



## **ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ**

**ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΖΩΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΛΙΕΙΑΣ &  
ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ**

**ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
(ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΑΛΙΕΙΑΣ  
& ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ )**

**«Ενυδραιοπονία γλυκού νερού: ανάπτυξη τιλάπιας και μαρουλιού»**

**Νικόλας Παναγιώτου  
Χρήστος Χαραλάμπους**

**Επιβλέπων: Δρ Νικόλαος Βλάχος**

**ΜΕΣΟΛΟΓΓΙ 2020**

**«Ενυδρειοπονία γλυκού νερού: ανάπτυξη τιλάπιας και μαρουλιού»**



**Τριμελής Εξεταστική Συμβουλευτική Επιτροπή :**

**Νικόλαος Βλάχος**, Ε.ΔΙ.Π, Τμήμα Ζωικής Παραγωγής Αλιείας & Υδατοκαλλιεργειών ,  
Πανεπιστήμιο Πατρών, Επιβλέπων.

**Γεώργιος Χώτος**, Καθηγητής, Τμήμα Ζωικής Παραγωγής Αλιείας & Υδατοκαλλιεργειών ,  
Πανεπιστήμιο Πατρών, Μέλος.

**Γεώργιος Κατσέλης**, Καθηγητής, Τμήμα Ζωικής Παραγωγής Αλιείας & Υδατοκαλλιεργειών ,  
Πανεπιστήμιο Πατρών, Μέλος.

*Στις οικογένειές μας*

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ειλικρινείς μας ευχαριστίες σε όλους αυτούς τους ανθρώπους που συνέβαλαν στο να φέρουμε εις πέρας την παρούσα Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία.

Ιδιαίτερα θα θέλουμε να ευχαριστήσουμε τον Δρ Νικόλαο Βλάχο επιβλέπων της πτυχιακής εργασίας για την αμέριστη βοήθεια και καθοδήγηση που μας προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσης προπτυχιακής διπλωματικής εργασίας.

Επίσης, ευχαριστούμε τους καθηγητές του τμήματος ΖΠΑΥ, Γεώργιο Χώτο και Γεώργιο Κατσέλη, μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής, και τη Βλασούλα Μπεκιάρη για την βοήθεια και την καθοδήγηση που μας προσέφεραν καθ' όλη τη διάρκεια εκτέλεσης και συγγραφή της παρούσης προπτυχιακής διπλωματικής εργασίας.

Ευχαριστούμε επίσης, τον συμφοιτητή μας, Θεοχάρη Νύστα, που στάθηκε πλάι μας και μας βοήθησαν να φέρουμε εις πέρας αυτήν την εργασία.

Τέλος, θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας στις οικογένειάς μας για την αμέριστη στήριξή τους, τόσο κατά τη διάρκεια των σπουδών μας και περάτωσης της παρούσης διπλωματικής προπτυχιακής εργασίας.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσης προπτυχιακής διπλωματικής εργασίας ήταν να μελετήσει την ανάπτυξη της τιλάπιας και του μαρουλιού σε ένα σύστημα ενυδρειοπονίας γλυκού νερού. Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 30 ιχθύδια τιλάπιας μέσου αρχικού βάρους  $24,11 \pm 0,69$  g τα οποία προήλθαν από αναπαραγωγή το ίδιο απόθεμα γεννητόρων και διαμοιράσθηκαν ανά 10 άτομα στις δεξαμενές εκτροφής ψαριών που είχαν όγκο 172,2 L. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 15 φυτικά άτομα μαρουλιού μέσου ύψους  $9,1 \pm 0,23$  cm, τα οποία διαμοιράσθηκαν ανά 5 άτομα στις υδροπονικές δεξαμενές καλλιέργειας φυτών όγκου 50,25 L.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, τα ιχθύδια τιλάπιας αναπτύχθηκαν ικανοποιητικά στο σύστημα ενυδρειοπονίας και κατανάλωναν με προθυμία την τροφή τους χωρίς να παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στην αύξηση βάρους, στον ημερήσιο ειδικό ρυθμό ανάπτυξης και ποσοστιαία αύξηση βάρους. Η παρούσα εργασία αναδεικνύει τη σημαντικότητα της ανάπτυξης της ενυδρειοπονίας για τη μαζική παραγωγή ιχθύων και φυτών ικανοποιητικά ως ένα καινοτόμο σύστημα παραγωγής τροφίμων.

**Λέξεις κλειδιά:** Ενυδρειοπονία, ανάπτυξη τιλάπιας, ανάπτυξη μαρουλιού, επιβίωση, σύστημα ανακύκλωσης

## ABSTRACT

The goal of this undergraduate thesis was to study the growth and development of tilapia and lettuce in a freshwater aquaponics system. A total number of 30 individual red tilapia fish (*Oreochromis mossambicus*) with an average initial weight of  $24.11 \pm 0.69$  g were used, which came from breeding the same broodstock fish and were divided into three treatments of 10 individuals in each aquarium tank, with a total volume of 172.2 L. Also, a total number of 15 lettuce plants (*Lactuca sativa*) with an average height of  $9.1 \pm 0.23$  cm were used, which were divided into three treatments of 5 individuals in each hydroponic grow bed tank, with a total volume of 50.25 L.

The results showed that tilapia fish developed satisfactorily in the aquaponics system and willingly consumed their food and they were no statistically significant differences in weight gain, daily specific growth rate and percentage weight gain. This study highlights the importance of developing aquaponics for mass production of fish and plants satisfactorily as an innovative food production system.

**Key words:** Aquaponics, growth performance of red tilapia, growth performance of lettuce, survival rate, recirculated system

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>10</b>
<b>1.1 Εισαγωγή στην ενυδραιοπονία</b> .....	<b>10</b>
<b>1.2 Λειτουργία συστήματος ενυδραιοπονίας</b> .....	<b>13</b>
1.2.1 Κύκλος Αζώτου.....	14
1.2.2 Φίλτρο.....	16
<b>1.3 Ποιότητα νερού στα συστήματα ενυδραιοπονίας</b> .....	<b>17</b>
<b>1.4 Εξισορρόπηση του υδατοσυστήματος</b> .....	<b>18</b>
1.4.1 Ισορροπία των νιτρικών.....	19
<b>1.5 Ψάρια και φυτά που χρησιμοποιούνται στα συστήματα ενυδραιοπονίας</b> .....	<b>190</b>
<b>1.6. Σκοπός Διπλωματικής εργασίας</b> .....	<b>201</b>
<b>2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ</b> .....	<b>211</b>
<b>2.1 Προμήθεια ατόμων τιλάπιας (<i>Oreochromis mossambicus</i>) και μαρουλιού (<i>Lactuca sativa</i>)</b> .....	<b>21</b>
<b>2.2 Σύστημα εκτροφής-Συνθήκες εκτροφής</b> .....	<b>21</b>
<b>2.3 Σιτηρέσιο και χορήγηση τροφής</b> .....	<b>255</b>
<b>2.4 Μετρήσεις μορφομετρικών χαρακτηριστικών ψαριών και φυτών</b> .....	<b>26</b>
2.4.1 Μετρήσεις μορφομετρικών χαρακτηριστικών ψαριών .....	26
2.4.2 Μετρήσεις μορφομετρικών χαρακτηριστικών φυτών .....	26
<b>2.5 Μετρήσεις φυσικοχημικών παραμέτρων</b> .....	<b>278</b>
2.5.1 Μετρήσεις TN και TOC.....	28
2.5.2 Προσδιορισμός ολικής αμμωνίας-αζώτου (T.A.N.).....	2829
2.5.3 Προσδιορισμός νιτρωδών ιόντων (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ).....	290
2.5.4 Προσδιορισμός νιτρικών ιόντων (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) .....	291
<b>2.6 Υπολογισμός δεικτών ανάπτυξης και αξιοποίησης της τροφής των ιχθύων</b>	<b>302</b>
<b>2.7 Δείκτες ανάπτυξης φυτών</b> .....	<b>313</b>



2.8 Στατιστική Επεξεργασία.....	33
<b>3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>324</b>
3.1 Ποιότητα νερού .....	324
3.2 Δείκτες ανάπτυξης ψαριών .....	357
3.2.1 Βάρος και μήκος σώματος και επιβίωση .....	357
3.2.2 Αύξηση του βάρους (WG), συντελεστής ευρωστίας (CF) και ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (SGR % / ημέρα).....	368
3.3 Δείκτες αξιοποίησης της τροφής .....	379
3.3.1 Συντελεστής μετατραψιμότητας της τροφής (FCR), συντελεστής ημερήσιας πρόσληψης τροφής (DFI), αποτελεσματικότητα της τροφής (FE) και αποτελεσματικότητα της πρωτεΐνης (PER).....	379
3.4. Δείκτες ανάπτυξη μαρουλιού .....	3840
<b>4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....</b>	<b>41</b>
4.1 Ποιότητα νερού.....	42
4.2 Ανάπτυξη ψαριών.....	43
4.3 Ανάπτυξη φυτών.....	43
<b>5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>434</b>
<b>6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>45</b>
6.1. Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία.....	44
6.2 Ελληνόγλωσση Βιβλιογραφία .....	478

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Εισαγωγή στην ενυδραιοπονία

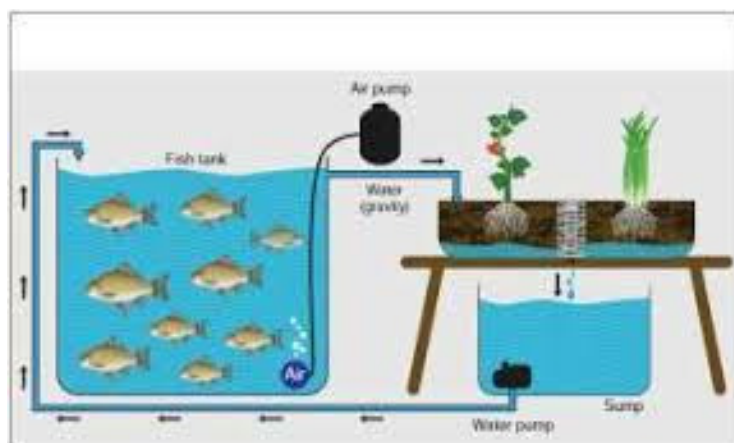
Η ενυδραιοπονία είναι ένα σύστημα που συνδυάζει την εκτροφή ψαριών σε κλειστό σύστημα ανακυκλούμενου νερού με την υδροπονική καλλιέργεια φυτών (λαχανικών, λουλουδιών ή βοτάνων) (Diver, 2006). Τα απόβλητα των ψαριών, τα φύκη στο νερό και η αποσύνθεση των ιχθυοτροφών, δημιουργούν αμμωνία και επομένως νιτρικά, τα οποία θα μπορούσαν να δημιουργήσουν τοξικές συνθήκες στις δεξαμενές των ψαριών (Rakocy *et al.*, 2006). Το νερό της δεξαμενής αρχικά περνά από μηχανικό και βιολογικό φίλτρο. Στο μηχανικό φίλτρο κατακρατούνται τα αιρούμενα σωματίδια.

Ο Diver (2006) θεωρεί την ενυδραιοπονία ως μια βιώσιμη παραγωγή τροφίμων του μέλλοντος χαρακτηρίζοντας την ως συνδυασμός της υδατοκαλλιέργειας σε ανακυκλούμενο νερό και της υδροπονίας σε ένα ενιαίο σύστημα παραγωγής. Σε μια μονάδα ενυδραιοπονίας, το νερό από τη δεξαμενή των ψαριών ανακυκλώνεται μέσω των φίλτρων και επαναχρησιμοποιείται στις δεξαμενές των φυτών, και επιστρέφοντας ξανά στη δεξαμενή των ψαριών (Εικ. 1). Στα φίλτρα, τα απόβλητα των ψαριών κατακρατούνται, πρώτα στο μηχανικό φίλτρο που αφαιρεί τα στερεά απόβλητα και έπειτα μέσω ενός βιολογικού φίλτρου που επεξεργάζεται τα υγρά απόβλητα (αμμωνία). Το βιολογικό φίλτρο μέσω αερόβιων νιτροποιητικών βακτηρίων μετατρέπουν την αμμωνία, η οποία είναι τοξική για τα ψάρια, σε νιτρώδη και κατόπιν σε νιτρικά ιόντα, τα οποία χρησιμοποιούνται από τα φυτά για τη θρέψη τους και την ανάπτυξή τους. Αυτή η διαδικασία επιτρέπει στα ψάρια, τα φυτά και στα βακτήρια να ευδοκιμούν συμβιωτικά και να συνεργάζονται για τη δημιουργία ενός υγιούς περιβάλλοντος ανάπτυξης μεταξύ τους, υπό την προϋπόθεση ότι το σύστημα είναι σωστά ισορροπημένο.

Στην ενυδραιοπονία, τα απόβλητα υδατοκαλλιέργειας εκτρέπονται μέσω των φυτών και δεν απελευθερώνονται στο περιβάλλον, ενώ ταυτόχρονα τα θρεπτικά συστατικά για τα φυτά παρέχονται από μια βιώσιμη, οικονομικά αποδοτική και μη χημική προσθήκη. Αυτός ο συνδυασμός αφαιρεί μερικούς από τους μη βιώσιμους παράγοντες λειτουργίας υδατοκαλλιεργείων και υδροπονικών συστημάτων αντίστοιχα. Πέρα από τα οφέλη που απορρέουν από αυτό το συνδυασμό, η ενυδραιοπονία έχει δείξει ότι η παραγωγή φυτών και

ψαριών είναι συγκρίσιμη με αυτά της υδροπονίας και τα συστήματα υδατοκαλλιέργειας κλειστού κυκλώματος.

Η ενυδρειοπονία μπορεί να είναι πιο παραγωγική και οικονομικά εφικτή σε ορισμένες καταστάσεις, ειδικά όταν η καλλιεργήσιμη γη και το νερό είναι περιορισμένα. Ωστόσο, είναι περίπλοκη και απαιτεί σημαντικό κόστος εκκίνησης. Η αυξημένη παραγωγή πρέπει να αντισταθμίσει το υψηλότερο κόστος επένδυσης που απαιτείται για την ολοκλήρωση των δύο συστημάτων. Πριν από τη δέσμευση σε ένα μεγάλο ή ακριβό σύστημα, θα πρέπει να διεξαχθεί ένα πλήρες επιχειρηματικό σχέδιο που θα εξετάζει οικονομικές, περιβαλλοντικές, κοινωνικές και υλικοτεχνικές πτυχές. Αν και η παραγωγή ψαριών και λαχανικών είναι η πιο ορατή παραγωγή των ενυδρειοπονικών μονάδων, είναι σημαντικό να κατανοηθεί ότι η ενυδρειοπονία είναι η διαχείριση ενός πλήρους οικοσυστήματος που περιλαμβάνει τρεις κύριες ομάδες οργανισμών: ψάρια, φυτά και βακτήρια (Somerville *et al.* 2014).



