

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ**



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΑΤΡΩΝ**  
UNIVERSITY OF PATRAS

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

**ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**  
(Πρόγραμμα Σπουδών Τεχνολογίας Αλιείας και Υδατοκαλλιέργειών)

**«Ανάπτυξη τσιπούρας και γλιστρίδας σε ένα υφάλμυρο σύστημα  
ενυδραιοπονίας»**

**Ιωάννης Ιωαννίδης  
Χαριτίνη Τσαντήλα**

**ΜΕΣΟΛΟΓΓΙ 2022**

**«Ανάπτυξη τσιπούρας και γλιστρίδας σε ένα υφάλμυρο σύστημα  
ενυδρευσιμότητας»**

**Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:**

1. **Νικόλαος Βλάχος:** Ε.ΔΙ.Π., Τμήμα Ζωικής Παραγωγής Αλιείας και Υδατοκαλλιεργειών, Πανεπιστήμιο Πατρών, **Επιβλέπων.**
2. **Γεώργιος Χότος:** Καθηγητής, Τμήμα Ζωικής Παραγωγής Αλιείας και Υδατοκαλλιεργειών, Πανεπιστήμιο Πατρών, **Μέλος.**
3. **Κωνσταντίνος Πούλος:** Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Ζωικής Παραγωγής Αλιείας και Υδατοκαλλιεργειών, Πανεπιστήμιο Πατρών, **Μέλος.**

Αφιέρωση πρώτου συγγραφέα  
*Αφιερωμένη στον αείμνηστο και περήφανο παππού*  
*Ιωάννη Δούνη*

Αφιέρωση δεύτερου συγγραφέα  
*Αφιερωμένη στην οικογένεια μου*

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ειλικρινές μας ευχαριστίες σε όλους τους ανθρώπους που συνέβαλαν ώστε να πραγματοποιηθεί με επιτυχία η παρούσα Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία.

Πιο συγκεκριμένα, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον Δρ Νικόλαο Βλάχο, επιβλέπων της πτυχιακής εργασίας, για την πολύτιμη καθοδήγηση που μας πρόσφερε στο πειραματικό μέρος της εργασίας, αλλά και της αμέριστης βοήθειας του κατά τη διάρκεια της εκπόνηση της. Σε γενικότερο πλαίσιο, μας δόθηκε η ευκαιρία να συνεργαστούμε μαζί του καθώς και να αποκομήσουμε επιπλέον γνώσεις, τεχνογνωσία και αίσθημα επαγγελματισμού. Η στήριξη του ήταν διαρκείς και συνεχής τόσο κατά τη διάρκεια εκπόνησης της πειραματικής πτυχιακής εργασίας, όσο και κατά τη περίοδο των σπουδών μας.

Επιπλέον, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, Γεώργιο Χώτο, καθηγητή και Κωνσταντίνο Πούλο, επίκουρο καθηγητή για την βοήθεια και καθοδήγηση που μας πρόσφεραν κατά την διάρκεια συγγραφής της Προπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας.

Επίσης, ευχαριστούμε θερμά τον συμφοιτητή μας Κώστα Δεβετζόγλου, για την απεριόριστη βοήθεια που μας πρόσφερε κατά την μεταφορά και την προσαρμογή των ιχθυδίων που χρησιμοποιήθηκαν στην συγκεκριμένη Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία.

Τέλος, θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας στις οικογένειες μας, για τη συνεχή στηριξή και το κουράγιο που μας παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών και ειδικότερα κατά τη περίοδο συγγραφής της παρούσης Διπλωματικής Εργασίας.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν να μελετήσει την επίδραση διαφορετικών επιπέδων διατροφής [2%, 5%, και 7% του ζώντος βάρους ψαριού/ημέρα (ζ.β/d)] στην ανάπτυξη και επιβίωση της τσιπούρας (*Sparus aurata*) και της γλιστρίδας (*Portulaca oleracea*) καθώς και να προσδιορίσει το βέλτιστο επίπεδο διατροφής που αποδίδει τη βέλτιστη απορρόφηση σε θρεπτικά συστατικά από τη γλιστρίδα όταν καλλιεργείται σε σύστημα ενυδρειοπονίας με υφάλμυρο νερό.

Για τις ανάγκες του πειράματος, χρησιμοποιήθηκαν τρία ενυδρειοπονικά συστήματα συνολικού όγκου 375,2 L με τη μέθοδο του θρεπτικού υποστρώματος (NFT). Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 90 ιχθύδια τσιπούρας με αρχικό βάρος  $12,19 \pm 0,92$  gr και αρχικό μέσο μήκος  $9,12 \pm 0,02$  cm, τα οποία διαμοιράστηκαν ανά 30 άτομα ανά σύστημα (10 άτομα/ενυδρείο). Επίσης χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 12 φυτά γλιστρίδας με μέσο αρχικό ύψος  $16,59 \pm 1,46$  cm, τα οποία μοιράσθηκαν ανά 4 φυτά σε κάθε σύστημα.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η γλιστρίδα αναπτύχθηκε ικανοποιητικά στο ενυδρειοπονικό σύστημα στο οποίο χορηγήθηκε τροφή 5% του ζ.β/d απορροφώντας σε ικανοποιητικό βαθμό τα θρεπτικά συστατικά. Συμπερασματικά, η ενυδρειοπονία ως μια πρακτική διαδικασία χρησιμοποιεί τεχνολογίες ανακύκλωσης του νερού φιλικές προς το περιβάλλον αξιοποιώντας τους φυσικούς πόρους. Αποτελεί έναν καινοτόμο κλάδο για τη βιώσιμη ανάπτυξη στον αγροτικό τομέα, προσφέροντας αύξηση της παραγωγικής διαδικασίας και τρόφιμα υψηλής ποιοτικής και εμπορικής αξίας στους καταναλωτές.

**Λέξεις κλειδιά:** Ανάπτυξη γλιστρίδας, ανάπτυξη τσιπούρας, ενυδρειοπονία υφάλμυρου νερού, επίπεδο διατροφής.

## Abstract

The aim of the study was to investigate the effect of different feeding ratios on growth performance of gilthead seabream (*Sparus aurata*) and purslane (*Portulaca oleracea*) in a brackish aquaponic system. The aquaponic system was using the method of a nutrient film technique (NFT) and had a salinity of 5 ppt. Three different feed ratio levels were used, 2%, 5% and 7% of sea bream body weight. In total 90 juvenile seabreams were used with an initial average weight of  $12.19 \pm 0.92$  gr and an average total length of  $9.12 \pm 0.02$  cm, which separated in 30 fishes per system. Also, in total 12 purslanes were used with an average initial height of  $16.59 \pm 1.46$  cm, which were divided in four plants per aquaponic system. The results showed that the 5% feeding ratio for sea breams showed the best growth performance. In conclusion, aquaponics as a method uses environmentally friendly water recirculating techniques that utilize natural resources. It is an innovative process for sustainable development in agriculture, offering an increase in the production process and food of high quality and commercial value to consumers.

**Key-words:** Growth performance of gilthead seabream (*Sparus aurata*) and purslane (*Portulaca oleracea*), brackish aquaponic systems, feeding nutrition level.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	6
Abstract .....	7
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ .....	8
1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	10
1.1. Εννοιολογικό περιεχόμενο ενυδρείοπονίας .....	10
1.2. Συστημάτα ενυδρείοπονίας.....	11
1.2.1 Αεροπονική ενυδρείοπονία.....	12
1.2.2 Ενυδρείοπονία φυκών.....	12
1.2.3. Θαλασσινή ενυδρείοπονία και ενυδρείοπονία αλοφύτων .....	13
1.2.4 Κάθετη ενυδρείοπονία .....	14
1.2.5. Ενυδρείοπονία με χρήση της τεχνολογίας Biofloc (BFT) .....	15
1.3 Ψάρια και φυτά που χρησιμοποιούνται στα συστήματα ενυδρείοπονίας με υφάλμυρο νερό .....	15
1.4 Καλλιέργεια και συνθήκες ανάπτυξης της γλιστρίδας-απαιτήσεις φυτού.....	17
2. Υλικά και Μέθοδοι .....	19
2.1 Προμήθεια ιχθύων ( <i>Sparus aurata</i> ), φυτών ( <i>Portulaca oleracea</i> ) προσαρμογή-εγκλιματισμός. ....	19
2.2 Περιγραφή εγκαταστάσεων συστημάτων ενυδρείοπονίας .....	20
2.3 Περιγραφή χειρισμών και συνθηκών εκτροφής. ....	24
2.4 Μετρήσεις μορφομετρικών χαρακτηριστικών ιχθύων και φυτών. ....	26
2.4.1 Μετρήσεις μορφομετρικών χαρακτηριστικών των ιχθύων. ....	26
2.4.2 Μετρήσεις μορφομετρικών χαρακτηριστικών των φυτών. ....	28
2.5 Μετρήσεις αβιοτικών παραμέτρων.....	28
2.5.1 Χρωματομετρικός προσδιορισμός TAN.....	30
2.5.2 Χρωματομετρικός προσδιορισμός $\text{NO}_2^-$ .....	31
2.5.3 Χρωματομετρικός προσδιορισμός $\text{NO}_3^-$ .....	32
2.5.4 Χρωματομετρικός προσδιορισμός $\text{PO}_4^{3-}$ .....	33
2.5.5 Χρωματομετρικός προσδιορισμός KH/ALK.....	34
2.5.6 Χρωματομετρικός Προσδιορισμός Ca.....	35
2.5.7 Χρωματικός Προσδιορισμός $\text{Fe}^{+2}/\text{Fe}^{+3}$ .....	36
2.5.9 Φασματοφωτομετρικός προσδιορισμός $\text{NO}_3^-$ .....	38
2.5.10 Φασματοφωτομετρικός προσδιορισμός $\text{PO}_4^{3-}$ .....	39
2.5.11 Φασματοφωτομετρικός προσδιορισμός $\text{Mg}^{+2}$ .....	40
2.5.11 Μέτρηση Θερμοκρασία (T), pH και αλατότητας (S). ....	41
2.6 Σιτηρέσιο και χορήγηση τροφής.....	42



2.7 Προσδιορισμός κατανάλωση τροφής .....	45
2.8 Προσδιορισμός χημικής σύστασης τροφής, λευκού μυός τσιπούρας και φυτικού ιστού αντράκλας .....	48
2.8.1 Μέτρηση υγρασίας-ξηρής ουσίας.....	49
2.8.2 Μέτρηση ολικών αζωτούχων ενώσεων .....	49
2.8.3 Μέτρηση ολικών λιπιδίων .....	51
2.8.4 Μέτρηση τέφρας.....	52
2.8.5 Μέτρηση ολικής ενέργειας.....	52
2.9 Υπολογισμός λειτουργικών παραμέτρων συστημάτων ενυδρείοπονίας .....	53
2.10 Υπολογισμός δεικτών ανάπτυξης ιχθύων και διαχείρισης της τροφής .....	56
2.11 Υπολογισμός δεικτών ανάπτυξης φυτών.....	56
2.12 Στατιστική Ανάλυση.....	57
3. Αποτελέσματα.....	58
3.1 Αβιοτικοί Παράμετροι .....	58
3.2 Επιβίωση ψαριών και φυτών .....	67
3 Δείκτες ανάπτυξης ψαριών .....	68
3.4 Δείκτες αξιοποίησης και κατανάλωσης της τροφής .....	69
3.5 Δείκτες ανάπτυξης γλιστρίδας .....	70
3.6 Ποιοτική σύσταση ιστού τσιπούρας και γλιστρίδας.....	72
3.6.1 Ανάλυση σύστασης ιστού τσιπούρας .....	72
3.6.2 Χημική σύσταση κοπράνων-πεπτικότητα σε πρωτεΐνη.....	73
3.6.3 Ανάλυση χημικής σύστασης φυτικού ιστού γλιστρίδας.....	74
3.7 Δείκτες επιβάρυνσης και λειτουργίας ενυδρείοπονικών συστημάτων .....	76
4. Συζήτηση.....	<b>Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.</b>
5. Συμπεράσματα .....	<b>Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.</b>
6. Βιβλιογραφία .....	85
6.1. Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία .....	85
6.2. Ελληνόγλωσση Βιβλιογραφία .....	89

## 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1. Εννοιολογικό περιεχόμενο ενυδρειοπονίας

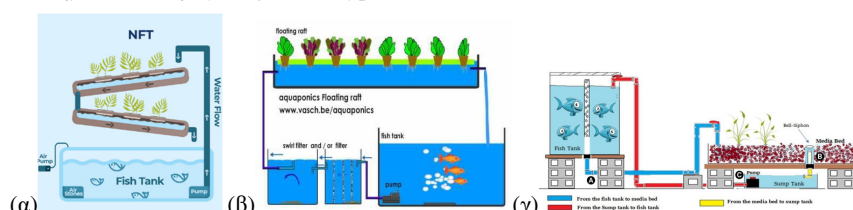
Η ενυδρειοπονία χαρακτηρίζεται ως μια νέα προσέγγιση ασφαλούς παραγωγής τροφίμων στον τομέα της γεωργικής παραγωγής. Ενσωματώνει την υδατοκαλλιέργεια με την υδροπονία σε ένα ενιαίο και συνδυασμένο σύστημα παραγωγής χρησιμοποιώντας μικρούς όγκους νερού για την καλλιέργεια (Gooley & Gavine *et al.* 2003). Ειδικότερα είναι μια καινοτόμος, αναπτυσσόμενη, βιώσιμη και οικολογική μέθοδος παραγωγής τροφίμων, όπου συνδυάζει την καλλιέργεια φυτών (φυλλώδη λαχανικά, καρποφόρα λαχανικά και αρωματικά φυτά) σε υδροπονικά συστήματα χωρίς χώμα και την εκτροφή υδρόβιων οργανισμών (ψάρια, μαλάκια, καρκινοειδή) και την ανάπτυξη βακτηρίων σε συστήματα υδατοκαλλιέργειας με ανακυκλούμενο νερό (RAS) (Nelson *et al.* 2008). Στα συστήματα ανακυκλοφορίας νερού εκτρέφονται ψάρια με αυξημένη ιχθυοπυκνότητα σε μικρό όγκο νερού, ενώ με την ταυτόχρονη επεξεργασία του νερού επιτυγχάνεται η οξείδωση των μεταβολικών προϊόντων των ψαριών σε μη τοξικά παράγωγα (νιτρικά ιόντα) τα οποία αξιοποιούνται από τα φυτά (Rakocy *et al.* 2006).

Τα πλεονεκτήματα της ενυδρειοπονίας εστιάζουν στην αυξημένη παραγωγικότητα ψαριών και φυτών, στη μειωμένη χρήση νερού, στην απουσία φυτοφαρμάκων και χημικών λιπασμάτων και στον περιορισμό εκδήλωσης των ασθενειών (Fronte *et al.* 2016).

Η βέλτιστη λειτουργία ενός συστήματος ενυδρειοπονίας επιτυγχάνεται από τον ημερήσιο ρυθμό παραγωγής αποβλήτων, όπως τα μεταβολικά προϊόντα που εκλύονται με τη μορφή αμμωνίας, τα περιττώματα των ψαριών καθώς και υπολείμματα τροφής. Τα φυτά για την ανάπτυξή τους απορροφούν τα θρεπτικά συστατικά που υπάρχουν διαλυμένα στο νερό της καλλιέργειας. Το διαλυμένο άζωτο στα συστήματα ανακυκλοφορίας του νερού εμφανίζεται σε πολύ υψηλά επίπεδα. Τα ψάρια εκλύουν άζωτο (70% της συνολικής απέκκρισης) στο νερό με τη μορφή αμμωνίας. Τα νιτροποιητικά βακτήρια (*Nitrosomonas spp* και *Nitrobacter spp*) οξειδώνουν την αμμωνία σε νιτρώδη και στη συνέχεια σε νιτρικά ιόντα. Τα νιτρικά ιόντα, σε αντίθεση με την αμμωνία και τα νιτρώδη ιόντα (τοξικοί μεταβολίτες) δεν είναι επιβλαβή για τα ψάρια και θεωρούνται ως η καταλληλότερη πηγή αζώτου για την ανάπτυξη των φυτών (Rakocy *et al.* 2006). Επίσης, στα συστήματα ενυδρειοπονίας συνίσταται η προσθήκη σιδήρου και καλίου, τα οποία αξιοποιούνται από τα φυτά για την ανάπτυξή τους, χωρίς να επιδρούν στην υγεία των ψαριών (Schmautz *et al.* 2016) μιας και τα στοιχεία αυτά απαντώνται συχνά ως υπολλειματικά

## 1.2. Συστήματα ενυδρείων

Ένα τυπικό σύστημα ενυδρείων αποτελείται από τη δεξαμενή εκτροφής των ψαριών, την υδροπονική δεξαμενή καλλιέργειας φυτών και το βιολογικό φίλτρο ενώ ανάλογα με τον τρόπο σχεδιασμού και λειτουργία τους ταξινομούνται σε συστήματα θρεπτικού υποστρώματος NFT, συστήματα επιπλέουσας σχεδίας (raft methods) και συστήματα υποστρώματος (media type).



**Εικόνα 1.** Τυπικά συστήματα ενυδρείων (α) μέθοδος θρεπτικού υποστρώματος (NFT), (β) μέθοδος επιπλέουσας σχεδίας (Raft methods) και (γ) μέθοδος υποστρώματος (Media methods), (Πηγή: [www.gogreenaquaponics.com](http://www.gogreenaquaponics.com))

Το NFT σύστημα ενυδρείων διευκολύνει την ανάπτυξη των φυτών εξαιτίας του αυξημένου ποσοστού οξυγόνου στις ρίζες των φυτών. Χρησιμοποιούνται φυτά χαμηλού ύψους καθώς επίσης και φυτά με μικρό ριζικό σύστημα προκειμένου να μην μειώνεται η ροή του νερού στο σωλήνα NFT (Engle 2015). Στη μέθοδο της επιπλέουσας σχεδίας οι ρίζες των φυτών βρίσκονται βυθισμένες στην υδροπονική δεξαμενή καταναλώνοντας ελεύθερα τα θρεπτικά συστατικά που είναι διαλυμένα στο νερό χωρίς να επηρεάζουν τη ροή του νερού σε σύγκριση με το σύστημα NFT (Engle 2015, Liang & Chien, 2013, Timmons *et al.* 2002). Στη μέθοδο του υποστρώματος τα φυτά είναι φυτεμένα στο υπόστρωμα, με τον αερισμό των ριζών να επιτυγχάνεται διαμέσου ενός σιφωνίου (ποτήρι του Αρχιμήδη) που είναι τοποθετημένο στην υδροπονική δεξαμενή εξασφαλίζονται συνεχόμενο αερισμό (Bernstein 2011). Απαραίτητη προϋπόθεση για την βέλτιστη λειτουργία του συστήματος ενυδρείων είναι η χρήση μηχανικού και βιολογικού φίλτρου.

Η ενυδρείων χαρακτηρίζεται ως μια ασφαλής διαδικασία για την παραγωγή τροφίμων στον γεωργικό τομέα, και ως εκ τούτου εφαρμόζει νέες τεχνικές όπως η ενυδρείων αεροπονία, ενυδρείων φικών, θαλασινή ενυδρείων, ενυδρείων αλοφύτων, κάθετη ενυδρείων και ενυδρείων με τη χρήση της

τεχνολογίας biofloc. Η ενυδραιοπονία, χρησιμοποιεί την υδατοκαλλιέργεια και την υδροπονία προκειμένου να παράξει τρόφιμα με αποτελεσματικό τρόπο, ούτως ώστε να καλύψει τις απαιτήσεις φυτών και ψαριών καθώς και να κατανοήσει τις απαραίτητες διεργασίες για τη θρέψη των φυτών.

### **1.2.1 Αεροπονική ενυδραιοπονία**

Η λειτουργία του συστήματος αεροπονίας συνίσταται στον ψεκασμό των ριζών των φυτών με θρεπτικό διάλυμα. Οι ρίζες των φυτών βρίσκονται σε αιώρηση και ανά τακτά χρονικά διαστήματα τροφοδοτούνται με τα σταγονίδια μέγεθους 5 έως 50 μm θρεπτικού διαλύματος τα οποία ψεκάζονται μέσω συστήματος ψεκασμού.

Οι Weathers και Zobel (1992) αναφέρουν ότι, τα φυτά που καλλιεργούνται με τη διαδικασία της αεροπονίας αναπτύσσονται σε φυσιολογικά επίπεδα και η μέθοδος καλείται ως αεροϋδροπονία (aero-hydroponics) και όχι ως αεροπονία (aerponics).

Ο Hikosaka (2014) τονίζει, ότι τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν μικρότερους όγκους νερού καθώς είναι περισσότερο χρήσιμα και ευκολότερα στη διαχείριση σε σχέση με τα υδροπονικά συστήματα. Οι Clawson *et al.* (2000) αναφέρουν ότι, σ' ένα αεροπονικό σύστημα το μέγεθος των σταγονιδίων επηρεάζει την απορρόφηση σε θρεπτικά συστατικά λόγω της ανάπτυξης βακτηρίων και μύκητων που δημιουργούνται από τον συνεχή ψεκασμό.

Η χρήση των αποβλήτων υδατοκαλλιέργειας στην αεροπονική ανάπτυξη των φυτών δεν έχει μελετηθεί εκτενώς και ως εκ τούτου θα αποτελέσει αντικείμενο μελλοντικών ερευνών. Στις ιδιαιτερότητες συγκαταλέγεται η ανάπτυξη και η αντιμετώπιση των παθογόνων μικροοργανισμών που πιθανά να αναπτύσσονται σε αυτή τη μορφή καλλιέργειας.

### **1.2.2 Ενυδραιοπονία φυκών**

Τα μικροφύκη είναι μονοκύτταρα φωτοαυτότροφα με το μέγεθός τους να κυμαίνεται από 0,2 μm έως 100 μm τα οποία στην πλειοψηφία τους απαντώνται στα υδάτινα περιβάλλοντα. Η φωτοσύνθεση των μικροφυκών σε σχέση με των ανώτερων φυτών δεν διαφέρουν σε σημαντικό βαθμό (Deppeler *et al.* 2018). Η ανάπτυξη τους επιτυγχάνεται με ελάχιστα θρεπτικά συστατικά ενώ μπορούν να προσαρμοστούν εύκολα σε

διάφορες περιβαλλοντικές συνθήκες (Gordon & Polle 2007). Επιπρόσθετα, από τα απόβλητα τα μικροφύκη αξιοποιούν τα ανόργανα θρεπτικά συστατικά (Ayre *et al.* 2017).

Τα φύκη καλλιεργούνται:

- σε φωτοβιοαντιδραστήρες που είναι τυπικές κλειστές καλλιέργειες οι οποίες καλύπτονται με διάφανο υλικό, περιορίζοντας την εξάτμιση και την επιμόλυνση της καλλιέργειας, ενώ μπορεί να σημειωθούν στο ελάχιστο απώλειες οξυγόνου (O<sub>2</sub>), (Moheïmani *et al.* 2011).
- σε ανοιχτές λίμνες-υδατοσυλλογές σε μεγάλη κλίμακα με μικρότερο κόστος και είναι εύκολη στην λειτουργία τους σε σχέση με τους φωτοβιοαντιδραστήρες. Είδη που καλλιεργούνται με επιτυχία είναι η *Dunaliella salina*, *Spirulina sp.*, και *Chlorella sp.* (Borowitzka & Moheïmani 2013).
- σε βιουμένια (στερεά υλικά), η οποία είναι μια εναλλακτική μέθοδος σύμφωνα με την οποία τα φύκη προσκολλούνται στην επιφάνεια του βιουμενίου και αναπτύσσονται ικανοποιητικά παρατηρώντας μείωση του στο περιβαλλοντικό στρες (π.χ. pH, αλατότητα, τοξικότητα μετάλλων, υψηλή ακτινοβολία) καθώς και να μειωθεί ο ρυθμός απορρόφησης των θρεπτικών ουσιών (Wijihastuti *et al.* 2017).

Το φως και η θερμοκρασία παίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των φυκών και την παραγωγική τους διαδικασία. Τα βασικότερα θρεπτικά συστατικά είναι το άζωτο, ο φώσφορος και ο άνθρακας (Oswald *et al.* 1988) και το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) στην καλλιέργεια των φυκών,εφόσον επηρεάζει την αναπτυξή τους. Τα φύκη στα ενυδρειοπονικά συστήματα δημιουργούν προβλήματα στη ροή του νερού και στην κατανάλωση του οξυγόνου. Οι Addy *et al.* (2017), αναφέρουν, ότι τα φύκη συνεισφέρουν στην βελτίωση της ποιότητας του νερού και συμβάλλουν στη μείωση του pH που συνδέεται με τη βιοχημική διεργασία της νιτροποίησης.

### 1.2.3. Θαλασινή ενυδρειοπονία και ενυδρειοπονία αλοφύτων

Η ενυδρειοπονία σε γλυκό νερό είναι μία από τις πιο αναγνωρισμένες τεχνικές παραγωγή τροφίμων, περιορίζονται ολοένα και περισσότερο, ενώ, η αλατότητα του εδάφους αυξάνεται σταδιακά σε πολλά μέρη του κόσμου (Turcios & Parenbrock 2014).

Ο όρος "maroponics" δηλαδή θαλάσσια ενυδρειοπονία καθιερώθηκε για τα ενυδρειοπονικά συστήματα που χρησιμοποιούν θαλασσινό και υφάλμυρο νερό (Gunning *et al.* 2016). Πολλά είδη ψαριών και φυτών μπορούν να αναπτυχθούν σε διαφορετικά επίπεδα αλατότητας του νερού. Συνεπώς, πρόκειται για μια ολοκληρωμένη πολυτροφική μορφής υδατοκαλλιέργεια που συνδυάζει την παραγωγή θαλάσσιων ειδών ψαριών,

καρκινοειδών, μαλάκιων κλπ, με την παραγωγή φυτών που είναι ανθεκτικά στην αλατότητα (πχ φύκη, αλόφυτα ή γλυκόφυτα ανθεκτικά στην αλατότητα)

Οι Dufault & Korkmaz (2000) καθώς και οι Dufault *et al.* (2001) αναφέρουν ότι, η συνδυασμένη καλλιέργεια της γαρίδας με μπρόκολο (*Brassica oleracea italica*) και πιπεριά (*Capsicum annuum*) παρουσιάζοντας ικανοποιητική ανάπτυξη. Κατά συνέπεια, εξαιτίας της ανθεκτικότητάς τους στην αλατότητα, τα είδη αυτά συνυπολογίζονται στα υποψήφια είδη για την ενυδρειοπονία σε θαλασσίνο νερό με χαμηλά έως μεσαία εύρη διακύμανσης της αλατότητας.

