

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

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Πολυτροφικό εργαστηριακό σύστημα εκτροφής ζωικών και φυτικών
οργανισμών για αειφορία στην ενυδραιοπονία»**

Κωνσταντίνα – Αποστολία Παπαευσταθίου

ΒΟΛΟΣ, 2021

**UNIVERSITY OF THESSALY
SCHOOL OF AGRICULTURAL SCIENCES
DEPARTMENT OF ICHTHYOLOGY AND AQUATIC
ENVIRONMENT**

POSTGRADUATE MASTER'S THESIS

**« MULTITROPHIC AQUAPONIC SYSTEM FOR SUSTAINABLE FOOD
PRODUCTION »**

Konstantina – Apostolia Papaefstathiou

VOLOS 2021

**«Πολυτροφικό εργαστηριακό σύστημα εκτροφής ζωικών και φυτικών οργανισμών
για αειφορία στην ενυδραιοπονία»**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή :

- 1) **Κωνσταντίνος Α. Κορμάς**, Καθηγητής, - Οικολογία Υδρόβιων Μικροοργανισμών, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Επιβλέπων**
- 2) **Ελένη Μεντέ**, Καθηγήτρια, - Φυσιολογία Θρέψης Υδρόβιων Ζωικών Οργανισμών, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Μέλος**
- 3) **Ευθυμία Λεβίζου**, Επίκουρη Καθηγήτρια – Φυσιολογία Φυτών, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Μέλος**

*Στον συνάδελφο μου Σωτήρη, στην οικογένειά
μου και στους φίλους μου...*

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου σε όσους συνέβαλλαν στο να φέρω εις πέρας την παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Ιδιαίτερα, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την Επιβλέπουσα της εργασίας αυτής, κα. Έλενα Μεντέ για την πολύτιμη βοήθειά της και υποστήριξή της, τόσο κατά τη διεξαγωγή του πειράματος όσο και κατά τη συγγραφή της παρούσας εργασίας, καθώς και τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής μου, αποτελούμενη από τους κ. Κορμά Κωνσταντίνο και κ. Ευθυμία Λεβίζου για τις χρήσιμες συμβουλές τους. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω για την πολύτιμη βοήθεια που μου πρόσφεραν καθώς και για τις συμβουλές τον κ. Νίκο Βλάχο και τον κ. Παναγιώτη Βερίλλη καθώς και τους υποψήφιους διδάκτορες Εύα Τσουμαλάκου και Εύη Σταθοπούλου που χωρίς αυτές τίποτα δεν θα ήταν το ίδιο.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον συνάδελφο και συνοδοιπόρο στα πειράματα, Σωτήρη Σακοράφα για την πολύτιμη βοήθειά του.

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

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή χρησιμοποιήθηκαν τρία ενυδρειοπονικά συστήματα μικρής κλίμακας με σκοπό την εκτροφή ιχθύων με διαφορετικές αρχικές βιομάζες 1246.26 g, 758.13 g και 925.90 g, λαβρακιών (*Dicentrarchus labrax*) και τιλαπιών, και την καλλιέργεια μαρουλιών (*Lactuca sativa* var. Green towers), για χρονικό διάστημα 45 ημερών, με σκοπό να μελετηθεί η επίδραση της βιομάζας στην ανάπτυξη ψαριών και μαρουλιών.

Κάθε σύστημα αποτελούνταν από τρεις δεξαμενές ψαριών 100L η κάθε μια, μια δεξαμενή φυτών και μια δεξαμενή τριπλής χωρητικότητας στην οποία εμπεριέχονταν το μηχανικό και το βιολογικό φίλτρο αλλά και η αντλία νερού. Χρησιμοποιήθηκαν 34 λαβράκια διαφορετικά κατανεμημένα στα τρία συστήματα και 3 τιλάπιες με μέσο βάρος 135.97 g, μια σε κάθε σύστημα. Επίσης, στις δεξαμενές φυτών τοποθετήθηκαν από 8 μαρούλια (*L. sativa*) σε περιοχή 1 m² σε κάθε σύστημα. Οι ιχθύες σιτίζονταν μέχρι κορεσμού, τρεις φορές την ημέρα από τις 09:00 και σε διάστημα 6 ωρών, με εμπορική τροφή. Καθημερινά μετρούνταν οι φυσικοχημικοί παράγοντες του νερού και καθαρίζονταν το μηχανικό φίλτρο, ενώ δυο φορές την εβδομάδα μετρούνταν τα θρεπτικά συστατικά του νερού. Τα νιτρικά και στα τρία συστήματα ήταν στα επίπεδα των συγκεντρώσεων που απαιτούν τα μαρούλια για να αναπτυχθούν, και όλες οι μεταχειρίσεις απορρόφησαν την ίδια ποσότητα νιτρικών.

Η επιβίωση των τιλαπιών και στα 3 συστήματα ήταν 100 %, ενώ για τα λαβράκια παρατηρήθηκε επιβίωση 62.5 %, 84.5 % σε δυο από τα τρία συστήματα, ενώ το τελευταίο είχε επιβίωση 100 %. Στο σύστημα με την μικρότερη αρχική βιομάζα παρατηρήθηκε η μικρότερη αύξηση βάρους των ψαριών, τόσο για την τιλάπια όσο και

για τα λαβράκια, ενώ το σύστημα που είχε καλύτερη αύξηση βάρους και στα δυο είδη ψαριών ήταν αυτό με την μεγαλύτερη αρχική βιομάζα.

Στο σύστημα της μικρότερης αρχικής βιομάζας, υπήρξε μια θνησιμότητα στα φυτά, ενώ τα άλλα δυο συστήματα είχαν 100 % επιβίωση φυτών. Καλύτερη παραγόμενη φυτική βιομάζα παρατηρήθηκε στο σύστημα με την μεγαλύτερη αρχική βιομάζα ιχθύων και συγκεκριμένα παράχθηκαν 1.26 kg/m^2 μαρουλιών, ενώ η μικρότερη αρχική βιομάζα έδωσε και την χαμηλότερη παραγωγή 0.52 kg/m^2 .

Περαιτέρω έρευνα θα πρέπει να διεξαχθεί σε πολυτροφικά ενυδρειοπονικά συστήματα με άλλα είδη ψαριών και φυτών με διαφορετικές αρχικές βιομάζες με στόχο την καλύτερη φυτική αλλά και ζωική παραγωγή.

Λέξεις κλειδιά: Ενυδρειοπονία, *Dicentrarchus labrax*, *Oreochromis sp*, *Lactuca sativa*, Βιομάζα

Πίνακας περιεχομένων

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Ορισμός ενυδραιοπονίας και αρχή λειτουργίας των συστημάτων	1
1.2 Ιστορική αναδρομή.....	2
1.3 Είδη ψαριών και φυτών στην ενυδραιοπονία.....	3
1.4 Αειφορία στην Ενυδραιοπονία	4
1.5 Ερευνητικός σκοπός	5
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	6
2.1 Σύστημα Ενυδραιοπονίας	6
2.1.1 Μηχανικό φίλτρο.....	6
2.1.2 Βιολογικό φίλτρο	7
2.1.3 Αντλία νερού.....	8
2.1.4 Δεξαμενές ψαριών – Λαβράκια/Τιλάπιες.....	8
2.1.5 Δεξαμενή φυτών (growbed) – Μαρούλια.....	10
2.2 Προσδιορισμός φυσικοχημικών και θρεπτικών παραμέτρων νερού	12
2.3 Τροφή Ψαριών	16
2.4 Μορφομετρικές μετρήσεις ψαριών και φυτών	17
2.4.1 Παράμετροι ανάπτυξης ιχθύων.....	17
2.4.2 Μορφομετρικά χαρακτηριστικά των φυτών.....	19
2.4.3 Δειγματοληψία Τιλαπιών	19
2.5 Χημικές αναλύσεις	20
2.5.1 Προσδιορισμός υγρασίας της τροφής και των ιστών από τις τιλάπιες	20
2.5.2 Προσδιορισμός αζωτούχων ενώσεων στην τροφή, στα μαρούλια και στον μυϊκό ιστό και στο ήπαρ των τιλαπιών.....	21
2.5.3 Προσδιορισμός ολικών λιπιδίων στην τροφή, στα μαρούλια και στον μυϊκό ιστό και στο ήπαρ των τιλαπιών	23
2.5.4 Προσδιορισμός Τέφρας στην τροφή και στα μαρούλια	25
2.5.5 Προσδιορισμός ενέργειας στην τροφή	25
2.6 Στατιστική ανάλυση.....	26
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	27
3.1 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του νερού.....	27
3.2 Θρεπτικά στο νερό	28
3.3 Παράμετροι ανάπτυξης Ιχθύων 3.3.1 Λαβράκια.....	29
3.3.2 Τιλάπιες	31
3.4 Ανάπτυξη Μαρουλιών.....	32
3.5 Χημικές αναλύσεις	36

3.5.1 Χημική ανάλυση της προσφερόμενης τροφής	36
3.5.2 Χημική ανάλυση των μαρουλιών.....	37
3.5.3 Χημικές αναλύσεις στο ήπαρ και στην σάρκα των τιλαπιών	38
4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	40
4.1 Φυσικοχημικοί και θρεπτικοί παράμετροι του νερού.....	40
4.2 Ανάπτυξη ιχθύων	43
4.3 Ανάλυση Τιλαπιών	44
4.4 Ανάπτυξη μαρουλιών.....	45
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	48
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	50
ABSTRACT	60

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ορισμός ενυδρειοπονίας και αρχή λειτουργίας των συστημάτων

Η ενυδρειοπονία αποτελεί την ταυτόχρονη εκτροφή υδρόβιων οργανισμών και καλλιέργειας φυτών, σε συστήματα επανακυκλοφορίας νερού (Rakocy et al., 1997), αποτελώντας έναν συνδυασμό υδατοεκτροφής και υδροπονίας χωρίς την παρουσία εδάφους (Rakocy et al., 2004). Τα περισσότερα συστήματα ενυδρειοπονίας αποτελούνται από δεξαμενές ψαριών, δεξαμενές φυτών (υδροπονικό σύστημα), μια αντλία, ένα μηχανικό και ένα βιολογικό φίλτρο (FAO, 2014). Τα ενυδρειοπονικά συστήματα αποτελούνται από τρία κύρια μέλη που δεν είναι άλλα από τα ψάρια, τα φυτά και τα βακτήρια, τα οποία για να λειτουργεί το σύστημα άρτια θα πρέπει να βρίσκονται σε ισορροπία. Οι ιχθύες εκλύουν αμμωνία (Francis-Floyd et al., 2012), η οποία μέσω της επανακυκλοφορίας του νερού κατευθύνεται στο βιολογικό φίλτρο, μέρος το οποίο βρίσκονται τα βακτήρια, και με την βοήθεια τους η τοξική αμμωνία για τους ιχθύες μετατρέπεται σε νιτρικά ιόντα (διαδικασία νιτροποίησης). Η νιτροποίηση πραγματοποιείται σε δυο στάδια. Πρώτα γίνεται η οξείδωση της αμμωνίας (NH_3) από αυτότροφα βακτήρια (*Nitrosomonas*) σε νιτρώδη ιόντα (NO_2^-) και στην συνέχεια άλλο ένα γένος νιτροποιητικών βακτηρίων (*Nitrobacter*) οξειδώνει τα νιτρώδη σε νιτρικά (NO_3^-) (Cebren & Garnier, 2003). Στην συνέχεια, τα νιτρικά ιόντα οδηγούνται στα φυτά, απορροφούνται με σκοπό την ανάπτυξη των φυτών, ενώ ταυτόχρονα καθαρίζεται το νερό το οποίο όταν εισέρθει ξανά στις δεξαμενές των ψαριών να μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί (Rakocy et al., 2006). Συνεπώς, η ανάπτυξη των φυτών στην ενυδρειοπονία βασίζεται στα μεταβολικά προϊόντα των ιχθύων, τα οποία αποτελούν τα θρεπτικά συστατικά των φυτών που τα βοηθούν στην ανάπτυξή τους (Somerville et al. 2014, Putra & Yuliando 2015, Yildiz et al., 2017,). Επιπλέον, εκτός από τα μεταβολικά

προϊόντα των ψαριών, η λειτουργία των ενυδρειοπονικών συστημάτων βασίζεται και στα υπολείμματα της τροφής τους, τα οποία και αυτά μέσα από την διαδικασία της νιτροποίησης μετατρέπονται τελικά σε αξιοποιήσιμα για την ανάπτυξη των φυτών, συστατικά (Alessio et al. 2001, Fronte et al. 2016). Συμπερασματικά, για την καλύτερη και αποτελεσματικότερη λειτουργία των συστημάτων ενυδρειοπονίας, πρέπει να είναι επαρκής η ημερήσια παραγωγή αμμωνίας των ψαριών αλλά και η συνολική βιομάζα των ψαριών που υπάρχουν στο σύστημα.

1.2 Ιστορική αναδρομή

Οι αρχαίοι Αιγύπτιοι είναι αυτοί που φαίνεται να είχαν ασχοληθεί πρώτοι με την έννοια της ενυδρειοπονίας, αφού έκαναν εκτροφή της τιλάπιας του Νείλου και ταυτόχρονα καλλιεργούσαν φυτά (Παπουτσόγλου, 2008), ενώ αργότερα ακολούθησαν οι Κινέζοι και οι Ταϊλανδοί με καλλιέργεια ρυζιού σε συνδυασμό με εκτροφή διαφόρων ψαριών και κυρίως χελιών.

Οι πρώτες προσπάθειες για τον σχεδιασμό συστημάτων ενυδρειοπονίας έγιναν στις αρχές του 1970, σε ινστιτούτα της Ευρώπης και της Αμερικής (Sneed et al., 1975, Naegel, 1977 και Bohl, 1977). Τελικά, η κατασκευή των πρώτων συστημάτων ενυδρειοπονίας έγιναν στο Πανεπιστήμιο της Βόρειας Καρολίνας καθώς και σε αυτό του Virgin Islands της Αμερικής, και έπειτα ακολούθησαν πολλές Ευρωπαϊκές χώρες (Love et al., 2014). Σήμερα στην Αμερική είναι ευρέως διαδεδομένη η καλλιέργεια σε συστήματα ενυδρειοπονίας μεγάλης κλίμακας, στην Ευρώπη γίνονται προσπάθειες και περισσότερο για κατασκευή ενυδρειοπονικών συστημάτων σε σπίτια, ενώ ακόμα η Ελλάδα βρίσκεται σε πολύ αρχικό στάδιο, με τις περισσότερες προσπάθειες να γίνονται κυρίως από μικρές οικογενειακές επιχειρήσεις.

1.3 Είδη ψαριών και φυτών στην ενυδραιοπονία

Τα κυριότερα είδη ιχθύων που χρησιμοποιούνται για εκτροφή σε ενυδραιοπονικά συστήματα, είναι κυρίως ψάρια του γλυκού νερού ανθεκτικά σε μεγάλες ιχθυοπυκνότητες και σε υψηλά επίπεδα καλίου και φωσφόρου (Rakocy et al., 2006). Το πιο κοινό είδος για ενυδραιοπονική καλλιέργεια είναι η τιλάπια με κυριότερα είδη *Nile Tilapia*, *Oreochromis niloticus* και κάποια υβρίδια (*Oreochromis* sp.) λόγω της μεγάλης ανθεκτικότητάς τους σε διάφορες συνθήκες νερού καθώς και της ταχείας ανάπτυξής του. Υπάρχουν βέβαια και άλλα είδη ψαριών για την εκτροφή στην ενυδραιοπονία όπως για παράδειγμα ο κυπρίνος (*Cyprinus carpio*), η ιριδίζουσα πέστροφα (*Oncorhynchus mykiss*), το γατόψαρο (*Ictalurus punctatus*), διάφορα είδη λαβρακιών (*Micropterus salmoides*, *Lates calcarifer*) και κάποια οστρακόδερμα είδη (Love et al., 2015). Πλέον έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται και το Ευρωπαϊκό λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*, Linnaeus, 1758) λόγω της ραγδαίας ζήτησής του στην Ευρώπη (Federation of Greek Maricultures, 2019), παρόλο που μέχρι τώρα δεν ήταν από τα είδη που χρησιμοποιούνταν για την ενυδραιοπονία.

Το Ευρωπαϊκό λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*) είναι ευρύαλο είδος, ιδανικό για ενυδραιοπονικά συστήματα με χαμηλή αλατότητα στο νερό της εκτροφής σε συνδυασμό για καλλιέργεια βρώσιμων και αρωματικών φυτών. Πολλές έρευνες έχουν δείξει ότι το ευρωπαϊκό λαβράκι μπορεί να επιβιώσει και να αναπτυχθεί σε υφάλμυρο νερό (Pickett & Pawson, 1994) αλλά και να προσαρμοστεί επιτυχώς σε γλυκό νερό (Nebel et al., 2005).

Όσον αφορά τα φυτά που χρησιμοποιούνται για την καλλιέργεια στα ενυδραιοπονικά συστήματα, πρέπει πρώτα να καθοριστεί το υδροπονικό σύστημα που

πρόκειται να χρησιμοποιηθεί, το είδος των ψαριών, η ιχθυοπυκνότητα και τέλος η διαθέσιμη ποσότητα θρεπτικών συστατικών (Knaus & Palm, 2017, Blidariu & Grozea, 2011). Τα πλέον κατάλληλα για καλλιέργεια φυτά στη ενυδραιοπονία είναι τα φυλλώδη λαχανικά και τα λαχανικά με τους καρπούς. Συγκεκριμένα, το μαρούλι (*Lactuca sativa*), η μέντα (*Mentha* sp.), ο βασιλικός (*Ocimum basilicum*), η ντομάτα (*Lycopersicon lycopersicum*) και το αγγούρι (*Cucumis sativus*) είναι κάποια από αυτά σύμφωνα με τους Somerville et al. (2014).

