

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

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**«Καλλιέργεια φυτών και εκτροφή ψαριών σε ένα σύστημα  
ενυδραιοπονίας»**

**Παρασκευή Σταθοπούλου**

**ΒΟΛΟΣ 2017**

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

**POSTGRADUATE MASTER'S THESIS**

**« Aquaponic system: the combination of fish culture and hydroponic  
cultivation of plants »**

**Paraskevi Stathopoulou**

**VOLOS 2017**

**«Καλλιέργεια φυτών και εκτροφή ψαριών σε ένα σύστημα ενυδραιοπονίας»**

**Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:**

**1) Κωνσταντίνος Κορμάς**, Καθηγητής, Οικολογία Υδρόβιων Μικροοργανισμών, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Επιβλέπων.

**2) Έλενα Μεντέ**, Καθηγήτρια, Φυσιολογία Θρέψης Υδρόβιων Ζωϊκών Οργανισμών, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Μέλος.

**3) Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μαρία**, Καθηγήτρια, Αρδεύσεις – Στραγγίσεις – Υδραυλική, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Μέλος.

*Σε όσους βοήθησαν..*

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στο να φέρω σε πέρας την παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επιβλέποντα της εργασίας αυτής, κ. Κωνσταντίνο Κορμά για την πολύτιμη βοήθειά του και τη διαρκή υποστήριξή του, τόσο κατά τη διεξαγωγή του πειράματος, όσο και κατά τη συγγραφή της παρούσας εργασίας, καθώς και τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής μου, την κ. Έλενα Μεντέ, και την κ. Μαρία Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη για τις χρήσιμες συμβουλές τους και την καθοδήγησή τους καθ' όλα τα στάδια διεκπεραίωσης της εργασίας.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Παναγιώτη Καμή, τον κ. Στέλιο Βούλγαρη και κ. Βαγγέλη Γείτονα για την άμεση και ανιδιοτελή βοήθειά τους και για την προμήθεια των ψαριών και του εργαστηριακού υλικού. Επίσης, ευχαριστώ θερμά τους Πιέρ Ψωφάκη, Κλείτο Αλεξάνδρου, Κατερίνα Χαριτωνίδου, Γιάννη Γαλάνη, Κλέαρχο Σιαπάτη για την αμέριστη συμπαράστασή τους καθώς και τους κ. Νικόλαο Βλάχο, κ. Παναγιώτη Βερίλλη και κ. Νατάσα Αγγελάκη για προμήθεια εργαστηριακού υλικού, τις χρήσιμες και εποικοδομητικές συμβουλές που μου παρείχανε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της πειραματικής διαδικασίας και της συγγραφής της εργασίας.

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

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή κατασκευάστηκαν δύο συστήματα ενυδρειοπονίας εργαστηριακής κλίμακας με σκοπό την εκτροφή τιλάπιας του είδους *Oreochromis niloticus* και τη καλλιέργεια πλατύφυλλου βασιλικού του είδους *Ocimum basilicum*, για χρονικό διάστημα 55 ημερών, με σκοπό να μελετηθούν τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά που είναι υπεύθυνα για την ανάπτυξη των ψαριών και φυτών καθώς και οι αλληλεπιδράσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού σε σχέση με την ανάπτυξη των ψαριών, των φυτών και των νιτροποιητικών βακτηρίων.

Κάθε σύστημα είχε συνολικό όγκο νερού 720 L, με παροχή νερού 6900 cm<sup>3</sup>/min και παροχή αέρα 2 L/min. Αποτελούνταν από ένα μηχανικό και ένα βιολογικό φίλτρο με ταχύτητα φιλτραρίσματος 1,12 cm/min και οξειδωτικής ικανότητας 8,14 mg/L O<sub>2</sub>. Στα δύο συστήματα ενυδρειοπονίας εκτράφηκαν συνολικά 34 ψάρια αρχικού βάρους 50 g τα οποία κατά τη διάρκεια του πειράματος χωρίστηκαν σε 15 και 19 άτομα σε κάθε σύστημα. Επίσης καλλιεργήθηκαν με την υδροπονική μέθοδο επίπλευσης 9 βασιλικοί σε περιοχή 0,7 m<sup>2</sup> ανά σύστημα. Οι τιλάπιες σιτίζονταν με εμπορική τροφή 50% πρωτεϊνικής σύστασης και 2 mm κοκκομετρικής σύστασης δύο φορές ημερησίως με προσφερόμενο επίπεδο διατροφής 2,3% του σωματικού βάρους τους. Καθημερινά πραγματοποιούνταν καθαρισμός του μηχανικού φίλτρου και μετρούνταν οι φυσικοχημικοί παράμετροι του νερού.

Η επιβίωση των ψαριών και στα δύο συστήματα ενυδρειοπονίας ήταν 100%. Η αύξηση βάρους της τιλάπιας του συστήματος I ήταν υψηλότερη (95,8±52,75 g) από αυτή του συστήματος II, (51,7±43,17 g) εμφανίζοντας σημαντικές στατιστικά διαφορές (t-test, p<0,05). Ο ημερήσιος ρυθμός ανάπτυξης (SGR%/ημέρα) ήταν υψηλότερος (1,8±0,67) για τα ψάρια του συστήματος I σε σχέση με τα ψάρια του συστήματος II, (1,2±0,72) χωρίς όμως να

εμφανίζουν σημαντικές στατιστικές διαφορές (t-test,  $p>0,05$ ). Ο συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR) βρέθηκε μεγαλύτερος με τιμή 1,1 για τα ψάρια του συστήματος II συγκριτικά με αυτόν του συστήματος I που ήταν 0,7.

Και στα δύο συστήματα δεν υπήρξε θνησιμότητα φυτών βασιλικού. Η συνολικά παραγόμενη βιομάζα ήταν μεγαλύτερη στο σύστημα I ( $147,1\pm 84,45\text{g}$ ) συγκριτικά με τη παραχθείσα του συστήματος II ( $131,1\pm 50,23\text{ g}$ ). Οι βασιλικοί του συστήματος I παρουσίασαν μεγαλύτερη ποσοστιαία αύξηση ( $45,7\pm 37,25$ ) και υψηλότερο ρυθμό αύξησης ( $0,2\pm 0,17$ ) σε σύγκριση με τους βασιλικούς του συστήματος II ( $38,8\pm 22,37$ ) και ( $0,1\pm 0,08$ ), αντίστοιχα. Παραδόξως, οι βασιλικοί του συστήματος II ανέπτυξαν μεγαλύτερο αριθμό πλάγιων κλάδων ( $9,3\pm 3,24$ ) συγκριτικά με τους βασιλικούς του συστήματος I ( $8,9\pm 4,16$ ) το οποίο μπορεί να οφείλεται σε διαφορετικές συνθήκες μικροκλίματος (θερμοκρασία, υγρασία). Κατά τη διάρκεια του πειράματος πραγματοποιήθηκε περιοδική συμπλήρωση ιχνοστοιχείων σιδήρου, υδροξειδίου του καλίου και ανθρακικού ασβεστίου.

Περαιτέρω έρευνα θα πρέπει να εκπονηθεί στην επιλογή καλλιέργειας διαφόρων ποικιλιών φυτών και εκτροφή διαφόρων ειδών ψαριών σε ένα σύστημα ενυδρείοπονίας, συγκρίνοντας τις αλληλεπιδράσεις αυτών με τελικό σκοπό την ευζωία τους και τη μέγιστη παραγωγή βιοασφαλών τροφίμων.

**Λέξεις κλειδιά:** Ενυδρείοπονία, *Oreochromis niloticus*, *Ocimum basilicum*



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>1</b>
1.1 Ορισμός ενυδραιοπονίας .....	1
1.2 Ιστορική αναδρομή και η διάδοση της ενυδραιοπονίας παγκοσμίως.....	1
1.3 Αρχή λειτουργίας ενυδραιοπονίας - Βιολογικός κύκλος.....	3
1.4 Εκτρεφόμενα είδη ψαριών σε σύστημα ενυδραιοπονίας.....	4
1.5 Φυτά προσαρμοσμένα στην ενυδραιοπονία .....	5
1.6 Συστήματα εκτροφής ψαριών .....	6
1.7 Συστήματα ανάπτυξης φυτών .....	7
1.7 Απαραίτητα τεχνικά στοιχεία ενυδραιοπονίας .....	10
1.8 Ποιοτικά χαρακτηριστικά νερού- Βιοασφάλεια.....	11
1.9 Κατηγορίες συστημάτων και νομικό πλαίσιο .....	14
1.10 Αειφορία και βιωσιμότητα της ενυδραιοπονίας - Πλεονεκτήματα .....	14
1.11 Μειονεκτήματα .....	15
1.12 Ερευνητικός Σκοπός.....	16
<b>2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ .....</b>	<b>17</b>
2.1 Κατασκευή συστημάτων ενυδραιοπονίας .....	17
2.1.1 Εξοπλισμός συστήματος ενυδραιοπονίας.....	17
2.1.2 Διαστάσεις Συστήματος .....	20
2.2 Περιγραφή λειτουργίας του συστήματος .....	20
2.2.1 Μηχανικό φίλτρο.....	21
2.2.2 Βιολογικό φίλτρο .....	22
2.2.3 Φίλτρο αντλίας .....	22
2.2.4 Δεξαμενή φυτών.....	22
2.2.5 Δεξαμενή ψαριών.....	23
2.3 Προμήθεια ψαριών.....	23
2.4 Προμήθεια φυτών.....	23
2.5 Συνθήκες εκτροφής ψαριών και καλλιέργειας φυτών.....	25
2.5.1 Προσδιορισμός φυσικοχημικών παραμέτρων νερού, παροχής νερού και αέρα.....	25
2.5.2 Υπολογισμός ψαριών και φορτίου ρύπανσης στα συστήματα ενυδραιοπονίας.....	30
2.5.3 Χορήγηση τροφής ψαριών .....	33
2.5.4 Καλλιέργεια φυτών .....	33
2.6 Παράμετροι ανάπτυξης ιχθύων και φυτών.....	34
2.6.1 Μέτρηση μορφομετρικών χαρακτηριστικών των ψαριών .....	34
2.6.2 Μέτρηση μορφομετρικών χαρακτηριστικών των φυτών .....	35

2.7 Στατιστική επεξεργασία .....	36
<b>3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>37</b>
3.1 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά νερού .....	37
3.2 Παράμετροι ανάπτυξης ιχθύων .....	40
3.3 Παράμετροι ανάπτυξης φυτών .....	41
<b>4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ .....</b>	<b>43</b>
4.1 Φυσικοχημικοί παράμετροι νερού .....	43
4.2 Ανάπτυξη τιλάπιας .....	47
4.3 Ανάπτυξη βασιλικού .....	50
<b>5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>53</b>
<b>6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ .....</b>	<b>57</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>64</b>

# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Ορισμός ενυδρειοπονίας

Η ενυδρειοπονία είναι η ταυτόχρονη εκτροφή υδρόβιων οργανισμών και καλλιέργεια φυτών σε ένα σύστημα με νερό που επανακυκλοφορεί, συνδυάζοντας ουσιαστικά, την υδατοεκτροφή και την υδροπονία σε ένα σύστημα χωρίς τη παρουσία εδάφους (Rakocy *et al.*, 2004). Ψάρια, φυτά και βακτήρια είναι τα κύρια μέλη του συστήματος τα οποία συνυπάρχουν σε τέλεια ισορροπία. Τα ψάρια, ως μεταβολικό προϊόν, εκλύουν αμμωνία (Francis-Floyd *et al.*, 2012) η οποία οξειδώνεται μέσω της νιτροποίησης (μικροβιακή διάσπαση του οργανικού υλικού) σε νιτρικά ιόντα. Τα υδροδιαλυτά θρεπτικά απορροφούνται από τα φυτά με σκοπό την ανάπτυξη της βιομάζας τους και έτσι το νερό φιλτραρισμένο πλέον και καθαρό, επαναδιοχετεύεται στα ψάρια για να χρησιμοποιηθεί από την αρχή (Rakocy *et al.*, 2006).

Η ενυδρειοπονία είναι ένα καινοτόμο σύστημα στο οποίο απουσιάζει η χρήση λιπασμάτων, καθώς τα απεκκρίματα των ψαριών παρέχουν στα φυτά τα απαραίτητα θρεπτικά, και η χρήση ζιζανιοκτόνων, καθώς δεν υπάρχει έδαφος (χώμα) για την ανάπτυξή τους.

Αποτελεί λύση απέναντι στις αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις των υδατοεκτροφών (Tyson *et al.*, 2011), στη κλιματική αλλαγή και στην απώλεια γονιμότητας του εδάφους απόρροια των μονοκαλλιεργειών. Συμβάλλει στη διαχείριση των υδάτινων πόρων, στη διατήρηση της βιοποικιλότητας, στην εξοικονόμηση ενέργειας και στην ενίσχυση της οικονομίας (Buzby & Lin, 2014).

## 1.2 Ιστορική αναδρομή και η διάδοση της ενυδρειοπονίας παγκοσμίως

Η ενυδραιοπονία είναι μία απλή αλλά παλιά διαδικασία της φύσης, που πρώτοι μιμήθηκαν οι αρχαίοι Αιγύπτιοι οι οποίοι εκτρέφαν την τιλάπια του Νείλου σε δεξαμενές με φυτά (Παπουτσόγλου, 2008) και στη συνέχεια οι Ατζέκοι που ονόμαζαν τη τεχνολογία αυτή Chinampa (σύμπλεγμα μικρών νησιών μέσα στη λίμνη), αργότερα οι Κινέζοι και οι Ταϊλανδοί στους ορυζώνες με εκτροφή ψαριών και χελιών.

Στις αρχές της δεκαετίας του 70' έγιναν οι πρώτες προσπάθειες σχεδιασμού συστημάτων ενυδραιοπονίας σε ινστιτούτα της Αμερικής και της Ευρώπης (Sneed *et al.*, 1975, Naegel 1977, Bohl, 1977). Από τότε έχουν διεξαχθεί πολλές έρευνες σχετικά με την ενυδραιοπονία όσο αναφορά τον τρόπο κατασκευής των μονάδων (Clarkson & Lane, 1991, Seawright *et al.*, 1998, Rakocy *et al.*, 2006, Diver, 2006, Wilson & Brian 2006, Graber & Junge, 2009, Buzby & Lin, 2014), το είδος των εκτρεφόμενων ψαριών και των καλλιεργούμενων φυτών (Goto *et al.*, 1996, Tyson *et al.*, 1999, Li & Li, 2009, Sannas *et al.*, 2006, Roosta & Hamidpour, 2013, Villarroel *et al.*, 2011), τη ποιότητα του νερού (Francis-Floyd *et al.*, 2012, Tyson *et al.*, 2004, Liang & Chien, 2013, Cerozi & Fitzsimmons, 2016, Yildiz *et al.*, 2017 ) και την οικονομική πτυχή της (Rakocy *et al.*, 1997, Blidariu & Grozea, 2011, Love *et al.*, 2014, Love *et al.*, 2015, König *et al.*, 2016).

Η κατασκευή των πρώτων συστημάτων ενυδραιοπονίας πραγματοποιήθηκαν από το Πανεπιστήμιο της Βόρειας Καρολίνας και το Πανεπιστήμιο του Virgin Islands της Αμερικής. Ακολούθησαν και άλλες χώρες όπως η Βραζιλία, η Ινδία, η Ταϊλάνδη, οι Φιλιππίνες, Ολλανδία, Ισπανία, Πολωνία, Γερμανία, Δανία κ.α. (Love *et al.*, 2014).

Σήμερα, στην Αμερική είναι ευρέως διαδεδομένη η μέθοδος της ενυδραιοπονίας με πολλά εγκατεστημένα συστήματα μεγάλης κλίμακας.

Στην Ευρώπη, τα συστήματα είναι μικρότερης κλίμακας οικιακού τύπου αλλά γίνονται επιτυχημένες προσπάθειες κατανόησης και εφαρμογής της. Το 2014 η

δημιουργία του EU Aquaponics Hub ένωσε επιστήμονες και ερευνητές από όλη την Ευρώπη με σκοπό την ανταλλαγή εμπειριών και τεχνογνωσίας πάνω στην ενυδρειοπονία. Το 2016 μέλη της οργάνωσης, ίδρυσαν τον πρώτο συνεταιρισμό ACAC (Association of Commercial Aquaponics Companies) που επικεντρώνεται στις δραστηριότητες της ενυδρειοπονίας σε εμπορικό πλέον επίπεδο. Επίσης, με στόχο την ανάπτυξη της ενυδρειοπονίας και την εφαρμογή της σε αγροτικές και αστικές περιοχές στην Ευρώπη και ανά τον κόσμο δημιουργήθηκε με τη συγχρηματοδότηση της Ευρωπαϊκής Ένωσης στο πλαίσιο του προγράμματος Horizon 2020, το συνεργατικό έργο INAPRO (Innovative Aquaponics for Professional Applications).

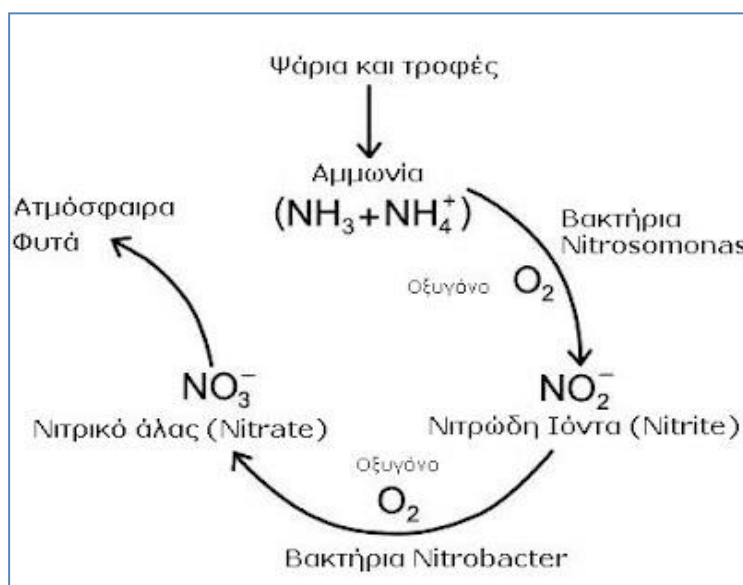
Στην Ελλάδα ακόμη τα πράγματα είναι σε εμβρυακό στάδιο με μεμονωμένες προσπάθειες κατασκευής συστημάτων ενυδρειοπονίας από οικογενειακές κυρίως επιχειρήσεις.

### 1.3 Αρχή λειτουργίας ενυδρειοπονίας - Βιολογικός κύκλος

Η ενυδρειοπονία στηρίζεται στη βιολογική διεργασία της νιτροποίησης ή του λεγόμενου κύκλου του αζώτου (Εικόνα 1). Τα ψάρια εκλύουν αμμωνία ως μεταβολικό προϊόν, σε ποσοστό 80%, μέσω των βραγχίων τους, των ούρων και των στερεών αποβλήτων τους. Υπολείμματα τροφής και οργανικές ουσίες που βρίσκονται σε αποσύνθεση, επίσης συμβάλλουν στην αύξηση της αμμωνίας η οποία σε υψηλές συγκεντρώσεις είναι τοξική για πολλά είδη ψαριών και υδρόβιους οργανισμούς.

Η νιτροποιητική διαδικασία, πραγματοποιείται σε δύο στάδια. Αρχικά μια ομάδα αυτότροφων βακτηρίων (*Nitrosomonas*) οξειδώνουν την αμμωνία ( $\text{NH}_3$ ) σε νιτρώδη ιόντα ( $\text{NO}_2^-$ ) και στη συνέχεια, ένα άλλο γένος νιτροποιητικών βακτηρίων (*Nitrobacter*) οξειδώνει τα νιτρώδη σε νιτρικά ( $\text{NO}_3^-$ ) (Cebren & Garnier, 2003).

Τα παραγόμενα νιτρικά ιόντα, πλούσια σε θρεπτικά συστατικά (λίπασμα), λαμβάνονται από τις ρίζες των φυτών με σκοπό την ανάπτυξή τους και έτσι, το νερό απαλλαγμένο από αμμωνία, νιτρώδη, νιτρικά και φωσφορικά ιόντα επαναδιοχετεύεται στα ψάρια για τη συνέχιση του κύκλου (Yildiz *et al.*, 2017).