**Εικόνα 1.** Σύστημα ενυδρειοπονίας (Πηγή: Somerville *et al.* 2014)

Η ενυδρειοπονία είναι μια τεχνική που έχει τη θέση της στο ευρύτερο πλαίσιο της βιώσιμης εντατικής γεωργίας, ειδικά σε εφαρμογές οικογενειακής κλίμακας. Προσφέρει υποστηρικτικές και συνεργατικές μεθόδους παραγωγής λαχανικών και ψαριών και μπορεί να καλλιεργήσει σημαντικές ποσότητες τροφίμων σε τοποθεσίες και καταστάσεις όπου η γεωργία με βάση το έδαφος είναι δύσκολη ή αδύνατη. Η βιωσιμότητα της ενυδρειοπονίας λαμβάνει υπόψη την περιβαλλοντική, οικονομική και κοινωνική δυναμική. Οικονομικά, αυτά τα συστήματα απαιτούν σημαντική αρχική επένδυση, αλλά στη συνέχεια ακολουθούνται από

χαμηλό επαναλαμβανόμενο κόστος και συνδυασμένες αποδόσεις τόσο από τα ψάρια όσο και από λαχανικά.

Περιβαλλοντικά, η ενυδρειοπονία αποτρέπει τη διαφυγή των αποβλήτων της υδατοκαλλιέργειας και τη ρύπανση των υδάτινων συστημάτων. Ταυτόχρονα, η ενυδρειοπονία επιτρέπει μεγαλύτερο έλεγχο του νερού και της παραγωγής. Η ενυδρειοπονία δεν βασίζεται σε χημικές ουσίες για λιπάσματα ή στον έλεγχο παρασίτων ή ζιζανίων, γεγονός που καθιστά τα τρόφιμα ασφαλέστερα έναντι πιθανών υπολειμμάτων (Somerville *et al.* 2014). Κοινωνικά, η ενυδρειοπονία μπορεί να προσφέρει βελτιώσεις στην ποιότητα ζωής λόγω του ότι τα τρόφιμα καλλιεργείται τοπικά και μπορούν να καλλιεργηθούν φυτά κατάλληλα του τόπου που αναπτύσσεται. Ταυτόχρονα, η ενυδρειοπονία μπορεί να ενσωματώσει στρατηγικές διαβίωσης για την εξασφάλιση τροφής και μικρών εισοδημάτων για φτωχές οικογένειες που μπορεί να μην έχουν γη να καλλιεργήσουν.

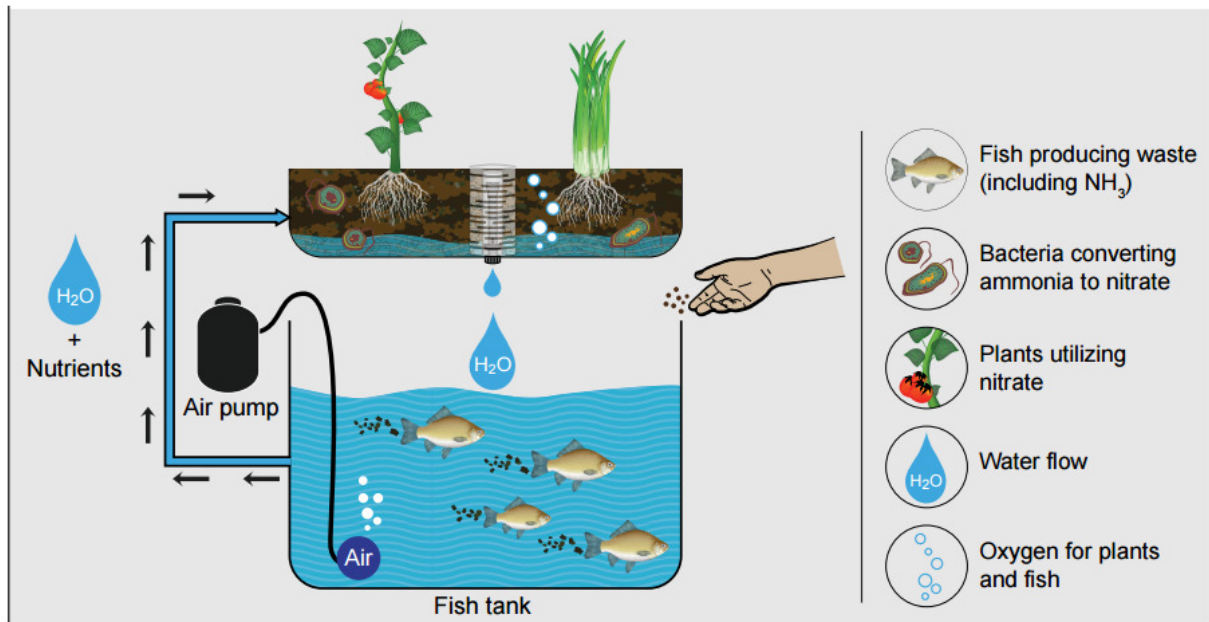
Η εγχώρια παραγωγή τροφίμων, η πρόσβαση σε αγορές και η απόκτηση δεξιοτήτων είναι ανεκτίμητα εργαλεία για την εξασφάλιση της ενδυνάμωσης και της χειραφέτησης των γυναικών στις αναπτυσσόμενες χώρες, και η ενυδρειοπονία μπορεί να αποτελέσει τα θεμέλια για μια δίκαιη και βιώσιμη κοινωνικοοικονομική ανάπτυξη. Η πρωτεΐνη των ψαριών είναι μια πολύτιμη προσθήκη στις διατροφικές ανάγκες πολλών ανθρώπων, καθώς η πρωτεΐνη συχνά ελαχιστοποιείται ή περιορίζεται στα συστήματα μικρής κλίμακας (Somerville *et al.* 2014). Η ενυδρειοπονία είναι πιο κατάλληλη όταν η γη είναι ακριβή, το νερό είναι λιγοστό και το έδαφος είναι φτωχό. Οι έρημοι και οι άνυδρες περιοχές, τα αμμώδη νησιά και οι αστικοί κήποι είναι οι καταλληλότερες τοποθεσίες επειδή χρησιμοποιεί ελάχιστο νερό. Δεν υπάρχει ανάγκη για χώμα, και η ενυδρειοπονία αποφεύγει τα ζητήματα που σχετίζονται με τη συμπίεση του εδάφους, την αλάτωση, τη ρύπανση, τις ασθένειες και την εξάντληση του εδάφους.

Παρομοίως, η ενυδρειοπονία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αστικά και περιαστικά περιβάλλοντα όπου δεν υπάρχει ή υπάρχει πολύ λίγη γη, παρέχοντας ένα μέσο για την καλλιέργεια πυκνών καλλιεργειών σε μικρά μπαλκόνια, αίθρια, σε εσωτερικούς χώρους ή σε στέγες. Ωστόσο, αυτή η τεχνική μπορεί να είναι περίπλοκη και τα συστήματα μικρής κλίμακας δεν θα παρέχουν ποτέ όλα τα τρόφιμα για μια οικογένεια. Επιπλέον, η επιτυχημένη διαχείριση απαιτεί ολιστική γνώση και καθημερινή συντήρηση των τριών ξεχωριστών ομάδων οργανισμών που εμπλέκονται, ψάρια, φυτά, και βακτήρια. Επίσης η ποιότητα του νερού πρέπει να μετράτε συνεχώς και να διαχειρίζεται αναλόγως (Somerville *et al.* 2014).

## 1.2 Λειτουργία συστήματος ενυδρειοπονίας

Η ενυδρειοπονία όπως αναφέρθηκε συνδυάζει δύο κύριες τεχνικές, την υδατοκαλλιέργεια και την υδροπονία. Σε ένα σύστημα κλειστού κυκλώματος, το νερό καλλιέργειας εξέρχεται από τη δεξαμενή ψαριών που περιέχει τα μεταβολικά απόβλητα των ψαριών. Το νερό πρώτα διέρχεται από το μηχανικό φίλτρο που συλλαμβάνει στερεά απόβλητα και στη συνέχεια διέρχεται από ένα βιολογικό φίλτρο που οξειδώνει την αμμωνία σε νιτρώδη και νιτρικά ιόντα. Στη συνέχεια, το νερό κυκλοφορεί μέσα από τα φυτά που αυξάνονται προσλαμβάνοντας τα θρεπτικά συστατικά και, τέλος, το νερό επιστρέφει, καθαρίζεται, στη δεξαμενή των ψαριών (Εικ. 1, Εικ.2). Το βιολογικό φίλτρο παρέχει έναν βίοτοπο για τα βακτήρια να μετατρέπουν τα απόβλητα ψαριών σε αξιοποιήσιμα θρεπτικά συστατικά για τα φυτά.

Αυτά τα θρεπτικά συστατικά, τα οποία διαλύονται στο νερό, απορροφώνται στη συνέχεια από τα φυτά (Somerville *et al.* 2014). Αυτή η διαδικασία απομάκρυνσης θρεπτικών ουσιών καθαρίζει το νερό, εμποδίζοντας το νερό να γίνει τοξικό με επιβλαβείς μορφές αζώτου (αμμωνία και νιτρώδες), και επιτρέπει στα ψάρια, τα φυτά και τα βακτήρια να ευδοκιμούν συμβιωτικά. Έτσι, όλοι οι οργανισμοί συνεργάζονται για να δημιουργήσουν ένα υγιές περιβάλλον ανάπτυξης μεταξύ τους, υπό την προϋπόθεση ότι το σύστημα είναι σωστά ισορροπημένο (Somerville *et al.* 2014).



**Εικόνα 2.** Πορεία βιολογικής διαδικασίας στο ενυδρείοπνικό σύστημα: συνύπαρξη ψαριών φυτών και βακτηρίων (Πηγή: Somerville *et al.* 2014).

Στο βιολογικό φίλτρο διαβιούν βακτήρια υπεύθυνα για τη βιοχημική διεργασία της νιτροποίησης, σύμφωνα με την οποία η αμμωνία οξειδώνεται σε νιτρώδη ιόντα διαμέσου των βακτηρίων *Nitrosomonas sp*, και στην συνέχεια σε νιτρικά ιόντα μέσω των βακτηρίων *Nitrobacter sp*. (Ebeling *et al.* 2006, Gerardi, 2002, Panuvatvanich *et al.* 2009). Τα νιτρικά αποτελούν από τα βασικά θρεπτικά συστατικά τα οποία απορροφώνται από τα φυτά (Εικ.2). Τα νιτροποιητικά βακτήρια αναπτύσσονται στο φίλτρο και σε συνδυασμό με τις ρίζες των φυτών συμβάλλουν καθοριστικά στην ανακύκλωση των θρεπτικών συστατικών, η απουσία των βακτηρίων αυτών θα οδηγούσε σε κατάρρευση του συστήματος (Timmons *et al.* 2002). Το νερό επιστρέφει στην δεξαμενή εκτροφής των ψαριών απαλλαγμένο από τα νιτρικά ιόντα.

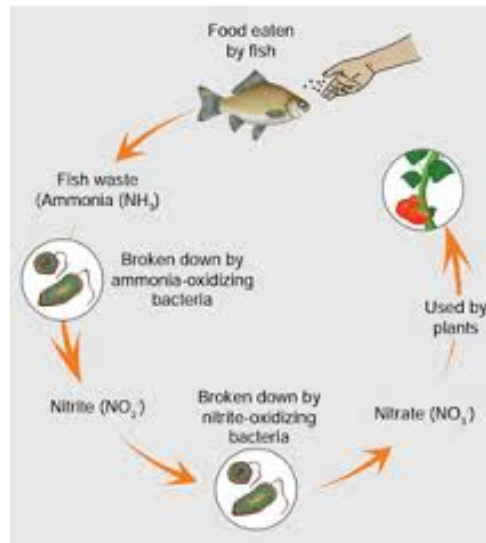
### 1.2.1. Κύκλος Αζώτου

Η πιο σημαντική βιολογική διεργασία στην ενυδρείοπνία είναι η διαδικασία νιτροποίησης, η οποία αποτελεί βασικό συστατικό του συνολικού κύκλου του αζώτου που βλέπουμε στη φύση. Το άζωτο (N) είναι ένα χημικό στοιχείο και ένα βασικό δομικό στοιχείο για όλες τις μορφές ζωής. Είναι παρόν σε όλα τα αμινοξέα, τα οποία αποτελούν και δομούν τις πρωτεΐνες που είναι απαραίτητες για πολλές βασικές βιολογικές διεργασίες για τα ζώα όπως η ρύθμιση ενζύμων, η κυτταρική σηματοδότηση και η δημιουργία κυττάρων. Το άζωτο είναι το

πιο σημαντικό ανόργανο θρεπτικό συστατικό για όλα τα φυτά. Το άζωτο, σε μορφή αερίου, είναι το πιο άφθονο στοιχείο που υπάρχει στην ατμόσφαιρα της Γης και αποτελεί περίπου το 78 %, με το οξυγόνο να αποτελεί μόνο το 21%.