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν με επιτυχία σε περιοχές όπου το γλυκό νερό περιορίζεται πολύ, ενώ εξαιτίας των μηχανικών φίλτρων και του ρυθμού ανακύκλωσης περιορίζεται κατά πολύ η επιβάρυνση του περιβάλλοντος με τις απορρίψεις του νερού. Συμπληρωματικά, η παρουσία ρυπαντικού φορτίου σε ανοικτά συστήματα καλλιέργειας μειώνεται σημαντικά λόγω της χρήσης του νερού που διαθέτει χαμηλά επίπεδα ρυπαντών (μειωμένα θρεπτικά συστατικά) λόγω της αυξημένης απορροφητικής ικανότητας που παρουσιάζουν τα φυτά. Η αναβάθμιση της ποιότητας του νερού, μειώνει σημαντικά την τάση για εκδήλωση ασθενειών και ως εκ τούτου, μειώνεται σημαντικά η αναγκαιότητα χρήσης αντιβιοτικών.

#### **1.2.4 Κάθετη ενυδρειοπονία**

Η παραγωγικότητα των ενυδρειοπονικών συστημάτων αυξάνεται συστηματικά όταν πραγματοποιείται σε συστήματα κάθετης καλλιέργειας (Vertical floating systems) ή επιτοίχια (living walls) (Khandaker & Kotzen 2018) και πραγματοποιείται σε κυλινδρικούς σωλήνες PVC. Στα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου συγκαταλέγονται η ικανότητα ρύθμισης της υγρασίας και ο έλεγχος της ροής του αέρα, η τοποθέτηση των ψαριών σε καραντίνα για μικρό σχετικό χρονικό διάστημα και η αποφυγή παράσιτων από τα φυτά οδηγούν στην εισαγωγή διοξειδίου του άνθρακα για την ενοϊκή ανάπτυξη των φυτών.

Υπάρχουν 3 τύποι συστημάτων κάθετης καλλιέργειας:

##### **I. καλλιέργεια σε ράφια**

Τα υποσυστήματα καλλιέργειας των φυτών τοποθετούνται σε ράφια. Η χωροθέτηση αυτή περιορίζει την άμεση επαφή με το φωτισμό (τεχνητός ή φυσικός φωτισμός) που θα πρέπει να εξασφαλίζεται σε όλα τα επίπεδα (4 επίπεδα).

##### **II. Συστήματα κατακόρυφου πύργου**

Τα φυτά καλλιεργούνται σε κάθετα υποσυστήματα σε κανάλια προς μια κατεύθυνση και σε απόσταση 0,5 μέτρα.

### III. Διαβαθμισμένες βαθμίδες

Τα συστήματα αυτά εμπεριέχουν σταθερές ή κινούμενες δεξαμενές φυτών. Ο συμπληρωματικός φωτισμός, είναι πιο σημαντικός στην κορυφή και λιγότερο σημαντικός στα χαμηλά. Μερικά συστήματα είναι κλιμακωτά για να είναι ελεύθερη η διέλευση του φως στην κορυφή.

#### 1.2.5. Ενυδραιοπονία με χρήση της τεχνολογίας Biofloc (BFT)

Η χρήση της τεχνολογίας Biofloc στην ενυδραιοπονία, συμπεριλαμβάνεται στις καινοτόμες δράσεις που έχουν αντίκτυπο στη βελτίωση και αύξηση της παραγωγικής διαδικασίας. Η επαναχρησιμοποίηση των θρεπτικών συστατικών, η ανάπτυξη των μικροοργανισμών και η μειωμένη αλλαγή νερού αποτελούν από τα κύρια χαρακτηριστικά ανάπτυξης του biofloc (Avnimelech 2015). Με την τεχνολογία biofloc αντιμετωπίζονται προβλήματα όπως η χρήση νερού και η διαχείριση της οργανικής ύλης (Stokstad 2010).

Η υψηλή αναλογία άνθρακα προς άζωτο (C:N), επιτυγχάνεται διαμέσου διατήρησης της ποιότητας του νερού και παίζει σημαντικό ρόλο στα αρχικά στάδια της καλλιέργειας, γιατί με τον τρόπο αυτό διασφαλίζεται η άριστη ανάπτυξη των ετερότροφων βακτηρίων. Η περίσσεια της οργανικής ύλης και οι τοξικές ενώσεις του αζώτου δημιουργούν προβληματισμούς για τη διαχείριση των συστημάτων Biofloc η οποία περιλαμβάνει α) με φωτοαυτοτροφική απομάκρυνση φυκιών β) ετερότροφη βακτηριακή μετατροπή του αμμωνιακού αζώτου απευθείας σε μικροβιακή βιομάζα και γ) αυτότροφη βακτηριακή οξειδωση της αμμωνίας σε νιτρικά ιόντα (Cordoba *et al.* 2015). Η εφαρμογή των συστημάτων Biofloc στην ενυδραιοπονία διαπιστώθηκε ότι μπορεί να εφαρμοστεί για την παραγωγή ψαριών ή δεκάποδων καρκινοειδών όπως των γαριδών. Σε σχέση με άλλα συστήματα ανακυκλοφορίας νερού (RAS), οι αποδόσεις των ψαριών και των φυτών βελτιώθηκαν σε μεγάλο βαθμό και επέδρασαν στην καλύτερη εικόνα των φυτών (Pinho *et al.* 2017).

#### 1.3 Ψάρια και φυτά που χρησιμοποιούνται στα συστήματα ενυδραιοπονίας με υφάλμυρο νερό

Στα ενυδραιοπονικά συστήματα θαλασσινού ή υφάλμυρου νερού επιλέγονται είδη ψαριών που μπορούν να εκτραφούν σε συστήματα θαλασσινού νερού (Alessio *et al.* 2001) και να συμβιώνουν με μεγάλη ποικιλία φυτών (Pantanella & Colla 2013). Η ενυδραιοπονία

σε υφάλμυρο νερό συνδυάζει την εκτροφή Μεσογειακών ευρύαλων ειδών ψαριών και φυτών με αυξημένη εμπορική αξία (Fronte *et al.* 2016, Nozzi *et al.* 2016)., όπως για παράδειγμα η τσιπούρα (Vlahos *et al.* 2019) , το λαβράκι (Τάσιου 2019, kapetanos *et al.* 2021) ή ο γάστρος (Theodorakaki *et al.* 2021) σε συνδυασμό με μεγάλη ποικιλία μεσογειακών φυτών, όπως τα αλόφυτα (κρίταμος) (Vlahos *et al.* 2019), τα φύκη (Boxman 2015), η αλμύρα (Kapetanos *et al.* 2021) ή γλυκόφυτα (πχ ρόκα) τα οποία παρουσιάζουν αυξημένη ανθεκτικότητα στις μεταβολές της αλατότητας (Πιν.1).

Επισπρόσθετα, είδη της οικογένειας Chenopodiaceae, όπως το είδος *Beta vulgaris* (παντζάρι) τα οποία αναπτύσσονται σε αλατότητες 3,5-7 g/L. Ο βασιλικός (*Ocimum basilicum*), η ντομάτα (*Lycopersicon esculentum*) αναπτύσσονται σε αλατότητες έως 4g/L (Pantanella & Bhujel 2015). Μεταξύ των διαφόρων ειδών φυκών αξιοσημείωτο ενδιαφέρον παρουσιάζουν η σπιρουλίνα (*Arthospira platensis*) και το φύκος chlorella (*Chlorella spp.*).

**Πίνακας 1.** Είδη ψαριών και φυτών που αναπτύσσονται με επιτυχία στην υφάλμυρη ή θαλασινή ενυδρείοπονια

Είδη ψαριών	Είδη φυτών	Βιβλιογραφικές αναφορές
<i>Dicentrarchus labrax</i>	<i>Beta vulgaris</i>	Nozzi <i>et al.</i> (2016)
<i>Rhamdia quelen</i>	<i>Lactuca sativa</i>	Rocha <i>et al.</i> (2017)
<i>Sparus aurata</i>	<i>Crithmum maritimum</i>	Vlahos <i>et al.</i> (2019)
<i>Sciaenops ocellatus</i>	<i>Batis maritima</i>	Boxman <i>et al.</i> (2015)
<i>Dicentrarchus labrax</i>	<i>Crithmum maritimum</i>	Τάσιου 2019
<i>Dicentrarchus labrax</i>	<i>Salsoda soda</i>	Kapetanos <i>et al.</i> (2021)
<i>Lisa saliens</i>	<i>Eruca sativa</i>	Theodorakaki <i>et al.</i> (2021)



#### 1.4 Καλλιέργεια και συνθήκες ανάπτυξης της γλιστρίδας-απαιτήσεις φυτού.

Η γλιστρίδα (*Portulaca oleracea*) γνωστή ως ‘αντράκλα’ ανήκει στο γένος *Portulaca* και στο είδος *oleracea* της οικογένειας *Portulacaceae*. Στην οικογένεια περιλαμβάνονται περίπου 19 γένη και 580 είδη. Εκπροσωπείται πιο πολύ στη Βόρεια και τη Ν. Αμερική. Είναι ένα θρεπτικό φυλλώδες λαχανικό που έχει εξαπλωθεί σε όλο τον κόσμο και κατάγεται κυρίως από την λεκάνη της Μεσογείου (Karkanis & Petropoulos *et al.* 2017, Petropoulos *et al.* 2018). Καλλιεργείται, ως λαχανικό (υποείδος *sativa*) σε ορισμένες περιοχές του κόσμου (Καββάδας 1956). Χρειάζεται υψηλή φωτοπερίοδο και οι σπόροι της παράγονται ανάλογα με το ποσοστό φωτός που αντανακλά το φυτό.

Είναι πλούσια σε αντιοξειδωτικά στοιχεία, πρωτεΐνες, καθώς επίσης έρευνες κατέδειξαν ότι η *Portulaca oleracea* έχει την καλύτερη θρεπτική απόδοση από τα σημαντικότερα καλλιεργούμενα λαχανικά με υψηλότερο β-καροτένιο, ασκορβικό οξύ και α-λινολενικό οξύ (Liu *et al.* 2000). Επιπρόσθετα, έχει χαρακτηριστεί ως τροφή «δύναμης», διότι περιέχει αντιοξειδωτικές ιδιότητες και θρεπτικά που είναι υψηλά (Simopoulos *et al.* 1995). Το α-λινολενικό οξύ ανήκει σε μια ομάδα πολυακόσטרων λιπαρών οξέων και διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη του ανθρώπου και στην πρόληψη ασθενειών. Ωστόσο, για τη διατροφή, η γλιστρίδα είναι εμπλουτισμένη σε βιταμίνη Α, η οποία έχει φυσική αντιοξειδωτική ιδιότητα, συμπληρωματικά περιέχει βιταμίνη C και βιταμίνες του συμπλέγματος Β, όπως ριβοφλαβίνη, νιασίνη και πυριδοξίνη. Παράλληλα όμως, έχει μνημονευθεί, ότι το φυτό αυτό μπορεί να λειτουργήσει ως φαρμακευτική ουσία, όπως για παράδειγμα για την ντοπαμίνη και για την νοραδρεναλίνη (Kilic *et al.* 2008).

Καθίσταται σαφές, ότι ένα από τα κυριότερα προβλήματα που υπάρχουν στα υδροπονικά συστήματα, είναι η συγκέντρωση ιόντων αλάτων κυρίως  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$  στα επαναχρησιμοποιούμενα διαλύματα (Savvas *et al.* 2005). Η γλιστρίδα δεν είναι ανεκτική μόνο στο αλάτι αλλά σαν φυτό είναι κατάλληλο για την αποβολή του άλατος. Η υδροπονική παραγωγή του *Portulaca oleracea* θεωρείται ως η ευχερέστερη μέθοδος καλλιέργειας και επίσης φέρνει γρηγορότερα αποτελέσματα για τον κύκλο ανάπτυξης της σε σύγκριση με την καλλιέργεια της στο έδαφος (Cros *et al.* 2007, Kasxkar *et al.* 2008).

Μελέτες, έχουν δείξει πως οι βλαστοί της γλιστρίδας είχαν υψηλότερη περιεκτικότητα σε  $\text{Na}^+$  από τις ρίζες και επίσης υπάρχει μια κλειστή σύνδεση μεταξύ της ανάπτυξης των φυτών και της πρόσληψης  $\text{Na}^+$  (Liu *et al.* 2012). Η χρησιμοποίηση του  $\text{NaCl}$  για την καλλιέργεια της γλιστρίδας από μελέτες απομάκρυνσης αλάτων (Griene & Suarez, 1997, Kilic *et al.* 2008) έδειξε πως οι συγκεντρώσεις σε  $\text{NaCl}$  ήταν μεγαλύτερες

(πάνω από 50mM). Οι Uddin *et al.* (2012a) αναφέρει ότι σε αποξηραμένα φύλλα τις γλιστρίδας η περιεκτικότητα  $\text{Na}^+$  ελαττώθηκε με την ανάπτυξη του φυτού,σε περίοδο 60 ημερών με την τοποθέτηση των νεαρών φυτών σε γλάστρες. Σε άλλη μελέτη, ο Kilic *et al.* (2008) αναφέρει ότι, υψηλότερη συγκέντρωση  $\text{Na}^+$  σε περίοδο 12 έως 38 ημερών όταν η γλιστρίδα καλλιεργείται σε άμμο.

Οι Anastasio & Carvalho (2013) αναφέρουν ότι, ότι δεν υπάρχουν συμπτώματα τοξικότητας στην γλιστρίδα όταν καλλιεργείται σε αλατούχα εδάφη, ενώ παρατηρήθηκε, ότι σε χαμηλή ένταση φωτός ελαττώνεται η περιεκτικότητα του φυτού στο αλάτι (Franco *et al.* 2011). Ας σημειωθεί ακόμα, ότι δεν έχουν γίνει πολλές έρευνες που να σχετίζονται με τις συνέπειες της αλατότητας στην ανάπτυξη του φυτού, για την απορροφητική ικανότητα του φυτού και την φωτοσυνθετική απόδοση που να έχουν καλλιεργηθεί σε εσωτερικούς συστήματα υδροπονίας με θαλασσινό νερό. Επιπλέον, σε νεαρό φυτό γλιστρίδας η πρόσληψη  $\text{CO}_2$  διαπιστώθηκε περισσότερο στο σκοτάδι, ενώ την μέρα ήταν μειωμένη (Winter & Holtum *et al.* 2014). Οι χαμηλές αποδόσεις της γλιστρίδας στην αλατότητα σύμφωνα με τους Teixeira & Carvalho (2009) οφείλονται στην μειωμένη περιεκτικότητα σε κάλιο (K), ασβέστιο (Ca), μαγνήσιο (Mg) και σίδηρο (Fe).

### 1.5.Σκοπός διπλωματικής

Σκοπός της παρούσης προπτυχιακής διπλωματικής εργασίας ήταν να μελετήσει την ανάπτυξη και επιβίωση της τσιπούρας και της γλιστρίδας σε ανακυκλούμενο υφάλμυρο σύστημα ενυδρείοπονίας όταν χορηγούνται τρία διαφορετικά επίπεδα διατροφής (2% του ζ.β/ημέρα, 5% του ζ.β/ημέρα και 7% του ζ.β/ημέρα) και την επίδραση του επιπέδου διατροφής στον ογκομετρικό ρυθμό οξείδωσης της αμμωνίας (VTR).

## 2. Υλικά και Μέθοδοι

### 2.1 Προμήθεια ιχθύων (*Sparus aurata*), φυτών (*Portulaca oleracea*) προσαρμογή-εγκλιματισμός.

Το πειραματικό μέρος της πτυχιακής εργασίας πραγματοποιήθηκε στις εργαστηριακές εγκαταστάσεις του τμήματος Ζωικής Παραγωγής, Αλιείας και Υδατοκαλλιέργειών, του Πανεπιστημίου Πατρών και πιο συγκεκριμένα στο εργαστήριο των Ενυδρείων. Τα ιχθύδια τσιπούρας (*Sparus aurata*) προμηθεύτηκαν από τον ιχθυογεννητικό σταθμό της εταιρίας ΝΗΡΕΥΣ Α.Ε. στην Ναύπακτο και μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο, ώστε να τοποθετηθούν στα ενυδρεία προσαρμογής και εγκλιματισμού (Εικ. 1). Για τη προετοιμασία και τον εγκλιματισμό των ιχθύων τσιπούρας χρησιμοποιήθηκε ένα ήδη ρυθμισμένο σε βιολογία ενυδρείο με ωφέλιμο όγκο 360 L (150 cm μήκος x 42 cm πλάτος x 57 cm ύψος) και αλατότητας 30 ppt. Καθ' όλη τη διάρκεια της προσαρμογής, γίνονταν καθημερινές μετρήσεις της θερμοκρασίας (T), της αλατότητας (S) και του pH. Για την μείωση της αλατότητας από 30 ppt στην προσδοκώμενη αλατότητα 5 ppt, πραγματοποιήθηκαν αλλαγές νερού μια φορά την εβδομάδα με νερό 0 ppt (σύμφωνα με τον τύπο της αραιώσης  $C_1 * V_1 = C_2 * V_2$ ). Με αυτό τον τρόπο θα μειωνόταν η πιθανότητα αποφυγής οσμωτικού stress στους ιχθύες.

Τα άτομα της άγριας γλιστρίδας (*P. oleracea*) (Εικ. 2) συλλέχθηκαν με τυχαίο τρόπο από αγροτική περιοχή του νομού Αιτωλοακαρνανίας και τοποθετήθηκαν σε ειδικά φυτοδοχεία, προκειμένου να εγκλιματιστούν στις νέες συνθήκες. Για τη προσαρμογή των φυτών γινόταν πότισμα με νερό με μικρή περιεκτικότητα σε αλάτι (50 mM NaCl). Το πότισμα ξεκίνησε με νερό αλατότητας 0 ppt και κάθε βδομάδα πραγματοποιούταν αύξηση της αλατότητας κατά 1 με 2 ppt μέχρι το νερό να φτάσει στο 6 ppt. Ο τρόπος διαχείρισης των φυτών βοήθησε στην αποφυγή οσμωτικού stress των φυλλωμάτων και των ριζών. Συνολικά η προσαρμογή στις συνθήκες αλατότητας διήρκεσε 30 ημέρες.



**Εικόνα 1:** Ιχθύδια - *S. aurata* στο ενδρείο προσαρμογής και εγκλιματισμού (Πηγή: προσωπικό αρχείο).



**Εικόνα 2:** Φυτικά άτομα - *P. oleracea* στα ειδικά φυτοδοχεία προσαρμογής (Πηγή: προσωπικό αρχείο).

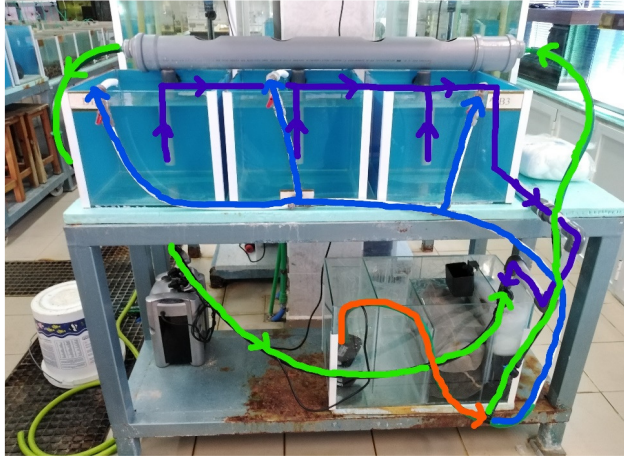
## 2.2 Περιγραφή εγκαταστάσεων συστημάτων ενδρειοπονίας.

Για τον πειραματικό σχεδιασμό της διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκαν τρία διαφορετικά συστήματα ενδρειοπονίας. Κάθε σύστημα αποτελούταν από τέσσερα διαφορετικά μέρη:

- τις υάλινες δεξαμενές των ψαριών
- το σύστημα NFT για την καλλιέργεια των φυτών,
- το φίλτρο SUMP
- ο φωτισμός των φυτών.

Τα ενυδρειοπониκά συστήματα ήταν τοποθετημένα πάνω σε μεταλλικό πάγκο δύο επιπέδων με διαστάσεις 150 cm x 60 cm. Στο πρώτο επίπεδο (επάνω μέρος του πάγκου) τοποθετήθηκαν τα τρία ενυδρειακά συστήματα εκτροφής των ψαριών, ενώ στο κάτω επίπεδο (κάτω μέρος πάγκου) τοποθετήθηκε το φίλτρο τύπου SUMP. Στο επάνω μέρος των ενυδρείων εκτροφής και σε ειδική βάση από φελιζόλ τοποθετήθηκαν οι κυλινδρικές υδροπονικές δεξαμενές NFT, ώστε να δημιουργεί μια κλίση 2% στην υδροπονική δεξαμενή διευκολύνοντας με τον τρόπο αυτό τη ροή του νερού στο NFT να γίνεται διαμέσο της βαρύτητας. Η κάθε διάταξη ολοκληρώθηκε με την τοποθέτηση φωτιστικού σε απόσταση 60 cm περίπου από την υδροπονική δεξαμενή NFT. Τοποθετήθηκε (κρεμάστηκε) φωτιστικό, ώστε να εξασφαλίζει την απαιτούμενη ένταση φωτός, κατάλληλη για την φωτοσύνθεση των φυτών.

Αναλυτικά, το κάθε σύστημα αποτελούταν από τρία υάλινα ενυδρεία όπου το κάθε ενυδρείο είχε όγκο 36,4 L (40 cm μήκος x 35 cm πλάτος x 26 cm ύψος). Το νερό τροφοδοτούταν στις δεξαμενές μέσω αντλίας (OCEAN RUNNER 2500) και η απορροή του γινόταν μέσω της υπερχειλίσης, της βαρύτητας και της διαφοράς ύψους που υπήρχε μεταξύ των δεξαμενών και του φίλτρου SUMP (Εικ. 3). Σύμφωνα με την αρχή του Torricelli, και από τον τύπο  $u = \sqrt{2gh}$ , όταν  $P = P_0$  ισχύει ότι η ταχύτητα (u) εκροής του υγρού από στόμιο εισόδου του σωλήνα που βρίσκεται σε βάθος h από την ελεύθερη επιφάνεια του υγρού, είναι ίση με την ταχύτητα που θα είχε το υγρό αν έπεφτε ελεύθερα από ύψος h.



Εικόνα 3. Κυκλοφορία νερού στα ενυδρεία εκτροφής ψαριών (Πηγή: προσωπικό αρχείο).

Το υδροπονικό σύστημα NFT (Nutrient Film Technique) αποτελούταν από ένα κυλινδρικό σωλήνα PVC διαμέτρου  $\Phi$  100 mm, οι άκρες του οποίου συνδέονταν με πλαστικούς σωλήνες ύδρευσης διατομή  $\Phi$  20 mm, σωλήνες οι οποίοι προσδιόριζαν την είσοδο και έξοδο του ρέοντος νερού από την υδροπονική δεξαμενή. Η χωρητικότητα κάθε συστήματος NFT σε φυτά υπολογίστηκε στα τέσσερα. Σε κάθε σωλήνα NFT διανοίχθηκαν οπές διαμέτρου 5 cm ώστε να τοποθετηθούν σε αυτές διάτρητα φυτοδοχεία με υπόστρωμα για τη στερέωση των φυτών. Το νερό εισερχόταν από τον σωλήνα εισροής νερού ο οποίος ήταν συνδεδεμένος με την αντλία και εξερχόταν από το σωλήνα εκροής διαμέσου της βαρύτητας, και κατέληγε στο φίλτρο.

Όπως προαναφέρθηκε, σε κάθε σύστημα ενυδρειοπονίας προστέθηκε φίλτρο τύπου SUMP, το οποίο ήταν διαμοιρασμένο σε τρία μέρη:

- το μηχανικό φίλτρο,
- το βιολογικό φίλτρο
- την αντλία

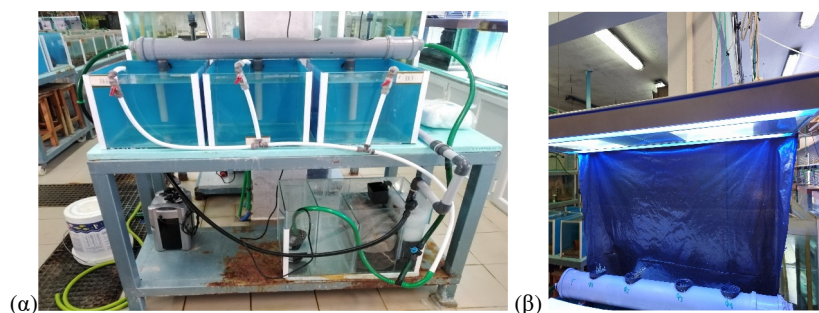
Το μηχανικό φίλτρο αποτελούταν από σφουγγάρια και υαλοβάμβακα, με σκοπό την συγκράτηση αιωρούμενων σωματιδίων, υπολειμμάτων τροφής και περιττωμάτων. Τα πορώδη υλικά πλήρωσης του φίλτρου (σφουγγάρια) είναι ειδικά επεξεργασμένα τεχνητά υλικά, ώστε να παρέχουν αρκετή ροή νερού ακόμα και όταν μειωθεί κατά πολύ το άνοιγμα του πόρου. Η διαχείριση του μηχανικού τμήματος του φίλτρου περιλάμβανε τον συχνό καθαρισμό των σφουγγαριών και του υαλοβάμβακα (1 φορά/εβδομάδα) και όταν κρίνονταν απαραίτητο γίνονταν αντικατάσταση του υαλοβάμβακα.

Το βιολογικό φίλτρο των συστημάτων αποτελούταν ισόποσα από 4 L κεραμικά υλικά και 4 L βιόσφαιρες, ώστε να ενισχυθεί η οξειδωτική ικανότητα του φίλτρου δημιουργώντας ειδική επιφάνεια για την ανάπτυξη των νιτροποιητικών βακτηρίων (*Nitrosomonas sp* και *Nitrobacter sp*), της τάξης του  $800 \text{ m}^2/\text{m}^3$ . Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η διαδικασία νιτροποίησης της αμμωνίας, ως μεταβολικό προϊόν, οξειδώνοντας τη στη συνέχεια σε νιτρώδη και νιτρικά ιόντα. Ο καθαρισμός των υλικών του βιολογικού φίλτρου, γινόταν με πλύση με νερό του συστήματος. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η απομάκρυνση διάφορων σωματιδίων χωρίς να επηρεάζει τη λειτουργικότητα και την απόδοση των μικροοργανισμών.

Τέλος, η βυθιζόμενη αντλία στο τρίτο τμήμα του φίλτρου, διοχέτευε το βιοχημικά επεξεργασμένο νερό κατά 90% στην υδροπονική δεξαμενή των φυτών και κατά 10% στις δεξαμενές εκτροφής των ψαριών δημιουργώντας μια μέγιστη ανανέωση νερού στην υδροπονική δεξαμενή ανάπτυξης των φυτών και μια ελάχιστη ανανέωση νερού στις δεξαμενές εκτροφής των ψαριών.