**Εικόνα 1:** Κύκλος του αζώτου (Yildiz *et al.*, 2017)

#### 1.4 Εκτρεφόμενα είδη ψαριών σε σύστημα ενυδρείοπονίας

Τα ψάρια τα οποία εκτρέφονται, είναι κυρίως ψάρια του γλυκού νερού τα οποία αντέχουν σε μεγάλες ιχθυοπυκνότητες καθώς και σε αυξημένα επίπεδα καλίου και φωσφόρου (Rakocy *et al.*, 2006). Το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο είδος είναι η τιλάπια (*Tilapia cichlid*) εξαιτίας της ταχείας ανάπτυξής του και της ανοχής του σε ποικίλες συνθήκες ποιότητας νερού. Άλλα είδη ψαριών που χρησιμοποιούνται σε συστήματα ενυδρείοπονίας είναι η ιριδιζουσα πέστροφα (*Oncorhynchus mykiss*), ο κυπρίνος (*Cyprinus carpio*), το μεγαλόστομο λαβράκι (*Micropterus salmoides*), το γατόψαρο (*Ictalurus punctatus*), η Αυστραλιανή πέρκα (*Scortum barcoo* και *Bidyanus bidyanus*), τα είδη Barramundi (*Lates calcarifer* - λαβράκι της Ασίας), Murray

(*Maccullochella peelii peelii* - γάδος της Αυστραλίας), κοι (διακοσμητικό ψάρι της οικογένειας του κυπρίνου) και κάποια είδη οστρακόδερων (Love *et al.*, 2015). Ο αριθμός των ψαριών που τοποθετούνται σε ένα σύστημα είναι ανάλογος της βιομάζας των παραγόμενων φυτών.

### 1.5 Φυτά προσαρμοσμένα στην ενυδραιοπονία

Η επιλογή των φυτών που καλλιεργούνται είναι άμεσα εξαρτώμενη από το χρησιμοποιούμενο υδροπονικό σύστημα (Πίνακας 1), το είδος των ψαριών (Knaus & Palm, 2017), την ιχθυοπυκνότητα και την διαθέσιμη ποσότητα των θρεπτικών συστατικών (Blidariu & Grozea, 2011).

Αρωματικά, φυλλώδη λαχανικά και λαχανικά με καρπούς είναι τα ιδανικότερα για καλλιέργεια σε ένα σύστημα ενυδραιοπονίας. Τα πιο διαδεδομένα είναι ο βασιλικός (*Ocimum basilicum*), η μέντα (*Mentha sp.*), το κάρδαμο (*Nasturtium officinale*), ο μαϊντανός (*Petroselinum crispum*), το μαρούλι (*Lactuca sativa*), το σπανάκι (*Spinacia oleracea*), το σέσκουλο (*Beta vulgaris subsp. vulgaris*), η ντομάτα (*Lycopersicon lycopersicum*), η μελιτζάνα (*Solanum melongena*), η πιπεριά (*Capsicum sp.*), το μπρόκολο (*Brassica oleracea var. italica*), το κουνουπίδι (*Brassica oleracea var. botrytis*), το αγγούρι (*Cucumis sativus*) και τα φασόλια (*Phaseolus vulgaris*) (Somerville *et al.*, 2014).

**Πίνακας 1:** Κατάλληλα υδροπονικά συστήματα για καλλιέργεια συγκεκριμένων φυτικών ειδών

	Media Bed Technique	Nutrient Film Technique	Flowing Raft
Βασιλικός	√	√	√
Μαϊντανός	√	√	√
Μαρούλι	√	√	√

Μελιτζάνα	√		
Πιπεριά	√		
Μπρόκολο	√		
Κουνουπίδι	√		
Αγγούρι	√		√
Φασόλια	√		

### 1.6 Συστήματα εκτροφής ψαριών

Το σύστημα εκτροφής των ψαριών είναι πρωτίστης σημασίας σε ένα σύστημα ενυδρείοπονίας καθώς τα ψάρια για να επιβιώσουν και να αναπτυχθούν χρειάζονται συγκεκριμένες συνθήκες περιβάλλοντος. Κάποιες από τις παραμέτρους που επηρεάζουν τις συνθήκες που επικρατούν μέσα στη δεξαμενή, είναι το υλικό κατασκευής της, το σχήμα και το χρώμα της (Somerville *et al.*, 2014).

Δεξαμενές από σκληρό πλαστικό ή πολυεστέρα, προτιμούνται λόγω της αντοχής τους και της μεγάλης διάρκειας ζωής που προσφέρουν. Επίσης, οι πλαστικές δεξαμενές θα πρέπει να αντέχουν σε παρατεταμένη έκθεση σε UV- ακτινοβολία σε περίπτωση που τοποθετούνται σε εξωτερικό χώρο.

Το σχήμα της δεξαμενής, επηρεάζει τη κυκλοφορία του νερού. Συνίσταται στρογγυλεμένη δεξαμενή με επίπεδη βάση καθώς το κυκλικό σχήμα, επιτρέπει το νερό να κινείται ομοιόμορφα, μεταφέροντας τα στερεά απεκκρίματα προς το κέντρο της δεξαμενής με τη βοήθεια της κεντρομόλου δύναμης (Naegel, 1977). Τετράγωνες δεξαμενές μπορούν να χρησιμοποιηθούν με τη διαφορά ότι χρειάζονται επιπλέον εξαρτήματα για την αφαίρεση των στέρεων απεκκρίματων.

Λευκό χρώμα προτιμάται καθώς προσφέρει ευκολότερη παρατήρηση των ψαριών καθώς και των απεκκρίματων τους στο πάτο της δεξαμενής. Σε ανοιχτόχρωμες δεξαμενές τοποθετημένες σε εξωτερικούς χώρους, το λευκό χρώμα αντανακλά την ηλιακή ακτινοβολία με αποτέλεσμα να διατηρείται η θερμοκρασία του νερού σταθερή.



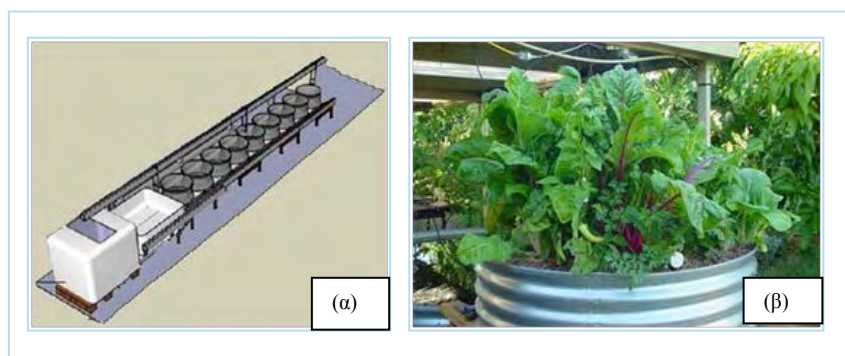
## 1.7 Συστήματα ανάπτυξης φυτών

Για να είναι αποτελεσματικότερο ένα σύστημα ενυδρειοπονίας, πρέπει το μέγεθός του να είναι προσαρμοσμένο έτσι, ώστε οι ποσότητες των παραγόμενων θρεπτικών συστατικών από τα ψάρια, να είναι ανάλογες με τις ανάγκες των φυτών για την ανάπτυξή τους. Ανεπαρκής καλλιεργητική περιοχή θα οδηγήσει σε συσσώρευση θρεπτικών στα συστήματα ανακύκλωσης ή στην υπερβολική απελευθέρωση θρεπτικών συστατικών στη ροή μέσω των συστημάτων. Πολύ μεγάλη καλλιεργητική περιοχή μπορεί να βελτιώσει την ποιότητα του νερού, αλλά θα οδηγήσει επίσης σε βραδύτερους ρυθμούς ανάπτυξης των φυτών και μειωμένη παραγωγή φυτικών καλλιεργειών (Buzby & Lin, 2014).

Τα συστήματα που χρησιμοποιούνται στην ενυδρειοπονία, διαφοροποιούνται στην ανάπτυξη των φυτών, στο τρόπο δηλαδή με τον οποίο τα θρεπτικά διοχετεύονται στα φυτά. Τα κύρια υδροπονικά συστήματα είναι το Media bed Technique (Εικόνα 2), το Nutrient Film Technique (Εικόνα 3) και το Flowing Raft (Εικόνα 4) τα οποία επιλέγονται ανάλογα με το σκοπό του καλλιεργητή καθώς το κάθε ένα έχει τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του (Lennard & Leonard, 2006).

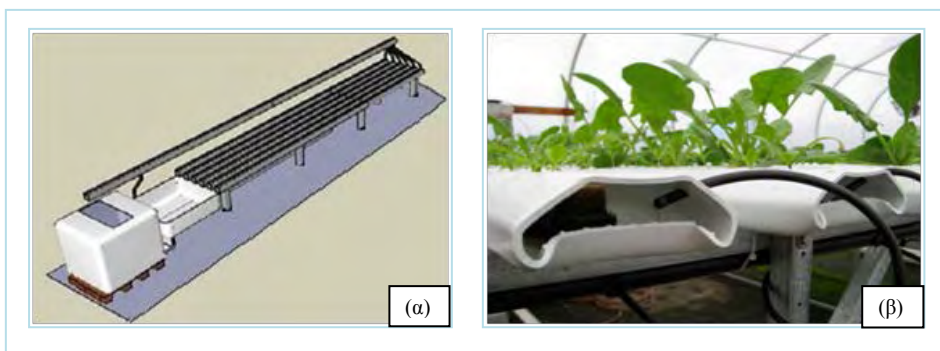
Το σύστημα Media bed, είναι το πιο απλό από όλα, δεν απαιτεί πολύ χώρο και με μικρό αρχικό κόστος εγκατάστασης. Δημιουργείται μία συστοιχία από ανεξάρτητες βάσεις καλλιέργειας φυτών (grow beds) οι οποίες δέχονται το νερό από τα ψάρια. Οι βάσεις καλλιέργειας έχουν ένα σιφόνι τύπου «bell» με αποτέλεσμα όταν ανέβει η στάθμη του νερού αυτόματα να αδειάζει. Τα grow beds πρέπει να έχουν υπόστρωμα από χαλίκι ή περλίτη ή διογκωμένη άργιλο. Σκουλήκια μπορούν να προστεθούν για επιπλέον κομποστοποίηση (Thorarinsdottir, 2015). Η ευελιξία που προσφέρει το σύστημα αυτό είναι ότι μπορεί να λειτουργήσει και απουσία βιολογικού φίλτρου καθώς

το υπόστρωμα μπορεί να λειτουργήσει και ως μέσο ανάπτυξης των νιτροποιητικών βακτηρίων (McMurtry *et al.*, 1997, Seawright *et al.*, 1998, Dontje & Clanton, 1999). Συμπληρωματικά το συγκεκριμένο υπόστρωμα λειτουργεί και ως φίλτρο συγκράτησης των στερεών (McMurtry *et al.*, 1997, Seawright *et al.*, 1998). Από την άλλη μεριά, το υπόστρωμα μπορεί να είναι πολύ βαρύ και εύκολο στο να φράξει τη διέλευση του νερού, οδηγώντας σε ανεπαρκές φιλτράρισμα και ανεπαρκή διοχέτευση των θρεπτικών στα φυτά (Rakocy & Hargreaves, 1993, Rakocy *et al.*, 1997). Συνδυάζεται με το DWC και το NFT και είναι ιδανικό για τη καλλιέργεια μεγάλων φυτών.



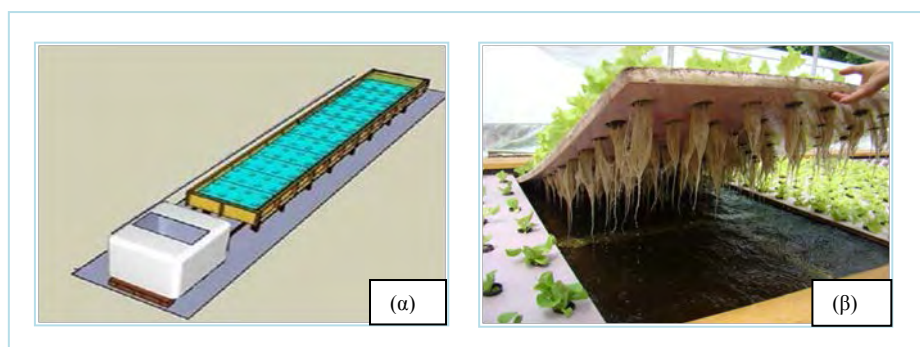
**Εικόνα 2:** (α) Συστοιχία βάσεων καλλιέργειας φυτών σε υδροπονικό σύστημα καλλιέργειας «Media Bed Technique» , (β) Καλλιέργεια παντζαριού σε σύστημα «Media Bed» (Timmons & Ebeling, 2013)

Στο σύστημα NFT (Nutrient Film Technique), το νερό κινείται διαμέσου μακριών οριζόντιων πλαστικών σωλήνων και τα φυτά είναι τοποθετημένα σε βάσεις διαμέτρου 7-9 cm και απόστασης 21cm το ένα από το άλλο. Η χρησιμοποίηση μηχανικού και βιολογικού φίλτρου είναι απαραίτητη. Το σύστημα αυτό λόγω της δημιουργίας μιας λεπτής συνεχόμενης ροής νερού, επιτρέπει τον αέρα να ρέει ανάμεσα στις ρίζες των φυτών. Είναι ιδανικό για την καλλιέργεια μικρότερων και αρωματικών φυτών.



**Εικόνα 3:** (α) Σχεδία σε υδροπονικό σύστημα καλλιέργειας «NFT», (β) Δημιουργία λεπτής ροής νερού στις ρίζες των καναλιών ανάπτυξης (Timmons & Ebeling, 2013)

Το σύστημα επίπλευσης Floating Raft ή DWC (Deep Water Culture) είναι ιδανικό για μεγάλες επιχειρήσεις και προσφέρεται για μονοκαλλιέργεια. Τα φυτά τοποθετούνται σε βάσεις πάνω σε φύλλα φελιζόλ με τις ρίζες τους να είναι μόνιμα βυθισμένες στο νερό. 30-40 cm βάθος είναι απαραίτητο για τη μέγιστη ανάπτυξη των ριζών.



**Εικόνα 4:** (α) Σύστημα επίπλευσης (Raft), (β) Ρίζες μόνιμα βυθισμένες στο νερό σε σύστημα καλλιέργειας «DWC» (Timmons & Ebeling, 2013)

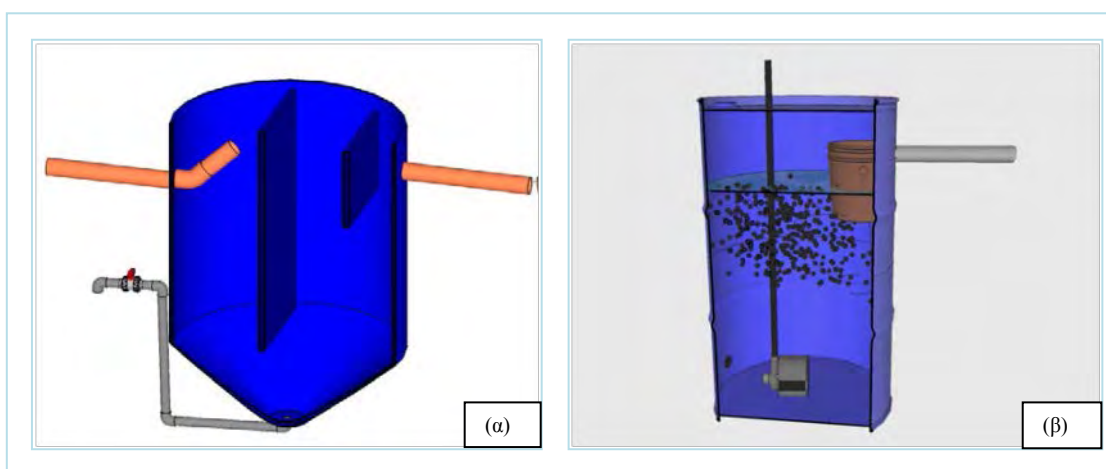
Ο τύπος του επιλεγμένου συστήματος, το είδος των ψαριών και των φυτών, τα βακτήρια, η σωστή διατροφή και διάφοροι φυσιολογικοί παράγοντες όπως θερμοκρασία και φωτοπερίοδος, καθορίζουν τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών το οποίο οδηγεί στην επιτυχή παραγωγή (Liang & Chien, 2013).

## 1.7 Απαραίτητα τεχνικά στοιχεία ενυδρείοποιίας

Ανεξάρτητα από την υδροπονική μέθοδο που θα χρησιμοποιηθεί, απαιτείται και συμπληρωματικός εξοπλισμός για τη λειτουργικότητα του συστήματος.

Το φιλτράρισμα, δηλαδή ο διαχωρισμός και η αποβολή των στερεών αποβλήτων από τη δεξαμενή, είναι απαραίτητο για τη διατήρηση της ποιότητας του νερού (Somerville *et al.*, 2014). Διακρίνεται στο μηχανικό, με διάφορους τύπους φίλτρων όπως, φίλτρο καθίζησης (Εικόνα 5α), διαχωριστές στροβιλισμού, φίλτρα άμμου, δήθησης, κ.α και στο βιολογικό φίλτρο (Εικόνα 5β).

Στο βιολογικό φίλτρο, γίνεται η μετατροπή των αμμωνιακών σε νιτρικά ιόντα από τα νιτροποιητικά βακτήρια. Το υπόστρωμα του βιοφίλτρου μπορεί να είναι βιόσφαιρες, χαλίκια, πλαστικά διαφόρων διαστάσεων, κ.α.



**Εικόνα 5:** (α) Μηχανικό φίλτρο καθίζησης, (β) Βιολογικό φίλτρο (Danaher *et al.*, 2013)

Αντλίες και πέτρες αερισμού είναι απαραίτητες για την αποφυγή δημιουργίας αναερόβιων συνθηκών, απονιτροποίησης και παραγωγής υδρόθειου. Βασικός εξοπλισμός επίσης είναι οι αντλίες νερού, τα εξαρτήματα φωτισμού και αερισμού, τα

υδραυλικά υλικά και τα όργανα μέτρησης και εξέτασης παραμέτρων του νερού (κιτ αμμωνίας, νιτρικών, νιτρωδών, θρεπτικών, κ.α ) (Thorarinsdottir, 2015).

### 1.8 Ποιοτικά χαρακτηριστικά νερού- Βιοασφάλεια

Η νιτροποιητική διαδικασία έχει σαν αποτέλεσμα τη λίπανση των φυτών από τα απόβλητα των ψαριών, συνεπώς η εξασφάλιση ενός σταθερού και υγιεινού περιβάλλοντος ανάπτυξης των βακτηρίων είναι πρωτίστης σημασίας. Τα βακτήρια χρειάζονται 4-6 εβδομάδες για να εγκαθιδρυθούν στο βιολογικό φίλτρο το οποίο πρέπει να είναι εφοδιασμένο με το κατάλληλο υπόστρωμα και οι συνθήκες του νερού να είναι ιδανικές για την ανάπτυξή τους (Yildiz *et al.*, 2017).

Η ευημερία και η αποτελεσματικότητα του συστήματος της ενυδρειοπονίας στηρίζεται στην ευζωία των ψαριών, των φυτών και των βακτηρίων τα οποία εξαρτώνται άμεσα από τη ποιότητα του νερού (König *et al.*, 2016). Συνεχείς μετρήσεις των παραμέτρων του νερού είναι απαραίτητη εργασία. Θερμοκρασία, διαλυμένο οξυγόνο, pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα, ολική αμμωνία, νιτρώδη, νιτρικά και φωσφορικά πρέπει να κυμαίνονται μέσα σε συγκεκριμένα όρια (Πίνακας 2) ειδάλλως το σύστημα καταρρέει (Lennard, 2012).

