλούν επίσης, στους βενθικούς οργανισμούς και στα αυγά ιχθύων, τα καθιζάνοντα στερεά, όπως το χαλίκι και η άμμος, που παρατηρούνται σε περιοχές μικρότερου βάθους. Ακόμη, το αυξημένο ίζημα μπορεί να εξοντώσει τις προνύμφες των εντόμων και άλλες πηγές τροφής για τους υδρόβιους οργανισμούς (Card et al., 2014).

Τέλος, βλάβες στους υδρόβιους οργανισμούς λόγω θολερότητας δεν προκαλούνται μόνο από το μέγεθος της συγκέντρωσης των αιωρούμενων στερεών, αλλά και από την προέλευσή τους, καθώς πολλά από τα φερτά υλικά που προέρχονται από αστικά ή βιομηχανικά λύματα είναι τοξικά, ακόμη και σε μικρές συγκεντρώσεις (Βαΐτσας & Ραβασόπουλος, 1997; Card et al., 2014). Τα αιωρούμενα στερεά σωματίδια επιδρούν στην αύξηση της συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων, όπως ο υδράργυρος και ο μόλυβδος, καθώς επίσης και πολλών άλλων τοξικών οργανικών ενώσεων, παρασιτοκτόνων και φυτοφαρμάκων (Card et al., 2014; Patel & Vashi, 2015). Επιπλέον, όταν η συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών στα απόβλητα λυμάτων και στην αποσυνθετική οργανική ύλη, είναι πολύ πιθανό να αυξηθεί η πιθανότητα μόλυνσης των υδρόβιων οργανισμών από κάποιο παθογόνο μικροοργανισμό (Card et al., 2014).

3.3 ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

3.3.1 Απαιτήσεις των αισθητήρων υδατοκαλλιέργειας

Αν και τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων χρησιμοποιούνται ευρέως σε χερσαίες εφαρμογές, η χρήση τους στο υδάτινο περιβάλλον είναι περιορισμένη. Αυτός ο περιορισμός οφείλεται στα ειδικά χαρακτηριστικά του νερού, το υψηλό κόστος των υποβρύχιων αισθητήρων και τις δυσλειτουργίες λόγω του υδάτινου περιβάλλοντος. Η εξασφάλιση και η συλλογή ενέργειας, η επικοινωνία μεταξύ των κόμβων και η αραιή τοποθέτηση είναι μερικές από τις δυσκολίες που παρουσιάζονται στα υποβρύχια ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (UWSNs). Προκειμένου να εξασφαλιστεί η αποτελεσματικότητα και η καταλληλότητα των αισθητήρων των UWSNs σε εγκαταστάσεις υδατοκαλλιέργειών, πρέπει να πληρούν ορισμένες απαιτήσεις, οι οποίες αναλύονται παρακάτω (Parra et al., 2018b).

Αρχικά, οι αισθητήρες πρέπει να είναι τοποθετημένοι σε σημεία εύκολα προσβάσιμα, σε περιπτώσεις που χρειαστεί καθαρισμός, συντήρηση ή αντικατάστασή τους. Διαφορετικά, θα χρειαστεί να διατεθούν δύτες, οι οποίοι θα αναλάβουν αυτές τις εργασίες. Επιπλέον, είναι πολύ σημαντικό οι αισθητήρες να μπορούν να ανιχνεύουν δεδομένα για μεγάλες χρονικές περιόδους, χωρίς να χρειάζονται συχνά τις παραπάνω εργασίες. Επομένως, ένας αισθητήρας που χρειάζεται καθημερινή βαθμονόμηση ή εβδομαδιαίο καθαρισμό δεν θα ήταν κατάλληλος για μακροχρόνια χρήση. Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούν χημικές ενώσεις πρέπει να βαθμονομούνται περιοδικά και γι' αυτό δεν ενδείκνυται για μακρόχρονη χρήση. Το ίδιο και οι αισθητήρες με μεμβράνες ή ηλεκτρολύτες. Ακόμη, τα αντιδραστήρια πρέπει να αναπληρώνονται ή να αλλάζονται (Parra et al., 2018b).

Όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας, έχει αποδειχτεί ότι οι κόμβοι των αισθητήρων έχουν περιορισμένη ισχύ μπαταρίας και η μετάδοση σήματος καταναλώνει ένα μεγάλο ποσοστό αυτής (Bhambri & Swaroop, 2014; Xu et al., 2014; Parra et al., 2018b). Για το λόγο αυτό, είναι σημαντικό οι αισθητήρες να έχουν χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις για να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μεγάλο χρονικό διάστημα. Για να εξασφαλιστούν οι χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις, είναι απαραίτητο να χρησιμοποιούνται πρωτόκολλα επικοινωνίας περισσότερο αποδοτικά από πλευράς ενέργειας, καθώς επίσης και στην περίπτωση που υπάρχουν διαφορετικές επιλογές για τη μέτρηση των ίδιων παραμέτρων, να επιλέγεται αυτή με την χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας (Parra et al., 2018b). Επιπλέον προτείνεται, για να μην καταναλώνεται άσκοπα η ενέργεια, ο αισθητήρας να μπαίνει σε αναστολή λειτουργίας όταν δεν χρησιμοποιείται και σε περίπτωση εξωτερικού ερεθίσματος να λειτουργεί ξανά (Bhambri & Swaroop, 2014).

Επιπλέον, το υδάτινο περιβάλλον και ιδιαίτερα το θαλασσινό, αποτελεί ένα “σκληρό” περιβάλλον για την εφαρμογή αισθητήρων. Η αλατότητα μπορεί να προκαλέσει διάβρωση, ενώ τα ρεύματα μπορεί να παρασύρουν τους αισθητήρες προκαλώντας τη δυσλειτουργία ή την καταστροφή τους (Yick et al., 2008; Bhambri & Swaroop, 2014; Parra et al., 2018b). Επομένως, είναι σημαντικό οι αισθητήρες να είναι ανθεκτικοί στο νερό και να έχουν κάποιου είδους προστατευτικό στρώμα, προκειμένου να μην διαβρωθούν. Το στρώμα και οποιοδήποτε τμήμα ανίχνευσης του αισθητήρα που θα έρθει σε επαφή με το νερό δεν πρέπει να περιέχει καθόλου μεταλλικά υλικά. Για το λόγο αυτό, συνιστάται η χρήση υλικών από πλαστικό και μεθακρυλικό μεθυλεστέρα. Επιπλέον, είναι απαραίτητη η αδιάβροχη μόνωση (Bhambri & Swaroop, 2014; Parra et al., 2018b).

Επίδραση στους υποβρύχιους αισθητήρες, έχουν επίσης τα ρεύματα τα οποία μπορεί να μεταβάλλουν την αρχική τους θέση. Σε ορισμένες κατηγορίες αισθητήρων, όπως αυτών που μετράνε την ένταση των ρευμάτων είναι απαραίτητη η ικανότητά τους να κινούνται και να προσανατολίζονται. Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν αισθητήρες που πρέπει να βρίσκονται σε σταθερή θέση με συγκεκριμένο προσανατολισμό, αποφεύγοντας οποιαδήποτε κίνηση. Επομένως, στην περίπτωση που είναι απαραίτητη η κίνηση θα πρέπει να γίνεται χρήση εκτροπέων, ενώ αν χρειάζεται ο αισθητήρας να έχει σταθερή θέση είναι απαραίτητο να συμπεριληφθεί ένα σύστημα αγκύρωσης (Parra et al., 2018b).

Εκτός από τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του νερού, επίδραση στην εύρυθμη λειτουργία των αισθητήρων έχουν και οι υδρόβιοι οργανισμοί (φυτοπλαγκτόν, ζωοπλαγκτόν, ασπόνδυλα, φύκη και ιχθύες). Διάβρωση των αισθητήρων μπορεί να γίνει από το πλαγκτόν, αλλά και από άλλους μικροοργανισμούς αφού κάθε αντικείμενο που παραμένει στο νερό θα υποβληθεί σε βιο-επίστρωση (biofouling ή κοινώς “πρασίνισμα”) (Bhambri & Swaroop, 2014; Parra et al., 2018b). Στο θαλάσσιο περιβάλλον, υπάρχουν πάνω από 4000 οργανισμοί που προκαλούν βιο-επίστρωση (Xu et al., 2014). Οι οργανισμοί αυτοί αποικούν στην επιφάνεια των αισθητήρων με αποτέλεσμα την αλλαγή στο χρώμα και στη διαφάνειά τους. Το φαινόμενο αυτό προκαλεί προβλήματα στις Υδατοκαλλιέργειες, γιατί το “πρασίνισμα” δεν καθαρίζεται εύκολα και μπορεί να λειτουργήσει ως πηγή παθογόνων βακτηρίων (Σχοινά, 2019). Η βιο-επίστρωση επηρεάζει περισσότερο τους αισθητήρες που βασίζονται σε οπτικές μεθόδους μέτρησης ορισμένων φυσικοχημικών παραμέτρων του νερού και τις υποβρύχιες κάμερες. Τα διαφανή τμήματα αυτών των αισθητήρων πρέπει να τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο, ώστε να αποφεύγεται η εναπόθεση και η βιο-επίστρωση. Επιπλέον, τα μικροσκοπικά υδρόβια ασπόνδυλα χρησιμοποιούν τις γωνίες και τις οπές ορισμένων αντικειμένων ως κρησφύγετα και ως εκ τούτου μπορεί να αλλοιώσουν τα αποτελέσματα των μετρήσεων των αισθητήρων. Είναι

απαραίτητο λοιπόν, οι αισθητήρες να είναι προστατευμένοι από κατάλληλο υλικό, όπως για παράδειγμα διχτυωτό πλέγμα, το οποίο δεν επιτρέπει στους οργανισμούς να εισέλθουν. Ακόμη, ορισμένοι ιχθύες όπως η τσιπούρα *Sparus aurata*, όταν είναι κάτω από stress έχουν την τάση να δαγκώνουν, εκτός από άλλους ιχθύς, και αντικείμενα. Συνίσταται σε αυτές τις περιπτώσεις η χρήση προστατευτικού ανθεκτικού υλικού σε σφαιρικό σχήμα, αν υπάρχει αυτή η δυνατότητα, ώστε να μην υπάρχουν σημεία που ξεχωρίζουν ή άκρες στις οποίες οι ιχθύες μπορεί να προκαλέσουν ζημιές (Parra et al., 2018b).

Επιπρόσθετα, είναι πολύ σημαντικό οι αισθητήρες να μην διαταράσσουν τη διαβίωση και τη φυσιολογία των υπό παρακολούθηση οργανισμών και να μην τους δημιουργούν επιβλαβείς επιπτώσεις. Για το λόγο αυτό, πρέπει να αποφευχθούν τεχνικές παρακολούθησης με αισθητήρες που χρησιμοποιούν υπεριώδη ακτινοβολία (UV), ακουστικοί αισθητήρες που μπορεί να γίνουν αντιληπτοί από τα εκτρεφόμενα είδη και αισθητήρες που χρησιμοποιούν μαγνητικά πεδία. Έχει βρεθεί ότι η υπεριώδης ακτινοβολία μπορεί να μειώσει τους ρυθμούς ανάπτυξης στα ατελή ιχθύδια, καθώς επίσης και τη λειτουργία του ανοσοποιητικού τους συστήματος. Επιπλέον, οι ακουστικοί αισθητήρες μπορεί να παράγουν υψηλά ηχητικά επίπεδα που προκαλούν ζημιές στις ακουστικές μεμβράνες, με αποτέλεσμα ενδεχόμενη απώλεια ακοής. Ακόμη, ορισμένα είδη ιχθύων είναι ευαίσθητα στα μαγνητικά πεδία τα οποία μπορεί να διαταράξουν τη δραστηριότητά τους. Πρέπει επίσης να διασφαλιστεί ότι οι αισθητήρες δεν θα προσελκύσουν τη γύρω πανίδα, η οποία μπορεί να επηρεάσει τη συμπεριφορά των εκτρεφόμενων ειδών και να προκαλέσει stress. Επομένως, είναι ζωτικής σημασίας να γίνεται δοκιμή των προτεινόμενων αισθητήρων σε εργαστηριακές συνθήκες προκειμένου να ελεγχθούν ενδεχόμενες επιπτώσεις στους οργανισμούς και στη συνέχεια να γίνεται χρήση τους σε επίπεδο υδατοκαλλιέργειας (Parra et al., 2018b).

Τέλος, οι αισθητήρες που είναι κατάλληλοι για την υδατοκαλλιέργεια και, γενικά, για την παρακολούθηση του υδάτινου περιβάλλοντος είναι σχετικά ακριβοί. Το κόστος της κατασκευής, της εγκατάστασης και της αντικατάστασης είναι σημαντικά υψηλότερο από εκείνο των χερσαίων εφαρμογών. Ένας ακόμη παράγοντας που επηρεάζει το κόστος των υποβρύχιων αισθητήρων, είναι ότι στο περιβάλλον εφαρμογής τους τοποθετούνται σε οριζόντιο και κατακόρυφο επίπεδο απαιτώντας μεγαλύτερο αριθμό αισθητήρων, ενώ στις επίγειες εφαρμογές χρειάζονται λιγότεροι αισθητήρες, καθώς διασκορπίζονται μόνο στο οριζόντιο επίπεδο (Yick et al., 2008; Bhambri & Swaroop, 2014; Parra et al., 2018b).

Συνοψίζοντας, οι υποβρύχιοι αισθητήρες προκειμένου να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εγκαταστάσεις υδατοκαλλιέργειας, πρέπει να είναι χαμηλής συντήρησης, χαμηλού κόστους, χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης, ανθεκτικοί, αδιάβροχοι, μη μεταλλικοί, να αντέχουν στην

βιο-επίστρωση και να μην επηρεάζουν με οποιονδήποτε τρόπο τα εκτρεφόμενα είδη (Parra et al., 2018b).

3.3.2 Τύποι αισθητήρων υδατοκαλλιέργειας

Οι σημαντικότερες παράμετροι που εξετάζονται στα συστήματα εκτροφής υδατοκαλλιεργειών είναι η θερμοκρασία, η αλατότητα, το διαλυμένο οξυγόνο, το pH και η θολότητα. Η επίδραση των παραγόντων αυτών στη φυσιολογία και στη διαβίωση των εκτρεφόμενων ειδών αναλύθηκε στο κεφάλαιο 3.2. Εκτός από αυτούς τους παράγοντες υπάρχουν και άλλοι που μπορεί να χρειάζονται παρακολούθηση, όπως η στάθμη του νερού, η αμμωνία, τα νιτρικά, κ.ά., ωστόσο αυτό εξαρτάται από τον τύπο του συστήματος εκτροφής που εφαρμόζεται κάθε φορά.

Οι μετρήσεις των παραμέτρων του νερού εκτροφής, μπορεί να γίνουν είτε με χρήση αισθητήρων που μετρούν μεμονωμένα έναν ή τουλάχιστον δύο παράγοντες, είτε με χρήση αισθητήρων που έχουν τη δυνατότητα να μετρούν ταυτόχρονα περισσότερους από δύο παράγοντες και αναφέρονται εμπορικά ως multiparameters. Το κόστος ενός αισθητήρα εξαρτάται από τον τύπο του, αλλά και από τον αριθμό των παραμέτρων που μπορεί να παρακολουθεί. Οι αισθητήρες μέτρησης της θερμοκρασίας με θερμίστορ και οι αισθητήρες μέτρησης της πίεση ανήκουν στους οικονομικούς τύπους αισθητήρων. Αντίθετα, οι πιο εξειδικευμένα αισθητήρες μέτρησης της συγκέντρωσης του CO₂, της θολότητας, της αμμωνίας και της χλωροφύλλης είναι πολύ πιο ακριβοί. Επιπλέον, ένας αισθητήρας μέτρησης ενός ή δύο παραγόντων μπορεί να ξεκινήσει ενδεικτικά από τη χαμηλότερη τιμή των 65 ευρώ περίπου και να ξεπεράσει τα 1000 ευρώ. Ενώ, ένας multiparameter αισθητήρας είναι πολύ πιο ακριβός και μπορεί να φτάσει έως και 5000 ευρώ.

Στη συγκεκριμένη ενότητα παρουσιάζονται οι τύποι των αισθητήρων θερμοκρασίας, αλατότητας, διαλυμένου οξυγόνου και θολότητας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις Υδατοκαλλιέργειες, καθώς επίσης και ο τρόπος λειτουργίας τους. Για το pH δεν αναφέρονται ξεχωριστά μοντέλα αισθητήρων, καθώς στα περισσότερα εμπορικά διαθέσιμα μοντέλα είναι ενσωματωμένο. Ωστόσο, γίνεται αναφορά στον τρόπο λειτουργίας ενός πεχάμετρου.

Στο τέλος αυτού του κεφαλαίου οι Πίνακες 3.4 και 3.5 παρουσιάζουν ορισμένους εμπορικά διαθέσιμους αισθητήρες.

3.3.2.1 Αισθητήρες θερμοκρασίας

Τα όργανα με τα οποία μετράμε τη θερμοκρασία ονομάζονται θερμόμετρα. Η λειτουργία των οργάνων αυτών βασίζεται στην αλλαγή, λόγω της θερμοκρασίας, κάποιας χαρακτηριστικής ιδιότητας ενός επιλεγμένου υλικού (Αργυρίου, 2004; Καλόμοιρος κ.ά., n.d.). Οι ιδιότητες που αξιοποιούνται για τη μέτρηση της θερμοκρασίας είναι η γραμμική διαστολή ενός υγρού ή ενός

μετάλλου, η ηλεκτρική αντίσταση ενός μετάλλου, το φαινόμενο του θερμοηλεκτρισμού και η θερμική ακτινοβολία που εκπέμπεται από ένα θερμό σώμα (Καλόμοιρος κ.ά., n.d.).

Την ιδιότητα της γραμμικής διαστολής αξιοποιούν τα γνωστά θερμόμετρα υδραργύρου, τα μεταλλικά θερμόμετρα κ.ά. (Καλόμοιρος κ.ά., n.d.). Επειδή όμως υπάρχει δυσκολία στο να μετατραπεί η διαστολή αυτή σε ηλεκτρικό σήμα, τα σύγχρονα θερμόμετρα είναι ηλεκτρικά και ως αποτέλεσμα βασίζονται στην ιδιότητα της ηλεκτρικής αντίστασης και του θερμοηλεκτρικού φαινομένου (Parra et al., 2018b; Αργυρίου, 2004; Καλόμοιρος κ.ά., n.d.). Τα ηλεκτρικά θερμόμετρα διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες: στα θερμόμετρα επαφής και στα εξ αποστάσεως. Τα θερμόμετρα επαφής μετρούν ερχόμενα σε επαφή με το σύστημα του οποίου ζητείται η θερμοκρασία. Αντίθετα τα θερμόμετρα εξ αποστάσεως υπολογίζουν έμμεσα τη θερμοκρασία μετρώντας τη θερμική ακτινοβολία του συστήματος. Το είδος του αισθητήρα που θα χρησιμοποιηθεί, δηλαδή αισθητήρας επαφής ή εξ αποστάσεως, εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως το εύρος διακύμανσης της προς μέτρηση θερμοκρασίας, την απαιτούμενη ακρίβεια και πιστότητα, το περιβάλλον στο οποίο θα τοποθετηθεί ο αισθητήρας, κ.λ.π (Αργυρίου, 2004).

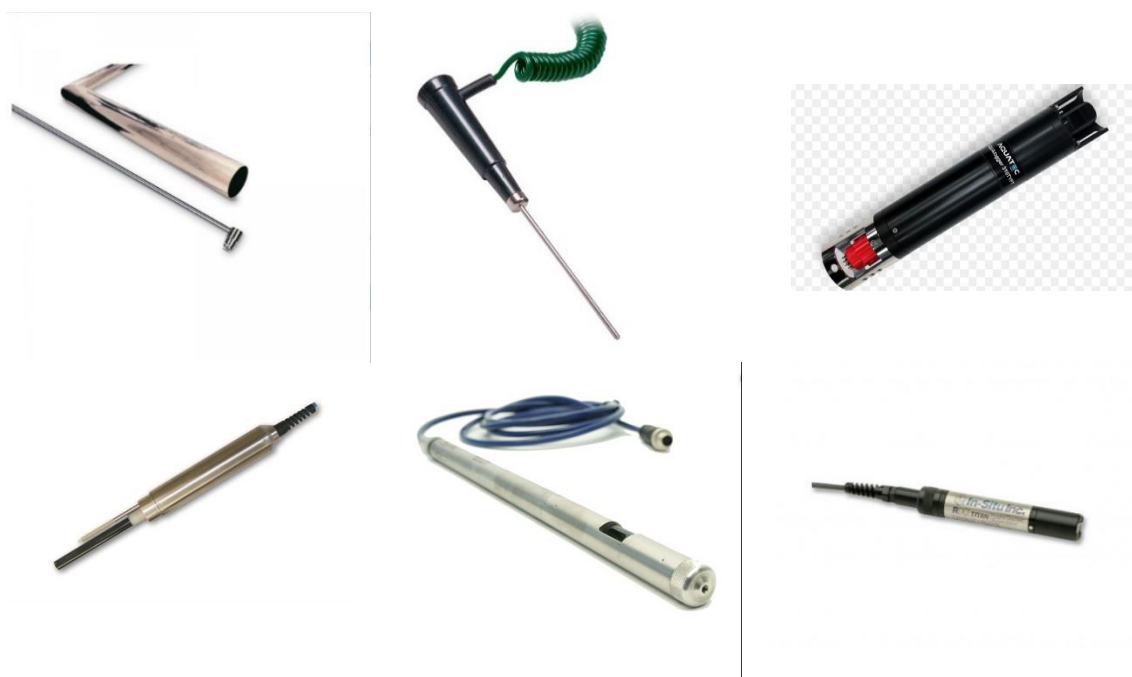
Στις Υδατοκαλλιέργειες για τη μέτρηση της θερμοκρασίας του νερού χρησιμοποιούνται κυρίως αισθητήρες επαφής, όπως είναι τα θερμοζεύγη, οι αντιστάτες λευκόχρυσου και τα θερμίστορς, ενώ οι αισθητήρες εξ αποστάσεως χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση αλλαγών στη θερμοκρασία των ωκεανών σε πολύ μεγάλα βάθη (Parra et al., 2018b).

Τα θερμοζεύγη (thermocouples) ή θερμοηλεκτρικά ζεύγη είναι ένα από τα ευρέως χρησιμοποιούμενα είδη αισθητήρων θερμοκρασίας. Αποτελούνται από δύο αγωγούς διαφορετικών υλικών, συνήθως κατασκευασμένους από χαλκό, νικέλιο, σίδηρο, πλατίνα, ρόδιο και άλλα κράματα, οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους. Είναι ιδιαίτερα ανθεκτικά, μικρά σε μέγεθος και οικονομικά, αν και παρουσιάζουν χαμηλή ακρίβεια και χρειάζονται τιμές αναφοράς (Parra et al., 2018b; Καλόμοιρος κ.ά., n.d.).

Οι θερμοηλεκτρικές αντιστάσεις (Resistance Temperature Devices – RTDs), είναι μια άλλη κατηγορία αισθητήρων μέτρησης της θερμοκρασίας, που βασίζονται στην αλλαγή αυτής λόγω της αντίστασης των αγώγιμων υλικών. Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες έχουν καλύτερη γραμμικότητα και είναι γενικά πιο ακριβείς από τα θερμοζεύγη. Εξαρτώνται από την απόλυτη τιμή της θερμοκρασίας και όχι απλώς από τη θερμοκρασιακή μεταβολή, όπως συμβαίνει στα θερμοζεύγη, άρα δεν έχουν ανάγκη από θερμοκρασίες αναφοράς. Όμως είναι πιο ακριβοί και απαιτούν εξωτερική διέγερση (Parra et al., 2018b; Αργυρίου, 2004; Καλόμοιρος κ.ά., n.d.).