Πάνω από κάθε ενυδρείοπνικό σύστημα (Εικ. 4), και πιο συγκεκριμένα πάνω από κάθε growbed, τοποθετήθηκαν ειδικοί λαμπτήρες (AQUA MEDIC aqua sun light NG 2 X 150W + 2 X T5 54W) έντασης 408 watt, με σκοπό να εξασφαλισθεί η ημερήσια έκθεση των φυτών στο φως. Η φωτοπερίοδος κατά τη διάρκεια του πειράματος ρυθμίστηκε να προσομοιάζει με αυτή του φθινοπώρου από τις 8:00 πμ το πρωί έως 16:00 μμ το απόγευμα (8 ώρες φώς: 16 ώρες σκοτάδι) και αυτό επιτεύχθηκε με τη χρήση ειδικού χρονοδιακόπτη μάρκας IKEA, MAX: 3680W.

Η τεχνητή παροχή πηγής φωτός συνέβαλε στη φωτοσύνθεση των φυτών με αποτέλεσμα την ανάπτυξή τους.



**Εικόνα 4:** Ενυδρείοπνικό σύστημα που χρησιμοποιήθηκε στην πειραματική διαδικασία, (α) διαφαίνονται στο κάτω επίπεδο το φίλτρο sump, στο επάνω επίπεδο οι δεξαμενές

εκτροφής των ψαριών και η υδροπονική δεξαμενή καλλιέργειας των φυτών, και (β) κρεμαστό φωτιστικό (Πηγή: προσωπικό αρχείο).

### 2.3 Περιγραφή χειρισμών και συνθηκών εκτροφής.

«Η αρχή είναι το ήμισυ του παντός» (Πλάτων, 427-347 π.Χ.), για αυτό το λόγο και η προετοιμασία του πειράματος ήταν εξίσου σημαντική, ώστε το πείραμα να σχεδιαστεί και υλοποιηθεί χωρίς προβλήματα και να καταλήξει σε ικανοποιητικά αποτελέσματα. Για τη σωστή διαχείριση και διεξαγωγή του πειράματος, ήταν αναγκαίο το στήσιμο, η λειτουργία και ο συχνός έλεγχος των τριών ενυδρειοπονικών συστημάτων, ώστε να περιοριστούν προβλήματα τυχόν διαρροής.

Τα ενυδρειοπονικά συστήματα πληρώθηκαν με νερό αντίστροφης ώσμωσης, στο οποίο διαλύθηκε 1 kg τεχνητό θαλασσινό αλάτι (Instant ocean) ανά σύστημα, ώστε να φτάσει στη επιθυμητή αλατότητα 5 ppt. Για τη πλήρη διαλυτοποίηση του αλάτος, χρησιμοποιήθηκε ατμοσφαιρικός αέρας, ενώ η καλύτερη διάχυση του επιτεύχθηκε με προσθήκης αερόπετρων πορόλιθου (μία παροχή ανά ενυδρείο). Η τροφοδότηση των συστημάτων με αέρα γίνονταν μέσω της κεντρικής παροχής αέρα του εργαστηρίου των ενυδρείων.

Για τη βέλτιστη λειτουργία και ρύθμιση των ενυδρειοπονικών συστημάτων ως προς την αλκαλικότητα, το ιώδιο και την αφθονία των βακτηρίων προστέθηκαν τα ακόλουθα χημικά παρασκευάσματα: Alka Reef<sup>+</sup> (μία αμπούλα ανά σύστημα), Iodi<sup>+</sup> (δύο αμπούλες και για τα τρία συστήματα), Calci Reef (μία αμπούλα ανά σύστημα) και μία αμπούλα ανά σύστημα βακτήρια Bio Digest. Η προσθήκη των παραπάνω παρασκευασμάτων έγινε στο τμήμα της αντλίας του φίλτρου SUMP, ώστε να κατανεμηθεί ομοιόμορφα σε όλο το σύστημα, ενώ τα βακτήρια προστέθηκαν στο βιολογικό φίλτρο. Με αυτό τον τρόπο επιταχύνθηκε η ρύθμιση του συστήματος.

Για την ρύθμιση του κύκλου του αζώτου στα ενυδρειοπονικά συστήματα χρησιμοποιήθηκαν ιχθύες του είδους *Oreochromis niloticus* που είναι ανθεκτικά ψάρια γλυκού νερού τα οποία μπορούν να διαβιούν και να αναπαράγονται και σε υφάλμυρα νερά (Nguyen Huu et al. 2014). Σε κάθε ένα ενυδρείο τοποθετήθηκε από ένα άτομο καθώς είναι επιθετικά και χωροταξικά ψάρια. Με τη χρήση των ατόμων κόκκινης τιλάπιας και της τροφής που τους χορηγήθηκε, δημιουργήθηκε μια «φυσική» πηγή αζώτου-αμμωνίας, η οποία θα οξειδώνονταν σε νιτρώδη ιόντα και νιτρικά ιόντα διαμέσου των αυτότροφων νιτροποιητικών βακτηρίων *Nitrosomonas sp* και *Nitrobacter sp*, αντίστοιχα (Κουτούκης



2020). Οι οργανισμοί παρέμειναν στα συστήματα για το χρονικό διάστημα ενός μήνα (Δρόσος & Τζαγαδούρα 2001), δηλαδή μέχρι τη ρύθμισή τους.

Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 90 άτομα του είδους *S. aurata* μέσου αρχικού βάρους  $12,19 \pm 0,92$  gr και μέσου αρχικού μήκους  $9,12 \pm 0,02$  cm, τα οποία διαμοιράστηκαν ανά 30 ιχθύδια/σύστημα, δηλαδή 10 άτομα / ενυδρείο. Καθημερινά, τα ιχθύδια τσιπούρας ταΐζονταν με την ίδια τροφή (pellets) που θα χρησιμοποιούταν στη πειραματική διαδικασία και με επίπεδο διατροφής περίπου 2%.

Σε ότι αφορά στα φυτά της γλιστρίδας χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 12 φυτά του είδους *P. oleracea* με μέσο αρχικό ύψος  $16,59 \pm 1,46$  cm, τα οποία τοποθετήθηκαν ανά 4 άτομα σε κάθε σύστημα NFT.

Σημείο αναφοράς για την τοποθέτηση των φυτών στα ενυδρειοπονικά συστήματα αποτέλεσε η ρύθμιση του συστήματος με την εμφάνιση της τιμής των νιτρικών ιόντων, που αποτέλεσε και τη βασική προϋπόθεση για την προσαρμογή των φυτών στις καινούριες συνθήκες, ακολούθησε η διαδικασία τοποθέτησης των ατόμων γλιστρίδας στα συστήματα ενυδρειοπονίας. Τα άτομα γλιστρίδας τοποθετήθηκαν μέσα σε ειδικά διάτρητα πλαστικά φυτοδοχεία ενώ το υλικό που χρησιμοποιήθηκε ως υποστήριξη των ριζών των φυτών ήταν άργιλος τύπου LECA, αναμειγμένος με κόκκους ελαφρόπετρας. Το συγκεκριμένο υπόστρωμα παρείχε την δυνατότητα απορρόφησης και συγκράτησης νερού και κατ' επέκταση θρεπτικών ουσιών τα οποία ήταν πολύ σημαντικά για την ανάπτυξη των γλιστρίδων. Το μέσο απορρόφησης των θρεπτικών ουσιών στα φυτικά άτομα ήταν το ριζικό σύστημα. Για τη σωστή διαχείριση και προσεκτική τοποθέτηση των φυτών ακολουθήθηκαν οι παρακάτω μέθοδοι (Εικ.5):

- Επιλογή ενός ατόμου γλιστρίδας από το συνολικό πληθυσμό της δειγματοληψίας.
- Αφαίρεση του υπάρχοντος πλαστικού φυτοδοχείου.
- Προσεκτικό πλύσιμο των ριζών του φυτού από το χώμα, ώστε να αποφύγει η πιθανότητα τραυματισμού και stress στο φυτό.
- Τοποθέτηση του φυτού στο κέντρο του διάτρητου δοχείου
- Προσθήκη αργιλώδους υποστρώματος αναμειγμένο με χαλαζιακό υλικό μέχρι την πλήρωση του.
- Τοποθέτηση των φυτικών ατόμων στις ειδικές υποδοχές του συστήματος NFT των συστημάτων ενυδρειοπονίας.



**Εικόνα 5:** Μεθοδολογία διαχείρισης και προσαρμογής των ατόμων *P. oleracea* στα συστήματα ενυδρείοπονίας με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά και από πάνω προς τα κάτω (Πηγή: προσωπικό αρχείο).

## 2.4 Μετρήσεις μορφομετρικών χαρακτηριστικών ιχθύων και φυτών.

### 2.4.1 Μετρήσεις μορφομετρικών χαρακτηριστικών των ιχθύων.

Οι μετρήσεις των μορφομετρικών χαρακτηριστικών των ιχθύων *S. aurata* περιλάμβαναν τις μετρήσεις του ολικού βάρους W (gr) (Εικ.6) και του ολικού μήκους TL (cm) (Εικ.7). Οι μετρήσεις των μορφομετρικών χαρακτηριστικών πραγματοποιούνταν κάθε δεύτερη βδομάδα (15 ημέρες) και έγιναν 3 συνολικά μετρήσεις πιο συγκεκριμένα τις χρονικές περιόδους t0 (αρχή του πειράματος), t15 (15<sup>η</sup> μέρα του πειράματος) και t30 (30<sup>η</sup> μέρα του πειράματος). Για την υλοποίηση των μετρήσεων, χρησιμοποιήθηκε μια ζυγαριά ακριβείας δύο δεκαδικών ψηφίων (A & D FX 3000Di) και ένα ιχθυόμετρο. Για την

αναισθητοποίηση των ψαριών χρησιμοποιήθηκε φαινοξαιθανόλη (2-phenoxyethanol) με συγκέντρωση 0,3 mL/2.400 L σε νερό σε αλατότητα 5,5 ppt. Η φαινοξαιθανόλη είναι ένα άχρωμο, ελαιώδες και με ελάχιστη οσμή υγρό αναισθητικό. Είναι αρκετά ευδιάλυτο στο νερό και εκτός από αναισθητική χρήση, έχει αντιβακτηριακή και αντιμυκητιακή δράση. Επίσης το συγκεκριμένο αναισθητοποιητικό χρησιμοποιείται στην εντατική ιχθυοκαλλιέργεια των ευρύαλων ιχθύων (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος 2012). Πριν από κάθε μέτρηση, οι οργανισμοί αφήνονταν νηστικοί για τη χρονική περίοδο των 24 h, ώστε να μην υπάρχουν ίχνη απεκκριμάτων στον εντερικό σωλήνα.



**Εικόνα 6:** Μέτρηση ολικού βάρους (W) ατόμου *S. aurata* (Πηγή: προσωπικό αρχείο).



**Εικόνα 7:** Μέτρηση ολικού μήκους (TL) ατόμου *Sparus aurata* (Πηγή: προσωπικό αρχείο).

#### 2.4.2 Μετρήσεις μορφομετρικών χαρακτηριστικών των φυτών.

Οι μετρήσεις των φυτών (*P. oleracea*) έγιναν με βάση το ύψος του φυτού (cm), τον αριθμό των βλαστών, τον αριθμό των μαραμένων βλαστών και τον αριθμό των νέων βλαστών. Οι υπολογισμοί των μορφομετρικών χαρακτηριστικών, πραγματοποιούνταν κάθε δεύτερη βδομάδα και πιο συγκεκριμένα τις χρονικές περιόδους t0 (αρχή του πειράματος), t15 (15<sup>η</sup> μέρα του πειράματος) και t30 (30<sup>η</sup> μέρα του πειράματος). Για την υλοποίηση των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε χάρακας (Εικ.8). Η μέτρηση του ύψους περιλάμβανε τη μέτρηση του υπέργειου μέρους του φυτού δηλαδή από τη κορυφή μέχρι το σημείο του κύριου βλαστού (κοτσάνι) λίγο πριν καλυφθεί από το υπόστρωμα. Η καταμέτρηση των βλαστών υπολογίστηκε από το άθροισμα του κύριου μέρους του βλαστού (κοτσάνι) και τον αριθμό των κλάδων που είχε το κάθε άτομο γλιστρίδας.



**Εικόνα 8:** Μέτρηση ύψους (L) ατόμου *Portulaca oleracea* (Πηγή: προσωπικό αρχείο).

#### 2.5 Μετρήσεις αβιοτικών παραμέτρων.

Κατά τη διεξαγωγή του πειραματικού μέρους της παρούσης εργασίας, πραγματοποιήθηκαν χρωματομετρικές και φασματοφωτομετρικές αναλύσεις του νερού σε όλες τις μεταχειρίσεις. Από κάθε σύστημα λήφθηκαν δείγματα νερού από τα σημεία εισόδου και εξόδου του νερού στην υδροπονική δεξαμενή των φυτών (in , out) για τον προσδιορισμό των νιτρικών και φωσφορικών ιόντων, από το σημείο εισόδου του νερού στο φίλτρο (in) και εξόδου του νερού από το φίλτρο (out) για προσδιορισμό της αμμωνίας και από τα ενυδρεία εκτροφής για τον προσδιορισμό των νιτρικών ιόντων, αλκαλικότητας, σιδήρου, ασβεστίου και μαγνησίου (Εικ.9). Για τη μέτρηση κάθε παραμέτρου, λαμβάνονταν δείγμα νερού σύμφωνα με τη μεθοδολογία που περιγράφεται από τους Liddicoat et al. (1975) και στηρίζονταν στη χρήση αντιδραστηρίων φαινόλης αλκοόλης σε οξειδωτικό διάλυμα και σιδηρούχο καταλύτη σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφεται

αναλυτικά παρακάτω και αναλύονταν στο εργαστήριο. Πιο αναλυτικά, οι χρωματομετρικές αναλύσεις γίνονταν μία φορά την βδομάδα και περιλάμβαναν τους εξής υπολογισμούς:

- ολική αμμωνία (TAN, mg/L)
- νιτρώδη ιόντα ( $\text{NO}_2^-$ , mg/L)
- νιτρικά ιόντα ( $\text{NO}_3^-$ , mg/L)
- φωσφορικά ιόντα ( $\text{PO}_4^{-3}$ , mg/L)
- αλκαλικότητα (Alk, dKH)
- ασβέστιο ( $\text{Ca}^{+2}$ , ppm)
- σίδηρο ( $\text{Fe}^{+2}/\text{Fe}^{+3}$ , ppm).

Ενώ οι φασματοφωτομετρικές αναλύσεις (Εικ.10) γίνονταν μία φορά κάθε δεύτερη βδομάδα και περιλάμβαναν τους εξής υπολογισμούς:

- αμμωνιάκ (TAN, mg/L  $\text{NH}_4^+-\text{N}$ )
- νιτρικά ιόντα ( $\text{NO}_3^-$ , mg/L  $\text{NO}_3-\text{N}$ )
- φωσφορικά ιόντα ( $\text{PO}_4^{-3}$ , mg/L)
- μαγνησίο (Mg, mg/L).

Επιπλέον γίνονταν ημερήσιες μετρήσεις θερμοκρασίας (T, °C), pH και αλατότητας (S, ppt) σε κάθε μεταχείριση. Οι αναλύσεις των αβιοτικών παραμέτρων εκτελούνταν κάθε φορά πριν το πρώτο τσίγμα των ψαριών.



**Εικόνα 9:** Χρωματομετρικός προσδιορισμός αβιοτικών παραμέτρων νερού συμπεριλαμβανομένου των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).



**Εικόνα 10:** Φασματοφωτομετρικός προσδιορισμός αβιοτικών παραμέτρων νερού συμπεριλαμβανομένων των αντιδραστηρίων και των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν (Πηγή: προσωπικό αρχείο).

#### 2.5.1 Χρωματομετρικός προσδιορισμός TAN.

Για τον χρωματομετρικό προσδιορισμό της ολικής αμμωνίας TAN (mg/L), πραγματοποιούταν λαμβάνονταν δείγμα νερού από δύο σημεία κάθε συστήματος, το σημείο εισόδου (in) του νερού στο φίλτρο και το σημείο εξόδου του νερού από το φίλτρο (out). Τα υλικά που χρειάστηκαν ήταν έξι πλαστικά ποτήρια για τη συλλογή νερού, τρεις σύριγγες 5 mL, τρεις γυάλινους ογκομετρικούς σωλήνες και ένα test kit ολικής αμμωνίας (tropic marine). Η μέθοδος προσδιορισμού έλαβε χώρα σύμφωνα με τις οδηγίες που παρέχονταν από την εταιρεία και στηρίζονταν στη χρήση αντιδραστηρίων φαινόλης αλκοόλης σε οξειδωτικό διάλυμα και σιδηρούχο καταλύτη Liddicoat et al. (1975) σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφεται αναλυτικά παρακάτω (Εικ.11):

Βήμα 1<sup>ο</sup>: Προσθήκη 5 mL δείγματος σε γυάλινη κηελίδα.

Βήμα 2<sup>ο</sup>: Προσθήκη 10 σταγόνων από το αντιδραστήριο A.

Βήμα 3<sup>ο</sup>: Ανάδευση κυψελίδας για καλύτερη ομογενοποίηση του διαλύματος.

Βήμα 4<sup>ο</sup>: Προσθήκη 5 σταγόνων από το αντιδραστήριο B.

Βήμα 5<sup>ο</sup>: Ανάδευση κυψελίδας για καλύτερη ομογενοποίηση του διαλύματος.

Βήμα 6<sup>ο</sup>: Με την πάροδο 60 sec, προστίθεται 1 κουταλάκι (δοσομετρητή) από το αντιδραστήριο C.

Βήμα 7<sup>ο</sup>: Ανάδευση κυψελίδας για καλύτερη ομογενοποίηση του διαλύματος.

Βήμα 8<sup>ο</sup>: Το διάλυμα αφήνεται να ηρεμήσει για 5 min.

Βήμα 9<sup>ο</sup>: Σύγκριση χρώματος δείγματος με τα χρώματα της κλίμακας



**Εικόνα 11:** Χρωματομετρικός προσδιορισμός ολικής αμμωνίας (Πηγή: προσωπικό αρχείο).

#### 2.5.2 Χρωματομετρικός προσδιορισμός $\text{NO}_2^-$ .

Για την χρωματομετρική ανάλυση των νιτρωδών ιόντων  $\text{NO}_2^-$  (mg/L), πραγματοποιούταν δειγματοληψία από ένα σημείο κάθε συστήματος, μέσα από τη δεξαμενή των ψαριών (Ενυδρείο). Τα υλικά που χρειάστηκαν ήταν τρία πλαστικά ποτήρια για τη συλλογή νερού, τρεις σύριγγες 5 mL, τρεις γυάλινους ογκομετρικούς σωλήνες και ένα test kit νιτρωδών ιόντων (tropic marine). Η μέθοδος προσδιορισμού έλαβε χώρα σύμφωνα με τις οδηγίες που παρέχονταν από την εταιρεία και στηρίζονταν στη χρήση αντιδραστηρίων φαινόλης αλκοόλης σε οξειδωτικό διάλυμα και σιδηρούχο καταλύτη Liddicoat et al. (1975) σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφεται αναλυτικά παρακάτω (Εικ.12):

Βήμα 1<sup>ο</sup>: Προσθήκη 5 mL δείγματος νερού στην υάλινη κυψελίδα.

Βήμα 2<sup>ο</sup>: Προσθήκη 5 σταγόνων από το αντιδραστήριο Α.

Βήμα 3<sup>ο</sup>: Ανάδευση της κυψελίδας για καλύτερη ομογενοποίηση του διαλύματος.

Βήμα 4<sup>ο</sup>: Προσθήκη 2 σταγόνων από το αντιδραστήριο C.

Βήμα 5<sup>ο</sup>: Ανάδευση της κυψελίδας για καλύτερη ομογενοποίηση του διαλύματος.

Βήμα 6<sup>ο</sup>: Το διάλυμα αφήνεται να ηρεμήσει για 3 min.

Βήμα 7<sup>ο</sup>: Σύγκριση χρώματος δείγματος με τα χρώματα της κλίμακας



**Εικόνα 12:** Χρωματομετρικός προσδιορισμός των νιτρωδών ιόντων (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).

### 2.5.3 Χρωματομετρικός προσδιορισμός $\text{NO}_3^-$ .

Για την χρωματομετρική ανάλυση των νιτρικών ιόντων  $\text{NO}_3^-$  (mg/L), πραγματοποιούταν δειγματοληψία από δύο σημεία κάθε συστήματος, το σημείο In και το σημείο Out-NFT. Τα υλικά που χρειάστηκαν ήταν έξι πλαστικά ποτήρια για τη συλλογή νερού, τρεις σύριγγες 5 mL, τρεις γυάλινες κηφελίδες και ένα test kit νιτρικών ιόντων (tropic marine). Η μέθοδος προσδιορισμού έλαβε χώρα σύμφωνα με τις οδηγίες που παρέχονταν από την εταιρεία και στηρίζονταν στη χρήση αντιδραστηρίων φαινόλης αλκοόλης σε οξειδωτικό διάλυμα και σιδηρούχο καταλύτη Liddicoat et al. (1975) σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφεται αναλυτικά παρακάτω (Εικ.13):

Βήμα 1<sup>ο</sup>: Προσθήκη 5 mL δείγματος σε υάλινη κηφελίδα.

Βήμα 2<sup>ο</sup>: Προσθήκη 10 σταγόνων από το αντιδραστήριο A.

Βήμα 3<sup>ο</sup>: Ανάδευση της κηφελίδας για καλύτερη ομογενοποίηση του διαλύματος.

Βήμα 4<sup>ο</sup> (α): Ανακίνηση του αντιδραστηρίου B για 30 sec.

Βήμα 4<sup>ο</sup> (β): Προσθήκη 10 σταγόνων από το αντιδραστήριο B.

Βήμα 5<sup>ο</sup>: Ανάδευση της κηφελίδας για καλύτερη ομογενοποίηση του διαλύματος.

Βήμα 6<sup>ο</sup>: Το διάλυμα αφήνεται να ηρεμήσει για 3 min.

Βήμα 7<sup>ο</sup>: Προσθήκη 4 σταγόνων από το αντιδραστήριο C.

Βήμα 8<sup>ο</sup>: Ανακίνηση γυάλινου ογκομετρικού σωλήνα.



Βήμα 9<sup>ο</sup>: Το διάλυμα αφήνεται να ηρεμήσει για 3 min.

Βήμα 10<sup>ο</sup>: Σύγκριση χρώματος δείγματος με τα χρώματα της κλίμακας.



**Εικόνα 13:** Χρωματομετρικός προσδιορισμός των νιτρικών ιόντων (Πηγή: προσωπικό αρχείο).

#### 2.5.4 Χρωματομετρικός προσδιορισμός $\text{PO}_4^{3-}$ .

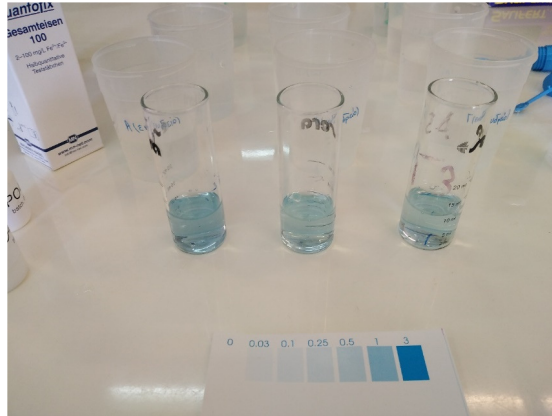
Για την χρωματομετρική ανάλυση των φωσφορικών ιόντων  $\text{PO}_4^{3-}$  (mg/L), πραγματοποιούταν δειγματοληψία από δύο σημεία κάθε συστήματος, το σημείο In και το σημείο Out-NFT. Τα υλικά που χρειάστηκαν ήταν έξι πλαστικά ποτήρια για τη συλλογή νερού, τρεις σύριγγες 5 mL, τρεις γυάλινοι ογκομετρικοί σωλήνες και ένα test kit φωσφορικών ιόντων (Profi Test). Η μέθοδος προσδιορισμού έλαβε χώρα σύμφωνα με τις οδηγίες που παρέχονταν από την εταιρεία και στηρίζονταν στη χρήση αντιδραστηρίων φαινόλης αλκοόλης σε οξειδωτικό διάλυμα και σιδηρούχο καταλύτη Liddicoat et al. (1975) σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφεται αναλυτικά παρακάτω (Εικ.14):

Βήμα 1<sup>ο</sup>: Προσθήκη 10 mL δείγματος νερού σε υάλινη κηπελίδα.

Βήμα 2<sup>ο</sup>: Προσθήκη 4 σταγόνων από το αντιδραστήριο  $\text{PO}_4$ -1 και ήπια ανάδευση της κηπελίδας για 10 sec.

Βήμα 3<sup>ο</sup>: Προσθήκη 1 κουταλιά από το αντιδραστήριο  $\text{PO}_4$ -2 και και ήπια ανάδευση της κηπελίδας για 30 sec.

Βήμα 4<sup>ο</sup>: Σύγκριση χρώματος δείγματος με τα χρώματα της κλίμακας.



**Εικόνα 14:** Χρωματομετρικός προσδιορισμός φωσφορικών ιόντων (Πηγή: προσωπικό αρχείο).

#### 2.5.5 Χρωματομετρικός προσδιορισμός ΚΗ/ΑΛΚ.

Για την χρωματομετρική ανάλυση της αλκαλικότητας (dKH), πραγματοποιούταν δειγματοληψία από ένα σημείο κάθε συστήματος, μέσα από τη δεξαμενή των ψαριών (Ενυδρείο). Τα υλικά που χρειάστηκαν ήταν τρία πλαστικά ποτήρια για τη συλλογή νερού, τρεις σύριγγες 5 mL, μία σύριγγα 1 mL, τρεις κηψελίδες υάλινες και ένα test kit αλκαλικότητας (Profi Test). Η μέθοδος προσδιορισμού έλαβε χώρα σύμφωνα με τις οδηγίες που παρέχονταν από την εταιρεία και στηρίζονταν στη χρήση αντιδραστηρίων φαινόλης αλκοόλης σε οξειδωτικό διάλυμα και σιδηρούχο καταλύτη Liddicoat et al. (1975) σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφεται αναλυτικά παρακάτω (Εικ.15):

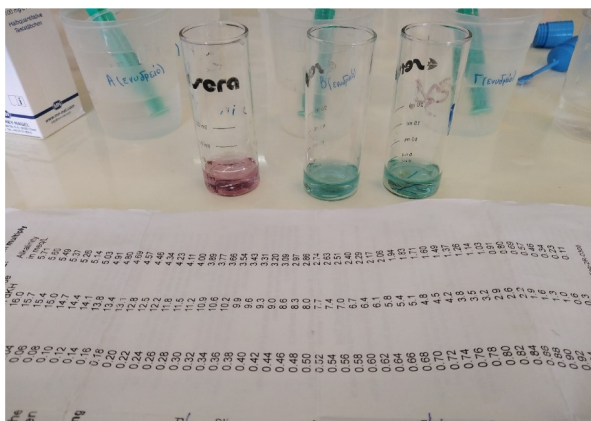
Βήμα 1<sup>ο</sup>: Προσθήκη 2 mL δείγματος σε υάλινη κηψελίδα.