Ωστόσο, παρόλο που το άζωτο είναι τόσο άφθονο, υπάρχει στην ατμόσφαιρα μόνο ως μοριακό άζωτο ( $N_2$ ), το οποίο είναι ένας πολύ σταθερός τριπλός δεσμός ατόμων αζώτου και δεν είναι προσβάσιμος στα φυτά. Επομένως, το άζωτο στη μορφή  $N_2$  πρέπει να αλλαχθεί πριν τα φυτά το χρησιμοποιήσουν για την ανάπτυξη τους. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται σταθεροποίηση αζώτου και αποτελεί μέρος του κύκλου αζώτου (Εικ.3) που λαμβάνει χώρα στη φύση. Η σταθεροποίηση του αζώτου διευκολύνεται από βακτήρια που μεταβάλλουν χημικά το  $N_2$  προσθέτοντας άλλα στοιχεία όπως υδρογόνο ή οξυγόνο, δημιουργώντας νέες χημικές ενώσεις όπως η αμμωνία ( $NH_3$ ) και τα νιτρικά ( $NO_3^-$ ) τα οποία τα φυτά μπορούν εύκολα να χρησιμοποιήσουν. Επίσης, το ατμοσφαιρικό άζωτο μπορεί να σταθεροποιηθεί μέσω μιας υψηλά απαιτητική σε ενέργεια διαδικασίας παραγωγής, γνωστή ως η μέθοδος Haber, που χρησιμοποιείται για την παραγωγή συνθετικών λιπασμάτων. Τα ζώα παράγουν απόβλητα (κόπρανα και ούρα) τα οποία αποτελούνται από αμμωνία ( $NH_3$ ). Άλλες αποσυντιθέμενες οργανικές ύλες που βρίσκονται στη φύση, όπως νεκρά φυτά ή ζώα, διασπώνται από μύκητες και διάφορες ομάδες βακτηρίων σε αμμωνία. Αυτή η αμμωνία μεταβολίζεται από μια συγκεκριμένη ομάδα βακτηρίων, η οποία είναι πολύ σημαντική για την ενυδραιοπονία, που ονομάζονται νιτροποιητικά βακτήρια.

Αυτά τα βακτήρια μετατρέπουν αρχικά την αμμωνία σε νιτρώδη ιόντα ( $NO_2^-$ ) και έπειτα σε νιτρικά ( $NO_3^-$ ). Τα φυτά χρησιμοποιούν και αμμωνία και τα νιτρικά για να εκτελέσουν τις διαδικασίες ανάπτυξής τους, αλλά τα νιτρικά αφομοιώνονται πιο εύκολα από τις ρίζες τους. Τα νιτροποιητικά βακτήρια, τα οποία ζουν σε διαφορετικά περιβάλλοντα, όπως στο χώμα, στην άμμο, στο νερό και στον αέρα, αποτελούν ουσιαστικό κομμάτι της διαδικασίας της νιτροποίησης που μετατρέπει τα φυτικά και ζωικά απόβλητα σε αφομοιώσιμα θρεπτικά συστατικά για τα φυτά. Στο υδάτινο οικοσύστημα η διαδικασία του κύκλου του αζώτου περιλαμβάνει ένα πιο πολύπλοκο διάγραμμα ροής δείχνοντας όλα τα στάδια του κύκλου του αζώτου. Στην Ενυδραιοπονία, τα ζωικά απόβλητα είναι τα περιττώματα ψαριών που εκκρίνονται στις δεξαμενές καλλιέργειας. Η νιτροποίηση στα ενυδραιοπονικά συστήματα παρέχει θρεπτικά συστατικά για τα φυτά και οξειδώνει την τοξική αμμωνία και νιτρώδη και νιτρικά ιόντα (Somerville *et al.* 2014).

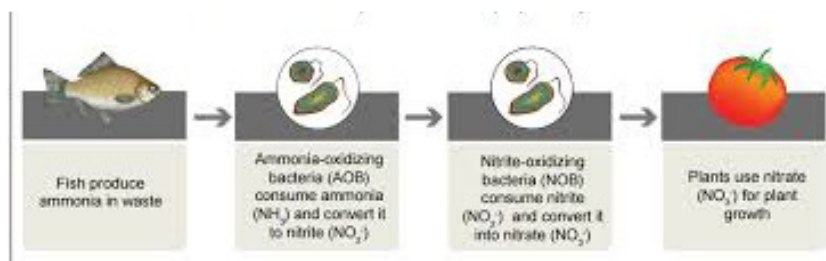


**Εικόνα 3.** Κύκλος αζώτου στο σύστημα ενυδρείοπονίας (Πηγή: Somerville *et al.* 2014)

### 1.2.2 Φίλτρο

Τα βακτηρίδια νιτροποίησης είναι ζωτικής σημασίας για τη συνολική λειτουργία ενός ενυδρείοπονικού συστήματος και περιγράφουν πώς λειτουργεί το βιολογικό φίλτρο για κάθε μέθοδο ενυδρείοπονίας, καθώς και τις διάφορες ομάδες βακτηρίων που λειτουργούν σε ένα ενυδρείοπονικό σύστημα (Εικ.4). Στη διαδικασία νιτροποίησης εμπλέκονται δύο μεγάλες ομάδες βακτηρίων νιτροποίησης: 1) τα βακτήρια που οξειδώνουν την αμμωνία (AOB) και 2) τα βακτήρια που οξειδώνουν τα νιτρώδη ιόντα (NOB) (Εικ.4). Η αμμωνία μεταβολίζεται με την ακόλουθη σειρά: 1. Τα βακτηρίδια AOB μετατρέπουν την αμμωνία ( $\text{NH}_3$ ) σε νιτρώδη ( $\text{NO}_2^-$ ) 2. Τα βακτηρίδια NOB μετατρέπουν τα νιτρώδη ιόντα ( $\text{NO}_2^-$ ) σε νιτρικά ιόντα ( $\text{NO}_3^-$ ). Όπως φαίνεται στα χημικά σύμβολα, το AOB οξειδώνει (προσθέτει οξυγόνο) στην αμμωνία και δημιουργεί νιτρώδη ( $\text{NO}_2^-$ ) και το NOB οξειδώνει περαιτέρω τα νιτρώδη ( $\text{NO}_2^-$ ) σε νιτρικά ( $\text{NO}_3^-$ ). Το γένος *Nitrosomonas* είναι το πιο κοινό AOB στην ενυδρείοπονία και το γένος *Nitrobacter* είναι το πιο κοινό NOB. Συνοπτικά, το οικοσύστημα εντός του ενυδρείοπονικού συστήματος εξαρτάται πλήρως από τα βακτήρια. Εάν τα βακτήρια δεν είναι παρόντα ή εάν δεν λειτουργούν σωστά, οι συγκεντρώσεις αμμωνίας στο νερό θα σκοτώσουν τα ψάρια. Είναι ζωτικής σημασίας να διατηρείται μια υγιής βακτηριακή αποικία στο σύστημα ανά πάσα στιγμή, προκειμένου να διατηρούνται τα επίπεδα αμμωνίας κοντά στο μηδέν (Εικ.4).





**Εικόνα 4.** Διαδικασία νιτροποίησης σ' ένα σύστημα ενυδρείοπονίας (Πηγή: Somerville *et al.* 2014).

### 1.3 Ποιότητα νερού στα συστήματα ενυδρείοπονίας

Η άριστη λειτουργία του συστήματος ενυδρείοπονίας σύμφωνα με τους Somerville *et al.* (2014) εξαρτάται από την ποιότητα του νερού: pH 6-7, θερμοκρασία 18- 30 °C, διαλυμένο οξυγόνο (DO) > 5 mg/L, αμμωνία και νιτρώδη ιόντα < 1mg/L και νιτρικά ιόντα να μην υπερβαίνουν τα 150 mg/L. Η ρύθμιση και η ισορροπία του συστήματος ενυδρείοπονίας εξαρτάται από τη θερμοκρασία και το pH του νερού.

Οι Rakocy *et al.* (2006) αναφέρουν ότι η άριστη λειτουργία του συστήματος επιτυγχάνεται όταν η τροφοδοσία του συστήματος γίνεται με την ελάχιστη δυνατή χορήγηση τροφής (60 έως 100 g τροφής/ m<sup>2</sup>) διότι παράγονται 0,75 mg/L αμμωνία. Επίσης, οι Tyson *et al.* (2011) αναφέρουν 1m<sup>2</sup> υδροπονικής καλλιέργειας μπορεί να απομακρύνει 0.83 g N και 0.17 g συνολικού P.

Η θερμοκρασία, το pH, η αλατότητα, το διαλυμένο οξυγόνο, η αμμωνία και τα νιτρικά ιόντα θα πρέπει να μην αποκλίνουν και να είναι εντός των ασφαλών ορίων που ισχύουν για το εκάστοτε εκτρεφόμενο είδος ιχθύος (Somerville *et al.* 2014). Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη λειτουργία του συστήματος ενυδρείοπονίας είναι:

- Διαλυμένο οξυγόνο: κυμαίνεται από 5 έως 8 ppm και συμβάλει στην ανάπτυξη φυτών, ψαριών και βακτηρίων.
- pH: επηρεάζει τη διαβίωση των φυτών και βακτηρίων ενώ θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 6-7, επηρεάζοντας τη διαθεσιμότητα των ιχνοστοιχείων. Πιο συγκεκριμένα όταν το pH κυμαίνεται από 6 έως 6.5, υπάρχει μεγάλη διαθεσιμότητα ιχνοστοιχείων σε αντίθεση με τιμές pH >7.5, όπου παρεμποδίζεται η απορρόφηση του Fe, P και Mn από τα φυτά (nutrient lock out). pH < 6,

διαταράσσεται η ισορροπία του συστήματος διαταράσσοντας την νιτροποιητική διαδικασία, με αποτέλεσμα να μειώνεται η τοξικότητα της αμμωνίας.

- Θερμοκρασία: η αύξηση της θερμοκρασίας μειώνει την απορροφητικότητα των φυτών σε ασβέστιο και επιδρά στην τοξικότητα της αμμωνίας, μειώνοντας τη διαλυτότητα του οξυγόνου,.

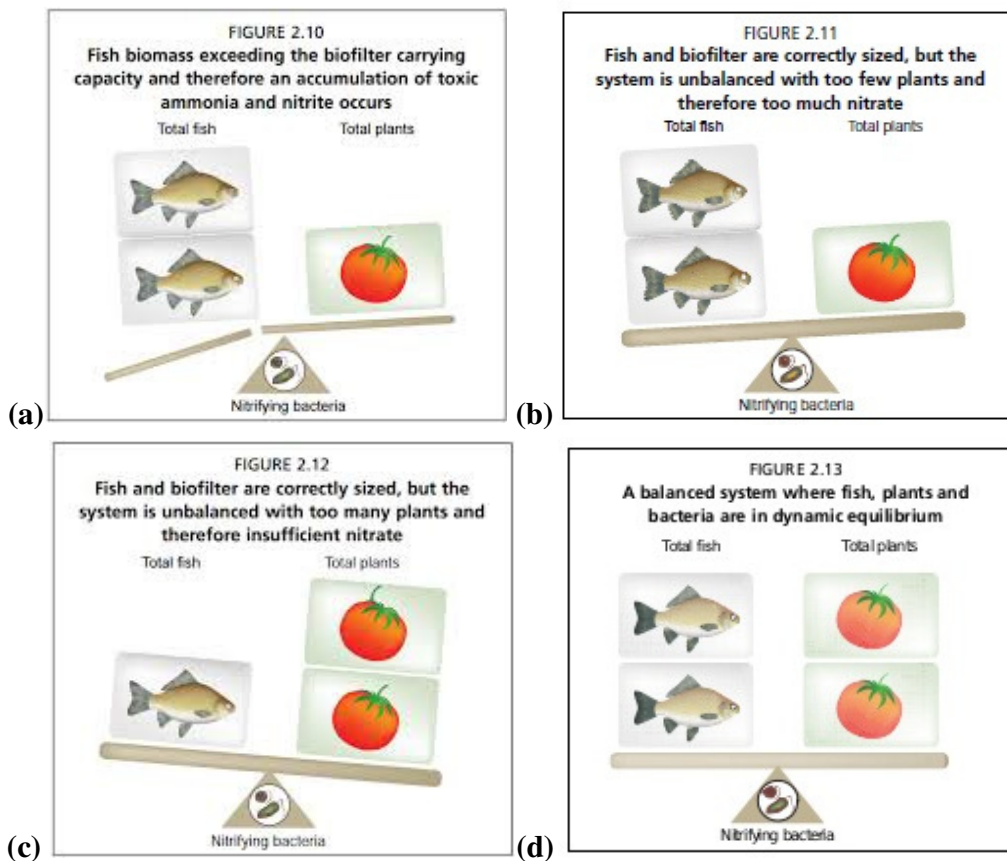
#### **1.4. Ισορροπία του συστήματος ενυδρείοπονίας**

Ο όρος ισορροπία χρησιμοποιείται για να περιγράψει όλα τα μέτρα που λαμβάνονται υπόψιν στην ενυδρείοπονία προκειμένου να διασφαλιστεί ότι το οικοσύστημα των ψαριών, των φυτών και των βακτηρίων βρίσκεται σε δυναμική ισορροπία. Δεν μπορεί να υπερεκτιμηθεί ότι η επιτυχία ενός ενυδρείοπονικού συστήματος οφείλεται κυρίως στη διατήρηση ενός ισορροπημένου οικοσυστήματος. Με απλά λόγια, αυτό σημαίνει ότι υπάρχει μια ισορροπία μεταξύ της ποσότητας των ψαριών, της ποσότητας των φυτών και του μεγέθους του βιολογικού φίλτρου, και της ποσότητας των βακτηρίων που βρίσκονται και αναπτύσσονται σε αυτό. Υπάρχουν πειραματικά καθορισμένες αναλογίες μεταξύ του μεγέθους του βιολογικού φίλτρου, της πυκνότητας φύτευσης και της πυκνότητας του ψαριού για την ενυδρείοπονία (Somerville *et al.* 2014).

##### **1.4.1 Ισορροπία των νιτρικών**

Η ισορροπία σε ένα σύστημα ενυδρείοπονίας είναι πολύ σημαντική και μπορεί να παρομοιασθεί σαν μια «ζυγαριά» όπου τα ψάρια και τα φυτά είναι τα βάρη που σταθμίζονται στις αντίθετες πλευρές (Εικ.5). Προϋπόθεση για τη ρύθμιση αποτελεί το φίλτρο και τα βακτήρια τα οποία σύμφωνα με τον Somerville *et al.* (2014) αντιπροσωπεύεται σαν το «καντάρι» όπου ανάλογα με την φέρουσα ικανότητα του συστήματος θα επιφέρει και άνιση κατανομή εξαιτίας της ανεπάρκειας που παρατηρείται στο φίλτρο (Εικ.5a). Στην Εικόνα 5b η εν λόγω ισορροπία αντιστοιχίζεται με την αύξηση του πάχους του άξονα της ζυγαριάς (καντάρι) πάνω στο οποίο είναι τοποθετημένα τα φυτά και ψάρια. Εάν το φυτό έχει μικρό μέγεθος, τότε το σύστημα θα αρχίσει να συσσωρεύει θρεπτικά «συστατικά» (Εικ. 5b). Στην πράξη, οι υψηλότερες συγκεντρώσεις θρεπτικών ουσιών δεν είναι επιβλαβείς για τα ψάρια ούτε για τα φυτά, αλλά αποτελούν ένδειξη ότι το σύστημα έχει χαμηλή απόδοση από την πλευρά του φυτού (5c). Ένα κοινό λάθος διαχείρισης είναι όταν χρησιμοποιούνται πάρα πολλά φυτά και πολύ λίγα ψάρια,

όπως φαίνεται στο τρίτο σενάριο που φαίνεται στην Εικόνα 5c. Σε αυτήν την περίπτωση, η αμμωνία υποβάλλεται σε επεξεργασία από τα βακτήρια νιτροποίησης, αλλά η ποσότητα των νιτρικών και υπολοίπων θρεπτικών ουσιών που προκύπτουν δεν επαρκεί για την κάλυψη των αναγκών των φυτών (Eik.5d).