1.4 Αειφορία στην Ενυδραιοπονία

Οι Delaide et al. (2017), τονίζουν πως παρόλο που το κόστος της ενυδραιοπονίας είναι 11.6 % πιο υψηλό από αυτό της υδροπονίας, το περιβαλλοντικό αποτύπωμα που αφήνει είναι, συγκριτικά με τις απλές καλλιέργειες, σημαντικά μικρότερο (Adler et al., 2003) εκλύοντας πολύ λιγότερες συγκεντρώσεις αερίων του θερμοκηπίου από αυτές της υδατοεκτροφής (Hu et al., 2013, Hu et al., 2014). Αποτελεί επιπλέον, τρόπο καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής (Tyson et al., 2011), εξοικονόμηση της ενέργειας, ενίσχυση της οικονομίας (Buzby & Lin, 2014) ενώ η κατανάλωση του νερού είναι σχεδόν μηδενική λόγω της ανακύκλωσής του.

Τα τρόφιμα που παρέχονται στον άνθρωπο μέσω της ενυδραιοπονίας είναι υψηλής διατροφικής αξίας, με τα ψάρια να αποτελούν τροφή υψηλής πρωτεϊνικής σύστασης, χωρίς ορμόνες, αντιβιοτικά και χημικά (Tacon et al., 2013). Τέλος, οι Junge et al. το 2017, τόνισαν ότι μέσω της ενυδραιοπονίας βελτιώνεται το βιοτικό επίπεδο, μέσω της δημιουργίας νέων θέσεων εργασίας.

1.5 Ερευνητικός σκοπός

Ο σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής ήταν να μελετηθεί ένα πολυτροφικό εργαστηριακό σύστημα με την ταυτόχρονη εκτροφή ζωικών οργανισμών, δυο ιχθύων λαβράκια (*D. Labrax*) και τιλάπιες, καθώς και φυτικών οργανισμών, μαρούλια (*L. sativa*), με σκοπό την αειφορία στην ενυδραιοπονία.

Συγκεκριμένα, εξετάστηκε η επίδραση της διαφορετικής αρχικής βιομάζας των ιχθύων σε τρία διαφορετικά ενυδραιοπονικά συστήματα μικρής κλίμακας, τόσο για την ανάπτυξη των δύο ειδών ψαριών όσο και των μαρουλιών. Επίσης, συνέβαλλε στην βιβλιογραφική ενίσχυση των ιχθύων και των μαρουλιών στην ενυδραιοπονία.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Το πείραμα έλαβε χώρα στους εργαστηριακούς χώρους ενυδραιοπονίας της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και διήρκησε 45 μέρες, από τις 2 Μαρτίου 2021 μέχρι τις 16 Απριλίου 2021.

2.1 Σύστημα Ενυδραιοπονίας

Για την διεξαγωγή του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν τρία ενυδραιοπονικά συστήματα μικρής κλίμακας. Το κάθε σύστημα απαρτιζόταν από τρεις δεξαμενές ψαριών χωρητικότητας 100 L διαστάσεων (50 x 50 x 50), μια δεξαμενή φυτών (growbed) 26 L (112 x 73 x 20) η οποία βρίσκεται στο πάνω μέρος των δεξαμενών των ψαριών και μια δεξαμενή τριπλής χωρητικότητας (100 x 50 x 48) 184 L, της οποίας το κάθε μέρος αποτελούσε αντίστοιχα το μηχανικό φίλτρο, το βιολογικό φίλτρο και την αντλία νερού.

2.1.1 Μηχανικό φίλτρο

Βασικός ρόλος του μηχανικού φίλτρου ή φίλτρου καθίζησης είναι η κατακράτηση των αιωρούμενων σωματιδίων, των υπολειμμάτων της τροφής καθώς και των περιττωμάτων των ψαριών, δηλαδή έχει ως στόχο την αφαίρεση των στερεών αποβλήτων (Goddek et al., 2015). Αποτελείται από σφουγγάρια και υαλοβάμβακες που συγκρατούν τα σωματίδια, και τοποθετείται σχεδόν πάντα αμέσως μετά τις δεξαμενές ψαριών και πριν από το βιολογικό φίλτρο, ώστε να απομακρύνονται τα στερεά που προέρχονται από τα περιττώματα ψαριών ή οι ιχθυοτροφές που δεν καταναλωθήκαν

από τα ψάρια πριν διασπαστούν σε μικρότερα σωματίδια, γεγονός που θα κάνει την διαχείρισή τους πιο δύσκολη (FAO, 2014).

2.1.2 Βιολογικό φίλτρο

Κύριος στόχος της βιολογικής επεξεργασίας του νερού, είναι η μετατροπή (οξειδωση) της αμμωνίας που παράγεται από τα ψάρια με την βοήθεια βακτηρίων του γένους *Nitrosomonas* και *Nitrobacter*, σε νιτρικά ιόντα, μέσω της διαδικασίας της νιτροποίησης. Το νερό μετά από το μηχανικό φίλτρο όπου είναι απαλλαγμένο από τα στερεά απόβλητα καταλήγει στο βιολογικό φίλτρο. Στην δεξαμενή όπου βρίσκεται το φίλτρο αυτό πραγματοποιείται η διαδικασία της μετατροπής της διαλυμένης αμμωνίας που εκκρίνεται από τα ψάρια σε μια αβλαβή νιτρική ένωση. Αυτή η διαδικασία πραγματοποιείται με την βοήθεια βακτηρίων που προστίθενται στο βιολογικό φίλτρο δημιουργώντας έτσι τις αποικίες τους πάνω σε υλικά πλήρωσης K1 και σε βιόσφαιρες. Τα συγκεκριμένα συστήματα ήταν ήδη ενεργά από προηγούμενο πείραμα και έτσι δεν χρειάστηκε χρόνος προσαρμογής για τα βακτήρια, βέβαια κατά την διάρκεια του πειράματος χρειάστηκε να προσθέσουμε δυο φορές από μια αμπούλα Prodigio BioDigest στο σύστημα της μεταχείρισης 1 και στου μάρτυρα, ενώ στο σύστημα της μεταχείρισης 2 προστέθηκαν τρεις φορές. Κάθε αμπούλα περιέχει μια ποικιλία ετερότροφων βακτηρίων και πέρα από την μετατροπή της αμμωνίας βοηθούν και στην μείωση των νιτρικών αλλά και των φωσφορικών. Για την αποτελεσματικότερη λειτουργία των βακτηρίων απαιτείται συνεχής παροχή οξυγόνου σε αυτά, για αυτό το λόγο στην δεξαμενή με τα υλικά πλήρωσης προστέθηκαν δυο πέτρες αερισμού.

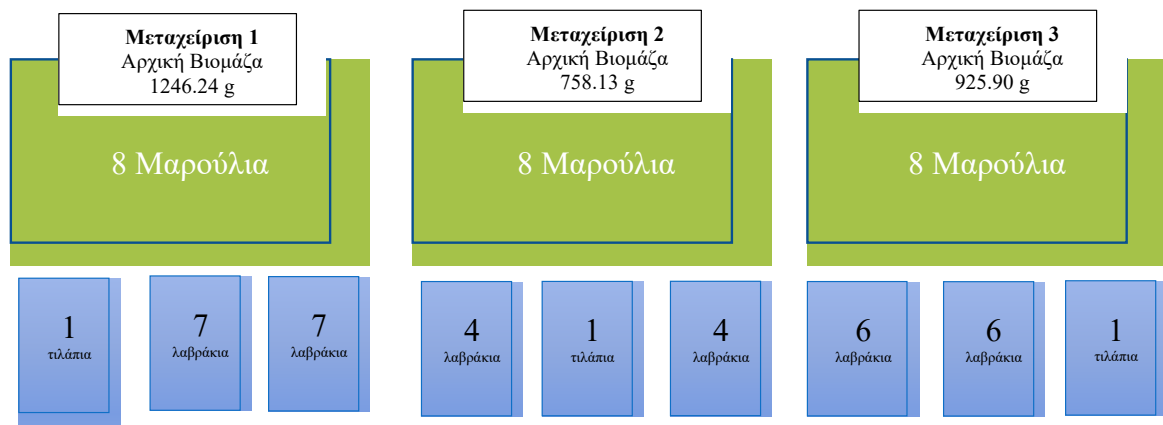
2.1.3 Αντλία νερού

Στην συνέχεια του βιολογικού φίλτρου, στο τέλος της δεξαμενής τριπλής χωρητικότητας βρίσκεται η αντλία νερού. Το νερό, αφού έχει ανακυκλωθεί μέσα στο βιολογικό φίλτρο, εισέρχεται στην δεξαμενή μέσω της αντλίας νερού, εμπλουτισμένο με νιτρικά τα οποία στην συνέχεια θα βοηθήσουν στην ανάπτυξη των φυτών. Μέσα από δυο σωλήνες το νερό θα οδηγηθεί από τον έναν στην δεξαμενή των φυτών και από τον άλλων στον πάτο των δεξαμενών των ψαριών, με σκοπό να δημιουργηθεί ροή ώστε να αποφευχθεί η δημιουργία στάσιμου νερού. Η παροχή του νερού προσαρμόστηκε με βάση τις ανάγκες του συστήματος (Endut *et al.*, 2010) και διατηρούνταν σταθερή μέσω της αντλίας νερού και υπολογίστηκε $Q=6.16 \text{ L/min}$, με την χρήση της μεθόδου του αντίστροφου ογκομετρικού σωλήνα (Spotte, 1991).

2.1.4 Δεξαμενές ψαριών – Λαβράκια/Τιλάπιες

Στο πείραμα, χρησιμοποιήθηκαν δυο διαφορετικά είδη ιχθύων και συγκεκριμένα 34 λαβράκια του είδους *Dicentrarchus labrax* και 3 μεγάλες τιλάπιες (135.96 g) του είδους *Oreochromis sp.*. Οι ιχθύες για 10 μέρες πριν την αρχή του πειράματος, τοποθετήθηκαν τυχαία στα συστήματα από θέμα βάρους αλλά με τις ίδιες ιχθυοπυκνότητες που είχαμε αποφασίσει για τον πειραματικό σχεδιασμό μας όπως αναλύεται παρακάτω και ταΐζονταν μέχρι κορεσμό (at libitum) τρεις φορές την ημέρα και συγκεκριμένα στις 09:00, στις 15:00 και στις 21:00, όπως ακριβώς είχε αποφασιστεί ότι θα ταΐζονται κατά την διάρκεια του πειράματος με σκοπό τον εγκλιματισμό τους στα συστήματα. Η κατάλληλη συχνότητα σίτισης για την μέγιστη ανάπτυξη των ψαριών μπορεί να διαφέρουν ανάλογα το είδος των ψαριών, το μέγεθος των ψαριών και

οι απαιτήσεις τους σε πρωτεΐνες και ενέργεια (Minton, 1978, Wang et al., 1998, Company et al., 1999, Lee et al., 2000). Συγκεκριμένα για τα λαβράκια (*D. Labrax*) και την τιλάπια, η συχνότητα σίτισης 3 φορές την ημέρα, αποτελεί την καλύτερη συχνότητα για την μέγιστη ανάπτυξη των ιχθύων αυτών (Tsevis et al., 1992). Οι ιχθύες πριν χρησιμοποιηθούν στο πείραμα, αναισθητοποιήθηκαν με το αναισθητικό MS222 και ζυγίστηκαν. Ο παρόν πειραματικός σχεδιασμός είχε σαν στόχο τα ψάρια να χωριστούν στα τρία συστήματα ενυδρείων με διαφορετικές ιχθυοπυκνότητες λαβρακιών (*D. Labrax*) αλλά να υπάρχει από 1 τιλάπια σε κάθε σύστημα μόνη της σε μια δεξαμενή. Η πρώτη μεταχείριση αποτελούνταν από 7 λαβράκια ανά δεξαμενή (14 συνολικά) και μια τιλάπια (135.235 g), η μεταχείριση 2 από 4 (8 συνολικά) και μια τιλάπια (136.442g) και η μεταχείριση 3 από 6 (12 συνολικά) και μια τιλάπια (136.233g). Παρακάτω στο Σχήμα 1 φαίνονται οι αρχικές βιομάζες των δεξαμενών ανά σύστημα.



Σχήμα 1. Απεικόνιση του πειραματικού σχεδιασμού με τα φυτά, τους ιχθύες και τις αρχικές βιομάζες (g) των δεξαμενών ανά μεταχείριση

Τέλος, σε κάθε δεξαμενή ψαριών τοποθετήθηκε από μια πέτρα αερισμού, με σκοπό την συνεχή τροφοδοσία του νερού των δεξαμενών με οξυγόνο, αλλά και ένας θερμοστάτης για την διατήρηση της θερμοκρασίας του νερού των δεξαμενών στους 21.73 ± 0.33 °C.

2.1.5 Δεξαμενή φυτών (growbed) – Μαρούλια

Η δεξαμενή των φυτών (growbed), αποτελούταν από υπόστρωμα διογκωμένης αργίλου (Εικόνα 1), η οποία είναι αρκετά ελαφριά σε σχέση με άλλα υποστρώματα αφού έχει στρογγυλό σχήμα με διάμετρο 8-20 mm (FAO, 2014). Επιπλέον, εξασφαλίζει άριστη στράγγιση και αερισμό του ριζικού συστήματος (Ehret et al., 1998).



Εικόνα 1. Υπόστρωμα διογκωμένης αργίλου (προσωπικό αρχείο).

Στο παρόν πείραμα χρησιμοποιήθηκε μαρούλι (*Lactuca sativa* var. Green towers), τα οποία αγοράστηκαν από τοπικό φυτώριο και μεταφέρθηκαν στο χώρο του εργαστηρίου στις 20 Φεβρουαρίου 2021, όπου έμειναν στα γλαστράκια τους για 12 μέρες μέχρι την φύτευση ώστε να εγκλιματιστούν. Επίσης τους χορηγήθηκε λίπανση για 8 μέρες μέχρι την φύτευσή τους. Συγκεκριμένα τους χορηγήθηκε ασβέστιο (Ca), κάλιο (K) και σίδηρος (Fe). Διαλύθηκαν 0.0208 ml ασβεστίου (Lasting CA) σε 250 ml νερό και τους χορηγήθηκε διαφυλλικά με ψεκασμό ανά 2 μέρες κατά την διάρκεια της προσαρμογής τους. Το κάλιο (potassium sulfate CHEM-LAB) και ο σίδηρος (χηλικής μορφής DTPA 11%) διαλύθηκαν μαζί σε 1 λίτρο νερό με ποσότητες 0.45 g και 0.018 g αντίστοιχα, και τους χορηγήθηκαν σαν υδρολίπανση και αυτό ανά 2 μέρες κατά την

διάρκεια της προσαρμογής τους. Σε κάθε σύστημα τοποθετήθηκαν 8 μαρούλια και 3 δείκτες, οι οποίοι αφαιρέθηκαν την 10^η μέρα του πειράματος. Τα μαρούλια αφαιρέθηκαν προσεκτικά από τα γλαστράκια τους και ξεπλύθηκαν οι ρίζες τους ώστε να απομακρυνθεί το χώμα και να μπορέσουν έπειτα να τοποθετηθούν στις κατάλληλες θέσεις στην δεξαμενή φυτών του κάθε συστήματος.

Πάνω από την δεξαμενή των φυτών ήταν κρεμασμένη μια λάμπα HPS (High Pressure Sodium) των 400 W, μαζί με έναν ανακλαστήρα. Η φωτοπερίοδος ορίστηκε σε 12 ώρες φως και 12 ώρες σκοτάδι.

Οι θέσεις των φυτών καθορίστηκαν μετά από την μέτρηση της φωτοσυνθετικά ενεργής ακτινοβολίας PAR (Photosynthetically Active Radiation) με την χρήση ειδικού οργάνου (skye) (Εικόνα 2) με εύρος 350-500 nm και απόσταση 20cm μεταξύ τους, προσπαθώντας να εξασφαλιστούν οι βέλτιστες συνθήκες φωτός για την φωτοσύνθεση των φυτών (Nitz & Schnitzler 2004).

Επίσης μετά τον καθορισμό των θέσεων των φυτών και μετά την φύτευση, μετρήθηκαν οι θερμοκρασίες των φυτών με την βοήθεια θερμοζεύγους (Εικόνα 2). Συγκεκριμένα οι δυο μεταλλικοί αγωγοί του, τοποθετήθηκαν στο μέσον και στο ανώτατο ύψος του κάθε φυτού προσδιορίζοντας έτσι την θερμοκρασία του κάθε φυτού. Μετρήσεις για την θερμοκρασία, το PAR καθώς και οι παράμετροι των φυτών όπως το ύψος και ο αριθμός των φύλλων των φυτών σε όλες τις μεταχειρίσεις πραγματοποιούνταν κάθε δεκαπέντε μέρες καθ' όλη την διάρκεια του πειράματος με πρώτη μέτρηση την Ημέρα 0.

Για την ρύθμιση της θερμοκρασίας των φυτών, τοποθετήθηκε ένας ανεμιστήρας σε κάθε δεξαμενή φυτών καθώς και μέσα στον χώρο του εργαστηρίου ενυδραιοπονίας

λειτουργούσαν τέσσερα κλιματιστικά διατηρώντας την θερμοκρασία του χώρου στους 21-22 °C.