Δύο τύποι αισθητήρων θερμοηλεκτρικής αντίστασης κυκλοφορούν στην αγορά: οι αντιστάτες λευκόχρυσου (Platinum Resistance Thermometers - PRTs) και τα θερμίστορς (thermistors). Οι αντιστάτες λευκόχρυσου θεωρούνται από τους καλύτερους τύπους αισθητήρων επαφής της συγκεκριμένης κατηγορίας. Ο ίδιος αισθητήρας μπορεί να χρησιμοποιείται σε διάφορες περιοχές θερμοκρασιών, χωρίς να αλλοιώνονται τα χαρακτηριστικά του ακόμα και μετά από πολλούς κύκλους χρήσης. Το χαμηλό κόστος και η πολύ καλή ακρίβεια τους έχει κάνει τους πιο διαδεδομένους αισθητήρες μέτρησης της θερμοκρασίας (Parra et al., 2018b; Αργυρίου, 2004).

Τα θερμίστορς αποτελούν αντιστάσεις κατασκευασμένες από ημιαγωγά υλικά, συνήθως οξείδια των μεταβατικών μετάλλων της σειράς του σιδήρου, όπως το χρώμιο, το μαγγάνιο, ο σίδηρος, το κοβάλτιο και το νικέλιο. Συγκριτικά με τους αντιστάτες λευκόχρυσου, τα θερμίστορς χαρακτηρίζονται από χαμηλότερη ακρίβεια. Επιπλέον, αν και τα θερμοζεύγη είναι οι ευρύτερα χρησιμοποιούμενοι ηλεκτρικοί αισθητήρες και οι αντιστάτες λευκόχρυσου οι πιο σταθεροί, τα θερμίστορς είναι οι πιο ευαίσθητοι (Parra et al., 2018b; Αργυρίου, 2004; Καλόμοιρος κ.ά., n.d.). Υπάρχουν δύο είδη θερμίστορς, τα αρνητικού συντελεστή θερμοκρασίας (Negative Temperature Coefficient – NTC) και τα θετικού συντελεστή θερμοκρασίας (Positive Temperature Coefficient – PTC). Τα NTC χρησιμοποιούνται συνήθως στην ανίχνευση της θερμοκρασίας του νερού και στα συστήματα θέρμανσης νερού, ενώ τα PTC χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της θερμοκρασίας του νερού (Parra et al., 2018b).



Εικόνα 3.1: Διάφοροι αισθητήρες μέτρησης της θερμοκρασίας (Πηγές: www.aquatecgroup.com, shop.hannasingapore.com, www.seametrics.com, www.hmei.org, in-situ.com)

3.3.2.2 Αισθητήρες αλατότητας

Η πυκνότητα του νερού, η διάθλαση του φωτός και η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι οι τρεις φυσικές παράμετροι που σχετίζονται με την αλατότητα. Οι τεχνικές που βασίζονται στη διάθλαση του φωτός και στην ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι πρακτικές και είναι αυτές που χρησιμοποιούνται συνήθως (Parra et al., 2018b).

Οι οπτικές μέθοδοι βασίζονται στη συσχέτιση μεταξύ της γωνίας διάθλασης μιας προσπίπτουσας δέσμης φωτός και της αλατότητας του νερού. Όταν μια δέσμη φωτός διαχέεται μέσα στο νερό, το φως διαθλάται. Η καταγραφή του σημείου της διάθλασης της ακτίνας, δίνει τη δυνατότητα να μετρηθεί η αλατότητα του νερού. Με βάση αυτή την επίδραση, αρκετοί ερευνητές έχουν παρουσιάσει διάφορους αισθητήρες για τιμές αλατότητας από 0 έως 50 PSU, οι οποίες καλύπτουν τις απαιτήσεις των μετρήσεων αλατότητας για τις υδατοκαλλιέργειες. Ωστόσο, στο υδάτινο περιβάλλον, αυτό το σύστημα δεν είναι το πλέον κατάλληλο, λόγω της ανάγκης να διατηρείται συνεχώς καθαρή και διαυγής η επιφάνεια του νερού (Parra et al., 2018b).

Υπάρχουν δύο μέθοδοι μέτρησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας: η αμπερομετρική μέθοδος και η ποτενσιομετρική. Στην αμπερομετρική μέθοδο δύο ή περισσότερα ηλεκτρόδια χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της αγωγιμότητας, μετρώντας το ρεύμα που διαρρέεται μεταξύ αυτών. Ο απλούστερος σχεδιασμός των αγωγιμόμετρων βασίζεται σε δύο ηλεκτρόδια. Ωστόσο, αυτός ο σχεδιασμός μπορεί να προκαλέσει πόλωση νερού και για αυτό υπάρχουν αγωγιμόμετρα με τέσσερα ή και έξι ηλεκτρόδια. Σε κάθε περίπτωση όμως προκειμένου να μετριάται η ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού, είναι απαραίτητο τα ηλεκτρόδια να παραμένουν σε επαφή με το νερό, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει διάβρωση, βιο-επίστρωση και καθίζηση. Στα συστήματα υδατοκαλλιέργειας, τα ηλεκτρόδια αυτά θα απαιτούν συνεχή καθαρισμό και συνεπώς δεν είναι κατάλληλα (Parra et al., 2018b).

Η ποτενσιομετρική μέθοδος βασίζεται στη χρήση δύο πηνίων. Το πρώτο πηνίο τροφοδοτείται από ένα εναλλασσόμενο ρεύμα και παράγει ένα μαγνητικό πεδίο. Η ένταση του μαγνητικού πεδίου τροποποιείται από το μέσο και το παραγόμενο ηλεκτρικό πεδίο. Στο δευτερογενές πηνίο, το μαγνητικό πεδίο προκαλεί ένα ηλεκτρικό πεδίο που μπορεί να συσχετιστεί με την αλατότητα του νερού. Παρόλο που η μεθοδολογία αυτή χρησιμοποιείται λιγότερο, παρουσιάζει ορισμένα πλεονεκτήματα, κυρίως τη δυνατότητα απομόνωσης των αισθητήρων, δηλαδή των πηνίων, από το νερό. Για τους λόγους αυτούς, η χρήση της ποτενσιομετρικής μεθόδου για τη μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι η καλύτερη επιλογή για την παρακολούθηση της αλατότητας στις υδατοκαλλιέργειες. Είναι μια φτηνή μέθοδος, εξαιρετικά ακριβής και το εύρος

των μετρήσεων που καλύπτει ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις των εγκαταστάσεων υδατοκαλλιέργειας (Parra et al., 2018b).



Εικόνα 3.2: Διάφοροι αισθητήρες μέτρησης της αλατότητας (Πηγές: www.hmei.org, sainv.no, shop.hannasingapore.com, www.seametrics.com)

3.3.2.3 Αισθητήρες οξυγόνου

Υπάρχουν διάφορες τεχνικές για τη μέτρηση του διαλυμένου οξυγόνου. Η μέθοδος αναφοράς είναι η δοκιμή Winkler, η οποία βασίζεται σε τιτλοδότηση. Είναι μια πολύπλοκη μέθοδος που απαιτεί την προσθήκη διαφορετικών αντιδραστηρίων και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αισθητήρα, ωστόσο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βαθμονόμησή του (Parra et al., 2018b).

Για τη μέτρηση του διαλυμένου οξυγόνου υπάρχουν δύο κατηγορίες αισθητήρων που έχουν σχεδιαστεί έως τώρα: οι ηλεκτροχημικοί αισθητήρες και οι αισθητήρες οπτικών ινών. Οι ηλεκτροχημικοί αισθητήρες είναι παρόμοιοι με το ηλεκτρόδιο Clark, ο οποίος είναι ένας αμπερομετρικός αισθητήρας που βασίζεται σε μια ηλεκτροχημική μεμβράνη. Αποτελείται από δύο ηλεκτρόδια, ένα καθοδικό ηλεκτρόδιο κατασκευασμένο από πλατίνα, ενσωματωμένο σε ένα άλλο ηλεκτρόδιο ανόδου με δακτυλιοειδή μορφή και μια διαπερατή μεμβράνη από την οποία διέρχεται το οξυγόνο. Τα κύρια μειονεκτήματα των αισθητήρων που παρουσιάζουν μια διαπερατή μεμβράνη είναι η εξάρτηση της διάχυσης του οξυγόνου από την πίεση. Επιπλέον, πρέπει να καθαρίζονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα και λόγω της επαφή τους με το νερό παράγοντες όπως η καθίζηση, η βιο-επίστρωση ή οι φυσαλίδες αέρα μπορεί να διαταράξουν τη μέτρηση (Parra et al., 2018b; Lee et al., 2007).

Οι αισθητήρες οπτικών ινών ανιχνεύουν το οξυγόνο μέσω των αλλαγών στο χρώμα. Ένας τέτοιου τύπου αισθητήρας αποτελείται από μια μεταλλική επιφάνεια που συμπεριφέρεται ως μεμβράνη και είναι επικαλυμμένη με φωτοευαίσθητο υλικό. Η μεταλλική αυτή επιφάνεια είναι

κατασκευασμένη από χημικά σύμπλοκα με βάση την πλατίνη ή το ρουθίνιο. Τα συγκεκριμένα σύμπλοκα μετάλλων αντιδρούν στις αλλαγές του φάσματος απορρόφησης, το οποίο μετριέται και μεταφράζεται σε συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου (Parra et al., 2018b; Λεφάκης, 2004).



Εικόνα 3.3: Διάφοροι αισθητήρες μέτρησης του δεσμευμένου οξυγόνου (Πηγές: www.hach.com, www.yisi.com)

Οι οπτικοί αισθητήρες μέτρησης οξυγόνου αποτελούν την καλύτερη επιλογή για on-line και μακροχρόνια παρακολούθηση του διαλυμένου οξυγόνου. Παρ' όλα αυτά, οι χημικές ενώσεις που χρησιμοποιούνται σε αυτούς τους αισθητήρες συνήθως αποικοδομούνται με την πάροδο του χρόνου και χρειάζονται αντικατάσταση. Επιπλέον, οι αισθητήρες αυτοί είναι σχετικά ακριβοί, πράγμα που εμποδίζει τη χρήση τους σε εγκαταστάσεις υδατοκαλλιέργειας (Parra et al., 2018). Σε σύγκριση όμως με τους ηλεκτροχημικούς αισθητήρες μέτρησης οξυγόνου, οι αισθητήρες οπτικών ινών είναι πιο εύκολο να χρησιμοποιηθούν, είναι πιο ακριβείς και πιο ανθεκτικοί (Λιγκανάρη, 2006).

3.3.2.4 Αισθητήρες θολότητας

Υπάρχουν διάφορες τεχνικές για τον προσδιορισμό της θολότητας στο νερό. Τεχνικές όπως η μέθοδος της σταθμικής ανάλυσης, ο δίσκος Secchi και ο κώνος Imhoff, ενδείκνυται για τη μέτρηση της θολερότητας αλλά δεν μπορούν να εφαρμοστούν σε αυτόματα συστήματα μέτρησης. Άλλες τεχνικές σχετίζονται με τις ιδιότητες του φωτός και βασίζονται στο νόμο των Beer-Lambert, ο οποίος προσδιορίζει την ποσότητα του φωτός που προσπίπτει σε ένα διάλυμα και την ποσότητα του φωτός που απορροφάται από αυτό, σε σχέση με την περιεκτικότητά του σε διαλυμένη ουσία. Η εξίσωση του νόμου Beer-Lambert είναι η εξής:

$I_t = I_0 * e^{-(a*t)l}$, όπου I_t η ένταση του φωτός που απορροφάται, I_0 η ένταση του προσπίπτοντος φωτός, a ο συντελεστής απορρόφησης του φωτός ανά μονάδα μήκους, t η θολότητα και l το μήκος που διαπερνάει το φως (Parra et al., 2018b).

Με βάση την εξίσωση Beer-Lambert, υπάρχουν τρεις διαφορετικές μέθοδοι για τη μέτρηση της θολότητας του νερού. Τα νεφελόμετρα βασίζονται στη μέτρηση της διάχυσης του φωτός. Το στοιχείο ανίχνευσης του φωτός είναι συνήθως τοποθετημένο σε 90°, ή σε χαμηλότερη γωνία, από την πηγή του φωτός. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται συνήθως για τη μέτρηση δειγμάτων με χαμηλές τιμές θολότητας εύρους από 0 έως 120 NTU. Η δεύτερη μέθοδος, που χρησιμοποιεί θολοσίμετρα, βασίζεται στην απορρόφηση του φωτός. Τα αδιάλυτα σωματίδια του νερού προκαλούν διάχυση και απορρόφηση του φωτός. Η συγκεκριμένη μέθοδος προτείνεται για δείγματα με υψηλές τιμές θολρότητας εύρους από 0 έως 1.000 NTU. Η τελευταία μέθοδος βασίζεται στη χρήση ακουστικών ακτινών έλξης, μέσω των οποίων μπορεί να προσδιοριστεί η παρουσία των αιωρούμενων σωματιδίων στο νερό. Η χρήση αυτής της μεθόδου για τη μέτρηση της θολότητας παρουσιάζει καλύτερα αποτελέσματα επειδή είναι ανεξάρτητη από το μέγεθος των σωματιδίων (Parra et al., 2018b).

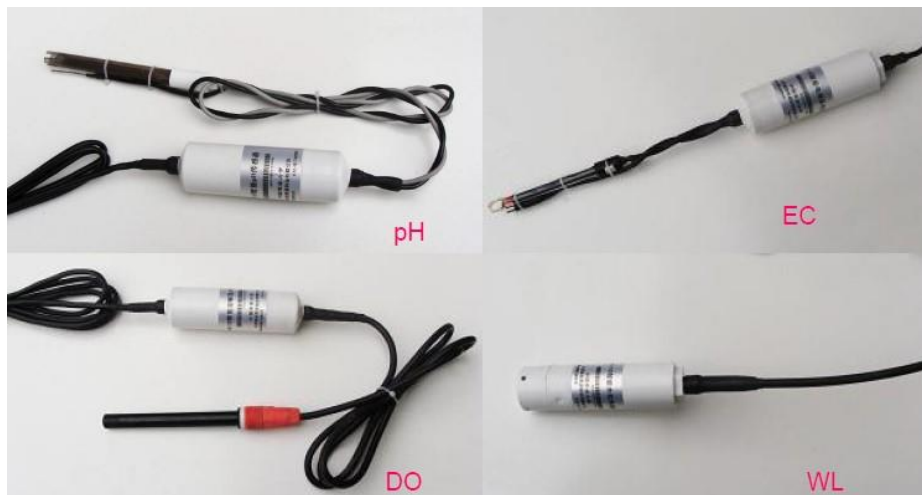
Με βάση τα παραπάνω υπάρχουν δύο κύριες κατηγορίες αισθητήρων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση της θολότητας: οι οπτικοί και οι ακουστικοί. Οι οπτικοί αισθητήρες δεν ενδείκνυται τόσο για χρήση, ενώ οι ακουστικοί είναι συνήθως πιο ακριβοί. Παρόλα αυτά, για τη μέτρηση της θολότητας οι αισθητήρες που είναι εμπορικά διαθέσιμοι είναι αυτοί των οπτικών ιών (Parra et al., 2018b)



Εικόνα 3.4: Διάφοροι αισθητήρες μέτρησης της θολότητας (Πηγές: www.hach.com, www.aquatecgroup.com)

3.3.2.5 Αισθητήρες pH

Η μέτρηση του pH γίνεται με ειδικά όργανα που ονομάζονται πεχάμετρα. Η αρχή λειτουργία ενός πεχάμετρου βασίζεται στη διαφορά δυναμικού που αναπτύσσεται μεταξύ δύο ηλεκτροδίων. Το ένα ηλεκτρόδιο έχει μηδενικό δυναμικό και ονομάζεται ηλεκτρόδιο αναφοράς. Το άλλο ηλεκτρόδιο είναι αυτό που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση και το δυναμικό του εξαρτάται από την ενεργότητα των ιόντων υδρογόνου του προς μέτρηση διαλύματος. Η διαφορά δυναμικού ανάμεσα σε αυτά τα δύο ηλεκτρόδια, έπειτα από βαθμονόμηση, δίνει το pH. Τις περισσότερες φορές χρησιμοποιούνται δύο είδη ηλεκτροδίων μέτρησης pH: τα ηλεκτρόδια υάλου και τα ηλεκτρόδια τύπου ISFET (Wikipedia, 2019).



Εικόνα 3.5: Διάφοροι αισθητήρες πρώτης γενιάς (Πηγή: Internet of Things in Aquaculture. Li, D.)



Εικόνα 3.6: Διάφοροι αισθητήρες δεύτερης γενιάς (Πηγή: Internet of Things in Aquaculture. Li, D.)

Πίνακας 3.4: Διάφοροι εμπορικά διαθέσιμοι αισθητήρες για μέτρηση μεμονωμένων παραγόντων (Parra et al., 2018b).

Παράμετρος	Τύπος αισθητήρα	Εύρος	Κατασκευαστής	Μοντέλο
Θερμοκρασία	Θερμίστορ	-2 έως 30 °C	Aquatec Group	AQUAlogger 520/530/540
	Θερμοζεύγη	έως 450 °C	Hanna	HI766B1
	Θερμίστορ	-50 έως 150 °C	Hanna	HI762W
	Θερμοζεύγη	έως 250 °C	Hanna	HI766TR1
	Θερμοζεύγη	έως 900 °C	Hanna	HI766E1
	Θερμίστορ	-50 έως 150 °C	Hanna	HI765P
	Θερμίστορ	-50 έως 150 °C	Hanna	HI762L
	Θερμίστορ	-5 έως 50 °C	In-Situ Inc	smarTROLL RDO
	Θερμίστορ	0 έως 50 °C	In-Situ Inc	RDO Titan
	Θερμίστορ	-5 έως 70 °C	INW TempHion	T1/T1R
	Θερμίστορ	-5 έως 40 °C	INW TempHion	CT2X
	Θερμίστορ	-5 έως 50 °C	OTT	OOT Temp
	No Information	-2 έως 40 °C	Saiv A/S	SD204
	No Information	-2 έως 40 °C	Saiv A/S	SD208
	NTC	-5 έως 50 °C	SEBA	MPS-D3 type
	NTC	-5 έως 50 °C	SEBA	MPS PTEC
	Αλατότητα	Ηλεκτρόδια	10 έως 80 mS/cm	Crison
Ηλεκτρόδια		0.5 έως 80 mS/cm	Crison	Conductivity 53 98
Ηλεκτρόδια		0.1 έως 50 mS/cm	Crison	Conductivity 53 95
Ηλεκτρόδια		1 έως 200 mS/cm	Crison	Conductivity 53 96
4 Ηλεκτρόδια		0 έως 200 mS/cm	Hanna	HI9828
4 Ηλεκτρόδια		0 έως 200 mS/cm	Hanna	HI769828-3
4 Ηλεκτρόδια		0 έως 200 mS/cm	Hanna	HI763100
4 Ηλεκτρόδια		0 έως 200 mS/cm	Hanna	HI7609829-3
4 Ηλεκτρόδια		0 έως 200 mS/cm	Hanna	HI7698194-3
4 Ηλεκτρόδια		0 έως 300 mS/cm	INW TempHion	CT2X
Ηλεκτρόδια		0 έως 200 mS/cm	PCE Instruments	PCE-PHD 1
Ηλεκτρόδια		0 έως 20 mS/cm	PCE Instruments	PCE-CM 411
Πηνία		0 έως 70 mS/cm	Saiv A/S	SD204
Πηνία		0 έως 80 mS/cm	Saiv A/S	SD208
4 Ηλεκτρόδια		0 έως 200 mS/cm	SEBA	MPS-D3 type

	4 Ηλεκτρόδια	0 έως 200 mS/cm	SEBA	MPS PTEC
Διαλυμένο Οξυγόνο	Οπτικός	0 έως 20 mg/L	Hach	LDO® Model 2
	Οπτικός	0 έως 40 ppm	Hach	5740 sc DO Sensors
	Οπτικός	0 έως 80 ppm	Hach	Orbisphere 311xx
	Οπτικός	0 έως 80 ppm	Hach	Orbisphere A1100
	Οπτικός	0 έως 40 ppm	Hach	Orbisphere K1100/K1200
	Οπτικός	0 έως 40 ppm	Hach	Orbisphere M1100
	Οπτικός	0 έως 50 mg/L	In-Situ Inc	RDO PRO-X
	Οπτικός	0 έως 50 mg/L	In-Situ Inc	RDO Titan
	Οπτικός	0 έως 25 ppm	INW TempHion	DO/GDL
	Οπτικός	0 έως 25 ppm	INW TempHion	DO2
	Οπτικός	0 έως 50 mg/L	YSI	ProODO
	Θολότητα	Οπτικός	0 έως 2,000 NTU	Aquatec Group
Οπτικός		0 έως 4,000 NTU	Hach	Highline sc
Οπτικός		0 έως 4,000 NTU	Hach	Solitax series
Οπτικός		0 έως 9,999 NTU	Hach	TSS series

Πίνακας 3.5: Διάφοροι εμπορικά διαθέσιμοι multiparameters αισθητήρες

Κατασκευαστής	Μοντέλο	Θερμοκρασία		Οξυγόνο		Αλατότητα		Θολότητα	
		Τύπος	Εύρος (°C)	Τύπος	Εύρος	Τύπος	Εύρος (mS/cm)	Τύπος	Εύρος (NTU)
In-Situ Inc	Aqua TROLL 400	Θερμίστορ	-5 έως 50	Οπτικός	0 έως 50	Ηλεκτρόδια	5 έως 100	-	-
In-Situ Inc	Aqua TROLL 600	Θερμίστορ	-5 έως 50	Οπτικός	0 έως 50	Ηλεκτρόδια	0 έως 350	Οπτικός	0 έως 4,000
In-Situ Inc	smarTROLL	Θερμίστορ	-5 έως 50	Οπτικός	0 έως 50	Ηλεκτρόδια	5 έως 100	-	-
In-Situ Inc	TROLL 9500	Θερμίστορ	-5 έως 50	Οπτικός Τύπου Clark	0 έως 50 0 έως 20	Ηλεκτρόδιο	5 έως 112	Οπτικός	0 έως 2,000
Eureka probes	Eureka Manta2	Θερμίστορ	-5 έως 50	Οπτικός	0 έως 20	Ηλεκτρόδια	0 έως 100	Οπτικός	0 έως 3,000
SEBA	MPS- K16/Qualilog16	NTC	-5 έως 50	-	0 έως 25	4 Ηλεκτρόδια	0 έως 200	Οπτικός	0 έως 1,000
SEBA	MPS-D8/Qualilog8	NTC	-5 έως 50	Οπτικός Τύπου Clark	0 έως 40	4 Ηλεκτρόδια	0 έως 200	Οπτικός	0 έως 1,000
Hanna	HI9829	-	-5 έως 50	-	0 έως 50	-	0 έως 200	Οπτικός	0 έως 1,000
YSI	5200A Multiparameter	-	0 έως 45	Οπτικός	0 έως 60	-	0 έως 200	-	-



3^{ης} γενιάς



C-DO102(DO)



C-PH101(pH)



C-TD101(water level and Temperature)



C-EC101 (salinity)

4^{ης} γενιάς

Εικόνα 3.7: Διάφοροι αισθητήρες τρίτης και τέταρτης γενιάς (Πηγή: Internet of Things in Aquaculture. Li, D.)