**Εικόνα 5.** (a) Η βιομάζα των ψαριών υπερβαίνει τη φέρουσα ικανότητα του βιολογικού φίλτρου και συνεπώς λαμβάνει χώρα συσσώρευση τοξικής αμμωνίας και νιτρώδους (b) Τα ψάρια και το βιολογικό φίλτρο έχουν σωστό μέγεθος, αλλά το σύστημα δεν είναι ισορροπημένο με πολύ λίγα φυτά και συνεπώς με πολλά νιτρικά ιόντα (c) Τα ψάρια και το βιολογικό φίλτρο έχουν σωστό μέγεθος, αλλά το σύστημα δεν είναι ισορροπημένο με πάρα πολλά φυτά και συνεπώς ανεπαρκές νιτρικά ιόντα (d) Ένα ισορροπημένο σύστημα όπου τα ψάρια, τα φυτά και τα βακτήρια βρίσκονται σε δυναμική ισορροπία (Πηγή: Somerville *et al.* 2014).

### 1.5 Ψάρια και φυτά που χρησιμοποιούνται στα συστήματα ενυδρείοπονίας

Είδη όπως η κοινή τιλάπια (*Oreochromis niloticus*), η μπλέ τιλάπια (*Oreochromis aureus*), η κόκκινη τιλάπια (*Oreochromis mossambicus*), το υβρίδιο *O. aureus* X *O. niloticus*, το υβρίδιο *Oreochromis spp.*, η πέστροφα, το αφρικάνικο γατόψαρο, τα κοι και ο κυπρίνος

συγκαταλέγονται μεταξύ των ειδών των ιχθύων που χρησιμοποιούνται με επιτυχία σε συστήματα ενυδραιοπονίας με γλυκό νερό (Stathoroulou *et al.* 2018, Endut *et al.* 2011).

Στην θαλάσσια ή υφάλμυρη ενυδραιοπονία επιλέγονται είδη ψαριών που μπορούν να εκτραφούν σε συστήματα θαλασσινού νερού (Alessio *et al.* 2001) και να συμβιώνουν με μεγάλη ποικιλία φυτών (Pantanella & Colla 2013). Η ενυδραιοπονία σε υφάλμυρο νερό μπορεί να συνδυάζει την εκτροφή Μεσογειακών ευρύαλων ειδών όπως η τσιπούρα ή το λαβράκι σε συνδυασμό με μεγάλη ποικιλία Μεσογειακών φυτών όπως τα αλόφυτα (Vlahos *et al.* 2019) ή φύκη (Boxman *et al.* 2015), τα οποία παρουσιάζουν αυξημένη εμπορική αξία.

Τα είδη φυτών που έχουν χρησιμοποιηθεί κατά καιρούς σε συστήματα ενυδραιοπονίας με επιτυχία είναι: η τομάτα, το μαρούλι, ο βασιλικός, η πιπεριά, το σπανάκι και η μελιτζάνα (Khater *et al.* 2015, Stathoroulou *et al.* 2018), ενώ στα είδη των φυτών που αναπτύσσονται σε αλατότητα 5 ppt είναι τα αλόφυτα. Ανάμεσα στα είδη αλόφυτων που καλλιεργούνται για την παραγωγή λαχανικών συγκαταλέγονται ο κρίταμος (rock samphire, *Chroothum maritimum*), πολλά είδη του γένους *Salicornia* και η κινόα (*Quinoa sp*) (Somerville *et al.* 2014). Η ενσωμάτωση της καλλιέργειας των φυκών στην θαλάσσια ενυδραιοπονία αποτελεί επίσης μια αξιολογημένη εναλλακτική λύση. Μεταξύ των διαφόρων ειδών φυκών αξιολογήσιμο ενδιαφέρον, παρουσιάζουν η σπιρουλίνα (*Arthrospira platensis*) και η chlorella (*Chlorella spp*).

### **1.6. Σκοπός Διπλωματικής εργασίας**

Σκοπός της παρούσης διπλωματικής προπτυχιακής εργασίας ήταν να μελετήσει την επίδραση του διαφορετικού επιπέδου διατροφής στην ανάπτυξη της κόκκινης τιλάπιας και του μαρουλιού σε σύστημα ενυδραιοπονίας.

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

### 2.1 Προμήθεια ατόμων τιλάπιας (*Oreochromis mossambicus*) και μαρουλιού (*Lactuca sativa*)

Οι 30 ιχθύες που χρησιμοποιηθήκαν στη παρούσα πειραματική διαδικασία ήταν του είδους *Oreochromis mossambicus*, γνωστή ως η «κόκκινη τιλάπια» (Liao & Chen, 1983, Huang *et al.* 1988), και προήλθαν από αναπαραγωγή από ώριμους γεννήτορες που διατηρούνταν σε συνθήκες αιχμαλωσίας στο εργαστήριο Βιολογίας και Καλλιέργειας Ιχθύων του τμήματος Ζωικής Παραγωγής, Αλιείας και Υδατοκαλλιεργειών του πρώην Πανεπιστημίου Πατρών (πρώην ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας). Επίσης τα φυτά που χρησιμοποιηθήκαν στο πείραμα ήταν 15 μαρούλια του είδους *Lactuca sativa*, τα οποία προμηθευτήκαν από την τοπική αγορά του Μεσολογγίου και προήλθαν από συμβατική καλλιέργεια σε θερμοκήπιο. Το μαρούλι καλλιεργείται με επιτυχία σε συστήματα υδροπονίας (Ako & Baker, 2009).

### 2.2 Σύστημα εκτροφής-Συνθήκες εκτροφής

Το πείραμα εκτροφής της τιλάπιας και καλλιέργειας μαρουλιού σε σύστημα ενυδρειοπονίας διεξήχθη στο Τμήμα Τεχνολογίας Αλιείας και Υδατοκαλλιεργειών, του πρώην ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας, στο Μεσολόγγι και διήρκεσε 65 ημέρες (01/10/18 μέχρι τις 05/12/18)

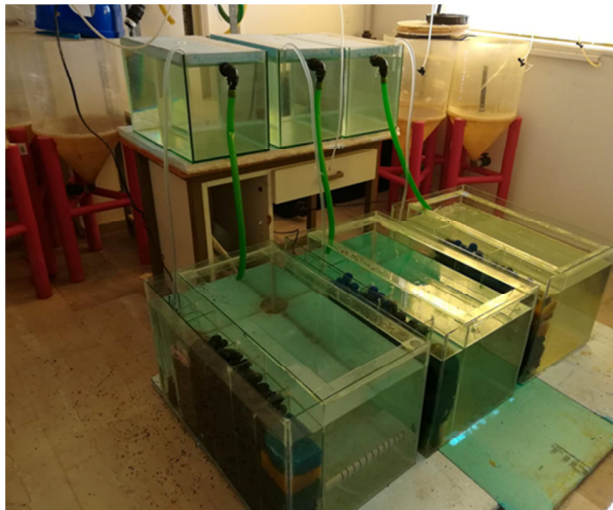
Για τις ανάγκες του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν 3 συστήματα ενυδρειοπονίας (Εικ.6) συνολικού όγκου 260.35 L, που αποτελούνταν από 3 ενυδρειακά συστήματα εκτροφής των ψαριών διαστάσεων 71 \* 50 \* 48,5 cm και συνολικού όγκου 172,2 L και από 3 υδροπονικές δεξαμενές καλλιέργειας των φυτών διαστάσεων 50 \* 33.5 \* 30 cm και όγκου 50.25 L (Πιν 1).

Τα ενυδρειακά συστήματα υποστηρίζονταν από ενσωματωμένο εσωτερικό φίλτρο διαστάσεων 71 \* 11 \* 48.5 cm και συνολικού όγκου 37.88 L. το οποίο αποτελούνταν από έξι τμήματα τα οποία πληρώθηκαν από υλικά φίλτρανσης προκειμένου να επιτελέσουν το μηχανικό και βιολογικό φιλτράρισμα. Το πρώτο τμήμα του φίλτρου ήταν το μηχανικό φίλτρο το οποίο πληρώθηκε με σφουγγάρι και υαλοβάμβακα προκειμένου να γίνεται η κατακράτηση των αιωρούμενων σωματιδίων, υπολειμμάτων τροφής και κοπράνων.

Τα υπόλοιπα τέσσερα τμήματα του φίλτρου αποτελούσαν το βιολογικό φίλτρο, στο οποίο το μεγαλύτερο μέρος του πληρώθηκε με βιόσφαιρες μέσου διαμετρήματος 3.8 mm και

στο τελευταίο τμήμα του βιολογικού φίλτρου προστέθηκε κοκκώδες ηφαιστειακό υλικό (λάβα) μέσου διαμετρήματος 0.64 mm. Τα συστήματα είχαν μέση ροή νερού 4.3 L/min, τα οποία δημιουργούσαν μια ταχύτητα φιλτραρίσματος 2.3 cm/min

Στο τελευταίο τμήμα του φίλτρου ήταν τοποθετημένη η αντλία, η οποία τροφοδοτούσε με νερό την υδροπονική δεξαμενή καλλιέργειας του μαρουλιού. Ο συνολικός όγκος του ενυδρείου συμπεριλαμβανομένου του φίλτρου ήταν 210.1 L. Οι διαστάσεις της κάθε υδροπονικής δεξαμενής καλλιέργειας των φυτών είχαν διαστάσεις 50 \*33.5 \*30 cm, και συνολικού όγκου 50.3 L . Συνολικά ο όγκος του συστήματος ενυδρευοπονίας (ενυδρείο εκτροφής ψαριών, υδροπονική δεξαμενή καλλιέργειας μαρουλιού και φίλτρο) ήταν 260.4 L.



(a)



(b)

**Εικόνα 6.** (a) Συστήματα ενυδρευοπονίας που χρησιμοποιήθηκαν στην πειραματική διαδικασία (b) άτομα τιλάπιας που χρησιμοποιήθηκαν στην πειραματική διαδικασία (Πηγή: προσωπικό αρχείο)

**Πίνακας 1.** Διαστάσεις ενυδρειακών συστημάτων και υδροπονικής δεξαμενής καλλιέργειας του μαρουλιού του ενυδρειοπονικού συστήματος που χρησιμοποιήθηκαν στην πειραματική διαδικασία.

Διαστάσεις	Ενυδρείο Ανάπτυξης Ψαριών	Φίλτρο	Ενυδρείο Υδροπονικής καλλιέργειας φυτών (grow bed)
Ύψος (cm)	48.5	48.5	33.5
Μήκος (cm)	71	71	50
Πλάτος (cm)	50	11	30
Όγκος (L)	172.2	37.88	50.25
Συνολικός Όγκος συστήματος ενυδρειοπονίας (L)	260.35		

Η ρύθμιση του συστήματος ενυδρειοπονίας έγινε σύμφωνα με Spotte (1992) είχε διάρκεια περίπου ένα μήνα προκειμένου να αναπτυχθούν τα νιτροποιητικά βακτήρια δια της προσθήκης χλωριούχου αμμωνίου καθώς καθώς και σκόνη μαγιάς, γιατί προκαλεί διεγερμένη οξείδωση νιτρώδους και ανάπτυξη του *Nitrobacter* στο σύστημα (Bock, 1976, Fang *et al.* 1993)

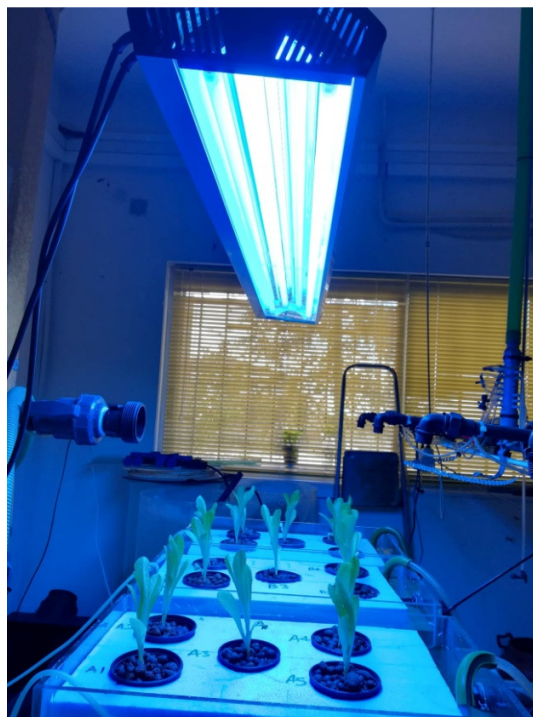
Η παροχή αέρα στα συστήματα γίνονταν με αεραντλίες (Hailea, 2.5 W) οι οποίες τροφοδοτούσαν τις δεξαμενές εκτροφής και καλλιέργειας των φυτών με ατμοσφαιρικό αέρα διαμέσου μιας αερόπετρας προκειμένου να επιτευχθεί καλύτερη και αποτελεσματική διάχυση του αέρα στο νερό των συστημάτων. Η θερμοκρασία διατηρήθηκε σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος στους 25°C με τη χρήση θερμαντικών σωμάτων 50 W σε κάθε δεξαμενή των ψαριών, και ελεγχόταν με θερμόμετρο κάθε πρωί. Η μέτρηση των φυσικοχημικών παραμέτρων του νερού, (TAN, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) pH και θερμοκρασίας γίνονταν μια φορά εβδομαδιαίως στις δεξαμενές εκτροφής των ψαριών και καλλιέργειας των φυτών.