Σε ένα σύστημα ενυδρειοπονίας η θερμοκρασία ρυθμίζεται ανάλογα με τις απαιτήσεις του εκτρεφόμενου είδους σε συνάρτηση με το καλλιεργούμενο φυτό. Η τιμή του διαλυμένου οξυγόνου θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 5 mg/L για την επαρκή οξυγόνωση των ψαριών, των ριζών των φυτών και των βακτηρίων για την εκτέλεση της νιτροποιητικής διαδικασίας (Yildiz *et al.*, 2017). Το pH είναι σημαντική παράμετρος, καθώς επηρεάζει αρκετούς φυσικοχημικούς παράγοντες του νερού, όπως για παράδειγμα τη διαλυτότητα των θρεπτικών συστατικών και της αμμωνίας. Η τιμή του

pH είναι διαφορετική όσο αναφορά τα φυτά (<6,5) και τα νιτροποιητικά βακτήρια (>7,5). Για το λόγο αυτό διατηρείται σαν ιδανική τιμή μια μέση τιμή pH στο 7,0 (Lennard, 2012). Η αλκαλικότητα, το πόσο σκληρό ή μαλακό είναι το νερό θα πρέπει να διατηρείται πάνω από 100 mg/L ως CaCO<sub>3</sub>. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα μετράει τα φορτισμένα ιόντα τα οποία κυκλοφορούν σε μία υδάτινη στήλη. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της τόσο περισσότερα ιόντα υπάρχουν συνεπώς περισσότερα θρεπτικά για τα φυτά. Η τιμή της κυμαίνεται από 0,3 μέχρι 3,0.

Η αμμωνία που αποβάλλεται από τα βράγχια των ψαριών είναι τοξική για τα ψάρια σε τιμή <1mg/L στην αέρια μορφή της NH<sub>3</sub><sup>-</sup> και μη τοξική για τα ψάρια σαν αμμωνιακό ιόν NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Σε pH 7,0 και κάτω πάνω από το 95% της αμμωνίας υφίσταται σαν ιόν. Το σύνολο της αέριας και της ιοντικής μορφής της αμμωνίας λέγεται ολική αμμωνία (TAN). Σε ένα σύστημα ενυδρείοποιίας θα πρέπει η ολική αμμωνία να είναι μικρότερη από 3 mg/L με τη τιμή να ανεβαίνει όταν το pH είναι μικρότερο από 7,0. Τα νιτρώδη είναι τοξικά, καθώς επηρεάζουν την ικανότητα των ψαριών να δεσμεύσουν οξυγόνο, σε τιμές πάνω από 3 mg/L (Francis-Floyd, 2012).

**Πίνακας 2:** Όρια παραμέτρων νερού για θερμοφιλα ψάρια, υδροπονικά φυτά και νιτροποιητικά βακτήρια (Somerville *et al.*, 2014)

Όρια Παραμέτρων νερού για θερμοφιλα ψάρια, Φυτά και βακτήρια						
Οργανισμοί	Θερμοκρασία (°C)	Διαλυμένο οξυγόνο (ppm)	pH	Αμμωνία (NH <sub>3</sub> )	Νιτρώδη (NO <sub>2</sub> )	Νιτρικά (NO <sub>3</sub> )
Θερμοφιλα ψάρια	22-32	4-6	6-8.5	<3	<1	<400
Φυτά	16-30	>3	5.5-7.5	<30	<1	-
Βακτήρια	14-34	4-8	6-8.5	<3	<1	-

Επίσης, θα πρέπει να εξετάζεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα η περιεκτικότητα του νερού σε θρεπτικά συστατικά, τα οποία είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών με σκοπό όταν κριθεί απαραίτητο να ενισχύεται. Αυτά

διακρίνονται σε μακροστοιχεία, θρεπτικά συστατικά όπου προσλαμβάνονται σε μεγάλες ποσότητες (άνθρακας, οξυγόνο, υδρογόνο, άζωτο, κάλιο, ασβέστιο, μαγνήσιο, φώσφορος και θείο) και σε μικροστοιχεία, αυτά όπου μικρές ποσότητες είναι επαρκείς (νάτριο, χλώριο, σίδηρος, βόριο, ψευδάργυρος, χαλκός, μολυβδαίνιο και αλουμίνιο) για την ανάπτυξη των φυτών.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στη πυκνότητα των ψαριών, στη βιομάζα των φυτών και στον αριθμό των βακτηρίων όπου πρέπει να είναι σε ισορροπία. Αν κάποια ποσότητα είναι σε πλεόνασμα ή σε έλλειμμα τότε η διάσπαση και η πρόσληψη των θρεπτικών δεν πραγματοποιείται ικανοποιητικά και η παραγωγή μειώνεται.

Σωστά επιλεγμένη διατροφή (Ng & Romano, 2013), με συγκεκριμένες ποσότητες (Πίνακας 3) και συχνότητες ταΐσματος (Riche & Garling, 2003) ευνοούν την ανάπτυξη των ψαριών κατά συνέπεια και των φυτών (Liang & Chien, 2013), καταλήγοντας σε εξυγίανση του νερού.

**Πίνακας 3:** Ημερήσια ποσότητα τροφής ανά μέγεθος τιλάπιας στου 28 °C (National Research Council, 1993)

Ημερήσια τροφή ανά μέγεθος τιλάπιας στους 28 (°C)	
Μέγεθος ψαριού (gr)	Ημερήσια ποσότητα τροφής (% ζώντος βάρους)
0–1	30–10
1–5	10–6
5–20	6–4
20–100	4–3
Μεγαλύτερο από 100	3–1,5

Η βιοασφάλεια εγγυάται την ασφάλεια του προϊόντος καθώς επιβάλλει αυστηρούς κανόνες υγιεινής όσο αφορά το χρησιμοποιούμενο νερό, τη τροφή, τα εργαλεία, τους εργαζομένους και τους επισκέπτες. Η καλή ποιότητα του νερού, μειώνει

τη πιθανότητα ασθενειών των ψαριών και ευνοεί την ανάπτυξή τους (Francis-Floyd *et al.*, 2012). Τα τελικά προϊόντα της ενυδραιοπονίας είναι βιοασφαλή καθώς δεν γίνεται χρήση ορμονών και αντιβιοτικών (Kloas *et al.*, 2015).

### 1.9 Κατηγορίες συστημάτων και νομικό πλαίσιο

Η ενυδραιοπονία ανάλογα με το διαθέσιμο χώρο και τις απαιτήσεις, μπορεί να σχεδιαστεί είτε σε εργαστηριακή κλίμακα, είτε σε οικιακό επίπεδο είτε για μεγάλες εμπορικές επιχειρήσεις (Junge, 2017). Μία μικρής κλίμακας, οικιακού επιπέδου ενυδραιοπονίας, συνήθως αποτελείται από μία δεξαμενή 1.000 L και 3m<sup>2</sup> χώρο ανάπτυξης των φυτών. Μέχρι τώρα στην Ευρώπη, λίγοι έχουν αναπτύξει μεγάλες εμπορικές επιχειρήσεις καθώς η τεχνογνωσία ακόμη δεν είναι επαρκής, το αρχικό κόστος εγκατάστασης μεγάλο και η ύπαρξη καθορισμένου νομικού πλαισίου ανύπαρκτη (Agnes *et al.*, 2015). Όλα αυτά κάνουν τις αρχικές εργασίες περίπλοκες και χρονοβόρες. Σε γενικές γραμμές επιλέγονται κατασκευές μικρής κλίμακας τοποθετημένες σε θερμοκήπια παρά σε ταράτσες (4%) και εγκαταλελειμμένα κτήρια εντός του αστικού ιστού (Love *et al.*, 2015).

### 1.10 Αειφορία και βιωσιμότητα της ενυδραιοπονίας - Πλεονεκτήματα

Η ενυδραιοπονία μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα πρωτοπόρο αειφόρο και βιώσιμο σύστημα σε περιβαλλοντικό, κοινωνικό και οικονομικό επίπεδο. Το οικολογικό αποτύπωμα είναι μικρό (Adler *et al.*, 2003) καθώς οι συγκεντρώσεις των αερίων του θερμοκηπίου που εκλύονται είναι πολύ λιγότερες από αυτές της υδατοεκτροφής (Hu *et al.*, 2013, Hu *et al.*, 2014) και η πραγματική κατανάλωση νερού σχεδόν μηδενική λόγω της ανακύκλωσης και επανατροφοδότησης. Επίσης, τα



περιττώματα των ψαριών δεν είναι εστία μόλυνσης καθώς μεταβολίζονται και αξιοποιούνται στη συνέχεια από τα φυτά. Ένα μεγάλο πλεονέκτημα του συστήματος είναι οι προοπτικές του στη χρησιμοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως για παράδειγμα η χρήση φωτοβολταϊκών και η επαναχρησιμοποίηση του επεξεργασμένου και βρόχινου νερού που προσφέρει επιπλέον εξοικονόμηση. Τέλος, σε τοπικό επίπεδο συμβάλει στη βελτίωση του βιοτικού επιπέδου, μέσω της δημιουργίας νέων θέσεων εργασίας (Junge *et al.*, 2017).

Η ενυδρείοποιία παρέχει τρόφιμα προς τον άνθρωπο υψηλής διατροφικής αξίας καθώς τα ψάρια είναι υψηλής πρωτεϊνικής σύστασης τροφή, χωρίς αντιβιοτικά, ορμόνες και χημικά καταπολέμησης ασθενειών (Tacon *et al.*, 2013).

Το σύστημα αυτό είναι ένα εξαιρετικό εργαλείο και στον εκπαιδευτικό τομέα καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μικρή κλίμακα από σχολεία για μία πρώτη επαφή των μαθητών με την αγροτική παραγωγή καθώς επίσης, ευνοεί τη συνεργασία πολλών διαφορετικών επιστημών (φυσικές, τεχνολογικές, μηχανικές επιστήμες) με σκοπό την εξέλιξη και την αειφόρο βιωσιμότητα του συστήματος (König *et al.*, 2016).

### 1.11 Μειονεκτήματα

Το πρώτιστο μειονέκτημα του συστήματος, είναι το μεγάλο αρχικό κόστος εγκατάστασης και η περίπλοκη και χρονοβόρα έκδοση αδειών λειτουργίας. Εξειδικευμένη τεχνογνωσία, μεγάλος αριθμός προσωπικού και καθημερινή πολύωρη απασχόληση για ελέγχους των συστημάτων κρίνεται απαραίτητη. Όσο αναφορά την ευζωία των ψαριών, η θερμοκρασία των νερών της μονάδας πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο σταθερή για την αποφυγή απώλειας ψαριών. Ενδεχόμενη ασθένεια των ψαριών, θα οδηγήσει στη διακοπή της λειτουργίας όλης της μονάδας. Χρειάζεται

ιδιαίτερη φροντίδα και επιτήρηση τουλάχιστον τρεις φορές την εβδομάδα της ποιότητας του νερού με καταμέτρηση των επιπέδων αμμωνίας, pH, νιτρωδών και νιτρικών ιόντων. Επίσης, απαγορεύεται η χρήση χημικών φυτοφαρμάκων για προστασία από προσβολές συνεπώς, η τυχόν προσβολή θα πρέπει να αντιμετωπιστεί με βιολογικές μεθόδους το οποίο αυξάνει τον βαθμό δυσκολίας αντιμετώπισής τους. Το ράντισμα απαγορεύεται καθώς ο χαλκός είναι άκρως τοξικός για τα ψάρια σε ιδιαίτερα μικρές ποσότητες.

### 1.12 Ερευνητικός Σκοπός

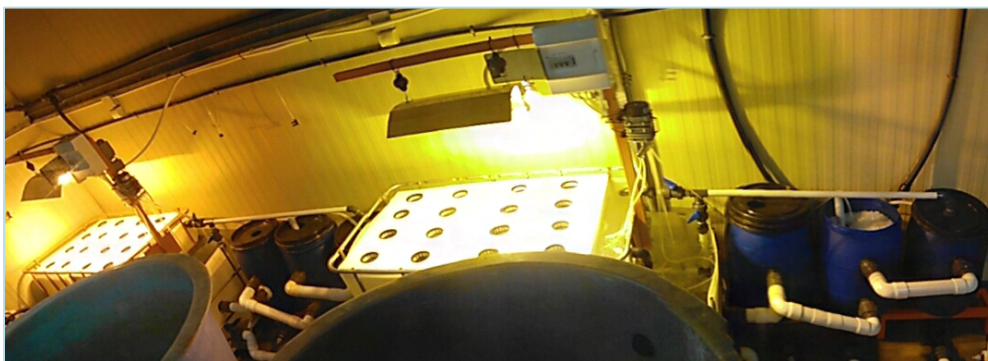
Ο σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής είναι να μελετηθούν σε ένα σύστημα ενυδρειοπονίας οι αλληλεπιδράσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού σε σχέση με την ανάπτυξη των ψαριών, των φυτών και των νιτροποιητικών βακτηρίων καθώς και η μελέτη των απαραίτητων θρεπτικών συστατικών υπεύθυνων για την ανάπτυξή τους.

Για το σκοπό αυτό κατασκευάστηκαν δύο συστήματα ενυδρειοπονίας εργαστηριακής κλίμακας όπου πραγματοποιήθηκε καλλιέργεια φυτών πλατύφυλλου βασιλικού της οικογένειας *Lamiaceae*, του γένους *Ocimum*, του είδους *O. basilicum* και εκτροφή τιλάπιας της οικογένειας *Cichlidae*, του γένους *Oreochromis*, του είδους *O. niloticus* για χρονικό διάστημα 55 ημερών.

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

### 2.1 Κατασκευή συστημάτων ενυδρειοπονίας

Το πείραμα διεξήχθη στο εργαστήριο Υδατοκαλλιεργειών του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Για τη πραγμάτωση του συγκεκριμένου πειράματος, κατασκευάστηκαν δύο συστήματα ενυδρειοπονίας (Εικόνα 6).



**Εικόνα 6:** Συστήματα ενυδρειοπονίας του εργαστηρίου Υδατοκαλλιεργειών (Προσωπικό αρχείο)

#### 2.1.1 Εξοπλισμός συστήματος ενυδρειοπονίας

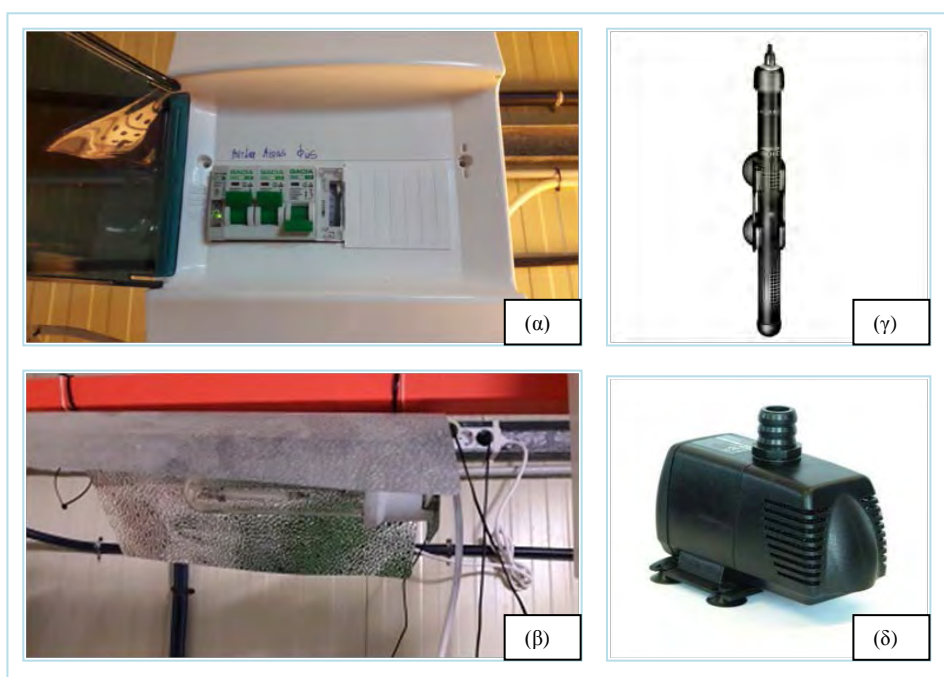
Για τη κατασκευή του συστήματος ενυδρειοπονίας, χρησιμοποιήθηκε μια ορθογώνια δεξαμενή συνολικής χωρητικότητας 600 L η οποία χωρίστηκε σε δύο μέρη για τη κατασκευή της δεξαμενής των ψαριών (400 L) και των φυτών (200 L) αντίστοιχα. Η δεξαμενή των φυτών, προσαρμόστηκε στο επάνω μέρος της δεξαμενής των ψαριών με άνοιγμα στο μπροστινό μέρος 35 cm για καλύτερη οπτική παρατήρηση των ψαριών καθώς και ευκολότερο καθαρισμό της δεξαμενής.

Επίσης, τρία βαρέλια κυλινδρικού σχήματος και χωρητικότητας 60 L έκαστο, όπου τοποθετήθηκαν σε σειρά για μέγιστη ευελιξία και προσαρμόστηκαν επάνω σε σιδερένια βάση με σκοπό την ισορρόπηση της υψομετρικής διαφοράς, χρησιμοποιήθηκαν για τη κατασκευή μηχανικού, βιολογικού φίλτρου και φίλτρου

αντλίας. Η είσοδος του νερού από τη δεξαμενή των ψαριών στο φίλτρο καθίζησης, κατασκευάστηκε 20 cm ακριβώς πάνω από το τέλος του βαρελιού και η έξοδός του, 8 cm κάτω από το χείλος του βαρελιού καταλήγοντας στην κάτω μεριά του βιολογικού φίλτρου.

Στο επάνω μέρος του συστήματος προσαρμόστηκε ηλεκτρολογικός πίνακας (Εικόνα 7α) για την παροχή ρεύματος (αέρας, αντλία και φώς) καθώς και τεχνητός φωτισμός -λάμπα φθορισμού 400 W- (Εικόνα 7β) με προσαρμοσμένο χρονοδιακόπτη καθορισμού των ωρών λειτουργίας για τον ακριβή έλεγχο της φωτοπεριόδου.

Η διοχέτευση του νερού από το τελικό φίλτρο στη δεξαμενή των φυτών, έγινε με τη χρήση αντλίας νερού (Εικόνα 7δ) (HAILEA-hx-8830, 45W, 2900 L/h, h 2,3m ) και η θερμοκρασία ρυθμίστηκε με δύο θερμοστάτες (Εικόνα 7 γ) (AQUAEL, Comfort Zone Gold, 300W).



**Εικόνα 7:** (α) Ηλεκτρολογικός πίνακας παροχής ρεύματος, (β) Λάμπα φθορισμού, (γ) Θερμοστάτης ρύθμισης θερμοκρασίας, (δ) Αντλία διοχέτευσης νερού (Προσωπικό αρχείο)

Για την επαρκή οξυγόνωση του συστήματος, χρησιμοποιήθηκε μία αεραντλία compressor (HAILEA, ACO-328, 70 L/min) (Εικόνα 8α), ένας κατανεμητής αέρα 8 εξόδων (Εικόνα 8β), λάστιχο σιλικόνης διαμέτρου 4mm (Εικόνα 8γ) και 8 πέτρες αερισμού (HAILEA, 20cm, 40mm, 150mm) (Εικόνα 8δ,ε,ζ).



**Εικόνα 8:** Εξαρτήματα αερισμού συστήματος ενυδρείοποιίας (α) Αεραντλία, (β) Κατανεμητής αέρα, (γ) Λάστιχο σιλικόνης, (δ,ε,ζ) Πέτρες αερισμού (Προσωπικό αρχείο)

Τέλος, για την ενίσχυση του βιολογικού φίλτρου χρησιμοποιήθηκαν 200 βιόσφαιρες (25 mm) (Εικόνα 9α) καθώς και 20 L πορώδες, κυλινδρικό υπόστρωμα K1 (KALDNES, διαμέτρου 10mm) (Εικόνα 9β).