Εικόνα 2. Όργανα μέτρησης θερμοκρασίας (θερμοζεύγος, αριστερή φωτογραφία) και PAR (δεξιά φωτογραφία) των φυτών (προσωπικό αρχείο).

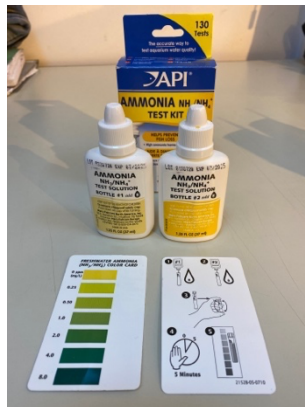
2.2 Προσδιορισμός φυσικοχημικών και θρεπτικών παραμέτρων νερού

Σε καθημερινή βάση καθ' όλη την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας, πραγματοποιούνταν μετρήσεις των φυσικοχημικών παραμέτρων του νερού όπως θερμοκρασία (T), οξυγόνο (O₂), ποσοστό διαλυμένου οξυγόνου (% O₂), pH, μέσω του ψηφιακού φορητού οργάνου HACH, HQ40d και μετρήσεις αλατότητας (S) και ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) με το αγωγιμόμετρο CRISON CM 35. Το νερό για τις παραπάνω μετρήσεις προέρχονταν από το κέντρο της κάθε δεξαμενής ψαριών.

Δυο φορές την εβδομάδα μετρούνταν οι συγκεντρώσεις νιτρωδών (NO₂⁻) και νιτρικών (NO₃⁻) ιόντων καθώς και η ολική αμμωνία (TAN), με ειδικά χρωματομετρικά αντιδραστήρια (API Test Kit) για την κάθε μέτρηση. Επίσης, μια φορά την εβδομάδα η

ολική αμμωνία (TAN) μετρούνταν φωτομετρικά με το φωτόμετρο HACH LANGE DR 3900. Οι παραπάνω διαδικασίες γίνονταν με σκοπό να παρακολουθούνται οι τιμές και να αποτραπεί πιθανή κατάρρευση του συστήματος (Lennard, 2012). Το νερό που χρησιμοποιούνταν για τις παραπάνω μετρήσεις συλλέγονταν σε δυο σημεία, ένα από την είσοδο του νερού στην δεξαμενή φυτών (GBin) απεικονίζοντας τα θρεπτικά και τις παραμέτρους που διοχετεύονταν από τα ψάρια στα φυτά και αντίθετα από την έξοδο του νερού στις δεξαμενές των ψαριών (GBout), νερό που αποβάλλεται από τα φυτά στα ψάρια μετά την απορρόφηση όλων των θρεπτικών που αυτά χρειάζονταν.

Η διαδικασία μέτρησης της αμμωνίας ($\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$) περιγράφεται ως εξής:



Εικόνα 3. Χρωματομετρικό κιτ μέτρησης αμμωνίας (προσωπικό αρχείο)

- Προσθήκη σε ειδική γυάλινη κυψελίδα που παρέχεται από τα αντιδραστήρια, 5 ml νερό από την δεξαμενή
- Προσθήκη 8 σταγόνων από το αντιδραστήριο Ammonia #1 και ανακίνηση για 5 δευτερόλεπτα
- Προσθήκη 8 σταγόνων από το αντιδραστήριο Ammonia #2 και ανακίνηση για 5 δευτερόλεπτα
- Αναμονή 5 λεπτά ώσπου το δείγμα να χρωματιστεί ανάλογα

- Σύγκριση του χρώματος του δείγματος στην κυψελίδα με την αντίστοιχη κλίμακα του αντιδραστηρίου που θα μας δώσει την τελική τιμή.

Η διαδικασία μέτρησης των νιτρωδών ιόντων (NO_2^-) περιγράφεται ως εξής:



Εικόνα 4. Χρωματομετρικό κιτ μέτρησης νιτρωδών (προσωπικό αρχείο)

- Προσθήκη σε ειδική γυάλινη κυψελίδα που παρέχεται από τα αντιδραστήρια, 5 ml νερό από την δεξαμενή
- Προσθήκη 5 σταγόνων από το αντιδραστήριο Nitrite και ανακίνηση για 5 δευτερόλεπτα
- Αναμονή 5 λεπτά ώσπου το δείγμα να χρωματιστεί ανάλογα
- Σύγκριση του χρώματος του δείγματος στην κυψελίδα με την αντίστοιχη κλίμακα του αντιδραστηρίου που θα μας δώσει την τελική τιμή.

Η διαδικασία μέτρησης των νιτρικών ιόντων (NO_3^-) περιγράφεται ως εξής:



Εικόνα 5. Χρωματομετρικό κιτ μέτρησης νιτρικών (προσωπικό αρχείο)

- Προσθήκη σε ειδική γυάλινη κυψελίδα που παρέχεται από τα αντιδραστήρια, 5 ml νερό από την δεξαμενή
- Προσθήκη 10 σταγόνων από το αντιδραστήριο Nitrate #1 και ανακίνηση για 5 δευτερόλεπτα
- Προσθήκη 10 σταγόνων από το αντιδραστήριο Nitrate #2 και ανακίνηση για 5 δευτερόλεπτα
- Ανακίνηση 5 λεπτά ώσπου το δείγμα να χρωματιστεί ανάλογα
- Αναμονή 3 λεπτά ώσπου το δείγμα να χρωματιστεί ανάλογα
- Σύγκριση του χρώματος του δείγματος στην κυψελίδα με την αντίστοιχη κλίμακα του αντιδραστηρίου που θα μας δώσει την τελική τιμή.

Η θερμοκρασία του νερού στις δεξαμενές των ψαριών σε όλη την διάρκεια του πειράματος ρυθμίστηκε στους 22 °C και σε κάθε δεξαμενή ψαριών είχε τοποθετηθεί από ένας θερμοστάτης. Η θερμοκρασία αυτή ρυθμίστηκε καθώς σύμφωνα με τους Claridge & Potter (1983), η βέλτιστη θερμοκρασία για τα λαβράκια κυμαίνεται μεταξύ 22 και 24 °C.

Τα επίπεδα του διαλυμένου οξυγόνου αλλά και το ποσοστό κορεσμού του, προσδιορίζονταν ώστε να αποφευχθούν αναερόβιες συνθήκες κατά την διάρκεια του πειράματος.

Το pH μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων κυμαίνονταν από 6.59 έως 6.90. Το pH αποτελεί σημαντικό παράμετρο του νερού στα συστήματα επανακυκλοφορίας του νερού. Είναι σημαντικό να παραμένει στα επίπεδα που δεν είναι τοξικό για το κάθε είδος ψαριού που καλλιεργείται, γιατί όσο αυξάνεται, η αμμωνία μετατρέπεται σε τοξικό αμμώνιο για τα ψάρια (Al-Hafedh et al. 2008).

Καθημερινά σε όλες τις δεξαμενές των μεταχειρίσεων πραγματοποιούνταν σιφωνισμός, με σκοπό την απομάκρυνση των περιττωμάτων καθώς και πλύσιμο των υαλοβαμβάκων του μηχανικού φίλτρου. Αυτές οι διεργασίες μαζί με την καθημερινή εξάτμιση του νερού από τα συστήματα είχαν σαν αποτέλεσμα την μείωση της συνολικής ποσότητας νερού που ήταν απαραίτητη για την σωστή λειτουργία των συστημάτων. Έτσι καθημερινά γινόταν ανανέωση νερού περίπου 5%, ποσότητα που είναι ικανοποιητική για αυτά τα συστήματα (Hu et al., 2015; Nozzi et al., 2018), σε όλες τις μεταχειρίσεις με αποτέλεσμα να μεταβάλλονται οι τιμές της αλατότητας και της αγωγιμότητας.

2.3 Τροφή Ψαριών

Η τροφή που χορηγήθηκε καθόλη την διάρκεια του πειράματος ήταν εμπορικά σύμπηκτα της εταιρείας Biomar ABEE, και συγκεκριμένα ήταν η τροφή INTRO Plus με διάμετρο κόκκων 1,5 mm.

Η τροφή χορηγούνταν τρεις φορές ημερησίως (09:00, 15:00 και 21:00), *at libitum*, με μια μέρα νηστεία κάθε εβδομάδα.

Οι ακριβείς ποσότητες τροφής που κατανάλωσε η κάθε δεξαμενή ψαριών κατά την διάρκεια των 45 ημερών φαίνονται στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 1).

Πίνακας 1. Καταναλωθείσα τροφή για τις 45 ημέρες ανά δεξαμενή ψαριών

Μεταχείριση 1			Μεταχείριση 2			Μεταχείριση 3		
1 Τιλάπια	7 Λαβράκια	7 Λαβράκια	4 Λαβράκια	1 Τιλάπια	4 Λαβράκια	6 Λαβράκια	1 Τιλάπια	6 Λαβράκια
72.5 g	404.9 g	466.9 g	213 g	79.9 g	185.6 g	284.3 g	378.6 g	76.7 g

2.4 Μορφομετρικές μετρήσεις ψαριών και φυτών

2.4.1 Παράμετροι ανάπτυξης ιχθύων

Τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά των ιχθύων υπολογίζονταν κάθε δεκαπέντε ημέρες, όπου υπολογίζονταν η αύξηση του σωματικού τους βάρους (g) με ζυγό ακριβείας και η ανάπτυξη τους σωματικού τους μήκους (cm) με την βοήθεια ιχθυόμετρου. Οι παραπάνω μετρήσεις πραγματοποιούνταν μετά την αναισθητοποίηση των ιχθύων με φαινοξυαιθανόλη (0.3-0.5 ml). Χρησιμοποιούνταν 2 L νερού από την κάθε μεταχείριση για την αναισθησία, 6 L νερού για την τοποθέτηση των ιχθύων μετά την δειγματοληψία τους από την κάθε δεξαμενή πριν το ζύγισμα καθώς και 15 L νερού που τοποθετούνταν σε κουβά με πέτρα αέρα έτοιμο να υποδεχθεί τους ιχθύες μετά την αναισθησία με στόχο την ανάνηψή τους.

Κατά την διάρκεια του ζυγίσματος τα ψάρια τοποθετούνταν στον κουβά με το νερό όπου ήταν διαλυμένο το αναισθητικό, και μόλις έχαναν την πλευση τους ψαρεύονταν, ταμπονάρονταν με χαρτί και τοποθετούνταν στον ζυγό ακριβείας όπου και καταγράφονταν το βάρος τους. Έπειτα, τοποθετούνταν στο ιχθυόμετρο, καταγράφονταν

το ολικό τους μήκος και τοποθετούνταν στον κουβά για ανάνηψη. Πριν την ημέρα του ζυγίσματος, τα ψάρια δεν ταΐζονταν.

Οι μετρήσεις βάρους των ψαριών χρειάστηκαν για να υπολογιστεί ο ρυθμός ανάπτυξης τους αλλά και η συνολική βιομάζα τους, που δίνεται από τον τύπο:

Συνολική Βιομάζα (g) = Μέσο βάρος ψαριών (MB) x αριθμό ψαριών

Παρακάτω είναι οι υπολογισμοί για την ανάπτυξη των ψαριών, την εκτίμηση της αύξησης του βάρους των ιχθύων αλλά και τον προσδιορισμό κατανάλωσης της χορηγούμενης τροφής από τους εκτρεφόμενους ιχθύες (Houlihan *et al.*, 2001, Παπουτσόγλου, 2008; Bahadır-Koca, 2009). Έτσι προέκυψαν οι παρακάτω σχέσεις:

⇒ Ποσοστό επιβίωσης (S-Survival %)

$S = (\text{τελικός αριθμός ψαριών} / \text{αρχικό αριθμό ψαριών}) \times 100$

⇒ Απόλυτη αύξηση βάρους (WG – Weight Gain)

$WG (g) = \text{Τελικό βάρος} - \text{Αρχικό βάρος}$

⇒ Συντελεστής Μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR, Food Conversion Ratio),

εκφράζει την ποσότητα του ξηρού βάρους της τροφής που καταναλώθηκε σε g η οποία απαιτείται για την αύξηση του νωπού σωματικού βάρους κατά ένα g.

$FCR = KT/WG$, όπου KT (g) είναι η προσφερόμενη τροφή και WG είναι η αύξηση βάρους (g)

⇒ Ημερήσιος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (SGR, Specific Growth Rate %), εκφράζει την ημερήσια ποσοστιαία αύξηση του σωματικού βάρους των λαβρακιών και των τιλαπιών καθόλο το διάστημα που ταΐζονταν οι ιχθύες.

$SGR (\%/ημέρα) = \{ \ln (W_t) - \ln (W_i) / d \} \times 100$ όπου, W_t τελικό βάρος (g)

W_i αρχικό βάρος (g)

d ημέρα

2.4.2 Μορφομετρικά χαρακτηριστικά των φυτών

Η καταγραφή των μορφομετρικών χαρακτηριστικών των φυτών πραγματοποιούνταν κάθε δεκαπέντε ημέρες. Συγκεκριμένα, μετρούνταν ο αριθμός των φύλλων, το ύψος που έχει αναπτύξει το κάθε φυτό, το PAR (skye) και η θερμοκρασία του (θερμοζεύγος), σε σχέση με τις μετρήσεις που είχαν παρθεί πριν την φύτευση (ημέρα 0).

Στο τέλος του πειράματος (ημέρα 45), έγινε η συγκομιδή των φυτών. Εκεί μετρήθηκαν οι παραπάνω παράμετροι και επιπρόσθετα υπολογίστηκε το βάρος του βλαστού των φυτών καθώς και το μήκος τους. Οι ρίζες των μαρουλιών αφαιρέθηκαν και τοποθετήθηκαν στον φούρνο για αποξήρανση στους 80 °C και για διάρκεια 48 ωρών σε σακουλάκια κωδικοποιημένα αντίστοιχα για το κάθε φυτό, όπως οι βλαστοί και τα φύλλα από το κάθε φυτό. Στο τέλος υπολογίστηκε το νωπό βάρος του υπέργειου φυτού, το συνολικό βάρος του φυτού, το ξηρό βάρος του υπέργειου και το ξηρό βάρος της ρίζας αλλά και του βλαστού. Οι αποξηραμένοι ιστοί των φυτών θα χρησιμοποιηθούν περαιτέρω για χημικές αναλύσεις.

2.4.3 Δειγματοληψία Τιλαπιών

Στο τέλος του πειράματος και αφού είχαν ληφθεί οι αναπτυξιακές μετρήσεις των ψαριών, έγινε δειγματοληψία μόνο στις τιλάπιες για περαιτέρω αναλύσεις.

Συγκεκριμένα η θανάτωση των ιχθύων επήλθε μετά από την τοποθέτησή τους σε κουβά με παγόνερο και δόση αναισθητικού, όπως ορίζεται από την Ευρωπαϊκή ένωση ώστε να μην παραβιάζεται η ευζωία των ψαριών (Poli et al, 2005). Μετά την θανάτωση, οι τιλάπιες ανοίχτηκαν με ψαλίδι δημιουργώντας το ιστολογικό παράθυρο και με προσοχή

αφαιρέθηκε το ήπαρ τους με νυστέρι και λαβίδα αφού πρώτα είχαν απολυμανθεί με αλκοόλη 60%. Οι νωποί ιστοί από το ήπαρ ζυγίστηκαν, τοποθετήθηκαν σε αριθμημένα σακουλάκια αντίστοιχα για την κάθε τιλάπια και παρέμειναν σε πάγο έως ότου ολοκληρωθεί η δειγματοληψία. Στην συνέχεια, με νυστέρι αφαιρέθηκαν το δέρμα με τα λέπια από το σώμα των ιχθύων και κόπηκαν φιλέτα μυϊκού ιστού τα οποία ζυγίστηκαν, τοποθετήθηκαν στα αντίστοιχα σακουλάκια για τους μυϊκούς ιστούς και παρέμειναν σε πάγο, μέχρι να περάσουν στο επόμενο βήμα αυτό της ξήρανσης και κατά συνέπεια στον προσδιορισμό της υγρασίας.

2.5 Χημικές αναλύσεις

Μετά το πέρας του πειράματος ακολούθησαν οι χημικές αναλύσεις για τον προσδιορισμό της υγρασίας, των αζωτούχων ενώσεων, των ολικών λιπιδίων, της τέφρας και της ενέργειας. Οι παραπάνω αναλύσεις έγιναν για να αποτυπωθεί το προφίλ της τροφής που χορηγούνταν στα ψάρια ενώ για τον μυϊκό ιστό και το ήπαρ των τιλαπιών εξετάστηκαν τα ίδια εκτός από την τέφρα και την ενέργεια. Τέλος, όσον αφορά τα μαρούλια αναλύθηκαν για αζωτούχες ενώσεις, ολικά λιπίδια και τέφρα.