Εικόνα 3.8: Multiparameters αισθητήρες (Πηγές: in-situ.com, www.hmei.org, shop.hannasingapore.com, www.yisi.com)

3.4 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Η παρακολούθηση της ποιότητας του νερού σε όλα τα στάδια εκτροφής ιχθύων σε μια μονάδα υδατοκαλλιέργειας μπορεί να βελτιώσει την απόδοσή της αλλά και να εξασφαλίσει τη βιωσιμότητά της. Οι σημαντικότερες πρακτικές για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας της υδατοκαλλιέργειας είναι η παρακολούθηση της ποιότητας του νερού εκτροφής και η παρακολούθηση της συμπεριφοράς των εκτρεφόμενων ιχθύων (Parra et al., 2018a). Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται ορισμένες μελέτες σχετικά με τα διαθέσιμα συστήματα παρακολούθησης της ποιότητας του νερού, καθώς επίσης και έρευνες που πραγματοποιήθηκαν για την παρακολούθηση της συμπεριφοράς των υδρόβιων οργανισμών.

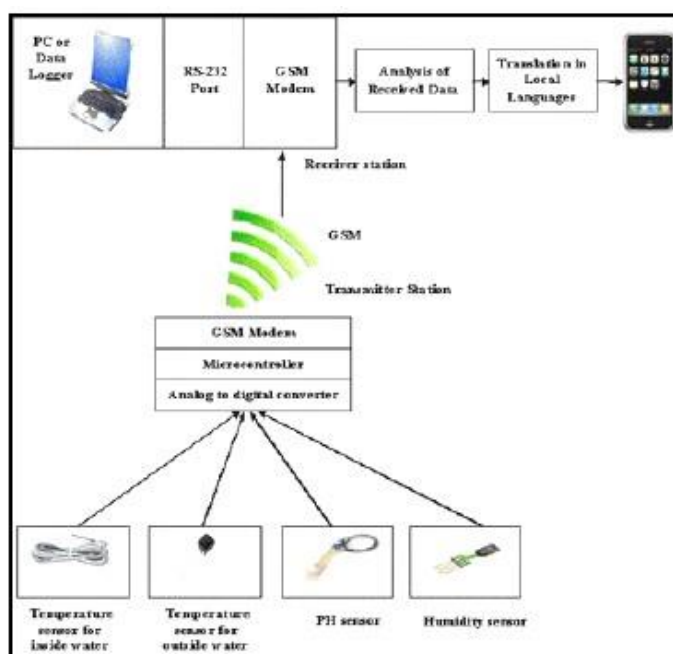
3.4.1 Παρακολούθηση των φυσικοχημικών παραμέτρων του νερού εκτροφής

Οι Simbeye *et al.* (2014) σχεδίασαν ένα χαμηλού κόστους ασύρματο δίκτυο αισθητήρων, βασισμένο στο πρότυπο επικοινωνίας ZigBee, για την παρακολούθηση και τον έλεγχο ενός συστήματος υδατοκαλλιέργειας σε πραγματικό χρόνο. Το σύστημα αποτελούνταν από έξυπνους κόμβους αισθητήρων για την παρακολούθηση ορισμένων περιβαλλοντικών παραμέτρων του νερού όπως το διαλυμένο οξυγόνο, η θερμοκρασία, το pH και η στάθμη του νερού. Οι πληροφορίες που συλλέχθηκαν από τους αισθητήρες, στάλθηκαν σε μία ασύρματη συσκευή αποθήκευσης δεδομένων και στη συνέχεια σε έναν Η/Υ, όπου μέσω εξειδικευμένου λογισμικού επεξεργάστηκαν. Οι αισθητήρες εκτός από τη μέτρηση των τιμών των υπό παρακολούθηση παραμέτρων, είχαν και τη δυνατότητα ελέγχου των παραμέτρων αυτών μέσω της ενεργοποίησης ή απενεργοποίησης της παροχής οξυγόνου και της βαλβίδας νερού που ήταν επίσης συνδεδεμένες στο σύστημα. Επιπλέον, προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η κατανάλωση ενέργειας, οι αισθητήρες είχαν τη δυνατότητα της λειτουργίας σε αναστολή κατά το χρονικό διάστημα που δεν έλαβαν κάποιο ερέθισμα. Οι ερευνητές της συγκεκριμένης μελέτης εφάρμοσαν τη μέθοδό τους για χρονικό διάστημα έξι μηνών σε μονάδα εντατικής εκτροφής ιχθύων. Στο διάστημα αυτό, η θνησιμότητα των εκτρεφόμενων ιχθύων μειώθηκε σημαντικά και με την παρακολούθηση των παραμέτρων του νερού σε πραγματικό χρόνο επιτεύχθηκαν βέλτιστες συνθήκες κατάλληλες για την ανάπτυξη των ιχθύων και τη μείωση των ασθενειών. Συμπερασματικά, η εφαρμογή του συγκεκριμένου συστήματος μπορεί να λειτουργήσει στην πράξη, οδηγώντας στη μεγιστοποίηση της παρακολούθησης και του ελέγχου των κρίσιμων περιβαλλοντικών παραμέτρων του νερού μιας εκτροφής, μειώνοντας το κόστος εργασίας και την κατανάλωση ενέργειας αλλά και αυξάνοντας το οικονομικό όφελος σε μια μονάδα εντατικής εκτροφής ιχθύων.

Σε μια άλλη μελέτη, οι Zhu *et al.* (2009) σχεδίασαν ένα σύστημα παρακολούθησης της ποιότητας του νερού εκτροφής για εφαρμογή σε μονάδες υδατοκαλλιέργειας. Για τη λειτουργία του συστήματος χρησιμοποίησαν τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας και τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (Artificial neural networks) για την πρόβλεψη της ποιότητας του νερού και για την πρόληψη των απωλειών του εκτρεφόμενου πληθυσμού. Οι παράμετροι του νερού που μετρήθηκαν ήταν η θερμοκρασία, το ποσοστό του κορεσμένου οξυγόνου, το διαλυμένο οξυγόνο, το pH, και η αλατότητα χρησιμοποιώντας διάφορους τύπους αισθητήρων. Για τη θερμοκρασία χρησιμοποιήθηκε αισθητήρας τύπου θερμίστορ, για το διαλυμένο οξυγόνο αισθητήρας με ηλεκτροχημική μεμβράνη και για την αλατότητα αισθητήρας ηλεκτρικής αγωγιμότητας με 4 ηλεκτρόδια. Το συγκεκριμένο σύστημα εφαρμόστηκε για 22 μήνες σε μονάδα εκτροφής ιχθύων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι χρησιμοποιώντας αυτό το σύστημα παρακολούθησης οι τιμές των υπό εξέταση παραμέτρων μπορούν να καταγραφούν με ακρίβεια και να προβλεφθεί η ποιότητα του νερού εκτροφής δίνοντας τη δυνατότητα της έγκαιρης ενημέρωσης που είναι ιδιαίτερα σημαντική στα εντατικά συστήματα εκτροφής.

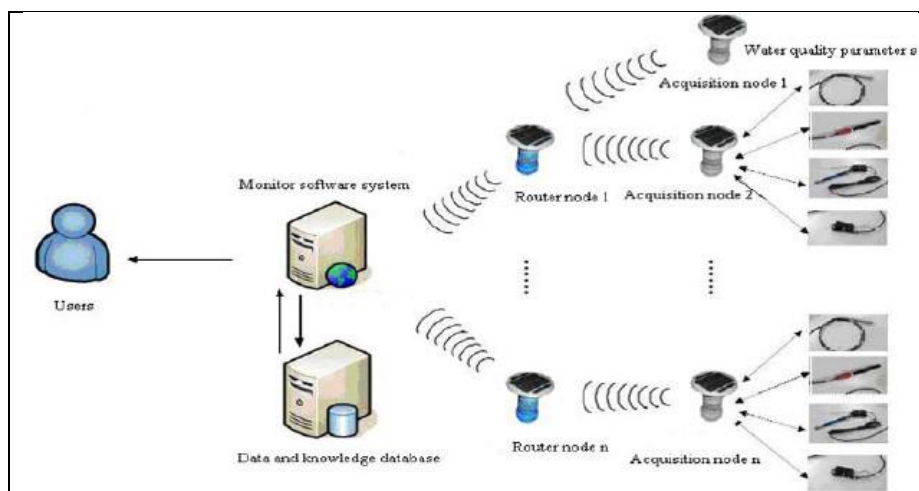
Οι Espinosa-Faller & Rendón-Rodríguez (2012), παρουσίασαν ένα σύστημα παρακολούθησης της ποιότητας του νερού σε κλειστό σύστημα εκτροφής, βασισμένο επίσης στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Η ιδέα για τη χρησιμοποίηση ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων σε τέτοιου τύπου συστήματα εκτροφής, βασίστηκε στο γεγονός ότι σε αυτά τα συστήματα η πυκνότητα των ιχθύων είναι υψηλή. Είναι γνωστό ότι η υψηλή πυκνότητα εκτροφής μπορεί να δημιουργήσει απώλεια της παραγωγής και με τη συνεχή παρακολούθηση της ποιότητας του νερού μπορεί να μειωθεί ο κίνδυνος και να διατηρηθεί υγιές το ζωικό κεφάλαιο. Τα χαρακτηριστικά του νερού που μετρήθηκαν καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας ήταν η θερμοκρασία, το διαλυμένο οξυγόνο, η πίεση του νερού και του αέρα και τα ρεύματα. Η ασύρματη επικοινωνία των αισθητήρων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του προτύπου ZigBee. Τα δεδομένα αφού συλλέχθηκαν και αποθηκεύτηκαν σε μια βάση δεδομένων, επεξεργάστηκαν σε Η/Υ με ειδικό λογισμικό, το οποίο είχε σχεδιαστεί να συγκρίνει τις τιμές των αισθητήρων με συγκεκριμένες τιμές που είχαν οριστεί ως όρια αναφοράς. Σε περίπτωση που οι τιμές των αισθητήρων είχαν φτάσει τις τιμές των ορίων αναφοράς, το πρόγραμμα έστειλε ειδοποίηση στον υπεύθυνο της εγκατάστασης, ώστε να ληφθούν άμεσα μέτρα. Η ειδοποίηση είχε τη μορφή ηλεκτρονικής αλληλογραφίας ή/και μηνύματος SMS σε κινητό τηλέφωνο. Οι ερευνητές της συγκεκριμένης μελέτης λειτούργησαν το συγκεκριμένο σύστημα περισσότερο από έξι μήνες, με ή χωρίς βροχή, και σε ζεστό και υγρό καιρό με τη θερμοκρασία να φτάνει τους 40 °C, συμπεραίνοντας ότι αποτελεί ένα αξιόπιστο σύστημα παρακολούθησης του νερού εκτροφής σε κλειστά συστήματα Υδατοκαλλιέργειών.

Ένα άλλο σύστημα ασύρματου δικτύου αισθητήρων προτάθηκε από τους Chandanapalli *et al.* (2014) για να παρακολουθεί τη θερμοκρασία του νερού, το pH, καθώς και τη θερμοκρασία και την υγρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος. Η μετάδοση των δεδομένων που συλλέχθηκαν από τους αισθητήρες έγινε μέσω ειδικών συσκευών (modem) των οποίων η λειτουργία πραγματοποιήθηκε με κάρτα (SIM) κινητής τηλεφωνίας μέσω του δικτύου GSM (Global System for Mobile communications = Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών), προκειμένου τα δεδομένα να μπορούν να μεταδίδονται σε μεγάλες αποστάσεις. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιήθηκε ώστε να εξυπηρετούνται οι μονάδες εκτροφής που είναι απομακρυσμένες, μακριά από κατοικημένες περιοχές και οι διαχειριστές αυτών να μπορούν να ενημερωθούν για την κατάσταση της εκτροφής ανά πάσα στιγμή. Τα δεδομένα των αισθητήρων στέλνονταν ασύρματα σε Η/Υ, όπου μέσω ειδικού λογισμικού επεξεργάζονταν και σε περίπτωση που οι τιμές των υπό παρακολούθηση παραμέτρων του νερού ήταν διαφορετικές από αυτές που είχαν οριστεί, το σύστημα έστελνε αυτόματα ειδοποιήσεις με τη μορφή μηνύματος στα κινητά τηλέφωνα των παραγωγών στις αντίστοιχες τοπικές γλώσσες, ώστε να τους ενημερώσει και να λάβουν τις κατάλληλες ενέργειες. Τα πειραματικά αποτελέσματα της συγκεκριμένης μελέτης έδειξαν ότι οι ενέργειες που υιοθετήθηκαν για τη διαχείριση της ενέργειας και της δικτύωσης μπορούν να λειτουργήσουν στην πράξη. Με την εφαρμογή τέτοιων τύπων συστημάτων παρακολούθησης της ποιότητας του νερού εκτροφής μπορεί να υπάρξει αυξημένο οικονομικό όφελος για τις μονάδες υδατοκαλλιέργειών εφόσον υπάρχει βελτίωση της παραγωγικής διαδικασίας και πρόληψη της ζημίας που θα μπορούσε να προκληθεί στο απόθεμα ιχθύων.



Εικόνα 3.9: Η διαμόρφωση του συστήματος ασύρματου δικτύου αισθητήρων από τους Chandanapalli *et al.* (2014)

Οι Zhang *et al.* (2010) παρουσίασαν ένα σύστημα παρακολούθησης της ποιότητας του νερού, το οποίο βασίστηκε επίσης σε ασύρματο δίκτυο αισθητήρων. Το σύστημα είχε τη δυνατότητα να μετράει μέσω των αισθητήρων σε πραγματικό χρόνο τη θερμοκρασία του νερού, το pH, την στάθμη του νερού και το διαλυμένο οξυγόνο. Τα δεδομένα που καταγράφηκαν από τους αισθητήρες, διαβιβάστηκαν σε μια βάση δεδομένων και στη συνέχεια σε εξειδικευμένο λογισμικό με το οποίο επεξεργάστηκαν. Οι τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας που χρησιμοποιήθηκαν ήταν το GPRS για τη μετάδοση δεδομένων σε μακρινές αποστάσεις και το Zigbee για την ανάκτηση των δεδομένων από τους αισθητήρες. Μέσω του λογισμικού, οι χρήστες ήταν σε θέση να παρακολουθούν συνεχώς την ποιότητα του νερού σε πραγματικό χρόνο ώστε να διασφαλίζεται η ποιότητα του νερού της υδατοκαλλιέργειας. Το λογισμικό παρακολούθησης ανάλογα με τα δεδομένα που έλαβε, έδωσε τη δυνατότητα στο σύστημα να αποφασίζει αν θα ανοίξει ή θα κλείσει τη βαλβίδα του νερού ή αν χρειάζεται να αυξήσει ή να μειώσει την παροχή του οξυγόνου. Επιπλέον, προκειμένου να διευκολυνθεί η διαχείριση των χρηστών και η ανταπόκρισή τους σε θέματα που αφορούν την ασφάλεια της εκτροφής, στο λογισμικό συμπεριλήφθηκε η λειτουργία έγκαιρης προειδοποίησης μέσω SMS, καθώς επίσης και η δυνατότητα αποστολής εντολών από τους χρήστες μέσω SMS για τον έλεγχο των συσκευών. Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του συγκεκριμένου συστήματος έδειξαν ότι είναι αξιόπιστο και μπορεί να χρησιμοποιηθεί εύκολα στην περιβαλλοντική παρακολούθηση της ποιότητας του νερού.

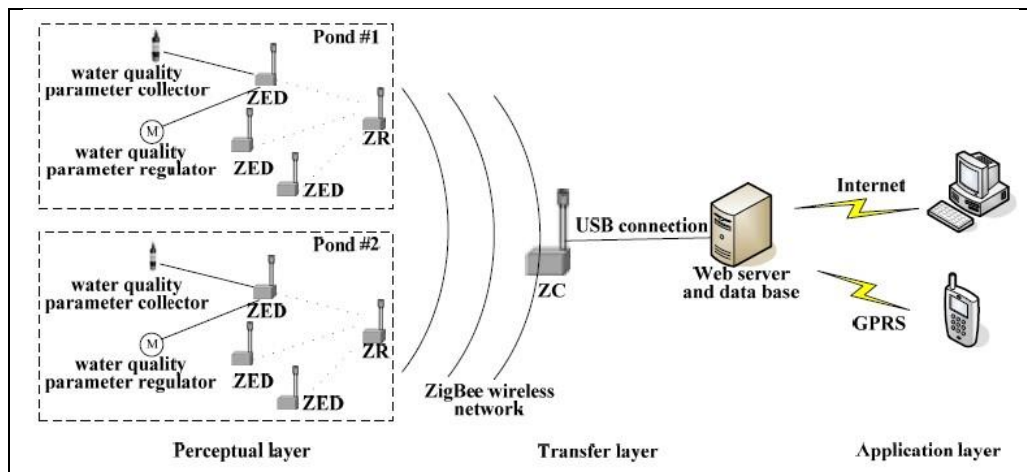


Εικόνα 3.10: Η διαμόρφωση του συστήματος ασύρματου δικτύου αισθητήρων από τους Zhang *et al.* (2010)

Οι López *et al.* (2010) παρουσίασαν μια πρακτική εφαρμογή ασύρματου δικτύου αισθητήρων για τη μέτρηση ορισμένων παραμέτρων του νερού, συγκεκριμένα του pH και της θερμοκρασίας, σε μια μονάδα εκτροφής ιχθύων. Η λειτουργία αυτού του συστήματος είχε ως εξής: οι αισθητήρες μέτρησαν τις τιμές των παραμέτρων και τα δεδομένα στάλθηκαν σε έναν ασύρματο κόμβο χρησιμοποιώντας μια ενσύρματη σύνδεση. Στη συνέχεια, τα δεδομένα από

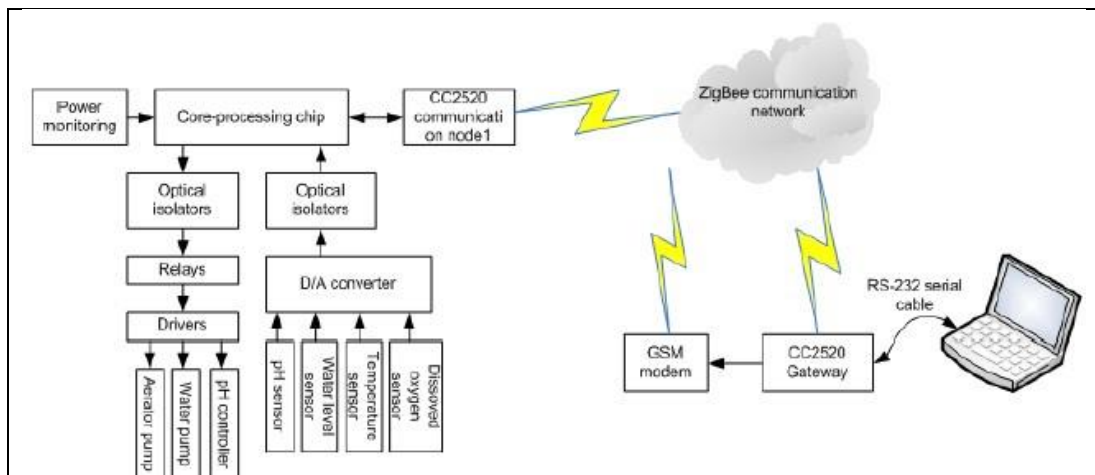
τον ασύρματο κόμβο, προωθήθηκαν στην κεντρική μονάδα επεξεργασίας μέσω του ασύρματου πρωτοκόλλου IEEE 802.15.4. Στην κεντρική μονάδα γινόταν η αποθήκευσή τους και η επεξεργασία τους και κατόπιν με βάση τα αποτελέσματα γινόταν η διαχείριση του συστήματος. Ο τύπος αισθητήρα μέτρησης θερμοκρασίας ήταν θερμίστορ ενώ για τη μέτρηση του pH χρησιμοποιήθηκε αισθητήρας-πεχάμετρο. Οι ερευνητές της συγκεκριμένης μελέτης προκειμένου να βελτιώσουν την υψηλή κατανάλωση ενέργειας των κόμβων, έδωσαν τη δυνατότητα της λειτουργίας σε αναστολή ανά τακτά μικρά χρονικά διαστήματα με αποτέλεσμα τη μείωση της μέσης κατανάλωσης ισχύος τους κατά 0,02% περίπου και τη συνολική εξοικονόμηση ενέργειας στο σύστημα. Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μελέτης έδειξαν ότι μπορεί να γίνει χρήση τέτοιων συστημάτων παρακολούθησης της ποιότητας του νερού με χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας και κατ' επέκταση να επιτευχθεί μακρόχρονη παρακολούθηση.

Οι Huan *et al.* (2014) σχεδίασαν επίσης ένα σύστημα ασύρματου δικτύου αισθητήρων για την παρακολούθηση ορισμένων παραμέτρων του νερού εκτροφής. Η εφαρμογή του συστήματος έγινε σε δεξαμενές εντατικής εκτροφής ιχθύων. Οι παράμετροι που ελέγχονταν ήταν η θερμοκρασία, το διαλυμένο οξυγόνο, το pH, η στάθμη του νερού, η αλατότητα και τα νιτρικά. Στο συγκεκριμένο σύστημα εκτός από τους αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν για τη μέτρηση των τιμών των παραμέτρων που αναφέρθηκαν, υπήρχαν και αισθητήρες που ρύθμιζαν τη συσκευή παροχής οξυγόνου, την αντλία αποστράγγισης και την αντλία του νερού. Η επικοινωνία μεταξύ των αισθητήρων και της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας, που ήταν ένας H/Y, πραγματοποιήθηκε μέσω του προτύπου ασύρματης επικοινωνίας ZigBee. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τους αισθητήρες επεξεργάστηκαν σε πραγματικό χρόνο από εξειδικευμένο λογισμικό στον H/Y. Παράλληλα, οι ερευνητές της συγκεκριμένης μελέτης χρησιμοποίησαν την πλατφόρμα Android και σχεδίασαν μια εφαρμογή που μπορεί να εγκατασταθεί σε κινητά τηλέφωνα με λογισμικό Android, δίνοντας τη δυνατότητα στον εκάστοτε υπεύθυνο να παρακολουθεί απομακρυσμένα και σε πραγματικό χρόνο την κατάσταση του νερού της εκτροφής. Η δοκιμή και η εφαρμογή του συστήματος αυτού έδειξε ότι έχει προοπτικές εφαρμογής, καθώς είναι πρακτικό, δίνει πολύ καλά αποτελέσματα και είναι εύκολο στη χρήση.