Βήμα 2<sup>ο</sup>: Ανακίνηση αντιδραστηρίου ΚΗ-1 και προσθήκη 1 σταγόνας από το ίδιο αντιδραστήριο.

Βήμα 3<sup>ο</sup>: Γέμισμα σύριγγας 1 mL από το αντιδραστήριο ΚΗ-2 και προσθήκη του αντιδραστηρίου σταγόνα - σταγόνα στο διάλυμα, ώστε το χρώμα από μπλε/πράσινο να αλλάξει σε πορτοκαλί/κόκκινο ή ροζ χρώμα. Παράλληλα με τη προσθήκη των σταγόνων, απαιτείται και ανάδευση του δείγματος.

Βήμα 4<sup>ο</sup>: Παρατήρηση της τιμής του αντιδραστηρίου που απέμεινε στη σύριγγα και αφαίρεση της από το 1 mL.

Βήμα 5<sup>ο</sup>: Σύγκριση χρώματος δείγματος με τα χρώματα της κλίμακας.



**Εικόνα 15:** Χρωματομετρικός προσδιορισμός αλκαλικότητας (Πηγή: προσωπικό αρχείο).

#### 2.5.6 Χρωματομετρικός Προσδιορισμός Ca.

Για την χρωματομετρική ανάλυση του ασβεστίου Ca (ppm), γινόταν δειγματοληψία από ένα σημείο κάθε συστήματος, μέσα από τη δεξαμενή των ψαριών (Ενυδρείο). Τα υλικά που χρειάστηκαν ήταν τρία πλαστικά ποτήρια για τη συλλογή νερού, τρεις σύριγγες 5 mL, μία σύριγγα 1 mL, τρεις γυάλινοι κηπελίδες και ένα test kit ασβεστίου (Profi Test). Η μέθοδος προσδιορισμού έλαβε χώρα σύμφωνα με τις οδηγίες που παρέχονταν από την εταιρεία και στηρίζονταν στη χρήση αντιδραστηρίων φαινόλης αλκοόλης σε οξειδωτικό διάλυμα και σιδηρούχο καταλύτη Liddicoat et al. (1975) σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφεται αναλυτικά παρακάτω (Εικ.16):

Βήμα 1<sup>ο</sup>: Προσθήκη 1 mL δείγματος νερού σε υάλινη κηπελίδα.

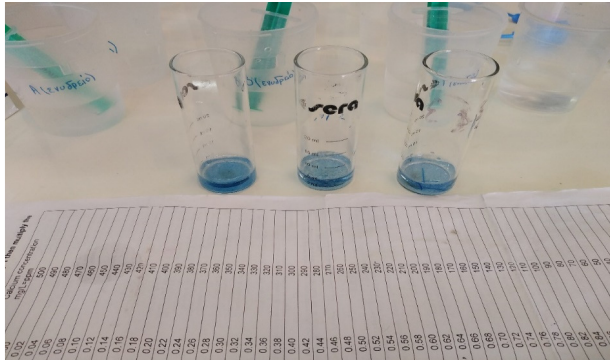
Βήμα 2<sup>ο</sup>: Προσθήκη μισής κουταλιάς του αντιδραστηρίου Ca-1 χωρίς να γίνει ανάδευση του διαλύματος.

Βήμα 3<sup>ο</sup>: Προσθήκη 4 σταγόνων από το αντιδραστήριο Ca-2 και ανάδευση του διαλύματος για 10 sec.

Βήμα 4<sup>ο</sup>: : Γέμισμα σύριγγας 1 mL από το αντιδραστήριο Ca-3 και προσθήκη του αντιδραστηρίου σταγόνα προς σταγόνα στο διάλυμα ώστε το χρώμα από πορτοκαλί/κόκκινο να αλλάξει σε διαυγές μπλε χρώμα. Παράλληλα με τη προσθήκη των σταγόνων, απαιτείται και ανάδευση του δείγματος.

Βήμα 5<sup>ο</sup>: Παρατήρηση της τιμής του αντιδραστηρίου που απέμεινε στη σύριγγα και αφαίρεση της από το 1 mL.

Βήμα 6<sup>ο</sup>: Σύγκριση χρώματος δείγματος με τα χρώματα της κλίμακας.



**Εικόνα 16:** Χρωματομετρικός προσδιορισμός ασβεστίου (Πηγή: προσωπικό αρχείο).

#### 2.5.7 Χρωματικός Προσδιορισμός $Fe^{2+}/Fe^{3+}$ .

Για την χρωματομετρική ανάλυση του σιδήρου  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$  (ppm), πραγματοποιούνταν δειγματοληψία από δύο σημεία κάθε συστήματος, το σημείο In και το σημείο Out-NFT. Τα υλικά που χρειάστηκαν ήταν έξι πλαστικά ποτήρια για τη συλλογή νερού και ένα test kit σιδήρου (Quantofix total iron 100). Η μέθοδος προσδιορισμού έλαβε χώρα σύμφωνα με τις οδηγίες που παρέχονταν από την εταιρεία και στηρίζονταν στη χρήση αντιδραστηρίων φαινόλης αλκοόλης σε οξειδωτικό διάλυμα και σιδηρούχο καταλύτη Liddicoat et al. (1975) σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφεται αναλυτικά παρακάτω (Εικ.17):

Βήμα 1<sup>ο</sup>: Εμβάπτιση χρωματομετρικών ταινιών σε νερό δείγματος για 1 sec.

Βήμα 2<sup>ο</sup>: Ανακουνάμε με τη βοήθεια του χεριού μας την ταινία στον αέρα.

Βήμα 3<sup>ο</sup>: Η ταινία αφήνεται να ηρεμήσει για 60 sec.

Βήμα 4<sup>ο</sup>: Σύγκριση χρώματος δείγματος με τα χρώματα της κλίμακας



**Εικόνα 17:** Χρωματομετρικός Προσδιορισμός σιδήρου (Πηγή: προσωπικό αρχείο).

#### 2.5.8 Φασματοφωτομετρικός προσδιορισμός αμμωνιακών (TAN).

Για την φασματοφωτομετρική ανάλυση των αμμωνιακών ( $\text{NH}_4^+\text{-N}$  mg/L), λαμβάνονταν δείγματα νερού από το σημείο εισόδου (in) του νερού στο φίλτρο (μηχανικό φίλτρο) και από το σημείο εξόδου (out) του νερού από το φίλτρο (αντλία νερού). Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν έξι πλαστικά ποτήρια 100 mL για τη συλλογή νερού, μια πιπέτα ακριβείας 5 ml, ρύγγη πιπέτας, πλαστικό δοχείο αραίωσης δείγματος, πλαστικά γάντια μίας χρήσης, υδροβολέας με αποιονισμένο νερό, μηχανήμα φασματοφωτομετρίας (HACH DR 3800) και αντιδραστήρια ολικής αμμωνίας (HACH LANGE Ammonium, LCK 304). Η μέθοδος προσδιορισμού περιγράφεται αναλυτικά παρακάτω (Εικ.18):

**Βήμα 1:** Προσεκτική απομάκρυνση του ελάσματος από το βιδωμένο DosiCap Zip και αραίωση δείγματος 1:5.

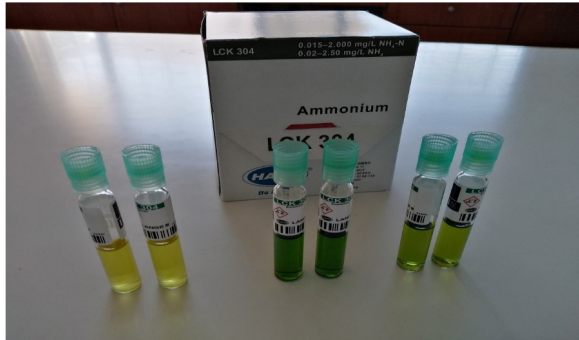
**Βήμα 2:** Ξεβιδώστε το DosiCap Zip.

**Βήμα 3:** Προσθήκη με πιπέτα 0.2 mL δείγματος.

**Βήμα 4:** Βιδώστε αμέσως το DosiCap Zip, με την αλάκωση να είναι στο επάνω μέρος.

**Βήμα 5:** Καλή ανάδευση του φιαλιδίου.

**Βήμα 6:** Με την πάροδο 15 min γίνονταν σχολαστικός καθαρισμός εξωτερικά του φιαλιδίου και γίνονταν η μέτρηση δια της τοποθετήσεως του φιαλιδίου στον υποδοχέα μέτρησης επιλέγοντας μέτρηση. Με την προσθήκη του φιαλιδίου το μηχανήμα αναγνώριζε αυτόματα τη συχνότητα μέτρησης των αμμωνιακών.



**Εικόνα 18:** Τεστ μέτρησης αμμωνίου με φιαλίδια LCK 304 (Πηγή: προσωπικό αρχείο).

#### 2.5.9 Φασματοφωτομετρικός προσδιορισμός $\text{NO}_3^-$ .

Για την φασματοφωτομετρική ανάλυση των νιτρικών ιόντων  $\text{NO}_3^-$  ( $\text{NO}_3^-$ -N mg/L), λαμβάνονταν δείγματα νερού από το σημείο εισόδου (in) του νερού στην υδροπονική δεξαμενή καλλιέργειας φυτών και στο σημείο εξόδου του νερού (out) από την υδροπονική δεξαμενή. Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν έξι πλαστικά ποτήρια των 100 mL για τη συλλογή νερού, πιπέτες ακριβείας των 5 mL και 1 mL, ρύγχη πιπετών, πλαστικό δοχείο αραιώσης, γάντια μίας χρήσης, υδροβολέας με απιονισμένο νερό, μηχανήμα φασματοφωτομετρίας (HACH DR 3800) και αντιδραστήρια νιτρικών ιόντων (HACH LANGE Nitrate LCK 339). Τα βήματα που εφαρμόστηκαν κατά τη διαδικασία ήταν τα εξής (Εικ.19):

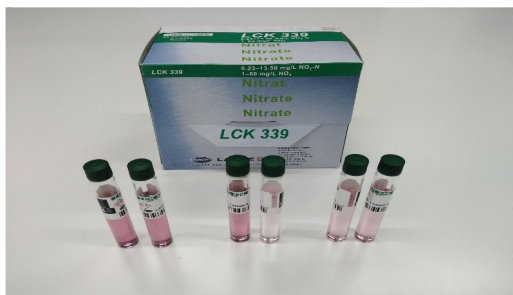
**Βήμα 1:** Προσθήκη με πιπέτα 1.0 mL δείγματος και αραιώση δείγματος 1:5 όταν απαιτούνταν.

**Βήμα 2:** Προσθήκη με πιπέτα 0.2 mL διαλύματος A.

**Βήμα 3:** Κλείνουμε το φιαλίδιο και το αναστρέφουμε μερικές φορές, ώστε να αναδευτεί και να διαλυτοποιηθεί το δείγμα πλήρως.

**Βήμα 4:** Μετά από 15 min καθαρίζουμε σχολαστικά το εξωτερικό μέρος του φιαλιδίου και στη συνέχεια γίνεται η μέτρηση.

**Βήμα 5:** Το φιαλίδιο τοποθετείται στον κενό υποδοχέα του φασματοφωτόμετρου DR3900: Μεταβείτε στις μεθόδους LCK/TNTplus. Με την προσθήκη του φιαλιδίου στο μηχανήμα αναγνώριζε αυτόματα τη συχνότητα μέτρησης των νιτρικών, όπου στη συνέχεια επιλέγονταν το test πραγματοποιούνταν η μέτρηση σε συγκεκριμένη συχνότητα μέτρησης.



**Εικόνα 19:** Τεστ μέτρησης νιτρικών ιόντων με φιαλίδια LCK 339 (Πηγή: προσωπικό αρχείο).

#### 2.5.10 Φασματοφωτομετρικός προσδιορισμός $\text{PO}_4^{3-}$ .

Για την φασματοφωτομετρική ανάλυση των φωσφορικών ιόντων  $\text{PO}_4^{3-}$  (mg/L), λαμβάνονταν δείγματα νερού από το σημείο εισόδου (in) του νερού στην υδροπονική δεξαμενή καλλιέργειας φυτών και στο σημείο εξόδου του νερού (out) από την υδροπονική δεξαμενή. Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν έξι πλαστικά ποτήρια για τη συλλογή νερού, πιπέτα ακριβείας 1 mL, ανταλλακτικά ρύγχη πιπετών, πλαστικά γάντια μίας χρήσης, μηχανήμα φασματοφωτομετρίας (HACH DR 3800) και αντιδραστήρια φωσφορικών ιόντων (HACH LANGE Phosphate, LCK 348). Τα βήματα που εφαρμόστηκαν κατά τη διαδικασία ήταν τα εξής (Εικ.20):

**Βήμα 1:** Αφαιρούμε προσεκτικά το έλασμα από το βιδωμένο DosiCap Zip.

**Βήμα 2:** Ξεβιδώνουμε το DosiCap Zip.

**Βήμα 3:** Λήψη με πιπέτα 0.2 mL δείγματος.

**Βήμα 4:** Βιδώνουμε το πόμα στο φιάλιδο LCK από την αντίθετη πλευρά, η οποία περιέχει το αντιδραστήριο.

**Βήμα 5:** καλή ανάδευση του διαλιδίου με κινήσεις πάνω-κάτω, ώστε το διάλυμα να ομογενοποιηθεί.

**Βήμα 6:** Ξεβιδώνουμε το πόμα από το φιαλίδιο.

**Βήμα 7:** Προσθήκη 0,2 mL αντιδραστηρίου B στο φιαλίδιο.

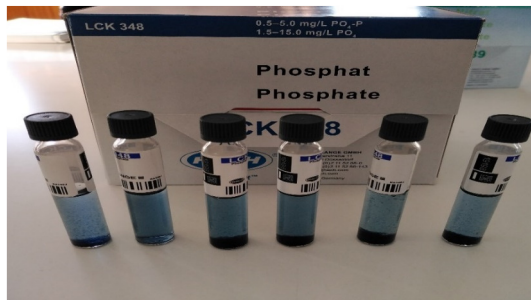
**Βήμα 8:** Τοποθέτηση καινούριου πόματος/αντιδραστήριο C στη φιάλη.

**Βήμα 9:** Ανάδευση φιαλιδίου εκτελώντας κυκλική ροπή ( $360^\circ$ ).

**Βήμα 10:** Το φιαλίδιο αφήνεται να παραμένει σε ηρεμία για 10 min, ενώ κατά διαστήματα ανακινούμαι ορισμένες φορές εκτελώντας κυκλική ροπή ( $360^\circ$ ).

**Βήμα 11:** Καθαρισμός του φιαλιδίου με χαρτί.

**Βήμα 12:** Τοποθέτηση φιαλιδίου στον υποδοχέα του φασματοφωτόμετρου HACH και εκτελούμε (enter) τη μέτρηση, με ταυτόχρονη κυκλική κίνηση το φασματοφωτόμετρο διαβάζει στ συγκεκριμένο μήκος κύματος και εμφανίζει την τιμή των φωσφορικών ιόντων.



**Εικόνα 20:** Τεστ μέτρησης φωσφορικών ιόντων με φιαλίδια LCK 339 (Πηγή: προσωπικό αρχείο).

#### 2.5.11 Φασματοφωτομετρικός προσδιορισμός $Mg^{+2}$ .

Για την φασματοφωτομετρική ανάλυση (Εικ.21) του μαγνησίου  $Mg^{+2}$  (mg/L), λαμβάνονταν δείγματα νερού από τη δεξαμενή εκτροφής του νερού. Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τρία πλαστικά ποτήρια για τη συλλογή νερού, μια πιπέτα ακριβείας 5 mL, ανταλλακτικά ρύγχη πιπέτας, πλαστικά γάντια μίας χρήσης, μηχανήμα φασματοφωτομετρίας (HACH DR 3800) και αντιδραστήρια μαγνησίου (HACH LANGE Magnesium, LCK 326). Τα βήματα που εφαρμόστηκαν κατά τη διαδικασία ήταν τα εξής (Εικ.21):

Βήμα 1°: Ξεβίδωμα πώματος φιάλης αντιδραστηρίου.

Βήμα 2°: Προσθήκη 3 mL αντιδραστηρίου A στη φιάλη.

Βήμα 3°: Βιδώνουμε το πώμα στην κυψελίδα.

Βήμα 4°: Ανάδευση της κυψελίδας με κάθετη ροπή ( $180^\circ$ ) μέχρι να ομογενοποιηθεί το διάλυμα.

Βήμα 5°: Το διάλυμα αφήνεται να ηρεμήσει για 2 min.

Βήμα 6°: Τοποθετούμε την κυψελίδα στον υποδοχέα HACH.

Βήμα 7°: Ξεβίδωμα πώματος της φιάλης.

Βήμα 8°: Προσθήκη 2 mL νερού δείγματος στο διάλυμα της φιάλης.



Βήμα 9<sup>ο</sup>: Τοποθετούμε βιδώνοντας το πόμα στη φιάλη.

Βήμα 10<sup>ο</sup>: Το διάλυμα αφήνεται να ηρεμήσει για 1 min.

Βήμα 11<sup>ο</sup>: Τοποθέτηση φιάλης στην εισδοχή του φασματοφωτόμετρου HACH.



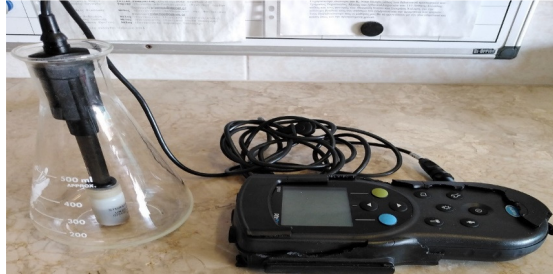
**Εικόνα 21:** Τεστ μέτρησης ιόντων μαγνησίου με φιαλίδια LCK 326 (Πηγή: προσωπικό αρχείο).



**Εικόνα 21:** Φασματοφωτόμετρο HACH DR 3800 (Πηγή: προσωπικό αρχείο).

#### 2.5.11 Μέτρηση Θερμοκρασία (T), pH και αλατότητας (S).

Η ημερήσια μέτρηση της θερμοκρασίας (T, °C) και του pH γίνονται με ηλεκτρονικό πολύμετρο HACH 40D HQ (Εικ.22). Ο αισθητήρας για τη μέτρηση της θερμοκρασίας και του pH τοποθετούνταν στα ενυδρεία εκτροφής των ψαριών στα τρία συστήματα ενυδρειοπονίας. Πριν και μετά τη μέτρηση των παραμέτρων, το ηλεκτρόδιο πλενόταν με απιονισμένο νερό, ταμπονάρονταν σε χαρτί κουζίνας και αποθηκεύονταν γλωριούχο κάλιο (KCl).



**Εικόνα 22:** Πολύμετρο μέτρησης (HACH 40D HQ) θερμοκρασίας (T) και pH (Πηγή: προσωπικό αρχείο).

Η ημερήσια μέτρηση της αλατότητας (S, ppt) πραγματοποιούνταν με διαθλασίμετρο (Εικ.23). Η μεθοδολογία περιλάμβανε τη λήψη δείγματος νερού από τα ενυδρείονικα συστήματα. Πριν και μετά τη μέτρηση της αλατότητας, το διαθλασίμετρο πλενόταν και ρυθμιζόταν με τη χρήση απιονισμένου νερού (ως δείκτης, με αλατότητα 0 ppt).



**Εικόνα 23:** Διαθλασίμετρο μέτρησης αλατότητας (S) (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).

## 2.6 Σιτηρέσιο και χορήγηση τροφής.

Η χορήγηση τροφής στους ιχθύες του είδους *S. aurata* γινόταν σε καθημερινή βάση. Ο υπολογισμός της ημερήσιας ποσότητας τροφής υπολογίστηκε σύμφωνα με τη μαθηματική σχέση που περιγράφηκε από τους Vlahos et al. (2019):

$$F \text{ (gr)} = N_{\text{fishes}} * W \text{ (gr)} * \text{Ε.Δ. (\%)} -$$

Όπου :

$N_{\text{fishes}}$  = αριθμός ψαριών

W = Μέσο βάρος ψαριού (gr)

E.Δ. = Επίπεδο διατροφής (%)

Τα ψάρια ταΐζονταν δύο φορές τη ημέρα δηλαδή 9:00 το πρωί και 15:00 ώρα το απόγευμα έξι ημέρες την εβδομάδα από Δευτέρα έως Σάββατο, ενώ την Κυριακή διατηρούνταν σε ασιτία για αποσυμφόρηση των συστημάτων και διαχείριση της τροφής, η οποία γίνονταν με το χέρι σταδιακά και διαρκούσε περίπου μισή ώρα, προκειμένου να ελέγχονται καθημερινά τα υπολειμμάτα της τροφής και εν γένει η κατανάλωσής της από τα ψάρια.

Η τροφή προζυγίζονταν σε ζυγό ακριβείας (A & D) σε ειδικά κωδικοποιημένα πλαστικά φυαλίδια και διατηρούνταν στο ψυγείο στους 4° C. Η τροφή που χρησιμοποιήθηκε, προέρχονταν από την εταιρία NHPEYS A.E. και πιο συγκεκριμένα από το εργοστάσιο στη Νέα Αρτάκη Ευβοίας. Η εν λόγω τροφή επιλέχθηκε εξαιτίας της κατάλληλης διαμέτρου 1,5 mm, της υψηλής περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη (54%), της συνεκτικότητάς της και της πλευστότητά της (Πιν.2).

Στην παρούσα πειραματική διαδικασία χρησιμοποιήθηκαν τρία διαφορετικά επίπεδα σίτισης 2% ζ.β, 5% ζ.β και 7% ζ.β, αντίστοιχα για κάθε ενυδρειοπονικό σύστημα. Τα τρία επίπεδα διατροφής επιλέχθηκαν με κριτήριο την ανίχνευση του επιπέδου διατροφής που θα οδηγήσει στην καλύτερη δυνατή ανάπτυξη των ψαριών, στο καλύτερο ρυθμό παραγωγής αμμωνίας για τα φυτά και στην καλύτερη κατανάλωση τροφής (Πιν.3). Ως εκ τούτου το επίπεδο διατροφής 5% ζ.β επιλέχθηκε ως μια μέση τιμή που επιφέρει ικανοποιητική ανάπτυξη στις τσιπούρες (Vlahos *et al.* 2019) ενώ, τα επίπεδα διατροφής 7% ζ.β και 2% ζ.β αντίστοιχα, επιλέχθηκαν ως μια μέγιστη και ελάχιστη τιμή. Ενώ η αλατότητα και η θερμοκρασία ήταν σταθερή και ίση και στα τρία ενυδρειοπονικά συστήματα (δεν έγινε χρήση θερμοστατών).

**Πίνακας 2:** Ποσοστιαία σύσταση της τροφής.

Συστατικά τροφής	Ποσοστό %
Ολικ. Αζωτούχες	54
Ολικ. Λίπος	14
Ασβέστιο (Ca)	1,8
Φώσφορος (P)	1,4
Νάτριο (Na)	0,6
Υγρασία	10
Ολικ. Ινώδεις	0,7
Ολικ. Τέφρα	11
Υδατάνθρακες*	21
Ενέργεια*	15,23
Συστατικά τροφής Συγκέντρωση / Kg	
Βιταμίνη D3	1.000 IU
Σίδηρος (Fe)	7,50 mg
Χαλκός (Cu)	9,00 mg
Μαγγάνιο (Mn)	15,00 mg
Ψευδάργυρος (Zn)	75,00 mg
Σελήνιο (Se)	0,00 mg
BHT	75,0 mg
BHA	50,0 mg
Γαλλικός Προπυλεστέρας	0,50 mg
Κιτρικό οξύ	25,0 mg

Με σχόλια [VN1]: Τι άλλα συστατικά είχε η τροφή να γραφθούν στο κάτω μέρος του πίνακα με κλίμακα 11. Και times new roman

Για τον υπολογισμό της ποσοστιαίας σύστασης των υδατανθράκων (%) και της ενέργειας (%) χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω μαθηματικοί τύποι:

$$\text{Υδατάνθρακες (\%)} = 100 - (\text{Ολική Πρωτεΐνη} + \text{Ολικά Λιπίδια} + \text{Τέφρα})$$

$$\text{Ενέργεια (\%)} = (5,64 * \text{Ολική Πρωτεΐνη \%}) + (9,44 * \text{Ολικά Λίπη \%}) + (4,11 * \text{Υδατάνθρακες \%})$$

Κάθε δεκαπέντε ημέρες επαναπροσδιορίζονταν το βάρος των ιχθυδίων της τσιπούρας προκειμένου να προσδιοριστεί εκ νέου η μέση χορηγούμενη ποσότητα τροφής. Ο Πίνακας 3 παρουσιάζει την ποσότητα τροφής που χορηγήθηκε καθ' όλη την πειραματική διαδικασία.

**Πίνακας 3:** Ποσότητα gr/d που χορηγήθηκε στα ενυδρειοπονικά συστήματα καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής εκτροφής (30 ημέρες).

Ημέρες	2% ζ.β	5% ζ.β	7% ζ.β
0 - 15	7,32 (gr/d)	18,31 (gr/d)	25,63 (gr/d)
15 - 30	9,56 (gr/d)	34,94 (gr/d)	31,05 (gr/d)

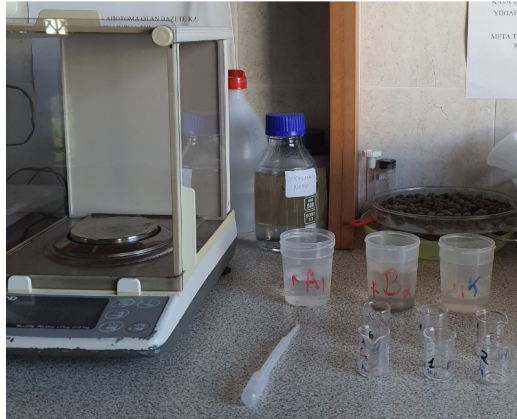
## 2.7 Προσδιορισμός κατανάλωση τροφής

Ο προσδιορισμός κατανάλωσης της τροφής διεξήχθη παράλληλα με το πείραμα ανάπτυξης, διήρκεσε 18 ημέρες, λάμβανε χώρα πριν το πρώτο πρωινό τάισμα και περιλάμβανε την ημερήσια συλλογή των υπολειμμάτων τροφής, των περιττωμάτων με τη μέθοδο του σιφωνισμού, σε κωδικοποιημένα πλαστικά δοχεία (ουροσυλλέκτες), τον διαχωρισμό τους και την ξήρανσή τους. Τα υπολείμματα τροφής και τα περιττώματα συλλέγονταν ξεχωριστά από κάθε ενυδρείο του κάθε συστήματος και στο τέλος γίνονταν ομαδοποίησή τους σε ένα πλαστικό δοχείο (1 δοχείο/σύστημα).