2.5.1 Προσδιορισμός υγρασίας της τροφής και των ιστών από τις τιλάπιες

Για να γίνει ο προσδιορισμός της υγρασίας πρώτα απ' όλα απαιτείται ξήρανση του ιστού. Έτσι, κατασκευάζονται αλουμινένια δισκάκια τα οποία ζυγίζονται και μέσα στα οποία τοποθετείται ο νωπός ιστός και επαναζυγίζονται. Έπειτα, τα δισκία με το δείγμα τοποθετούνται στον φούρνο στους 105 °C για 24 ώρες ώσπου να αποξηραθούν. Μετά το πέρας αυτών των ωρών, τα ξερά δείγματα πλέον αφήνονται να κρυσώσουν σε ξηραντήρα και ζυγίζονται. Το ποσοστό υγρασίας των δειγμάτων κατά συνέπεια

υπολογίζεται ακολούθως:

Υγρασία = Καθαρό βάρος δείγματος (g) – Καθαρό βάρος ξηρού δείγματος (g)

Οπότε Υγρασία % = (Υγρασία x 100)/καθαρό βάρος δείγματος

2.5.2 Προσδιορισμός αζωτούχων ενώσεων στην τροφή, στα μαρούλια και στον μυϊκό ιστό και στο ήπαρ των τιλαπιών

Ο προσδιορισμός των αζωτούχων ενώσεων δηλαδή των ολικών πρωτεϊνών πραγματοποιήθηκε με την μέθοδο Kjeldhal (AOAC 1995) με σκοπό να υπολογιστεί η ποσότητα των πρωτεϊνών που εμπεριέχονταν στην τροφή που προφέρονταν στους ιχθύες καθόλη την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας, στον μυϊκό ιστό και στο ήπαρ από τις τιλάπιες αλλά οι πρωτεΐνες που απορρόφησαν τα μαρούλια.

Η διαδικασία προσδιορισμού των ολικών αζωτούχων ουσιών αποτελείται από τρία στάδια. Το πρώτο στάδιο είναι το στάδιο της χώνεψης – πέψης, κατά το οποίο πραγματοποιείται βρασμός του δείγματος σε πυκνό θειικό οξύ (H_2SO_4), με σκοπό την διάσπαση όλων των αζωτούχων ουσιών, την απελευθέρωση του αζώτου και τελικά την δέσμευσή του σε θειικό αμμώνιο. Στο δεύτερο στάδιο έχουμε την απόσταξη, εκεί στο όξινο διάλυμα της πέψης προστίθεται βασικό διάλυμα, όπου πραγματοποιείται η μετατροπή της αμμωνίας (NH_3) σε αμμωνιακά ιόντα (NH_4^+) και η δέσμευσή τους σε διάλυμα βορικού οξέος. Τελικό στάδιο της διαδικασίας αποτελεί η τιτλοδότηση (ογκομέτρηση εξουδετέρωσης) όπου δηλαδή προσδιορίζονται οι ολικές αζωτούχες ουσίες.

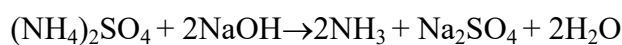
Ειδικότερα, η συσκευή Kjeldhal αποτελείται από 12 φιάλες βρασμού. Στην αρχή του πρώτου σταδίου (χώνεψη-πέψη) τοποθετούνται από 2 ταμπλέτες (Kjeldhal tablets catalyst 9% $CuSO_4 - 5H_2O$ της εταιρείας PanReac AppliChem) σε κάθε φιάλη βρασμού, οι οποίες αποτελούν τον καταλύτη επιτάχυνσης της πέψης. Στην συνέχεια,

προστίθεται σε αυτές ποσότητα 0.2 g αποξηραμένου και κονιορτοποιημένου δείγματος-ιστού, εκτός από την πρώτη φιάλη η οποία αποτελεί το κενό δείγμα της διαδικασίας.

Έπειτα σε κάθε φιάλες βρασμού ακόμα και στο κενό προστίθενται 15 ml πυκνού θειικού οξέος (H₂SO₄) καθαρότητας 96%, και εισάγονται στην συσκευή πέψεως, όπου πραγματοποιείται χώνεψη με θέρμανση του μίγματος για 1.5 ώρα περίπου. Κατά το τέλος αυτού του σταδίου, οι φιάλες παραμένουν κάτω από επαγωγό για 20-30 λεπτά, ώστε να ψυχθούν. Η αντίδραση κατά το στάδιο της πέψης είναι η ακόλουθη: Οργανικό N + H₂SO₄ → (NH₄)₂SO₄ + H₂O + CO₂ + λοιπά παραπροϊόντα.

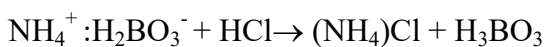
Μετά το πέρας των 20-30 λεπτών, οι κάθε φιάλη βρασμού τοποθετείται στην ειδική υποδοχή της συσκευής αποστάξεως, ενώ στην άλλη υποδοχή τοποθετείται μια κενή κωνική φιάλη όγκου 250 ml αφού πρώτα προστεθούν σε αυτή 3 σταγόνες δείκτη ερυθρού του μεθυλίου (methyl red). Η συσκευή προσθέτει 100 ml H₂O και 80 ml καυστικού νατρίου NaOH 40% στην φιάλη βρασμού που περιέχει το δείγμα, ενώ στην κενή κωνική φιάλη προστίθεται 50 ml βορικού οξέος H₂BO₃ 4%, όπου γίνεται η δέσμευση των αμμωνιακών ιόντων. Ο χρόνος απόσταξης του κάθε δείγματος είναι 6 λεπτά.

Οι χημικές αντιδράσεις κατά το στάδιο της απόσταξης είναι η εξής:



Η τιτλοδότηση, που αποτελεί το τελευταίο στάδιο της διαδικασίας και πραγματοποιείται με πρότυπο διάλυμα υδροχλωρικού οξέος 0,1 N HCl (PanReac AppliChem). Στο σημείο εξουδετέρωσης, το χρώμα του διαλύματος από κίτρινο μετατρέπεται σε έντονο φούξια, γεγονός που οφείλεται στην παρουσία του δείκτη, ο οποίος είναι ευαίσθητος στην μεταβολή του pH. Καθόλη την διάρκεια της

εξουδετέρωσης πραγματοποιείται συνεχής ανάδευση του διαλύματος με μαγνητικό αναδευτήρα. Η χημική αντίδραση στο στάδιο αυτό είναι η ακόλουθη:



Η περιεκτικότητα του δείγματος σε N (%) υπολογίστηκε με βάση την ακόλουθη σχέση:

$$\text{N}\% = (\text{ml HCl δείγματος} - \text{ml κενού δείγματος}) * 1,4008 * \text{N} / \text{Βάρος δείγματος (g)}$$

όπου,

ml κενού δείγματος υπολογίζονται από την τιτλοδότηση της κενής φιάλης, δηλαδή αυτής που μπήκε δείγμα ιστού, η οποία χρησιμοποιείται ως συντελεστής διόρθωσης και N, η κανονικότητα του υδροχλωρικού οξέος (0,1 N)

Η περιεκτικότητα του δείγματος σε πρωτεΐνες (%) υπολογίστηκε με βάση την ακόλουθη σχέση:

$$\text{Πρωτεΐνες \%} = (\text{ml HCl δείγματος} - \text{ml κενού δείγματος}) * 0,8754 / \text{βάρος του}$$

δείγματος σε g

2.5.3 Προσδιορισμός ολικών λιπιδίων στην τροφή, στα μαρούλια και στον μυϊκό ιστό και στο ήπαρ των τιλαπιών

Ο προσδιορισμός των ολικών λιπιδίων πραγματοποιήθηκε με την μέθοδο Soxhlet (AOAC 1995), με σκοπό να υπολογιστεί η ποσότητα των λιπιδίων που εμπεριέχονταν στην τροφή που προφέρονταν στους ιχθύες καθόλη την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας, στον μυϊκό ιστό και στο ήπαρ από τις τιλάπιες αλλά στα λίπη που απορρόφησαν τα μαρούλια.

Η διαδικασία προσδιορισμού των ολικών λιπιδίων αποτελείται από δυο στάδια, από το στάδιο της εκχύλισης και το στάδιο του υπολογισμού. Συγκεκριμένα, χρειάστηκαν γυάλινα δοχεία εκχύλισης στα οποία προστέθηκαν 3 πέτρες βρασμού (ηφαιστειογενής προέλευσης) και καταγράφηκε το μικτό βάρος (βάρος δοχείου με πέτρες) σε ζυγό ακριβείας τεσσάρων δεκαδικών ψηφίων. Έπειτα, σε κάθε δοχείο εκχύλισης τοποθετήθηκε ένας χάρτινος διηθητικός ηθμός, μέσα στον οποίο τοποθετούνταν 1g ξηρού δείγματος του εκάστοτε ιστού που υπολογίζονταν, αποτελώντας το βάρος δείγματος. Στην συνέχεια, προστίθονταν με ογκομετρικό κύλινδρο 150 ml πετρελαϊκού αιθέρα και τα γυάλινα δοχεία εκχύλισης που περιείχαν τα δείγματα τοποθετούνταν στην ειδική συσκευή εκχύλισης λιπαρών ουσιών (συσκευή Soxhlet). Στο στάδιο αυτό, πραγματοποιούνταν θέρμανση των δειγμάτων στους 150 °C υπό την παρουσία του οργανικού διαλύτη. Ο οργανικός αιθέρας έπειτα απορροφούνταν από το δείγμα για 1.5 ώρα. Στο τέλος, ο οργανικός διαλύτης απορροφήθηκε για 15 λεπτά και τα ολικά λιπίδια του δείγματος παρέμειναν στον πάτο του δοχείου εκχύλισης. Μετά το τέλος της διαδικασίας αυτής, ο διηθητικός ηθμός με το δείγμα αφαιρέθηκε και τα γυάλινα δοχεία τοποθετήθηκαν στον φούρνο στους 105 °C για περίπου δεκαπέντε λεπτά με σκοπό την ολική εξάτμιση του αιθέρα που πιθανά είχε παραμείνει και έπειτα αφέθηκαν να κρυώσουν για λίγο στον επαγωγό. Τέλος, τα δοχεία αφού κρυώσουν ζυγίζονται και καταγράφεται το τελικό βάρος του δοχείου που περιέχει την εκχύλιση. Η παρακάτω σχέση έδωσε την τελική περιεκτικότητα των δειγμάτων σε ολικά λιπίδια:

$$\text{Βάρος λίπους (g)} = \text{τελικό βάρος δοχείου εκχύλισης (g)} - \text{αρχικό βάρος (g)} \text{ οπότε}$$
$$\text{Ολικά λιπίδια (\%)} = (\text{Βάρος λίπους/βάρος ξηρού δείγματος}) \times 100$$

2.5.4 Προσδιορισμός Τέφρας στην τροφή και στα μαρούλια

Ως τέφρα ορίζεται το ανόργανο υπόλειμμα που απομένει μετά την τέλεια καύση του εκάστοτε δείγματος. Παρόλο που υπάρχουν διάφοροι τρόποι προσδιορισμού της τέφρας στην παρούσα εργασία ο προσδιορισμός έγινε με την διαδικασία της ξηρής καύσης.

Για την διαδικασία χρειάστηκαν πυρίμαχα μικρά δοχεία τα οποία σημειώνονταν ανάλογα με το κάθε δείγμα που θα τοποθετούνταν μέσα. Καταγράφονταν το κενό βάρος τους και στην συνέχεια τοποθετούνταν μέσα τους 1g αποξηραμένου και κονιορτοποιημένου δείγματος. Τα δοχεία εισέρχονταν στον κλίβανο αποτέφρωσης για 3 ώρες στους 600 °C μέχρι να γίνει η πλήρης αποτέφρωση όλων των οργανικών συστατικών. Μετά το τέλος αυτής της διαδικασίας, τα δοχεία με ότι έχει απομείνει από την καύση τοποθετούνταν στον ξηραντήρα έως ότου κρυώσουν και ζυγιστούν. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε ζυγό ακριβείας 4 δεκαδικών ψηφίων. Το καθαρό βάρος της τέφρας υπολογίστηκε μετά από την αφαίρεση του βάρους των κενών δοχείων από το βάρος των δοχείων με την τέφρα. Οι παρακάτω εξισώσεις δίνουν το ποσοστό (%) της τέφρας.

$$W_{\text{αποτεφρωμένου δείγματος}} = W_{\text{αποτεφρωμένου δείγματος \& δισκίου}} - W_{\text{δισκίου}}$$

$$\text{Τέφρα (\%)} = (W_{\text{αποτεφρωμένου δείγματος}} / W_{\text{αρχικού δείγματος}}) * 100$$

2.5.5 Προσδιορισμός ενέργειας στην τροφή

Ο προσδιορισμός της ενέργειας των δειγμάτων της ξηράς τροφής πραγματοποιήθηκε θερμιδόμετρο τύπου βόμβας, αφού η καύση πραγματοποιείται μέσα σε κλειστό ανοξείδωτο δοχείο. Κατά την πλήρη καύση του δείγματος εκλύεται θερμότητα, η οποία ελευθερώνεται από τον θάλαμο καύσεως αυξάνοντας την

θερμοκρασία του νερού το οποίο θερμαίνει ένα εξωτερικό δοχείο γνωστής θερμοκρασίας. Αυτή η αύξηση θερμοκρασίας καταγράφεται από ένα θερμόμετρο υπολογίζοντας έτσι την θερμιδική αξία του δείγματος που κάηκε. Η ενέργεια τελικά που περιέχει το εκάστοτε δείγμα δίνεται ηλεκτρονικά από την συσκευή σε KJ/g.

2.6 Στατιστική ανάλυση

Τα δεδομένα τόσο των ιχθύων όσο και των φυτών που προέκυψαν από όλες τις μετρήσεις και τις αναλύσεις επεξεργάστηκαν στατιστικά με το στατιστικό λογιστικό πρόγραμμα IBM SPSS Statistics 26. Οι τιμές εξετάστηκαν με σκοπό να ικανοποιούν το επίπεδο σημαντικότητας 5% ($p > 0.05$). Τιμές μικρότερες αυτού του επιπέδου παρουσίαζαν σημαντικά στατιστικές διαφορές.

Ελέγχθηκαν πρώτα όλες οι προϋποθέσεις για την παραμετρική ανάλυση με oneway-ANOVA (π.χ. κανονικότητα της κατανομής (Kolmogorov–Smirnov), ομοιογένεια (Shapiro-Wilk test). Σε αντίθετη περίπτωση χρησιμοποιούνταν ο μη παραμετρικός έλεγχος (Kruskal Wallis).

Οι μετρήσεις στην στατιστική είναι ο Μέσος όρος (MO) \pm τυπικό σφάλμα.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του νερού

Σε όλη την διάρκεια του πειράματος, οι θερμοκρασίες του νερού και στις τρεις μεταχειρίσεις κυμαίνονταν μεταξύ 22.04 °C και 22.08 °C \pm 0.02 και δεν παρουσίαζαν σημαντικά στατιστικές διαφορές μεταξύ τους ($p > 0.05$). Τα επίπεδα του διαλυμένου οξυγόνου αλλά και τα ποσοστά κορεσμού των μεταχειρίσεων δεν παρουσίαζαν σημαντικά στατιστικές διαφορές μεταξύ τους, με τιμές 8.1 ± 0.16 και 92.5 ± 0.56 αντίστοιχα. Η αγωγιμότητα, η αλατότητα και το pH, λόγω των καθημερινών ανανεώσεων του νερού στα συστήματα παρουσίασαν σημαντικά στατιστικές διαφορές ($p < 0.05$) σε όλες τις μεταχειρίσεις, με τις τιμές να φαίνονται στον πίνακα 2. Η αγωγιμότητα και η αλατότητα κυμαινόταν από 0.7 ± 0.001 έως 0.88 ± 0.003 και 0.38 ± 0.001 έως 0.43 ± 0.001 αντίστοιχα.

Το pH στην μεταχείριση 1 κυμάνθηκε στο 6.59 ± 0.04 και στην μεταχείριση 3 στο 6.60 ± 0.02 και μεταξύ τους δεν εμφάνισαν σημαντικά στατιστικές διαφορές, ενώ στην μεταχείριση 3, το pH εμφάνισε την μεγαλύτερη τιμή (6.90 ± 0.05) και διέφερε στατιστικά με τις άλλες δυο μεταχειρίσεις.

Οι αναλυτικές τιμές των φυσικοχημικών παραμέτρων του νερού φαίνονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2. Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του νερού

	Μεταχείριση 1	Μεταχείριση 2	Μεταχείριση 3
pH	6.59 ± 0.04^b	6.90 ± 0.05^a	6.60 ± 0.02^b
T (°C)	22.08 ± 0.01	22.08 ± 0.02	22.04 ± 0.01
O ₂ (mg/L)	7.87 ± 0.35	8.31 ± 0.16	8.12 ± 0.11
O ₂ %	89.59 ± 3.81	95.2 ± 1.88	92.73 ± 1.24
EC (mS/cm)	0.88 ± 0.003^a	0.84 ± 0.001^b	0.79 ± 0.001^c
Salinity (ppt)	0.43 ± 0.001^a	0.41 ± 0.001^b	0.38 ± 0.001^c

Οι μετρήσεις είναι ο μέσος όρος \pm τυπικό σφάλμα, και με διαφορετικά γράμματα προσδιορίζεται η διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων.