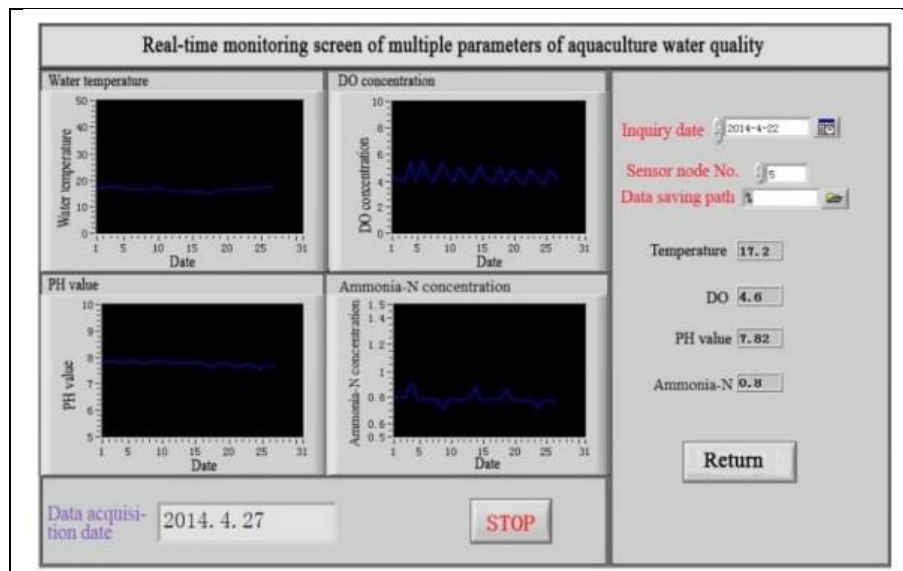
Εικόνα 3.11: Η διαμόρφωση του συστήματος ασύρματου δικτύου αισθητήρων από τους Huan *et al.* (2014)

Ένα ακόμη σύστημα παρακολούθησης της ποιότητας του νερού βασισμένο σε ασύρματο δίκτυο αισθητήρων σχεδιάστηκε από τους Simbeye & Yang (2014) για την παρακολούθηση και τον έλεγχο της εκτροφής σε μονάδες υδατοκαλλιέργειας. Το σύστημα ήταν ικανό να ανιχνεύει και να ελέγχει ορισμένες παραμέτρους που σχετίζονταν με την ποιότητα του νερού, όπως η θερμοκρασία, η περιεκτικότητα σε διαλυμένο οξυγόνο, η τιμή του pH και η στάθμη του νερού. Για το διαλυμένο οξυγόνο χρησιμοποιήθηκε τύπος αισθητήρα με ηλεκτροχημική μεμβράνη, για το pH με ηλεκτρόδιο υάλου, ενώ για τη θερμοκρασία δεν προσδιορίστηκε ο τύπος του αισθητήρα. Οι αισθητήρες μέτρησαν αυτές τις παραμέτρους σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα και μέσω των κόμβων, τα δεδομένα μεταδόθηκαν σε Η/Υ με το πρότυπο ασύρματης επικοινωνίας ZigBee. Στον κεντρικό Η/Υ μέσω εξειδικευμένου λογισμικού έγινε η ανάλυση και η επεξεργασία των δεδομένων. Το ασύρματο δίκτυο που σχεδίασαν οι ερευνητές της μελέτης αυτής, είχε επιπλέον τη δυνατότητα ελέγχου ορισμένων παραμέτρων, όπως το διαλυμένο οξυγόνο, το επίπεδο του νερού και το pH μέσω της συσκευής παροχής οξυγόνου και της βαλβίδας νερού που ήταν επίσης συνδεδεμένες στο σύστημα. Ακόμη, στη συγκεκριμένη εφαρμογή υπήρχε η δυνατότητα ειδοποίησης με αποστολή γραπτών μηνυμάτων, μέσω του δικτύου GSM, στους υπευθύνους της μονάδας στην περίπτωση που οι μετρούμενες τιμές των παραμέτρων δεν ήταν φυσιολογικές. Οι ερευνητές αυτής της μελέτης εφάρμοσαν το συγκεκριμένο σύστημα παρακολούθησης για χρονικό διάστημα έξι μηνών σε μονάδα εντατικής υδατοκαλλιέργειας και τα πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι το σύστημα παρουσίασε μεγάλη προοπτική και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να λειτουργήσει σε πραγματικό περιβάλλον για τον βέλτιστο έλεγχο του περιβάλλοντος εκτροφής.



Εικόνα 3.12: Η διαμόρφωση του συστήματος ασύρματου δικτύου αισθητήρων από τους Simbeye & Yang (2014)

Σε μια άλλη μελέτη, οι Hongpin *et al.* (2015) δημιούργησαν ένα σύστημα παρακολούθησης πολλαπλών παραμέτρων που βασίζεται στη λειτουργία ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων. Σκοπός αυτής της εφαρμογής ήταν η απομακρυσμένη παρακολούθηση της ποιότητας του νερού υδατοκαλλιέργειας σε πραγματικό χρόνο, προκειμένου να βελτιωθεί η ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων και να λυθούν ορισμένα προβλήματα όπως η δυσκολία καλωδίωσης και το υψηλό κόστος που παρουσιάζουν τα υφιστάμενα συστήματα παρακολούθησης. Οι παράμετροι του νερού που μετρήθηκαν ήταν η θερμοκρασία, το pH, το διαλυμένο οξυγόνο και το αμμωνιακό άζωτο.

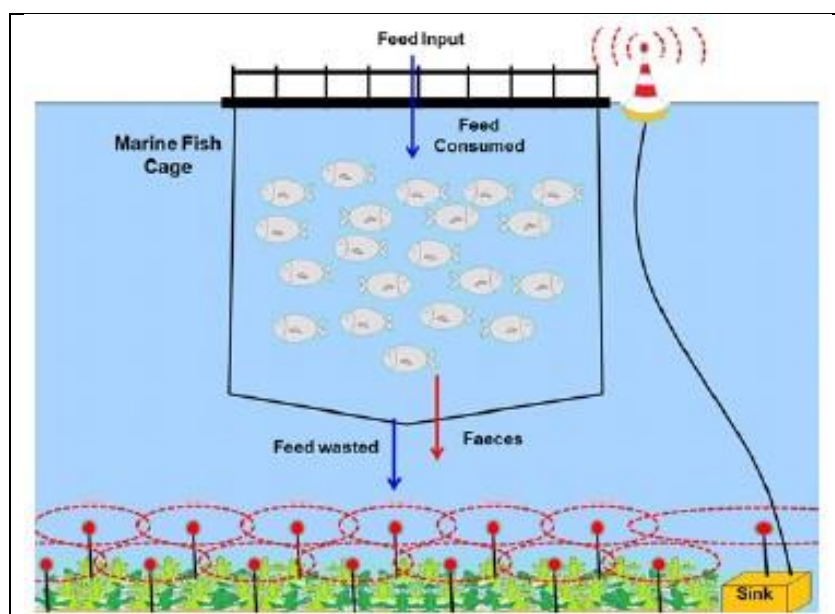


Εικόνα 3.13: Εικόνα από το λογισμικό του ασύρματου δικτύου παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο από τους Hongpin *et al.* (2015)

Για την παροχή ενέργειας στους αισθητήρες χρησιμοποιήθηκαν ηλιακά πάνελ και μπαταρίες λιθίου. Η μετάδοση των δεδομένων στο κέντρο απομακρυσμένης παρακολούθησης (H/Y), στο οποίο αποθηκεύονταν και απεικονίζονταν τα δεδομένα έγινε μέσω του προτύπου Zigbee και της τεχνολογίας GPRS. Επιπλέον, στο σύστημα ήταν συνδεδεμένη μια συσκευή παροχής

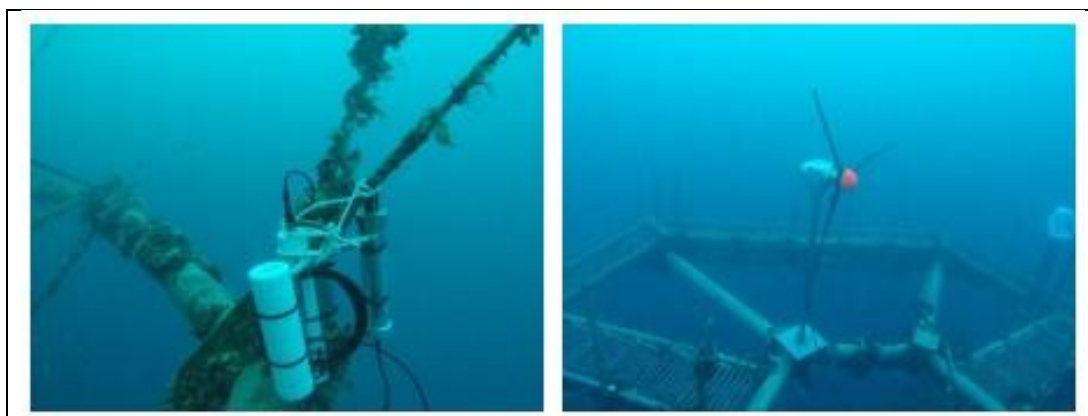
οξυγόνου, η οποία λειτουργούσε αυτόματα κατόπιν εντολής από το κέντρο όταν τα επίπεδα του διαλυμένου οξυγόνου δεν ήταν τα επιθυμητά. Τα αποτελέσματα των δοκιμών του συγκεκριμένου συστήματος έδειξαν ότι το σύστημα θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την απομακρυσμένη παρακολούθηση της ποιότητας του νερού εκτροφής σε πραγματικό χρόνο και να συμβάλει στη μείωση της έντασης της εργασίας, στη βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων υδατοκαλλιέργειας και στην προστασία του υδάτινου περιβάλλοντος.

Ορισμένοι ερευνητές, εκτός από τις συνηθισμένες παραμέτρους, έχουν μελετήσει την ποσότητα της περίσσειας ιχθυοτροφής, καθώς και των αποβλήτων που παράγονται από τους εκτρεφόμενους ιχθύς στις θαλάσσιες εκμεταλλεύσεις και τα οποία προκαλούν αρνητικές επιπτώσεις στην υδρόβια πανίδα και χλωρίδα της περιοχής αλλά και οικονομικές απώλειες στις μονάδες. Οι Lloret *et al.* (2011) πρότειναν ένα ασύρματο υποβρύχιο δίκτυο αισθητήρων, προκειμένου να προσδιορίσουν με ακρίβεια την ποσότητα ρύπανσης που έχει συγκεντρωθεί στον πυθμένα λόγω της απώλειας της τροφής. Για τις συγκεκριμένες μετρήσεις πρότειναν τους υπερηχητικούς αισθητήρες, καθώς μπορούν να καλύψουν μεγαλύτερες αποστάσεις σε σχέση με άλλους τύπους αισθητήρων. Η εφαρμογή του συγκεκριμένου ασύρματου δικτύου έγινε με τη χρήση εξειδικευμένου μοντέλου προσομοίωσης σε Η/Υ προκειμένου να ελεγχθεί και μελλοντικά να εφαρμοστεί σε πραγματικές συνθήκες εκτροφής. Οι ερευνητές στη συγκεκριμένη μελέτη περιέγραψαν αρκετές προσομοιώσεις σχετικά με τη θέση και την κινητικότητα των κόμβων των αισθητήρων, καθώς και τον τρόπο λειτουργίας του πρωτοκόλλου επικοινωνίας προκειμένου να επαληθεύσουν την ορθή λειτουργία του ασύρματου δικτύου στον προσδιορισμό της τροφής και την κυκλοφορία του φορτίου στο υδάτινο περιβάλλον της εκτροφής.



Εικόνα 3.14: Η διαμόρφωση του συστήματος ασύρματου δικτύου αισθητήρων από τους Lloret *et al.* (2011)

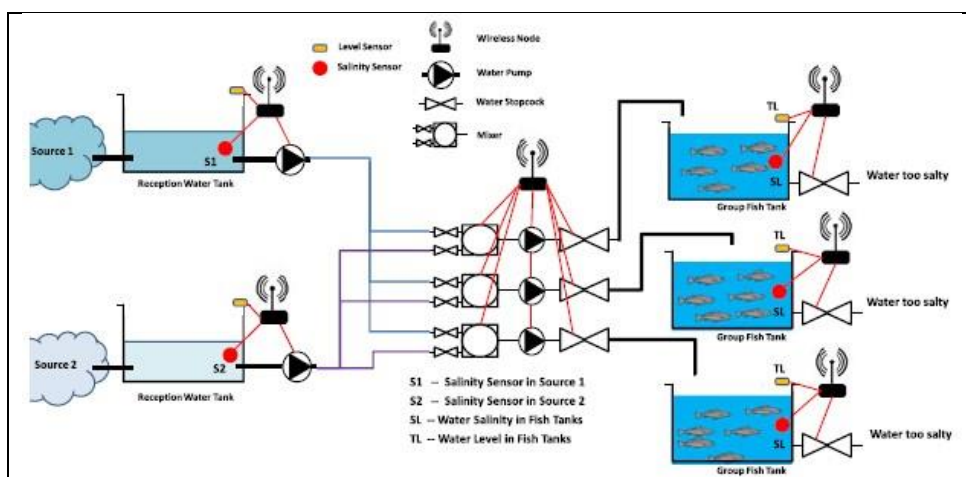
Ένα αποδοτικό υποβρύχιο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων για μακροχρόνια παρακολούθηση του περιβάλλοντος των υδατοκαλλιέργειών δημιουργήθηκε από τους Cario *et al.* (2017). Οι παράμετροι που μετρήθηκαν από τους αισθητήρες του συστήματος ήταν η θερμοκρασία, το διαλυμένο οξυγόνο, το pH, η αλατότητα, η θολότητα, η χλωροφύλλη, η αμμωνία και ορισμένες αζωτούχες ενώσεις. Η επικοινωνία μεταξύ των υποβρύχιων κόμβων των αισθητήρων έγινε με τα υπερηχητικά μόντεμ SeaModem της AppliCon. Επιπρόσθετα, για την επέκταση του χρόνου ζωής των υποβρύχιων κόμβων χρησιμοποιήθηκαν συσκευές που είχαν τη δυνατότητα της συλλογής ενέργειας από υποβρύχια ρεύματα νερού μέσω κατάλληλων ελίκων. Ακόμη, είχαν σχεδιαστεί και εφαρμοστεί μηχανισμοί αναστολής λειτουργίας στους υποβρύχιους κόμβους για ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας του συστήματος κατά τη διάρκεια των περιόδων αναμονής. Οι κόμβοι συλλογής δεδομένων επικοινωνούσαν ασύρματα μέσω δικτύου 3G/4G με την κεντρική μονάδα επεξεργασίας στην οποία αποστέλλονταν τα δεδομένα. Επιπλέον, το σύστημα ήταν συνδεδεμένο στο Διαδίκτυο επιτρέποντας στους χρήστες να αλληλεπιδρούν εύκολα με αυτό σε πραγματικό χρόνο. Η απόδοση του συγκεκριμένου συστήματος αξιολογήθηκε με την εφαρμογή του για την παρακολούθηση της ποιότητας του νερού σε τρεις ιχθυοκλωβούς που βρίσκονται σε μονάδα εκτροφής στη Μεσόγειο Θάλασσα της Ιταλίας. Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του έδειξαν ότι είναι κατάλληλο για μακροχρόνια παρακολούθηση παρέχοντας αξιόπιστα και ακριβή δεδομένα.



Εικόνα 3.15: Αριστερά: Οι αισθητήρες μέτρησης των παραμέτρων του νερού και το υπερηχητικό SeaModem. Δεξιά: Έλικα παροχής ενέργειας (Πηγή: Cario *et al.*, 2017)

Σε χειρσαίες εγκαταστάσεις υδατοκαλλιέργειας που εφαρμόζονται κλειστά συστήματα νερού μπορεί να δημιουργηθούν προβλήματα στους εκτρεφόμενους οργανισμούς λόγω των απωλειών του νερού, που οφείλονται είτε στη εξάτμιση του νερού μέσω της έκθεσης των δεξαμενών στον ήλιο, είτε στη διαρροή του από τις εγκαταστάσεις. Οι Parra *et al.* (2017) πρότειναν ένα σύστημα ασύρματου δικτύου αισθητήρων για την παρακολούθηση και τον έλεγχο της αλατότητας και της στάθμης του νερού σε τεχνητές δεξαμενές εκτροφής ιχθύων. Για τη μέτρηση της αλατότητας ο τύπος αισθητήρα προτάθηκε να χρησιμοποιεί την ποτενσιομετρική μέθοδο με 2

πνία. Η παροχή του νερού στις δεξαμενές εκτροφής γινόταν από δύο σωλήνες που βρίσκονταν σε διαφορετικά σημεία στη θάλασσα. Οι αισθητήρες μέτρησης της αλατότητας ήταν τοποθετημένοι τόσο στα εξωτερικά σημεία παροχής του νερού όσο και μέσα στις δεξαμενές εκτροφής. Η επικοινωνία μεταξύ των κόμβων των αισθητήρων γινόταν με διαφορετικές ασύρματες τεχνολογίες: WiFi στους εξωτερικούς και Bluetooth στους εσωτερικούς για εξοικονόμηση ενέργειας. Το νερό που προοριζόταν για τις δεξαμενές προτού εισέλθει σε αυτές, έμπαινε σε συσκευές ανάμειξης ώστε να υπάρχει η σωστή αναλογία και να επιτευχθεί η επιθυμητή τιμή της αλατότητας του νερού. Στο σύστημα, εκτός από τους αισθητήρες μέτρησης της αλατότητας και της στάθμης του νερού συμμετείχαν οι αντλίες νερού και οι βαλβίδες νερού. Όλα τα εξαρτήματα και οι συσκευές ήταν συνδεδεμένες και ελεγχόμενες από ασύρματους κόμβους που λάμβαναν κατάλληλες εντολές για τη λειτουργία τους από την κεντρική μονάδα επεξεργασίας. Το προτεινόμενο αυτόνομο σύστημα είχε τη δυνατότητα να ρυθμίζει την αλατότητα της κάθε δεξαμενής ανάλογα με τις ανάγκες, επιλέγοντας την παροχή ενός μείγματος νερού και από τους δύο σωλήνες ή την παροχή νερού μόνο από τον ένα σωλήνα. Για τον έλεγχο της εφαρμογής του συστήματος χρησιμοποιήθηκαν πραγματικά δεδομένα και σενάρια εκτροφής. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η εφαρμογή του θα ήταν αποτελεσματική σε κλειστά συστήματα εκτροφής, καθώς μέσω των αυτοματισμών θα βελτιωνόταν η ποιότητα του νερού.



Εικόνα 3.16: Η διαμόρφωση του προτεινόμενου συστήματος ασύρματου δικτύου αισθητήρων από τους Parra *et al.* (2017)

3.4.2 Παρακολούθηση της συμπεριφοράς των εκτρεφόμενων οργανισμών

Η παρακολούθηση της συμπεριφοράς των υδρόβιων οργανισμών, είναι ένας τύπος βιολογικής παρακολούθησης που διερευνά τις περιβαλλοντικές συνθήκες εξετάζοντας τη συμπεριφορά και τις αντιδράσεις των οργανισμών και μελετά τις σχέσεις τους με το περιβάλλον διαβίωσης. Η παρακολούθηση της συμπεριφοράς αποτελεί μια αποτελεσματική προσέγγιση για τη

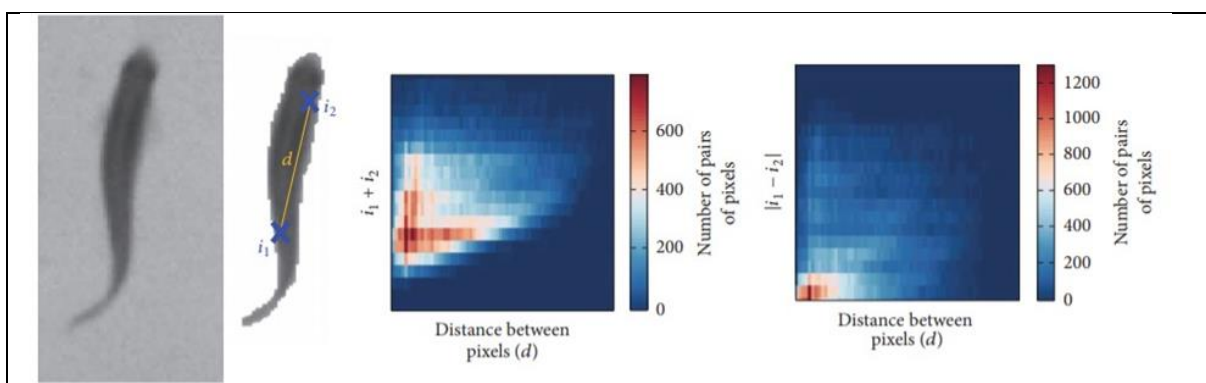
μακροπρόθεσμη παρακολούθηση των υδάτινων οικοσυστημάτων και την αξιολόγηση της ποιότητας των υδάτων (Xia et al., 2018).

Η συμπεριφορά των ζωντανών οργανισμών μπορεί να αντιπροσωπεύει τους δυνητικά άγνωστους κινδύνους στο υδάτινο οικοσύστημα. Οι συνέπειες της διατάραξης (τοξικότητες, χημικές ουσίες, κ.ά) ή της μεταβολής των χαρακτηριστικών του νερού θα μπορούσαν να αποκαλυφθούν με παρακολούθηση συμπεριφοράς που είναι ανέξοδη σε σύγκριση με τους φυσικοχημικούς αισθητήρες. Οι ιχθύες αποτελούν μία κατηγορία ειδών δεικτών για την αξιολόγηση της ποιότητας του νερού λόγω της ευαισθησίας τους στις αλλαγές των περιβαλλοντικών παραμέτρων (Ik Joon et al., 2009; Xia et al., 2018). Η μελέτη της συμπεριφοράς των ιχθύων τα τελευταία χρόνια οδήγησε στην ανάπτυξη νέων τεχνικών παραγωγής, στη βελτίωση των ήδη υπαρχόντων, καθώς και στην εφαρμογή νέων τεχνολογιών στον κλάδο των Υδατοκαλλιεργειών. Εκτός όμως από τις Υδατοκαλλιέργειες, η γνώση και η μελέτη της συμπεριφοράς των ιχθύων παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη διαχείριση των αλιευτικών πόρων, καθώς επίσης και στη διαχείριση της ρύπανσης των υδάτων (Niu et al., 2018).

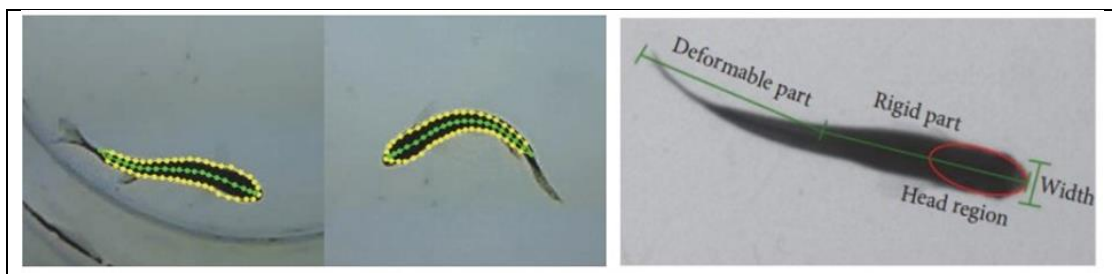
Αρκετοί ερευνητές έχουν εστιάσει στο γεγονός αυτό, δηλαδή ότι η “κακή” ποιότητα του νερού εκτροφής αντανάκλαται στη συμπεριφορά των εκτρεφόμενων σε αυτό οργανισμών. Για το λόγο αυτό έχουν γίνει διάφορες μελέτες παρακολούθησης και αξιολόγησης της συμπεριφοράς εκτρεφόμενων ειδών προκειμένου να αξιολογηθεί η ποιότητα του νερού εκτροφής. Η μελέτη της συμπεριφοράς των υδρόβιων οργανισμών μπορεί να περιλαμβάνει τη γενική συμπεριφορά της δραστηριότητας τους, τη συμπεριφορά τους στην κολύμβηση, την αντίδρασή τους στην καταπόνηση (stress), τη συμπεριφορά τους κατά τη διατροφή κ.ά. (Niu et al., 2018). Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται συνήθως για την παρακολούθηση της συμπεριφοράς των ιχθύων χρησιμοποιούν οπτικά ή/και ακουστικά μέσα (Conti et al., 2006; Parra et al., 2018a).