**Εικόνα 9:** Βιολογικό υπόστρωμα (α) Βιόσφαιρες, (β) K1 (Προσωπικό αρχείο)

### 2.1.2 Διαστάσεις Συστήματος

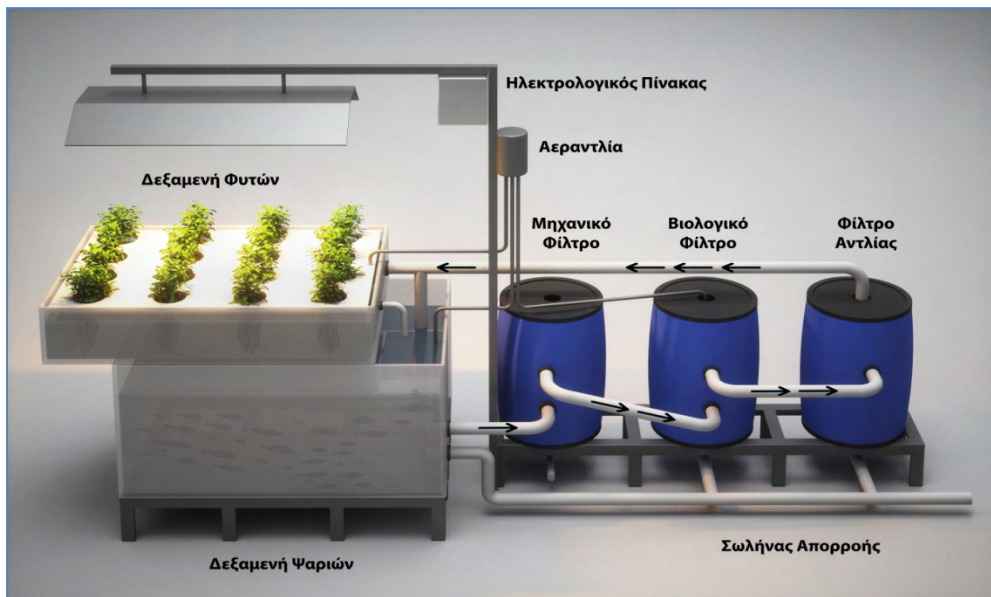
Οι διαστάσεις και η χωρητικότητα του νερού του συστήματος είναι:

- Δεξαμενή ψαριών: 120 x 90 x 58 cm, Χωρητικότητα νερού: 400 L
- Δεξαμενή υδροπονικής καλλιέργειας φυτών: 120 x 90 x 29 cm, Χωρητικότητα νερού: 200 L
- Φίλτρα: Μέση διάμετρος: 33 cm, Ύψος: 64 cm, Χωρητικότητα νερού 60 L
- Βάση στήριξης φίλτρων: 120 x 20 x 17 cm
- Βάση στήριξης δεξαμενής ψαριών: 120 x 90 x 16 cm
- Συνολική έκταση συστήματος: 290 x 90 x 101 cm
- Συνολική χωρητικότητα νερού: 780 L
- Σωλήνας κεντρικής απορροής: 133 cm
- Σωλήνας σύνδεσης δεξαμενής ψαριών με μηχανικό φίλτρο: 28 cm
- Σωλήνας σύνδεσης μηχανικού φίλτρου με το βιολογικό: 47 cm
- Σωλήνας σύνδεσης βιολογικού φίλτρου με το φίλτρο αντλίας: 46 cm
- Σωλήνας διοχέτευσης νερού από το φίλτρο αντλίας στη δεξαμενή των φυτών: 124 cm

### 2.2 Περιγραφή λειτουργίας του συστήματος

Το συγκεκριμένο σύστημα ενυδρείοπονίας, αποτελείται από μία δεξαμενή όπου καλλιεργούνται τα φυτά, μία δεξαμενή όπου εκτρέφονται τα ψάρια και τρία φίλτρα. Τα δύο φίλτρα διαχωρίζονται στη μηχανική επεξεργασία των περιττωμάτων των ψαριών και στη βιολογική επεξεργασία του νερού, μέσω των νιτροποιητικών βακτηρίων. Στο τελευταίο φίλτρο αποθηκεύεται το καθαρό νερό το οποίο και διοχετεύεται στα φυτά. Η

κίνηση του νερού στα φίλτρα πραγματοποιείται με παθητική κίνηση, καθώς τα φίλτρα λειτουργούν ως συγκοινωνούντα δοχεία (Εικόνα 10).



**Εικόνα 10:** Απεικόνιση συστήματος ενυδρείοπονίας (Προσωπικό αρχείο)

### 2.2.1 Μηχανικό φίλτρο

Σκοπός του μηχανικού φιλτραρίσματος, είναι η κατακράτηση αιωρούμενων σωματιδίων, υπολειμμάτων τροφής και περιττωμάτων των ψαριών.

Το νερό, από τη δεξαμενή των ψαριών, εισέρχεται στο μηχανικό φίλτρο (φίλτρο καθίζησης) όπου μια συνεχόμενη κυκλική ροή οδηγεί τα μεγάλα στερεά σωματάρια, σε ένα εσωτερικά προσαρμοσμένο χωνί στον πυθμένα του φίλτρου. Τα μικρότερα σωματάρια που διαφεύγουν, συγκρατούνται από σφουγγάρια (υαλοβάμβακας και μηχανικό φίλτρο EHEIM) τα οποία είναι τοποθετημένα στο επάνω μέρος του φίλτρου. Η έξοδος των αποβλήτων από το σύστημα, πραγματοποιείται με δύο τρόπους. Με το καθάρισμα των περιττωμάτων των ψαριών μέσα από το χωνί και με το άδειασμα του νερού μέσω της τοποθετημένης βάνας στο κάτω μέρος του φίλτρου.

### 2.2.2 Βιολογικό φίλτρο

Σκοπός της βιολογικής επεξεργασίας του νερού, είναι η οξείδωση της παραγόμενης αμμωνίας από τα ψάρια μέσω της νιτροποίησης σε νιτρικά ιόντα με τη βοήθεια των βακτηρίων του γένους *Nitrosomonas* και *Nitrobacter*.

Το νερό απαλλαγμένο από στερεά, συνεχίζει στο βιολογικό φίλτρο στο οποίο είναι εγκατεστημένα τα νιτροποιητικά βακτήρια σε υλικό πλήρωσης K1 και βιόσφαιρες. Για τη πραγματοποίηση του κύκλου του αζώτου, τα βιολογικά φίλτρα απαιτούν άριστη ποιότητα νερού συνεπώς, εξασφάλιση υψηλών επιπέδων οξυγόνου είναι ζωτικής σημασίας. Στο συγκεκριμένο πείραμα, τοποθετήθηκε μια μεγάλη σφαιρική πέτρα αερισμού.

### 2.2.3 Φίλτρο αντλίας

Το εμπλουτισμένο νερό με νιτρικά τα οποία είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη των φυτών, συνεχίζει στο τελευταίο φίλτρο όπου η τοποθετημένη αντλία, διοχετεύει το νερό σε δύο δρόμους. Ο ένας οδηγεί στη δεξαμενή των φυτών και ο άλλος στο πάτο της δεξαμενής των ψαριών όπου δημιουργεί ρεύμα νερού για αποφυγή στάσιμου νερού.

### 2.2.4 Δεξαμενή φυτών

Τα φυτά καλλιεργούνται υδροπονικά σε σύστημα επίπλευσης - DWC (Deep Water Culture) τοποθετημένα σε βάσεις από φελιζόλ, με τις ρίζες μόνιμα βυθισμένες στο νερό. Η πρόσληψη των θρεπτικών και κατά συνέπεια ο καθαρισμός του νερού, πραγματοποιείται μέσω των ριζών. Για την καλύτερη ανάπτυξη των φυτών, αποφυγή προσβολής ασθενειών και σάπισμα των ριζών, κρίθηκε απαραίτητη η οξυγόνωση σε



όλη την επιφάνεια της δεξαμενής. Στο συγκεκριμένο πείραμα, τοποθετήθηκαν δύο πέτρες αερισμού σε κάθε σύστημα επίπλευσης.

#### 2.2.5 Δεξαμενή ψαριών

Το νερό εξαγνισμένο από τοξικές για τα ψάρια ουσίες, διοχετεύεται μέσω υπερχειλίσης από τη δεξαμενή των φυτών, στη δεξαμενή των ψαριών για περαιτέρω συνέχιση του κύκλου. Με σκοπό τη διατήρηση της ευζωίας των ψαριών και την αποφυγή στάσιμου νερού, ο αερισμός είναι υποχρεωτικός. Στο συγκεκριμένο πείραμα, τοποθετήθηκαν τέσσερις πέτρες αερισμού κατά μήκος όλης της δεξαμενής των ψαριών.

#### 2.3 Προμήθεια ψαριών

Στο πείραμα, χρησιμοποιήθηκαν τιλάπιες του είδους *O. niloticus*, οι οποίες μεταφέρθηκαν με ειδικές σακούλες που είχαν πληρωθεί με νερό και παγοκύστες. Αφού τοποθετήθηκαν στις δεξαμενές, πραγματοποιήθηκε ασιτία για τέσσερις ημέρες καθώς και εγκλιματισμός για χρονικό διάστημα δέκα ημερών σε συνθήκες εργαστηρίου.

Τα ψάρια αναισθητοποιήθηκαν με φαινοξυθανόλη πυκνότητας 0,175 ml/L, ζυγίστηκαν με ζυγό ακριβείας (σε ακρίβεια δεύτερου δεκαδικού ψηφίου) για το προσδιορισμό του αρχικού βάρους σε gr. Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 34 ψάρια τα οποία μοιράστηκαν στις δεξαμενές 15 και 19 άτομα αντίστοιχα.

#### 2.4 Προμήθεια φυτών

Στο συγκεκριμένο πείραμα, χρησιμοποιήθηκαν βασιλικοί του είδους *O. basilicum*. Η τοποθέτηση των φυτών ολοκληρώθηκε σταδιακά καθώς η έκταση της καλλιεργητικής περιοχής και ο ρυθμός ανάπτυξης των φυτών, εξαρτάται άμεσα από τη ποσότητα των παραγόμενων από τα ψάρια νιτρικών ιόντων (Buzby & Lin, 2014).

Τα φυτά αφού μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο, πραγματοποιήθηκε προσεκτικός καθαρισμός των ριζών για αποφυγή μεταφορά εδάφους στο νερό και προσβολή τυχόν ασθενειών προερχόμενων από το χώμα (Εικόνα 11α). Στη συνέχεια, τα φυτά μεταφυτεύτηκαν σε ειδικές πλαστικές βάσεις πληρωμένες με υπόστρωμα διογκωμένης αργίλου (Εικόνα 11γ) και τοποθετήθηκαν στα φύλλα φελιζόλ (Εικόνα 3β) διαστάσεων 100 x 70 cm. Η διογκωμένη άργιλος συμβάλει στη σωστή ανάπτυξη των φυτών καθώς εξασφαλίζει άριστη στράγγιση και αερισμό του ριζικού συστήματος (Ehret *et al.*, 1998).

Η τελική θέση των φυτών καθορίστηκε έπειτα από μέτρηση της φωτοσυνθετικά ενεργής ακτινοβολίας PAR (Photosynthetically active radiation 400-700 nm) (skye) εξασφαλίζοντας την αποτελεσματικότερη φωτοσύνθεση των φυτών (Nitz & Schnitzler 2004).



**Εικόνα 11:** (α) Καθαρισμός ριζών από το χώμα, (β) Πλαστική βάση πληρωμένη με υπόστρωμα διογκωμένης αργίλου, (γ) Βάσεις ανάπτυξης φυτωρίων από φύλλα φελιζόλ (Προσωπικό αρχείο)

## 2.5 Συνθήκες εκτροφής ψαριών και καλλιέργειας φυτών

### 2.5.1 Προσδιορισμός φυσικοχημικών παραμέτρων νερού, παροχής νερού και αέρα

Η μέτρηση των φυσικοχημικών παραμέτρων του νερού [θερμοκρασία (T), οξυγόνο (O<sub>2</sub>), pH, ολική αμμώνια (TAN), συγκεντρώσεις νιτρωδών (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) και νιτρικών (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) ιόντων], πραγματοποιούνταν καθημερινά, καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής εκτροφής για τη παρακολούθηση των τιμών και αποφυγή κατάρρευσης του συστήματος (Lennard, 2012).

Η θερμοκρασία του νερού καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος, ρυθμίστηκε στους  $26 \pm 0,3^{\circ} \text{C}$ , με τη προσθήκη δύο θερμαντικών σωμάτων. Ο ακριβής προσδιορισμός πραγματοποιούνταν με τη χρήση ψηφιακού οργάνου (HACH, HQ40d) όπου δείγματα συλλέγονταν από τις δεξαμενές των φυτών και των ψαριών.

Τα επίπεδα του διαλυμένου οξυγόνου καθώς και τα ποσοστά κορεσμού του, προσδιορίζονταν για την αποφυγή αναερόβιων συνθηκών. Τα δείγματα παίρνονταν από το πάτο των δεξαμενών με τη χρήση ψηφιακού οξυγονόμετρου (Εικόνα 12α) (HACH, HQ40d).

Στο συγκεκριμένο πείραμα, η ρύθμιση του pH έγινε με συνολική προσθήκη 40 gr ανθρακικού ασβεστίου (CaCO<sub>3</sub>) και 160 πελέτες υδροξειδίου του καλίου (KOH) για την αύξηση της τιμής του και συνολική προσθήκη 25 ml φωσφορικού οξέος (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) και 20 ml νιτρικού οξέος (HNO<sub>3</sub>) για τη μείωσή του. Ο ακριβής προσδιορισμός του pH πραγματοποιούνταν με τη χρήση ηλεκτρονικού οργάνου (HM Digital, PH-80, Εικόνα 12β) στην επιφάνεια των δεξαμενών.

Τα θρεπτικά τα οποία κυκλοφορούν στη υδάτινη στήλη, για είναι αφομοιώσιμα από τα φυτά με σκοπό την ανάπτυξή τους, θα πρέπει να είναι ηλεκτρικά φορτισμένα. Η

μέτρησή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας πραγματοποιείται για τον έλεγχο της συγκέντρωσης των διαθέσιμων ιόντων (θρεπτικών συστατικών) που κυκλοφορούν στο νερό. Μετράται σε  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ή σε  $\text{mS}/\text{cm}$  (millisemens per centimetre). Παρόμοια μέτρηση είναι και αυτή των ολικών διαλυτών στερεών ή TDS (Total dissolved solids) τα οποία μετρώνται σε ppm (parts per million) ή σε  $\text{mg}/\text{L}$  (milligramm per liter) . Στο συγκεκριμένο πείραμα, η μέτρησή της πραγματοποιούνταν με τη χρήση ηλεκτρονικού οργάνου (HM Digital EC/TDS,COM-80, Εικόνα 12γ) στην επιφάνεια των δεξαμενών.



**Εικόνα 12:** Όργανα μέτρησης παραμέτρων νερού (α) Ψηφιακό οξυγονόμετρο, (β) Ψηφιακό όργανο μέτρησης pH, (γ) Ψηφιακό όργανο μέτρησης ηλεκτρικής αγωγιμότητας (Προσωπικό αρχείο)

Ο προσδιορισμός των αμμωνιακών αλάτων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση αντιδραστηρίων (API Test Kit).

Η διαδικασία μέτρησης της ολικής αμμωνίας (ppm) (TAN) περιγράφεται ως εξής :

- Προσθήκη σε υάλινη κυψελίδα 5 ml νερού από τη δεξαμενή
- Προσθήκη 8 σταγόνων από το αντιδραστήριο Ammonia #1
- Ανακίνηση για 5 δευτερόλεπτα
- Προσθήκη 8 σταγόνων από το αντιδραστήριο Ammonia #2

- Ανακίνηση για 5 δευτερόλεπτα
- Αναμονή 5 λεπτά έως ώσπου το δείγμα νερού χρωματιστεί ανάλογα
- Σύγκριση του χρώματος του δείγματος στην κυψελίδα με αντίστοιχη Κλίμακα (Εικόνα 13)



**Εικόνα 13:** Αντιδραστήριο μέτρησης της ολικής αμμωνίας (TAN) (Προσωπικό αρχείο)

Αξίζει να σημειωθεί ότι αμμωνία απαντάται με δυο μορφές στο νερό την ιονισμένη μορφή (ενώσεις του αμμωνίου, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N) που είναι ακίνδυνη για τη διαβίωση των ψαριών και την μη ιονισμένη αμμωνία η οποία είναι η τοξική μορφή της αμμωνίας (NH<sub>3</sub>-N) (Henze 1990, Ebelling *et al.*, 2006). Αυτές οι δύο μορφές εκφράζονται ως ολική αμμωνία στο νερό (TAN) και υπολογίστηκαν σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους (Huguenin & Colt 2002, Carroza *et al.*, 2012):

- Ιονισμένη αμμωνία=  $\alpha * TAN$   
όπου  $\alpha$  είναι το γραμμομοριακό κλάσμα διάσπασης της αμμωνίας στο νερό το οποίο εξαρτάται από το pH και την Θερμοκρασία και υπολογίζεται από το Πίνακα 5,
- TAN= Ιονισμένη +μη ιονισμένη αμμωνία  
και συνεπώς:
- Μη ιονισμένη αμμωνία= TAN-Ιονισμένη αμμωνία

**Πίνακας 5:** Υπολογισμός γραμμομοριακού κλάσματος σε συνάρτηση με το pH και τη θερμοκρασία (Huguenin & Colt, 2002)

TC	pH						
	7	7,8	7,9	8	8,1	8,3	9
5	0,012	0,0078	0,0098	0,0123	0,0154	0,0242	0,1107
10	0,0019	0,0116	0,0145	0,0182	0,0229	0,0357	0,1567
15	0,0027	0,0169	0,0212	0,0266	0,0332	0,0516	0,2144
20	0,0039	0,0243	0,0304	0,038	0,0474	0,0731	0,2833
25	0,0056	0,0346	0,0431	0,0537	0,0667	0,1017	0,3621
30	0,008	0,0483	0,06	0,0744	0,0919	0,1382	0,4455
35	0,0111	0,0663	0,082	0,1011	0,124	0,1833	0,5293

Η διαδικασία μέτρησης των νιτρωδών ιόντων (ppm) ( $\text{NO}_2^-$ ) περιγράφεται ως εξής:

- Προσθήκη σε υάλινη κυψελίδα 5 ml νερό από τη δεξαμενή
- Προσθήκη 5 σταγόνων από το αντιδραστήριο Nitrite
- Ανακίνηση για 5 δευτερόλεπτα
- Αναμονή 5 λεπτά έως ότου το δείγμα νερού χρωματιστεί ανάλογα
- Σύγκριση του χρώματος του δείγματος στην κυψελίδα με αντίστοιχη

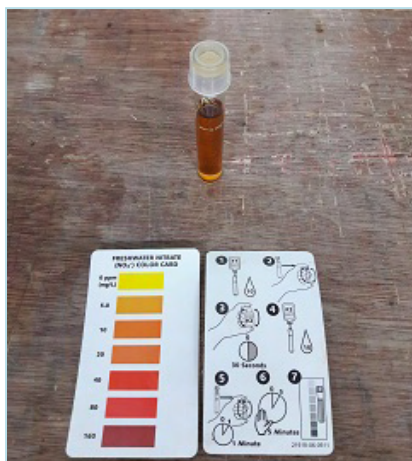
Κλίμακα (Εικόνα 14)



**Εικόνα 14:** Αντιδραστήριο μέτρησης νιτρωδών ιόντων ( $\text{NO}_2^-$ ) (Προσωπικό αρχείο)

Η διαδικασία μέτρησης των νιτρικών ιόντων (ppm) ( $\text{NO}_3^-$ ) περιγράφεται ως εξής:

- Προσθήκη σε υάλινη κυψελίδα 5 ml νερό από τη δεξαμενή
- Προσθήκη 10 σταγόνων από το αντιδραστήριο Nitrate #1
- Ανακίνηση για 5 δευτερόλεπτα
- Προσθήκη 10 σταγόνων από το αντιδραστήριο Nitrate #2
- Ανακίνηση για 5 δευτερόλεπτα
- Αναμονή 3 λεπτά έως ότου το δείγμα νερού χρωματιστεί ανάλογα
- Σύγκριση του χρώματος του δείγματος στην κυψελίδα με αντίστοιχη κλίμακα (Εικόνα 15)



**Εικόνα 15:** Αντιδραστήριο μέτρησης νιτρικών ιόντων ( $\text{NO}_3^-$ ) (Προσωπικό αρχείο)

Η παροχή νερού προσαρμόστηκε στις ανάγκες του συστήματος (Endut *et al.*, 2010) να είναι μειωμένη, συγκριτικά με τις προδιαγραφές της αντλίας, έτσι ώστε να ελέγχεται η στάθμη του νερού στις δεξαμενές. Διατηρούνταν σταθερή μέσω της αντλίας νερού. Για τη μέτρησή της, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του αντίστροφου ογκομετρικού σωλήνα (Spotte, 1991) και υπολογίστηκε  $Q=414 \text{ L/h}$  ή  $6900 \text{ cm}^3/\text{min}$  σε πραγματικές συνθήκες και στα δύο συστήματα συμπεραίνοντας ότι σε συνολικό όγκο νερού 720 L,

μια πλήρη ανανέωση του νερού πραγματοποιείται σε διάστημα 2 ωρών και 14 λεπτών. Επίσης, υπολογίστηκε η ταχύτητα φιλτραρίσματος ή ταχύτητα ροής του νερού διαμέσου του φίλτρου από τον τύπο  $V_i \text{ (cm/min)} = \text{Παροχή (Q)} / \text{επιφάνεια φίλτρου (W)}$  και βρέθηκε 1,12 cm/min και για τα δύο συστήματα .