3.2 Θρεπτικά στο νερό

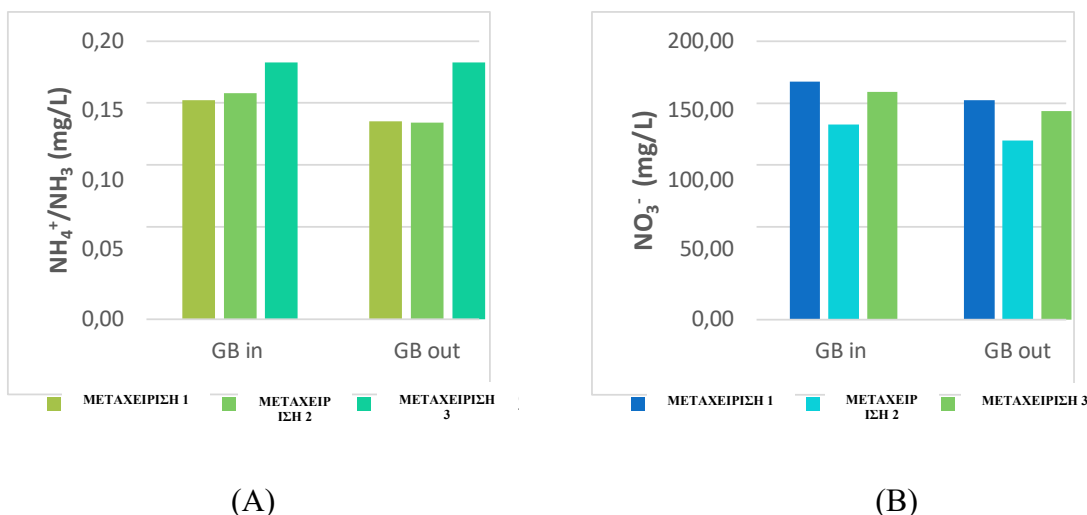
Τα θρεπτικά του νερού που μετρούνταν στο παρόν πείραμα, ήταν η ολική αμμωνία, τα νιτρώδη και τα νιτρικά. Η αμμωνία εκτός από χρωματομετρικά καταγράφηκε και με την βοήθεια του φωτόμετρου. Στον Πίνακα 5 φαίνονται αναλυτικά οι τιμές των θρεπτικών που μετρήθηκαν σε όλες τις μεταχειρίσεις. Υπάρχουν τιμές τόσο από την είσοδο του νερού στην δεξαμενή των φυτών GBin όσο και από την έξοδο του GBout. Με βάση τον παρακάτω πίνακα (3), φαίνεται ότι η αμμωνία στην είσοδο της δεξαμενής των φυτών ήταν 0.16 ± 0.02 για την μεταχείριση 1 και 2 ενώ για την μεταχείριση 3 ήταν 0.18 ± 0.02 , και δεν παρουσίαζαν σημαντικά στατιστικές διαφορές μεταξύ τους ($p > 0.05$). Στην έξοδο, πάλι δεν εμφανίστηκαν σημαντικά στατιστικές διαφορές ($p > 0.05$) με την μεταχείριση 1 να έχει τιμή 0.14 ± 0.02 , την 2 0.14 ± 0.01 και την μεταχείριση 3, 0.18 ± 0.02 .

Τα νιτρώδη (NO_2^-) σε όλες τις μεταχειρίσεις ήταν μηδενικά. Αντίθετα, οι ποσότητες των νιτρικών (NO_3^-) ήταν σε υψηλά επίπεδα και στην είσοδο και στην έξοδο των δεξαμενών με τα φυτά με τιμές που κυμαίνονταν για την μεταχείριση 1, 171.15 ± 10.53 και 157.69 ± 9.55 στην είσοδο και στην έξοδο αντίστοιχα, για την μεταχείριση 2 140.38 ± 15.38 και 128.85 ± 13.82 και για την μεταχείριση 3, 163.46 ± 9.65 και 150 ± 9.81 , με καμία μεταχείριση να παρουσιάζει σημαντικά στατιστικές διαφορές ($p > 0.05$).

Τέλος, για την μέτρηση της αμμωνίας με το φωτόμετρο οι τιμές ήταν 0.08 ± 0.01 , 0.06 ± 0.02 και 0.08 ± 0.02 για τις μεταχειρίσεις 1, 2 και 3 αντίστοιχα, και δεν παρουσίασαν σημαντικά στατιστικές διαφορές ($p > 0.05$).

Πίνακας 3. Μετρήσεις αμμωνίας (mg/L), νιτρωδών, νιτρικών που παρατηρήθηκαν στο νερό στην είσοδο και έξοδο της δεξαμενής των φυτών.

mg L ⁻¹	Μεταχείριση 1	Μεταχείριση 2	Μεταχείριση 3
(NH ₄ ⁺ /NH ₃) (GBin)	0.16 ± 0.02	0.16 ± 0.02	0.18 ± 0.02
(NH ₄ ⁺ /NH ₃) (GBout)	0.14 ± 0.02	0.14 ± 0.01	0.18 ± 0.02
NO ₂ (GBin)	0	0	0
NO ₂ (GBout)	0	0	0
NO ₃ ⁻ (GBin)	171.15 ± 10.53	140.38 ± 15.38	163.46 ± 9.65
NO ₃ ⁻ (GBout)	157.69 ± 9.55	128.85 ± 13.82	150 ± 9.81
NH ₃ φωτόμετρο	0.08 ± 0.01	0.06 ± 0.02	0.08 ± 0.02



Σχήμα 2. Σύγκριση τιμών αμμωνίας (A), (mg/L) και σύγκριση τιμών νιτρικών (B) (mg/L) μεταξύ των μεταχειρίσεων στα τρία ενυδρειοπονικά συστήματα.

3.3 Παράμετροι ανάπτυξης Ιχθύων

3.3.1 Λαβράκια

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν τόσο οι παράμετροι ανάπτυξης των λαβρακιών ανά μεταχείριση σε διάρκεια 45 ημερών όσο και οι παράμετροι ανάπτυξης των τιλαπιών. Παρακάτω στον Πίνακα 6 δίνονται οι παράμετροι ανάπτυξης των λαβρακιών στην κάθε μεταχείριση.

Στην μεταχείριση 2, το ποσοστό επιβίωσης των ψαριών ήταν στο 62.5%. Στην μεταχείριση 3 το ποσοστό επιβίωσης ήταν 84.6%, ενώ αντίθετα στην μεταχείριση 1 δεν υπήρξε καμία θνησιμότητα κατά την διάρκεια του πειράματος.

Οι βιομάζες των τριών μεταχειρίσεων (λαβράκια – τιλάπιες) καθορίστηκαν όπως ειπώθηκε στην αρχή με σκοπό να διαφέρουν από μεταχείριση σε μεταχείριση με την Μεταχείριση 1 να έχει αρχική βιομάζα 1246.24 g και τελική 1883.87 g, η μεταχείριση 2, από 758.13 g αρχικά έγινε 929.05 g τελικά και την μεταχείριση 3 να ξεκινάει με 925.90 g και να φτάνει τελικά τα 1406.62 g. Τα αρχικά βάρη και μήκη των λαβρακιών μεταξύ των μεταχειρίσεων 1 και 3 δεν παρουσίασαν σημαντικά στατιστικές διαφορές, ενώ τα αρχικό βάρη και μήκη της μεταχείρισης 2 παρουσίασαν σημαντικά στατιστικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων 1 και 3. Τα τελικά βάρη και μήκη και των τριών μεταχειρίσεων δεν παρουσίασαν σημαντικά στατιστικές διαφορές.

Η απόλυτη αύξηση (WG, g) των λαβρακιών δεν εμφάνισε σημαντικά στατιστικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων ($p > 0.05$), με μεγαλύτερη αυτή της μεταχείρισης 3, έπειτα της μεταχείρισης 1 και τέλος της μεταχείρισης 2 (Πίνακας 4 και Σχήμα 3).

Το FCR παρατηρήθηκε να είναι μεγαλύτερο στην μεταχείριση 2 και να ακολουθείται από την μεταχείριση 1 και έπειτα από την 3. Αντίστροφα συνέβη για το SGR, αφού μεγαλύτερη τιμή είχε η μεταχείριση 2, έπειτα η μεταχείριση 1 και τέλος η 3 (Πίνακας 4 και Σχήμα 4). Το FCR μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων δεν εμφάνισε σημαντικά στατιστικές διαφορές. Αντίθετα, στο SGR της μεταχείρισης 3, παρατηρήθηκαν σημαντικά στατιστικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων 1 και 2.

Πίνακας 4. Αναπτυξιακές παράμετροι λαβρακιών

	Μεταχείριση 1	Μεταχείριση 2	Μεταχείριση 3
Επιβίωση <i>D. labrax</i>	100	62.5	84.6
Αρχική Βιομάζα Μεταχείρισης (g)	1246.24	758.13	925.90
Τελική Βιομάζα Μεταχείρισης (g)	1883.87	929.05	1406.62
Αρχικό βάρος <i>D. labrax</i> (g)	79.36 ± 2.07 ^a	77.71 ± 6.1 ^{ab}	65.81 ± 5.31 ^b
Τελικό βάρος <i>D. labrax</i> (g)	123.18 ± 3.62	120.43 ± 14.44	114.54 ± 7.57
Αρχικό μήκος <i>D. labrax</i> (cm)	18.72 ± 0.22 ^a	18.53 ± 0.47 ^{ab}	17.17 ± 0.48 ^b
Τελικό μήκος <i>D. labrax</i> (cm)	21.48 ± 0.29	21.62 ± 0.60	20.64 ± 0.38
Απόλυτη αύξηση (WG) <i>D. Labrax</i> (g)	43.82 ± 1.77	38.70 ± 7.35	46.84 ± 2.82
FCR (%)	1.46 ± 0.07	1.67 ± 0.53	1.24 ± 0.09
SGR (%/d)	0.97 ± 0.02 ^b	0.83 ± 0.1 ^b	1.19 ± 0.05 ^a

Οι μετρήσεις είναι ο μέσος όρος ± τυπικό σφάλμα, και με διαφορετικά γράμματα προσδιορίζεται η διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων.

3.3.2 Τιλάπιες

Οι τιλάπιες που είχαν τοποθετηθεί στην κάθε μεταχείριση μελετήθηκαν ξεχωριστά και οι αναπτυξιακοί παράμετροί τους φαίνονται παρακάτω στον Πίνακα 7.

Όλες οι τιλάπιες επιβίωσαν και από τις 3 μεταχειρίσεις. Τα αρχικά βάρη από τις τιλάπιες όπως και τα τελικά, δεν διέφεραν σημαντικά στατιστικά μεταξύ τους ($p > 0.05$). Το αρχικό βάρος της τιλάπιας από την μεταχείριση 1 ήταν 135.24 g και έφτασε τα 159.39 g, η τιλάπια από την μεταχείριση 2 ήταν 136.44 g και έφτασε 143.67 g και αυτή της μεταχείρισης 3 από 136.23 g τελικά έφτασε 146.67 g. Το αρχικό τους μήκος όπως και το τελικό δεν διέφεραν στατιστικά. Η απόλυτη αύξηση του βάρους τους για την τιλάπια της μεταχείρισης 1 ήταν 24.16 g, για της 2, 7.23 g και για της μεταχείρισης 3, 10.44 g. Η τιλάπια της μεταχείρισης 2 σε διάστημα από την αρχή του πειράματος (ημέρα 0) μέχρι και την ημέρα 15 έχασε 5.65 g. Η τιλάπια της μεταχείρισης 3, παρόλο που μεταξύ των διαστημάτων 0-15 και 15-30 πήρε περίπου 5 g την φορά, στο τελευταίο διάστημα 30-45 έχασε 0.247 g. Την καλύτερη ανάπτυξη εμφάνισε η τιλάπια της

μεταχείρισης 1 αφού σε όλη την διάρκεια του πειράματος αύξησε το βάρος της γεγονός που δικαιολογείται και από το υψηλότερο WG 24.16 g, σε σχέση με αυτό των άλλων δυο, παρόλο που στο ζύγισμα της ημέρας 15 βρέθηκε με μη γονιμοποιημένα αυγά στο στόμα της. Στον Πίνακα 8 και στα σχήματα 5 και 6 φαίνεται ακριβώς η ανάπτυξη των τιλαπιών μεταξύ του διαστήματος που πραγματοποιούνταν τα ζυγίσματα (0-15, 15-30 και 30-45 ημέρες).

Πίνακας 5. Παράμετροι αύξησης τιλαπιών

	Μεταχείριση 1	Μεταχείριση 2	Μεταχείριση 3
Επιβίωση % τιλάπιας	100	100	100
Αρχικό βάρος (g) τιλάπιας	135.24	136.44	136.23
Τελικό βάρος (g) τιλάπιας	159.39	143.67	146.67
Αρχικό μήκος (cm) τιλάπιας	18.90	20.50	19.00
Τελικό μήκος (cm) τιλάπιας	21.00	20.7	19.50
Απόλυτη αύξηση βάρους (WG,g) τιλάπιας	24.16	7.23	10.44

3.4 Ανάπτυξη Μαρουλιών

Η συνολική παραγόμενη βιομάζα των μαρουλιών στην παρούσα πειραματική διαδικασία ήταν για την μεταχείριση 1, 1.26 kg/m², για την μεταχείριση 3, 1.11 kg/m² ενώ η μεταχείριση 2 είχε την χαμηλότερη τιμή δηλαδή 0.52 kg/m².

Τα μαρούλια τόσο στην μεταχείριση 1 όσο και στην 3 επιβίωσαν όλα με μόνη διαφορά ότι στο σύστημα 2, ένα μαρούλι από τα 8 που υπήρχαν σύνολο, την ημέρα 35 παρατηρήθηκε ότι είχε αρκετά ξερά φύλλα και ήταν αδύναμο γεγονός που οδήγησε στην ολική αφαίρεσή του από το σύστημα την ημέρα 37.

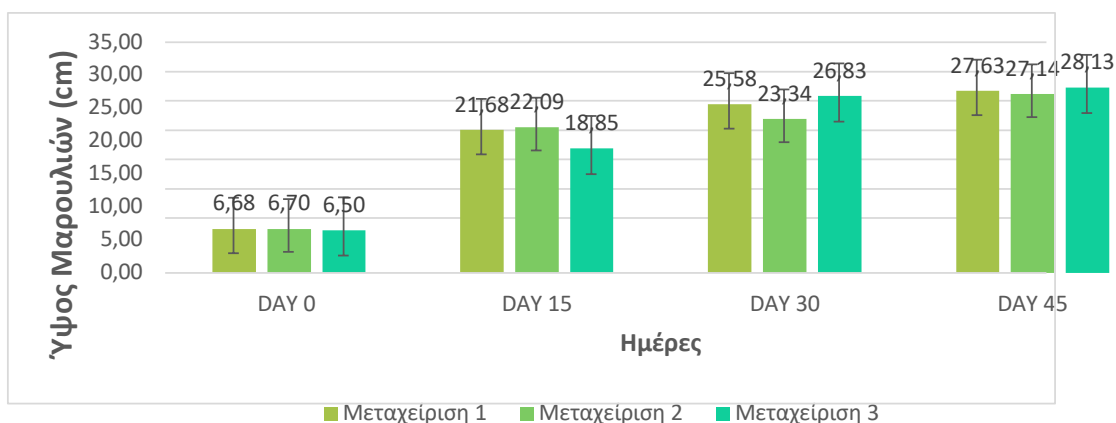
Ενώ στην αρχή του πειράματος τα μαρούλια στις μεταχειρίσεις είχαν περίπου το ίδιο ύψος 6.63 ± 0.04 cm και δεν διέφεραν στατιστικά, η ανάπτυξή τους όσο περνούσαν οι μέρες του πειράματος διέφερε πράγμα το οποίο φαίνεται στο Σχήμα 7 με αποκορύφωμα την ημέρα της συγκομιδής (ημέρα 45) όπου την καλύτερη ανάπτυξη σε ύψος εμφάνισαν τα μαρούλια της μεταχείρισης 3, ακολουθούμενα από αυτά της μεταχείρισης 1 και τέλος της μεταχείρισης 2, αλλά παρόλα αυτά δεν εμφάνισαν σημαντικά στατιστικές διαφορές. Συγκεκριμένα, την ημέρα 15 τα ύψη για τις μεταχειρίσεις 1, 3 και 2 ήταν 21.68 ± 0.39 , 18.85 ± 0.31 και 22.09 ± 0.42 με το ύψος της μεταχείρισης 2 να διαφέρει σημαντικά στατιστικά με αυτά των άλλων δυο μεταχειρίσεων. Την ημέρα 30 το ύψος της ίδιας μεταχείρισης (μεταχείριση 2) εξακολούθησε να διαφέρει σημαντικά στατιστικά με των άλλων δυο και οι τιμές τους ήταν 22.58 ± 0.81 g (μεταχείριση 1), 23.34 ± 0.52 g (μεταχείριση 2) και 26.83 ± 0.46 g (μεταχείριση 3).

Το τελικό νωπό βάρος των φύλλων της μεταχείρισης 2 διέφερε στατιστικά από τις μεταχειρίσεις 1 και 3 πράγμα που γίνεται αντιληπτό και από την συνολικά παραγόμενη βιομάζα, αφού αυτή της 2 ήταν κατά πολύ λιγότερη από τις άλλες δυο. Από την άλλη, το τελικό ξηρό βάρος των φύλλων της μεταχείρισης 3 δεν διέφερε στατιστικά από την μεταχείριση 1 και την 2 ενώ αυτά διέφεραν μεταξύ τους. Τα ξηρά βάρη των ριζών δεν διέφεραν μεταξύ των μεταχειρίσεων όπως φαίνεται στον πίνακα 6.

Πίνακας 6. Αναπτυξιακές παράμετροι μαρουλιών

	Μεταχείριση 1	Μεταχείριση 2	Μεταχείριση 3
Επιβίωση %	100	87.5	100
Παραγόμενη βιομάζα kg/m ²	1.26	0.52	1.11
Αρχικό ύψος (cm)	6.68 ± 0.23	6.7 ± 0.24	6.5 ± 0.19
Τελικό ύψος (cm)	27.63 ± 0.97	27.14 ± 0.71	28.13 ± 1.23
Τελικός αριθμός φύλλων/μαρούλι	51.63 ± 1.43	47.43 ± 1.43	46.38 ± 1.99
Τελικό ύψος βλαστού (cm)	12.8 ± 0.95 ^{ab}	15.00 ± 0.61 ^a	11.33 ± 0.02 ^b
Τελικό νωπό βάρος φύλλων (g)	126.18 ± 28.07 ^a	54 ± 10.76 ^b	113.1 ± 18.11 ^a
Τελικό ξηρό βάρος φύλλων (g)	9.05 ± 1.04 ^a	5.42 ± 0.64 ^b	7.9 ± 0.69 ^{ab}
Ξηρό βάρος ρίζας (g)	0.9 ± 0.15	0.36 ± 0.03	1.3 ± 0.22

Οι μετρήσεις είναι ο μέσος όρος ± τυπικό σφάλμα, και με διαφορετικά γράμματα προσδιορίζεται η διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων.