Σε κάθε ενυδρειακό σύστημα προστέθηκαν 10 άτομα κόκκινης τιλάπιας, μέσου βάρους 24 ± 6.03 gr και μέσου μήκους 11 ± 1.03 cm. Για τη μέτρηση των μορφομετρικών χαρακτηριστικών τους τα ψάρια αναισθητοποιήθηκαν σε λουτρό φαινοξαιθανόλης 0,25 mL/L, ενώ μια ημέρα πριν την διαδικασία αναισθητοποίησης οι ιχθύες διατηρήθηκαν σε ασιτία για διάστημα 24 h. Επίσης στις δεξαμενές των ψαριών για αποφυγή ενοχλήσεων και δημιουργία σκίασης για αποφυγή στρες στους ιχθύες τοποθετήθηκαν φελιζόλ (Heinen 1998). Τα ψάρια και



τα φυτά πριν την έναρξη της πειραματικής διαδικασίας και για διάστημα 15 ημερών εγλιματίστηκαν και προσαρμόστηκαν στις συνθήκες του πειράματος (Fryer & Iles 1972).

Τα μαρούλια που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα ήταν του είδους *Lactuca sativa* με μέσο αρχικό ύψος  $8-10 \pm 0.65$  cm και ήταν τοποθετημένα σε ειδικά πλαστικά φυτοδοχεία , συμβατικής καλλιέργειας. Ως εκ τούτου οι ρίζες τους ξεπλύθηκαν με άφθονο νερό ώστε να απομακρυνθεί κάθε ίχνος χόματος. Στη συνέχεια τοποθετήθηκαν σε ειδικά διάτρητα φυτοδοχεία τα οποία πληρώθηκαν με άργιλο τύπου Leca (Sweat *et al.* 2004, Van Patten, 2004) Στη συνέχεια τοποθετήθηκαν σε φελιζόλ στο οποίο διανοίχθηκαν τρύπες διαμέτρου 8 cm και τοποθετήθηκαν στα ενυδρεία υδροπονικής καλλιέργειας. Επιλέχθηκε για την καλλιέργεια των μαρουλιών η μέθοδος της πλεύμενης σχεδίας (raft system) η οποία σύμφωνα με τους Somerville *et al.* (2014) προϋποθέτει τη χρήση άφθονου αερισμού το οποίο συνεισφέρει στον αερισμό των ριζών των φυτών (Εικ.7).



**Εικόνα 7.** Υδροπονικές δεξαμενές καλλιέργειας του μαρουλιού (Πηγή: προσωπικό αρχείο)

Ο φωτισμός στα φυτά γινόταν με λαμπτήρες ατμού νατρίου (Sylvania GroLux SHP-TS, HPS lights, 400W) που τοποθετήθηκαν σε ειδικούς ανακλαστήρες 60 εκατοστά πάνω από τις δεξαμενές των μαρουλιών. Η φωτοπερίοδος ρυθμίστηκε να είναι αυτή του Νοεμβρίου-Δεκεμβρίου δηλαδή 10 h φως : 14 h σκοτάδι.



### 2.3 Σιτηρέσιο και χορήγηση τροφής

Η ποσότητα της τροφής που χορηγούνταν καθημερινά ήταν 2%, 4% και 5% του μέσου ζώντος βάρους ψαριού, για το πρώτο (SA) , δεύτερο (SB) και τρίτο (SC) σύστημα ενυδρειοπονίας αντίστοιχα, η οποία διαμοιράζονταν σε δύο γεύματα (11:00 πμ και 16:00 μμ) (Εικ.8). Τις πρώτες 15 ημέρες το σιτηρέσιο των τιλαπιών υπολογίστηκε στα 12.24 gr για το σύστημα Α, 11.7 gr για το σύστημα Β, και 12.3 gr για το σύστημα C.

Η ημερήσια ποσότητα τροφής που χορηγούνταν στις τιλάπιες υπολογίστηκε από τον τύπο:

$$F=MB \times E.\Delta\% \times \text{Αριθ.Ατομ.}$$

Όπου , **F**: τροφή (g)

**MB**: μέσο βάρος (g)

**E.Δ**: επίπεδο διατροφής (%)

**Αριθ. Ατ.**: αριθμός ατόμων



**Εικόνα 8. (a)** Ζύγισμα τροφής και **(b)** τροφή χωρισμένη σε γεύματα (Πηγή: προσωπικό αρχείο)

Η υπολογισθείσα ποσότητα τροφής χορηγούνταν σε δύο γεύματα, με το χέρι, το πρώτο νωρίς το πρωί και το δεύτερο αργά το απόγευμα. Τα γεύματα αυτά είχαν ζυγιστεί προηγουμένως σε ζυγαριά ακριβείας στην αρχή της εβδομάδας και φυλάσσονταν σε πλαστικά αεροστεγώς

δοχεία στους 4°C. Καθημερινά γινόταν σιφωνισμός των κοπράνων και υπολειμμάτων τροφής πριν το πρώτο τάϊσμα των ψαριών για τη διατήρηση της ποιότητας του νερού.

Μετά από δύο εβδομάδες, (15/11/18), τα ψάρια διατηρήθηκαν σε νηστεία για μία ημέρα, με σκοπό να γίνει επανυπολογισμός του σιτηρεσίου της χορηγούμενης τροφής, ανάλογα με την αύξηση της βιομάζας τους. Το επίπεδο διατροφής διατηρήθηκε σταθερό (5%) καθ' όλο το διάστημα της πειραματικής εκτροφής. Η μέτρηση του βάρους των ψαριών γίνονταν με με ζυγό ακριβείας, μετά από αναισθητοποίηση των ψαριών σε λουτρό 2-φαινοξευθανόλης και σε συγκέντρωση 0,25 mL/L, και το μήκος μετρούσαν με ιχθυόμετρο. Με το πέρας της διαδικασίας της αναισθητοποίησης, τα ψάρια τοποθετούνταν σε κουβά 3 L φρέσκο γλυκό νερό για ανάνηψη, με κορεσμό σε οξυγόνο της τάξης του 85

## **2.4 Μετρήσεις μορφομετρικών χαρακτηριστικών ψαριών και φυτών**

### **2.4.1 Μετρήσεις μορφομετρικών χαρακτηριστικών ψαριών**

Η μέτρηση των μορφομετρικών χαρακτηριστικών των ατόμων τιλάπιας που χρησιμοποιήθηκαν στην πειραματική διαδικασία περιλάμβανε μετρήσεις ολικού βάρους (W, g) τα οποία μετρήθηκαν με ζυγό ακριβείας σε ακρίβεια δεύτερου δεκαδικού ψηφίου, ενώ η μέτρηση του ολικού μήκους (L, cm) έλαβε χώρα με τη χρήση ιχθυόμετρου. Οι μετρήσεις του ολικού βάρους και μήκους των ατόμων τιλάπιας γίνονταν κατόπιν αναισθητοποίησής τους, με φαινοξευθανόλη σε πυκνότητα 0,25 mL/L. Συνολικά έγιναν τρεις μετρήσεις στο σύνολο των 65 ημερών διάρκειας της πειραματικής διαδικασίας ( $d_0$ ,  $d_{33}$ ,  $d_{65}$ ).

### **2.4.2 Μετρήσεις μορφομετρικών χαρακτηριστικών φυτών**

Στο μαρούλι μετρήθηκαν το ύψος φυτού και ο αριθμός των βλαστών του. Πιο συγκεκριμένα για το ύψος του φυτού μετρούσαν το υπέργειο τμήμα του φυτού έως το ανώτερο τμήμα του πρώτου φύλλου του μεγαλύτερου βλαστού. Για τη μέτρηση του ύψους του φυτού χρησιμοποιήθηκε χάρακας και έγιναν συνολικά 5 μετρήσεις (Εικ.9). Επίσης, στην αρχή του πειράματος αποξηράθηκαν τρία μαρούλια σε κλίβανο για 48 ώρες στους 100 °C, προκειμένου να υπολογισθεί η βιομάζα του μαρουλιού και η υγρασία.



**Εικόνα 9.** Μέτρηση του ολικού ύψους του φυτού (Πηγή: προσωπικό αρχείο)

## **2.5 Μετρήσεις φυσιολογικών παραμέτρων**

Οι μετρήσεις των αζωτούχων παραμέτρων ( $\text{TAN}$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) γίνονται με ειδικά test χρωματομετρίας (tests kits Api) δύο φορές εβδομαδιαία μετά τη χορήγηση του πρώτου γεύματος. Η μέτρηση της θερμοκρασίας και του pH ηλεκτρονικά καθημερινά με πολύμετρο (HACH HQ 40 D). Επίσης μετρήθηκαν το ολικό άζωτο (TN) και ο ολικός οργανικός άνθρακας (TOC).

### **2.5.1. Μετρήσεις TN και TOC**

Ο συνολικός οργανικός άνθρακας (TOC) και ολικό άζωτο (TN) (Εικ. 10), μετρήθηκαν με έναν αναλυτή Shimadzu TOC (TOC-VCSH) συνδεδεμένο με έναν ανιχνευτή χημειοφωταύγειας (μονάδα TNM-1 TN), δημιουργώντας ένα σύστημα ταυτόχρονης ανάλυσης. Η ανάλυση TOC πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Καταλυτικής Καύσης Υπερύθρων Υψηλής

Θερμοκρασίας (7200C), ενώ η ανάλυση TN πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας τη μέθοδο ανίχνευσης πυρόλυσης-χημειοφωταύγειας (Μπεκιάρη και Αβραμίδης 2013).



Εικόνα 10. Μέτρηση TN και TOC (Πηγή: προσωπικό αρχείο).

### 2.5.2 Προσδιορισμός ολικής αμμωνίας-αζώτου (T.A.N.)

Ο προσδιορισμός της TAN (mg/L) έγινε χρωματομετρικά με test kits (API) (Εικ.11) με τη μέθοδο αντιδραστηρίων φαινόλης αλκοόλης σε οξειδωτικό διάλυμα και σιδηρούχο καταλύτη (Liddicoat *et al.* 1975). Η διαδικασία περιγράφεται ως εξής:

- 5 mL δείγματος προστέθηκαν σε υάλινη κυψελίδα
- προστέθηκαν 8 σταγόνες από το αντιδραστήριο Ammonia #1
- ανάδευση για 5 sec
- προστέθηκαν 8 σταγόνες από το αντιδραστήριο Ammonia #2
- ανάδευση για 5 sec
- αναμονή 5 min μέχρι το διάλυμα χρωματιστεί ανάλογα
- σύγκριση του χρώματος του δείγματος με την κλίμακα μέτρησης της αμμωνίας.



**Εικόνα 11:** Μέτρηση ολικής αμμωνίας (Πηγή: προσωπικό αρχείο)

### 2.5.3 Προσδιορισμός νιτρωδών ιόντων ( $\text{NO}_2^-$ )

Τα νιτρώδη ιόντα ( $\text{NO}_2^-$ ) ( $\text{mg/L}$ ) μετρήθηκαν χρωματομετρικά με test kits (API) (Εικ.12) με τη μέθοδο αντιδραστηρίων φαινόλης αλκοόλης σε οξειδωτικό διάλυμα και σιδηρούχο καταλύτη (Liddicoat *et al.* 1975) σύμφωνα με την μεθοδολογία:

- 5 mL δείγματος προστέθηκαν σε υάλινη κυψελίδα
- προστέθηκαν 5 σταγόνες από το αντιδραστήριο Nitrite
- ανάδευση για 5 sec
- αναμονή 5 min μέχρι το διάλυμα χρωματιστεί ανάλογα
- σύγκριση του χρώματος του δείγματος με την κλίμακα μέτρησης των νιτρωδών.



**Εικόνα 12.** Μέτρηση νιτρωδών και αμμωνίας (Πηγή: προσωπικό αρχείο)

### 2.5.4 Προσδιορισμός νιτρικών ιόντων ( $\text{NO}_3^-$ )

Τα νιτρικά ιόντα ( $\text{NO}_3^-$ ), ( $\text{mg/L}$ ) μετρήθηκαν χρωματομετρικά με test kits (API) (Εικ.13) με τη μέθοδο αντιδραστηρίων φαινόλης αλκοόλης σε οξειδωτικό διάλυμα και σιδηρούχο καταλύτη (Liddicoat *et al.* 1975) σύμφωνα με την παρακάτω διαδικασία:

- 5 mL δείγματος προστέθηκαν σε υάλινη κυψελίδα
- προστέθηκαν 10 σταγόνες από το αντιδραστήριο nitrate #1
- ανάδευση για 5 sec
- προστέθηκαν 10 σταγόνες από το αντιδραστήριο nitrate #2
- ανάδευση για 5 sec

- αναμονή 5 min μέχρι το διάλυμα χρωματιστεί ανάλογα
- σύγκριση του χρώματος του δείγματος με την κλίμακα μέτρησης της αμμωνίας.



**Εικόνα 13:** Μέτρηση Νιτρικών ιόντων (Πηγή: προσωπικό Αρχείο)

## 2.6 Υπολογισμός δεικτών ανάπτυξης και αξιοποίησης της τροφής των ιχθύων

Οι δείκτες ανάπτυξης του ψαριού καθώς και οι παράμετροι αξιοποίησης της τροφής υπολογίστηκαν σύμφωνα με τις παρακάτω μαθηματικές σχέσεις (Μεντέ και Νέγκας, 2011):

### **Ημερήσια ποσότητα τροφής:**

$(F, g) = M.B (gr) (\text{Αριθμός ψαριών } W(gr)) * \text{επίπεδο διατροφής } (\%)$

### **Αύξηση σωματικού βάρους (WG):**

$(WG, g) = \text{Μέσο τελικό βάρος } (W_f) - \text{Μέσο αρχικό βάρος } (W_i)$

### **Ειδικός ρυθμός ανάπτυξης:**

$S.G.R. (\%/ημέρα) = [Ln (W_f) - Ln (W_i)] * 100 / \text{ημέρες σίτισης}$

όπου:  $W_f = \text{τελικό βάρος } (gr)$  και  $W_i = \text{αρχικό βάρος } (gr)$

### **Συντελεστής Ενρωστίας (C.F.):**

$C.F. = (W * L^{-3}) * 100$

### **Επιβίωση (%):**

$S (\%) = (\text{Τελικός αριθμός ψαριών} / \text{αρχικός αριθμός ψαριών}) * 100$

### **Συντελεστής μετατρεψιμότητας τροφής (FCR):**

(FCR) = τροφή που προσφέρθηκε (g) / αύξηση βάρους (g)

**Ημερήσια πρόσληψη τροφής (D.F.I., %/ημέρα):**

D.F.I. (%/ημέρα) =  $100 * [(\text{τροφή που προσφέρθηκε} / \text{αύξηση βάρους}) / \text{ημέρες σίτισης}]$

**Απόδοση τροφής (F.E., %):**

FE (%) =  $100 * [\text{αύξηση βάρους} / \text{τροφή που προσφέρθηκε}]$

**Ποσοστιαία αύξηση βάρους (BWI, %):**

BWI =  $[(\text{τελικό βάρος} - \text{αρχικό βάρος}) / \text{αρχικό βάρος}] * 100$

**Συντελεστής απόδοσης πρωτεΐνης (P.E.R.):**

P.E.R. =  $\text{Αύξηση βάρους (g)} / \text{πρωτεΐνης που προσφέρθηκε στην τροφή (g)}$ .