Το επίπεδο οξυγόνου του συστήματος διατηρούνταν σε υψηλά επίπεδα μέσω της αεραντλίας. Επαρκή αερισμό χρειάζονται τα ψάρια για την αναπνοή τους, τα φυτά για την αναπνοή , την υγεία, την ενδυνάμωση του ριζικού τους συστήματος και τη πρόσληψη των θρεπτικών συστατικών καθώς και τα βακτήρια για την αναπνοή και τη διεργασία της νιτροποίησης. Ο υπολογισμός της παροχής αέρα πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο του αντίστροφου ογκομετρικού σωλήνα (Spotte, 1991) και μετρήθηκε σε κάθε έξοδο της αεραντλίας στα 2 L/min.

#### 2.5.2 Υπολογισμός ψαριών και φορτίου ρύπανσης στα συστήματα ενυδρείοπονίας

Ένα από τα βασικά στοιχεία υπολογισμού είναι ο υπολογισμός του αριθμού των ψαριών που προστέθηκαν και στα δυο συστήματα , αλλά και το φορτίο ρύπανσης που δημιουργείται από τα ψάρια που προστέθηκαν στα συστήματα (I και II). Ο υπολογισμός αυτός πραγματοποιήθηκε από την ανισότητα του Hirayama και στηρίζεται κυρίως στο φίλτρο του συστήματος. Δηλαδή μέσα από τον τύπο αυτό υπολογίζεται η ικανότητα (αποδοτικότητα) που έχει το βιολογικό φίλτρο ώστε να οξειδώνει δηλαδή να μετατρέπει την παραγόμενη αμμωνία (την τοξική κυρίως μορφή,  $\text{NH}_3\text{-N}$ ) σε ακίνδυνα νιτρικά ιόντα (νιτροποίηση).

Ο τύπος περιγράφεται (Spotte, 1991):

$$\sum_{i=1}^p \frac{10 * Wi}{0,7 \frac{v_i}{v_i} + Gi * Di} \geq \sum_{i=1}^q (Bj^{0,544} * 0,01) + 0,051 * F$$



Το αριστερό σκέλος της σχέσης, αντιπροσωπεύει την ικανότητα του βιολογικού φίλτρου να οξειδώνει και να απενεργοποιεί τους τοξικούς μεταβολίτες που παράγονται στο σύστημα (mg/min O<sub>2</sub>).

Όπου:

$W_i$  (m<sup>2</sup>)= η έκταση της επιφάνειας του φίλτρου.

$V_i$  (cm/min)= η ταχύτητα ροής του νερού διαμέσου του φίλτρου.

$D_i$  (cm)= πάχος του στρώματος του φίλτρου.

$p$ = ο αριθμός των φίλτρων που εξυπηρετούν το σύστημα.

$G_i$  = συντελεστής που εκφράζει το μέγεθος των κόκκων των υλικών που αποτελούν το υλικό πλήρωσης του βιολογικού φίλτρου και εκφράζεται από τη σχέση:

$$G = \frac{1}{R_1} * 100 + \frac{1}{R_2} * 100 + \dots + \frac{1}{R_n} * 100$$

όπου :

$R_1, R_2, \dots, R_n$  = διαφορετικό μέγεθος των κόκκων του φίλτρου (mm).

Το δεξιό μέρος αντιπροσωπεύει το ρυθμό ρύπανσης του νερού από τα ψάρια (mg/min O<sub>2</sub>).

Όπου:

$B$  = βάρος ψαριού (g).

$F$  = Ημερήσια χορηγούμενη ποσότητα τροφής (g).

$q$  = Αριθμός των ψαριών.

Η ικανή και αναγκαία συνθήκη ώστε το φίλτρο των συστημάτων να λειτουργεί ικανοποιητικά, χωρίς να διαταράσσεται η ισορροπία του είναι: η οξειδωτική ικανότητα του βιολογικού φίλτρου πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή τουλάχιστον ίση προς το ρυθμό ρύπανσης που δημιουργείται από τα ψάρια.

Όλα τα παραπάνω υπολογίστηκαν και αντικαταστήθηκαν στον τύπο του Hirayama προκύπτοντας για το πρώτο σκέλος, η τιμή της οξειδωτικής ικανότητας του φίλτρου στα 8,14 mg/L O<sub>2</sub>.

Για τον υπολογισμό του μέγιστου αριθμού των ψαριών βάρους 50 gr με επίπεδο διατροφής 3% που μπορεί να διαχειριστεί το σύστημα ώστε να οξειδώνεται πλήρως η παραγόμενη από αυτά αμμωνία χρησιμοποιήθηκε το δεύτερο σκέλος της ανισότητας του Hirayama προκύπτοντας ως ανώτερος αριθμός ψαριών τα 50 ψάρια αντίστοιχα σε κάθε σύστημα. Στο συγκεκριμένο πείραμα, τοποθετήθηκαν 15 και 19 ψάρια αντίστοιχα σε κάθε σύστημα.

Η οξειδωτική ικανότητα του βιολογικού φίλτρου υπολογίστηκε στα 8,14 mg O<sub>2</sub> και 1,2 mg/L και 1,52 mg/L, ο βαθμός ρύπανσης που προκλήθηκε στο φίλτρο αντίστοιχα για τα συστήματα I και II (από την ημερήσια χορηγούμενη ποσότητα τροφής σε πρώτη φάση και σε δεύτερη φάση από τα υπολείμματα τροφής και περιττώματα).

Αξίζει να σημειωθεί ότι ένας κόκκος τροφής περίπου 4-5mm διάμετρο απαιτεί 45 ημέρες για να αποσυντεθεί και να δώσει αμμωνία για το λόγο αυτό κατά κύριο λόγο η αμμωνία που παράγεται στο σύστημα είναι μεταβολικό προϊόν και εκλύεται από τα βράγχια των ψαριών σε ποσοστό της τάξης του 80% σε αντίθεση με την αμμωνία που παράγεται από τα υπολείμματα της τροφής που είναι της τάξης του 20%.

Συνεπώς, ικανοποιείται η συνθήκη της ανισότητας του Hirayama 8,14 mg O<sub>2</sub> > 1,2 mg O<sub>2</sub> για το φίλτρο του συστήματος I και 8,14 mg O<sub>2</sub> > 1,52mg O<sub>2</sub> για το φίλτρο του συστήματος II. Το φίλτρο και στα δύο συστήματα να μπορεί να διατηρήσει και να εξυπηρετήσει τη συγκεκριμένη βιομάζα ψαριών τιλάπιας, χωρίς να διαταράσσεται η

ισορροπία του. Δηλαδή μπορεί να οξειδώσει το φορτίο που παράγεται και να την μειώσει ή να την απομακρύνει σε ποσοστό 80-100% (αποδοτικότητα του φίλτρου).

Με τους παραπάνω υπολογισμούς, αποδείχθηκε ότι τα συστήματα ανεξάρτητα από τον αριθμό των ψαριών που είχε τοποθετηθεί σε αυτά, ήταν ικανά να απομακρύνουν την παραγόμενη αμμωνία (Carroza *et al.*, 2012).

### 2.5.3 Χορήγηση τροφής ψαριών

Το επίπεδο διατροφής της τιλάπιας προσδιορίστηκε στο 3% του μέσου βάρους ζώντος ψαριού (Siddiqui *et al.*, 1988, Hafedh, 1999, Ng & Romano, 2013) και η χορήγηση τροφής πραγματοποιούνταν δύο φορές ημερησίως στις 11:00 και 18:00, για μέγιστη αξιοποίηση της παρεχόμενης ποσότητας τροφής από τα ψάρια (Chowdhury, 2011, Berillis *et al.*, in press). Η διαδικασία του ταΐσματος διαρκούσε 10 λεπτά και καθ' όλη την ώρα παρακολουθούνταν η συμπεριφορά των ψαριών. Η παρεχόμενη εμπορική τροφή (Biomar) κοκκομετρικής σύστασης 2mm αποτελούνταν από ποσοστό 50% ολικών αζωτούχων ουσιών/ πρωτεϊνών, 23% ολικών λιπαρών ουσιών, 10,90% ολικής τέφρας, 0,30% ολικών ινωδών ουσιών, 1,50% ολικού φωσφόρου, 1,52% ασβεστίου και 0,54% νατρίου. Στην αρχή της πειραματικής διαδικασίας το επίπεδο διατροφής και των δύο συστημάτων ήταν κυμαινόμενο καθώς τα υψηλά επίπεδα διατροφής σε συνδυασμό με την ιχθυοπυκνότητα θα δημιουργούσαν συνθήκες νερού ικανές να προκαλέσουν ασθένειες στα ψάρια (El-Sayed, 2002).

### 2.5.4 Καλλιέργεια φυτών

Η φωτοπερίοδος ρυθμίστηκε σύμφωνα με τις απαιτήσεις των φυτών σε φώς στις 10 ώρες πλήρους φωτισμού και 14 ώρες σκοτάδι (08:00- 18:00) (Beaman *et al.*, 2009).

Η θερμοκρασία αέρα παρέμεινε σταθερή στους  $25 \pm 0,2^\circ \text{C}$  (Chang *et al.*, 2005) καθώς επίσης, έγινε χρήση ανεμιστήρων για ανανέωση του αέρα και αποφυγή υπερθέρμανσης του επάνω μέρους των φυτών.

Εβδομαδιαίως μετρούνταν η περιεκτικότητα του νερού σε θρεπτικά συστατικά απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών. Πραγματοποιήθηκε περιοδική συμπλήρωση ιχνοστοιχείων καθώς, τα ψάρια τροφοδοτούν το σύστημα με 10 από τα 18 βασικά θρεπτικά. Συνολικά, προστέθηκαν 12 gr σιδήρου (Fe-DTPA) σε 4 δόσεις, 160 πελέτες υδροξειδίου του καλίου (KOH) σε 6 δόσεις και 40 gr ανθρακικού ασβεστίου ( $\text{CaCO}_3$ ) σε 3 δόσεις (Racoky *et al.*, 2003).

## 2.6 Παράμετροι ανάπτυξης ιχθύων και φυτών

### 2.6.1 Μέτρηση μορφομετρικών χαρακτηριστικών των ψαριών

Χρησιμοποιώντας ζυγό ακριβείας μετρήθηκε το τελικό βάρος σώματος (g) των ψαριών καθώς και το μήκος (cm) του κάθε ατόμου ξεχωριστά με τη βοήθεια ιχθυόμετρου (Εικόνα 16). Η μέτρηση των μορφομετρικών χαρακτηριστικών πραγματοποιήθηκε έπειτα από αναισθητοποίηση των ψαριών με φαινοξυθανόλη σε πυκνότητα 0,175 ml/L. Μία ημέρα πριν τη μέτρηση, τα ψάρια παρέμειναν σε ασιτία.



**Εικόνα 16:** Μέτρηση τελικού βάρους ιχθύος με ζυγό ακριβείας και τελικού μήκους ιχθύος με ιχθυόμετρο (Προσωπικό αρχείο)

Η εκτίμηση της αύξησης του βάρους των ψαριών και ο προσδιορισμός του βαθμού εκμετάλλευσης και κατανάλωσης της χορηγούμενης τροφής από τους εκτρεφόμενους οργανισμούς, υπολογίστηκαν από τις παρακάτω παραμέτρους (Houlihan *et al.*, 2001, Παπουτσόλογου, 2008, Bahadir-Koca, 2009).

- Επιβίωση (%) (S-survival)

$$S = (\text{Τελικός αριθμός ψαριών} / \text{Αρχικός αριθμός ψαριών}) \times 100$$

- Απόλυτη αύξηση βάρους (WG-Weight Gain)

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

- Ημερήσιος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (SGR, Specific Growth Rate %)

$$SGR (\%/ημέρα) = \{\ln(W_t) - \ln(W_i) / d\} \times 100$$

όπου,

$$W_t = \text{Τελικό βάρος (g)}$$

$$W_i = \text{Αρχικό βάρος (g)}$$

$$d = \text{Ημέρες}$$

- Συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR, Food Conversion Ratio)

$$FCR = KT / WG \text{ όπου, } KT (g) = \text{Προσφερόμενη τροφή}$$

$$WG (g) = \text{Αύξηση βάρους}$$

### 2.6.2 Μέτρηση μορφομετρικών χαρακτηριστικών των φυτών

Η συγκομιδή των φυτών πραγματοποιήθηκε, στο στάδιο πλήρους άνθισης (Εικόνες 19α) (Carvalho Filho *et al.*, 2006). Μετρήθηκαν τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά του φυτού, ο αριθμός και η αύξηση των πλάγιων κλάδων καθώς και το

τελικό ύψος (cm) (Εικόνα 17). Τέλος, με τη χρήση ηλεκτρονικού ζυγού ακριβείας (KERN) προσδιορίστηκε η συνολική παραγόμενη βιομάζα του βασιλικού (g).



**Εικόνα 17:** (α) Ανθοφορία φυτού βασιλικού, (β) Μέτρηση μορφομετρικών χαρακτηριστικών (Προσωπικό αρχείο)

## 2.7 Στατιστική επεξεργασία

Η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων ανάπτυξης των ψαριών και φυτών καθώς και αξιοποίησης της τροφής πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του στατιστικού λογισμικού προγράμματος SPSS 17, κάνοντας χρήση του «ανεξάρτητου t-test» στο επίπεδο σημαντικότητας 5% (Zar 1996).

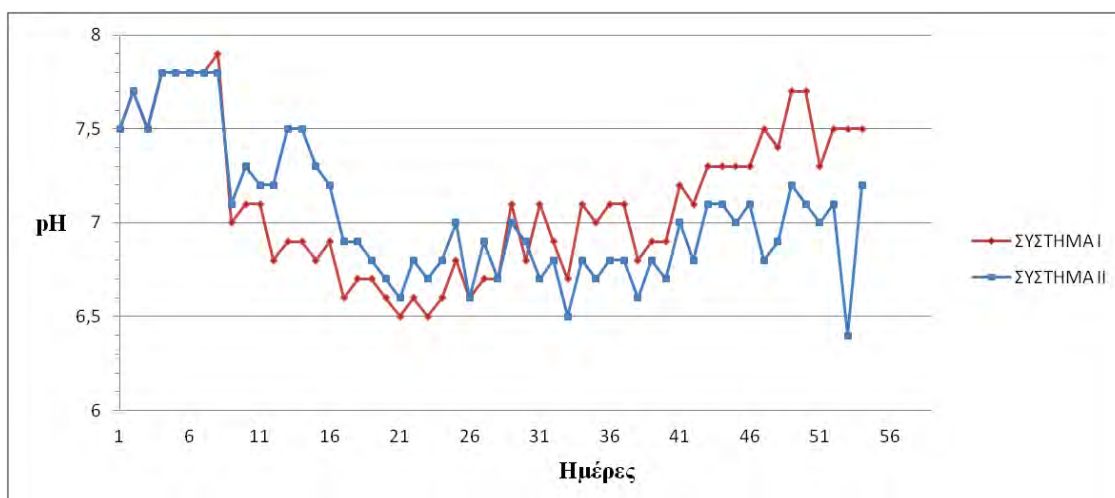
Οι τιμές των παραμέτρων που προσδιορίστηκαν ελέγχθηκαν για την κανονικότητα της κατανομής και την ομοιογένεια της διασποράς τους μέσω του Levene's test.

### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

#### 3.1 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά νερού

Η θερμοκρασία του νερού και στα δύο συστήματα διατηρούνταν σταθερή στους  $25,7 \pm 0,81^\circ \text{C}$ . Τα επίπεδα του διαλυμένου οξυγόνου καθώς και τα ποσοστά κορεσμού του, διατηρούνταν σταθερά στα  $7,0 \pm 0,23 \text{ mg/L}$  και  $84,2 \pm 1,94 \%$  αντίστοιχα καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας και στα δύο συστήματα.

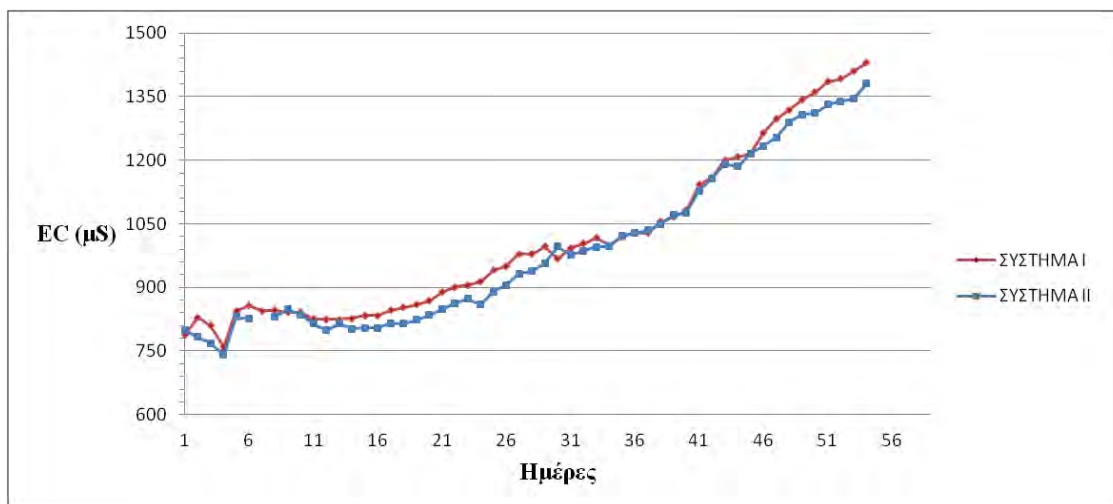
Το pH καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος κυμάνθηκε στο σύστημα I στο  $7,1 \pm 0,39$  και στο σύστημα II στο  $7,04 \pm 0,41$  (Διάγραμμα 1). Έντονες μεταβολές της τιμής του pH 7,8 και 6,6, παρατηρήθηκαν τις ημέρες όπου πραγματοποιούνταν προσθήκες βάσεων ή οξέων με σκοπό τον έλεγχο της τιμής του, καθώς και σε προσθήκες (λόγω εξατμισοδιαπνοής των φυτών) και αλλαγές νερού (καθαρισμός συστημάτων).



**Διάγραμμα 1:** Διακύμανση του pH σε χρονικό διάστημα 55 ημερών

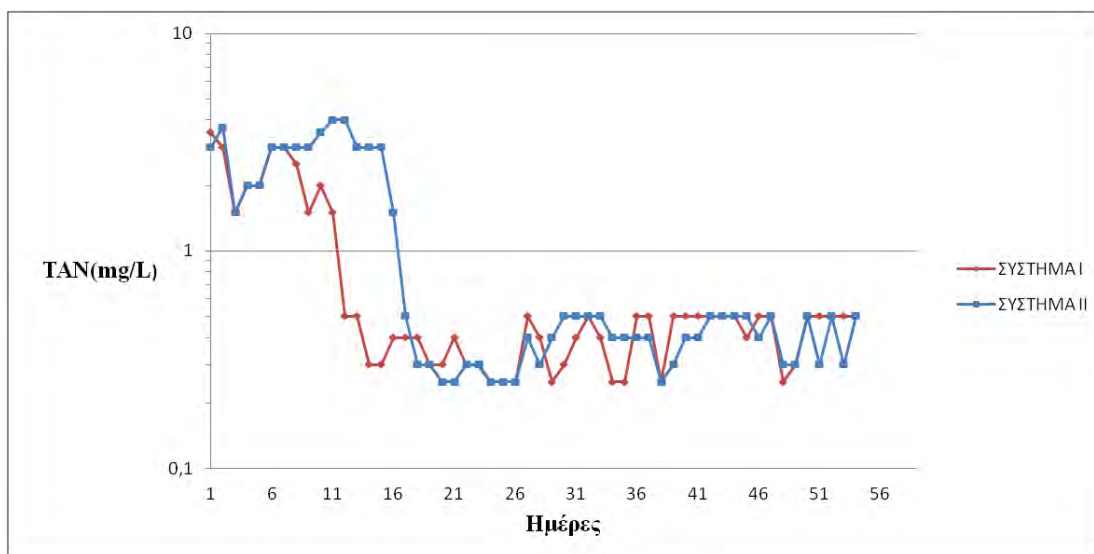
Η ηλεκτρική αγωγιμότητα σε όλη τη πειραματική διαδικασία κυμάνθηκε στο σύστημα I στα  $1009 \pm 192,62 \mu\text{S}$  και στο σύστημα II στα  $985 \pm 189,02 \mu\text{S}$  (Διάγραμμα 2). Στο χρονικό διάστημα των 55 ημερών παρατηρήθηκε σταδιακή αύξηση της τιμής

της και στα δύο συστήματα με εξαίρεση μία πτωτική τάση 760 και 740  $\mu\text{S}$  στις αρχές του πειράματος (4η ημέρα) εξαιτίας αλλαγής νερού.