Σχήμα 4. Σύγκριση ύψους μαρουλιών μεταξύ των μετρήσεων



Εικόνα 6. Απεικόνιση της μεταχείριση 1 μια μέρα πριν την συγκομιδή (44^η μέρα) (προσωπικό αρχείο).



Εικόνα 7. Απεικόνιση της μεταχείριση 2 μια μέρα πριν την συγκομιδή (44^η μέρα) (προσωπικό αρχείο).



Εικόνα 8. Απεικόνιση της μεταχείριση 3 μια μέρα πριν την συγκομιδή (44^η μέρα) (προσωπικό αρχείο).

3.5 Χημικές αναλύσεις

Για τις χημικές αναλύσεις που έγιναν για την σύσταση της τροφής, για τα μαρούλια και για τις τιλάπιες τα αποτελέσματα δίνονται παρακάτω.

3.5.1 Χημική ανάλυση της προσφερόμενης τροφής

Η προσφερόμενη τροφή στο πείραμα ήταν εμπορικά σύμπηκτα. Στον Πίνακα 9 παρουσιάζεται η περιεκτικότητα της τροφής στα παραπάνω συστατικά τόσο από την εταιρεία όσο και από τις εργαστηριακές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι δεν υπάρχουν σημαντικά στατιστικές διαφορές μεταξύ των αναλύσεων. Επίσης, έγινε ανάλυση της υγρασίας και της ξηράς ουσίας και υπολογίστηκαν 11.2 % και 88.8%, αντίστοιχα.

Πίνακας 7. Χημική ανάλυση της προσφερόμενης τροφής

ΑΝΑΛΥΤΙΚΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ	Προφίλ τροφής από την εταιρεία	Αναλύσεις τροφής στο εργαστήριο
Ολικές αζωτούχες ουσίες, %	54.8	55.9 ± 0.09
Ολικές λιπαρές ουσίες, %	14.8	14.8 ± 0.1

Ολική τέφρα, %	9.9	9.8 ± 0.07
Λοιπά (φώσφορος, ασβέστιο, νάτριο, ολικές ινώδεις ουσίες)	20.5	19.5
Ενέργεια, KJ/g		22 ± 0.03

3.5.2 Χημική ανάλυση των μαρούλιών

Οι χημικές αναλύσεις για τα μαρούλια προέκυψαν από το ξηρό βάρος των φύλλων μαζί με τους βλαστούς. Αναλύθηκαν για το άζωτο που απορρόφησαν και κατά συνέπεια υπολογίστηκαν και οι πρωτεΐνες (%), λίπη (%) και τέφρα (%).

Η μεταχείριση 3 είχε την μεγαλύτερη απορρόφηση αζώτου από τις τρεις μεταχειρίσεις με περιεκτικότητα 4.17 ± 0.11 %, μετά ακολούθησε η μεταχείριση 1 με 3.98 ± 0.13 % και τέλος η μεταχείριση 2 με 3.84 ± 0.11 %, συνεπώς τα ίδια ίσχυσαν και για την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες. Μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε λίπος φάνηκε να έχει η μεταχείριση 3, με 3.26 ± 0.16 %, ενώ στην συνέχεια δεύτερη έρχεται η 2 με 2.87 ± 0.24 % και τέλος με 2.83 ± 0.18 % η πρώτη μεταχείριση. Παρόλα αυτά, η παραπάνω περιεκτικότητες δεν εμφάνισαν σημαντικά στατιστικές διαφορές μεταξύ τους. Από την άλλη πλευρά, τα μαρούλια όσον αφορά την περιεκτικότητά τους σε τέφρα εμφάνισαν σημαντικά στατιστικές διαφορές, και συγκεκριμένα η μεταχείριση 1 (16.61 ± 0.91 %) με αυτή της μεταχείρισης 2 (13.95 ± 0.56 %).

Πίνακας 8. Περιεκτικότητες συστατικών που απορρόφησαν τα μαρούλια

	Μεταχείριση 1	Μεταχείριση 2	Μεταχείριση 3
Πρωτεΐνες (%)	24.91 ± 0.82	24.01 ± 0.67	26.05 ± 0.66
Άζωτο (%)	3.98 ± 0.13	3.84 ± 0.11	4.17 ± 0.11
Λίπος (%)	2.83 ± 0.18	2.87 ± 0.24	3.26 ± 0.16

Τέφρα (%)	16.61 ± 0.91 ^a	13.95 ± 0.56 ^b	15.89 ± 0.47 ^{ab}
-----------	---------------------------	---------------------------	----------------------------

3.5.3 Χημικές αναλύσεις στο ήπαρ και στην σάρκα των τιλαπιών

Για τις τιλάπιες των μεταχειρίσεων αποφασίστηκε να γίνουν αναλύσεις πρωτεϊνών και λιπών στον μυϊκό ιστό και στο ήπαρ τους, στο τέλος του πειράματος. Συνεπώς, υπολογίστηκε η υγρασία του κάθε ιστού οπότε και το ποσοστό της ξηράς ουσίας.

Στην αρχή του πειράματος, έγιναν οι παραπάνω αναλύσεις σε τιλάπιες (pool sample) όμοιες με αυτές που τοποθετήθηκαν στα συστήματα για να παρθεί αρχικό δείγμα, και πραγματοποιήθηκαν 3 επαναλήψεις για κάθε ανάλυση τόσο για τον μυϊκό ιστό όσο και για το ήπαρ. Στον Πίνακα 9 φαίνονται αναλυτικά όλες οι μετρήσεις.

Πίνακας 9. Αναλύσεις στο αρχικό δείγμα των τιλαπιών

	Ήπαρ	Μυϊκός Ιστός
Νωπό βάρος δείγματος, g	31.69	134.79
Υγρασία %	64.22 ± 1.20	78.26 ± 0.31
Τελικό ξηρό βάρος δείγματος, g	9.70	29.54
Πρωτεΐνες %	22.34 ± 0.23	84.81 ± 0.44
Λίπος %	34.26 ± 0.70	8.85 ± 0.28

Το ίδιο έγινε και για τις τιλάπιες που ήταν τοποθετημένες στα συστήματα μετά την λήξη του πειράματος. Η τιλάπια της μεταχείρισης 1 με συνολική νωπή ποσότητα μυϊκού ιστού 38.81 g, υπολογίστηκε ότι είχε 74.9 ± 2.56% υγρασία οπότε η τελική ποσότητα ξηρού φιλέτου που έμεινε ήταν 9,59 g. Η τιλάπια της μεταχείρισης 2 με 28.61 g νωπό φιλέτο μυϊκού ιστού και ποσοστό υγρασίας 80.2 ± 1.76% τελικά έδωσε ξηρό

φιλέτο 5.35 g. Στην μεταχείριση 3, το ξηρό φιλέτο που αναλύθηκε ήταν 9.09 g αφού από τα 39.12 g νωπού φιλέτου το $76.8 \pm 0.19\%$ ήταν περιεκτικότητα σε υγρασία.

Για τις αναλύσεις των πρωτεϊνών του μυϊκού ιστού έγιναν 3 επαναλήψεις για κάθε τιλάπια και τελικά τα ποσοστά ήταν $84.98 \pm 0.45\%$, $86.38 \pm 0.42\%$ και $85.92 \pm 0.2\%$ για τις μεταχειρίσεις 1, 2 και 3 αντίστοιχα, χωρίς να διαφέρουν σημαντικά στατιστικά μεταξύ τους. Όσον αφορά τις αναλύσεις του λίπους, το κονιορτοποιημένο ξηρό δείγμα δεν επαρκούσε για να γίνουν οι επαναλήψεις για την τιλάπια της μεταχείρισης 1, οπότε και έγιναν μόνο 2 επαναλήψεις και η περιεκτικότητα του σε λίπος ήταν $6.36 \pm 0.21\%$ ενώ για αυτές της μεταχείρισης 2 και 3 δεν έφταναν καθόλου.

Από την άλλη πλευρά, το ήπαρ από τις τιλάπιες δεν επαρκούσε για να πραγματοποιηθούν οι αναλύσεις, αφού οι ξηρές ποσότητες ήταν 0.76 g (τιλάπια 1), 0.43 g (τιλάπια 2) και 0.77 g (τιλάπια 3) έχοντας ποσοστό υγρασίας πριν την ξήρανση $67 \pm 0.59\%$. Η περιεκτικότητα του ήπατος της τιλάπιας 1, σε πρωτεΐνη ήταν $38.84 \pm 0.08\%$, ενώ η περιεκτικότητα σε λίπος ήταν 26.92%.

Οι διαφορές στα ποσοστά των πρωτεϊνών και του λίπους που είχαν το ήπαρ και ο μυϊκός ιστός των τιλαπιών στο αρχικό (ημέρα 0) και τελικό δείγμα (ημέρα 45), δίνονται παρακάτω. Η περιεκτικότητα του ήπατος σε πρωτεΐνες αυξήθηκε από το αρχικό στο τελικό δείγμα, ενώ στον μυϊκό ιστό ήταν περίπου ίδιες αφού το αρχικό ποσοστό ήταν 84.81% και στο τέλος 85.76%. Αντίθετα, το λίπος τόσο στο ήπαρ όσο και στον μυϊκό ιστό μειώθηκε στην τελική δειγματοληψία σε σχέση με την αρχική. Τέλος, η υγρασία του ήπατος αυξήθηκε από την ημέρα 0 (64.22%) στην ημέρα 45 (67%), ενώ η υγρασία του μυϊκού ιστού εμφάνισε ελαφριά πτώση την ημέρα 45 (77.3%) σε σχέση με αυτή της ημέρας 0 (78.28%).

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Ένας από τους πλέον ταχύτατα αναπτυσσόμενους κλάδους παραγωγής τροφίμων είναι αυτός της ενυδρειοπονίας, συνδυάζοντας την καλλιέργεια φυτών και την εκτροφή ψαριών (Goddek et al. 2019).

Στην παρούσα έρευνα μελετήθηκε η ανάπτυξη δυο διαφορετικών ειδών ψαριών, λαβράκια (*D. Labrax*) και τιλάπιες (*Oreochromis sp.*), καθώς και η ανάπτυξη μαρουλιών σε τρία ενυδρειοπονικά συστήματα μικρής κλίμακας. Συγκεκριμένα τα ψάρια ταΐζονταν 3 φορές την ημέρα μέχρι κορεσμού (*at libitum*), υπήρχε μια τιλάπια σε κάθε σύστημα και οι αρχικές βιομάζες των συστημάτων ήταν διαφορετικές.

4.1 Φυσικοχημικοί και θρεπτικοί παράμετροι του νερού

Στα ενυδρειοπονικά συστήματα, η θερμοκρασία του νερού ρυθμίζεται με βάση τα είδη τόσο των ψαριών όσο και των φυτών που θα χρησιμοποιηθούν (FAO 2014). Στην παρούσα έρευνα, η θερμοκρασία του νερού ήταν σταθερή κατά την διάρκεια του πειράματος, με εύρος που κυμαίνονταν από 22.04 έως 22.08 ± 0.02 °C. Αυτή η θερμοκρασία ρυθμίστηκε διότι σύμφωνα με τους Claridge & Potter το 1983 η βέλτιστη θερμοκρασία για το λαβράκι είναι από 22 έως 24 °C, και η βέλτιστη θερμοκρασία για την ανάπτυξη του μαρουλιού είναι 20 με 26 °C (Resh 2012). Από την άλλη πλευρά, η θερμοκρασία που δίνει την καλύτερη ανάπτυξη στις τιλάπιες βρίσκεται μεταξύ των 26 και 27.5 °C (Hu et al 2015, Danaher et al 2013), οπότε πιθανά αυτός να είναι ένας από τους λόγους που οι τιλάπιες δεν αναπτύχθηκαν αρκετά κατά την διάρκεια των 45 ημερών.

Τα επίπεδα του διαλυμένου οξυγόνου καθώς και τα ποσοστά κορεσμού του στις 3 μεταχειρίσεις ήταν στα 8.1 ± 0.13 mg/L και 92.51 ± 1.62 %, αντίστοιχα. Οι Biswas et

al (2010) και οι Guroy et al (2013) αναφέρουν ότι το διαλυμένο οξυγόνο σε επίπεδα 7-8 mg/L εξασφαλίζει επαρκή ποσότητα για την αναπνοή των λαβρακιών καθώς και δυο άλλες έρευνες για τα φυτά των Rakocy et al 2006 και Graber & Junge 2009, τονίζουν πως το διαλυμένο οξυγόνο σε επίπεδα μεγαλύτερα των 5 mg/L ενισχύει το ριζικό σύστημα των φυτών, βοηθάει στην πρόσληψη των θρεπτικών συστατικών καθώς και συμβάλλει ενεργά στην διαδικασία της νιτροποίησης. Συνεπώς, το διαλυμένο οξυγόνο είναι ένας από τους πιο κρίσιμους περιβαλλοντικούς παράγοντες, που συνδέονται με τις σωστές φυσιολογικές λειτουργίες των τιλαπιών και των λαβρακιών, αποτελώντας περιοριστικό παράγοντα για την διάρκεια την ζωή τους (Zhao et al., 2018, Li et al., 2018), αν οι τιμές του δεν είναι στο εύρος που αντέχει το κάθε ψάρι.

Σύμφωνα με τους Tyson et al (2004) και Cerozi & Fitzsimmons (2016), σε ένα σύστημα ενυδρειοπονίας η σταθερή τιμή pH μεταξύ 6.5 και 7.2, παρέχει τις καλύτερες συνθήκες για να πραγματοποιηθεί η διαδικασία της νιτροποίησης, η ανάπτυξη των ψαριών καθώς και η βέλτιστη παραγωγή της βιομάζας των φυτών. Ο Rakocy et al (2014), τόνισε ότι είναι σημαντικό το pH να διατηρείται σε επίπεδα πάνω από 7 για την πραγματοποίηση της νιτροποίησης. Βέβαια σε ένα ενυδρειοπονικό σύστημα τα φυτά, τα ψάρια και τα βακτήρια από τα οποία αποτελείται, απαιτούν διαφορετικά εύρη pH. Τα μαρούλια γενικά χρειάζονται ένα εύρος pH μεταξύ 5.5 και 6.5 για να ενισχύσουν την πρόσληψη των θρεπτικών συστατικών, ενώ τα βακτήρια προορίζονται να επιβιώσουν σε εύρος pH 7-8 (Yavuzcan Yildiz et al., 2017). Στην μεταχείριση 1 το pH είχε τιμή 6.59 ± 0.04 στην μεταχείριση 3, 6.60 ± 0.02 ενώ, στην μεταχείριση 2 το pH ήταν το πιο υψηλό με τιμή 6.90 ± 0.05 .

Η αλατότητα (S) και η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) και στις τρεις μεταχειρίσεις διέφεραν, λόγω των αλλαγών νερού που πραγματοποιούνταν στα συστήματα.

Οι τιμές των νιτρικών (NO_3^-) κατά την είσοδο στην δεξαμενή των φυτών (GBin) και στα τρία συστήματα ήταν 171.15 ± 10.53 , 140.38 ± 15.38 και $163.46 \pm 9.65 \text{ mg L}^{-1}$ για την μεταχείριση 1, 2 και την μεταχείριση 3, αντίστοιχα. Κατά την έξοδο από την δεξαμενή των φυτών (GBout) οι τιμές μετρήθηκαν στα 157.69 ± 9.55 για την μεταχείριση 1, 128.85 ± 13.82 για την 2 και 150 ± 9.81 για την μεταχείριση 3. Για την αμμωνία τόσο στην είσοδο όσο και στην έξοδο δεν υπήρχαν σημαντικά στατιστικές διαφορές, με μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στην είσοδο και μικρότερες στην έξοδο. Το γεγονός ότι οι συγκεντρώσεις τόσο των νιτρικών όσο και της αμμωνίας στην είσοδο της δεξαμενής των φυτών ήταν μεγαλύτερες από αυτές στην έξοδο, υποδεικνύουν ότι τα φυτά απορρόφησαν τα θρεπτικά που είχαν ανάγκη μέσω του νερού (Stathopoulou et al. 2021). Οι Rakocy et al. (2006), διαπίστωσαν ότι οι απαιτήσεις του μαρουλιού σε νιτρικά (NO_3^-) σε ένα ενυδρειοπονικό σύστημα κυμαίνονται μεταξύ 116.42 mg L^{-1} και 185.93 mg L^{-1} , με τους Vandam et al. (2017) να τονίζουν πως τα φυτά σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις νιτρικών από αυτές που απαιτούν, απορροφούν τελικά μόνο την απαιτούμενη ποσότητα για την ανάπτυξή τους. Στην παρούσα έρευνα, οι συγκεντρώσεις των νιτρικών κυμαίνονταν μεταξύ αυτών των ορίων και η απορρόφηση των μαρουλιών σε νιτρικά (NO_3^-) και στα τρία συστήματα ήταν $12.82 \pm 0.6 \text{ mg L}^{-1}$. Παρόλο λοιπόν που η διαθεσιμότητα των νιτρικών ήταν επαρκής και στις τρεις μεταχειρίσεις, και τα φυτά τους απορρόφησαν την ίδια ποσότητα, κάθε μεταχείριση είχε διαφορετική ανάπτυξη φυτών.