Οι Xia *et al.* (2018), πραγματοποίησαν μια έρευνα περιγράφοντας τη σημασία της παρακολούθησης της συμπεριφοράς των εκτρεφόμενων ειδών μέσα στο περιβάλλον εκτροφής τους. Στην έρευνά τους παρουσίασαν τη λειτουργία πολυάριθμων συστημάτων παρακολούθησης μέσω κάμερας. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποίησαν αισθητήρες ψηφιακής απεικόνισης (digital imaging sensors), προκειμένου να καταγραφούν οι κινήσεις των οργανισμών. Η παρακολούθηση των κινήσεων έγινε σε πραγματικό χρόνο με την καταγραφή τους σε βίντεο κλιπ, η ανάλυση των οποίων πραγματοποιήθηκε επίσης σε πραγματικό χρόνο μέσω διαφόρων λογισμικών ανάλυσης και παρακολούθησης, ώστε να υπολογίζονται οι πιθανοί κίνδυνοι εκείνη τη στιγμή. Τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν βασίζονται σε αριθμητικά μοντέλα συμπεριφοράς που έχουν υπολογιστεί μέσω στατιστικής ανάλυσης και μαθηματικών

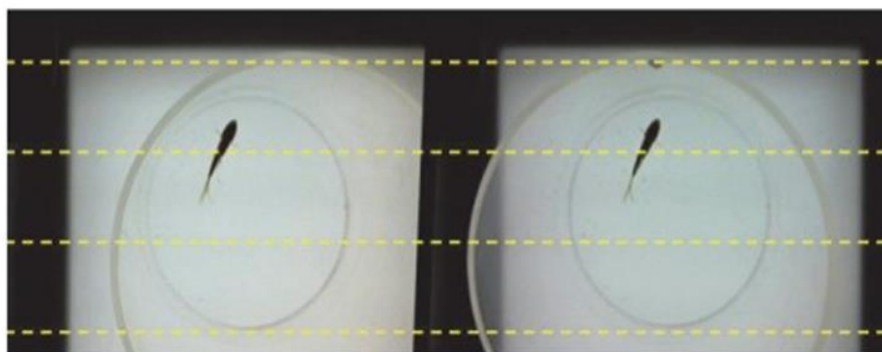
μοντέλων. Η παρακολούθηση των οργανισμών έγινε με δισδιάστατη (2D) και με τρισδιάστατη (3D) εικόνα. Γενικά, η δισδιάστατη παρατήρηση καταγράφει την κίνηση των οργανισμών σε έναν δισδιάστατο χώρο και συνήθως, χρησιμοποιείται μια μεμονωμένη κάμερα για τη λήψη εικόνων από την κάτοψη ή την πλευρική προβολή. Ωστόσο παρουσιάζει ορισμένα μειονεκτήματα, ανάμεσα στα οποία είναι ότι δεν μπορεί να υπολογίσει το βάθος στο οποίο βρίσκεται ένας οργανισμός και γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιείται η τρισδιάστατη παρατήρηση που είναι πιο ακριβής και εξειδικευμένη. Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένες εικόνες όπως καταγράφηκαν από τα διάφορα συστήματα παρακολούθησης που παρουσιάστηκαν στη συγκεκριμένη μελέτη.



Εικόνα 3.17: Δισδιάστατη παρακολούθηση και υπολογισμός των χαρακτηριστικών του οργανισμού μέσω του αλγόριθμου “Fingerprint” (Πηγή: Xia et al., 2018)



Εικόνα 3.18: Δισδιάστατη παρακολούθηση ιχθύων. Αριστερά: Μεμονωμένα άτομα ιχθύων με κίτρινο περίγραμμα στο σώμα τους και πράσινο στο σκελετό τους. Δεξιά: Παρακολούθηση ιχθύων με ανίχνευση του κεφαλιού του ιχθύος (Πηγή: Xia et al., 2018)



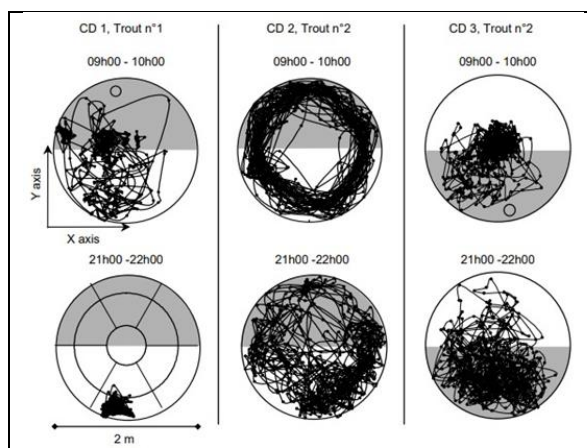
Εικόνα 3.19: Τρισδιάστατη παρακολούθηση ιχθύων με κάμερα (Πηγή: Xia et al., 2018)

Οι Conti *et al.* (2006), χρησιμοποιώντας την ακουστική τηλεμετρία πραγματοποίησαν μία πειραματική μελέτη για να παρακολουθήσουν τη συμπεριφορά των ιχθύων μέσα σε δεξαμενές,

καθώς επίσης και για να προσδιορίσουν την πυκνότητα και το ρυθμό ανάπτυξής τους. Για καλύτερα αποτελέσματα χώρισαν τη μελέτη τους σε τρία επιμέρους πειράματα. Στο πρώτο πείραμα προσδιορίστηκε η πυκνότητα ατόμων λαβρακιού (*Dicentrarchus labrax*) με τη χρήση ακουστικού αισθητήρα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι μπορεί να γίνει μια πολύ καλή εκτίμηση του αριθμού των ιχθύων σε δεξαμενές με χαμηλή σχετικά πυκνότητα. Στο δεύτερο πείραμα μελετήθηκε η συμπεριφορά τριών ειδών ιχθύων· της σαρδέλας (*Sardinops sagax caeruleus*), του πετρόψαρου (*Sebastes paucispinis*) και του λαβρακιού. Η παρακολούθηση της συμπεριφοράς των ιχθύων έγινε τόσο με ακουστικούς αισθητήρες όσο και με τη χρήση καμερών. Η συμπεριφορά των τριών ειδών ιχθύων ήταν διαφορετική και οι μετρήσεις των ακουστικών αισθητήρων απέδειξαν αυτές τις διαφορές. Τα πετρόψαρα και τα λαβράκια παρουσίασαν διαφορετική δραστηριότητα, κολυμπώντας πιο γρήγορα και διαταράσσοντας την επιφάνεια του νερού των δεξαμενών, όταν κάποιος πλησίαζε τις δεξαμενές. Αντίθετα, οι σαρδέλες παρουσίασαν παρόμοια συμπεριφορά όταν άνοιγε ή έκλεινε το φως των δεξαμενών. Επιπλέον, σύμφωνα με τις μετρήσεις οι σαρδέλες παρουσίασαν διαφορετική συμπεριφορά κατά τη διάρκεια της μέρας και της νύχτας, κάτι που δεν παρατηρήθηκε για τα άλλα δύο είδη των εξεταζόμενων ιχθύων. Την ημέρα οι σαρδέλες κολυπούσαν σε κοπάδι και κυκλικά κατά μήκος των δεξαμενών, ενώ τη νύχτα κολυπούσαν ατομικά. Στο τρίτο πείραμα με τη χρήση των ακουστικών αισθητήρων μετρήθηκε ο ρυθμός ανάπτυξης σε άτομα σαρδέλας. Η συγκεκριμένη μέθοδος, που είναι μη επεμβατική έδειξε πολύ καλά αποτελέσματα για τον υπολογισμό του βάρους των ιχθύων. Οι ερευνητές της συγκεκριμένης πειραματικής μελέτης πρότειναν τη χρήση της ακουστικής τηλεμετρίας, καθώς με βάση τα αποτελέσματά της μπορεί να γίνει παρακολούθηση ορισμένων σημαντικών παραμέτρων της εκτροφής απομακρυσμένα και χωρίς καμία ανθρώπινη παρέμβαση που μπορεί να προκαλέσει ενόχληση στους ιχθύς.

Ακουστική τηλεμετρία εφάρμοσαν επίσης οι Bégout Anras & Lagardère (2004) σε πειραματική τους μελέτη, προκειμένου να εξετάσουν τη συμπεριφορά της κολύμβησης ατόμων ιριδιζουσας πέστροφας (*Oncorhynchus mykiss*) που εκτρέφονταν σε δεξαμενές. Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν υπερηχητικοί πομποί, οι οποίοι με τη χρήση αναισθησίας και εξωτερικών ραμμάτων τοποθετήθηκαν κοντά στο ραχιαίο πτερύγιο των ιχθύων. Εκτός από τους πομπούς, το σύστημα περιλάμβανε έναν υπερηχητικό αναμεταδότη και τέσσερα υδρόφωνα συνδεδεμένα με μια κεραία λήψης. Η συμπεριφορά των ιχθύων στην κολύμβηση μελετήθηκε σε συνάρτηση με τρεις διαφορετικές πυκνότητες (27, 80 και 136 kg/m³). Τα αποτελέσματα παρουσίασαν μεταβολές στη δραστηριότητα της κολύμβησης, η οποία επηρεάστηκε από την πυκνότητα των ιχθύων μέσα στις δεξαμενές (Εικόνα 3.20) Στη δεξαμενή με την υψηλότερη πυκνότητα (136 kg/m³) οι πέστροφες παρουσίασαν υψηλό επίπεδο δραστηριότητας τη νύχτα που έφτανε σχεδόν

το ημερήσιο. Αυτό ήταν κάτι που δεν παρατηρήθηκε στις δύο πιο χαμηλές πυκνότητες. Οι ερευνητές της συγκεκριμένης μελέτης θεωρούν πως η μέθοδος που χρησιμοποίησαν δίνει πολύ καλά αποτελέσματα που μπορούν να αξιολογηθούν απομακρυσμένα και χωρίς να επηρεαστούν οι περιβαλλοντικές συνθήκες των εκτρεφόμενων οργανισμών.

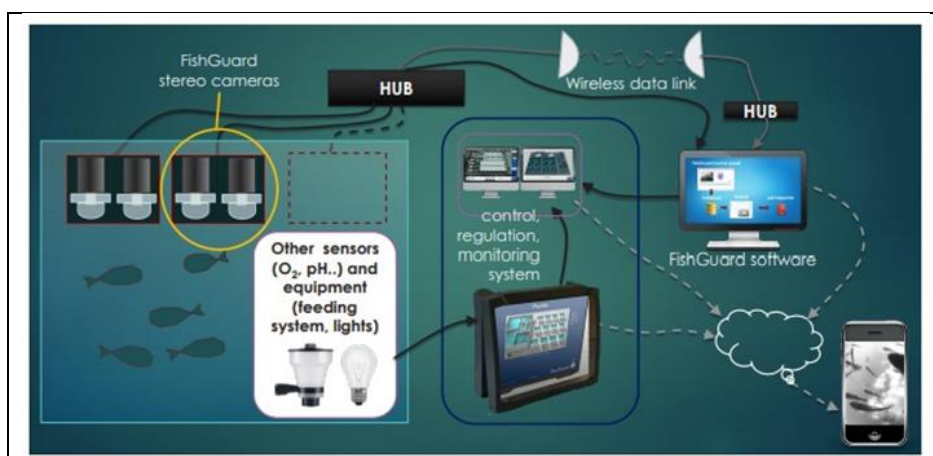


Εικόνα 3.20: Αντιπροσωπευτικά παραδείγματα διαδρομών κολύμβησης ενός ατόμου κατά τη διάρκεια μίας ώρας την ημέρα και μίας ώρας τη νύχτα (Πηγή: Bégout Anras & Lagardère, 2004)

Σε μια άλλη μελέτη, οι Polonschii & Gheorghiu (2016), δημιούργησαν ένα σύστημα παρακολούθησης των εκτρεφόμενων ιχθύων, ικανό να εκτιμήσει τη φυσιολογική συμπεριφορά και τις αντιδράσεις τους σε σχέση με τη συνολική ποιότητα του υδάτινου περιβάλλοντός τους. Για το πείραμα χρησιμοποιήθηκαν οξύρρυγχοι του είδους *Acipenser stellatus*, οι οποίοι τοποθετήθηκαν σε γυάλινες δεξαμενές με ιδανικές παραμέτρους του νερού εκτροφής για το συγκεκριμένο είδος ιχθύος. Η παρακολούθηση της συμπεριφοράς των ιχθύων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση υποβρύχιων υπερηχητικών αισθητήρων οι οποίοι έστελναν συνεχώς σήμα σχετικά με τη θέση των οργανισμών μέσα στις δεξαμενές. Οι αναλύσεις των εικόνων που εμφανίζονταν στον υπολογιστή από το σήμα των αισθητήρων καταγράφονταν και αναλύονταν με το πρόγραμμα Labview. Προκειμένου να διερευνηθεί η επίδραση των παραμέτρων του νερού στη φυσιολογική συμπεριφορά των εκτρεφόμενων ιχθύων, οι ερευνητές προκαλούσαν ορισμένες μεταβολές στη διαχείριση της εκτροφής. Όταν οι αντλίες παροχής τεχνητού οξυγόνου έκλεισαν για ορισμένες ώρες, παρατηρήθηκε μια διαρκής κίνηση των ιχθύων προς την ανώτερη πλευρά της δεξαμενής και μια προσπάθεια να βγάλουν τα ρύγχη τους έξω από το νερό. Ακολούθως, όταν σταμάτησε η παροχή τροφής για αρκετές ημέρες, η συμπεριφορά των οξύρρυγχων άλλαξε. Δεν κολυμπούσαν κατά μήκος των τειχών των δεξαμενών αλλά κάθονταν στον πυθμένα της δεξαμενής ψάχνοντας για φαγητό. Τέλος, όταν μεταβλήθηκε το pH του νερού σε 4,5 (ήταν πιο όξινο από τη βέλτιστη τιμή pH για το συγκεκριμένο είδος) παρατηρήθηκε πάλι μικρή δραστηριοποίηση των ιχθύων. Συμπερασματικά, η μελέτη αυτή έδειξε ότι το σύστημα που χρησιμοποιήθηκε είναι σε θέση να

παρακολουθεί τη συμπεριφορά των ιχθύων, να εκτιμά τις σχετικές μεταβολές ως συνάρτηση της ποιότητας των υδάτων και να λειτουργεί ως αυτοματοποιημένο βιολογικό σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης για συνεχή παρακολούθηση της ποιότητας του νερού εκτροφής.

Σε μία άλλη μελέτη, οι Blackburn *et al.* (2017) δημιούργησαν το σύστημα παρακολούθησης FishGuard προκειμένου να ελέγχουν την ανάπτυξη των εκτρεφόμενων ειδών στα διάφορα συστήματα υδατοκαλλιέργειών. Οι παράμετροι που λαμβάνονταν υπόψη για τη διεξαγωγή των αποτελεσμάτων ήταν το μέγεθος, ο ρυθμός ανάπτυξης, η ταχύτητα και η συχνότητα της κολύμβησης των ιχθύων. Οι μετρήσεις του συστήματος αυτού πραγματοποιούνταν με χρήση υποβρύχιων καμερών και ανάλυση τριασδιάστατης εικόνας (3D), καθώς και με χρήση διαφόρων τύπων αισθητήρων για τον έλεγχο των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του νερού. Τα δεδομένα που καταγράφονταν, εισάγονταν αυτόματα σε βάση δεδομένων και επεξεργάζονταν από κατάλληλο λογισμικό (εικόνα 3). Οι ερευνητές της συγκεκριμένης μελέτης συμπέραναν ότι αυτό το σύστημα παρακολούθησης παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα, εκ των οποίων τα σημαντικότερα είναι η αυτόματη 24ωρη παρακολούθηση (υπέρυθρο φως τη νύχτα), η μέτρηση του μεγέθους και της ανάπτυξης των ιχθύων συνεχώς και η συνεχής πρόσβαση στις εικόνες και στα δεδομένα μέσω διαδικτύου οποιαδήποτε στιγμή της ημέρας.



Εικόνα 3.21: Σχηματική απεικόνιση που δείχνει τη λειτουργία του συστήματος FishGuard. Οι κάμερες και οι αισθητήρες στέλνουν δεδομένα στο σύστημα διαχείρισης, το οποίο τα επεξεργάζεται με κατάλληλο λογισμικό. Η πρόσβαση στο βίντεο και στα δεδομένα είναι δυνατή μέσω του διαδικτύου οποιαδήποτε στιγμή. (Πηγή: Blackburn *et al.*, 2017)

Ακολούθως, οι Ik Joon *et al.* (2009), διεξήγαγαν μια άλλη πειραματική μελέτη με σκοπό να διερευνήσουν την τοξικότητα του νερού μέσω της συμπεριφοράς των εκτρεφόμενων ιχθύων. Το ιαπωνικό ρυζόψαρο (*Oryzias latipes*) ήταν το είδος που επιλέχθηκε, καθώς έχει αποδειχθεί ως είδος - δείκτης αναφοράς για αρκετές τοξικολογικές μελέτες. Οι ιχθύες τοποθετήθηκαν σε δεξαμενές, στις οποίες το νερό περιείχε διάφορες χημικές ουσίες όπως κυανιούχο κάλιο, φαινόλη κτλ., οι οποίες έχουν καταγραφεί ως τοξικές. Η συμπεριφορά των ρυζόψαρων

καταγράφηκε από δύο κάμερες που βρίσκονταν στο μπροστινό και στο πλαϊνό μέρος της δεξαμενής δοκιμών. Η ανάλυση των εικόνων που τραβήχτηκαν από τις κάμερες έγινε σε τρισδιάστατη μορφή και η επεξεργασία τους για τη λήψη των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε από εξειδικευμένο λογισμικό. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η έκθεση των ιχθύων σε αυτές τις ουσίες για μία ώρα επηρέασε τη συμπεριφορά κολύμβησής τους, τόσο σε διάρκεια όσο και σε συχνότητα και γι' αυτό το συγκεκριμένο είδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης για την παρουσία αυτών των χημικών σε υψηλές συγκεντρώσεις στο νερό.

Οι ιχθύες γενικά είναι οργανισμοί που είναι επιρρεπείς στην καταπόνηση, δηλαδή στο stress. Διάφοροι παράγοντες όπως οι αλλαγές των περιβαλλοντικών συνθηκών της εκτροφής, οι απότομοι ή/και λανθασμένοι χειρισμοί, καθώς και η υψηλή πυκνότητα μπορεί να τους καταπονήσουν και να τους δημιουργήσουν stress. Η εκδήλωση της καταπόνησης συνήθως παρατηρείται από αλλαγές της συμπεριφοράς και σε ορισμένες περιπτώσεις που η καταπόνηση είναι έντονη μπορεί να παρατηρηθεί και θνησιμότητα (Xu et al., 2005; Papadakis et al., 2012; Wu et al., 2015). Αρκετές μελέτες μέσω της παρακολούθησης της συμπεριφοράς των ιχθύων, έχουν προσπαθήσει να προσδιορίσουν την καταπόνησή τους.

Οι Papadakis *et al.* (2012), διεξήγαγαν ένα πείραμα παρακολούθησης και ανάλυσης της συμπεριφοράς των ιχθύων σε τεχνητές δεξαμενές μέσω καμερών. Σκοπός της μελέτης αυτής ήταν να δείξουν ότι το stress που δημιουργείται στους ιχθύς κατά τη διάρκεια της εκτροφής, αποτυπώνεται στη συμπεριφορά τους. Ως παράγοντα stress χρησιμοποίησαν την πυκνότητα της εκτροφής, καθώς αποτελεί μία από τις κυριότερες αιτίες δημιουργίας stress στους εκτρεφόμενους ιχθύς. Η παρατήρηση των δεξαμενών μπορούσε να γίνει ανά πάσα στιγμή, με τη χρήση ενός διαδικτυακού εργαλείου, ενώ υπήρχε η δυνατότητα της απομακρυσμένης διαχείρισης χωρίς να επηρεάζεται η συμπεριφορά των ιχθύων από την ανθρώπινη παρουσία. Για την πραγματοποίηση του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν 9 δεξαμενές χωρισμένες με δίχτυ σε 2 ίσα μέρη, αλλά με διαφορετικά δίχτυα στο κάθε ένα. Στο πρώτο πείραμα, τοποθετήθηκε ένα άρτιο δίχτυ χωρίς βλάβες. Στο δεύτερο το δίχτυ που χρησιμοποιήθηκε ήταν ελαφρώς κατεστραμμένο, έχοντας μία μικρή εγκοπή ακριβώς στη μέση, ενώ στο τρίτο πείραμα το δίχτυ είχε τρεις εγκοπές μέσα από τις οποίες οι ιχθύες μπορούσαν να διασχίσουν και να κολυμπήσουν στην άλλη πλευρά του δικτυού. Οι συμπεριφορές που επιλέχθηκαν για αξιολόγηση ήταν η δραστηριότητα κοντά στο δίχτυ και το δάγκωμα του δικτυού. Οι εικόνες που κατέγραψαν οι κάμερες αποθηκεύτηκαν σε μια βάση δεδομένων και επεξεργάστηκαν από ειδικά σχεδιασμένο λογισμικό. Τα αποτελέσματα του πειράματος έδειξαν ότι το σύστημα κατέγραψε με επιτυχία τη συμπεριφορά των ιχθύων με ελάχιστη απώλεια χρόνου (<21 s σε 24 ώρες), ενώ η ανάλυση ανίχνευσε κάθε αλληλεπίδραση των ιχθύων με το δίχτυ. Συμπερασματικά το σύστημα που

εφαρμόστηκε ήταν οικονομικό και αποτελεσματικό στην παρακολούθηση και ανάλυση της συμπεριφοράς των ιχθύων. Επιπλέον, μπορεί να προσαρμοστεί εύκολα εξετάζοντας διάφορους παράγοντες stress που μπορεί να οφείλονται σε χημικές ή βιολογικές μολυσματικές ουσίες, καθώς επίσης και σε άλλους περιβαλλοντικούς παράγοντες.

Σε μια άλλη μελέτη, οι Wu *et al.* (2015), δημιούργησαν ένα ασύρματο σύστημα βιοαισθητήρων με σκοπό την παρακολούθηση της φυσικής κατάστασης των ιχθύων. Συγκεκριμένα με τη χρησιμοποίηση των βιοαισθητήρων μετρούσαν τη συγκέντρωση της γλυκόζης, η οποία αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους δείκτες stress. Γενικά, η ανάλυση για τη μέτρηση της γλυκόζης γίνεται με λήψη αίματος από τους ιχθύς και είναι μια διαδικασία που επιφέρει σημαντικό stress καθώς απαιτεί αναισθητοποίηση και σύλληψη των ιχθύων πριν από την ανάλυση. Ωστόσο, αυτό το σύστημα καθιστά δυνατή την τεχνητή και χωρίς stress ανάλυση και επιτρέπει την αξιόπιστη παρακολούθηση του stress των ιχθύων σε πραγματικό χρόνο. Ο βιοαισθητήρας εμφυτεύτηκε στο υγρό της εξωτερικής μεμβράνης του ματιού κάθε ιχθύος, καθώς η συγκέντρωση του υγρού αυτού είναι παρόμοια με εκείνη του αίματος. Στη συγκεκριμένη μελέτη, ερευνήθηκε το stress που παρουσιάστηκε λόγω αλλαγών στα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του νερού εκτροφής, συμπεριλαμβανομένου του διαλυμένου οξυγόνου, του pH και των ενώσεων αζώτου και αμμωνίας. Επιπρόσθετα, παρατηρήθηκαν και άλλες αλληλεπιδράσεις συμπεριφοράς όπως η επίθεση και ο οπτικός ερεθισμός. Οι αλλαγές στα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του νερού προκάλεσαν τάσεις για αύξηση στη συγκέντρωση γλυκόζης και κατ' επέκταση των επιπέδων stress, που μειώθηκαν με την αφαίρεση του ερεθίσματος. Η άποψη των ερευνητών της μελέτης αυτής είναι ότι το προτεινόμενο σύστημα βιοαισθητήρων θα μπορούσε να είναι χρήσιμο για την ταχεία, αξιόπιστη και απλή ανάλυση της φυσιολογικής κατάστασης των ιχθύων, καθώς αντικατοπτρίζει με ακρίβεια το stress που βιώνουν κατά τη διάρκεια της εκτροφής.