Ο προσδιορισμός κατανάλωσης της τροφής περιλάμβανε τα επόμενα βήματα:

- ζύγισμα 10-12 κόκκων συμπίκτου που χρησιμοποιήθηκε στην πειραματική διαδικασία
  - καταγραφή (βάρος κενού δοχείου, καθαρό βάρος δείγματος)
  - τοποθέτηση των δειγμάτων στο φούρνο για 24 h στους 105 °C
  - ζύγισμα μικτού βάρους μετά την ξήρανση - καταγραφή
  - γραμμική συσχέτιση της υγρής σε σχέση με τη ξηρή ουσία της τροφής- προβολή  $R^2$
  - μετατροπή του υγρού βάρους της τροφής που προσφέρθηκε σε ξηρό βάρος (για όλα τα γεύματα).

Μετά τη συλλογή τους τα δείγματα διηθούνταν σε πλαγκτονικό δίκτυο με άνοιγμα ματιού 0,5-0,2 mm, ξεπλένονταν με απεσταγμένο νερό, ενώ ο διαχωρισμός τους στα συστατικά τους (κόπρανα και υπολείμματα τροφής) γίνονταν μακροσκοπικά στο εργαστήριο και σύμφωνα με το χρώμα και το σχήμα τους χρησιμοποιώντας πιπέτα τύπου pasteur. Τα δείγματα, μόλις διαχωρίζονταν (Εικ.24), ξεπλένονταν με άφθονο απιονισμένο νερό προκειμένου να απομακρυνθούν τυχόν υπολειμμάτων αλατιού τοποθετούνταν σε γυάλινα ποτήρια ζέσεως όγκου 20 mL. Το νερό που συλλεγόταν κατά τη διαδικασία του σιφωνισμού, διηθούνταν ογκομετρούνταν και επιστρέφονταν πίσω στο φίλτρο κάθε συστήματος. Τέλος, μετρήθηκε το υγρό και ξηρό βάρος των δειγμάτων σε ζυγό ακριβείας τεσσάρων δεκαδικών. Μετά τη μέτρηση του υγρού βάρους τα δείγματα τοποθετούνταν σε κλίβανο ξήρανσης στους 105 °C για 24 h. Μετά το πέρας των 24 h, τα δείγματα επαναζυγίζονταν και αποθηκεύονταν ώστε να αναλυθούν στο εργαστήριο για τη χημική σύστασή τους

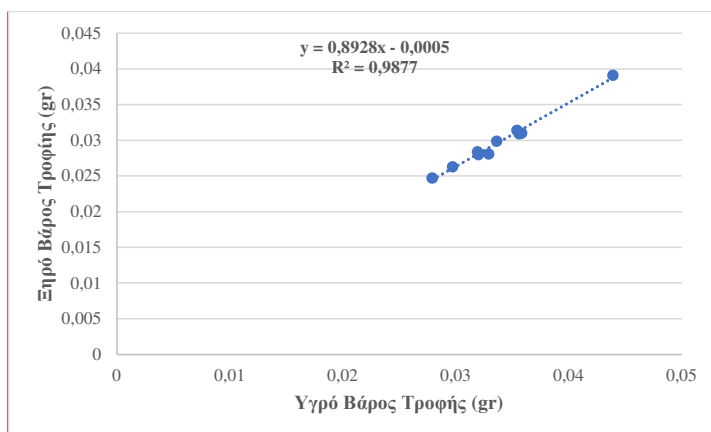


**Εικόνα 24:** Διαχωρισμό και καταμέτρηση των περιττωμάτων και των υπολειμμάτων τροφής κατά τον προσδιορισμό της κατανάλωσης τροφής (Πηγή: προσωπικό αρχείο).

Η σχέση μεταξύ ξηρής ουσίας (Ξ.Ο) και υγρής ουσίας (Υ.Ο) συμπίπτου καθορίστηκε διαμέσου της μαθηματικής γραμμικής σχέσης που προέκυψε από το γράφημα διασποράς της υγρής ουσίας της τροφής σε σχέση με την ξηρή ουσία της τροφής (Σχ.1) και περιγράφεται από την εξίσωση:

$$\text{Ξ.Ο συμπίπτου} = 0,8928 * \text{Υ.Ο συμπίπτου} - 0,0005 \quad (R^2= 0,9877, \quad n=10)$$

Με σχόλια [VN2]: Να μπει το διάγραμμα το σωστό



**Σχήμα 1:** Γραμμική συσχέτιση μεταξύ ξηρό βάρος τροφής (Ξ.Β) και υγρό βάρος τροφής (Υ.Β) της τροφής που χρησιμοποιήθηκε στην πειραματική διαδικασία (Πηγή: προσωπικό αρχείο).

Η κατανάλωση τροφής υπολογίστηκε από τον παρακάτω μαθηματική σχέση, με αφαίρεση από την ξηρή ουσία της ακατανάλωτης τροφής την ξηρή ουσία της ημερήσιας χορηγούμενης τροφής που προσφέρονταν.

$$\text{ΚΤ(γ) τσιπούρας} = [\Xi\text{Ο}_{\text{χορηγ. τροφής}} - (\Xi\text{Ο}_{\text{χορηγ. τροφής}} \times \Sigma\Delta/100)] - \Xi\text{Ο}_{\text{εναπομ. τροφής}}$$

Όπου:

$\Xi\text{Ο}_{\text{χορηγ. τροφής}}$  = προσφερόμενη ποσότητα τροφής (σε ξηρή ουσία αφαιρούμενη του ποσοστού υγρασίας)

$\Xi\text{Ο}_{\text{εναπομ. τροφής}}$  = εναπομείνασα ποσότητα τροφής (σε ξηρή ουσία μετά από ξήρανση)

$\Sigma\Delta$  = συντελεστή διόρθωσης ή διαλυτοποίησης της τροφής

Ο συντελεστής διαλυτοποίησης της τροφής στο παρόν πείραμα υπολογίστηκε στο 13,734 % και εκφράζει την ποσότητα της τροφής, η οποία χορηγήθηκε κατά τη διάρκεια δύο διαδοχικών ταΐσμάτων ενώ κατά την παραμονή της διαλυτοποιήθηκε στο νερό. Ο ποσοστιαίος συντελεστής διόρθωσης εκτιμήθηκε από προζυγισμένη ποσότητα 10 συμπύκτων που αφέθηκαν στο νερό για 24 h και επαναζυγίστηκαν και περιγράφεται από την παρακάτω μαθηματική σχέση:  $\Sigma\Delta = [100 \times (\Xi\text{Ο}_{\text{χορηγούμενης τροφής}} - \Xi\text{Ο}_{\text{τροφής μετά από 24 ώρες}})] / \Xi\text{Ο}_{\text{χορηγούμενης τροφής}}$

## 2.7 Μορφομετρικά χαρακτηριστικά

### 2.8 Προσδιορισμός χημικής σύστασης τροφής, λευκού μυός τσιπούρας και φυτικού ιστού αντράκλας.

Για τον προσδιορισμό της σύστασης της τροφής, του λευκού μυός των ψαριών και ιστών φυτού αντράκλας στην αρχή και στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας λήχθησαν δείγματα ώστε να αναλυθούν στο εργαστήριο. Αναλυτικά, συλλέχθηκαν αρχικό δείγμα 10 ατόμων τσιπούρας και ως τελικό δείγμα συλλέχθηκαν 20 άτομα τσιπούρας από κάθε σύστημα (60 άτομα συνολικά). Από όλα τα παραπάνω ψάρια αφαιρέθηκαν τα εσωτερικά τους όργανα, τα πτερυγία, το κεφάλι και λήφθηκε δείγμα λευκού μυός. Σε ότι αφορά στα φυτά, έγινε τεμαχισμός των ατόμων σε μικρότερα μέρη και διαχωρισμός των ριζών από τον υπόλοιπο βλαστό. Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν κατά την ανατομία των ιχθύων ήταν νυστέρι, ψαλίδι και πλαστικά δοχεία για την τοποθέτηση τους. Η ξήρανσή τους πραγματοποιήθηκε σε φούρνο στους 105 °C για 24 h ενώ τα δείγματα είχαν τοποθετηθεί και αριθμηθεί σε δοχεία από αλουμινόχαρτο. Σημαντικό βήμα της συγκεκριμένης διαδικασίας ήταν η μέτρηση των υγρών και ξηρών δειγμάτων καθώς και αλουμινένιου δοχείου σε ζυγαριά ακριβείας τεσσάρων δεκαδικών ψηφίων (AND HR-200). Μετά την ξήρανσή τους τα δείγματα ζυγίστηκαν και κορνιτοποιήθηκαν σε γουδί σε πούδρα και αποθηκεύτηκαν ώστε να αναλυθούν στο εργαστήριο.



**Εικόνα 25:** Φιλέτα τσιπούρας τοποθετημένα σε αριθμημένα αλουμινένιες κάψες (Πηγή: προσωπικό αρχείο).



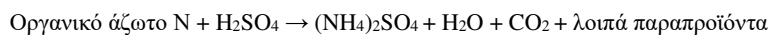
### 2.8.1 Μέτρηση υγρασίας-ξηρής ουσίας

Ο προσδιορισμός της ξηρής ουσίας - υγρασίας των πειραματικών σιτηρεσίων πραγματοποιήθηκε τοποθετώντας 2 gr δείγματος από το κάθε σιτηρέσιο (2%, 5% και 7%) σε πυραντήριο (φούρνο) για 24 ώρες σε θερμοκρασία 105 °C (AOAC, 1990). Στην συνέχεια αφαιρέθηκαν τα δισκία με το ξηρό πλέον δείγμα από το φούρνο και τοποθετήθηκαν σε ξηραντήρα για να ψυχθούν. Η ξηρή ουσία των σιτηρεσίων υπολογίστηκε με τους παρακάτω τύπους:

$$W_{\text{ξηρού δείγματος (g)}} = W_{\text{ξηρού (τελικού) δείγματος \& δισκίου (g)}} - W_{\text{δισκίου (g)}}$$
$$\text{Ξηρή Ουσία (\%)} = (W_{\text{ξηρού δείγματος (g)}} / W_{\text{αρχικού δείγματος (g)}}) \times 100$$

### 2.8.2 Μέτρηση ολικών αζωτούχων ενώσεων

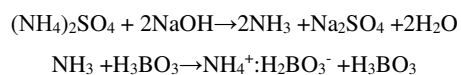
Ο προσδιορισμός των αζωτούχων ενώσεων αναφέρεται στον υπολογισμό της συνολικής πρωτεΐνης της τροφής, των βλαστών και των ριζών των φυτών αλλά και των περιττωμάτων των ιχθύων τσιπούρας, τα οποία πραγματοποιήθηκαν με την μέθοδο προσδιορισμού αζωτούχων ενώσεων Kjeldahl . Με τη χρήση ενός μικρού κομματιού αλουμινόχαρτου, τοποθετήθηκαν και ζυγίστηκαν 0,2 gr δείγματος και τα οποία καταγράφηκαν. Έπειτα τα δείγματα μεταφέρθηκαν σε ειδικές φιάλες βρασμού της συσκευής Kjeldahl, όπου ακολούθησε η διαδικασία της πέψης των δειγμάτων. Σύμφωνα με τη διαδικασία αυτή, τα δείγματα θερμαίνονται με τη παρουσία πυκνού θειικού οξέος (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), με αποτέλεσμα την διάσπαση όλων των αζωτούχων ουσιών, απελευθέρωσης του άζωτου (N) του δείγματος το οποίο κατόπιν δεσμεύεται σε θειικό αμμώνιο ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Η παραπάνω ανάλυση της πειραματικής διαδικασίας περιγράφεται σύμφωνα με την παρακάτω χημική αντίδραση:



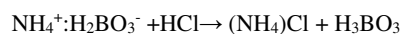
Σε κάθε φιάλη βρασμού προστέθηκαν 15ml θειικού νατρίου (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) (με τη χρήση ειδικού δοσομετρητή) και δύο ταμπλέτες καταλύτη Kjeldahl (περιεκτικότητας σε θείο) ώστε να επιταχυνθεί η διαδικασία της αντίδρασης. Οι φιάλες βρασμού τοποθετήθηκαν σε ειδική συσκευή πέψης που ήταν τοποθετημένη σε απαγωγό και τα δείγματα αφέθηκαν να

χωνευτούν στους 150 °C για 85 λεπτά. Τα δείγματα παρέμειναν 30 λεπτά επιπλέον ώστε να κρυώσουν υπό την χρήση της λειτουργίας της παγίδας αερίων και του απαγωγού.

Επιπλέον ακολούθησε η διαδικασία της απόσταξης κατά την οποία το θειικό αμμώνιο ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) αντιδρά με το υδροξείδιο του νατρίου (NaOH) με αποτέλεσμα να αποδεσμεύεται αμμωνία (NH<sub>3</sub>) υπό μορφή αερίου και θειικό νάτριο (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Η αέρια αμμωνία (NH<sub>3</sub>) έπειτα αντιδρά με βορικό οξύ (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>), ενώ το άζωτο του δείγματος δεσμεύεται σε μορφή βορικού αμμωνίου (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>H<sub>2</sub>BO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Οι παραπάνω διαδικασίες περιγράφεται εξίσου αναλυτικά με τις παρακάτω χημικές αντιδράσεις:



Όσον αφορά τη διαδικασία της απόσταξης, τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε ειδική συσκευή απόσταξης. Σε κάθε δείγμα προστέθηκαν 100 ml απεσταγμένου νερού, 80 ml υδροξείδιο του νατρίου (NaOH) και 50 ml βορικό οξύ (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>). Ο συνολικός χρόνος της απόσταξης κάθε δείγματος διήρκεσε 6 λεπτά. Το βορικό αμμώνιο (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>H<sub>2</sub>BO<sub>3</sub><sup>-</sup>) συγκεντρώνονταν σε κωνική φιάλη που περιείχε 3 σταγόνες ενός δείκτη pH. Επιπροσθέτως, ακολούθησε η διαδικασία της τιτλοδότησης κατά την οποία το βορικό αμμώνιο (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>H<sub>2</sub>BO<sub>3</sub><sup>-</sup>) αντιδρά με το υδροχλωρικό οξύ χρησιμοποιώντας ένα δείκτη για το τελικό σημείο της παρακάτω χημικής αντίδρασης:



Η συγκέντρωση (σε moles) των ιόντων υδρογόνου που απαιτούνται για να καταλύσουν την αντίδραση έως το τελικό σημείο ισοδυναμεί με τη συγκέντρωση του αζώτου που περιέχει το δείγμα. Η κωνική φιάλη που περιείχε βορικό αμμώνιο (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>H<sub>2</sub>BO<sub>3</sub><sup>-</sup>) τοποθετήθηκε σε θέση συνεχούς ανακίνησης και προσθέτονταν σε αυτήν αργά και σταδιακά καταγεγραμμένη ποσότητα δεκατοκανονικού διαλύματος HCl συγκέντρωσης 0,1 M. Με την αλλαγή του χρώματος στο διάλυμα, φανερώθηκε το τελικό σημείο της αντίδρασης. Η περιεκτικότητα του δείγματος σε άζωτο (N%) υπολογίστηκε από την παρακάτω σχέση:

$$N \% = [(\text{HCl (ml)} - \text{Blank (ml)}) * N \text{ διαλύματος HCl} * 0,014007] / [\text{Βάρος δείγματος (gr)}] * 100$$

Όπου ισχύει:

Blank (ml) = τιτλοδότηση κενής φιάλης (χωρίς δείγμα), η οποία χρησιμοποιείται ως συντελεστής διόρθωσης.

Κατόπιν, από τη συγκέντρωση του αζώτου (N) στο δείγμα μπορεί να υπολογιστεί η περιεχόμενη πρωτεΐνη του σύμφωνα με τον τύπο :

$$\text{Πρωτεΐνη (\%)} = \text{N (\%)} \times 6,25 \text{ (οι πρωτεΐνες περιέχουν 16\% άζωτο (N))}$$

### 2.8.3 Μέτρηση ολικών λιπιδίων

Ο προσδιορισμός των ολικών λιπιδίων της σάρκας των ιχθύων τσιπούρας πραγματοποιήθηκε με την μέθοδο Soxhlet. Στη μέθοδο αυτή, χρησιμοποιήθηκαν γυάλινα δοχεία εκχύλισης στα οποία προστέθηκαν 3 με 4 πέτρες βρασμού. Το βάρος των πετρών βρασμού συνυπολογίστηκε με το βάρος των δειγμάτων ενώ η μέτρηση έγινε σε ζυγό τεσσάρων δεκαδικών. Σε κάθε γυάλινο δοχείο εκχύλισης, τοποθετήθηκε και ένα χάρτινο δοχείο ηθμού στο οποίο προστέθηκε 1 gr ξηρής σάρκας του δείγματος. Επίσης για κάθε δείγμα έγινε προσθήκη 140 ml πετρελαϊκού αιθέρα με τη χρήση ογκομετρικού κυλίνδρου. Αργότερα τοποθετήθηκαν χάρτινοι ηθμοί στα δοχεία εκχύλισης.

Τα γυάλινα δοχεία και τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε ειδική συσκευή εκχύλισης λιπαρών οξέων. Αρχικά, τα δείγματα θερμάνθηκαν στους 150 °C με τη βοήθεια οργανικού διαλύτη. Όσον αφορά το δεύτερο στάδιο, ο οργανικός διαλύτης απορροφήθηκε και εκπλύθηκε στο δείγμα για 1,5 ώρες. Συγχρόνως ο διαλύτης απορροφήθηκε για ακόμα 15 λεπτά και ως απόρροια αυτού τα ολικά λιπίδια του δείγματος να διαμένουν στο πάτο του δοχείου εκχύλισης. Κατά τα τελευταία στάδια της διαδικασίας, τα δείγματα τοποθετήθηκαν στο φούρνο για 30 λεπτά στους 105 °C ώστε να εξατμιστεί πλήρως ο πετρελαϊκός αιθέρας όπου μπορεί να είχε παραμείνει ως υπόλειμμά. Έπειτα τα δοχεία εκχύλισης, μεταφέρθηκαν σε ξηραντήρα ώστε κρυσώσουν. Μετά την αφαίρεση του δοχείου με το χάρτινο ηθμό που περιείχε το απολιπασμένο δείγμα χωρίς, στη συνέχεια, ζυγίστηκαν τα γυάλινα δοχεία εκχύλισης (μεικτό βάρος).

Ο υπολογισμός της περιεκτικότητας των ολικών λιπιδίων στη σάρκα των ιχθύων πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$\text{Ολικά λιπίδια (\%)} = (\text{τελικό βάρος δοχείου εκχύλισης (gr)} - \text{αρχικό βάρος δοχείου εκχύλισης (gr)}) \times 100$$

#### 2.8.4 Μέτρηση τέφρας

Ο προσδιορισμός της τέφρας αναφέρεται στην καταμέτρηση των συνολικών ανόργανων ενώσεων που βρίσκονται στη σάρκα του δείγματος και μάλιστα, για κάθε ξεχωριστό σιτηρέσιο. Αρχικά, τοποθετήθηκε 1 gr ξηρής ουσίας δείγματος από το κάθε σιτηρέσιο σε αποτεφρωτήρα για τη χρονική διάρκεια των 3 ωρών στους 600 °C (AOAC, 1990). Αναγκαία υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για αυτή τη μέθοδο ήταν πορσελάνινα δισκία, τα οποία ζυγίστηκαν και τοποθετήθηκαν τα προς αποτέφρωση δείγματα. Μετά το πέρας της αποτέφρωσης, τα δείγματα μεταφέρθηκαν σε ξηραντήρα ώστε να ψυχθούν.

Για τον υπολογισμό της ποσότητας και του ποσοστού της τέφρας των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους:

$$W \text{ αποτεφρωμένου δείγματος (gr)} = W \text{ μικτού αποτεφρωμένου δείγματος / δισκίου (gr)} - W \text{ δισκίου (gr)}$$
$$\text{Τέφρα (\%)} = (W \text{ αποτεφρωμένο δείγμα (gr)} / W \text{ αρχικού δείγματος (gr)}) \times 100$$

#### 2.8.5 Μέτρηση ολικής ενέργειας

Η ολική ενέργεια ή αλλιώς θερμιδική αξία χαρακτηρίζεται ως η ποσότητα θερμότητας που εκλύεται από την πλήρη καύση ενός δείγματος και με την παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και νερού (H<sub>2</sub>O) ως τελικά προϊόντα της καύσης. Η καύση του πραγματοποιείται εντός ενός κλειστού δοχείου το οποίο ονομάζεται θερμιδόμετρο τύπου οβίδας, ενώ η θερμότητα που εκλύεται, θερμαίνει ένα εξωτερικό δοχείο εγνωσμένης θερμοκρασίας. Η μέτρηση της θερμοκρασίας του παραπάνω δοχείου γίνεται με τη χρήση θερμομέτρου. Μέσω της παραπάνω μέτρησης υπολογίζεται και το θερμιδικό περιεχόμενο του δείγματος που κάηκε.

Για τον προσδιορισμό της ολικής ενέργειας, ζυγίστηκαν 0,3 με 0,5 gr αλεσμένου δείγματος και τοποθετήθηκαν στην ειδική κυψελίδα. Κατά επέκταση, η κυψελίδα τοποθετείται στον υποδοχέα της οβίδας και αργότερα ο υποδοχέας της οβίδας, τοποθετείται εντός της θερμιδομετρικής οβίδας. Αφότου έγιναν οι σωστές ρυθμίσεις και τελείωσε η συγκεκριμένη διαδικασία, η οβίδα υπόκειται σε εξαερισμό και μετέπειτα ανέρχεται στην αρχική της θέση. Το αποτέλεσμα του πειράματος φανερώνει μέτρηση της θερμιδομέτρησης.

## 2.9 Υπολογισμός λειτουργικών παραμέτρων συστημάτων ενυδρείων.

Σημαντικοί παράμετροι για τη λειτουργία και την αποτελεσματικότητα των συστημάτων είναι οι βιοχημικές διαδικασίες που εκτελούνται καθ' όλη τη διάρκεια του πειραματικής διαδικασίας, καθώς και οι ιδιότητες του νερού. Ο σημαντικότερος παράγοντας που επηρεάζει το σύστημα ενυδρείων είναι η ολική αμμωνία (TAN). Η αναφερόμενη ανόργανη χημική ένωση είναι εξίσου σημαντική για την υγεία και την ευζωία των ψαριών, καθώς εκφράζεται ως δείκτης ρύπανσης του νερού, αλλά και ως φυσικός πόρος (τροφή) για τα νιτροποιητικά χημειοαυτότροφα βακτήρια και αργότερα ως θρεπτικά συστατικά για τους φυτικούς οργανισμούς (νιτρικά ιόντα). Η πηγή αμμωνίας των συστημάτων έγινε μέσω προσθήκης ατόμων ιχθύων στις δεξαμενές εκτροφής και της τροφής που τους χορηγήθηκε. Η αμμωνία στα ψάρια παράγεται κατά 70% περίπου μέσω της αναπνοής και το υπόλοιπο ποσοστό μέσω των απεκκρίσεων τους (30%) (Χώτος 2019). Επιπλέον, το ποσοστό πρωτεΐνης που περιέχεται στη τροφή επηρεάζει την συγκέντρωση της αμμωνίας που παράγεται από τους ιχθύες καθώς η βασική της δομή είναι τα αμινοξέα, δηλαδή χημικές ενώσεις αζώτου.