4.2 Ανάπτυξη ιχθύων

Κατά την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας δεν παρουσιάστηκε θνησιμότητα στις τιλάπιες σε καμία από τις τρεις μεταχειρίσεις. Αντίθετα, στα λαβράκια παρουσιάστηκε θνησιμότητα σε 2 από τα τρία συστήματα (μεταχείριση 2 και 3). Συγκεκριμένα, οι θνησιμότητες παρατηρήθηκαν μια μέρα αφότου τα λαβράκια είχαν ζυγιστεί για την ημέρα 15 και 30. Πιθανά οι θνησιμότητες αυτές να οφείλονται στο ότι οι ιχθύες είχαν αναισθητοποιηθεί με MS222 και λόγω αυξημένου στρες να επήλθε η θνησιμότητα. Αυτό επιβεβαιώνεται από τους Pawar et al. (2011), Bambang (2003) και Ortuno et al. (2002), οι οποίοι τονίζουν ότι μετά την αναισθησία τα ψάρια πρέπει να παρατηρούνται για τυχόν μη φυσιολογική συμπεριφορά και θνησιμότητα ακόμη και επτά ημέρες μετά. Στην μεταχείριση 2 παρατηρήθηκε η μεγαλύτερη θνησιμότητα με ποσοστό που άγγιζε το 37.5 %. Αυτό πιθανά να δίνει μια ακόμα εξήγηση στο γιατί το σύστημα αυτό είχε την μικρότερη παραγόμενη φυτική βιομάζα.

Τα λαβράκια παρουσίασαν ικανοποιητική τελική αύξηση, με την μεγαλύτερη να απαντάται στην μεταχείριση 3 και την μικρότερη στην μεταχείριση 2, χωρίς καμία να διαφέρει σημαντικά στατιστικά με την άλλη. Για τις τιλάπιες, η μεγαλύτερη ανάπτυξη παρατηρήθηκε στην μεταχείριση 1 και η μικρότερη στην μεταχείριση 2. Παρόλα αυτά, η ανάπτυξή τους δεν ήταν η αναμενόμενη σε διάστημα 45 ημερών με βάση άλλες έρευνες (Al-Tawaha et al., 2021 και Mohamed Abdelrahman, 2018) και αυτό πιθανά να οφείλεται στο ότι η κάθε τιλάπια ήταν μόνη της μέσα σε κάθε δεξαμενή, γεγονός που μπορεί να την στρέσαρε με αποτέλεσμα να μην καταναλώνει την απαραίτητη τροφή για να αναπτυχθεί. Με βάση τους DeLong et al. (2009), οι τιλάπιες αναπτύσσονται καλύτερα σε μεγάλες ιχθυοπυκνότητες.

Ο συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR) υπολογίστηκε μεγαλύτερος στην μεταχείριση 2 με τιμή 1.67 ± 0.53 σε σχέση με αυτόν της μεταχείρισης 1 (1.46 ± 0.07) και της 3 (1.24 ± 0.09). Αντίθετα, για τον ημερήσιο ειδικό ρυθμό ανάπτυξης (SGR), μεγαλύτερη τιμή παρατηρήθηκε στην μεταχείριση 3 (1.19 ± 0.05) ενώ οι επόμενες ήταν της μεταχείρισης 1 (0.97 ± 0.02) και 2 (0.83 ± 0.1). Συμπερασματικά λοιπόν, η μεταχείριση 3 είχε το χαμηλότερο FCR και το υψηλότερο SGR ενώ η μεταχείριση 2 το υψηλότερο FCR και το χαμηλότερο SGR. Το FCR μεταξύ των μεταχειρίσεων δεν διέφερε σημαντικά στατιστικά, ενώ αντίθετα το SGR της μεταχείρισης 3 εμφάνισε σημαντικά στατιστικές διαφορές με αυτό της μεταχείρισης 2 και της 1. Οι Maucieri et al. (2019) σε παρόμοια έρευνα με κυπρίνο και μαρούλια και οι Hayat et al. (2018) σε έρευνα με διαφορετικές ιχθυοπυκνότητες κυπρίνου, δεν παρατήρησαν διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων στο FCR, γεγονός που συμφωνεί με την παρούσα μελέτη. Άρα τα λαβράκια είχαν την καλύτερη ανάπτυξη στην μεταχείριση 3 (7 λαβράκια ανά δεξαμενή) και την μικρότερη στην μεταχείριση 2 (4 λαβράκια ανά δεξαμενή). Η τιλάπια της μεταχείρισης 2 είχε και αυτή την μικρότερη ανάπτυξη αλλά καλύτερη ανάπτυξη εμφάνισε αυτή της μεταχείρισης 1. Οι Ani et al (2021), αναφέρουν ότι λιγότερα ψάρια σε μια δεξαμενή δίνουν τελικά καλύτερο ρυθμό ανάπτυξης, πράγμα το οποίο συμβαδίζει και με άλλες μελέτες των Palm et al. (2014), Greenfeld et al. (2018) και Maucieri et al. (2019).

4.3 Ανάλυση Τιλαπιών

Στην παρούσα μελέτη, οι αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στην σάρκα των τιλαπιών του πειράματος, έδειξαν ότι η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες εμφάνισε μια ελαφριά αύξηση με το πέρας των ημερών σε σχέση με το αρχικό ποσοστό, κάτι το οποίο συμβαδίζει με τα αποτελέσματα του Mohamed Abdelrahman (2018) σε πείραμα

με διαφορετικές ιχθυοπυκνότητες και συχνότητες ταΐσματος σε τιλάπιες και μαρούλια. Επίσης, για την υγρασία της σάρκας, ο ίδιος αναφέρει ότι όσο αυξάνεται η συχνότητα ταΐσματος και συγκεκριμένα στις 3 φορές την ημέρα, η υγρασία της σάρκας των τιλαπιών μειώνεται, κάτι το οποίο παρατηρήθηκε και στην παρούσα έρευνα. Βέβαια, τα αποτελέσματα για την περιεκτικότητα σε λίπη στην σάρκα των τιλαπιών, έρχονται σε αντίθεση με αυτά του Mohamed Abdelrahman (2018), αφού ο ίδιος τόνισε πως η συγκεκριμένη συχνότητα ταΐσματος (3 φορές την ημέρα) παράγει ψάρια με περισσότερη περιεκτικότητα σε λίπος. Στην παρούσα έρευνα, η περιεκτικότητα σε λίπος στην σάρκα των ψαριών, παρουσίασε πτωτική τάση σε σχέση με την αρχική περιεκτικότητα.

Όσον αφορά το ήπαρ από τις τιλάπιες, η περιεκτικότητα σε υγρασία από το αρχικό δείγμα αυξήθηκε μέχρι το τέλος του πειράματος, το ίδιο παρατηρήθηκε και για το ποσοστό των πρωτεϊνών, παρουσιάζοντας αύξηση από 22.34 % στο αρχικό δείγμα σε 38.84 % στο τελικό. Αντίθετα, το λίπος παρουσίασε πτώση από το 34.26 % στο 26.92 %. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι η προσφερόμενη τροφή είχε περιεκτικότητα σε λίπος 14.8 %.

4.4 Ανάπτυξη μαρουλιών

Στο συγκεκριμένο πείραμα, η καλύτερη μεταχείριση με βάση την παραγόμενη φυτική βιομάζα ήταν η μεταχείριση 1, με συνολική βιομάζα μαρουλιών 1.26 kg/m² ενώ αμέσως μετά ακολούθησε η μεταχείριση 3 (1.11 kg/m²) και τέλος η μεταχείριση 2, 0.52 kg/m² παραγόμενη φυτική βιομάζα.

Η επιβίωση των μαρουλιών στα συστήματα των μεταχειρίσεων 1 και 3 ήταν 100 % ενώ στην μεταχείριση 2 υπήρξε μια θνησιμότητα κάνοντας το ποσοστό επιβίωσης να

είναι στο 87.5 %. Στο συγκεκριμένο φυτό παρατηρήθηκαν πολλά ξερά φύλλα καθώς και μετά την αφαίρεση παρατηρήθηκε ότι η ρίζα του ήταν σάπια και μικρή σε σχέση με τις υπόλοιπες. Πιθανά αυτό να οφείλεται σε μη σωστή αρχική τοποθέτηση (φύτευση) στην δεξαμενή φυτών.

Τα φυτά της μεταχείρισης 3 παρουσίασαν την μεγαλύτερη κατ' ύψος αύξηση συγκριτικά με αυτά των υπολοίπων μεταχειρίσεων, χωρίς όμως να διαφέρουν στατιστικά σημαντικά. Συγκεκριμένα τα μαρούλια της μεταχείρισης 3 αυξήθηκαν κατά 21.63 cm, τα μαρούλια της μεταχείρισης 1 κατά 20.95 cm και της μεταχείρισης 2 κατά 20.44 cm. Ο τελικός αριθμός των φύλλων ανά μαρούλι ήταν μεγαλύτερος στην μεταχείριση 1, πράγμα λογικό αφού αυτή είχε την μεγαλύτερη παραγόμενη φυτική βιομάζα, έπειτα ακολουθήθηκε από τα φύλλα της μεταχείρισης 2 και τέλος από αυτά της μεταχείρισης 3, χωρίς πάλι να διαφέρουν σημαντικά στατιστικά. Τα νωπά βάρη των φύλλων δεν διέφεραν σημαντικά στατιστικά μεταξύ των μεταχειρίσεων 1 και 3 ενώ μεγάλη διαφορά στο βάρος αυτών παρατηρήθηκε στην μεταχείριση 2.

Όσον αφορά την απορρόφηση των νιτρικών από τα μαρούλια, όπως ειπώθηκε και παραπάνω, οι διαθέσιμες ποσότητες των νιτρικών και στα τρία συστήματα ήταν επαρκής, δεν διέφεραν σημαντικά στατιστικά και ήταν μεταξύ των ορίων που απαιτούν τα μαρούλια για να αναπτυχθούν (Rakocy et al. 2006). Επίσης, η απορρόφηση των νιτρικών παρόλο που ήταν ίδια και στα τρία συστήματα δεν οδήγησε στην ίδια ανάπτυξη των μαρουλιών αφού αυτά διέφεραν από μεταχείριση σε μεταχείριση.

Συγκεκριμένα, το σύστημα με την μεγαλύτερη αρχική βιομάζα (μεταχείριση 1) ήταν αυτό που είχε και την μεγαλύτερη τελική βιομάζα, είχε την καλύτερη παραγωγή φυτών καθώς και την μεγαλύτερη ποσότητα νιτρικών. Οι Al-Tawaha et al. (2021) σε

πείραμα με διαφορετικές ιχθυοπυκνότητες τιλάπιας και μαρουλιών καθώς και οι Maucieri et al. (2019) σε αντίστοιχο πείραμα με κυπρίνο και μαρούλι, αναφέρουν ότι στα συστήματα με τις μικρότερες βιομάζες (μικρότερες ιχθυοπυκνότητες) η παραγωγή φυτών ήταν η καλύτερη. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης, όπου η μεγαλύτερη βιομάζα έδωσε την καλύτερη παραγωγή φυτών.

Επιπλέον, σε αυτή την έρευνα, οι καλύτερες περιεκτικότητες στο μαρούλι *L. sativa* αφορούσαν την υγρασία, το άζωτο που απορρόφησαν, το λίπος και την τέφρα και δεν διέφεραν στατιστικά μεταξύ των μεταχειρίσεων, όπως συνέβη και στην μελέτη του Mohamed Abdelrahman (2018). Η μεταχείριση 3 εμφάνισε την μεγαλύτερη απορρόφηση σε άζωτο (4.17 ± 0.11 %), μετά ακολούθησε η μεταχείριση 1 (3.98 ± 0.13 %) και τέλος η 2 με ποσοστό 2.87 ± 0.24 %. Τα νιτρικά είναι αυτά που απορροφούνται από τα φυτά με καλύτερους ρυθμούς από την αμμωνία ενώ τα νιτρώδη μπορεί να γίνουν τοξικά για τα φυτά (Abdelrahman 2018), για αυτό τον λόγο το άζωτο είναι ζωτικής σημασίας συστατικό για την ανάπτυξη των φυτών και πιθανά η όχι τόσο καλή ανάπτυξη των μαρουλιών του μάρτυρα να οφείλεται στην μικρή περιεκτικότητα σε άζωτο που απορρόφησαν τα μαρούλια. Οι περιεκτικότητες των μαρουλιών σε λίπος δεν διέφεραν στατιστικά μεταξύ των μεταχειρίσεων, με την μεταχείριση 3 να έχει την μεγαλύτερη ποσότητα, 3.26 ± 0.16 %. Τέλος, μόνο η τέφρα εμφάνισε σημαντικά στατιστικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων. Μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε τέφρα είχε η μεταχείριση 1 που διέφερε στατιστικά με την μεταχείριση 2, η οποία είχε την μικρότερη περιεκτικότητα, ενώ η μεταχείριση 3 δεν διέφερε σημαντικά στατιστικά με τις άλλες δυο.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα μελέτη όπως ήδη ειπώθηκε, πραγματεύεται την παρατήρηση της πολυτροφικής εκτροφής δυο ειδών ιχθύων, λαβράκια και τιλάπια, με την ταυτόχρονη παραγωγή φυτών, μαρουλιών.

Σύμφωνα λοιπόν με τα αποτελέσματα της έρευνας αναδεικνύεται ότι παρόλο που τα διαθέσιμα νιτρικά σε ένα σύστημα ενυδρειοπονίας, με ταυτόχρονη καλλιέργεια δυο ειδών ιχθύων και μαρουλιών, μπορεί να είναι μέσα στο εύρος των απαιτήσεων του μαρουλιού και όλα τα φυτά να απορροφούν την ίδια ποσότητα νιτρικών, τελικά η ανάπτυξη των μαρουλιών διέφερε ανά μεταχείριση.

Η καλύτερη ανάπτυξη των λαβρακιών παρατηρήθηκε στην μεταχείριση 3, με αρχική βιομάζα 925.90 g, ενώ η καλύτερη ανάπτυξη μαρουλιών στην μεταχείριση 1 με αρχική βιομάζα 1246.24 g. Η μεταχείριση 2, που ξεκίνησε με αρχική βιομάζα 758.13 g, δεν εμφάνισε τελικά την αναμενόμενη ανάπτυξη τόσο σε φυτά όσο και σε ψάρια. Στην συγκεκριμένη μεταχείριση, υπήρξε θνησιμότητα ενός φυτού καθώς και η μεγαλύτερη θνησιμότητα των λαβρακιών στην παρούσα έρευνα, γεγονός που πιθανά οφείλεται στην όχι τόσο καλή ανάπτυξη των φυτών.

Τέλος, όσον αφορά τις τιλάπιες πρώτον η θερμοκρασία του νερού μπορεί να είχε ζωτικής σημασίας ρόλο στην μικρή ανάπτυξή τους, καθώς για την τέλεια ανάπτυξη τους απαιτούν υψηλές θερμοκρασίες νερού από 26 έως 27.5 °C, ενώ σε αυτή την μελέτη η θερμοκρασία του νερού ήταν στους 22 °C. Και δεύτερον, το γεγονός ότι η κάθε τιλάπια ήταν μόνη της σε μια δεξαμενή συντέλεσε στην μικρή ανάπτυξη που είχαν, αφού για τις τιλάπιες η μεγάλη ιχθυοπυκνότητα τους βοηθάει να αναπτυχθούν καλύτερα.

Συμπερασματικά, ο αριθμός των ιχθύων που τοποθετείται στις δεξαμενές ψαριών, εξαρτάται από το κάθε ενυδρειοπονικό σύστημα που θα χρησιμοποιηθεί κάθε φορά στην έρευνα, καθώς και ότι υπάρχει μια ελάχιστη και μια μέγιστη τιμή βιομάζας ψαριών που δίνει την τελικά την καλύτερη παραγωγή φυτών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**I. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

Παπουτσόγλου Σ.Ε. (2008). Διατροφή Ιχθύων. Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης, Αθήνα, σελ. 127

II. ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Adler P.R., Summerfelt S.T., Glenn D.M., Takeda F. (2003) Mechanistic approach to phytoremediation of water. *Ecol. Eng.* 20, 251–264

Al-Hafedh Y.S., Alam A., Beltagi M. S., 2008. Food Production and Water Conservation in a Recirculating Aquaponic System in Saudi Arabia at Different Ratios of Fish Feed to Plants. *JOURNAL OF THE WORLD AQUACULTURE SOCIETY* Vol. 39, No. 4

Al-Tawaha A.R.M., Wahab P.E.M, Jaafar H.B., Zuan A.T.K., Hassan M.Z (2021). Effects of Fish Stocking Density on Water Quality, Growth Performance of Tilapia and Yield of Butterhead Lettuce Grown in Decoupled Recirculation Aquaponic Systems. *Journal of Ecological Engineering*. Volume 22, Issue 1, January 2021, pages 8–19 <https://doi.org/10.12911/22998993/128692>

Alessio G., Allegrucci G., Angle G. (2001). *Acquacoltura responsabile – Verso le produzioni acquatiche del terzo millennio* Romma: Unimar-Uniprom.