**Διάγραμμα 2:** Διακύμανση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) σε διάστημα 55 ημερών

Οι διακυμάνσεις της ολικής αμμωνίας (TAN ( $\text{NH}_3^-/\text{NH}_4^+$ )) στην αρχή της πειραματικής διαδικασίας ήταν μεγάλες (Διάγραμμα 3) με τη τιμή της να κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα 4mg/L και στα δύο συστήματα. Αλλαγές νερού μείωσαν προσωρινά τη περιεκτικότητα της ολικής αμμωνίας στην υδάτινη στήλη, με την πλήρη υποχώρησή της να πραγματοποιείται την 11η και 16η ημέρα αντίστοιχα για το κάθε σύστημα.



**Διάγραμμα 3:** Διακύμανση της ολικής αμμωνίας (TAN) σε διάστημα 55 ημερών

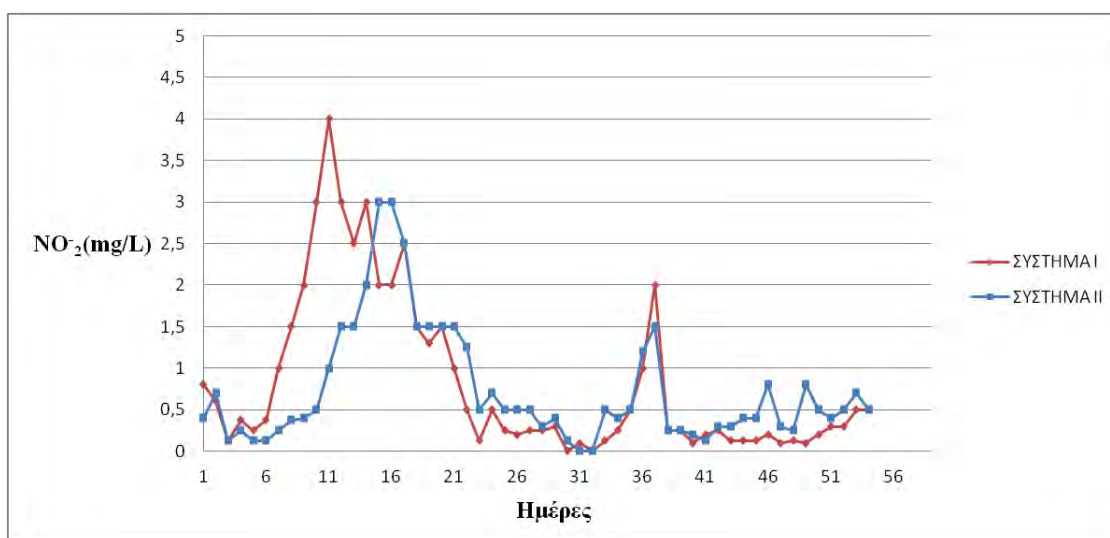


\* Οι τιμές του TAN παρουσιάζονται σε λογαριθμική κλίμακα

Οι τιμές της ιονισμένης αμμωνίας ( $\text{NH}_3^-$ ) κυμάνθηκαν στα  $0,01 \pm 0,021$  και για τα δύο συστήματα.

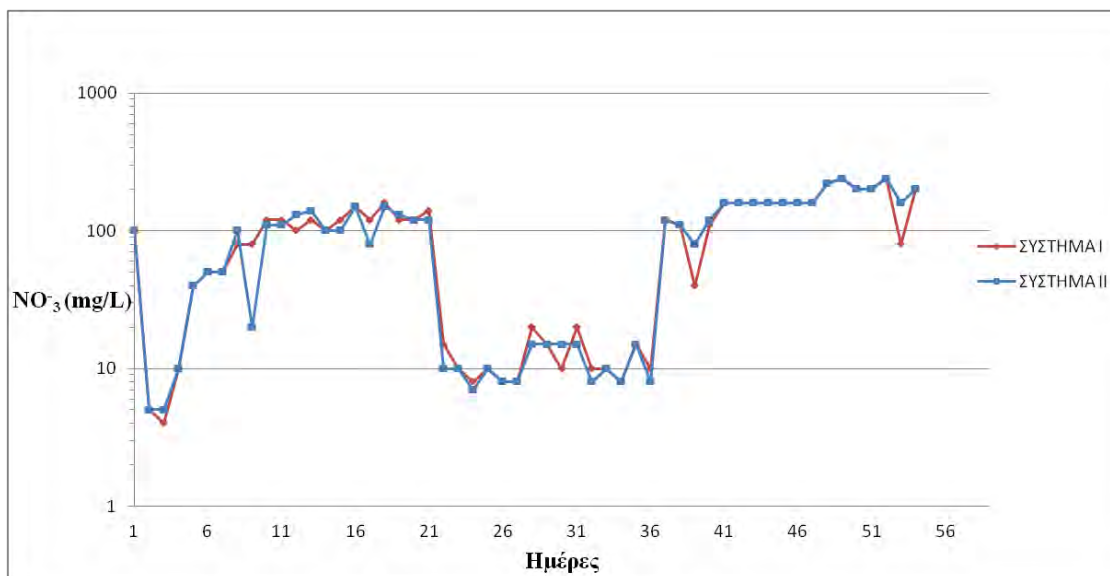
Οι τιμές της μη ιονισμένης αμμωνίας ( $\text{NH}_4^+$ ) κυμάνθηκαν στα  $0,77 \pm 0,830$  και  $1,11 \pm 1,213$  αντίστοιχα για τα δύο συστήματα.

Οι τιμές των νιτρωδών ( $\text{NO}_2^-$ ) δεν παρουσίασαν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα δύο συστήματα (Διάγραμμα 4). Οι διακυμάνσεις αυτών στην αρχή με υψηλότερες τιμές 4 και 3mg/L (11η, 15η ημέρα) και στα μέσα του πειράματος 2 και 1,5mg/L (37η ημέρα) είναι φυσιολογικές καθώς ακολουθούν την αρχή του κύκλου του αζώτου (νιτροποιητική διαδικασία).



**Διάγραμμα 4:** Διακύμανση των νιτρωδών ( $\text{NO}_2^-$ ) σε διάστημα 55 ημερών

Οι τιμές των νιτρικών ( $\text{NO}_3^-$ ) δεν παρουσίασαν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα δύο συστήματα (Διάγραμμα 5). Διακυμάνσεις παρατηρούνται στην αρχή (3η ημέρα) της πειραματικής διαδικασίας 4 και 5mg/L λόγω αλλαγής νερού (80%) και στα μέσα του πειράματος 15 και 10mg/L (22η ημέρα) εξαιτίας της μεγάλης απορρόφησης των νιτρικών ιόντων από τα φυτά. Μετά την συγκομιδή των φυτών παρατηρείται σταδιακή αύξηση αυτών.



**Διάγραμμα 5:** Διακύμανση των νιτρικών ( $\text{NO}_3^-$ ) σε διάστημα 55 ημερών  
 \* Οι τιμές του  $\text{NO}_3^-$  παρουσιάζονται σε λογαριθμική κλίμακα

### 3.2 Παράμετροι ανάπτυξης ιχθύων

Οι παράμετροι ανάπτυξης της τιλάπιας αντίστοιχα και για τα δύο συστήματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.

Και στα δύο συστήματα ενυδρείοποιίας, δεν παρατηρήθηκε θνησιμότητα καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας.

Στα ψάρια χορηγήθηκε εμπορική τροφή με μέσο επίπεδο διατροφής 2,3%. Παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στις τιμές του τελικού βάρους (t-test,  $t=11,934$ ,  $p=0,000$ ) όπου τα ψάρια του συστήματος I, έδειξαν συγκριτικά μεγαλύτερες τιμές στο τελικό μέσο βάρος ( $W_t$ , g)  $146,9 \pm 52,75g$  σε σχέση με τα ψάρια του συστήματος II με τελικό μέσο βάρος  $101,7 \pm 43,17$ .

Σε ότι αφορά την αύξηση του βάρους των ψαριών ( $WG$ , g), υπάρχει στατιστικά σημαντική αύξηση στα ψάρια του συστήματος I, ( $95,8 \pm 52,75g$ ) σε σύγκριση με τα ψάρια του συστήματος II, ( $51,7 \pm 43,17$  g) (t-test,  $t=6,915$ ,  $p=0,000$ ).

Τα ψάρια του συστήματος I επέδειξαν καλύτερη ανάπτυξη έχοντας ημερήσιο ειδικό ρυθμός ανάπτυξης (SGR%/ημέρα)  $1,8 \pm 0,67$  από τα ψάρια του συστήματος II όπου ο ρυθμός ανάπτυξης ήταν  $1,2 \pm 0,72$  χωρίς όμως να παρουσιάζουν σημαντικές στατιστικές διαφορές (t-test,  $t=2,824$   $p=0,826$ ).

Ο συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR) ήταν για το σύστημα II, 1,1 σε σύγκριση με τον συντελεστή μετατρεψιμότητας του συστήματος I που ήταν 0,7.

**Πίνακας 6:** Παράμετροι ανάπτυξης ιχθύων σε θερμοκρασία 26 °C σε μέσους όρους  $\pm$  τυπικές αποκλίσεις, με  $n=15$ , 19 αντίστοιχα για το κάθε σύστημα σε διάστημα 55 ημερών. Όμοια γράμματα (a) δηλώνουν μη στατιστικές σημαντικές διαφορές ( $p>0,05$ ).

<b>Παράμετροι ανάπτυξης των ιχθύων και αξιοποίησης τροφής</b>		
	<b>ΣΥΣΤΗΜΑ I</b>	<b>ΣΥΣΤΗΜΑ II</b>
Συνολικά παρεχόμενη τροφή (g)	974,3	1129,6
Τελικά βάρη Wt (g)	$146,9 \pm 52,75a$	$101,7 \pm 43,17b$
Αύξηση βάρους WG (g)	$95,8 \pm 52,75a$	$51,7 \pm 43,17b$
Ημερήσιος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης SGR (%/ημέρα)	$1,8 \pm 0,67a$	$1,2 \pm 0,72a$
Συντελεστής μετατρεψιμότητας τροφής FCR	0,7	1,1

### 3.3 Παράμετροι ανάπτυξης φυτών

Η συγκομιδή των φυτών πραγματοποιήθηκε στο στάδιο της πλήρους άνθισης πριν το πέρας του πειράματος (38η ημέρα). Οι παράμετροι ανάπτυξης των φυτών παρουσιάζονται αντίστοιχα και για τα δύο συστήματα στον Πίνακα 6.

Τα φυτά και στα δύο συστήματα παρουσίασαν σημαντική αύξηση στο τελικό ύψος. Τα φυτά του συστήματος I παρουσίασαν μεγαλύτερη κατά ύψος αύξηση  $12,6 \pm 2,48$  από τα φυτά του συστήματος II  $11,8 \pm 2,79$  cm χωρίς όμως να παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (t-test,  $t=0,723$   $p=0,653$ ).

Η ποσοστιαία αύξηση των φυτών του συστήματος I  $45,7 \pm 37,25$  ήταν μεγαλύτερη σε σύγκριση με αυτή του συστήματος II  $38,8 \pm 22,37$  % καθώς επίσης και ο ρυθμός αύξησης  $0,2 \pm 0,17$  και  $0,1 \pm 0,08$  αντίστοιχα.

Τα φυτά της δεξαμενής II ανέπτυξαν περισσότερους πλάγιους κλάδους  $9,3 \pm 3,24$  συγκριτικά με τα φυτά της δεξαμενής I  $8,9 \pm 4,16$ .

Η συνολικά παραγόμενη βιομάζα, νωπό βάρος φυτών χωρίς τη ρίζα, του συστήματος I  $147,1 \pm 84,45$  ήταν μεγαλύτερη συγκριτικά με τη παραγόμενη του συστήματος II  $131,1 \pm 50,23$  gr.

**Πίνακας 7:** Παράμετροι ανάπτυξης φυτών σε μέσους όρους  $\pm$ τυπικές αποκλίσεις, με n= 9 για το κάθε σύστημα σε διάστημα 55

<b>Παράμετροι ανάπτυξης των φυτών</b>		
	<b>ΣΥΣΤΗΜΑ I</b>	<b>ΣΥΣΤΗΜΑ II</b>
Αρχικό ύψος φυτού (cm)	$12,6 \pm 2,48$	$11,8 \pm 2,79$
Τελικό ύψος φυτού (cm)	$18,6 \pm 7,73a$	$16,3 \pm 5,02a$
Ποσοστιαία Αύξηση (%)	$45,7 \pm 37,25$	$38,8 \pm 22,37$
Ρυθμός Αύξησης	$0,2 \pm 0,17$	$0,1 \pm 0,08$
Αριθμός πλάγιων κλάδων	$8,9 \pm 4,16$	$9,3 \pm 3,24$
Νωπό βάρος (gr)	$147,1 \pm 84,45$	$131,1 \pm 50,23$

## 4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

### 4.1 Φυσικοχημικοί παράμετροι νερού

Η θερμοκρασία του νερού και στα δύο συστήματα διατηρούνταν σταθερή στους  $25,7 \pm 0,81^\circ \text{C}$  καθώς σύμφωνα με τους Fortes (2005), Danaher *et al* (2013) και Hu *et al* (2015), η θερμοκρασία των  $26-27,5^\circ \text{C}$  είναι ιδανική για τη πλήρη ανάπτυξη και αναπαραγωγή της τιλάπιας.

Τα επίπεδα του διαλυμένου οξυγόνου καθώς και τα ποσοστά κορεσμού του, διατηρούνταν σταθερά στα  $7,0 \pm 0,23 \text{ mg/L}$  και  $84,2 \pm 1,94 \%$  αντίστοιχα καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας.

Στο συγκεκριμένο πείραμα, το pH κυμάνθηκε στο σύστημα I στο  $7,1 \pm 0,4$  και στο σύστημα II στο  $7,04 \pm 0,4$ . Σταθερή τιμή του pH μεταξύ 6,5 και 7,2 σε ένα σύστημα ενυδρειοπονίας, σύμφωνα με τους Tyson *et al* (2004) και Cerozi & Fitzsimmons (2016), προσφέρει τις ιδανικότερες συνθήκες για τη πραγμάτωση της διαδικασίας της νιτροποίησης, την αύξηση των ψαριών και για τη βέλτιστη παραγωγή φυτικής βιομάζας. Σύμφωνα με το Lennard (2012), σε ένα σύστημα ενυδρειοπονίας, υπάρχουν δύο αντίθετες δυνάμεις που λειτουργούν και επηρεάζουν άμεσα το pH του νερού. Η διαδικασία της νιτροποίησης, η μετατροπή δηλαδή της αμμωνίας σε νιτρικά ιόντα, μειώνει τη τιμή του pH, σε αντίθεση με την απορρόφηση νιτρικών ιόντων από τα φυτά όπου κατά τη διαδικασία, απελευθερώνονται διττανθρακικά ανιόντα με αποτέλεσμα η τιμή του να ανεβαίνει. Κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας, πραγματοποιήθηκαν προσθήκες φωσφορικού οξέος ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) και νιτρικού οξέος ( $\text{HNO}_3$ ) με σκοπό τη μείωση του pH. Μείωση του pH, σύμφωνα με τον White (2012) ενισχύει τη μετατροπή των ιόντων σε αφομοιώσιμες από τα φυτά υδατοδιαλυτές μορφές. Επιπλέον προσθήκες ανθρακικού ασβεστίου ( $\text{CaCO}_3$ ) και υδροξείδιο του καλίου

(KOH) με σκοπό την αύξησή της τιμής του pH και τον ταυτόχρονο εμπλουτισμό του νερού πραγματοποιήθηκαν, όταν οι συνθήκες το απαιτούσαν. Οι Tang & Chen (2015) αναφέρουν πως σε όξινο pH (<6) η νιτροποιητική διαδικασία αναστέλλεται. Αλλαγές και προσθήκες νερού αντίστοιχα, επηρέαζαν τη τιμή του pH λόγω της σκληρότητας του νερού του δικτύου. Αποτέλεσμα των παραπάνω προσθηκών, είναι οι ακραίες τιμές του pH που εμφανίζονται την 4η, 9η, 17η, 21η, 25η και 29η ημέρα του πειράματος αντίστοιχα και για τα δύο συστήματα με τις υψηλότερες τιμές του pH να παρατηρούνται στο 7,7 και τις χαμηλότερες στο 6,5.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) σε όλη την πειραματική διαδικασία κυμάνθηκε στο σύστημα I στα  $1009 \pm 192,62 \mu\text{S}$  και στο σύστημα II στα  $985 \pm 0189,02 \mu\text{S}$ . Στο χρονικό διάστημα των 55 ημερών παρατηρήθηκε σταδιακή αύξηση της τιμής της όπως ήταν αναμενόμενο καθώς σύμφωνα με τον Dunwoody (2013) όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των φορτισμένων ιόντων (θρεπτικών συστατικών), τόσο μεγαλύτερη είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα. Οτιδήποτε προσθέτουμε στο νερό της δεξαμενής, όπως χημικά, πρόσθετα ή τροφές, καθώς διαλύεται επηρεάζει την ποιότητα του νερού και συνεπώς, αυξάνει την αγωγιμότητα. Αξίζει να σημειωθεί ότι σύμφωνα με τον Lennard (2012) η ηλεκτρική αγωγιμότητα υποδείχνει το συνολικό αριθμό των θρεπτικών συστατικών και όχι το είδος αυτών. Και στα δύο συστήματα, υπήρξε μία πτωτική τάση στις αρχές του πειράματος (4η ημέρα) καθώς πραγματοποιήθηκε μεγάλη αλλαγή νερού, όπου απομάκρυνε και τα κυκλοφορούμενα θρεπτικά συστατικά με χαμηλότερη τιμή  $760$  και  $740\mu\text{S}$  αντίστοιχα για το κάθε σύστημα.

Σταθερή τιμή των ολικών διαλυτών στερεών (TDS)  $554 \pm 83,4$  και  $540 \pm 80,7$  ppm αντίστοιχα σε κάθε σύστημα, δεν επηρέασε αρνητικά την ανάπτυξη της τιλάπιας καθώς σε έρευνα του Little (2008) αναφέρεται ότι τιμή  $>850 \text{ mg/L}$  αναστέλλει την ανάπτυξη

των ψαριών και αυξάνει τη θνησιμότητά τους. Σε παρόμοια έρευνα των Azim & Little (2008), αναφέρονται ως ιδανικές τιμές <500 mg/L.

Οι διακυμάνσεις της ολικής αμμωνίας θα μπορούσαν να διαχωριστούν σε τρεις φάσεις. Κατά την έναρξη του πειράματος, η συγκέντρωση της αμμωνίας ήταν σε υψηλά επίπεδα 4mg/L και στα δύο συστήματα καθώς τα νιτροποιητικά βακτήρια δεν είχαν προλάβει ακόμη να εγκαθιδρυθούν στο βιολογικό φίλτρο και να την μετατρέψουν σε νιτρικά ιόντα. Για την αποφυγή όξυνσης του προβλήματος, πραγματοποιήθηκε ασιτία και συντηρητικό τάισμα (1-1,5% ζώντος βάρους) αντίστοιχα και για τα δύο συστήματα σε αντιδιαστολή με τους Randal & Tsui (2002) όπου σε έρευνα που πραγματοποίησαν παρατήρησαν ότι τα ψάρια τα οποία έχουν τραφεί, είναι λιγότερο ευαίσθητα σε συνθήκες με υψηλά επίπεδα αμμωνίας. Παράλληλα, πραγματοποιήθηκε εμβολιασμός με βακτήρια στο βιολογικό φίλτρο και τοποθέτηση πρόσθετων βιοσφαιρών αυξημένης ειδικής επιφάνειας SSA (specific surface area) με σκοπό την ενίσχυσή του. Σύμφωνα με τον Carroza *et al* (2012) η ειδική επιφάνεια (SSA) περιγράφει τον αριθμό των βακτηρίων (*Nitrosomonas & Nitrobacter*) που καλύπτουν το υλικό πλήρωσης ώστε να οξειδώσουν την αμμωνία σε νιτρώδη και νιτρικά ιόντα. Δηλαδή, σε κάθε κυβικό μέτρο του όγκου που καλύπτει το υλικό πλήρωσης (βιόσφαιρες) η επιφάνεια που έχουν ενεργή δράση τα βακτήρια. Έρευνα των Wahyuningsih *et al* (2015) σε καλλιέργεια σπανακιού και εκτροφή τιλάπιας, απέδειξε ότι εμβολιασμός με βακτήρια μειώνει τη συσσωρευμένη αμμωνία.