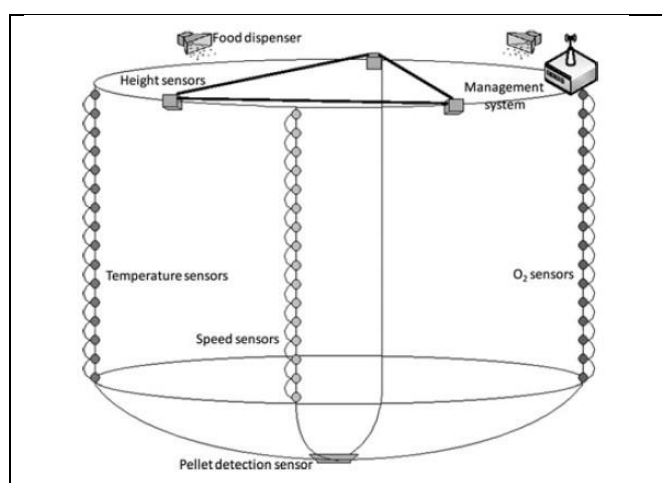
Οι Xu *et al.* (2005) προκειμένου να προσδιορίσουν το επίπεδο stress σε άτομα τιλάπιας (*Oreochromis niloticus*), πραγματοποίησαν ένα πείραμα μελετώντας τη συμπεριφορά τους σε νερό εκτροφής με διαφορετικά επίπεδα αμμωνίας. Αρχικά, οι τιλάπιες τοποθετήθηκαν σε δεξαμενές λίγων ατόμων ώστε να εγκλιματιστούν στις περιβαλλοντικές συνθήκες της εκτροφής. Στη συνέχεια, καταγράφηκαν οι αλλαγές της συμπεριφοράς τους σε διαφορετικά επίπεδα αμμωνίας (2.0, 12.0, 40.0 mg/L), ενώ η θερμοκρασία, το επίπεδο του οξυγόνου και το pH είχαν σταθερές τιμές. Η παρακολούθηση της συμπεριφοράς των ιχθύων πραγματοποιήθηκε από κάμερες, οι οποίες κατέγραφαν συνεχώς τις κινήσεις τους και κατόπιν οι εικόνες μεταδόθηκαν σε έναν κεντρικό υπολογιστή για επεξεργασία. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μελέτης, τα διαφορετικά επίπεδα αμμωνίας επηρέασαν τη συμπεριφορά των

τιλαπιών. Σε χαμηλές συγκεντρώσεις αμμωνίας οι ιχθύες παρουσίασαν φυσιολογική συμπεριφορά, κολυμπώντας σε όλη τη δεξαμενή και προς όλες τις κατευθύνσεις. Σε μέτρια επίπεδα συγκέντρωσης της αμμωνίας παρατηρήθηκαν αλλαγές στη συμπεριφορά τους, τόσο στην κατεύθυνση όσο και στην κατανομή μέσα στις δεξαμενές. Σε υψηλά επίπεδα αμμωνίας προκλήθηκε σημαντική αύξηση της δραστηριότητάς τους (ιδιαίτερα κατά την 1^η ώρα), με έντονη τη συμπεριφορά αποφυγής των συνθηκών που επικρατούσαν. Με την πάροδο του χρόνου μειώθηκε η κολυμβητική δραστηριότητα των ιχθύων, οι οποίοι βυθίστηκαν σταδιακά στον πυθμένα της δεξαμενής και παρέμειναν εκεί ώσπου το 36% από αυτούς δεν επέζησε. Οι ερευνητές του πειράματος αυτού συμπέραναν πως αυτή η μέθοδος παρακολούθησης και ανάλυσης της συμπεριφοράς των ιχθύων σε πραγματικό χρόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση του stress στα διάφορα συστήματα υδατοκαλλιέργειας και να βοηθήσει στη μείωση των απωλειών της παραγωγής.

Ένα ακόμη πρόβλημα που αντιμετωπίζει ο κλάδος των Υδατοκαλλιεργειών είναι η απώλεια τροφής κατά τη διάρκεια του ταΐσματος των εκτροφόμενων ιχθύων. Έχει υπολογιστεί ότι η χαμένη ποσότητα τροφής σε θαλάσσιους ιχθυοκλωβούς είναι περίπου 8,6% της συνολικής προσφερόμενης τροφής. Λαμβάνοντας υπόψη ότι τα έξοδα διατροφής αντιπροσωπεύουν σχεδόν το 60% των συνολικών δαπανών σε μία μονάδα εκτροφής ιχθύων, η απώλεια τροφής μεταφράζεται σε σημαντικές οικονομικές απώλειες. Παράλληλα, τα υπολείμματα από την τροφή που δεν καταναλώνεται, συσσωρεύονται στο βυθό της θαλάσσιας περιοχής της εκτροφής δημιουργώντας διάφορα περιβαλλοντικά προβλήματα (Garcia et al., 2010b). Αρκετοί ερευνητές, με βάση τη συμπεριφορά των ιχθύων, εργάζονται πάνω σε διάφορες εφαρμογές προκειμένου να ελέγχονται καλύτερα οι απώλειες της τροφής ώστε να ελαχιστοποιηθούν τα προβλήματα που προκαλούν τόσο στις εκμεταλλεύσεις από οικονομικής πλευράς όσο και στο περιβάλλον από πλευράς οικολογίας.

Οι Garcia *et al.* (2010b), πρότειναν ένα σύστημα ελέγχου της παροχής τεχνητού σιτηρεσίου σε μονάδα εκτροφής ιχθύων σε θαλάσσιους ιχθυοκλωβούς. Η δημιουργία του συστήματος βασίστηκε στην παρακολούθηση της συμπεριφοράς των ιχθύων μέσα στους ιχθυοκλωβούς. Προκειμένου οι ερευνητές να μπορούν να προβλέπουν το πότε οι ιχθύες είναι πεινασμένοι ή όχι, ήταν αναγκαίο να συμπεριλάβουν διάφορες παραμέτρους στην έρευνά τους όπως τη συμπεριφορά των ιχθύων όταν πεινάνε, την επίδραση άλλων παραγόντων της εκτροφής στη συμπεριφορά των ιχθύων, ακόμα και την επίδραση του μεγέθους των κλωβών στους ιχθύς. Για το λόγο αυτό χρησιμοποίησαν διάφορους τύπους αισθητήρων, όπως αισθητήρες μέτρησης της θερμοκρασίας και του οξυγόνου, αισθητήρες ανίχνευσης της ταχύτητας των ιχθύων, αισθητήρες ανίχνευσης βιομάζας, αισθητήρες ανίχνευσης των σύμπηκτων της τροφής, κάμερες

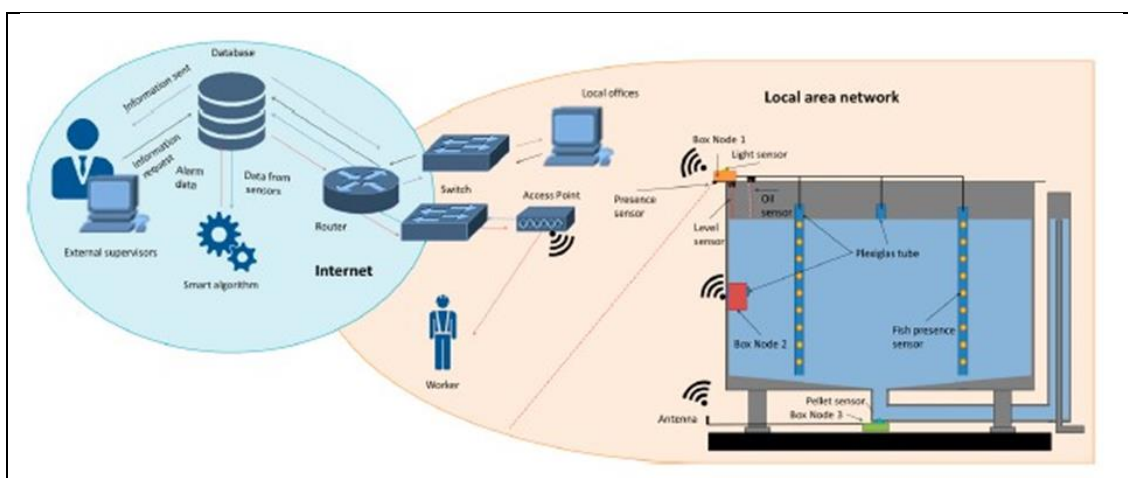
για την ανίχνευση της παρουσίας άλλων ειδών ιχθύων και αισθητήρες μέτρησης του ρεύματος του νερού. Τα δεδομένα από όλους τους τύπους των αισθητήρων συλλέχθηκαν και αποθηκεύτηκαν στο κεντρικό σύστημα προκειμένου να επεξεργαστούν από κατάλληλο αλγόριθμο. Ο αλγόριθμος που σχεδιάστηκε, ώστε να δίνει αποτελέσματα σχετικά με το αν πρέπει ή όχι να ταϊστούν οι ιχθύες, λάμβανε υπόψη όλες αυτές τις παραμέτρους καθώς επίσης και ορισμένες άλλες όπως το είδος του ιχθύος, την εποχή της εκτροφής κ.ά. Όταν τα δεδομένα έδειχναν ότι υπάρχει περίσσεια τροφής στο κάτω μέρος, σήμαινε ότι οι ιχθύες δεν τρώνε και έτσι η διαδικασία τροφοδοσίας σταματούσε. Η προσομοίωση του συστήματος έγινε με χρήση πραγματικών δεδομένων από μονάδες εκτροφής τσιπούρας (*Sparus aurata*) και λαβρακιού (*Dicentrarchus labrax*) που βρίσκονται στην περιοχή της Μεσογείου. Τα αποτελέσματα από την προσομοίωση του συστήματος έδειξαν ότι το συγκεκριμένο σύστημα μπορεί να εφαρμοστεί με επιτυχία μειώνοντας τα προβλήματα που προκαλεί η απώλεια της τροφής τόσο στην οικονομία της επιχείρησης όσο και στο περιβάλλον. Ένα από τα πλεονεκτήματα του συστήματος αυτού είναι ότι λαμβάνει τις μετρήσεις απευθείας από τους ιχθυοκλωβούς, γεγονός που επιτρέπει αποτελεσματικό έλεγχο στο μηχανισμό της τροφοδοσίας. Επιπλέον, η διαδικασία της τροφοδοσίας ελέγχεται αυτόματα και μειώνεται ο αριθμός των ατόμων που χρειάζεται να την επιβλέπουν.



Εικόνα 3.22: Η διαμόρφωση του συστήματος ασύρματου δικτύου αισθητήρων από τους Garcia *et al.* (2010b)

Σε μια άλλη μελέτη οι Parra *et al.* (2018a), χρησιμοποίησαν ένα σύνολο αισθητήρων με σκοπό τη δημιουργία ενός συστήματος παρακολούθησης της ποιότητας του νερού σε τεχνητές δεξαμενές εκτροφής και της συμπεριφοράς των ιχθύων κατά τη διάρκεια του ταΐσματος. Η παρακολούθηση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση ασύρματου δικτύου αισθητήρων το οποίο βασίστηκε σε φυσικούς αισθητήρες, αποτελούμενους από απλά ηλεκτρονικά εξαρτήματα. Οι αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν στο συγκεκριμένο σύστημα μετρούσαν διαφορετικές παραμέτρους της ποιότητας του νερού (όπως η θερμοκρασία, η θολότητα, η αλατότητα κτλ.),

των περιβαλλοντικών συνθηκών των δεξαμενών (όπως ο φωτισμός και η στάθμη του νερού) και της συμπεριφοράς των ιχθύων (όπως το βάθος και η ταχύτητα κολύμβησης, καθώς και τα υπολείμματα τροφής). Επιπλέον, το σύστημα χρησιμοποιούσε άλλους τύπους αισθητήρων, όπως τον αισθητήρα υγρασίας, ο οποίος λειτουργούσε ως σύστημα έκτακτης ανάγκης για την αποφυγή ζημιών που προκαλούνται από το νερό στον κόμβο των αισθητήρων και σε άλλα ηλεκτρονικά κυκλώματα. Επίσης, τοποθετήθηκαν αισθητήρες ανίχνευσης παρουσίας σε κάθε δεξαμενή για έλεγχο των πιθανών επιπτώσεων στη συμπεριφορά των ιχθύων από τη διέλευση των εργαζομένων κοντά στις δεξαμενές. Η αρχιτεκτονική του συστήματος της συγκεκριμένης μελέτης παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.23.

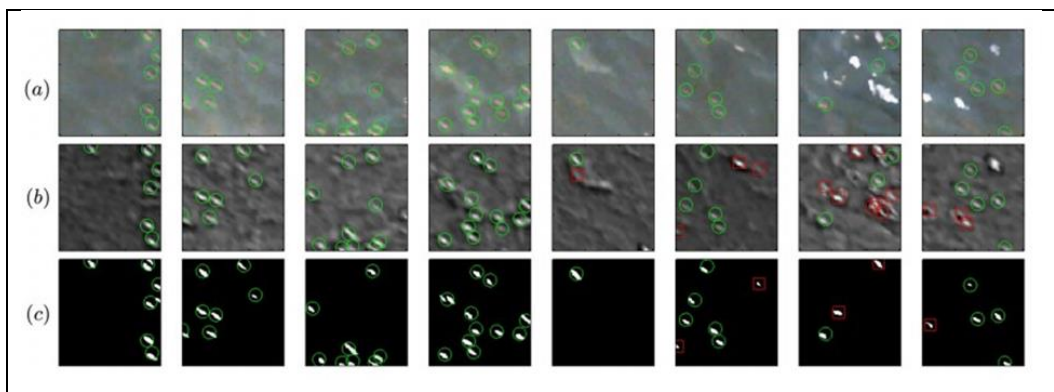


Εικόνα 3.23: Αρχιτεκτονική του συστήματος που εφάρμοσαν οι Parra *et al.* (2018a)

Ένα πλεονέκτημα του συγκεκριμένου συστήματος ήταν η χρήση ενός έξυπνου αλγόριθμου για τη μείωση της απώλειας ενέργειας κατά την αποστολή των πληροφοριών από τον επικοινωνιακό κόμβο των αισθητήρων στη βάση δεδομένων. Προκειμένου να καταναλώνεται λιγότερη ενέργεια για την αποστολή των δεδομένων, χρησιμοποιήθηκαν αλγόριθμοι που ρύθμιζαν την αποστολή μόνο των σχετικών δεδομένων. Οι πληροφορίες που συλλέγονταν σε κάθε κόμβο, αποστέλλονταν μέσω του τοπικού δικτύου σε μια βάση δεδομένων στο Διαδίκτυο. Κάθε φορά που ανιχνεύονταν μη φυσιολογικές τιμές το σύστημα μέσω έξυπνων αλγορίθμων είχε τη δυνατότητα να στέλνει ειδοποίηση μέσω μηνυμάτων σε εργαζόμενους της μονάδας. Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μελέτης έδειξαν πολύ καλή εφαρμογή του συγκεκριμένου συστήματος τόσο στην παρακολούθηση της συμπεριφοράς των ιχθύων όσο και στην περίσσεια τροφής και λόγω του χαμηλού του κόστους συστήνεται σε όλους του τύπους μονάδων παραγωγής.

Επιπλέον, μία παρόμοια μελέτη έγινε από τους Atoum *et al.* (2015), οι οποίοι δημιούργησαν ένα αυτόματο σύστημα ελέγχου της διατροφής για ιχθύς που εκτρέφονταν σε δεξαμενές. Σκοπός της μελέτης εκείνης ήταν η συνεχής παρακολούθηση της δραστηριότητας των ιχθύων κατά τη διάρκεια του ταΐσματος, η ανίχνευση της περίσσειας τροφής και εν τέλει ο αυτόματος

έλεγχος της διαδικασίας τροφοδοσίας. Η λειτουργία του συστήματος βασίστηκε στη χρησιμοποίηση καμερών μέσω των οποίων παρακολουθούνταν η συμπεριφορά των ιχθύων σε πραγματικό χρόνο. Αρχικά, το κεντρικό σύστημα επεξεργασίας εικόνων μέσω εξειδικευμένου λογισμικού διέκρινε αν οι ιχθύες καταλάβαιναν ή όχι την προσφερόμενη τροφή, λαμβάνοντας υπόψη τους κυματισμούς και τα ρεύματα που δημιουργούνταν από την κίνηση των ιχθύων, καθώς επίσης και την αντανάκλαση του φωτός. Στη συνέχεια, η περίσσεια τροφής ανιχνευόταν μέσω εξειδικευμένων φίλτρων και αλγόριθμων (Εικόνα 3.24).



Εικόνα 3.24: Η εικόνα (a) δείχνει μέσα στους πράσινους κύκλους την πραγματική τροφή που βρίσκεται στον πυθμένα των δεξαμενών. Η εικόνα (b) δείχνει μέσα στους κόκκινους κύκλους την ψευδή τροφή. Η εικόνα (c) δείχνει σε δυαδική μορφή τις λευκές περιοχές που είναι η τελική ανιχνευόμενη τροφή (Atoum et al., 2015)

Τέλος, ένας ειδικά σχεδιασμένος αλγόριθμος χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα από τη συμπεριφορά των ιχθύων και την περίσσεια της τροφής, έδινε εντολή αυτόματα για τη διακοπή ή τη συνέχεια της παροχής του σιτηρεσίου χωρίς να χρειαστεί ανθρώπινη παρέμβαση. Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μελέτης, έδειξαν ότι το σύστημα που χρησιμοποιήθηκε έχει πολύ καλή εφαρμογή σε δεξαμενές εκτροφής ιχθύων με υψηλή πυκνότητα και η διαδικασία παροχής της τροφής μπορεί να ελεγχθεί αποτελεσματικά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι Υδατοκαλλιέργειες αποτελούν αναμφισβήτητα έναν από τους ταχύτερα αναπτυσσόμενους κλάδους τροφίμων στον κόσμο. Σύμφωνα με τα τελευταία στοιχεία του Παγκόσμιου Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργίας (FAO), μέχρι το 2030 το 65% των αλιευτικών προϊόντων θα προέρχεται από τον κλάδο των Υδατοκαλλιεργειών. Αυτό οφείλεται αφενός στη μείωση του αποθέματος της αλιείας, η οποία τα τελευταία χρόνια έχει σταθεροποιηθεί στους 90 εκατ. τόνους περίπου και αφετέρου στην αυξανόμενη ζήτηση των αλιευτικών προϊόντων από την πλευρά των καταναλωτών. Η αύξηση του πληθυσμού, η βελτίωση του βιοτικού επιπέδου με την αύξηση του εισοδήματος και η αστικοποίηση είναι ορισμένοι παράγοντες που οδήγησαν στην αύξηση της κατανάλωσης των προϊόντων υδατοκαλλιέργειας. Ο σημαντικότερος όμως παράγοντας που συνέβαλε στην αυξανόμενη ζήτηση και έρχεται σε συνάρτηση με τους προηγούμενους είναι το γεγονός πως είναι πλέον γνωστό στο ευρύ κοινό ότι τόσο οι ιχθύες όσο και άλλα προϊόντα υδατοκαλλιέργειας είναι τρόφιμα υψηλής θρεπτικής αξίας και η κατανάλωσή τους έχει πολλαπλά οφέλη για την ανθρώπινη υγεία. Οι ιχθύες και τα οστρακοειδή αποτελούν τη μοναδική φυσική πηγή των περίφημων πολυακόρεστων λιπαρών οξέων της σειράς ω-3, τα οποία συνδέονται με μια σειρά από ευεργετικές ιδιότητες όπως η πρόληψη καρδιοαγγειακών παθήσεων, καρδιακών επεισοδίων, παχυσαρκίας, διαφόρων φλεγμονωδών νόσων, κ.ά.

Τις υψηλές απαιτήσεις των καταναλωτών σε προϊόντα υδατοκαλλιέργειας καλύπτουν τα εντατικά συστήματα εκτροφής που εφαρμόζονται σήμερα σε μεγάλο βαθμό είτε σε ιχθυοκλωβούς ανοιχτής θαλάσσης, είτε σε τεχνητές χερσαίες δεξαμενές. Σε αντίθεση με τα παραγωγικά ζώα ξηράς, οι υδρόβιοι οργανισμοί είναι ιδιαίτερα ευαίσθητοι στο περιβάλλον εκτροφής τους, καθώς έρχονται σε άμεση επαφή με το νερό. Συνεπώς, η ποιότητα του νερού εκτροφής, που διαμορφώνεται από τα φυσικοχημικά του χαρακτηριστικά, είναι καθοριστική για την ανάπτυξη και την επιβίωση των εκτρεφόμενων σε αυτό οργανισμών. Μεγάλο πλήθος ερευνών έχει μελετήσει την επίδραση των διαφόρων παραμέτρων του νερού στους υδρόβιους οργανισμούς. Τα όρια ανοχής στην κάθε παράμετρο είναι διαφορετικά για κάθε υδρόβιο είδος, αλλά και διαφορετικά σε κάθε φυσιολογικό στάδιο της ανάπτυξής του. Τιμές εκτός των βέλτιστων ορίων, μπορεί να έχουν αρνητική επίδραση στις φυσιολογικές λειτουργίες των υδρόβιων οργανισμών, όπως μείωση του ρυθμού ανάπτυξης, δυσλειτουργίες στην αναπαραγωγή, εξασθένιση του ανοσοποιητικού συστήματος, επίδραση στην εκκόλαψη των αυγών και την ανάπτυξη των ιχθυδίων, ακόμα και θνησιμότητα.

Κύριος στόχος των μονάδων εντατικής παραγωγής είναι η βελτίωση της παραγωγικότητάς τους, μέσω της ορθής διαχείρισης και του συνεχούς ελέγχου του περιβάλλοντος εκτροφής.

Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό, απαιτούνταν ο σχεδιασμός συστημάτων με τη δυνατότητα παρακολούθησης πολλαπλών παραμέτρων του νερού εκτροφής και προσαρμογής αυτόματων διαδικασιών που να γίνονται ταυτόχρονα αλλά και ανεξάρτητα. Τα τελευταία χρόνια, η πρόοδος στις τεχνολογίες των ασύρματων επικοινωνιών, η ανάπτυξη διαφόρων τύπων αισθητήρων, αλλά και η δημιουργία εξειδικευμένων λογισμικών ανάλυσης και επεξεργασίας δεδομένων, οδήγησε στο σχεδιασμό διαφόρων συστημάτων ασύρματης παρακολούθησης των περιβαλλοντικών παραμέτρων σε εκτροφές υδατοκαλλιέργειας. Στις μέχρι τώρα συμβατικές μεθόδους ανάλυσης της ποιότητας του νερού, απαιτούνταν συνεχής παρακολούθηση με συχνή δειγματοληψία και στη συνέχεια εργαστηριακές αναλύσεις ώστε να ελεγχθεί η ποιότητα του νερού. Η διαδικασία αυτή εκτός από χρονοβόρα, υπήρχε η πιθανότητα να παρουσιάζει και σφάλματα που οφείλονταν στον ανθρώπινο παράγοντα και μπορούσαν να επηρεάσουν τα αποτελέσματα. Με την εφαρμογή όμως συστημάτων παρακολούθησης μέσω ασύρματων δικτύων αισθητήρων, οι παραγωγοί υδατοκαλλιέργειας ενημερώνονται συνεχώς και σε πραγματικό χρόνο για την ποιότητα του νερού και είναι σε θέση να λαμβάνουν έγκαιρα μέτρα για την αποφυγή οποιουδήποτε προβλήματος.

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, η εφαρμογή των ασύρματων δικτύων αισθητήρων στον κλάδο των Υδατοκαλλιεργειών έχει αποτελέσει αντικείμενο μελέτης για πολλούς ερευνητές. Για την παρακολούθηση της ποιότητας του νερού οι πρακτικές που εφαρμόστηκαν, βασίστηκαν τόσο στη μέτρηση των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του νερού όσο και στη μελέτη της συμπεριφοράς των εκτρεφόμενων σε αυτό οργανισμών. Στο κεφάλαιο 3.4 της διπλωματικής αυτής εργασίας παρουσιάστηκαν αναλυτικά ορισμένες μελέτες που υπάρχουν στη διεθνή βιβλιογραφία και σχετίζονται με την εφαρμογή των ασύρματων δικτύων αισθητήρων στην παρακολούθηση της ποιότητας του νερού εκτροφής σε μονάδες υδατοκαλλιέργειας.

Σε ό,τι αφορά τις μελέτες που έγιναν για τη μέτρηση των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του νερού, οι περισσότερες έχουν εφαρμοστεί σε πραγματικές συνθήκες εκτροφής, για χρονικό διάστημα λίγων μηνών (Zhu et al., 2009; Zhang et al., 2010; Espinosa-Faller & Rendón-Rodríguez, 2012; Chandanapalli et al., 2014; Huan et al., 2014; Simbeye et al., 2014; Simbeye & Yang, 2014; Hongpin et al., 2015; Cario et al., 2017). Διάφοροι τύποι αισθητήρων χρησιμοποιήθηκαν για την παρακολούθηση και τη μέτρηση των κρίσιμων παραμέτρων του νερού, όπως η θερμοκρασία, η αλατότητα, το διαλυμένο οξυγόνο, το pH, η θολότητα και η αμμωνία. Επιπλέον, παρακολούθηση έγινε και σε άλλες παραμέτρους όπως η στάθμη του νερού, η ταχύτητα των ρευμάτων, τα επίπεδα υγρασίας, κ.ά. Εκτός από τους αισθητήρες σε ορισμένα συστήματα ήταν συνδεδεμένες επιπλέον συσκευές όπως αντλία παροχής νερού,

βαλβίδα νερού και συσκευή παροχής οξυγόνου, οι οποίες λειτουργούσαν αυτόματα για τον έλεγχο και τη διαμόρφωση των επιθυμητών χαρακτηριστικών του νερού (Zhang et al., 2010; Lloret et al., 2011; Huan et al., 2014; Simbeye et al., 2014; Simbeye & Yang, 2014; Hongpin et al., 2015). Τέλος ορισμένα συστήματα περιλάμβαναν ειδοποίηση μέσω SMS για την έγκαιρη ενημέρωση των υπευθύνων και του προσωπικού σχετικά με τις τιμές των παραμέτρων του νερού (Zhang et al., 2010; Espinosa-Faller & Rendón-Rodríguez, 2012; Chandanapalli et al., 2014; Simbeye & Yang, 2014), καθώς και εφαρμογές Android για την απομακρυσμένη ενημέρωση και ρύθμιση του συστήματος παρακολούθησης μέσω κινητού τηλεφώνου (Huan et al., 2014).

Εκτός από τις μελέτες που βασίστηκαν στη μέτρηση των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του νερού, στο κεφάλαιο 4.3.2 παρουσιάστηκαν ορισμένες μελέτες που αφορούσαν την παρακολούθηση της συμπεριφοράς των εκτρεφόμενων οργανισμών. Η πρακτική αυτή αποτελεί μια εναλλακτική και πιο οικονομική αλλά αποτελεσματική προσέγγιση για τον προσδιορισμό της ποιότητας του νερού εκτροφής, σύμφωνα με τους ερευνητές που την εφάρμοσαν. Στις μελέτες αυτού του τύπου χρησιμοποιήθηκαν κυρίως ακουστικοί / υπερηχητικοί τύποι αισθητήρων, κάμερες, καθώς και συνδυασμός τους με αισθητήρες μέτρησης διαφόρων παραμέτρων του νερού. Το γεγονός στο οποίο βασίστηκαν οι μελέτες αυτές, ήταν η ευαισθησία των υδρόβιων οργανισμών στο νερό εκτροφής και αξιολόγησαν διάφορους τύπους συμπεριφοράς όπως τη συμπεριφορά στην κολύμβηση (Bégout Anras & Lagardère, 2004; Conti et al., 2006; Ik Joon et al., 2009; Polonschii & Gheorghiu, 2016), την αντίδραση στην καταπόνηση (Xu et al., 2005; Papadakis et al., 2012; Wu et al., 2015) και τη συμπεριφορά τους κατά τη διατροφή (Garcia et al., 2010; Atoum et al., 2015; Polonschii & Gheorghiu, 2016; Parra et al., 2018).

Τα αποτελέσματα των μελετών έδειξαν ότι η εφαρμογή συστημάτων ασύρματων δικτύων αισθητήρων σε εντατικού κυρίως τύπου εκτροφές υδατοκαλλιέργειών, μπορεί να βελτιώσει την απόδοσή τους και να εξασφαλίσει τη βιωσιμότητά τους. Με τη συνεχή παρακολούθηση της ποιότητας του νερού, οι παραγωγοί αλλά και το προσωπικό της εκάστοτε μονάδας είναι σε θέση να γνωρίζουν τις τιμές των παραμέτρων του νερού σε πραγματικό χρόνο ώστε να επεμβαίνουν εγκαίρως αν χρειαστεί. Επιπλέον, μέσω της ασύρματης παρακολούθησης το έργο τους διευκολύνεται, καθώς τα συστήματα του επιτρέπουν την πρόσβαση στα δεδομένα της εκτροφής οποτεδήποτε και από οπουδήποτε. Αυτός ο συνεχής και σε πραγματικό χρόνο έλεγχος συμβάλλει στη βελτίωση της παραγωγικής διαδικασίας, στη βελτίωση της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων υδατοκαλλιέργειας, στην προστασία του υδάτινου περιβάλλοντος, στη μείωση της καταπόνησης των εκτρεφόμενων οργανισμών και στην

πρόληψη των μολυσματικών ασθενειών. Παράλληλα, αυξάνεται το οικονομικό όφελος της μονάδας μέσω της μείωσης του κόστους εργασίας και της κατανάλωσης ενέργειας, αλλά και μέσω του ελέγχου των απωλειών της τροφής και του ζωικού κεφαλαίου.

Ενώ η εφαρμογή των ασύρματων δικτύων αισθητήρων στις χερσαίες εκτροφές έχει αναπτυχθεί σε μεγάλο βαθμό, στις εκτροφές υδατοκαλλιέργειας, αν και παρουσιάζει σημαντικά οφέλη, είναι πιο περιορισμένη. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι η ανάπτυξη του δικτύου γίνεται μέσα στο νερό, το οποίο αποτελεί ένα ιδιαίτερα “δύσκολο” περιβάλλον για την εφαρμογή των αισθητήρων. Από τους πιο περιοριστικούς παράγοντες είναι το κόστος των υποβρύχιων αισθητήρων, οι οποίοι είναι ακριβότεροι συγκριτικά με τους χερσαίους κυρίως λόγω του κόστους των υλικών που χρησιμοποιούνται ώστε να είναι ανθεκτικοί στη διάβρωση του νερού. Ακόμη, το συνολικό κόστος του δικτύου αυξάνεται επιπλέον λόγω της χρησιμοποίησης μεγαλύτερου αριθμού αισθητήρων, ώστε η κατανομή τους να γίνεται τόσο σε οριζόντιο όσο και σε κάθετο επίπεδο στην υδάτινη στήλη. Άλλος περιοριστικός παράγοντας είναι η κατανάλωση ενέργειας, καθώς οι υποβρύχιοι αισθητήρες λόγω του μικρού τους μεγέθους δεν έχουν μεγάλα αποθέματα ενέργειας και παράλληλα λόγω του χαμηλού ρυθμού μετάδοσης των δεδομένων αυξάνονται οι ενεργειακές τους απαιτήσεις και καταναλώνεται γρήγορα η ενέργειά τους. Επίσης, διαδικασίες όπως συντήρηση, αντικατάσταση, καθαρισμός και βαθμονόμηση είναι πιο δύσκολο να πραγματοποιούνται ανά τακτά χρονικά διαστήματα, λόγω της θέσης που είναι τοποθετημένοι μέσα στις εγκαταστάσεις (Yick et al., 2008; Bhambri & Swaroop, 2014; Parra et al., 2018b).

Τέλος, η χρήση ασύρματων δικτύων αισθητήρων, κυρίως για την παρακολούθηση των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του νερού, αποτελεί μια πολύ καλή λύση για τον έλεγχο της ποιότητας του νερού και τη βελτίωση των συνθηκών εκτροφής, παρόλο που το κόστος μπορεί να είναι ακριβό. Αν και υπάρχουν αρκετές μελέτες σχετικά με την εφαρμογή τους στα συστήματα υδατοκαλλιέργειών, προτείνεται η διεξαγωγή και άλλων παρόμοιων μελετών στο μέλλον για περαιτέρω μελέτη και βελτίωση των κυριότερων περιοριστικών παραγόντων που εμποδίζουν την ανάπτυξη των ασύρματων δικτύων αισθητήρων στο περιβάλλον των Υδατοκαλλιεργειών. Σύμφωνα με τις μελέτες που έχουν γίνει έως τώρα, τα κυριότερα θέματα περαιτέρω διερεύνησης για το μέλλον είναι τα εξής:

- Το κόστος των αισθητήρων: το οποίο επηρεάζεται κυρίως από τα υλικά κατασκευής αλλά και από τον αριθμό που θα χρειαστεί να συμμετέχει στο σύστημα. Όσον αφορά τα υλικά κατασκευής, οι αισθητήρες πρέπει να είναι αδιάβροχοι, ανθεκτικοί τόσο απέναντι στη διάβρωση του νερού, όσο και στη βιο-επίστρωση και απέναντι σε άλλους υδρόβιους οργανισμούς. Όσον αφορά τον αριθμό των αισθητήρων σε ένα ασύρματο

δίκτυο, αυτό εξαρτάται από την τοποθέτησή τους μέσα στο υδάτινο περιβάλλον και την τοπολογία του δικτύου.

- Η κατανάλωση και η παροχή ενέργειας: που αποτελεί πολύ σημαντικό παράγοντα για την εφαρμογή του συστήματος. Χρειάζεται να γίνει περαιτέρω έρευνα ώστε να εφαρμόζονται τα κατάλληλα πρωτόκολλα επικοινωνίας με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, να αναπτυχθούν αλγόριθμοι που θα δίνουν τη δυνατότητα της αναστολής λειτουργίας στους αισθητήρες για την εξοικονόμηση ενέργειας και να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικοί τύποι μπαταρίας όπως ηλιακά πάνελ και μπαταρίες λιθίου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσση

- Ackman, R. G. 1990. Seafood Lipids and Fatty Acids. *Food Reviews International* 6: 617-646.
- Agalya, M., Nancy, S. & Selvarasu, R. 2015. Home automation system using Wireless Sensor Networks. *International Journal of Emerging Technology in Computer Science & Electronics* 13: 230-234.
- Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y. & Cayirci, E. 2001. Wireless sensor networks: a survey. *Computer Networks* 38: 393-422.
- Albaladejo, C., Sánchez, P., Iborra, A., Soto, F., López, J. A. & Torres, R. 2010. Wireless Sensor Networks for Oceanographic Monitoring: A Systematic Review. *Sensors* 10: 6948-6968.
- Ali, T. A., Choksi, V. and Potdar, M. B. 2018. Precision Agriculture Monitoring System using Internet of Things (IoT). *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology* 6: 2961-2970.
- Ambrósio, J. C. D. M. 2015. Cloud-based Wireless Sensor Network System for Smart Livestock Monitorization. Master Thesis. Instituto Superior Técnico.
- Ariño, A., Beltrán, J. A., Herrera, A. & Poncalés, P. 2005. Fish. In Caballero, B., Allen, L. & Prentice, A. (Eds.). *Encyclopedia of Human Nutrition*. Oxford: Elsevier Academic Press.
- Arora, P. 2017. Physical, Chemical and Biological Characteristics of Water. [online]. Διαθέσιμο στο:
https://www.researchgate.net/publication/322419790_Physical_Chemical_and_Biological_Characteristics_of_Water_e_Content_Module [ανάκτηση 15/04/2019].
- Atoum, Y., Srivastava, S. & Liu, X. 2015. Automatic Feeding Control for Dense Aquaculture Fish Tanks. *IEEE Signal Processing Letters* 22: 1089-1093.
- Banhazi, T. M., Lehr, H., Black, J L3, Crabtree H4, Schofield P., Tscharke, M. and Berckmans, D. 2012. Precision Livestock Farming: an international review of scientific and commercial aspects. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 5:1-9.
- Bégout Anras, M.L. & Lagardère, J. P. 2004. Measuring cultured fish swimming behaviour: First results on rainbow trout using acoustic telemetry in tanks. *Aquaculture* 240: 175-186.

- Berckmans, D. 2014. Precision livestock farming technologies for welfare management in intensive livestock systems. *Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)* 33: 189-196.
- Beveridge, M. C. M. & Little D. C. (2002). The History of Aquaculture in Traditional Societies. Costa-Pierce, B. A. (Ed.) *In: Ecological Aquaculture*. Oxford: Blackwell Science.
- Bhattacharyya, D., Kim, T. H. & Pal, S. 2010. A Comparative Study of Wireless Sensor Networks and Their Routing Protocols. *Sensors* 10: 10506–10523.
- Bhambri, H. & Swaroop, A. 2014. Underwater sensor network: Architectures, challenges and applications. *In: Proceedings of International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)*, New Delhi, India, 5-7 March 2014.
- Bhavsar, A. R., Shah, D. J. and Arolkar, H. A. 2013. Distributed Data Storage Model for Cattle Health Monitoring Using WSN. *Advances in Computer Science: an International Journal (ACSIJ)* 2: 19-24.
- Blackburn, N., Haecky, P., Engell-Sørensen, K., Nørremark, L., Petersen, P. & Lorenzen, N. 2017. FishGuard: Automatic monitoring of behaviour and growth of fish fry. [online]. Διαθέσιμο στο: http://fishlab.dk/CustomerData/Files/Folders/5-larvi2017-postere/62_larvi-2017-fishguard.pdf [ανάκτηση 10/03/2019].
- Bokare, M. & Ralegaonkar, A. 2012. Wireless Sensor Network. *International Journal of Computer Engineering Science* 2: 55-61.
- Boyd C. E. & Tucker C. S. (eds.). 1998. Pond Aquaculture Water Quality Management. Norwell, Massachusetts, USA: Kluwer Academic Publishers.
- Buentello, A. J., Gatlin D. M. & Neill W. H. 1999. Effects of water temperature and dissolved oxygen on daily feed consumption, feed utilization and growth of channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Aquaculture* 182: 339-352.
- Card, A., Fitch, K., Kelly, D., Kemker, C. & Rose, K. 2014. *Turbidity, Total Suspended Solids and Water Clarity*. Fondriest Environmental, Inc. [online]. Διαθέσιμο στο: <https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/turbidity-total-suspended-solids-water-clarity/>
- Cario, G., Casavola, A., Gjanci, P., Lupia, M., Petrioli, C. & Spaccini, D. 2017. Long Lasting Underwater Wireless Sensors Network for Water Quality Monitoring in Fish Farms. *In: Proceedings of the 60th MTS/IEEE OCEANS Conference*, Aberdeen, Scotland, UK, 19-22 June 2017.

- Chakraborty, K., Joy, M. & Vijayagopal, P. 2016. Nutritional qualities of common edible cephalopods at the Arabian Sea. *International Food Research Journal* 23: 1926-1938.
- Chandanapalli, S. B., Reddy, S. E. & Lakshmi R. D. 2014. Design and Deployment of Aqua Monitoring System Using Wireless Sensor Networks and IAR-Kick. *Journal of Aquaculture Research and Development* 5.
- Chatterjee, A. & Pandey, M. 2014. Practical Applications Of Wireless Sensor Network Based On Military, Environmental, Health And Home Applications: A Survey. *International Journal of Scientific & Engineering Research* 5: 1043-1050.
- Chaudhary, D. D., Nayse, S. P. & Waghmare, L. M. 2011. Application of Wireless Sensor Networks for Greenhouse parameter control in Precision Agriculture. *International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN)* 3: 140-149.
- Chitalkar, S. M., Patil, M., Patil, M., Waghavkar, S. and Surve, Y. 2018. Animal Welfare Monitoring Smart Farming System. *International Journal for Scientific Research & Development (IJSRD)* 6: 2321-0613
- Chong, C. Y. & Kumar, S. P. 2003. Sensor Networks: Evolution, Opportunities, and Challenges. *Proceedings of the IEEE* 91: 1247-1256.
- Chung, Y., Oh, S., Lee, J., Park, D., Chang, H. and Kim, S. 2013. Automatic Detection and Recognition of Pig Wasting Diseases Using Sound Data in Audio Surveillance Systems. *Sensors* 13: 12929–12942.
- Conti, S. G., Roux, P., Fauvel, C., Maurer, B. D. & Demer, D. A. 2006. Acoustical monitoring of fish density, behavior, and growth rate in a tank. *Aquaculture* 251: 314-323.
- Crawford, C. & MacLeod C. 2009. Predicting and assessing the environmental impact of aquaculture. *In*: Burnell, G. & Allan, G. (eds). *New technologies: Improving production efficiency, quality and environmental management*. Cambridge: Woodhead Publishing and CRC Press.
- Day, J., Chopin, T. & Cooper, J. 2015. Comparative study of the aquaculture environmental monitoring programs for marine finfish in Canada and other jurisdictions: time to go beyond sediment related impact monitoring and consider appropriate tools for water column and ecosystem related impact monitoring. *Bulletin of the Aquaculture Association of Canada* 2015: 34-52.

- Dhaneesh, K. V., Devi, K. N., Ajith Kumar, T. T., Balasubramanian, T. & Tissera, K. 2011. Breeding, embryonic development and salinity tolerance of Skunk clownfish *Amphiprion akallopisos*. *Journal of King Saud University – Science*. 24: 1-9.
- Dong, F. M. 2001. The nutritional value of shellfish. University of Washington [online]. Διαθέσιμο στο: <https://wsg.washington.edu/aquaculture/pdfs/Nutritional-Value-of-Shellfish.pdf> [ανάκτηση 08/11/2018].
- Edwards, P. & Demaine, H. 1998. Rural Aquaculture: Overview and Framework for Country Reviews [online]. Διαθέσιμο στο: <http://www.fao.org/3/x6941e/x6941e00.htm#Contents> [ανάκτηση 12/11/2018].
- Erdelj, M., Mitton, N. & Natalizio, E. 2013. Applications of Industrial Wireless Sensor Networks. In: Güngör V. C. & Gerhard P. Hancke G. P. (eds) *Industrial Wireless Sensor Networks: Applications, Protocols and Standards*. New York: CRC Press.
- Espinosa-Faller, F.J. & Redón-Rodríguez, G.E. 2012. A ZigBee Wireless Sensor Network for Monitoring an Aquaculture Recirculating System. *Journal of Applied Research and Technology* 10: 380–387.
- EUMOFA, 2018. The EU Fish Market - 2018 edition [online]. Διαθέσιμο στο: <https://www.eumofa.eu/el/the-eu-fish-market> [ανάκτηση 14/10/2018].
- EUROSTAT, 2017. Agriculture, forestry and fishery statistics - 2017 edition [online]. Διαθέσιμο στο: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/8538823/KS-FK-17-001-EN-N.pdf/c7957b31-be5c-4260-8f61-988b9c7f2316> [ανάκτηση 14/10/2018].
- FAO, 2018. The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 - Meeting the sustainable development goals [online]. Rome, 2018. Διαθέσιμο στο: <http://www.fao.org/3/I9540EN/i9540en.pdf> [ανάκτηση 08/09/2018].
- FEAP, 2017. European Aquaculture Production Report 2008-2016 [online]. Διαθέσιμο στο: <http://feap.info/index.php/data/> [ανάκτηση 23/09/2018].
- Fountas, S., Aggelopoulou, K. & Gemtos T. A. 2015. Precision Agriculture: crop management for improved productivity and reduced environmental impact or improved sustainability. In: Iakovou, E., Bochtis, D., Vlachos, D. & Aidonis, D. (eds). *Supply Chain Management for Sustainable Food Networks*. United Kingdom: John Wiley & Sons.
- Fowler, P., Baird, D., Bucklin, R., Yerlan, S., Watson C. & Chapman F. 1994. Microcontrollers in Recirculating Aquaculture Systems. [e -book]. Florida: Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. Διαθέσιμο

στο:

<https://pdfs.semanticscholar.org/5eec/a11506f1f13d58895fd9c205383008d29d85.pdf>
[ανάκτηση 09/01/2019].

- Gao, T., Greenspan, D., Welsh, M., Juang, R. & Alm, A. 2005. Vital Signs Monitoring and Patient Tracking Over a Wireless Network. In: *27th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, Shanghai, China, September 2005.
- Garcia, M., Bri, D., Sendra, S. & Lloret J. 2010a. Practical Deployments of Wireless Sensor Networks: a Survey. *International Journal on Advances in Networks and Services* 3: 170-185.
- Garcia, M., Sendra, S., Lloret, G. & Lloret, J. 2010b. Monitoring and Control Sensor System for Fish Feeding in Marine Fish Farms. *IET Communications* 5: 1682-1690.
- Green, B. S. & Fisher, R. 2003. Temperature influences swimming speed, growth and larval duration in coral reef fish larvae. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 299 115-132.
- Harun, A., Ndzi, D., Mohd, F., Shakaff, A., Ahmad, M.N., Kamarudin, L.M., Zakaria, A. & Yang, Y. 2012. Signal propagation in aquaculture environment for wireless sensor network applications. *Progress In Electromagnetics Research* 131: 477-494.
- Harvard T.H. Chan School of Public Health. 2007. Fish: Friend or foe? [online]. Διαθέσιμο στο: <https://www.hsph.harvard.edu/nutritionsource/fish/> [ανάκτηση 24/10/2018].
- Hongpin, L., Guanglin, L., Weifeng, P., Jie, S., & Qiuwei, B. 2015. Real-time remote monitoring system for aquaculture water quality. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 8: 136-143.
- Huan, J., Liu, X., Li, H., Wang, H. & Zhu, X. 2014. A Monitoring and Control System for Aquaculture via Wireless Network and Android Platform. *Sensors and Transducers* 169: 250-256.
- Ik Joon, K., Junya, M., Mitishi, J., Sang Gyoon, K. & Yuji, O. 2009. Swimming behavioral toxicity in Japanese medaka (*Oryzias latipes*) exposed to various chemicals for biological monitoring of water quality. In: Young, J. K., Ulrich, P., Man Bock, G. and Hitoshi, I. (Eds). *Atmospheric and Biological Environmental Monitoring*. Berlin, Germany: Springer.