Ani J.S., Manyala J.O., Masese F.O., Fitzsimmons K. (2021) Effect of stocking density on growth performance of monosex Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) in the aquaponic system integrated with lettuce (*Lactuca sativa*). *Aquaculture and Fisheries*. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2021.03.002>

AOAC. (1995). *Official methods of analysis* 16th Ed. Association of official analytical chemists. Washington DC, USA

- Bambang H. 2003, Application of clove oil as anaesthetic for sae bass (*Lates calcarifer*, Bloch) [Msc. Thesis], Department of Aquaculture, Kasetsart University, 2003.
- Biswas G, Thirunavukkarasu AR, Sundaray JK, Kailasam M. 2010. Optimization of feeding frequency of Asian seabass (*Lates calcarifer*) fry reared in net cages under brackish water environment. *Aquaculture* 305(1–4):26–31
DOI10.1016/j.aquaculture.2010.04.002.
- Blidariu F. & Grozea A. (2011). Increasing the Economical Efficiency and Sustainability of Indoor Fish Farming by Means of Aquaponics – Review, *Animal Science and Biotechnologies*, 44(2): 1-8
- Bohl M. (1977) Some initial aquaculture experiments in recirculating water systems. *Aquaculture* 11: 323–328
- Buzby M.K., Lin L-S. (2014) Scaling aquaponic systems: Balancing plant uptake with fish output. *Aquacultural Engineering* 63: 39–44
- Cebon, A., Garnier, J., (2005). Nitrobacter and Nitrospira genera as representatives of nitrite-oxidizing bacteria: detection, quantification and growth along the lower Seine River (France). *Water Res.* 39 (20), 4979–4992
- Cerozi S. & Fitzsimmons K. (2016). The effect of pH on phosphorus availability and speciation in an aquaponics nutrient solution, *Bioresource Technology*, 219: 778–781
- Claridge, P. N., & Potter, I. C. (1983). Movements, abundance, age composition and growth of bass, *Dicentrarchus labrax*, in the Severn Estuary and inner Bristol Channel. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 63(4), 871-879. <https://doi.org/10.1017/S0025315400071289>

- Claridge, P. N., & Potter, I. C. (1983). Movements, abundance, age composition and growth of bass, *Dicentrarchus labrax*, in the Severn Estuary and inner Bristol Channel. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 63(4), 871-879.
- Company, R., Caldach, G., Kaushik, S. and Perez-Sanchez, I., 1999. Growth performance and adiposity in Gilthead Sea bream (*Sparus aurata*): risks and benefits of high energy diets. *Aquaculture*, 171: 279–292
- Danaher, J. J., Shultz, R. C., Rakocy, J. E., & Bailey, D. S. (2013). Alternative Solids Removal for Warm Water Recirculating Raft Aquaponic Systems. *Journal of the World Aquaculture Society*, 44(3), 374–383. <https://doi.org/10.1111/jwas.12040>
- Deering M J., Fielder D.R., Hewitb D.R. (1997). Growth and fatty acid composition of juvenile leader prawns, *Penaeus monodon*, fed different lipids. *Aquaculture* Volume 151, Issues 1-4, 15 May 1997, Pages 131-141.
- DeLong D. P, Losordo T. M, Rakocy J. E., 2009. Tank culture of Tilapia. Southern Regional Aquaculture Center, SRAC, publication No. 282.
- Ehret, D. L., Zebarth, B. J., Portree, J., & Garland, T. (1998). Clay addition to soilless media promotes growth and yield of greenhouse crops. *HortScience*.
- Endut, A., Jusoh, A., Ali, N., Nik, W. B. W., & Hassan, A. (2010). Bioresource Technology A study on the optimal hydraulic loading rate and plant ratios in recirculation aquaponic system, 101, 1511–1517. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.09.040>
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), (2014). Small-scale aquaponic food production. Integrated fish and plant farming. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper, Rome, Italy.

- Federation of Greek Maricultures. 2019. Annual report 2019. Available at <https://www.fgm.com.gr> (accessed 20 March 2020).
- Francis-Floyd R., Watson C., Petty D., Pouder D. (2012). Ammonia in Aquatic Systems, Department of Agriculture, Cooperative Extension Service, University of Florida, IFAS
- Goddek S., Joyce A., Kotzen B., Burnell G.M. (2019) Aquaponics Food Production Systems, SpringerOpen. ISBN 978-3-030-15942-9 <https://doi.org/10.978-3-030-15943-6>.
- Goddek, S., Delaide, B., Mankasingh, U., Ragnarsdottir, K., Jijakli, H., and Thorarinsdottir, R. (2015). Challenges of Sustainable and Commercial Aquaponics. *Sustainability* 7(4), 4199–4224.
- Graber A, Junge R. 2009. Aquaponic systems: nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. *Desalination* 246(1–3):147–156 DOI10.1016/j.desal.2008.03.048.
- Greenfeld, A., Becker, N., Mcilwain, J., Fotedar, R., & Bornman, J. F. (2018). Economically viable aquaponics? Identifying the gap between potential and current uncertainties. *Reviews in Aquaculture*, 1–15. <https://doi.org/10.1111/raq.12269>
- Güroy D, İzzet Ş, Bül G, Merrifield DL, Bulut M, Tekinay AA. 2013. Replacement of fishmeal with rice protein concentrate in practical diets for European seabass *Dicentrarchus labrax* reared at winter temperatures. *Aquaculture Research* 44(3):462–471 DOI 10.1111/j.1365-2109.2011.03053.x.
- Hayat, M., Nugroho, R. A., & Aryani, R. (2018). Influence of different stocking density on the growth, feed efficiency, and survival of Majalaya common carp (

Cyprinus carpio Linnaeus 1758). *F1000Research*, 7. <https://doi.org/10.12688/f1000research.16875.1>, 1917.

<https://doi.org/10.1017/S0025315400071289>

Hu Z, Lee JW, Chandran K, Kim S, Brotto AC, Khanal SK. 2015. Effect of plant species on nitrogen recovery in aquaponics. *Bioresource Technology* 188(12):92–98 DOI 10.1016/j.biortech.2015.01.013.

Hu Z., Lee J.W., Chandran K., Khanal S.K. (2014) Influence of carbohydrate addition on nitrogen transformations and greenhouse gas emissions of intensive aquaculture system. *Science of the Total Environment*. 470-471:193-20

Hu, Z., Lee, J.W., Chandran, K., Kim, S., Sharma, K., Brotto, A.C., Khanal, S.K., (2013). Nitrogen transformations in intensive aquaculture system and its implication to climate change through nitrous oxide emission. *Bioresour. Technol.* 130, 314–320.

Hu, Z., Lee, J.W., Chandran, K., Kim, S., Sharma, K., Brotto, A.C., Khanal, S.K., (2013). Nitrogen transformations in intensive aquaculture system and its implication to climate change through nitrous oxide emission. *Bioresour. Technol.* 130, 314–320.

Junge R., König B., Villarroel M., Komives T., Jijakli H.M. (2017) Strategic Points in Aquaponics. *Water* 9: 182, doi:10.3390/w9030182

Knaus, U., & Palm, H. W. (2017). Effects of the fish species choice on vegetables in aquaponics under spring-summer conditions in northern Germany (Mecklenburg Western Pomerania). *Aquaculture*, 473, 62–73.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.01.020>

- Lee, S.M., Hwang, U.G. and Cho, S.H., 2000. Effects of feeding frequency and dietary moisture content on growth, body composition and gastric evacuation of juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). *Aquaculture*, 187: 399-409.
- Lennard W. (2012) *Aquaponic System Design Parameters: Basic System Water Chemistry*. Aquaponic Fact Sheet Series- System Water Chemistry. Aquaponic Solutions
- Li, M., Wang, X., Qi, C., Li, E., Du, Z., Qin, J. G., & Chen, L. 2018. Metabolic response of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to acute and chronic hypoxia stress. *Aquaculture*, 495, 187–195. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.05.031>
- Love C.D, Fry P.J, Genello L., Hill S.E., Frederick A.J., Li X., Semmens K. (2014) An international survey of aquaponics practitioners. *PLoS ONE* 2014, 9, e102662.
- Love C.D., Fry P.J., Li X., Hill S.E., Genello L., Semmens K., Thompson E.R. (2015) Commercial aquaponics production and profitability: Findings from an international survey. *Aquaculture* 435: 67–74
- Maucieri, C., Nicoletto, C., Zanin, G., Birolo, M., Trocino, A., & Sambo, P. (2019). Effect of stocking density of fish on water quality and growth performance of European Carp and leafy vegetables in a low-tech aquaponic system. *PloS One*, 14(5), Article e0217561. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217561>
- Minton, R.V., 1978. Responses of channel catfish fed diets of two nutrient concentrations at three rates in ponds. Master's thesis, Auburn University, Alabama, USA, pp. 42.
- Mohamed Abdelrahman, Ahmed Abdelrahman, 2018 "Effect of Feeding Frequency and Stocking Density on Tilapia *Oreochromis Niloticus* and Lettuce *Lactuca Sativa*

Production in Aquaponics System under the UAE Condition and Business Enterprise Analysis" Biology Theses.

1.https://scholarworks.uaeu.ac.ae/bio_theses/1

Naegel, Ludwig C. A. (1977). Combined Production of Fish and Plants in Recirculating Water. *Aquaculture* 10 (1): 17–24. [http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486\(77\)90029-1](http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486(77)90029-1)

Nebel C, Romestand B, Nègre-Sadargues G, Grousset E, Aujoulat F, Bacal J, Bonhomme F, Charmantier G. 2005. Differential freshwater adaptation in juvenile seabass *Dicentrarchus labrax*: involvement of gills and urinary system. *Journal of Experimental Biology* Fronte B., Galliano G., Bibbiani C. (2016). From freshwater to marine aquaponic: new opportunities for marine fish species production. 4th Conference with International Participation Conference VIVUS- on Agriculture, Environmentalism, Horticulture and Floristics, Food Production and Processing and Nutrition «With Knowledge and Experience to New Entrepreneurial Opportunities» 20th and 21st April 2016, Biotechnical Centre Naklo, Strahinj 99, Naklo. Slovenia. *biology* 208(20):3859–3871 DOI 10.1242/jeb.01853.

Nitz, G. M., Schnitzler, W. H., & Ocimum, L. (2004). Effect of PAR and UV-B Radiation on the Quality and Quantity of the Essential Oil in Sweet basil (*Ocimum basilicum* L.), 375–382.

Nozzi V, Graber A, Schmautz Z, Mathis A, Junge R. 2018. Nutrient management in aquaponics: comparison of three approaches for cultivating lettuce, mint and mushroom herb. *Agronomy* 8(3):27 DOI 10.3390/agronomy8030027.

- Ortuno J., Esteban A. M., Meseguer J. 2002 Effects of phenoxyethanol on the innate immune system of gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) exposed to crowding stress. 1-2):29-36. doi: 10.1016/s0165-2427(02)00183-6.
- Palm, H. W., Bissa, K., & Knaus, U. (2014). Significant factors affecting the economic sustainability of closed aquaponic systems. Part II: Fish and plant growth. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*, 7(3), 162–175.
- Pawar H. B. , Sanaye S. V., Sreepada R. A., Harish V., Suryavanshi U., and Ansari Z. A. 2011. “Comparative efficacy of four anaesthetic agents in the yellow seahorse, *Hippocampus kuda*(Bleeker, 1852),” *Aquaculture*, vol. 311, no. 1–4, pp. 155–161.
- Pickett GD, Pawson MG. 1994. *Sea bass: biology*. Berlin: Springer Science & Business Media.
- Poli B.M., Parisi G., Scappini F., Zampacavallo G. (2005) Fish welfare and quality as affected by preslaughter and slaughter management. *Aquaculture International*, 13:29-49.
- Putra A.P., Yuliando H. (2015). Soilless Culture System to Support Water Use Efficiency and Product Quality: a Review. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, vol. 2, pp. 283-288.
- Rakocy J, Master MP, Losordo TM. 2006. Recirculating aquaculture tank production system: aquaponics–integrating fish and plant culture. SRAC 454, (USDA 2006). Available at <https://hdl.handle.net/11244/319795>.
- Rakocy J.E, Shultz R.C, Bailey D.S., Thoman E.S. (2004) Aquaponic Production of Tilapia and Basil: Comparing a Batch and Staggered Cropping System. *Acta Horticulturae* 648(648):63-69. DOI: 10.17660/ActaHortic.2004.648.8

- Rakocy, J.E., Bailey, D.S., Shultz, K.A., and Cole. W.M. (1997). Development of an aquaponic system for the intensive production of tilapia and hydroponic vegetables. *Aquaponics Journal*, 12-13.
- Resh, H. M. 2012. *Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower*. Boca Raton, Florida: CRC Press. Retrieved from <http://howardresh.com/dr-howard-resh-hydroponic-services/hydroponic-lettuce-production-i/>
- Sneed, K., K. Allen, and J. E. Ellis. (1975). "Fish Farming and Hydroponics." *Aquaculture and the Fish Farmer* 2 (1): 18–20
- Somerville C., Cohen M., Pantanella E., Stankus A., Lovatelli A. (2014). Small-scale aquaponic food production. Integrated fish and plant farming. *FAO Fisheries and Aquaculture. Technical Paper. No. 589*. Rome, FAO. 262 pp. <https://doi.org/10.1002/pssb.201300062>. Accessed 13 April 2019
- Spotte S. (1991) *Captive Seawater Fishes*. John Wiley & Sons, New York, pp 94
- Stathopoulou P., Berillis P., Vlahos N., Nikouli E., Kormas K., Levozou E., Katsoulas N., Mente E. 2021. Freshwater-adapted sea bass *Dicentrarchus labrax* feeding frequency impact in a lettuce *Lactuca sativa* aquaponics system. *PeerJ* 9:e11522 DOI 10.7717/peerj.11522
- Tsevis, N., Kloudatos, S. and Conides, A., 1992. Food conversion budget in sea bass, *Dicentrarchus labrax*, fingerlings under two different feeding frequency patterns. *Aquaculture*, 101: 293–304.
- Tyson R., Simonne E., White J., Lamb E. (2004). Reconciling water quality parameters impacting nitrification in aquaponics: the ph levels, *Proceedings of The Florida State Horticultural Society*, 117: 79-83

- Tyson R.V., Treadwell D.D., Simonne E.H. (2011) Opportunities and challenges to sustainability in aquaponic systems. *Hortotechnology* 21: 6–13
- Tacon, Albert G. J., and Marc Metian. (2013). “Fish Matters: Importance of Aquatic Foods in Human Nutrition and Global Food Supply.” *Reviews in Fisheries Science* 21 (1): 22–38.
- Vandam D.A., Anderson T.S., De Villiers D., Timmons M.B. (2017) Growth and Tissue Elemental Composition Response of Spinach (*Spinacia oleracea*) to Hydroponic and Aquaponic Water Quality Conditions. *Horticulturae* 2017, 3, 32
- Wang, N., Hayward, R.S. and Noltie, D.B., 1998. Variation in food consumption, growth, and growth efficiency among juvenile hybrid sunfish held individually. *Aquaculture*, 167: 43–52.
- Yavuzcan Yildiz H, Robaina L, Pirhonen J, Mente E, Domínguez D, Parisi G. 2017. Fish welfare in aquaponic systems: its relation to water quality with an emphasis on feed and faeces—a review. *Water* 9(1):1–17 DOI 10.3390/w9010013.
- Yildiz Y. H., Robaina L., Pirhonen J., Mente E., Domínguez D., Parisi G. (2017) Fish Welfare in Aquaponic Systems: Its Relation to Water Quality with an Emphasis on Feed and Faeces—A Review. *Water* 9: 13, doi:10.3390/w9010013
- Zhao, Z., Dong, S. and Xu, Q. 2018. Respiratory response of grass carp *Ctenopharyngodon idellus* to dissolved oxygen changes at three acclimation temperatures. *Fish physiology and biochemistry*, 44(1), pp.63–71.
<https://doi.org/10.1007/s10695-017-0413-9>

ABSTRACT

The aim of this study was the growth performance of two different fish species (*Dicentrarchus labrax*, and *Oreochromis* sp) and the lettuce plants (*Lactuca sativa* var. Green Towers) in three indoor small scale aquaponic systems. Every system had a different initial fish biomass, 1246.26 g, 758.13 g and 925.90 g and the experiment last for 45 days, in order to estimate the effect of fish biomass in fish and plant growth.

Every system was conducted by three fish tanks 100L each, one grow-bed for the plants and a tank with three parts, one for the mechanical filter, one for the chemical filter one for the water pump. 34 sea bass used for the whole experiment and also 3 tilapias with average weight 135.97 g. Every system had different sea bass number, but there was 1 tilapia in each one. In every grow-bed, 8 lettuce plants (*L. sativa*) were placed. The feeding frequency was 3 times a day, starting from 09:00 to 21:00. Fish were fed at libitum with commercial food. Every day, water physiochemical parameters were measured and two times a week NO_3^- and NH_3 levels were measured. NO_3^- levels were between the recommended NO_3^- concentrations of lettuce in aquaponic systems and every system had absorbed the same NO_3^- amount.

The survival of tilapias was 100 %, while *D. Labrax* had 62.5 % and 84.5 % survival in two of the three systems, while the third system had 100 % survival. The weight gain was the lowest in the system with the lowest initial biomass, while the system with the highest biomass was the one with the better weight gain.

System with the lowest initial biomass, had a lettuce mortality while the other two had 100 % plant survival. Better plant growth performance had the system with the highest biomass, 1.26 kg/m². System with the lowest initial biomass showed the lowest plant performance, 0.52 kg/m².

Keywords: *Aquaponics, Dicentrarchus labrax, Oreochromis sp, Lactuca sativa, biomass*