Αναλυτικότερα η ολική αμμωνία (TAN, mg/L) εκφράζει το άθροισμα της μη ιονισμένης και της ιονισμένης αμμωνίας [ $TAN = (NH_3-N) + (NH_4^+-N)$ ]. Η μη ιονισμένη αμμωνία ( $NH_3-N$ ) είναι τοξική για τους υδρόβιους οργανισμούς σε αντίθεση με τη ιονισμένη αμμωνία, ( $NH_4^+-N$ ) η οποία δεν είναι τοξική για τους υδρόβιους οργανισμούς. Η σχέση μεταξύ της ολικής αμμωνίας, της ιονισμένης αμμωνίας και μη ιονισμένης αμμωνίας περιγράφεται ως μαθηματικός τύπος:

- $TAN = \text{ιονισμένη αμμωνία} + \text{μη ιονισμένη αμμωνία}$
- $\text{Μη ιονισμένη αμμωνία} = \alpha * TAN$
- $\text{Ιονισμένη αμμωνία} = TAN - \text{μη ιονισμένης αμμωνίας}$

Όπου ισχύει :

$\alpha = \text{γραμμιακό κλάσμα διάσπασης αμμωνίας στο νερό (Πιν.4)}$

$TAN = \text{ολική συγκέντρωση αμμωνίας στο νερό (mg/L)}$

**Πίνακας 4:** Γραμμομοριακό κλάσμα διάσπασης της αμμωνίας (Πηγή: Τάσιου, 2019).

Θερμοκρασία	pH							
	7,0	7,8	7,9	8	8,1	8,2	8,3	9
<i>Αλατότητα : 0 gr/Kg</i>								
5	0.0012	0.0078	0.0098	0.0123	0.0154	0.0193	0.0242	0.1107
10	0.0019	0.0116	0.0145	0.0182	0.0229	0.0286	0.0357	0.1567
15	0.0027	0.0169	0.0212	0.0266	0.0332	0.0415	0.0516	0.2144
20	0.0039	0.0243	0.0304	0.0380	0.0474	0.0590	0.0731	0.2833
25	0.0056	0.0346	0.0431	0.0537	0.0667	0.0825	0.1017	0.3621
30	0.0080	0.0483	0.0600	0.0744	0.0919	0.1130	0.1382	0.4455
<i>Αλατότητα : 5gr/Kg</i>								
5	0.0009	0.0055	0.0070	0.0087	0.0110	0.0138	0.0173	0.0810
10	0.0013	0.0082	0.0103	0.0130	0.0163	0.0204	0.0256	0.1162
15	0.0019	0.0121	0.0151	0.0190	0.0238	0.0297	0.0371	0.1620
20	0.0028	0.0174	0.0218	0.0273	0.0341	0.0426	0.0530	0.2191
25	0.0040	0.0247	0.0310	0.0387	0.0482	0.0599	0.0743	0.2868
30	0.0057	0.0347	0.0433	0.0539	0.0669	0.0828	0.1020	0.3629
<i>Αλατότητα : 15gr/Kg</i>								
5	0.0008	0.0051	0.0064	0.008	0.0001	0.01126	0.0159	0.0747
10	0.0002	0.0075	0.0095	0.0119	0.0149	0.0187	0.0235	0.1075
15	0.0018	0.0111	0.0139	0.0174	0.0218	0.0273	0.0342	0.1506
20	0.0026	0.016	0.02	0.0251	0.0314	0.0392	0.0489	0.2048
25	0.0037	0.0228	0.0285	0.0356	0.0444	0.0553	0.0686	0.2697
30	0.0052	0.032	0.0399	0.0497	0.0618	0.0766	0.0946	0.3436
<i>Αλατότητα :35gr/Kg</i>								
5	0.0007	0.0042	0.0053	0.0067	0.0084	0.0106	0.0133	0.0631
10	0.001	0.0063	0.0079	0.01	0.0125	0.0157	0.0197	0.0915
15	0.0015	0.0093	0.0117	0.0146	0.0183	0.023	0.0288	0.1293
20	0.022	0.0134	0.0169	0.0211	0.0265	0.0331	0.0413	0.1776
25	0.0031	0.0192	0.024	0.0301	0.0376	0.0469	0.0583	0.2367
30	0.0044	0.027	0.0338	0.0422	0.0525	0.0652	0.0808	0.3057

Παράλληλα, υπολογίστηκε ο ρυθμός ανανέωσης (%) και η εξάτμιση του νερού στα τρία συστήματα ενυδρείοπονίας. Σε καθημερινή βάση, ελέγχονταν η στάθμη του νερού στο φίλτρο SUMP, και όπου χρειαζόταν γινόταν συμπλήρωση νερού με τη χρήση ογκομετρικού σωλήνα ενός λίτρου. Ο ρυθμός ανανέωσης και η εξάτμιση του νερού εκφράζονται ως μαθηματικοί τύποι:

- ανανέωση (%) =  $\frac{\text{ανανέωση νερού (m}^3\text{) / ημέρα (d)}}{V \text{ (m}^3\text{)}} * (100)$
- εξάτμιση =  $V * [1 - (SG_{in} * S_{in} / SG_{fin} * S_{fin})]$

Όπου ισχύει :

$V$  = συνολικός όγκος συστήματος (L)

$SG_{in}$  = αρχική ειδική βαρύτητα (gr)

$SG_{fin}$  = ειδική βαρύτητα μετά από τη χρονική περίοδο  $t$  (gr)

$S_{in}$  = αρχική αλατότητα (ppt)

$S_{fin}$  = αλατότητα μετά από τη χρονική περίοδο  $t$  (ppt)

Τέλος, υπολογίστηκε η ποσοστιαία απομάκρυνση θρεπτικού υλικού (NRE, %). Η απομάκρυνση πραγματοποιούταν μέσω της προσρόφησης των θρεπτικών από τους φυτικούς οργανισμούς. Οι μετρήσεις έγιναν από δύο σημεία σε κάθε σύστημα και πιο συγκεκριμένα από το σημείο εισροής νερού στο φίλτρο (in) και το σημείο εκροής νερού από τα φυτά (out-NFT). Η απομάκρυνση θρεπτικού υλικού μετρήθηκε με το μαθηματικό τύπο ως εξής:

$$NRE (\%) = (C_e - C_i) * 100 / C_i$$

Όπου ισχύει :

$C_e$  = η συγκέντρωση του θρεπτικού υλικού στην είσοδο του συστήματος NFT (mg/L)

$C_i$  = η συγκέντρωση του θρεπτικού υλικού στην έξοδο του συστήματος NFT (mg/L)

Τέλος, υπολογίστηκαν οι δείκτες επιβάρυνσης φορτίων των τριών ενυδρείοπονικών συστημάτων με βάση τους παρακάτω μαθηματικούς τύπους:

- $HLR \text{ (cm/d)} = Q / W_{\text{filter}}$
- $HRT \text{ (min)} = (W_{\text{filter}} * \text{Depth}_{\text{water}} * \text{Total Porosity}) / Q$
- $P_{TAN} \text{ (mg/gr/L)} = [(TAN_{in} - TAN_{out}) * Q] / W_{\text{fish}}$
- $R_{TAN} \text{ (mg/d)} = (TAN_{in} - TAN_{out}) * Q / V_{\text{filter media}}$
- $VTR \text{ (gr TAN/m}^3\text{/d)} = Kc * (TAN_{in} - TAN_{out}) * Qr / V_{\text{total}}$

Με σχόλια [VN3]: Να συμπληρωθούν υδραυλικά φορτία, χρόνος παραμονής κλπ

## 2.10 Υπολογισμός δεικτών ανάπτυξης ιχθύων και διαχείρισης της τροφής.

Για τον υπολογισμό της ανάπτυξης των ατόμων τσιπούρας και την αξιοποίηση και τη διαχείριση της τροφής χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθοι δείκτες ομόγνομα με τις μαθηματικές σχέσεις:

- **Ημερήσια ποσότητα τροφής:**  
 $F \text{ (gr)} = \text{Average weight of fishes (gr)} * \text{Number of fishes} * \text{Nutrition level (\%)}$
- **Αύξηση σωματικού βάρους:**  
 $WG \text{ (gr)} = \text{Final average weight (gr)} - \text{Initial average weight (gr)}$
- **Συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής:**  
 $FCR = \text{Food offer/consume (gr)} / \text{Weight gain (gr)}$
- **Ειδικός ρυθμός αύξησης:**  
 $SGR \text{ (\% / d)} = [(\text{Ln initial weight} - \text{Ln final weight}) * 100] / \text{days}$
- **Συντελεστής Ευρωστίας:**  
 $CF = (W / L^3) * 100$
- **Επιβίωση:**  
 $S \text{ (\%)} = (\text{Final number of fishes} / \text{Initial number of fishes}) * 100$
- **Ημερήσια πρόσληψη τροφής:**  
 $DFI \text{ (\% / d)} = 100 * [(\text{Food consumption}) / \text{Weight increase}] / \text{days}$
- **Συντελεστής απόδοσης τροφής:**  
 $PER = \text{Weight gained (gr)} / \text{Protein offered (gr)}$

## 2.11 Υπολογισμός δεικτών ανάπτυξης φυτών.

Για τον υπολογισμό της ανάπτυξης των ατόμων γλιστρίδας χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθοι δείκτες ομόγνομα με τις μαθηματικές σχέσεις:

### **Αύξηση ύψους:**

$$DH \text{ (cm)} = \text{Final height} - \text{Initial Height}$$

### **Σχετικός ρυθμός αύξησης:**

$$RGR \text{ (\% / d)} = (\text{Final height} - \text{Initial height}) * 100 / \text{days}$$

### **Ποσοστιαία αύξησης ύψους:**

$$G \text{ (\%)} = (\text{Final height} - \text{Initial height}) * 100 / \text{Initial height}$$



## 2.12 Στατιστική Ανάλυση

Τα δεδομένα που προέκυψαν από την πειραματική διαδικασία (ποιότητα νερού, ανάπτυξη τσιπούρας και γλυστρίδας, χημική σύσταση) και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του φίλτρου επεξεργάστηκαν στατιστικά χρησιμοποιώντας την ανάλυση διακύμανσης μόνις κατεύθυνσης (one-way ANOVA) με επίπεδο σημαντικότητας 5% και κάνοντας χρήση του Tukey test προκειμένου να συγκριθούν οι διαφορές ανάμεσα στους μέσους όρους διαφόρων παραμέτρων (Zar 1999).

Η ομοιογένεια και η παραλλακτικότητας των μέσων όρων ελέγχθηκε σύμφωνα με το Levene's test ενώ ο έλεγχος της κανονικότητας έγινε με το test Kolmogorov-Smirnov. Σε περίπτωση αναμοιογένειας των μέσων όρων εφαρμόστηκε μη παραμετρικό test Kruskal Wallis. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ως μέσος όρος και τυπικό σφάλμα ( $MO \pm SEM$ ). Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε με χρήση του στατιστικού λογισμικού προγράμματος IBM SPSS Statistics V25.

### 3. Αποτελέσματα

#### 3.1 Αβιοτικοί Παράμετροι

Τα αποτελέσματα ελέγχου της ποιότητας του νερού στα τρία ενυδρειοπνικά συστήματα (2% ζ.β/ημέρα, 5% ζ.β/ημέρα και 7% ζ.β/ημέρα) καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας παρουσιάζονται αναλυτικά στο Πίνακα 4. Οι παράμετροι TAN<sub>in</sub>, TAN<sub>out</sub>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup><sub>in</sub>, PO<sub>4</sub><sup>-3</sup><sub>in</sub>, PO<sub>4</sub><sup>-3</sup><sub>outNFT</sub>, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, KH και T (°C) δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων (ANOVA, p > 0.05), καθ' όλο το διάστημα της πειραματικής εκτροφής, σε αντίθεση με τα NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (0,37 ± 0,18 mg/L) τα οποία παρουσιάζουν στατιστικά μεγαλύτερη τιμή στα ενυδρειοπνικά συστήματα που χορηγούνταν τροφή 5% του ζ.β/ημέρα και 7% του ζ.β/ημέρα, αντίστοιχα (ANOVA, p<0.05, Πιν.4).

Τα NO<sub>3</sub><sup>-</sup><sub>outNFT</sub> στο σημείο εξόδου του νερού από την υδροπονική δεξαμενή καλλιέργειας της γλιστρίδας παρουσίασαν στατιστικά μικρότερη μέση συγκέντρωση στη μεταχείριση 5% του ζ.β/ημέρα σε σύγκριση με τις μεταχειρίσεις 2% του ζ.β/ημέρα και 7% του ζ.β/ημέρα (ANOVA, p<0.05). Ομοίως, το pH παρουσίασε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων με τη μικρότερη μέση τιμή να εμφανίζεται στη μεταχείριση 5% του ζ.β/ημέρα σε σύγκριση με τις μεταχειρίσεις 2% του ζ.β/ημέρα και 7% του ζ.β/ημέρα (ANOVA, p,0.05, Πιν.4).

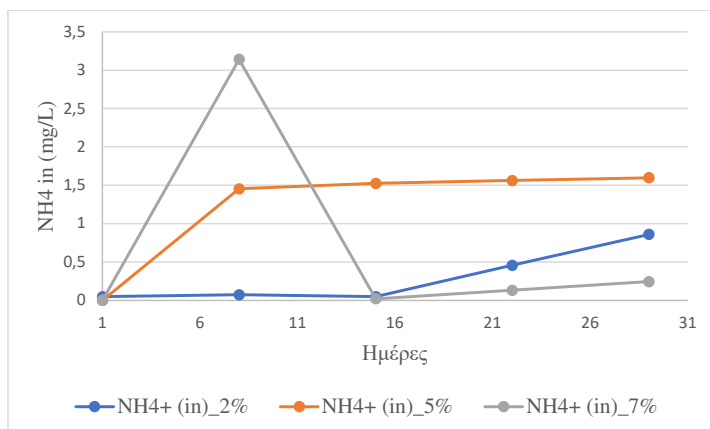
**Πίνακας 4:** Ποιότητα νερού στα συστήματα ενυδρειοπνίας συγκαλλιέργειας τσιπούρας και γλιστρίδας στα οποία χορηγήθηκε τροφή 2% του ζ.β/ημέρα, 5 του ζ.β/ημέρα και 7 % του ζ.β/ημέρα.

	2% του ζ.β/ημέρα	5% του ζ.β/ημέρα	7% του ζ.β/ημέρα
TAN <sub>in</sub> (mg/L)	0,3 ± 0,16 <sup>a</sup>	1,23 ± 0,31 <sup>a</sup>	0,71 ± 0,61 <sup>a</sup>
TAN <sub>out</sub> (mg/L)	0,26 ± 0,15 <sup>a</sup>	1,21 ± 0,3 <sup>a</sup>	0,6 ± 0,54 <sup>a</sup>
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	0,06 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,37 ± 0,18 <sup>b</sup>	0,96 ± 0,31 <sup>b</sup>
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> <sub>in</sub> (mg/L)	140,9 ± 48,68 <sup>a</sup>	128,24 ± 30,42 <sup>a</sup>	158,46 ± 23,29 <sup>a</sup>
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> <sub>outNFT</sub> (mg/L)	136,33 ± 46,61 <sup>a</sup>	30,11 ± 7,72 <sup>b</sup>	146,93 ± 20,39 <sup>a</sup>
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> <sub>in</sub> (mg/L)	0,7 ± 0,15 <sup>a</sup>	0,41 ± 0,11 <sup>a</sup>	0,25 ± 0,09 <sup>a</sup>
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> <sub>outNFT</sub> (mg/L)	0,45 ± 0,09 <sup>a</sup>	0,35 ± 0,08 <sup>a</sup>	0,19 ± 0,09 <sup>a</sup>

Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	182 ± 40,08 <sup>a</sup>	138 ± 43,03 <sup>a</sup>	157 ± 29,35 <sup>a</sup>
Mg <sup>2+</sup> (mg/L)	48,4 ± 2,77 <sup>a</sup>	46,55 ± 1,53 <sup>a</sup>	46,5 ± 1,5 <sup>a</sup>
KH (mg/L)	8,13 ± 1,11 <sup>a</sup>	8 ± 0,76 <sup>a</sup>	8,58 ± 0,44 <sup>a</sup>
pH	7,61 ± 0,05 <sup>a</sup>	7,14 ± 0,1 <sup>b</sup>	7,38 ± 0,08 <sup>a</sup>
T (°C)	23,53 ± 0,25 <sup>a</sup>	23,71 ± 0,21 <sup>a</sup>	23,47 ± 0,25 <sup>a</sup>

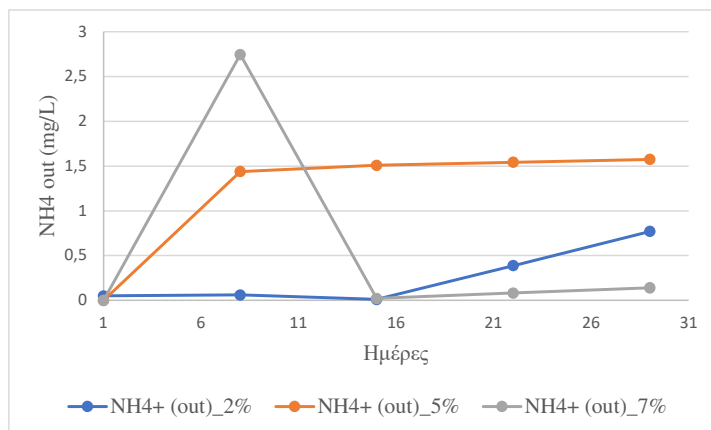
Τα δεδομένα εκφράζονται ως MO ± S.E.M. Οι μέσοι όροι μεταξύ των μεταχειρίσεων που φέρουν τον ίδιο εκθέτη δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA,  $p > 0.05$ ) (n=5).

Στο Σχήμα 1, αποτυπώνεται η μεταβολή της ολικής αμμωνίας (TAN<sub>in</sub>) στο σημείο εισόδου του νερού στο φίλτρο, η οποία παρουσιάζει αυξομειώσεις καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής εκτροφής. Ειδικότερα, στο ενυδρειοπονικό σύστημα στο οποίο χορηγήθηκε επίπεδο διατροφής 2% του ζ.β/ημέρα παρουσιάζει σταθερή διακύμανση και σταδιακή αύξηση μετά το πέρας των 15 ημερών. Τα ενυδρειοπονικά συστήματα Β και Γ με επίπεδο διατροφής 5% του ζ.β/ημέρα και 7% του ζ.β/ημέρα αντίστοιχα, παρουσίασαν μια απότομη αύξηση την πρώτη εβδομάδα της πειραματικής διαδικασίας, ενώ αργότερα η συγκέντρωση της ολικής αμμωνίας σταθεροποιήθηκε και αυξήθηκε ελάχιστα.



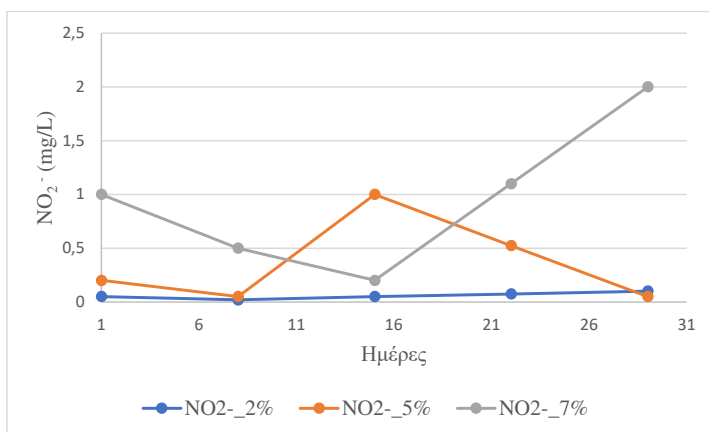
**Σχήμα 1.** Διάγραμμα μεταβολής της συγκέντρωσης της ολικής αμμωνίας (TAN<sub>in</sub>) στο σημείο εισόδου του νερού στο φίλτρο των συστημάτων ενυδρειοπονίας με επίπεδα διατροφής 2% του ζ.β/ημέρα, 5% του ζ.β/ημέρα και 7% του ζ.β/ημέρα.

Παρόμοια μεταβολή παρουσιάζουν οι τιμές της ολικής αμμωνίας ( $TAN_{out}$ ) στο σημείο εξόδου του νερού από το φίλτρο προς τις υδροπονικές δεξαμενές (Σχ.2). οι οποίες κυμαίνονται από  $0.26 \pm 0,15$  mg/L για το ενυδρειοπονικό σύστημα Α,  $1,21 \pm 0,3$  mg/L για το ενυδρειοπονικό σύστημα Β και  $0,6 \pm 0,54$  mg/L για το σύστημα Γ (mg/L).



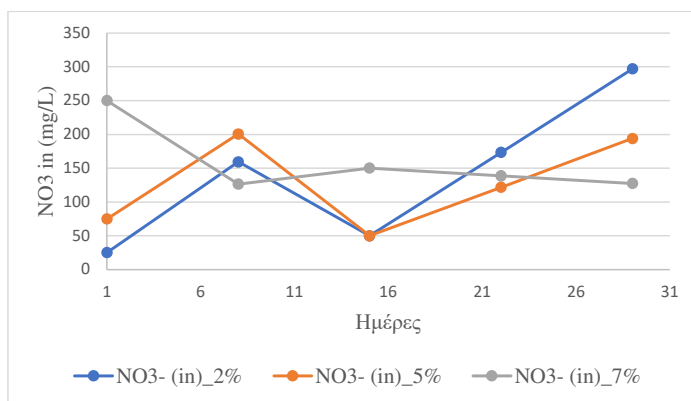
**Σχήμα 2.** Διάγραμμα μεταβολής της συγκέντρωσης της ολικής αμμωνίας ( $TAN_{out}$ ) στο σημείο εξόδου του νερού προς το φίλτρο των συστημάτων ενυδρειοπονίας με επίπεδα διατροφής 2% του ζ.β./ημέρα, 5% του ζ.β./ημέρα και 7% του ζ.β./ημέρα για όλο το διάστημα εκτροφής.

Τα νιτρώδη ιόντα ( $NO_2^-$ ) παρουσίασαν αυξομειώσεις τιμών σε κάθε σύστημα ενυδρειοπονίας όπως περιγράφεται στο Σχήμα 3. Πιο συγκεκριμένα το ενυδρειοπονικό σύστημα με επίπεδο διατροφής 2% του ζ.β./ημέρα εμφανίζει μια ήπια και ελάχιστη αύξηση της συγκέντρωσης τους κατά της διάρκεια του πειράματος, ενώ στα ενυδρειοπονικά συστήματα με επίπεδο διατροφής 5% του ζ.β./ημέρα και 7% του ζ.β./ημέρα οι αυξομειώσεις ήταν έντονες. Οι μέγιστες τιμές των νιτρωδών ιόντων καταγράφηκαν στο ενυδρειοπονικό σύστημα στο οποίο χορηγήθηκε τροφή 7% του ζ.β./ημέρα κατά την 22<sup>ης</sup> και 30<sup>ης</sup> ημέρα με συγκέντρωση που διακυμάνθηκε από 1,1 – 2 mg/L.



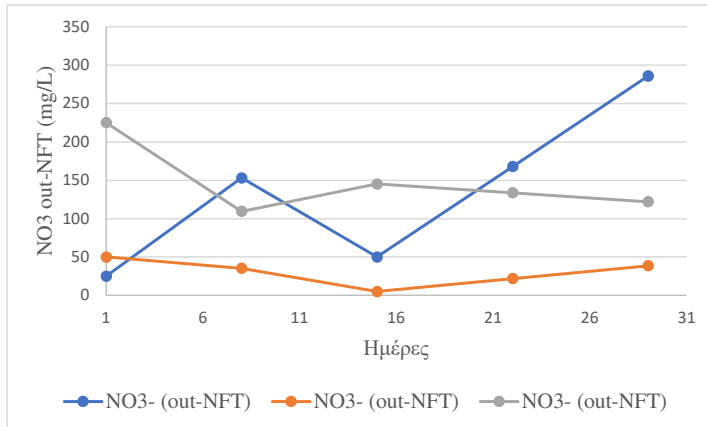
**Σχήμα 3** Μεταβολή της συγκέντρωσης των νιτρωδών ιόντων (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) σε όλες τις πειραματικές μεταχειρίσεις με επίπεδα διατροφής 2% του ζ.β/ημέρα, 5% του ζ.β/ημέρα και 7% του ζ.β/ημέρα για διάστημα 30 ημερών.

Τα νιτρικά ιόντα (NO<sub>3</sub><sup>-</sup><sub>in</sub>) στην είσοδο της υδροπονικής δεξαμενής (NFT) σε όλες τις μεταχειρίσεις (Σχ.4), παρουσίασαν παρόμοια τάση μεταβολής για τα συστήματα που χορηγούνταν 2% του ζ.β/ημέρα και 5% του ζ.β/ημέρα σε σύγκριση με εκείνα του συστήματος όπου χορηγούνταν τροφή 7% του ζ.β/ημέρα των οποίων η τάση μεταβολής ήταν πιο ήπια (Σχ.4).



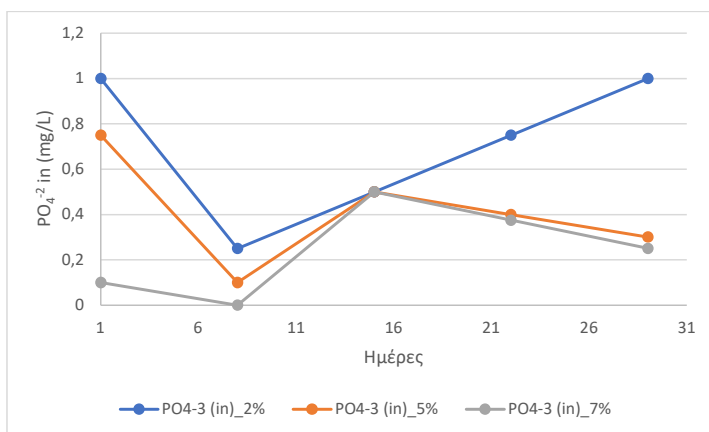
**Σχήμα 4.** Μεταβολή της συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων (NO<sub>3</sub><sup>-</sup><sub>in</sub>) στο σημείο εισόδου του νερού στην υδροπονική δεξαμενή (NFT) για τις πειραματικές μεταχειρίσεις με επίπεδα διατροφής 2%, 5% και 7% του ζ.β/ημέρα για διάστημα 30 ημερών.

Σε ότι αφορά στα νιτρικά ιόντα ( $\text{NO}_3^-$  out-NFT) στο σημείο εξόδου του νερού από την υδροπονική δεξαμενή (NFT) παρουσίασαν μια τάση αυξομειώσης σε όλες τις πειραματικές μεταχειρίσεις (Σχ.5), η οποία ήταν εντονότερη στη μεταχείριση που χορηγούνταν τροφή 2% του ζ.β/ημέρα σε σχέση με τις μεταχειρίσεις 5% και 7% του ζ.β/ημέρα.



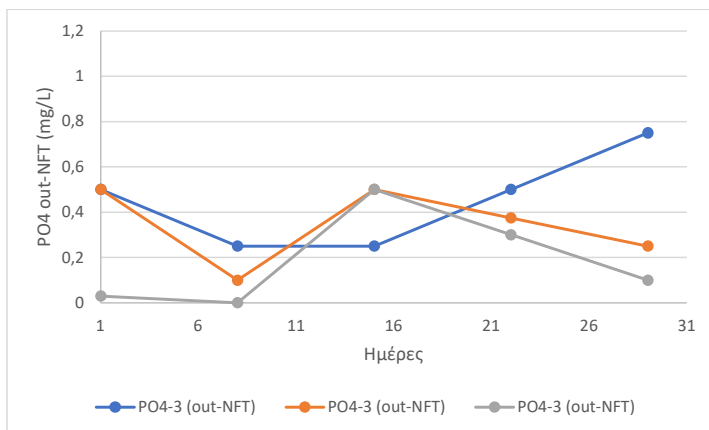
**Σχήμα 5.** Μεταβολή της συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων ( $\text{NO}_3^-$  out-NFT) στην έξοδο της υδροπονικής δεξαμενής (NFT) των συστημάτων ενυδρειοπονίας με επίπεδα διατροφής 2%, 5% και 7% του ζ.β/ημέρα καθ' όλο το διάστημα της πειραματικής καλλιέργειας.

Τα φωσφορικά ιόντα ( $\text{PO}_4^{3-}$  in) στο σημείο εισόδου της υδροπονικής δεξαμενής (NFT) παρουσιάζουν παρόμοια διακύμανση και στις τρεις μεταχειρίσεις μέχρι την 15<sup>η</sup> μέρα του πειράματος (Σχ.6). Μετά την 15<sup>η</sup> ημέρα της πειραματικής διαδικασίας τα φωσφορικά ιόντα για τη μεταχείριση 2% του ζ.β/ημέρα παρουσίασαν μια απότομη αύξηση η οποία διατηρήθηκε σταθερή έως την ολοκλήρωση της πειραματικής διαδικασίας (Σχ.6).