Με την ανάπτυξη και εγκαθίδρυση των βακτηρίων, η συσσωρευμένη αμμωνία άρχισε σταδιακά (11η και 16η ημέρα πειράματος) να οξειδώνεται σε νιτρώδη και αργότερα σε νιτρικά ιόντα και να παραμένει σε επίπεδα <0,4 mg/L. Η αρχική οξείδωση πρώτα σε νιτρώδη και έπειτα σε νιτρικά οφείλεται σύμφωνα με τους Yamamoto *et al*

(2008) στους διαφορετικούς ρυθμούς ανάπτυξης των δύο γενών βακτηρίων καθώς σε θερμοκρασία μεγαλύτερη των 25 °C το γένος *Nitrosomonas* αναπτύσσεται γρηγορότερα συγκριτικά με το γένος *Nitrobacter*.

Οι διακυμάνσεις των νιτρωδών ( $\text{NO}_2^-$ ) πραγματοποιήθηκαν στο σύστημα I την 11η και 37η ημέρα και για το σύστημα II την 15η και 37η ημέρα. Η αύξηση αυτή ερμηνεύεται ως φυσιολογική σύμφωνα με τη καμπύλη της νιτροποίησης όπου όταν οι τιμές της αμμωνίας αρχίσουν να μειώνονται, αυξάνονται οι τιμές των νιτρωδών και αντιστοίχως με τις τιμές των νιτρικών. Όπως παρατηρήθηκε και νωρίτερα, οι τιμές της αμμωνίας τις ίδιες ημέρες υποχωρούν συνεπώς, τα *Nitrosomonas* έχουν αναπτυχθεί και οξειδώνουν την αμμωνία σε νιτρώδη. Στη συνέχεια, παρατηρείται σταδιακή μείωση των νιτρωδών <0,4 mg/L καθώς τα *Nitrobacter* οξειδώνουν τα νιτρώδη σε νιτρικά ιόντα. Ακραίες τιμές εμφανίζονται στα 4 και 3 mg/L αντίστοιχα σε κάθε σύστημα.

Το τελικό στάδιο της διαδικασίας της νιτροποίησης είναι η παραγωγή νιτρικών ιόντων από τα βακτήρια (*Nitrobacter*). Κατά την έναρξη του πειράματος τα νιτρικά ιόντα βρίσκονταν σε υψηλά επίπεδα 100 mg/L για το λόγο αυτό πραγματοποιήθηκε η τοποθέτηση των φυτών. Μέσα στο διάστημα των επόμενων ημερών, λόγω αλλαγής νερού (συνολικού ποσοστού 80%) τα νιτρικά ιόντα απομακρύνθηκαν από το σύστημα αποτέλεσμα με τη μεταβολή της τιμής, στα 5 mg/L. Για επιτάχυνση παραγωγής νέων θρεπτικών απαραίτητων για την ανάπτυξη των φυτών καθώς και μείωση της αμμωνίας και ενίσχυση του βιολογικού φίλτρου όπως αναλύθηκε και πρωτύτερα, έγινε εμβολιασμός με βακτήρια. Αποτέλεσμα αυτού, ήταν η αύξηση των παραγόμενων νιτρικών την 8η ημέρα του πειράματος 80 και 100 mg/L αντίστοιχα και η ακολουθία σταδιακής ανόδου. Με τη τιμή των θρεπτικών συστατικών να φτάνει τα 140 mg/L (13η ημέρα), έγινε εισαγωγή ενός ακόμη φυτού βασιλικού καθώς με έρευνες των Rakocsy



(1997) και Somerville *et al* (2014) όταν οι τιμές των νιτρικών ( $\text{NO}_3^-$ ) αυξάνονται, το σύστημα χρειάζεται ενίσχυση της φυτικής βιομάζας για απορρόφηση της περίσσειας παραγόμενης ποσότητας αζώτου. Σύμφωνα με τον Clarkson (1991) η πρόσληψη των θρεπτικών από τα φυτά είναι ανάλογη του ρυθμού ανάπτυξης και των απαιτήσεών τους το οποίο συμφωνεί με τη διακύμανση των νιτρικών του πειράματος καθώς οι τιμές αυτών συνεχώς μειώνονταν (μικρή περιεκτικότητα στην υδάτινη στήλη) δηλώνοντας αυξημένη πρόσληψη από τα φυτά καταλήγοντας σε "ξέπλυμα" του νερού από θρεπτικά. Σε αντίστοιχο πείραμα του Buzby *et al* (2013) σε καλλιέργεια μαρουλιού, μεγαλύτερη προσρόφηση νιτρικών παρουσιάστηκε με το πέρας των δύο εβδομάδων όταν δηλαδή τα φυτά είχαν μεγαλώσει όπως επίσης και σε πείραμα των Hu *et al* (2014) σε καλλιέργεια κινέζικου λάχανου (pak-choi), η απορρόφηση των θρεπτικών ήταν ανάλογη με την αύξηση των φυτών. Από την αφαίρεση των φυτών (38η ημέρα) και έπειτα παρατηρήθηκε συσσώρευση των θρεπτικών συστατικών με τη τιμή να φτάνει τα 240 mg/L.

#### 4.2 Ανάπτυξη τιλάπιας

Κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας στα δύο συστήματα ενυδρειοπονίας, δεν παρουσιάστηκε θνησιμότητα. Οι Lim & Webster (2011), αναφέρουν ότι η ανθεκτικότητα των ψαριών στο stress, μεταξύ των άλλων επηρεάζεται από την ποιότητα του νερού εκτροφής, τις ελλείψεις στη διατροφή και την προδιάθεση του ψαριού σε ασθένειες. Αυτό συμφωνεί με το συγκεκριμένο πείραμα, καθώς οι παράμετροι του νερού κυμάνθηκαν μέσα στα όρια ανοχής της τιλάπιας και το επίπεδο διατροφής ήταν αποτρεπτικό για την εμφάνιση φαινομένων κανιβαλισμού όπως παρατηρήθηκαν σε παρόμοια έρευνα των Macintosh & De Silva (1984). Έρευνα των

Tyson *et al* (2008) σε καλλιέργειας ντομάτας και αγγουριών και ταυτόχρονης εκτροφής τιλάπιας μέσου βάρους 32,4 gr διάρκειας 5 εβδομάδων παρουσίασε θνησιμότητα 18,5% σε pH 6,0, 8% σε pH 7,0 και 3,4% σε τιμές pH 8,0.

Σε ότι αφορά την αύξηση του βάρους (WG), τα ψάρια του συστήματος I παρουσίασαν στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερη αύξηση ( $95,8 \pm 52,75$  g), σε σχέση με τα ψάρια του συστήματος II ( $51,7 \pm 43,17$  g). Η διαφορά αυτή είναι δικαιολογημένη, καθώς τα επίπεδα της αμμωνίας του συστήματος II άργησαν να σταθεροποιηθούν συγκριτικά με αυτά του συστήματος I και έτσι στα ψάρια παρέχονταν πολύ μικρότερο ποσοστό διατροφής. Το αποτέλεσμα αυτό συμφωνεί με έρευνα των De Silva *et al* (1989) όπου περιορισμένο καθεστώς διατροφής επηρεάζει αρνητικά την ανάπτυξη των ψαριών.

Σε παρόμοια έρευνα του El- Sayed (2002) εκτροφή τιλάπιας σε περιβάλλον με υψηλές τιμές αμμωνίας και υψηλά επίπεδα διατροφής, επέφεραν ασθένειες και θνησιμότητα στα ψάρια. Σε έρευνα των Liang *et al* (2013) καλλιέργειας σπανακιού και εκτροφής τιλάπιας διάρκειας τεσσάρων εβδομάδων με κυμαινόμενα παρεχόμενη τροφή 5-3% καθώς τα ψάρια μεγάλωναν, η αύξηση βάρους ήταν 43,9% με 2,4% μεγαλύτερη αύξηση ψαριού σε 24 ώρες φωτός σε σύγκριση με 24 ώρες νύχτας καθώς και 4,9% μεγαλύτερη αύξηση ψαριού σε μεγαλύτερες συχνότητες ταΐσματος ανά ημέρα.

Τα ψάρια του συστήματος I επέδειξαν καλύτερη ανάπτυξη έχοντας ημερήσιο ειδικό ρυθμός ανάπτυξης (SGR%/ημέρα)  $1,8 \pm 0,67$  από τα ψάρια του συστήματος II  $1,2 \pm 0,72$  χωρίς όμως να παρουσιάζουν σημαντικές στατιστικές διαφορές. Η διαφορά αυτή, εξηγείται όπως αναφέρθηκε και παραπάνω εξαιτίας της διαφορετικής σταθεροποίησης των παραμέτρων του νερού, συνεπώς και του κυμαινόμενου ποσοστού παρεχόμενης τροφής. Τα αποτελέσματα αυτά, συμφωνούν με τη διατροφική έρευνα του

Chowdhury (2011) όπου η συνολική αύξηση βάρους και ο ημερήσιος ρυθμός ανάπτυξης της τιλάπιας, είναι υψηλότερα σε υψηλότερα διατροφικά επίπεδα (επίπεδο διατροφής 2% WG 130,3 και SGR 0,86 και επίπεδο διατροφής 3% WG 147,5 και SGR 0,87 με διάρκεια πειράματος δύο εβδομάδων).

Ο συντελεστής μετατρεψιμότητας τροφής (FCR) παρουσιάστηκε μεγαλύτερος στα ψάρια του συστήματος II με τιμή 1,1 συγκριτικά με τα ψάρια του συστήματος I που ήταν 0,7. Έρευνα των Knaus & Palm (2017), σε καλλιέργεια αγγουριού και εκτροφή τιλάπιας μικρότερου αρχικού μέσου βάρους (16,7 gr) διάρκειας 70 ημερών και 1,2% επίπεδο διατροφής, έδειξε συνολική αύξηση βάρους 40,7% και συντελεστή μετατρεψιμότητας τροφής  $1,31 \pm 0,2$ . Σε 35 ημερών καλλιέργεια μαρουλιού και εκτροφή τιλάπιας αρχικού μέσου βάρους 20 gr από τους Wahyuningsih *et al* (2015) με επίπεδο διατροφής ψαριών 3% ζώντος βάρους, συχνότητα ταΐσματος 3 φορές την ημέρα και 30% πρωτεϊνικής σύστασης τροφής, παρουσιάστηκε 96,1% θνησιμότητα, 28,5% συνολική αύξηση βάρους καθώς και FCR 1,6. Οι Hu *et al* (2015) σε καλλιέργεια ντομάτας και κινέζικου λάχανου και εκτροφή τιλάπιας μέσου βάρους 30 gr διάρκειας 5 μηνών βρήκαν το FCR να παίρνει τιμές 1,6 και 2,0 σε συνδυασμό του με καλλιέργεια ντομάτας και λάχανου αντίστοιχα. Έρευνα εκτροφής 8 εβδομάδων μεγαλύτερων ψαριών τιλάπιας αρχικού μέσου βάρους  $120,5 \pm 27,3$  gr από τους Hu *et al* (2014) με παρεχόμενη τροφή 42% πρωτεϊνικής σύστασης και συχνότητα ταΐσματος μία φορά ημερησίως έδειξε συνολική αύξηση βάρους 17% και FCR 2,2. Αυξημένος συντελεστής μετατρεψιμότητας τροφής εμφανίστηκε καθώς στο συγκεκριμένο πείραμα ημερησίως πρόσθεταν άμυλο.

Όπως συμπεραίνεται από τις παραπάνω έρευνες, η αξιοποίηση της τροφής από τα ψάρια και ο συντελεστής μετατρεψιμότητάς της, επηρεάζεται από πολλούς

παράγοντες όπως το είδος του ψαριού, το σωματικό βάρος του ψαριού, η ηλικία του ψαριού (Pandian, 1967), η συχνότητα ταΐσματος (Condrey, 1982) καθώς και επίσης από τις συνθήκες εκτροφής όπως η αλκαλικότητα (Kinne, 1960, De Silva & Perera, 1976) και η θερμοκρασία (Menzel, 1958) του νερού.

#### 4.3 Ανάπτυξη βασιλικού

Στο συγκεκριμένο πείραμα, η συνολικά παραγόμενη βιομάζα του βασιλικού ήταν  $147,1 \pm 84,45$  g και  $131,1 \pm 50,23$  g αντίστοιχα για το κάθε σύστημα. Η ποσοστιαία κατ' ύψος αύξηση ήταν  $45,7 \pm 37,25$  και  $38,8 \pm 22,37$  και ο αριθμός πλάγιων κλάδων μετρήθηκε  $8,9 \pm 4,16$  και  $9,3 \pm 3,24$  αντίστοιχα στο κάθε σύστημα. Ο ρυθμός αύξησης των φυτωρίων βασιλικού κυμάνθηκε στο  $0,2 \pm 0,17$  στο σύστημα I και  $0,1 \pm 0,08$  στο σύστημα II.

Τα φυτά του συστήματος I παρουσίασαν μεγαλύτερη κατ' ύψος αύξηση συγκριτικά με τα φυτά του συστήματος II. Αυτό οφείλεται στο κυμαινόμενο επίπεδο διατροφής των ιχθύων μεταξύ των συστημάτων με σκοπό τον έλεγχο της αμμωνίας. Έτσι η εισαγωγή αζώτου στο σύστημα II άργησε χρονικά να εισαχθεί συγκριτικά με το σύστημα I καταλήγοντας έτσι σε προσρόφηση μικρότερων ποσοτήτων αζώτου συνεπώς σε μικρότερη κατ' ύψος αύξηση. Επιπλέον, τα φυτά του συστήματος II, παρουσίασαν μεγαλύτερη ανάπτυξη σε πλάγιους κλάδους σε σύγκριση με τα φυτά του συστήματος I το οποίο μπορεί να οφείλεται στη διαφορετική τοποθέτηση του ανεμιστήρα, συνεπώς σε διαφορετικές συνθήκες μικροκλίματος (θερμοκρασία, υγρασία). Έρευνα των Liang *et al* (2013) σε εκτροφή τιλάπιας και καλλιέργειας σπανακιού έδειξε συνολική αύξηση βιομάζας 169% με τη μεγαλύτερη αύξηση 11% να παρατηρείται σε αυξημένες

συχνότητες ταΐσματος και 12% μεγαλύτερη αύξηση σε συνθήκες 24ωρου φωτισμού συγκριτικά με 12ωρου σκότους.

Ο ρυθμός αύξησης των φυτών εξαρτάται από το στάδιο ανάπτυξης των φυτών. Έρευνα των Buzby & Lin (2014) σε καλλιέργεια μαρουλιού και νεροκάρδαμου διάρκειας 10 εβδομάδων, έδειξε ότι τα φυτά αυξάνονταν γρηγορότερα στα πρώτα στάδια ανάπτυξης, με ρυθμό αύξησης 0,1 τις πρώτες εβδομάδες της καλλιέργειας σε αντίθεση με το πέρας των 7 εβδομάδων όπου ο ρυθμός αύξησης έπεσε στο 0,01.

Στο αρχικό στάδιο ανάπτυξης των φυτών, δεν πραγματοποιούνταν μεγάλη απορρόφηση νιτρικών (υψηλές τιμές  $\text{NO}_3$ ) ενώ καθώς τα φυτά αναπτύσσονταν, η ποσότητα των νιτρικών ιόντων μέσα στην υδάτινη στήλη άρχισε να μειώνεται (22 ημέρα). Αυτό αποδεικνύει ότι η αύξηση των φυτών, αυξάνει και τις απαιτήσεις αυτών σε θρεπτικά συστατικά, συνεπώς οδηγεί στη μεγαλύτερη δέσμευση νιτρικών. Παρόμοιες έρευνες των Buzby *et al* (2013) και Hu *et al* (2014) που αναφέρθηκαν παραπάνω (4.1 Φυσικοχημικοί παράμετροι νερού) καταλήγουν σε ίδια συμπεράσματα καθώς επίσης και ότι η σταδιακή τοποθέτηση φυτών σε ένα σύστημα ενυδραιοπονίας προσφέρει καλύτερη διαχείριση των θρεπτικών από τα φυτά λόγω του διαφορετικού σταδίου ανάπτυξής τους.

Στα μέσα της πειραματικής διαδικασίας παρουσιάστηκε εξάντληση των θρεπτικών συστατικών από την υδάτινη στήλη, εμφανίζοντας χλώρωση στα φύλλα του βασιλικού. Για την αποφυγή όξυνσης του προβλήματος πραγματοποιήθηκε συμπλήρωση στοιχείων ασβεστίου και σιδήρου.

Λίγες ημέρες πριν τη συγκομιδή του βασιλικού παρατηρήθηκαν αυξημένες τιμές των νιτρικών και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας οδηγώντας σε συμπέρασμα μη απορρόφησης των θρεπτικών από τα φυτά. Σε έρευνα του Rakocy *et al* (2004)

παρόμοιες παρατηρήσεις, έδειξαν προσβολή του ριζικού συστήματος από *Pithium* λόγω συνθηκών κακού αερισμού των ριζών.

Με την έξοδο των φυτών από το σύστημα (38η ημέρα) παρατηρήθηκε συσσώρευση των θρεπτικών συστατικών. Παρόμοια αποτελέσματα βρέθηκαν σε έρευνες των Graber & Junge (2009) και Hu *et al* (2014) όπου με τη συγκομιδή των φυτών παρατηρήθηκαν μεταβολές στη τιμή της ολικής αμμωνίας και των νιτρικών ιόντων. Οι Hu *et al* (2014) σε έρευνά τους αναφέρουν ότι στις ρίζες των φυτών υπάρχουν εγκατεστημένες αποικίες νιτροποιητικών βακτηρίων για το λόγο αυτό παρατηρείται μεταβολή της αμμωνίας κατά την αφαίρεση των φυτών από το σύστημα.

Περαιτέρω έρευνα θα πρέπει να διεξαχθεί σε ότι αναφορά τους φυσικοχημικούς παραμέτρους του νερού και τον τρόπο που επιδρούν στην ανάπτυξη των φυτών και στην αξιοποίηση της τροφής από τα ψάρια με σκοπό την αύξησή τους σε ένα σύστημα ενυδρειοπονίας. Τέλος, μελέτη θα πρέπει να εκπονηθεί στη επιλογή καλλιέργειας διαφόρων ποικιλιών φυτών και εκτροφή διαφόρων ειδών ψαριών σε ένα σύστημα ενυδρειοπονίας, συγκρίνοντας τις αλληλεπιδράσεις αυτών με τελικό σκοπό την ευζωία τους και τη μέγιστη παραγωγή βιοασφαλών τροφίμων.

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν η μελέτη των αλληλεπιδράσεων των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού σε σχέση με την ανάπτυξη της τιλάπιας, του βασιλικού και των νιτροποιητικών βακτηρίων καθώς και η μελέτη των απαραίτητων θρεπτικών συστατικών υπεύθυνων για την ανάπτυξή τους σε ένα σύστημα ενυδρειοπονίας συνολικού όγκου νερού 720 L.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι:

- Χρονικό διάστημα τριών εβδομάδων ήταν απαραίτητο για τη ρύθμιση του βιολογικού φίλτρου με σκοπό τη σωστή λειτουργία των νιτροποιητικών βακτηρίων.
- Αριθμός ψαριών τιλάπιας 15 και 19 αντίστοιχα για το κάθε σύστημα, με καλλιεργητική επιφάνεια 9 φυτά/ 0,7 m<sup>2</sup> προσέφερε πλήρη δέσμευση των νιτρικών ιόντων, εξευγενισμό του νερού και πλήρη ανάπτυξη σε ψάρια και φυτά.
- Παροχή νερού  $Q=414$  L/h (6900 cm<sup>3</sup>/min), ταχύτητα φιλτραρίσματος  $V= 1,12$  cm/min και παροχή αέρα 2 L/min διατήρησε ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξη των ψαριών, την πρόσληψη θρεπτικών συστατικών, την υγεία, την ενδυνάμωση του ριζικού συστήματος των φυτών και την ευζωία των βακτηρίων (αποτελεσματικότερη διεργασία της νιτροποίησης).
- Η αποδοτικότητα του φίλτρου ήταν αποτελεσματική καθώς, η οξειδωτική ικανότητα 8,14 mg/L O<sub>2</sub> του βιολογικού φίλτρου σε σύγκριση με το βαθμό ρύπανσης που προκλήθηκε από τα ψάρια 1,2 mg/L και 1,52 mg/L αντίστοιχα για το κάθε σύστημα ήταν μεγαλύτερη, προσφέροντας έτσι πλήρη οξείδωση της

παραγόμενης αμμωνίας, διατήρηση και εξυπηρέτηση της συγκεκριμένης βιομάζας της τιλάπιας χωρίς να διαταραχθεί η ισορροπία του συστήματος.