- Işık, M. F., Sönmez, Y., Yılmaz, C., Özdemir, V. & Yılmaz E. N. 2017. Precision Irrigation System (PIS) Using Sensor Network Technology Integrated with IOS/Android Application. *Applied Sciences* 7: 891.
- Jhingran, V. G. 1987. Introduction to Aquaculture [online]. Διαθέσιμο στο: <http://www.fao.org/docrep/field/003/ac169e/ac169e00.htm#TOC> [ανάκτηση 12/11/2018].
- Jovanov, E., Raskovic, D., Chapman, J., Moore, A., Krishnamurthy, A. & Price, J. 2001. Patient Monitoring Using Personal Area Networks of Wireless Intelligent Sensors. *Biomedical sciences instrumentation* 37:373-378.
- Jovanov, E., Milenkovic, A., Otto, C. & De Groen, P. 2005. A wireless body area network of intelligent motion sensors for computer assisted physical rehabilitation. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* 2.
- Kachirski, O. & Guha, R. 2003. Effective intrusion detection using multiple sensors in wireless ad hoc networks. In: *36th Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, Big Island, USA, 6-9 January 2003.
- Karakoltsidis, P. A., Zotos, A., Constantinides, S. M. 1995. Composition of the Commercially Important Mediterranean Finfish, Crustaceans, and Molluscs. *Journal of Food Composition and Analysis* 8: 258–273.
- Kiani, F. and Seyyedabbasi, A. 2018. Wireless Sensor Network and Internet of Things in Precision Agriculture. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)* 9: 99-103.
- Kwong, K. H., Wu, T. T., Goh, H. G, Stephen, B., Gilroy, M., Michie, C. and Andonovic, I. 2009. Wireless Sensor Networks in Agriculture: Cattle Monitoring for Farming Industries. *PIERS Online* 5: 31-35.
- Larsen, R., Eilertsen, K., Elvevoll, E. O. 2011. Health benefits of marine foods and ingredients. *Biotechnology Advances* 29: 508–518.
- Lee, J. H., Lim, T. S., Seo, Y., Bishop, P. L. & Papautsky, I. 2007. Needle-type dissolved oxygen microelectrode array sensors for in situ measurements. *Sensors and Actuators B* 128: 179-185.
- Lin, Q., Jian, Z., Mark, X., Zetian, F., Wei, C. & Xiaoshuan, Z. 2010. Developing WSN-based traceability system for recirculation aquaculture. *Mathematical and Computer Modelling* 10.

- Lloret, J., Sendra, S., Garcia-Pineda, M. & Lloret, G. 2011. Group-based underwater wireless sensor network for marine fish farms. In: *Proceedings of the 2011 IEEE GLOBECOM Workshops*, Houston, USA, 5-9 December 2011.
- Lo, B., Thiemjarus, S., King, R. & Yang, G. 2005. Body Sensor Network - A Wireless Sensor Platform for Pervasive Healthcare Monitoring. In: *3rd International Conference on Pervasive Computing*, Munich, Germany, 8-13 May, 2005.
- López, M., Gómez, Cama, J. M., Sabater, J. & Herms, A. 2010. IEEE 802.15.4 based Wireless monitoring of pH and temperature in a fish farm. In: *Proceedings of the 15th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference – MELECON*, Valletta, Malta, 26-28 April 2010.
- Merriam-Webster. 2019. *Definition of sensor* [online]. Διαθέσιμο στο: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/sensor> [ανάκτηση 24/02/2019]
- Matin, M. A. & Islam, M. M. 2012. Overview of Wireless Sensor Network. In: Matin, M. A. (ed.). *Wireless Sensor Networks – Technology and Protocols*. London: Intechopen.
- Murray, J. and Burt, J.R., 1983. *The Composition of Fish*. [e-book]. Aberdeen, Scotland: Torry Research Station. Διαθέσιμο στο: <http://www.fao.org/wairdocs/tan/x5916e/x5916e00.htm#Contents> [ανάκτηση 24/10/2018].
- Mwegoha W. J. S., Kaseva M. E. & Sabai, S. M. M. 2010. Mathematical modeling of dissolved oxygen in fish ponds. *African Journal of Environmental Science and Technology* 4:625-638.
- Nash, C. E. 1986. *Observations on International Technical Assistance to Aquaculture* [online]. Διαθέσιμο στο: <http://www.fao.org/3/s2761e/s2761e00.htm#Contents> [ανάκτηση 12/11/2018].
- National Oceanic and Atmospheric Administration. 2011. *What is aquaculture?* [online]. Διαθέσιμο στο: <https://www.noaa.gov/stories/what-is-aquaculture> [ανάκτηση 12/11/2018].
- Nielsen, D. L., Brock, M. A., Rees, G. N. & Baldwin, D. S. 2003. Effects of Increasing Salinity on Freshwater Ecosystems in Australia. *Australian Journal of Botany*. 51: 655-665.
- Niu, B., Li, G., Peng, F., Wu, J., Zhang, L. & Li, Z. 2018. Survey of Fish Behavior Analysis by Computer Vision. *Journal of Aquaculture Research & Development* 9: 1-15.

- Okunsebor, S. A., Ofojekwu, P. C., Kakwi, D. G. & Audu, B.S. 2015. Effect of Temperature on Fertilization, Hatching and Survival Rates of *Heterobranchus bidorsalis* Eggs and Hatchlings. *British Journal of Applied Science & Technology* 7: 372-376.
- Özogul, Y. & Özogul, F. 2007. Fatty acid profiles of commercially important fish species from the Mediterranean, Aegean and Black Seas. *Food Chemistry* 100: 1634–1638.
- Papadakis, V., Papadakis, I. Lamprianidou, F., Glaropoulos, A. & Kentouri, M. 2012. A computer-vision system and methodology for the analysis of fish behavior. *Aquacultural Engineering* 46: 53-59.
- Parra, L., Sendra, S, Lloret, J. & Rodrigues, J. 2017. Design and deployment of a smart system for data gathering in aquaculture tanks using wireless sensor networks. *International Journal of Communication Systems* 30: no pages
- Parra, L., Sendra, S., García, L. & Lloret, J. 2018a. Design and Deployment of Low-Cost Sensors for Monitoring the Water Quality and Fish Behavior in Aquaculture Tanks during the Feeding Process. *Sensors* 18: 750-772.
- Parra, L., Lloret, G., Lloret, J., Rodilla, M. 2018b. Physical Sensors for Precision Aquaculture: A Review. *IEEE Sensors Journal* 18: 3915-3923.
- Patel, H. & Vashi, R.T. 2015. Use of Naturally Prepared Coagulants for the Treatment of Wastewater from Dyeing Mills. In: Patel, H. & Vashi, R.T (Eds). *Characterization and treatment of textile wastewater*. Elsevier Inc.
- Polonschii, C. & Gheorghiu, E. 2017. A multitiered approach for monitoring water quality. *Energy Procedia* 112: 510-518.
- Potdar, V., Sharif, A. & Chang, E. 2009. Wireless Sensor Networks: A Survey. In: *International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops*, Bradford, U.K., 26-29 May 2009.
- Prato, E. & Biandolino, F. 2012. Total lipid content and fatty acid composition of commercially important fish species from the Mediterranean, Mar Grande Sea. *Food Chemistry* 131: 1233–1239.
- Pujari S. and Bogiri N. 2017. A Survey on Wireless Sensor Network For Agriculture. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication* 5: 269-272.
- Rabanal H. R. 1988. History of Aquaculture [online]. Lecture contributed to the FAO/UNDP Network of Aquaculture Centers in Asia (NACA) Training Programme for Senior

- Aquaculturists, SEAFDEC. Philippines, 24 March 1988. Διαθέσιμο στο: <http://www.fao.org/docrep/field/009/ag158e/AG158E02.htm> [ανάκτηση 04/01/2019].
- Ramasamy, P., Subhapradha, N., Sudharsan, S., Seedeve, P., Shanmugam, V., Shanmugam, A. 2012. Nutritional evaluation of the different body parts of cuttlefish *Sepia kobeensis* Hoyle, 1885. *African Journal of Food Science* 6: 535-538.
- Reid, G.K., Filgueira, R. & Garber, A. 2014. Revisiting temperature effects on aquaculture in light of pending climate change. In: *Aquaculture Canada 2014: Proceedings of Contributed Papers*, St. Andrews, New Brunswick, Canada, 1-4 June 2014.
- Ruiz-Garcia, L., Lunadei, L., Barreiro, P. and Robla, J. I. 2009. A Review of Wireless Sensor Technologies and Applications in Agriculture and Food Industry: State of the Art and Current Trends. *Sensors* 9: 4728-4750.
- Sagar, T. P., Singh, S., Singh, V., Baghel, S. R. & Dwivedi, A. K. 2012. Effect of water pH on growth and production of fish in the Coka Dam Papara Distt. Satna (M.P.). *International Journal of Pharmacy & Life Sciences* 3:1979-1981.
- Shinghal, K., Noor, A., Srivastava, N. & Singh, R. 2010. Wireless sensor networks in agriculture: For potato farming. *International Journal of Engineering Science and Technology* 2: 3955-3963.
- Sidwell, V. D., Buzzell, D. H., Foncannon, P. R. & Smith A. L. 1977. Composition of the Edible Portion of Raw (Fresh or Frozen) Crustaceans, Finfish, and Mollusks. II. Macroelements: Sodium, Potassium, Chlorine, Calcium, Phosphorus, and Magnesium. *Marine Fisheries Review* 39: 1-11.
- Simbeye, D. S. & Yang, S. 2014. Water Quality Monitoring and Control for Aquaculture Based on Wireless Sensor Networks. *Journal of Networks* 9: 840-849.
- Simbeye, D. S., Zhao, J. & Yang, S. 2014. Design and deployment of wireless sensor networks for aquaculture monitoring and control based on virtual instruments. *Computers and Electronics in Agriculture* 102: 31-42.
- Soltan, M. 2016. Aquaculture systems. In: *Aquaculture* [online]. Διαθέσιμο στο: https://www.researchgate.net/publication/308928410_Aquaculture_systems [ανάκτηση 04/01/2019].
- Southgate, P. 2005. *The Importance of Measuring Carbon Dioxide in Aquaculture* [online]. Διαθέσιμο στο: <https://thefishsite.com/articles/the-importance-of-measuring-carbon-dioxide-in-aquaculture> [ανάκτηση 18/05/2019].

- Summerfelt, R. C. 1998. Water Quality Considerations for Aquaculture. [online]. Διαθέσιμο στο: https://www.researchgate.net/publication/240642164_WATER_QUALITY_CONSIDERATIONS_FOR_AQUACULTURE [ανάκτηση 07/03/2019].
- Svobodova, Z., Lloyd, R., Machova, J. & Vykusova, B. 1993. Water quality and fish health. [e-book]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Διαθέσιμο στο: <http://www.fao.org/3/a-t1623e.pdf> [ανάκτηση 06/03/2019].
- Techterms. 2019. *WLAN Definition* [online]. Διαθέσιμο στο: <https://techterms.com/definition/wlan> [ανάκτηση 24/02/2019].
- Tiwari, P., Saxena, V. M., Raj, G. M. & Bhavsar, D. 2015. Wireless Sensor Networks: Introduction, Advantages, Applications and Research Challenges. *HCTL Open International Journal of Technology Innovations and Research (IJTIR)* 14: 1-11.
- Uzoka, C. N., Anyanwu, J. C., Uche, C. C., Ibe, C. C. & Uzoma, A. 2015. Effect of pH on the growth performance and survival rate of *Clarias gariepinus* fry. *International Journal of Research in Biosciences* 4: 14-20.
- Venugopal, V. & Gopakumar, K. 2017. Shellfish: Nutritive Value, Health Benefits, and Consumer Safety. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 16: 1219-1242.
- Wikipedia. 2019. Bluetooth [online]. Διαθέσιμο στο: <https://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth> [ανάκτηση 24/09/2019].
- Wikipedia. 2019. Zigbee [online]. Διαθέσιμο στο: <https://en.wikipedia.org/wiki/Zigbee> [ανάκτηση 24/09/2019].
- Wikipedia. 2019. Δίκτυο ευρείας περιοχής [online]. Διαθέσιμο στο: https://el.wikipedia.org/wiki/Δίκτυο_ευρείας_περιοχής [ανάκτηση 24/09/2019].
- Wikipedia. 2019. Δίκτυα Προσωπικού Χώρου [online]. Διαθέσιμο στο: <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CE%B5%CF%87%CE%AC%CE%BC%CE%B5%CF%84%CF%81%CE%BF> [ανάκτηση 15/11/2019].
- Wikipedia. 2019. Πεχάμετρο [online]. Διαθέσιμο στο: https://el.wikipedia.org/wiki/Δίκτυα_Προσωπικού_Χώρου [ανάκτηση 24/09/2019].
- Wu, H., Aoki, A., Arimoto, T., Nakano, T., Ohnuki, H., Murata, M., Ren, H. & Endo, H. 2015. Fish stress become visible: A new attempt to use biosensor for real-time monitoring fish stress. *Biosensors & bioelectronics* 67: 503-510.

- Wyprych, J. W. 2010. Διερεύνηση της επίδρασης της συχνότητας των ημερήσιων γευμάτων στην ανάπτυξη και στη φυσιολογία της τσιπούρας *Sparus aurata*. Μεταπτυχιακή μελέτη. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- 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: 1-11.
- Xu, J. Y., Miao, X. W., Liu, Y. & Cui, S. R. 2005. Behavioral response of tilapia (*Oreochromis niloticus*) to acute ammonia stress monitored by computer vision. *Journal of Zhejiang University Science B* 6: 812-816.
- Yick, J., Mukherjee, B. & Ghosal, D. 2008. Wireless sensor network survey. *Computer Networks* 52: 2292–2330.
- Yu, C., Xing, B., Xu, L. & Li, D. 2008. Water Quality Management in Intensive Aquaculture in China. In: Li, D. (ed) *Computer And Computing Technologies In Agriculture*. Boston: Springer.
- Zarco-Tejada, P. J., Hubbard, N and Loudjani, P. 2014. Precision Agriculture: An opportunity for EU farmers - Potential support with the CAP 2014-2020. [e-book]. Agriculture and Rural Development, European Union. Διαθέσιμο στο: <http://www.europarl.europa.eu/studies> [ανάκτηση 24/02/2019].
- Zhang, M., Li, D., Wang, L., Ma, D. & Ding, Q. Design and Development of Water Quality Monitoring System Based on Wireless Sensor Network in Aquaculture. In: *Proceedings of the International Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture*, Nanchang, China, 22–25 October 2010.
- Zhu, X., Li, D., He, D., Wang, J., Ma, D. & Li, F. 2009. A remote wireless system for water quality online monitoring in intensive fish culture. *Computers and Electronics in Agriculture* 71S: S3-S9.

Ελληνική

- Αμπατζόγλου, Ι. Τεχνολογία Δικτύων και Επικοινωνιών. [e-book]. Γενικό Επαγγελματικό Λύκειο. Διαθέσιμο στο: http://users.sch.gr/jabatzo/files/yliko/live%20ebooks/diktya_ypolog_G_2018_final/_2.html [ανάκτηση 24/02/2019].
- Ανδρεοπούλου, Ζ. Δίκτυα Η/Υ στη Δασοπονία. [e-book]. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Τμήμα Δασολογίας & Φυσικού Περιβάλλοντος. Διαθέσιμο στο:

<https://opencourses.auth.gr/modules/document/file.php/OCRS350/Παρουσιάσεις/02.%200Δίκτυα%20Υπολογιστών%20στη%20Δασοπονία.pdf> [ανάκτηση 24/02/2019].

- Ανδρέου, Σ. & Κρουσταλά, Α. 2010. Προσδιορισμός των βαρέων μετάλλων, χαλκού (Cu) και ψευδαργύρου (Zn), σε νωπά και κονσερβοποιημένα καλαμάρια. Πτυχιακή μελέτη. Αλεξάνδρειο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Θεσσαλονίκης.
- Ανδρικόπουλος, Ν., 2015. Τροφογονωσία. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/4696> [ανάκτηση 08/11/2018].
- Αργυρίου, Α. Α. 2004. Αισθητήρες ημιαγωγών, αισθητήρες θερμικοί, μηχανικοί, μαγνητικοί, αισθητήρες ακτινοβολίες και χημικοί αισθητήρες. [e-book]. Πανεπιστήμιο Πατρών. Τμήμα Φυσικής. Διαθέσιμο στο: http://www.hep.upatras.gr/class/download/download/ais_mik_sis_sil_ded/sensornotes.pdf [ανάκτηση 09/08/2019].
- Βαΐτσας Γ. & Ραβασόπουλος Γ. 1997. Υδατοκαλλιέργειες και περιβάλλον. Προπτυχιακή μελέτη. Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Μεσολογγίου.
- Γεωργακόπουλος, Κ. 2017. Τεχνολογίες σύγχρονων Ασύρματων Δικτύων δεδομένων. [e-book]. Α.Τ.Ε.Ι Καβάλας. Τμήμα Βιομηχανικής Πληροφορικής. Διαθέσιμο στο: http://de.teikav.edu.gr/telematics/pdf/3o_Meros_Asymmata_thlematikh.pdf [ανάκτηση 24/09/2019].
- Γκάνιας, Κ. 2015. Συστήματα παραγωγής και τάσεις στην ευρωπαϊκή και παγκόσμια υδατοκαλλιέργεια. Στο: Βουλτσιάδου, Ε., Αμπατζόπουλος, Θ. Ι., Αντωνοπούλου, Ε., Γκάνιας, Κ., Γκέλης, Σ., Στάικου, Α. & Τριανταφυλλίδης, Α. 2015. Υδατοκαλλιέργειες: Οργανισμοί, Συστήματα παραγωγής, Προοπτικές. [ηλεκτρ. βιβλ.]. Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Διαθέσιμο στο: <https://repository.kallipos.gr/handle/11419/5083> [ανάκτηση 14/01/2019].
- ΕΛΣΤΑΤ, 2017. Έρευνα Υδατοκαλλιεργειών - Έτος 2016 [online]. Διαθέσιμο στο: <http://www.statistics.gr/documents/20181/deae90d8-75be-48ea-bca6-5583931719b9> [ανάκτηση 07/10/2018].
- Ζωγόπουλος, Α. 2016. Δίκτυο ασύρματων αισθητήρων για απομακρυσμένη παρακολούθηση. Διπλωματική εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών κα Μηχανικών Υπολογιστών.

- Καλόμοιρος, Ι., Μπουλταδάκης, Σ. & Πεταλάς, Ι. 2002. Αισθητήρες Μετρήσεων. [e-book]. Διαθέσιμο στο:
http://meleththrio.teicm.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/26/Kef2_Sensors_Petal_Kalom.pdf?sequence=2 [ανάκτηση 09/08/2019].
- Καρακατσούλη, Ν. 2010. Υδατοκαλλιέργειες: Σημειώσεις για το μάθημα «Ζωοτεχνία». [e-book]. Διαθέσιμο στο: <https://docplayer.gr/29581375-Simeioseis-gia-to-mathima-zootehnia-ydatokalliergeies-naysika-karakatsoyli-epik-kathigitria-tmima-ezpy.html> [ανάκτηση 06/03/2019].
- Λεφάκης, Α. 2004. Αυτοματισμοί σε μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Μεταπτυχιακή μελέτη. Πανεπιστήμιο Αιγαίου.
- Λιγκανάρη, Δ. 2006. Αισθητήρες οπτικών ινών. Πτυχιακή μελέτη. Τ.Ε.Ι Ηπείρου.
- Μαυρίδης, Χ. 2014. Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων. Διπλωματική εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Μουρκογιάννη, Σ. 2016. Ασύρματες Τεχνολογίες: Πρότυπο 802.11. Εργασία για το μάθημα Δίκτυα Δημόσιας Χρήσης και Διασύνδεση Δικτύων. Πανεπιστήμιο Πατρών. Τμήμα Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών και Πληροφορικής.
- Οικονόμου, Κ. n.d. Δίκτυα II [e-book]. Ιόνιο Πανεπιστήμιο. Τμήμα Πληροφορικής. Διαθέσιμο στο:<https://opencourses.ionio.gr/modules/document/file.php/DDI101/Chapter2.pdf> [ανάκτηση 24/09/2019].
- Παπουτσόγλου, Σ. Ε. 1992. Εφηρμοσμένη Υδροβιολογία Μέρος Α Γενικό: Το υδάτινο περιβάλλον και οι οργανισμοί του. 2^η έκδ. Πειραιάς: Εκδόσεις Α. Σταμούλης.
- Παπουτσόγλου Σ. Ε. 1997. *Εισαγωγή στις Υδατοκαλλιέργειες*. Αθήνα: Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης.
- Παπουτσόγλου Σ. Ε. 2008. *Διατροφή Ιχθύων*. Αθήνα: Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης.
- Πετρόπουλος, Α. 2011. Τεχνολογία των αισθητήρων. [e-book]. Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Αθήνας. Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών. Τμήμα Ηλεκτρονικής. Διαθέσιμο στο:
https://eclass.uniwa.gr/modules/document/file.php/EE167/Παρουσίαση%20Μαθήματος/1.%20Section%20I_Introduction%20to%20Sensors.pdf [ανάκτηση 24/02/2019].
- Σίμος, Σ. 2013. Το Νομικό Πλαίσιο των Ιχθυοκαλλιεργειών στην Ελλάδα. Πτυχιακή εργασία. Πανεπιστήμιο Αιγαίου.

- Σκούφας, Γ. 2007. Μελέτη Αγοράς Εργασίας Τεχνολόγου Αλιείας και Υδατοκαλλιεργειών [ηλεκτρ. βιβλ.] Θεσσαλονίκη: Αλεξάνδρειο Τεχνολογικό Ίδρυμα Θεσσαλονίκης. Διαθέσιμο στο: http://www.aqua.teithe.gr/files/odigos_Agoras_Aquaculture-Fishery.pdf [ανάκτηση 04/01/2019].
- Σύνδεσμος Ελληνικών Υδατοκαλλιεργειών (ΣΕΘ), 2017. Ελληνική Υδατοκαλλιέργεια '17 [online]. Διαθέσιμο στο: https://www.fgm.com.gr/uploads/file/FGM17_WEB_GR.pdf [ανάκτηση 14/10/2018].
- Σχοινάς, Ε. 2019. Μελέτη της δημιουργίας βιοϋμενίων σε μεταλλική επιφάνεια, σε κλειστό σύστημα πειραματικής μεσογειακής ιχθυοκαλλιέργειας. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Χώτος, Γ. 2015. Υδατοκαλλιέργειες, νερό και ψάρια. [e-book]. Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδας. Τμήμα Τεχνολογίας Αλιείας-Υδατοκαλλιεργειών. Διαθέσιμο στο: <https://openeclass.teimes.gr/modules/document/file.php/YDAD149/%CE%99%CE%A7%CE%98%CE%A5%CE%9F%CE%9A%CE%91%CE%9B%CE%9B%CE%99%CE%95%CE%A1%CE%93%CE%95%CE%99%CE%95%CE%A3%20%CE%9D%CE%95%CE%A1%CE%9F%20%CE%9A%CE%91%CE%99%20%CE%A8%CE%91%CE%A1%CE%99%CE%91-compact-read%20only.pdf> [ανάκτηση 16/09/2019].