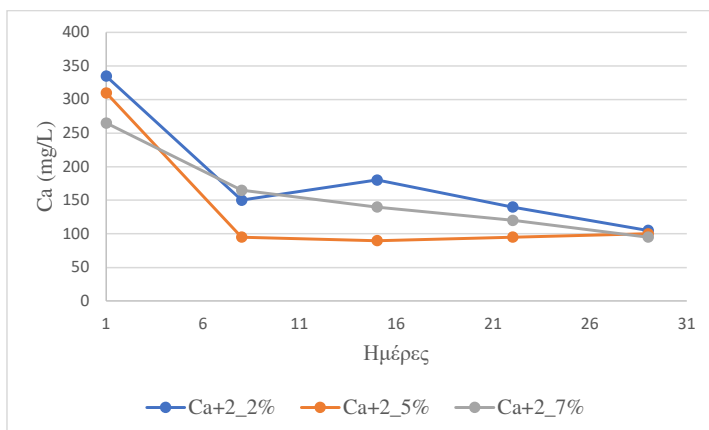
**Σχήμα 6.** Μεταβολή της συγκέντρωσης των φωσφορικών ιόντων ( $PO_4^{3-}_{in}$ ) στην είσοδο του νερού στην υδροπονική δεξαμενή (NFT) των συστημάτων ενυδρείοπονίας με επίπεδα διατροφής 2%, 5% και 7% του ζ.β/ημέρα καθ' όλο το διάστημα της πειραματικής εκτροφής.

Τα φωσφορικά ιόντα ( $PO_4^{3-}_{outNFT}$ ) στην έξοδο του νερού από την υδροπονική δεξαμενή (NFT) εμφανίζουν την υψηλότερη τιμή τους στη μεταχείριση 2% του ζ.β/ημέρα σε σύγκριση με τις μεταχειρίσεις 5% του ζ.β/ημέρα και 7% του ζ.β/ημέρα, αντίστοιχα, όπου οι τιμές τους εμφανίζουν παρόμοια τάση για όλο το διάστημα των 30 ημερών (Σχ.7).



**Σχήμα 7.** Μεταβολή της συγκέντρωσης των φωσφορικών ιόντων ( $PO_4^{3-}_{outNFT}$ ) στο σημείο έξοδο της υδροπονικής δεξαμενής (NFT) των συστημάτων ενυδρείοπονίας με επίπεδα διατροφής 2%, 5% και 7% του ζ.β/ημέρα για όλο το διάστημα εκτροφής.

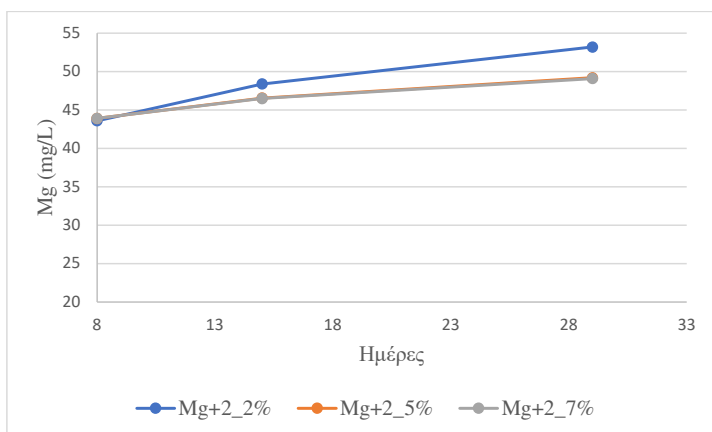
Το ασβέστιο ( $\text{Ca}^{2+}$ ) παρουσίασε παρόμοια τάση σε όλες τις μεταχειρίσεις για όλο το χρονικό διάστημα που διήρκεσε η πειραματική διαδικασία. Η μέση τιμή συγκέντρωση του ασβεστίου διακυμάνθηκε από  $182 \pm 40,08 \text{ mg/L}$  για τη μεταχείριση 2% του ζ.β/ημέρα,  $138 \pm 43,03 \text{ mg/L}$  για τη μεταχείριση 5% του ζ.β/ημέρα και  $157 \pm 29,35 \text{ mg/L}$  για τη μεταχείριση 7% του ζ.β/ημέρα (Σχ.8).



**Σχήμα 8.** Μεταβολή της συγκέντρωσης του ασβεστίου ( $\text{Ca}^{2+}$ ) στα συστήματα ενυδρείοποινας με επίπεδα διατροφής 2%, 5% και 7% του ζ.β/ημέρα για διάστημα 30 ημερών.

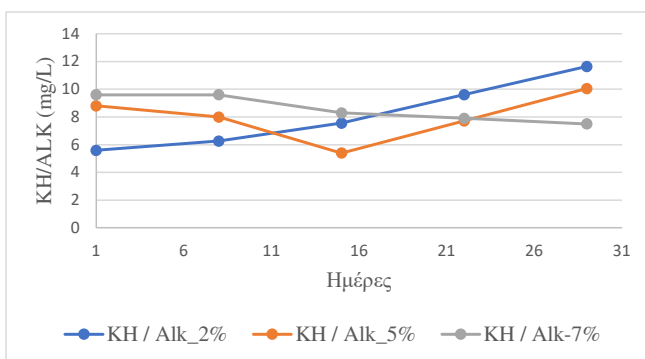
Στο Σχήμα 9, αποτυπώνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης του μαγνησίου η οποία παρουσιάζεται να εμφανίζει παρόμοια τάση σε όλα τα συστήματα ενυδρείοποινας και ειδικότερα εκείνων στα οποία χορηγείται σιτηρέσιο 5% του ζ.β/ημέρα και 7% του ζ.β/ημέρα. Η μέση τιμή τους κυμαίνεται από  $48,4 \pm 2,77 \text{ mg/L}$  για τη μεταχείριση 2% του ζ.β/ημέρα,  $46,55 \pm 1,53 \text{ mg/L}$  για τη μεταχείριση 5% του ζ.β/ημέρα και  $46,5 \pm 1,5 \text{ mg/L}$  για τη μεταχείριση 7% του ζ.β/ημέρα.





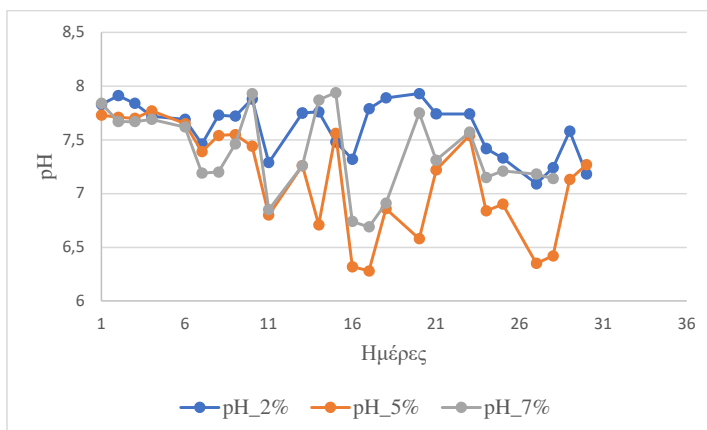
**Σχήμα 9.** Μεταβολή της συγκέντρωσης του Μαγνησίου ( $Mg^{+2}$ ) στα συστήματα ενυδρείοπονίας για 30 ημέρες εκτροφής με επίπεδα διατροφής 2% του ζ.β/ημέρα, 5% του ζ.β/ημέρα και 7% του ζ.β/ημέρα.

Η ανθρακική σκληρότητα (KH) μεταβάλλεται καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας (30 ημέρες) με την μεταχείριση 2% να εμφανίζει μια ανοδική τάση και να λαμβάνει τη μέγιστη τιμή της την 29<sup>η</sup> ημέρα του πειράματος (11,65 mg/L) (Σχ.10). Η μέση ανθρακική σκληρότητα κυμαίνεται από  $8,13 \pm 1,11$  mg/L για τη μεταχείριση 2% του ζ.β/ημέρα,  $8 \pm 0,76$  mg/L για τη μεταχείριση 5% του ζ.β/ημέρα και  $8,58 \pm 0,44$  mg/L για τη μεταχείριση 7% του ζ.β/ημέρα.



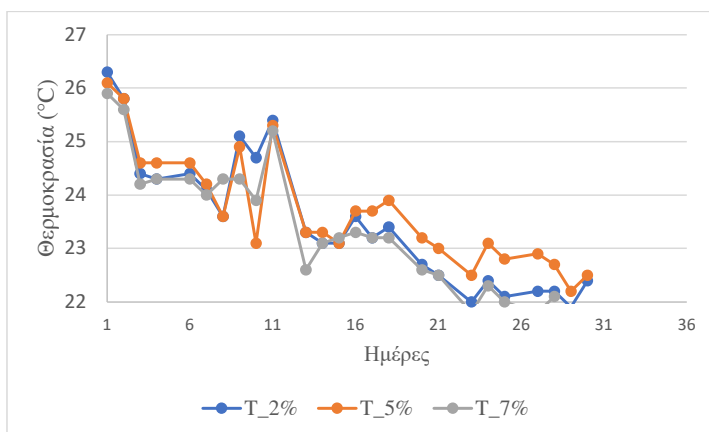
**Σχήμα 10.** Μεταβολή της συγκέντρωσης της αλκαλικότητας (KH/Alk) στις δεξαμενές εκτροφής των ψαριών με επίπεδα διατροφής 2% του ζ.β/ημέρα, 5% του ζ.β/ημέρα και 7% του ζ.β/ημέρα.

Το pH στα συστήματα ενυδρείοπονίας κυμαίνεται από  $7,61 \pm 0,05$  για το επίπεδο διατροφής 2% του ζ.β/ημέρα,  $7,14 \pm 0,1$  για το επίπεδο διατροφής 5% του ζ.β/ημέρα και αντίστοιχα  $7,38 \pm 0,08$  για το επίπεδο διατροφής 7% του ζ.β/ημέρα (Σχ.11). Κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας, το pH και των τριών μεταχειρίσεων παρουσιάζει αυξομειώσεις, με σταδιακή και σταθερή μείωση του pH με τη πάροδο του χρόνου (Σχ.11).



**Σχήμα 11.** Διάγραμμα μεταβολής του pH στα συστήματα ενυδρείοπονίας με επίπεδα διατροφής 2%, 5% του ζ.β/ημέρα και 7% του ζ.β/ημέρα.

Η μέση τιμή της θερμοκρασίας κυμαίνεται από  $23,53 \pm 0,25$  °C για το επίπεδο διατροφής 2% του ζ.β/ημέρα,  $23,71 \pm 0,21$  °C για το επίπεδο διατροφής 5% του ζ.β/ημέρα και  $23,47 \pm 0,25$  °C για το επίπεδο διατροφής 7% του ζ.β/ημέρα, η οποία ακολουθεί μια πτωτική πορεία για όλες τις ενυδρείοπονικές μεταχειρίσεις (Σχ.12).



**Σχήμα 12.** Διάγραμμα μεταβολής της θερμοκρασίας T (°C) του νερού στα συστήματα ενυδρείοπονίας με επίπεδα διατροφής 2% του ζ.β/ημέρα, 5% του ζ.β/ημέρα και 7% του ζ.β/ημέρα

### 3.2 Επιβίωση ψαριών και φυτών

Η επιβίωση στα ιχθύδια τσιπούρας στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας διακυμάνθηκε από 73,3% για τις τσιπούρες της μεταχείρισης 7% του ζ.β/ημέρα , 96,7% για τη μεταχείριση 2% του ζ.β/ημέρα έως 100% για τις τσιπούρες της μεταχείρισης 5% του ζ.β/ημέρα, αντίστοιχα (Πίν.5), χωρίς να παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA,  $p > 0.05$ ). Ομοίως, στα φυτικά άτομα γλιστρίδας η επιβίωση ήταν 75% για τη μεταχείριση 7% του ζ.β/ημέρα και 100% για τις μεταχειρίσεις 2% του ζ.β/ημέρα και 5% του ζ.β/ημέρα, αντίστοιχα (Πίν.5).

**Πίνακας 5.** Επιβίωση ψαριών και φυτών στα ενυδρείοπονικά συστήματα καθ' όλο το διάστημα εκτροφής.

	<b>2% του ζ.β/ημέρα</b>	<b>5% του ζ.β/ημέρα</b>	<b>7% του ζ.β/ημέρα</b>
Επιβίωση τσιπούρας (%)	96,7±5.77 <sup>a</sup>	100±0.00 <sup>a</sup>	73,3±20.81 <sup>a</sup>
Επιβίωση γλιστρίδας (%)	100	100	75

Τα δεδομένα εκφράζονται ως MO± STDEV. Οι μέσοι όροι μεταξύ των μεταχειρίσεων που φέρουν τον ίδιο εκθέτη δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA,  $p > 0.05$ ) (n=3).

### 3 Δείκτες ανάπτυξης ψαριών

Ο Πίνακας 6 παρουσιάζει τους δείκτες ανάπτυξης των ιχθύων στις πειραματικές μεταχειρίσεις στο τέλος της πειραματικής εκτροφής. Πιο συγκεκριμένα, στην αρχή του πειράματος, το αρχικό ολικό βάρος ( $TW_{in}$ ) και αρχικό ολικό μήκος ( $TL_{in}$ ), δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων (ANOVA,  $p > 0,05$ ). Στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας, το τελικό μέσο βάρος ( $TW_{fin}$ ) ήταν στατιστικά μικρότερο στη μεταχείριση 2% του ζ.β/ημέρα (ANOVA,  $p < 0,05$ ) σε σχέση με τις μεταχειρίσεις 5% και 7% του ζ.β/ημέρα που ήταν μεγαλύτερο (Πιν.6). Το τελικό ολικό μήκος ( $TL_{fin}$ ) παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων (ANOVA,  $p < 0,05$ ), (Πιν.6).

**Πίνακας 6.** Δείκτες ανάπτυξης των ιχθύων τσιπούρας στα ενυδρειοπνικά συστήματα με επίπεδα διατροφής 2% του ζ.β/ημέρα, 5% του ζ.β/ημέρα και 7% του ζ.β/ημέρα, καθ' όλο το διάστημα εκτροφής (30 ημέρες).

	2% του ζ.β/ημέρα	5% του ζ.β/ημέρα	7% του ζ.β/ημέρα
Αρχικό Βάρος ( $TW_{in}$ , gr)	12,2 ± 0,18 <sup>a</sup>	12,20 ± 0,15 <sup>a</sup>	12,21 ± 0,15 <sup>a</sup>
Τελικό Βάρος ( $TW_{fin}$ , gr)	19,31 ± 0,51 <sup>a</sup>	30,81 ± 0,65 <sup>b</sup>	29,04 ± 1,06 <sup>b</sup>
Αύξηση Σωματικού Βάρους (WG, gr)	7,05 ± 0,34 <sup>a</sup>	18,61 ± 0,65 <sup>b</sup>	16,78 ± 1,12 <sup>b</sup>
Ειδικός Ρυθμός Αύξησης (SGR, %/ημέρα)	1,76 ± 0,05 <sup>a</sup>	3,07 ± 0,08 <sup>b</sup>	2,84 ± 0,14 <sup>b</sup>
Αρχικός Συντελεστής Ευρωστίας ( $CF_{in}$ , gr cm <sup>-3</sup> )	1,59 ± 0,03 <sup>a</sup>	1,61 ± 0,01 <sup>a</sup>	1,60 ± 0,02 <sup>a</sup>
Τελικός Συντελεστής Ευρωστίας ( $CF_{fin}$ , gr cm <sup>-3</sup> )	1,54 ± 0,01 <sup>a</sup>	1,73 ± 0,01 <sup>b</sup>	1,82 ± 0,05 <sup>c</sup>
Αρχικό Μήκος ( $TL_{in}$ , cm)	9,16 ± 0,0 <sup>a</sup>	9,11 ± 0,05 <sup>a</sup>	9,14 ± 0,05 <sup>a</sup>
Τελικό Μήκος ( $TL_{fin}$ , cm)	10,76 ± 0,1 <sup>a</sup>	12,11 ± 0,07 <sup>b</sup>	11,67 ± 0,08 <sup>c</sup>

Τα δεδομένα εκφράζονται ως  $MO \pm SEM$ . Οι μέσοι όροι μεταξύ των μεταχειρίσεων που φέρουν τον ίδιο εκθέτη δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA,  $p > 0,05$ ) ( $n_{in}=100$ ,  $n_{fin}=82$ ).

Στο τέλος του πειράματος, οι τσιπούρες παρουσίασαν στατιστικά μεγαλύτερη αύξηση βάρους (WG, gr) στις μεταχειρίσεις 5% και 7% του ζ.β/ημέρα αντίστοιχα σε σχέση με εκείνη του 2% του ζ.β/ημέρα (ANOVA,  $p < 0,05$ ) (Πιν.6). Οι τιμές της αύξησης βάρους διακυμάνθηκαν από 7,14 ± 0,47 gr για τη μεταχείριση 2% του ζ.β/ημέρα gr έως 18,61 ± 0,67 gr και 16,78 ± 1,12 gr, αντίστοιχα για τις μεταχειρίσεις 5% του ζ.β/ημέρα και 7% του ζ.β/ημέρα (Πιν.6).

Ο αρχικός συντελεστής ευρωστίας ( $CF_{in}$ ), δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων (ANOVA,  $p > 0,05$ ). Η μέση τιμή του αρχικού συντελεστή ευρωστίας ήταν  $1,59 \pm 0,01 \text{ gr/cm}^3$  για το επίπεδο διατροφής 2% του ζ.β/ημέρα,  $1,62 \pm 0,01 \text{ gr/cm}^3$  για το επίπεδο διατροφής 5% του ζ.β/ημέρα και  $1,6 \pm 0,02 \text{ gr/cm}^3$  για το επίπεδο διατροφής 7% του ζ.β/ημέρα (Πιν.6).

Ο συντελεστής ευρωστίας ( $CF_{fin}$ ) στο τέλος του πειράματος, παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων (ANOVA,  $p < 0,05$ ). Η μέση τιμή του τελικού συντελεστή ευρωστίας διακυμάνθηκε από  $1,54 \pm 0,01 \text{ gr/cm}^3$  για το επίπεδο διατροφής 2% του ζ.β/ημέρα,  $1,73 \pm 0,01 \text{ gr/cm}^3$  για το επίπεδο διατροφής 5% του ζ.β/ημέρα και  $1,82 \pm 0,05 \text{ gr/cm}^3$  για το επίπεδο διατροφής 7% του ζ.β/ημέρα (Πιν.6). Την καλύτερη ευρωστία εμφάνισαν οι ιχθύες της μεταχείρισης 7% του ζ.β/ημέρα, ενώ τα ιχθύδια τσιπούρας της μεταχείρισης 2 του ζ.β/ημέρα ήταν λιγότερο εύρωστα σε σύγκριση με την αρχικό συντελεστή ευρωστίας.

Τέλος, ο ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (SGR) παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων (ANOVA,  $p < 0,05$ ) (Πιν.6). Πιο αναλυτικά, η μέση τιμή του δείκτη SGR για όλες τις πειραματικές μεταχειρίσεις διακυμάνθηκε από  $1,76 \pm 0,05 \text{ %/ημέρα}$  για το σύστημα που σιτίζονταν με 2% του ζ.β/ημέρα,  $3,07 \pm 0,08 \text{ %/ημέρα}$  για το ενυδρειοπονικό σύστημα 5% του ζ.β/ημέρα και  $2,84 \pm 0,14 \text{ %/ημέρα}$  για το σύστημα 7% του ζ.β/ημέρα.

### 3.4 Δείκτες αξιοποίησης και κατανάλωσης της τροφής

Ο Πίνακας 7, παρουσιάζει τους δείκτες αξιοποίησης και κατανάλωσης της τροφής καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής εκτροφής σε όλες τις πειραματικές που σιτίζονται αντίστοιχα με 2% του ζ.β/ημέρα, 5% του ζ.β/ημέρα και 7% του ζ.β/ημέρα. Η μέση ημερήσια πρόσληψη της τροφής (DFI %/ημέρα) παρουσίασε στατιστικά τη μεγαλύτερη τιμή της στη μεταχείριση 7% του ζ.β/ημέρα (ANOVA,  $p < 0,05$ ) σε σχέση με τις μεταχειρίσεις 2% του ζ.β/ημέρα και 5% του ζ.β/ημέρα και διακυμάνθηκε από  $1,14 \pm 0,11 \text{ %/ημέρα}$  για τις τσιπούρες που σιτίζονταν με 2% του ζ.β/ημέρα,  $1,25 \pm 0,09 \text{ %/ημέρα}$  για τη μεταχείριση 5% του ζ.β/ημέρα έως  $1,60 \pm 0,13 \text{ %/ημέρα}$  (Πιν.7).

Παρόμοια τάση παρουσίασε και ο συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής ο οποίος στατιστικά ήταν μεγαλύτερος (ANOVA,  $p < 0,05$ , Πιν.7) στη μεταχείριση 7% του ζ.β/ημέρα σε σχέση με τις μεταχειρίσεις 2% του ζ.β/ημέρα και 5% του ζ.β/ημέρα.

Οι τσιπούρες παρουσίασαν στατιστικά μεγαλύτερη κατανάλωση τροφής (ANOVA,  $p < 0.05$ ) όταν διατρέφονταν με 5% του ζ.β/ημέρα και 7% του ζ.β/ημέρα, σε σύγκριση με τις τσιπούρες που διατρέφονταν με 2% του ζ.β/ημέρα οι οποίες παρουσίασαν τη μικρότερη κατανάλωση τροφής (Πιν.7).

**Πίνακας 7.** Δείκτες αξιοποίησης και κατανάλωσης της τροφής από τα άτομα τσιπούρας στα ενυδρειοπονικά συστήματα με επίπεδα διατροφής 2% του ζ.β/ημέρα, 5% του ζ.β/ημέρα και 7% του ζ.β/ημέρα, καθ' όλο το διάστημα εκτροφής (30 ημέρες).

	<b>2% του ζ.β/ημέρα</b>	<b>5% του ζ.β/ημέρα</b>	<b>7% του ζ.β/ημέρα</b>
Ημερήσια πρόσληψη τροφής (DFI, %/ημέρα)	1.14 ± 0,11 <sup>a</sup>	1.25 ± 0,09 <sup>a</sup>	1.60 ± 0,13 <sup>b</sup>
Συντελεστής μετατρεψιμότητας τροφής (FCR)	0,87 ± 0,06 <sup>a</sup>	0,98 ± 0,03 <sup>a</sup>	1,29 ± 0,11 <sup>b</sup>
Κατανάλωση τροφής (FC, gr)	2,16 ± 0,06 <sup>a</sup>	6,86 ± 0,45 <sup>b</sup>	7,16 ± 0,13 <sup>b</sup>
Συντελεστής απόδοσης πρωτεΐνης (PER, %)	2,32 ± 0,11 <sup>a</sup>	1,95 ± 0,07 <sup>b</sup>	1,63 ± 0,12 <sup>c</sup>

Τα δεδομένα εκφράζονται ως  $MO \pm SEM$ . Οι μέσοι όροι μεταξύ των μεταχειρίσεων που φέρουν τον ίδιο εκθέτη δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA,  $p > 0.05$ ) ( $n=100$ ,  $n_{fin}=82$ ).

Ο συντελεστής απόδοσης της πρωτεΐνης παρουσίασε στατιστικά τη μικρότερη τιμή όταν οι τσιπούρες διατρέφονταν με 7% του ζ.β/ημέρα (ANOVA,  $p < 0.05$ ) σε σχέση με τις τσιπούρες που διατρέφονταν με 2% του ζ.β/ημέρα και 5% του ζ.β/ημέρα (Πιν.7). Διακυμάνθηκε από  $2,32 \pm 0,11$  % για τη μεταχείριση 2% του ζ.β/ημέρα,  $1,95 \pm 0,07$  % για τις τσιπούρες που διατρέφονταν με 5% του ζ.β/ημέρα και  $1,63 \pm 0,12$  % για τις τσιπούρες που διατρέφονταν με 7% του ζ.β/ημέρα (Πιν.7).

### 3.5 Δείκτες ανάπτυξης γλιστρίδας

Οι δείκτες ανάπτυξης της γλιστρίδας παρουσιάζονται στο Πίνακα 8. Στην αρχή της πειραματικής διαδικασίας το αρχικό ύψος της γλιστρίδας δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντική διαφορά (ANOVA,  $p > 0.05$ ). Στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας (30 ημέρες) το μέσο τελικό ύψος των ατόμων γλιστρίδας, ο σχετικός ρυθμός αύξησης (RGR), η ποσοστιαία αύξηση ύψους (G) και η διαφορά ύψους παρουσίασαν στατιστικά μεγαλύτερη μέση τιμή στη μεταχείριση 7% του ζ.β/ημέρα σε σύγκριση με τις μεταχειρίσεις 2% του ζ.β/ημέρα και 5% του ζ.β/ημέρα που ήταν μικρότερες (ANOVA,  $p < 0.05$ ).

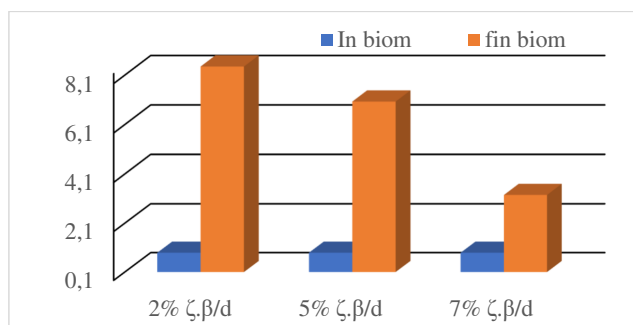
Αριθμητικά, η μέση αύξηση ύψους της γλιστρίδας διακυμάνθηκε από  $15,45 \pm 2,78$  cm για τη μεταχείριση 2% του ζ.β/ημέρα,  $16,08 \pm 3,8$  cm για τη μεταχείριση 5% του ζ.β/ημέρα και  $17,53 \pm 1,9$  cm για τη μεταχείριση 7% του ζ.β/ημέρα. Ομοίως, η μέση τιμή του σχετικού ρυθμού αύξησης διακυμάνθηκε από  $0,17 \pm 0,13$  %/ημέρα για το επίπεδο διατροφής 2%,  $0,20 \pm 0,05$  %/ημέρα για το επίπεδο διατροφής 5% και  $0,61 \pm 0,16$  %/ημέρα για το επίπεδο διατροφής 7%. Η ποσοστιαία αύξηση στα φυτικά άτομα της γλιστρίδας στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας ήταν  $21,27 \pm 5,96$  % για τα άτομα γλιστρίδας που καλλιεργήθηκαν στη μεταχείριση που χορηγήθηκε τροφή 7% του ζ.β/ημέρα σε σύγκριση με τα άτομα γλιστρίδας που καλλιεργήθηκαν στα ενυδρειοπονικά συστήματα που χορηγήθηκε τροφή 2% του ζ.β/ημέρα και 5% του ζ.β/ημέρα που ήταν αντίστοιχα,  $5,98 \pm 4,11\%$  και  $6,30 \pm 1,56\%$ .