- 80% αλλαγή νερού του συστήματος και εμβολιασμός με νιτροποιητικά βακτήρια είναι απαραίτητες διαδικασίες για τη ρύθμιση της ολικής αμμωνίας (τιμές  $>3$  mg/L).
- Στο σύστημα II ο ρυθμός ανάπτυξης των νιτροποιητικών βακτηρίων ήταν μικρότερος σε σύγκριση με αυτόν του συστήματος I με αποτέλεσμα τη ρύθμιση της αμμωνίας για το σύστημα I την 11 ημέρα του πειράματος και την 16 ημέρα για το σύστημα II.
- Για το περιορισμό των υψηλών τιμών της τοξικής μη ιονισμένης αμμωνίας των συστημάτων  $0,78 \pm 0,83$  και  $1,11 \pm 1,21$  mg/L κρίνεται απαραίτητη η μείωση της παρεχόμενης τροφής στο υπό εξέταση σύστημα ενυδρείοποιίας αρχικού επιπέδου διατροφής 3% στο 2,3%.
- Ο ημερήσιος ρυθμός ανάπτυξης (SGR%/ημέρα) και η αύξηση βάρους (WG, g), της τιλάπιας, είναι υψηλότεροι με τιμές  $1,8 \pm 0,67$  και  $95,8 \pm 52,75$  gr αντίστοιχα στο σύστημα I, σε σχέση με τις τιμές  $1,2 \pm 0,72$  και  $51,7 \pm 43,17$  g αντίστοιχα στο σύστημα II.
- Ο συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής σε ένα σύστημα ενυδρείοποιίας θα πρέπει να υπολογίζεται ανάλογα με το είδος και ηλικία των ψαριών, το ποσοστό αζώτου της παρεχόμενης τροφής, την συχνότητα των γευμάτων, και τις εκάστοτε φυσικοχημικές παραμέτρους του συστήματος όπως την θερμοκρασία του συστήματος. Στο συγκεκριμένο σύστημα το FCR κυμάνθηκε μεταξύ 0,7-1,1 και ήταν ικανοποιητικό.



- Κυμαινόμενο διατροφικό επίπεδο στις τιλάπιες, επηρεάζει την αύξηση του βασιλικού. Με τιμές της συνολικά παραγόμενης βιομάζας  $147,1 \pm 84,45\text{g}$  και  $131,1 \pm 50,23\text{g}$ , της ποσοστιαίας κατ' ύψος αύξησης  $45,7 \pm 37,25$  και  $38,8 \pm 22,37$  και του ρυθμού αύξησης  $0,2 \pm 0,17$  και  $0,1 \pm 0,08$  αντίστοιχα για το σύστημα I και II.
- Η δέσμευση των νιτρικών ιόντων από το σύστημα αυξάνεται όσο ο βασιλικός αναπτύσσεται. Από την 22 ημέρα και έπειτα, όπου οι ανάγκες του βασιλικού σε θρεπτικά με σκοπό την ανάπτυξή του ήταν αυξημένες, παρατηρήθηκε εξάντληση των αζωτούχων από την υδάτινη στήλη. Μειωμένη ποσότητα νιτρικών στο σύστημα δεν είναι γεγονός που προβληματίζει, καθώς σε ένα σύστημα ενυδραιοπονίας τα θρεπτικά συστατικά παράγονται σε καθημερινή βάση.
- Αυξημένες τιμές των νιτρικών και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ενόσω στο σύστημα ενυδραιοπονίας καλλιεργούνται φυτά, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι δεν πραγματοποιείται απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών από τα φυτά. Ο βασιλικός δεν δεσμεύει θρεπτικά συστατικά όταν έχει φτάσει στο στάδιο πλήρους ωρίμανσης και όταν υπάρχει προσβολή από ασθένεια στο ριζικό του σύστημα.
- Η έξοδος των φυτών από το σύστημα την 38η ημέρα της πειραματικής διαδικασίας, μείωσε τη τιμή του pH  $6,8$  και  $6,6$  αντίστοιχα και στα δύο συστήματα καθώς η διαδικασία δέσμευσης των θρεπτικών συστατικών από τα φυτά που αυξάνει το pH διακόπηκε ενώ η διεργασία της νιτροποίησης που τείνει να το μειώνει συνεχίστηκε.

- Με την έξοδο των φυτών από το σύστημα πραγματοποιήθηκε συσσώρευση θρεπτικών συστατικών με την ανώτερη τιμή να φτάνει στα 240 mg/ L και στα δύο συστήματα καθώς δεν υπήρχαν φυτά βασιλικού για να τα δεσμεύσουν.

## 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

### I. Αγγλική βιβλιογραφία

Agnes J., Junge R., Bardocz T. (2015) Aquaponics Business in Europe: Some Legal Obstacles and Solutions. *Ecocycles* 1(2): 3–5. <http://dx.doi.org/10.19040/ecocycles.v1i2.30>

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

Azim ME, Little DC. The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* 2008;283:29–35.

Bahadir Koka.S, Diler I, Dulluc A, Yigit N.O, Bayrak H. (2009) Effect of different feed types and feed conversion ratio of angelfish (*Pterophyllum scalare*, Lichtenstein 1823). *Journal of Applied Biological Sciences*, 3: 6-10

Beaman, A. R., Gladon, R. J., & Schrader, J. A. (2009). Sweet Basil Requires an Irradiance of 500  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  for Greatest Edible Biomass Production, *44*(1), 64–67.

Berillis P., Martin S. and Mente E. Histological methods to assess the effect of diet and a single meal on the liver and intestine of rainbow trout: fishmeal and fish oil replacement with plant protein and oil. In: P. Berillis (Ed). *Trends in Fisheries and Aquatic Animal Health*. Bentham Science publishers, in press.

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

Carroza. C., Hurtado F., & X. Gutierrez. (2012). Nitrogen compounds' biofiltration under bacterium fixation substrates. *Lat. Am.J.Aquatic. Res.*, 40 (3):772-785

Carvalho-Filho JLS, Blank AF, Alves PB, Ehlert PAD, Melo AS, Cavalcanti SCH, Arrigoni-Blank MF, Silva-Mann R (2006). Influence of the harvesting time, temperature and drying period on basil (*Ocimum basilicum* L.) essential oil. *Rev Bras Farmacogn* 16: 24-30.

- Cebron, 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
- Chang X., P. G. A. and C. J. W. (2005). Effect of temperature integration on the growth and volatile oil content of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 80(August 2017), 593–598. <https://doi.org/10.1080/14620316.2005.11511983>
- Chowdhury D.K. (2011). Optimal feeding rate for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)
- Clarkson R. & Lane S. (1991). Use of a small-scale nutrient-film hydroponic technique to reduce mineral accumulation in aquarium water, *Aquatic Fish Management*, 22: 37–45
- Condrey, R.E., (1982). Ingestion-limited growth of aquatic animals: the case for Blackman kinetics. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 39: 1585-1595.
- 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>
- De Silva S.S., & Perera P.A.B., (1976). Studies on the young grey mullet, *Mugil cephalus* L. I. Effects of salinity on food intake, growth and food conversion. *Aquaculture*, 7: 327-338.
- De Silva S.S., Gunasekera R.M., Atapattu D. (1989). The Dietary Protein Requirements of Young Tilapia and an Evaluation of the Least Cost Dietary Protein Levels, 80, 271–284.
- Diver S. (2006). *Aquaponics—Integration of Hydroponics with Aquaculture*, National Sustainable Agriculture Information Service. ATTRA Publication. 28pp
- Dunwoody, R. K. (2013). *Aquaponics and hydroponics: the effects of nutrient source and hydroponic subsystem design on sweet basil production*. Department of Biology and Agriculture University of Central Missouri
- Ebeling.M.J., Timmons. B. M., J.J.Bisogni. (2006). Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia-nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture* 257:346-358.
- Ehret, D. L., Zebarth, B. J., Portree, J., & Garland, T. (1998). Clay addition to soilless media promotes growth and yield of greenhouse crops. *HortScience*.

El-Sayed A.-F.M., (2002). Effects of stocking density and feeding levels on growth and feed efficiency of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) fry. *Aquaculture Research* 33:621-626.

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>

Francis-Floyd R., Watson C., Petty D., Poudel D. (2012). Ammonia in Aquatic Systems, Department of Agriculture, Cooperative Extension Service, University of Florida, IFAS

Goto E., Both A., Albright L., Langhans R., Leed A., (1996). Effect of dissolved oxygen concentration on lettuce growth in floating hydroponics Proceedings of the International Symposium in Plant Production in Closed Systems, *Acta Horticulture*, 440: 205-210

Graber A. & Junge R. (2009). Aquaponic systems: nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production, *Desalination*, 246: 147-156.

Hafedh, Y. S. Al. (1999). Effects of dietary protein on growth and body, 385–393.

Henze, M., Harremoes, P (1990). Chemical-Biological nutrient removal the hypro concept. In: *Chemical water and wastewater treatment* (eds H.H.Hann, R Klute). Springer Verlag.

Houlihan D., Boujard T., Jobling M. (2001) *Food Intake in Fish*. 2<sup>nd</sup> Edition, In: Published by Blackwell Science Ltd, London

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., Brotto, A. C., & Khanal, S. K. (2015). Effect of plant species on nitrogen recovery in aquaponics. *Bioresource Technology*, 188, 92–98. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.01.013>

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.

Huguenin, E., J. J. Colt. (2002). *Design and operating guide for aquaculture seawater systems*. 2<sup>nd</sup> Edition. Elsevier Scientific publishes, Amsterdam, The Netherlands. 328pp.

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

Kinne, O., (1960). Growth, food intake and food conversion in a euryplastic fish exposed to different salinities. *Physiol. Zool.*, 33: 288-317.

Kloas W., Groß R., Baganz D., Graupner J., Monsees H., Schmidt U., Staaks G., Suhl J., Tschirner M., Wittstock B., Wuertz S., Zikova A., Rennert B. (2015). A new concept for aquaponic systems to improve sustainability, increase productivity, and reduce environmental impacts. *Aquacult Environ Interact* 7: 179–192

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>

König B., Junge R., Bittsanszky A., Villarroel M., Komives T. (2016) On the sustainability of aquaponics. *Ecocycles* 2(1): 26-32, doi: 10.19040/ecocycles.v2i1.50

Lennard W. (2012) Aquaponic System Design Parameters: Basic System Water Chemistry. Aquaponic Fact Sheet Series- System Water Chemistry. Aquaponic Solutions

Lennard, W. A., & Leonard, B. V. (2006). A comparison of three different hydroponic sub-systems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an Aquaponic test system. *Aquaculture International*, 14(6), 539–550. <https://doi.org/10.1007/s10499-006-9053-2>

Li W. & Li Z. (2009). In situ nutrient removal from aquaculture wastewater by aquatic vegetable *Ipomoea aquatica* on floating beds, *Water Science and Technology*, 59: 1937-1943

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

Lim C.E., Webster C.D., (2006). *Tilapia: biology, culture, and nutrition*. The Haworth Press Inc., 10 Alice Street, Bringhamton, NY 13904-1580, USA.

Little DC, Murray FJ, Azim E, Leschen W, Boyd K, Young JA, et al. Options for producing a warm-water fish in the UK: limits to ‘Green Growth’? *Trends Food Sci Technol* (2008) 19:255–64.

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

- Macintosh D.J., De Silva S.S., (1984). The influence of stocking density and food ration on fry survival and growth in *Oreochromis mossambicus* and *O. niloticus* female × *O. aureus* male hybrids reared in a closed circulated system. *Aquaculture* 41:345-358.
- McMurtry, M. R., D. C. Sanders, J. D. Cure, and R. G. Hodson. (1997). Effects of biofilter/culture tank volume ratios on productivity of a recirculating fish/vegetable co-culture system. *J Appl. Aquaculture* 7(4):33-51.
- Menzel. D.W., (1958). Utilization of algae for growth by the angel fish, *Holocanthus bermudensis*. *J. Cons. Int. Explor. Mer*, 24: 308-313.
- 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)
- National Research Council (1993) Nutrient requirements of fish. National Research Council of the United States, Committee on Animal Nutrition, Publ. National Academy Press, Washington D.C
- 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.
- Ng, W. K., & Romano, N. (2013). A review of the nutrition and feeding management of farmed tilapia throughout the culture cycle. *Reviews in Aquaculture*, 5(4), 220–254. <https://doi.org/10.1111/raq.12014>
- Pandian, T.J., (1967). Intake, digestion, absorption and conversion in the fishes *Megalops cyprinoides* and *Ophiocephalus striatus*. *Mar. Biol.*, 1: 16-23.
- Rakocy J., Bailey D., Shultz K., Cole W., (1997). Evaluation of a commercial-scale aquaponic unit for the production of tilapia and lettuce. In: Fitzsimmons, K. (Ed.), *Tilapia Aquaculture: Proceedings of the Fourth International Symposium on Tilapia in Aquaculture at Orlando, Florida*. Northeast Regional Agricultural Engineering Service, Ithaca, New York, USA, pp. 357-372.
- Rakocy, J.E. and Hargreaves J.A. (1993). Integration of vegetable hydroponics with fish culture: A review, p. 112-136. In: J.K. Wang (ed.) *Techniques for Modern Aquaculture*, Proceedings Aquacultural Engineering Conference. American Society for Agricultural Engineers, St. Joseph, MI.
- Rakocy J.E., Master M.P., Losordo T.M. (2006) Recirculating aquaculture tank production system : Aquaponics – integrating fish and plant culture. SRAC publication no. 454. USDA
- Racocy J., Bailey D., Shultz C., Danaher J. (2004) Design and Operation of the UVI Aquaponic System. University of the Virgin Islands. Agricultural Experiment Station. St. Croix, U.S. Virgin Islands

Rakocy, J.E., Shultz, R.C., Bailey, D.S. and Thoman, E.S. (2004) Aquaponic production of tilapia and basil: comparing a batch and staggered cropping system. *Acta Horticulturae (ISHS)* 648:63-69.

Randall, D. J., & Tsui, T. K. N. (2002). Ammonia toxicity in fish. *Marine Pollution Bulletin*, 45(1–12), 17–23. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(02\)00227-8](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(02)00227-8)

Riche, M., & Garling, D. (2003). Feeding Tilapia in Intensive Recirculating Systems. North Central Regional Aquaculture Center, (August), 0–3.

Roosta H. & Hamidpour M. (2013). Mineral nutrient content of tomato plants in aquaponic and hydroponic systems: Effect of foliar application of some macro- and micro-nutrients, *Journal of Plant Nutrition*, 36: 2070–2083

Savvas D., Passam H., Olympios C. (2006). Effects of ammonium nitrogen on lettuce grown on pumice in a closed hydroponic system, *HortScience*, 41: 1667–1673

Seawright D., Stickney R., Walker R. (1998). Nutrient dynamics in integrated aquaculture-hydroponics systems, *Aquaculture*, 160: 215-237

Siddiqui, A. Q., Howlader, M. S., & Adam, A. A. (1988). Effects of Dietary Protein Levels on Growth , Feed Conversion and Protein Utilization in Fry and Young Nile Tilapia , *Oreochromis niloticus*, 70, 63–73.

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. pp. 262

Spotte S. (1991) *Captive Seawater Fishes*. John Wiley & Sons, New York, pp 94

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.

Tang, H.L., Chen, H., (2015). Nitrification at full-scale municipal wastewater treatment plants: evaluation of inhibition and bioaugmentation of nitrifiers. *Bioresour. Technol.* 190, 76–81.

Thorarinsdottir, R. I. (2015). *Aquaponics Guidelines*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4975.6880>

Timmons M.B., Ebeling J.M. (2013) *Recirculating Aquaculture*, 3rd ed.; Ithaca Publishing Company LLC: Ithaca, NY, USA



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. Hortecchnology 21: 6–13

Tyson R., White J., King K. (1999). Outdoor floating hydroponic systems for leafy salad crop and herb production. Proceedings of The Florida State Horticultural Society, 112: 313–315

Tyson R., Simonne E., Treadwell D. (2008). Reconciling pH for Ammonia Biofiltration and Cucumber Yield in a Recirculating Aquaponic System with Perlite Biofilters, HortScience, 43(3): 719-724

Yamamoto, T., Takaki, K., Koyama, T., Furukawa, K., (2008). Long-term stability of partial nitrification of swine wastewater digester liquor and its subsequent treatment by Anammox. Bioresour. Technol. 99 (14), 6419–6425.

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

Villarroel J. Alvariño R., Duran J. (2011). Aquaponics: integrating fish feeding rates and ion waste production for strawberry hydroponics, Spanish Journal of Agricultural Research, 9(2): 537-545

Wahyuningsih S., Effendi H., Wardiatno Y. (2015). Nitrogen removal of aquaculture wastewater in aquaponic recirculation system, International Journal of the Bioflux Society, AACL 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

## II. Ελληνική Βιβλιογραφία

Βλάχος. Ν. 2012. Εργαστηριακές Σημειώσεις Καλλιέργειες Διακοσμητικών ψαριών. Εκδόσεις ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας. Τμήμα Τεχνολογίας Αλιείας-Υδατοκαλλιεργειών. Σελ.355.

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

## III. Διαδικτυακή βιβλιογραφία

[www.fishbase.org](http://www.fishbase.org)

[www.euaquaponicshub.com](http://www.euaquaponicshub.com)

[www.ec.europa.eu](http://www.ec.europa.eu)

## ABSTRACT

Aquaponics combines the culture of aquatic animals and the cultivation of plants in recirculating systems, integrating aquaculture and hydroponics in a system without using soil. Aquaponics, promotes an innovating system as a solution to the possible environmental impacts of aquaculture, shortage of drinking water, climate change, loss of soil fertility and biodiversity. The aim of this Thesis was to construct two aquaponics systems at the Department of Ichthyology and Aquatic Environment, University Of Thessaly in Greece and rear tilapia (*Oreochromis niloticus*) combined with the cultivation of basil (*Ocimum basilicum*) to evaluate their growth rates during a 55 days trial. The aquaponics system, 720L total water capacity and 6900 cm<sup>3</sup>/min water flow, consisted of a fish culture tank, a hydroponic flowing raft tank, a mechanical filter, a biological filter and a sump. Thirty-four tilapias were reared in total. They were fed 2.3t% of their body weight daily, two times per day a pelleted diet of 50% crude protein. In each system nine basil plants were cultured at 0.7m<sup>2</sup> area. Fish survival was 100%. Weight gain (WG) (95.8±52.75 g) and specific growth rate (SGR%/day, 1.8±0.67) was higher in the first aquaponics system (system I) in comparison to the second system II, where it was 51.7±43.17 g and 1.2±0.72%/day, respectively. The food conversion ratio (FCR) was lower in system I (0.7) in comparison to system II (1.1). Plant survival rate was 100%. Total plant biomass (g), % height increase (cm) and growth rate were higher in system I (147.1±84.45g, 45.7±37.25% and 0.2±0.17, respectively) in comparison to basil cultivated in system II where it was 131.1±50.23 g, 38.8±22.37% and 0.1±0.08, respectively. Interestingly, basil cultivated in system II developed more lateral stems 9.3±3.24 than basil cultivated in system I 8.9±4.16, respectively. Further research is needed on the physiology and nutrition in a species-specific examination for developing aquaponics as a technology that contributes to a more sustainable production of food.

Key words: Aquaponics, *Oreochromis niloticus*, *Ocimum basilicum*