## 2.7 Δείκτες ανάπτυξης φυτών

Ο ρυθμός ανάπτυξης των φυτών υπολογίστηκε σύμφωνα με τη μαθηματική σχέση που περιγράφεται από τους Endut et al. (2010):

Αύξηση ύψους φυτού (cm/d) =  $\text{ύψος φυτού} / \text{ημέρα}$

Διαφορά ύψους (dh) (cm) =  $\text{Τελικό ύψος} - \text{Αρχικό ύψος}$

$h/t$  =  $\text{Τελικό ύψος} / \text{ημέρες}$

$G\%$  =  $\text{Τελικό ύψος} - \text{Αρχικό ύψος} * 100 / \text{ημέρες}$

$RGR$  =  $(\ln NBb - \ln NBa) * 100 / \text{ημέρες πειράματος}$ , όπου  $\ln NBb$ ,  $\ln NBa$  = νεπέριος λογάριθμος αρχικού και τελικού νωπού βάρους

## 2.8 Στατιστική Επεξεργασία

Τα δεδομένα που προέκυψαν από την πειραματική διαδικασία (ποιότητα νερού και ανάπτυξη τιλάπιας και μαρουλιού) επεξεργάστηκαν στατιστικά χρησιμοποιώντας την ανάλυση διακύμανσης μονής κατ'εύθυνσης (one way ANOVA) με επίπεδο σημαντικότητας 5% και κάνοντας χρήση του Tukey test προκειμένου να συγκριθούν οι διαφορές ανάμεσα στους μέσους όρους όταν η ANOVA έδειχνε σημαντική επίδραση. Η ομοιογένεια και η παραλλακτικότητα των μέσων όρων ελέγχθηκε σύμφωνα με Levene's test. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ως  $MO \pm SEM$ . Οι μέσοι όροι που φέρουν διαφορετικά γράμματα διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους (Zar 1999).



### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

#### 3.1 Ποιότητα νερού

Ο Πίνακας 2 παρουσιάζει τις συγκεντρώσεις των ανόργανων θρεπτικών συστατικών και κυρίως της ολικής αμμωνίας (TAN), των νιτρικών ( $\text{NO}_3^-$ ), των νιτρωδών ιόντων ( $\text{NO}_2^-$ ) και του pH για όλες τις ημέρες που διήρκησε η πειραματική εκτροφή.

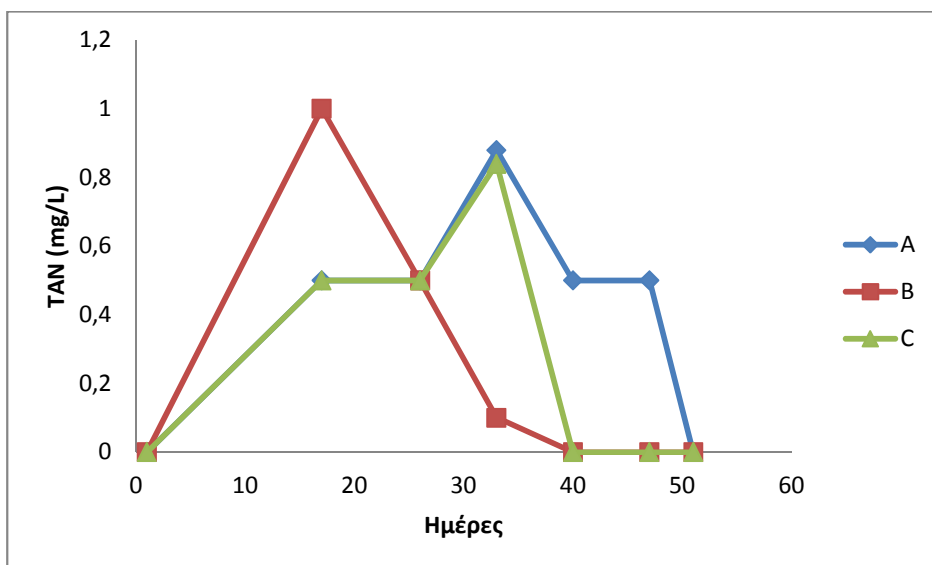
**Πίνακας 2.** Ποιότητα νερού στα συστήματα ενυδρειοπονίας εκτροφής τιλάπιας και καλλιέργειας μαρουλιού στο γλυκό νερό. Τα δεδομένα εκφράζονται ως  $\text{MO} \pm \text{S.E.M}$ . Οι μέσοι όροι μεταξύ των μεταχειρίσεων που φέρουν τον ίδιο εκθέτη δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ( $p > 0,05$ ) ( $n=96$ ).

	<b>SA</b>	<b>SB</b>	<b>SC</b>
<b>TAN (mg/L)</b>	0.41± 0.1	0.23± 0.1	0.26± 0.1
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (mg/L)</b>	1.54± 0.6	1.96± 0.8	2.25± 0.9
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/L)</b>	67.9±11.8	45.4±10.5	69.6±17.0
<b>pH</b>	7.8±0.1	8.1±0.2	7.8±0.1

Οι τιμές παρουσιάζονται ως  $\text{MO} \pm \text{SEM}$  ( $n=12$ ). Οι μέσοι όροι κάθε παραμέτρου μεταξύ των μεταχειρίσεων που φέρουν τον ίδιο εκθέτη δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ( $p>0.05$ ).

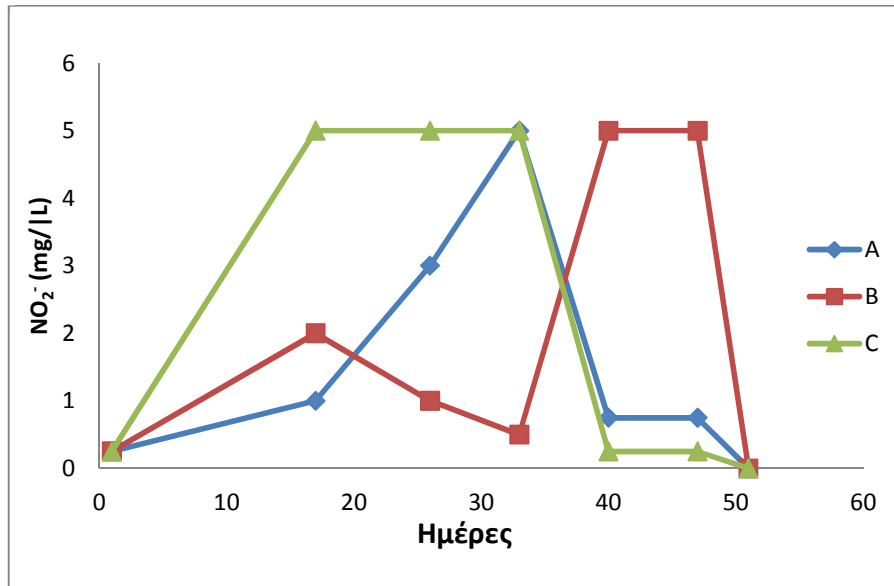
Η Εικόνα 15 παρουσιάζει τις μεταβολές της ολικής αμμωνίας (TAN), η οποία παρουσιάζει αυξομειώσεις καθ' όλη την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας με την μέση τιμή να κυμαίνεται 0,41 ± 0,29 mg/L για το ενυδρειοπονικό σύστημα SA, 0,22 ± 0,35 mg/L για το σύστημα SB και 0,26 ± 0,32 mg/L για το SC. Η TAN ελαχιστοποιείται την 25<sup>η</sup> με 30<sup>η</sup> ημέρα στο SA και SB αντίστοιχα σε τιμές μικρότερες από 0,05 (mg/L) (Εικ. 14).





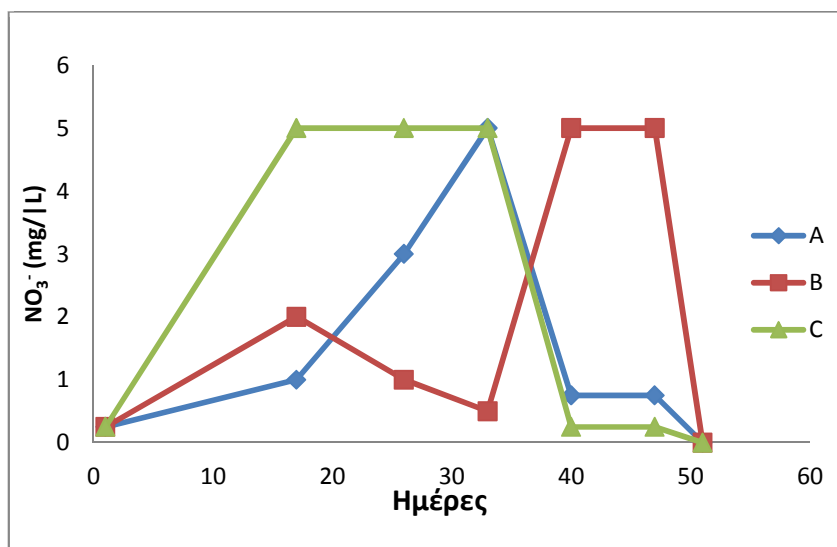
**Εικόνα 14.** Μεταβολή ολικής αμμωνίας (TAN) ανά ενυδρειοπονικό σύστημα κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας

Τα  $\text{NO}_2^-$  διακυμάνθηκαν από  $1.5 \pm 0,05 \text{ mg/L}$  για το σύστημα SA,  $1.9 \pm 0,04 \text{ mg/L}$  για το σύστημα SB και  $2.25 \pm 0,06 \text{ mg/L}$  για το σύστημα SC. Από την εκκίνηση της πειραματικής διαδικασίας έως και την 30<sup>η</sup> ημέρα του πειράματος τα νιτρώδη ιόντα εμφάνισαν μια τάση ομαλών αυξομειώσεων μέχρι να φθάσουν τη μέγιστη συγκέντρωσή τους (35<sup>η</sup>) για τα ενυδρειοπονικά συστήματα SA και SC στη συνέχεια και μέχρι τη λήξη του πειράματος ακολούθησαν μια τάση μείωσης λαμβάνοντας τις ελάχιστες συγκεντρώσεις  $<0,2 \text{ mg/L}$  (Εικ. 15).



**Εικόνα 15.** Μεταβολή νιτρωδών ιόντων (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) για κάθε ενυδρειοπονικό σύστημα για όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας.

Τα NO<sub>3</sub><sup>-</sup> διακυμάνθηκαν και για τις τρεις μεταχειρίσεις από  $67.9 \pm 12.5$  mg/L,  $45.4 \pm 8.67$  mg/L, για τα ενυδρειοπονικά συστήματα SA και SB, αντίστοιχα. Αντίθετα στο σύστημα SC η μέση συγκέντρωση των NO<sub>3</sub><sup>-</sup> κυμάνθηκε στο  $69.6 \pm 15,81$  mg/L (Πιν.2). Παρατηρήθηκαν αυξομειώσεις από τις πρώτες ημέρες του πειράματος σε όλες τις μεταχειρίσεις, ενώ από την 39<sup>η</sup> ημέρα μέχρι την ολοκλήρωση της πειραματικής διαδικασίας παρατηρείται μια σταθεροποίηση της τιμής τους για τα συστήματα SB και SA μια τάση μείωσης για το σύστημα SC (Εικ. 16).



**Εικόνα 16.** Μεταβολή νιτρικών ιόντων ( $\text{NO}_3^-$ ) για κάθε ενυδρειοπονικό σύστημα για διάστημα 65 ημερών.

### 3.2 Δείκτες ανάπτυξης ψαριών

#### 3.2.1 Βάρος και μήκος σώματος και επιβίωση

Το αρχικό μέσο βάρος των τιλαπιών στην αρχή της πειραματικής διαδικασίας δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντικές στατιστικές διαφορές μεταξύ των ενυδρειοπονικών συστημάτων (ANOVA,  $p > 0.05$ ). Το τελικό μέσο βάρος των ψαριών μεταξύ των μεταχειρίσεων διακυμάνθηκε από  $45.29 \pm 4.22$  gr για το σύστημα A,  $54.33 \pm 3.52$  gr για το B σύστημα και  $49.8 \pm 4.05$  gr για το σύστημα Γ, χωρίς να παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές στατιστικές διαφορές (ANOVA,  $p > 0.05$ ) (Πιν.3).

Το μέσο αρχικό μήκος των τιλαπιών ήταν  $11,2 \pm 1,22$  cm για τα συστήματα SA και SB αντίστοιχα και  $10.9 \pm 0.77$  cm για το SB.

**Πίνακας 3.** Αρχικό βάρος (Win, g), τελικό βάρος (Wfin, g), τελικό μήκος (Lfin, cm), αύξηση βάρους (WG,g), ειδικός αυξητικός ρυθμός (SGR), αρχικός συντελεστής ευρωστίας (CF<sub>in</sub>), τελικός συντελεστής ευρωστίας (CF<sub>fin</sub>), στο σύστημα ενυδρείοπονίας με τιλάπια και μαρούλι. Οι τιμές παρουσιάζονται ως MO ± SEM.

	<b>SA</b>	<b>SB</b>	<b>SC</b>
<b>Αρχικό βάρος (Win, g)</b>	24.47±2.4 <sup>a</sup>	23.31±1.3 <sup>a</sup>	24.55±2.2 <sup>a</sup>
<b>Τελικό βάρος (Wfin, g)</b>	45.29±4.2 <sup>a</sup>	54.34±3.5 <sup>a</sup>	49.87±4.0 <sup>a</sup>
<b>Αύξηση βάρους (WG,g)</b>	20.8±4.1 <sup>a</sup>	31.0±3.3 <sup>a</sup>	25.3±4.3 <sup>a</sup>
<b>Ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (SGR, % / day)</b>	1.03±0.1 <sup>a</sup>	1.39±0.1 <sup>a</sup>	1.19±0.6 <sup>a</sup>
<b>Επιβίωση (%)</b>	100	100	100
<b>Αρχικός συντελεστής ευρωστίας (CF<sub>in</sub>)</b>	1.73±0.08 <sup>a</sup>	1.79±0.06 <sup>a</sup>	1.71±0.05 <sup>a</sup>
<b>Τελικός συντελεστής ευρωστίας (CF)</b>	1.84±0.03 <sup>a</sup>	1.87±0.03 <sup>a</sup>	1.94±0.06 <sup>a</sup>
<b>Αρχικό μήκος (Lin, cm)</b>	11.2 ± 1.2 <sup>a</sup>	10.9 ± 0.7 <sup>a</sup>	11.2 ± 1.1 <sup>a</sup>
<b>Τελικό μήκος (Lfin, cm)</b>	13.4±0.4 <sup>a</sup>	14.2±0.3 <sup>a</sup>	13.6±0.4 <sup>a</sup>

Οι τιμές παρουσιάζονται ως MO ± SEM (n=30). Οι μέσοι όροι κάθε παραμέτρου μεταξύ των μεταχειρίσεων που φέρουν τον ίδιο εκθέτη δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (p>0.05).

Το μέσο τελικό μήκος δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA, p>0.05). Η μεγαλύτερη αριθμητική τιμή εμφανίστηκε στο SB (14.2 ± 0.38 cm), σε αντίθεση με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις οι οποίες ήταν 13,4±0,45 cm και 13,63±0,42 cm για το SA και SCt, αντίστοιχα (Πιν.3). Η επιβίωση διατηρήθηκε σε υψηλά επίπεδα σε όλα τα ενυδρείοπονικά συστήματα και ήταν 100%.

### **3.2.2 Αύξηση του βάρους (WG), συντελεστής ευρωστίας (CF) και ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (SGR % / ημέρα).**

Στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας η αύξηση βάρους (WG), ο ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (SGR) δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων (ANOVA, p>0.05) (Πιν.3). Ο μεγαλύτερος αριθμητικά ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (SGR) παρατηρήθηκε στο SB (1,39±0.13 %/d) σε σχέση με το ρυθμό ανάπτυξης στα SA (1,03±0.18

%/d) και SC ( $1,19 \pm 0,61$  %/d). Ο αρχικός συντελεστής ευρωστίας ( $C_{in}$ ) παρουσίασε στατιστικά παρόμοια τιμή (ANOVA,  $p > 0,05$ ) στα συστήματα ενυδρείοπονίας SA, SB και SC και ήταν  $1,73 \pm 0,08$ ,  $1,79 \pm 0,06$  και  $1,71 \pm 0,05$ , αντίστοιχα. Ο τελικός συντελεστής ευρωστίας ( $CF_{fin}$ ) δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντική διαφορά (ANOVA,  $p > 0,05$ ). Οι μεγαλύτερες τιμές παρατηρήθηκαν στο σύστημα SC σε σύγκριση με τα συστήματα SA ( $1,84 \pm 0,03$ ) και SB ( $1,87 \pm 0,03$ ) (Πίν.3).

### 3.3 Δείκτες αξιοποίησης της τροφής

**3.3.1 Συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR), συντελεστής ημερήσιας πρόσληψης τροφής (DFI), αποτελεσματικότητα της τροφής (FE) και αποτελεσματικότητα της πρωτεΐνης (PER).**

Ο συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR) μεταξύ των τιλαπιών που εκτράφηκαν στο ενυδρείοπονικό σύστημα SA, SB, SC ήταν στατιστικά παρόμοιος (ANOVA,  $P > 0,05$ ). Η μέση τιμή του συντελεστή μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR) ήταν  $0,64 \pm 0,14$ , στο SA,  $0,69 \pm 0,15$  και  $1,06 \pm 0,15$  αντίστοιχα στο SB και SC. (Πίν.4). Ο συντελεστής ημερήσιας πρόσληψης τροφής (DFI) στο τέλος του πειράματος παρουσίασε στατιστικά παρόμοια τιμή και στις τρεις μεταχειρίσεις (ANOVA,  $p > 0,05$ ) (Πίν.4). Ο συντελεστής αποτελεσματικότητας της τροφής (FE) παρουσίασε στατιστικά μεγαλύτερη τιμή στο σύστημα ενυδρείοπονίας SC όπου χορηγούνταν τροφή 5% του ζώντος βάρους ιχθύος σε σχέση με τα συστήματα SA και SB (ANOVA,  $p < 0,05$ ), (Πίν. 4). Επίσης, ο συντελεστής PER παρουσίασε αριθμητικά την μεγαλύτερη τιμή στο SA ( $3,8 \pm 0,68$ ) (Πίν.4).

**Πίνακας 4.** Συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR), συντελεστής ημερήσιας πρόσληψης τροφής (DFI) και συντελεστής αποτελεσματικότητας της τροφής (FE) και πρωτεΐνης (PER). Οι τιμές παρουσιάζονται ως MO ± EM (n=30).

	<b>SA</b>	<b>SB</b>	<b>SC</b>
<b>Συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR)</b>	0.64±0.15 <sup>a</sup>	0.69±0.15 <sup>a</sup>	1.06±0.16 <sup>a</sup>
<b>Ημερήσια πρόσληψη της τροφής (DFI) (%/day)</b>	1.39±0.33 <sup>a</sup>	1.55±0.34 <sup>a</sup>	2.3540±0.34 <sup>a</sup>
<b>Αποτελεσματικότητα τροφής (FE)</b>	3.76±0.77 <sup>a</sup>	2.56±0.31 <sup>a</sup>	1.89±0.26 <sup>a</sup>
<b>Συντελεστής απόδοσης πρωτεΐνης (PER)</b>	3.81±0.69 <sup>a</sup>	3.26±0.35 <sup>a</sup>	2.15±0.37 <sup>b</sup>

Οι μέσοι όροι κάθε παραμέτρου μεταξύ των μεταχειρίσεων που φέρουν τον ίδιο εκθέτη δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (p>0.05).

### 3.4. Δείκτες ανάπτυξη μαρουλιού

Ο Πίνακας 5 παρουσιάζει τις παραμέτρους ανάπτυξης του μαρουλιού για όλο το διάστημα εκτροφής (45 ημέρες) και στις τρεις μεταχειρίσεις.

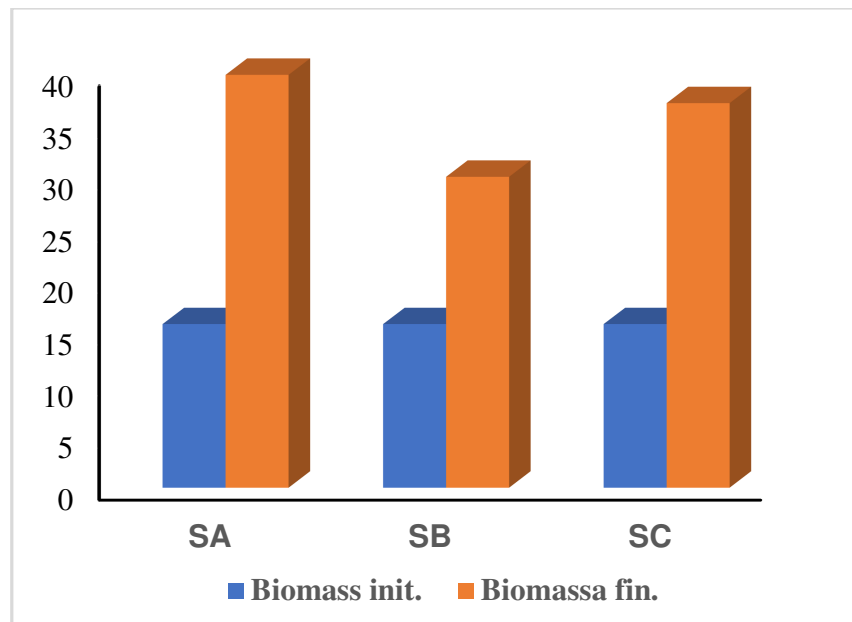
Στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας (45 ημέρες), το μαρούλι παρουσιάζει στατιστικά παρόμοια ανάπτυξη [τελικό ύψος (H<sub>fin</sub>), αύξηση ύψους (dH), ποσοστιαία αύξηση (% G), ημερήσια αύξηση ύψους (H/t) και σχετική αύξηση (RGB)], (ANOVA, p>0.05).

**Πίνακας 5.** Παράμετροι ανάπτυξης του μαρουλιού στο σύστημα ενυδρειοπονίας με γλυκό νερό για όλο το διάστημα της πειραματικής διαδικασίας των 45 ημερών.

	SA	SB	SC
Αρχικό ύψος φυτού ( $H_{in}, cm$ )	9.4±0.25 <sup>a</sup>	9.0±0.32 <sup>a</sup>	9.0±0.42 <sup>a</sup>
Τελικό ύψος φυτού ( $H_{fin} cm$ )	23.1±0.56 <sup>a</sup>	21.8±0.26 <sup>a</sup>	21.7±0.60 <sup>a</sup>
Αύξηση μήκους φυτών (dH, cm)	13.7±0.62 <sup>a</sup>	12.8±0.34 <sup>a</sup>	12.7±0.89 <sup>a</sup>
Αρχική Βιομάζα (gr)	15.8±0.09 <sup>a</sup>	15.8±0.09 <sup>a</sup>	15.8±0.09 <sup>a</sup>
Τελική Βιομάζα (gr)	39.89±0.57 <sup>a</sup>	30.03±0.69 <sup>b</sup>	37.18±0.70 <sup>a</sup>
Ποσοστιαία Αύξηση (G, %)	30.45±1.39 <sup>a</sup>	28.45±0.75 <sup>a</sup>	28.22±1.97 <sup>a</sup>
Σχετική Αύξηση φυτών (RGB) (%/ημέρα)	2.6±0.25 <sup>a</sup>	2.9±0.39 <sup>a</sup>	3.3±0.36 <sup>a</sup>
Αύξηση φυτού /ημέρα (dH/t, cm)	0.51±0.13 <sup>a</sup>	0.49±0.01 <sup>a</sup>	0.48±0.14 <sup>a</sup>

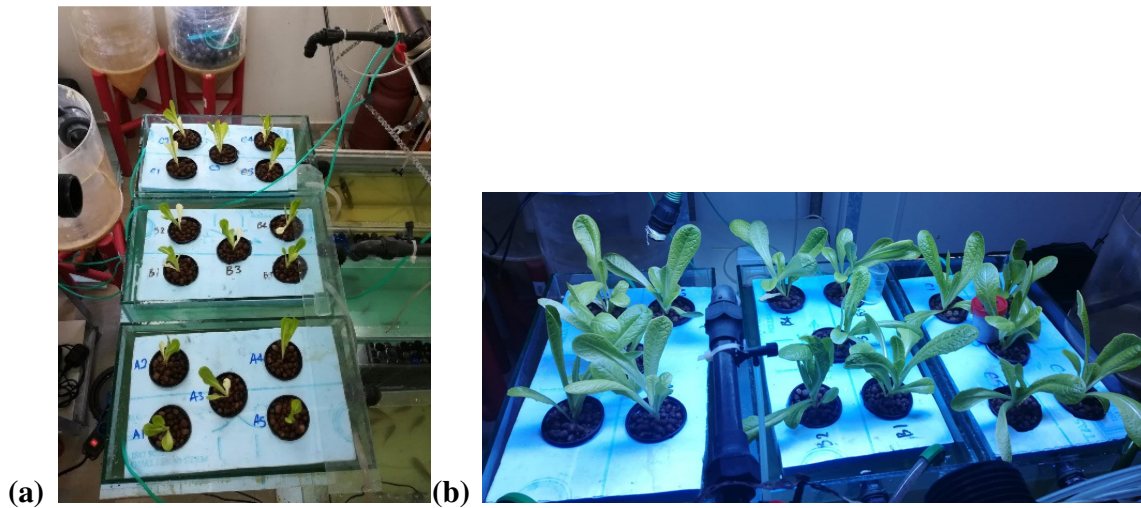
Οι τιμές παρουσιάζονται ως MO ± SEM (n=15). Οι μέσοι όροι κάθε παραμέτρου μεταξύ των μεταχειρίσεων που φέρουν τον ίδιο εκθέτη δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (p>0.05).

Η αρχική βιομάζα των μαρουλιών στο κάθε σύστημα ήταν 15.79 ±0,09 gr. Η βιομάζα των μαρουλιών με το πέρας της πειραματικής διαδικασίας (45 ημέρες) διακυμάνθηκε 39.89 ±1,34 gr 30.03±2,55 gr και 37.18±2,16 gr αντίστοιχα για τα συστήματα SA, SB και SC (Εικ.17).



**Εικόνα 17.** Διακύμανση της βιομάζας του μαρουλιού στην αρχή και τέλος της πειραματικής διαδικασίας.

Ο αρχικός αριθμός αναπτυσσόμενων κλάδων των μαρουλιών ήταν  $23 \pm 0.48$ ,  $27 \pm 0.48$   $28 \pm 0.8$ , αντίστοιχα για τα συστήματα SA, SB και SC. Ο τελικός αριθμός αναπτυσσόμενων κλάδων των  $46 \pm 1.6$ ,  $46 \pm 2.63$  και  $52 \pm 1.49$ , αντίστοιχα για το SA, SB και SC (Εικ.18).



**Εικόνα 18.**(a) Μαρούλι στην έναρξη της πειραματικής διαδικασίας, ; (b) Αύξηση μαρουλιού στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας για τις τρεις μεταχειρίσεις (από αριστερά SA:2%, SB:4%, SC :5% (Πηγή: προσωπικό αρχείο).



## 4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Ο τομέας της ενυδρειοπονίας είναι αναπτυσσόμενος κλάδος παραγωγής τροφίμων, όπου μέσα από μια σύγχρονη μεθοδολογία συγκαλλιέργειας συνδυάζεται η εκτροφή ψαριών και η καλλιέργεια φυτών σε ικανοποιητικό βαθμό.

### 4.1 Ποιότητα νερού

Οι φυσικοχημικοί παράμετροι του νερού, διατηρήθηκαν σταθεροί καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας. Στο παρόν πείραμα η θερμοκρασία του νερού ήταν στους 25°C, και ήταν εντός του εύρους που αναφέρουν οι Pinho *et al.* (2017) για την ανάπτυξη του μαρουλιού (14-27°C) και οι Colt (2006) και Rakocy (2006) για την ανάπτυξη της τιλάπιας (24-30° C). Το pH στο παρόν πείραμα κυμάνθηκε από 7,4 έως 8.4 και ήταν μεγαλύτερο σε σχέση με το pH που αναφέρουν οι Pinho *et al.* (2017) και Effendi *et al.* (2017) και ήταν 7,3 και 6.51, αντίστοιχα.

Τα NO<sub>3</sub><sup>-</sup> στο παρόν πείραμα κυμαίνονταν από 0 μέχρι 100 mg/L, με μέση τιμή 55.24 ± 9.4. Τα NO<sub>2</sub><sup>-</sup> κυμαίνονταν από 0 μέχρι 5 mg/L και η TAN κυμαίνονταν από 0 μέχρι 0.88 mg/L, και ήταν εντός των ασαλών ορίων που προτείνονται από τον Somerville *et al.* (2014) για την εκτροφή και ανάπτυξη της τιλάπιας και του μαρουλιού.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσης εργασίας οι μέσες συγκεντρώσεις των νιτρικών, των νιτρωδών και της αμμωνίας ήταν κατά πολύ αυξημένες σε σχέση με εκείνες που αναφέρονται στα πειράματα των Effendi *et al.* (2017) και Pinho *et al.* (2017) και ήταν αντίστοιχα 1.12 mg/L, 0,5 mg/L και 0,1 mg/L. Παρόμοια τάση εμφανίζουν και τα νιτρώδη ιόντα τα οποία ήταν μικρότερα.

### 4.2 Ανάπτυξη ψαριών

Τα αποτελέσματα του παρόντος πειράματος έδειξαν ότι οι τιλάπιες με αρχικό μέσο βάρος 24.5 gr και αρχική βιομάζα 208.16 g, αναπτύχθηκαν ικανοποιητικά (αύξηση βάρους, ειδικός ρυθμός ανάπτυξης, ποσοστιαία αύξηση βάρους) χωρίς να παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές και στις τρεις πειραματικές μεταχειρίσεις. Τα αποτελέσματα του παρόντος πειράματος συμφωνούν με εκείνα των Pinho *et al.* (2017), όπου τιλάπιες με παρόμοιου

μέσου αρχικού βάρους (20 gr) παρουσίασαν παρόμοια αύξηση βιομάζας και ειδικό ρυθμό ανάπτυξης σε διάστημα 21 ημερών.

Οι Liang *et al* (2013) αναφέρουν ότι η εκτροφή τιλάπιας σε ενυδρειοπονικό σύστημα με με σπανάκι χρονικής διάρκειας τεσσάρων εβδομάδων με κυμαινόμενα επίπεδα διατροφής 5-3% παρατηρήθηκε αύξηση βάρους 43,9% καθώς τα ψάρια μεγάλωναν.

Οι Wahyuningsih *et al* (2015) αναφέρουν ότι, σε σύστημα ενυδρειοπονίας με τιλάπια (αρχικό βάρος 20 gr) και μαρούλι, όταν οι τιλάπιες σιτίζονται με 3% του ζώντος βάρους παρουσιάστηκε υψηλή θνησιμότητα (96,6%) και συνολική αύξηση βάρους 28,5%.

Ο συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής στο παρών πείραμα κυμάνθηκε από 0,64 έως 1,06 ήταν μικρότερος από τον συντελεστή μετατρεψιμότητας που παρατηρήθηκε στο πείραμα των Wahyuningsih *et al* (2015), που καλλιέργησαν σε σύστημα ενυδρειοπονίας μαρούλι και τιλάπια.

### 4.3 Ανάπτυξη φυτών

Στο συγκεκριμένο πείραμα το μαρούλι αύξησε την συνολική του βιομάζα ( $19.91 \pm 2.0$  g) και το ύψος του ( $13.1 \pm 6.53$  cm), που ήταν μικρότερη από την αύξηση βιομάζας μαρουλιού που παρατηρήθηκε σε πείραμα των Effendi *et al.* (2017).

Τα αποτελέσματα του παρόντος πειράματος έδειξαν ότι το μαρούλι παρουσίασε μικρότερη αύξηση βιομάζας σε σύγκριση με εκείνα των Effendi *et al.* (2017) όπου μαρούλι παρουσίασε αύξηση βιομάζας ίση με  $40.81 \pm 4.2$  gr. Στο ίδιο πείραμα το μαρούλι παρουσίασε παρόμοια αύξηση ύψους (13.43 cm).

Ο ρυθμός αύξησης του φυτού εξαρτάται από το στάδιο ανάπτυξής του. Πιο συγκεκριμένα οι Buzby & Lin (2014) αναφέρουν ότι σε καλλιέργεια μαρουλιού και νεροκάρδαμου διάρκειας 10 εβδομάδων, τα φυτά αυξάνονταν γρηγορότερα στα πρώτα στάδια ανάπτυξης, παρουσιάζοντας ρυθμό αύξησης 0,1%/d στην αρχή της καλλιέργειας, σε αντίθεση με το στάδιο της συγκομιδής (7 εβδομάδες) όπου ο ρυθμός αύξησης μειώθηκε στο 0,01%/d.

Στο αρχικό στάδιο ανάπτυξής του, το φυτό δεν παρουσιάζει αυξημένη απορροφητική ικανότητα σε νιτρικά ιόντα ενώ καθώς τα φυτά αναπτύσσονται, τα νιτρικά ιόντα μειώνονται. Αυτό υποδηλώνει ότι, όταν το φυτό αρχίζει να αυξάνεται, αυξάνονται οι απαιτήσεις σε θρεπτικά και συνεπώς το φυτό απορροφά περισσότερα νιτρικά ιόντα. Οι Melián (1977) και Effendi *et al.* (2017) αναφέρουν δεν αλλοιώνεται το χρώμα των φύλων του φυτού όταν το φυτό απορροφά τα

θρεπτικά συστατικά, και από παρατήρηση του χρώματος των φύλλων δεν φαινόταν να υπήρχε έλλειψη θρεπτικών.

## **5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Η παρούσα μελέτη πραγματοποιείται για πρώτη φορά σύμφωνα με τους συγγραφείς την λειτουργία ενός συστήματος ενυδραιοπονίας χρησιμοποιώντας την τιλάπια και το μαρούλι ως δυο παραγωγικούς οργανισμούς που παρουσιάζουν ενδιαφέρον από εμπορικής πλευράς.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι είναι εφικτή και βιώσιμη η συγκαλλιέργεια της τιλάπιας και του μαρουλιού δυο ειδών που παρουσιάζουν εμπορικό και οικονομικό ενδιαφέρον. Επίσης σύμφωνα με τα αποτελέσματα το μαρούλι αξιοποιεί σε πολύ καλό βαθμό τα θρεπτικά συστατικά, που προέρχονται από τα μεταβολικά προϊόντα των ιχθύων σε όλες τις πειραματικές μεταχειρίσεις.

Περαιτέρω έρευνα θα πρέπει να διεξαχθεί σε ότι αναφορά τους φυσικοχημικούς παραμέτρους του νερού και τον τρόπο που επιδρούν στην ανάπτυξη και επίβιωση των φυτών και στην αξιοποίηση της τροφής από τα ψάρια με σκοπό την αύξησή τους σε ένα σύστημα ενυδραιοπονίας.

## 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### 6.1. Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

Ako, H., & Baker, A. (2009). Small-Scale Lettuce Production with Hydroponics or Aquaponics. *Sustainable Agriculture, SA-2*.

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

Bekiari, V. and Avramidis, P. Data quality in water analysis: validation of combustion-infrared and combustion-chemiluminescence methods for the simultaneous determination of Total Organic Carbon (TOC) and Total Nitrogen (TN). *Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 2013, 94, 65-76.

Bock, E. (1976). Growth of *Nitrobacter* in the presence of organic matter. II. Chemoorganotrophic growth of *Nitrobacter agilis*. *Arch. Microbiol.* 108, 305–312.

Boxman S., Main K., Nystrom M., Ergas S.J., Trotz M. (2015) Aquaponic System Produces Red Drum, Saltwater Vegetable Species, *Global Aquaculture Advocate*, pp. 58-60.

Buzby M.K., Lin L-S. (2014) Scaling aquaponic systems: Balancing plant uptake with fish output. *Aquacultural Engineering* 63: 39–44.

Colt, John (2006) Water quality requirements for reuse systems. *Aquacultural Engineering*, Vol. 34, Issue 3, Pages 143-156.

Diver, S. (2006). *Aquaponics-Integration of Hydroponics with Aquaculture*.

Ebeling, J.M., Timmons, M.B., Bisogni, J.J. (2006). Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammoni-nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture*, Vol. 257, Issues 1-4, 346-358.

Effendi, H., Wahyuningsih, S. & Wardiatno, Y. (2017). The use of nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultivation wastewater for the production of romaine lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *longifolia*) in water recirculation system. *Appl Water Sci* 7, 3055–3063.

Endut A., Jusoh A., Ali N., Wan-Nik W., Hassan A., (2010). A study on the optimal hydraulic loading rate and plant ratios in recirculation aquaponic system. *Bioresour. Technol.* 101: 1511-1517.

Endut A., Jusoh A., Ali N., Wan Nik W.B. (2011). Nutrient removal from aquaculture wastewater by vegetable production in aquaponics recirculation system, *Desalination and Water Treatment*, vol. 32, 422-430.

Fang, H. Y., Chou, M. S., & Huang, C. W. (1993). Nitrification of ammonia-nitrogen in refinery wastewater. *Water Research*, 27(12), 1761–1765.

Fryer, G., & Iles, T. D. (1972). *The cichlid fishes of the great lakes of Africa: their biology and evolution*,. Oliver and Boyd.

Gerardi, M. H. (2002) *Nitrification and Denitrification in the Activated Sludge Process*.

Heinen, J. M. (1998). Light Control for Fish Tanks. In *The Progressive Fish-Culturist*, Vol. 60.

Huang, C. M., Chang, S. L., Cheng, H. J., & Liao, I. C. (1988). Single gene inheritance of red body coloration in Taiwanese red tilapia. *Aquaculture*, 74, 227–232.

Khater E.G., Bahnasawy A.H., Shams A.E.S., Hassaan M.S., Hassan Y.A. (2015). Utilization of effluent fish farms in tomato cultivation, *Ecological Engineering*, vol. 83, 199-207.37.

Liang J-Y., Chien Y-H. (2013). Effects of feeding frequency and photoperiod on water quality and crop production in a tilapia-water spinach raft aquaponics system. *International Biodeterioration & Biodegradation* 85: 693-700.

Liao, I., & Chen, T. (1983). Status and prospects of tilapia culture in Taiwan. *Proceedings of the International Symposium on Tilapia in Aquaculture*, 588–598.

Liddicoat, M. I., Tibhitts, Susan, Butler, E. I. ( 1975). The determination of ammonia in seawater, *Limnology and Oceanography*, 1.

Melián, G.P., Escalona, A.L. & Steiner, A.A. (1977). Leaf analysis as a diagnosis of nutritional deficiency or excess in the soilless culture of lettuce. *Plant Soil* 48, 259–267.

Pantanella E., Colla G. (2013). Saline aquapoinics opportunities for integraed marine aquaculture. International aquaponic conference: Aquaponics and global food security, University of Wisconsin-Stevens Point, 19-21.

Panuvatvanich, A., Koottatepa, T., Kone, D. (2009). Influence of sand layer depth and percolate impounding regime on nitrogen transformation in vertical-flow constructed wetlands treating faecal sludge. Vol. 43, Issue 10, 2623-2630.

Pinho, Sara & Molinari, Diego & Mello, Giovanni & Fitzsimmons, Kevin & Emerenciano, Maurício. (2017). Effluent from a biofloc technology (BFT) tilapia culture on the aquaponics production of different lettuce varieties. *Ecological Engineering*. 103.

Rakocy, J. E., Masser, M. P., & Losordo, T. M. (2006). *Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Aquaponics—Integrating Fish and Plant Culture*, Southern Regional Aquaculture Center, vol. 454, 1-16.

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.

Sriwongpuk, S. (2019). The effects of a 17 $\alpha$ -Methyltestosterone on sex reversal of Red Tilapia (*Oreochromis niloticus* x *Oreochromis Mossambicus* in the free-swimming stage. *International Journal of GEOMATE*, Vol.16, Issue 56, 39 - 45.

Stathopoulou, P.; Berillis, P., Levizou, E., Sakellariou-Makrantonaki, M., Kormas, A.K., Angelaki, A., Kapsis, P., Vlahos, N., and Mente E. (2018). Basil and Nile tilapia Production in a Small Scale Aquaponic System. *Journal of Fisheries Sciences.com*, 12(4), 001-003. E-ISSN 1307-234X.

Sweat, M., Tyson, R., & Hochmuth, R. (2004). *Building a Floating Hydroponic Garden*.

Timmons, M.B., Ebeling, J.M., Wheaton, F.W., Summerfelt, S.T., Vinci, B.J. (2002). *Recirculating Aquaculture Systems* (2nd Edition), Cayuga Aqua Ventures, New York 769.

Tyson R.C., Treadwell D.D., Simonne E.H. (2011). *Opportunities and Challenges to Sustainability in Aquaponic Systems*. *Hor Technology*, vol.21, 6-13.

Vlahos N., Levizou E., Stathopoulou P., Berillis P., Antonopoulou E., Bekiari V., Krigas N., Kormas K., and Mente E. (2019). An Experimental Brackish Aquaponic System Using Juvenile Gilthead Sea Bream (*Sparus aurata*) and Rock Samphire (*Crithmum maritimum*). *Sustainability* 11(18).

Van Patten, G. F. (2004). *Hydroponic Basics*.

Wahyuningsih S., Effendi H., Wardiatno Y. (2015). Nitrogen removal of aquaculture wastewater in aquaponic recirculation system, *International Journal of the Bioflux Society*, AAAL Bioflux 8(4):491-499.

Zar J.H. (1996). *Biostatistical analysis*, 3<sup>rd</sup> edition. Prentice-Hall, Englewood Cliffs N.J 3:167-186.

## **6.2 Ελληνόγλωσση Βιβλιογραφία**

Μεντέ, Ε. και Νέγκας, Ι. (2011). *Στοιχεία φυσιολογίας θρέψεως και εφαρμοσμένη διατροφή ιχθύων και καρκινοειδών*. Εκδόσεις Παπαζηση, 2, 73-107.