**Πίνακας 8.** Δείκτες ανάπτυξης της γλιστρίδας στα πειραματικά ενυδρειοπονικά συστήματα με επίπεδα διατροφής 2% του ζ.β/ημέρα, 5% του ζ.β/ημέρα και 7% του ζ.β/ημέρα, διάρκειας 30 ημερών.

	<b>2% του ζ.β/ημέρα</b>	<b>5% του ζ.β/ημέρα</b>	<b>7% του ζ.β/ημέρα</b>
Αρχικό Ύψος ( $H_{in}$ , cm)	$15,45 \pm 2,78^a$	$16,8 \pm 3,8^a$	$17,53 \pm 1,9^a$
Τελικό Ύψος ( $H_{fin}$ , cm)	$16,25 \pm 1,59^a$	$18,08 \pm 2,08^a$	$22,93 \pm 0,48^b$
Αύξηση Ύψους (DH, cm)	$0,80 \pm 0,48^a$	$1,28 \pm 0,39^a$	$3,77 \pm 1,48^b$
Σχετικός Ρυθμός Αύξησης (RGR, %/ημέρα)	$0,17 \pm 0,13^a$	$0,20 \pm 0,05^a$	$0,61 \pm 0,16^b$
Ποσοστιαία Αύξηση Ύψους (G%)	$5,98 \pm 4,11^a$	$6,30 \pm 1,56^a$	$21,27 \pm 5,96^b$

Τα δεδομένα εκφράζονται ως  $MO \pm SEM$ . Οι μέσοι όροι μεταξύ των μεταχειρίσεων που φέρουν τον ίδιο εκθέτη δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA,  $p > 0,05$ ) ( $n=12$ ).

Στο Σχήμα 13, αποτυπώνεται διαγραμματικά η αρχική και η τελική βιομάζα των φυτών της γλιστρίδας για όλες τις πειραματικές μεταχειρίσεις.



**Σχήμα 13.** Αρχική και τελική βιομάζα των φυτών της γλιστρίδας στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας μεταξύ των μεταχειρίσεων.

### 3.6 Ποιοτική σύσταση ιστού τσιπούρας και γλιστρίδας

#### 3.6.1 Ανάλυση σύστασης ιστού τσιπούρας

Ο Πίνακας 9, παρουσιάζει τις αναλύσεις στη σύσταση της σάρκας των ψαριών (% ξηρής ουσίας) σε πρωτεΐνη, λίπος, ενέργεια και υγρασία στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας (30 ημέρες) σε σύγκριση με το αρχικό δείγμα του ιστού τσιπούρας. Οι μέσες συγκεντρώσεις της πρωτεΐνης, των λιπιδίων της ενέργειας και της υγρασίας στο ολικό μυικό ιστό (whole body) της τσιπούρας στην αρχή και στο τέλος του πειράματος παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές σε όλες τις διατροφικές μεταχειρίσεις των ενυδρείοπνοικών συστημάτων (ANOVA,  $p < 0,05$ ). Πιο αναλυτικά, η ολική πρωτεΐνη παρουσίασε στατιστικά την μικρότερη τιμή της στο μυικό ιστό της τσιπούρας που διατράφηκε με 5% του ζ,β/ημέρα και 7% του ζ,β/ημέρα αντίστοιχα, σε σχέση με τις τσιπούρες που διατράφηκαν με 2% του ζ,β/ημέρα καθώς και με το αρχικό μυικό ιστό των τσιπουρών που ήταν μεγαλύτερη (ANOVA,  $p < 0,05$ ).

Ομοίως, το λίπος στον ιστό της τσιπούρας στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας παρουσιάστηκε να είναι στατιστικά μεγαλύτερο στη μεταχείριση 5% του ζ,β/ημέρα σε σχέση με τις μεταχειρίσεις 2% του ζ,β/ημέρα και 7% του ζ,β/ημέρα που ήταν μικρότερο (ANOVA,  $p < 0,05$ ). Τα ολικά λιπίδια στο αρχικό δείγμα των ιχθύων τσιπούρας ήταν στατιστικά μικρότερα (ANOVA,  $p < 0,05$ ) σε σχέση με τα λιπίδια στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας υποδηλώνοντας με τον τρόπο αυτό ότι, οι τσιπούρες εναπόθεσαν μεγαλύτερη ή μικρότερη ποσότητα λίπους στο μυικό ιστό τους, εξαρτόμενο από το επίπεδο διατροφής που ελάμβαναν (Πιν.9).



**Πίνακας 9.** Ανάλυση ποιότητας αρχικού - τελικού μυϊκού ιστού τσιπούρας σε πρωτεΐνη, λίπος, ενέργεια και υγρασία για τα άτομα τσιπούρας που διατράφηκαν με 2% του ζ.β/ημέρα, 5% του ζ.β/ημέρα και 7% ζ.β/ημέρα καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας (30 ημέρες).

Ψάρια	Αρχικό	2% του ζ.β/ημέρα	5% του ζ.β/ημέρα	7% του ζ.β/ημέρα
Πρωτεΐνη (%)	71,15 ± 0,16 <sup>a</sup>	75,50 ± 0,16 <sup>c</sup>	69,53 ± 0,28 <sup>b</sup>	69,22 ± 0,48 <sup>b</sup>
Λίπος (%)	9,96 ± 0,06 <sup>a</sup>	10,49 ± 0,19 <sup>a</sup>	18,87 ± 0,38 <sup>b</sup>	17,57 ± 0,09 <sup>c</sup>
Ενέργεια (J)	20,6 ± 0,77	21,68 ± 0,77	23,56 ± 0,77	23,79 ± 0,77
Υγρασία (%)	77,13 ± 0,47 <sup>a</sup>	81,20 ± 0,53 <sup>b</sup>	76,25 ± 0,37 <sup>a</sup>	80,41 ± 0,53 <sup>b</sup>

Τα δεδομένα εκφράζονται ως MO±SEM. Οι μέσοι όροι μεταξύ των μεταχειρίσεων που φέρουν τον ίδιο εκθέτη δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA,  $p > 0.05$ ) ( $n=10$ ,  $n$  energy=2).

### 3.6.2 Χημική σύσταση κοπράνων-πεπτικότητα σε πρωτεΐνη

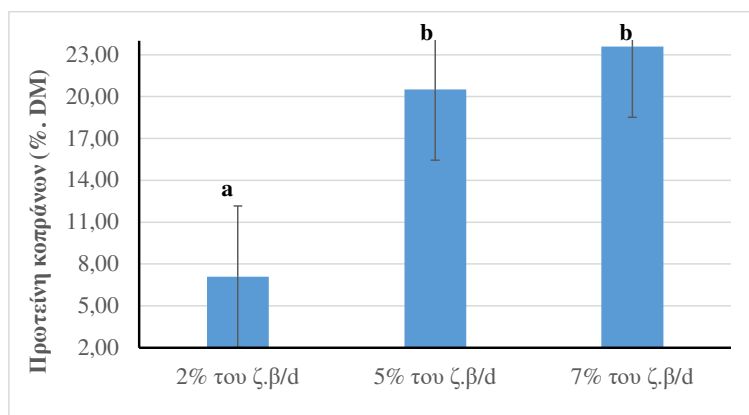
Οι αναλύσεις της σύστασης των περιττωμάτων της τσιπούρας σε πρωτεΐνη λιπίδια, και υγρασία που συλλέχθηκαν από τις εκτρεφόμενες τσιπούρες καθ' όλη το διάστημα εκτροφής (30 ημέρες) έδειξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων (ANOVA,  $p<0.05$ ). Η μέση περιεκτικότητα των κοπράνων της τσιπούρας σε πρωτεΐνη ήταν στατιστικά μεγαλύτερη στα ενυδρειοπνικά συστήματα που χορηγείται τροφή 5% του ζ.β ιχθύος/d και 7% του ζ.β ιχθύος/ ημέρα, σε σύγκριση με μεταχείριση 2% του ζ.β ιχθύος/ημέρα που ήταν μικρότερη (ANOVA,  $p<0.05$ , Πιν.10, Σχ.14).

Η μέση περιεκτικότητα των κοπράνων της τσιπούρας σε υγρασία ήταν στατιστικά μεγαλύτερη στη μεταχείριση 2% του ζ.β ιχθύος/ημέρα σε σύγκριση με εκείνες των 5% του ζ.β ιχθύος/ημέρα και 7% του ζ.β ιχθύος/ ημέρα (ANOVA,  $p<0.05$ , Πιν.10). Ομοίως η πεπτικότητα της πρωτεΐνης ήταν στατιστικά μεγαλύτερη στη μεταχείριση 2% του ζ.β/ημέρα σε σύγκριση με εκείνη των 5% του ζ.β ιχθύος/ημέρα και 7% του ζ.β ιχθύος/ ημέρα (ANOVA,  $p<0.05$ , Πιν.10).

**Πίνακας 10.** Χημική σύσταση κοπράνων τσιπούρας σε πρωτεΐνη, Λίπος και Υγρασία των περιττωμάτων για τις τσιπούρες που χορηγούνταν τροφή 2% του ζ.β ιχθύος/ημέρα, 5% του ζ.β ιχθύος/ημέρα και 7% του ζ.β ιχθύος/ημέρα.

	2% του ζ.β/ημέρα	5% του ζ.β/ημέρα	7% του ζ.β/ημέρα
Πρωτεΐνη (%)	7,08 ± 0,36 <sup>a</sup>	20,51 ± 0,46 <sup>b</sup>	23,6 ± 1,28 <sup>b</sup>
Λίπος (%)	4,17 ± 0,77	1,92 ± 0,77	1,79 ± 0,77
Υγρασία (%)	99,65 ± 0,26 <sup>a</sup>	98,23 ± 0,35 <sup>b</sup>	98,78 ± 0,27 <sup>b</sup>
Φαινομενική πεπτικότητα πρωτεΐνης (ADC %)	86,88 ± 0,67 <sup>a</sup>	62,01 ± 0,86 <sup>b</sup>	56,3 ± 2,37 <sup>b</sup>

Τα δεδομένα εκφράζονται ως MO ± SEM. Οι μέσοι όροι μεταξύ των μεταχειρίσεων που φέρουν τον ίδιο εκθέτη δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA,  $p > 0.05$ ) (n=3).



**Σχήμα 14:** Μέση περιεκτικότητα (%) πρωτεΐνης των περιττωμάτων που συλλέχθηκαν από τις τσιπούρες στα ενυδρειοπονικά συστήματα που σίτισηκαν με διαφορετικό επίπεδο διατροφής (2% του ζ.β/ημέρα, 5% του ζ.β/ημέρα και 7% του ζ.β/ημέρα).

### 3.6.3 Ανάλυση χημικής σύστασης φυτικού ιστού γλιστρίδας

Ο Πίνακας 11, παρουσιάζει τη ανάλυση της σύστασης στον φυτικό ιστό της γλιστρίδας σε οικό άζωτο, πρωτεΐνη, ενέργεια και υγρασία. Σε ότι αφορά την πρωτεΐνη τα φυτικά άτομα της γλιστρίδας παρουσίασαν στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων (ANOVA,  $p < 0.05$ ). Ποιο συγκεκριμένα η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη ήταν στατιστικά μεγαλύτερη στα ενυδρειοπονικά συστήματα που χορήγηθηκε ως τροφή

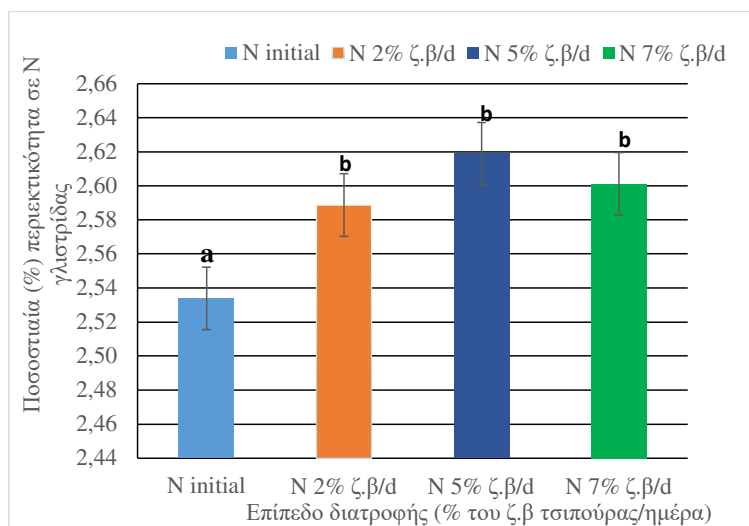
2% του ζ.β/ημέρα, 5% του ζ.β/ημέρα και 7% του ζ.β/ημέρα σε σύγκριση με το αρχικό δείγμα των ατόμων γλιστρίδας. Οι μέσες αριθμητικές συγκεντρώσεις κυμαίνονταν από  $14,47 \pm 0,09$  % για το αρχικό δείγμα,  $14,78 \pm 0,04$ % για τις γλιστρίδες που καλλιεργήθηκαν στη μεταχείριση 2% του ζ.β/ημέρα,  $14,95 \pm 0,09$  % για τις γλιστρίδες που καλλιεργήθηκαν στη μεταχείριση 5% του ζ.β/ημέρα και  $14,85 \pm 0,17$  % για τη μεταχείριση 7% (Πιν.11).

Σε ότι αφορά, στην απορρόφηση της γλιστρίδας σε ολικές αζωτούχες ουσίες (%) ήταν στατιστικά μεγαλύτερη (ANOVA,  $p < 0,05$ , Πιν.11) στη γλιστρίδα που καλλιεργήθηκε στα ενυδρείοπνικά συστήματα όταν χορηγείται τροφή 2% του ζ.β ιχθύος/ημέρα, 5% του ζ.β ιχθύος/ημέρα και 7% του ζ.β ιχθύος/ημέρα σε σύγκριση με το αρχικό δείγμα της γλιστρίδας πριν χρησιμοποιηθεί για ανάπτυξη στα πειραματικά ενυδρείοπνικά συστήματα (Σχ.15).

**Πίνακας 11.** Ανάλυση σύστασης αρχικού και τελικού δείγματος ιστού γλιστρίδας σε άζωτο, πρωτεΐνη, ενέργεια, και υγρασία στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας για όλες τις μεταχειρισίσεις.

Φυτά	Αρχικό δείγμα	2% του ζ.β/ημέρα (τελικό δείγμα)	5% του ζ.β/ημέρα (τελικό δείγμα)	7% του ζ.β/ημέρα (τελικό δείγμα)
Πρωτεΐνη (%)	$14,47 \pm 0,09^a$	$14,78 \pm 0,04^b$	$14,95 \pm 0,09^b$	$14,85 \pm 0,17^b$
Ενέργεια (%)	$13,94 \pm 0,02$	$13,85 \pm 0,02$	$13,87 \pm 0,02$	$13,89 \pm 0,02$
Υγρασία (%)	-	$82,1 \pm 2,59$	$77,91 \pm 2,59$	$86,86 \pm 2,59$
Άζωτο (%)	$2,53 \pm 0,02^a$	$2,59 \pm 0,01^b$	$2,62 \pm 0,03^b$	$2,60 \pm 0,03^b$

Τα δεδομένα εκφράζονται ως  $MO \pm SEM$ . Οι μέσοι όροι μεταξύ των μεταχειρίσεων που φέρουν τον ίδιο εκθέτη δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA,  $p > 0,05$ ) ( $n_{\text{protein}}=12$ ,  $n_{\text{nitrogen}}=12$ ,  $n_{\text{energy}}$ ,  $n_{\text{moist}}=6$ ).



**Σχήμα 15.** Ποσοστιαία απορρόφηση-κατανάλωση ολικών αζωτούχων ενώσεων από τη γλιστρίδα στα ενυδρειοπονικά συστήματα που χορηγήθηκε σιτηρέσιο 2% του ζ.β/ημέρα, 5% του ζ.β/ημέρα και 7% του ζ.β/ημέρα για όλο το διάστημα της πειραματικής διαδικασίας (30 ημέρα).

### 3.7 Δείκτες επιβάρυνσης και λειτουργίας ενυδρειοπονικών συστημάτων

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το υδραυλικό φορτίο (HLR) και ο υδραυλικός χρόνος παραμονής (HRT) δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών πειραματικών μεταχειρίσεων (ANOVA,  $p > 0,05$ ).

Ο ημερήσιος ρυθμός παραγωγής αμμωνίας ( $P_{TAN}$ ) και ο ρυθμός οξείδωσης της αμμωνίας ( $R_{TAN}$ ) παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών συστημάτων ενυδρειοπονίας (ANOVA,  $p < 0,05$ ). Ο ρυθμός οξείδωσης της ολικής αμμωνίας (VTR) δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων (ANOVA,  $p > 0,05$ ).

Πίνακας 12. Δείκτες λειτουργίας ενυδρειοπονικών συστημάτων στις πειραματικές μεταχειρίσεις όταν χορηγείται τροφή 2% του ζ.β/ημέρα, 5% του ζ.β/ημέρα και 7% του ζ.β/ημέρα καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας (30 ημέρα).

	<b>2% του ζ.β/ημέρα</b>	<b>5% του ζ.β/ημέρα</b>	<b>7% του ζ.β/ημέρα</b>
HLR (cm/ημέρα)	5,88 ± 0,03 <sup>a</sup>	5,93 ± 0,08 <sup>a</sup>	5,91 ± 0,04 <sup>b</sup>
HRT (min)	1,53 ± 0,01 <sup>a</sup>	1,52 ± 0,02 <sup>b</sup>	1,52 ± 0,01 <sup>a</sup>
P <sub>TAN</sub> (mg/gr/L)	1,17 ± 0,01 <sup>a</sup>	1,86 ± 0,01 <sup>b</sup>	1,95 ± 0,08 <sup>b</sup>
R <sub>TAN</sub> (mg/ημέρα)	0,01 ± 0,003 <sup>a</sup>	0,003 ± 0,001 <sup>a</sup>	0,02 ± 0,01 <sup>a</sup>
VTR (gr TAN/m <sup>3</sup> /ημέρα)	5,65 ± 2,31 <sup>a</sup>	1,96 ± 0,62 <sup>a</sup>	9,84 ± 6,63 <sup>a</sup>

Τα δεδομένα εκφράζονται ως MO ± SEM. Οι μέσοι όροι μεταξύ των μεταχειρίσεων που φέρουν τον ίδιο εκθέτη δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA, p > 0.05) (n=15)

## **.ΣΥΖΗΤΗΣΗ**

Η ενυδραιοπονία με υφάλμυρο νερό αποτελεί μια τεχνική διαδικασία η οποία αποσκοπεί να αυξήσει την παραγωγή τροφίμων, να βελτιώσει την απόδοση (αύξηση παραγωγικής διαδικασίας) και να παράξει εν γένει οικολογικά-βιολογικά τρόφιμα. Η ενυδραιοπονία με υφάλμυρο-θαλασσινό νερό συνθέτει μια τεχνική πρακτική που εφαρμόζεται σήμερα και χρησιμοποιεί θαλασσινά είδη ψαριών και φυτά που παρουσιάζουν αυξημένη ανθεκτικότητα στην αλατότητα.

Σύμφωνα με τους συγγραφείς, στη μέχρι σήμερα αναζήτηση της βιβλιογραφίας σε διεθνή περιοδικά, υπάρχει περιορισμένος αριθμός μελετών που αναφέρονται στην υφάλμυρη ενυδραιοπονία (Kotzen *et al.* 2010, Pantanella & Colla 2013, Vlahos *et al.* 2019, Καπετάνιος 2021) συγκριτικά με την ενυδραιοπονία που διενεργείται στο γλυκό νερό όπου ο αριθμός των άρθρων ήταν σημαντικά μεγαλύτερος (Fronte *et al.* 2016, Stathopoulou *et al.* 2021). Ως εκ τούτου η παρούσα εργασία επιχειρεί να καλύψει το βιβλιογραφικό κενό που υπάρχει και διαμέσου των αποτελεσμάτων της να συνδράμει στην ανάπτυξη της ενυδραιοπονίας με υφάλμυρο ή θαλασσινό νερό. Η παρούσα εργασία πραγματεύεται για πρώτη φορά την ανάπτυξη της τσιπούρας και της γλιστρίδας σε υφάλμυρο νερό αλατότητας 5ppt χρησιμοποιώντας τρία διαφορετικά σιτηρέσια (2%, του ζ.β/ημέρα 5% και 7% ζ.β.).

### **4.1 Αβιοτικοί παράγοντες**

Οι φυσικοχημικές παράμετροι του νερού διατηρήθηκαν σε σταθερά επίπεδα καθ' όλη την διάρκεια του πειράματος χωρίς να παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA,  $p > 0.05$ ) σε όλες τις μεταχειρίσεις. Το pH καθ' όλη τη διάρκεια των 30 ημερών που διήρκεσε η εκτροφή διακυμανθηκε από 7,14 έως 7,61 παρόμοια με εκείνα που αναφέρονται από τους Somerville *et al.* (2014) για τα συστήματα ενυδραιοπονίας. Οι Vlahos *et al.* (2019) καλλιέργησαν τσιπούρα και κρίταμο σε ενυδραιοπονικό σύστημα με αλατότητες 8 ppt και 20 ppt αναφέρουν τιμές pH υψηλότερες (7,54-7,73) από τις τιμές pH του παρόντος πειράματος.

Ομοίως, οι Nozzi *et al.* (2016), αναφέρουν, τιμές pH της τάξης 8-8,4 για το λαβράκι όταν καλλιεργείται σε σύστημα ενυδραιοπονίας με σέσκουλο σε αλατότητα 20ppt και σε γλυκό νερό σε σχέση με τις τιμές pH του παρόντος πειράματος. Οι Kotzen & Appelbaum (2010) καλλιέργησαν τιλάπια και διάφορα βότανα σε σύστημα ενυδραιοπονίας με νερό

αλατότητας 5ppt και με το pH να σημειώνει μικρότερο εύρος τιμών (6,32 -7,92) σε σχέση με το παρόν πείραμα.

Σε ότι αφορά στην αμμωνία, τα αποτελέσματα έδειξαν εύρος τιμών από 0,3 έως 1,23 mg/L για όλες τις μεταχειρίσεις με τη μικρότερη στατιστικά συγκέντρωση αμμωνίας (0,3mg/L) να καταγράφεται στη μεταχείριση που χορηγήθηκε επίπεδο διατροφής 2% του ζ.β/ημέρα συγκριτικά με τις υπόλοιπες δύο μεταχειρίσεις (5% του ζ.β/ημέρα και 7% του ζ.β/ημέρα).

Η μέση τιμή της TAN για τη μεταχείριση 2% του ζ.β/ημερα που προέκυψε από το παρόν πείραμα παρουσίασε παρόμοια τιμή με εκείνη που αναφέρουν οι Vlahos *et al.* (2019) για την τσιπούρα και ήταν 0,33 mg/L που καλλιεργήθηκε σε ενυδρειοπονικό σύστημα με αλατότητα 8ppt σε συνδυασμό με κρίταμο. Επίσης, στις μεταχειρίσεις 5% του ζ.β/ημέρα και 7% του ζ.β/ημέρα τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το παρόν πείραμα έδειξαν ότι μέσες τιμές της TAN ήταν μεγαλύτερες από εκείνες που αναφέρουν οι Vlahos *et al.* (2019) για την τσιπούρα (0,33 έως 0,45 mg/L) όταν καλλιεργήθηκε σε ενυδρειοπονικό σύστημα με αλατότητες 8 ppt και 20 ppt σε συνδυασμό με κρίταμο.

Οι Kotzen & Appelbaum (2010) αναφέρουν μεγαλύτερη μέση τιμή αμμωνίας (1,87 mg/L) από τις τιμές αμμωνίας στο παρόν πείραμα, σε αντίθεση με τους Nozzi *et al.* (2016) οι οποίοι αναφέρουν μικρότερες τιμές αμμωνίας (0,05 mg/L) συγκριτικά με τις τιμές TAN του παρόντος πειράματος. Επίσης, η Τάσιου (2019) αναφέρει εύρος τιμών TAN από 0,24 ± 0,05 mg/L έως 0,30 ± 0,04 mg/L, μικρότερο από εκείνο του παρόντος πειράματος.

Τα νιτρικά ιόντα στην παρούσα εργασία διακυμάνθηκαν από 140,9± 48,68mg/L για τη μεταχείριση 2% του ζ.β/ημέρα , 128,24± 30,42 mg/L για τη μεταχείριση 5% του ζ.β/ημέρα και 158,46± 23,29 mg/L για τη μεταχείριση 7% του ζ.β/ημέρα και ήταν μεγαλύτερα από εκείνα (νιτρικά ιόντα: 76,4 έως 77,2 mg/L) που αναφέρουν οι Vlahos *et al.* (2019) για την τσιπούρα και τον κρίταμο όταν συγκαλλιεργούνται σε υφάλμιτρο σύστημα ενυδρειοπονίας (8 ppt & 20 ppt). . Οι Nozzi *et al.* (2016) αναφέρουν τιμές στα νιτρικά ιόντα της τάξης των 60 mg/L σε ενυδρειοπονικό σύστημα με λαβράκι και σέσκουλο. Σύμφωνα με τους Spotte (1992), Endut *et al.* (2009), Somerville *et al.* (2014) & Vlahos *et al.* (2019) η εύρυθμη λειτουργία του συστήματος ενυδρειοπονίας εξαρτάται από την παρουσία νιτρικών ιόντων.

). Οι Kotzen & Appelbaum (2010) αναφέρουν τιμές νιτρικών ιόντων κατά πολύ μικρότερες (μεταξύ 10-20 mg/L) συγκριτικά με τα νιτρικά που προέκυψαν από το παρόν πείραμα.

Τέλος, τα φωσφορικά ιόντα στο σημείο εισόδου του νερού στην υδροπονική δεξαμενή NFT βρέθηκαν να είναι στατιστικά ελάχιστα μεγαλύτερα στη μεταχείριση με σιτηρέσιο 2% ζ.β./ημέρα και ήταν της τάξης  $0,7 \pm 0,15$  mg/L σε σχέση με τη μεταχείριση 5% του ζ.β./ημέρα ( $0,41 \pm 0,11$  mg/L) και 7% του ζ.β./ημέρα ( $0,25 \pm 0,09$  mg/L). Ο ογκομετρικός ρυθμός οξειδωσης της αμμωνίας VTR (gr TAN/m<sup>3</sup> /day) ήταν στατιστικά μεγαλύτερος στη μεταχείριση 7% ζ.β./ημέρα και στη μεταχείριση 2% ζ.β./ημέρα συγκριτικά με τη μεταχείριση 5% ζ.β./ημέρα που ήταν μικρότερη (ANOVA,  $p < 0,05$ ). Οι Petrea *et al.* (2013) σε σύστημα ενυδρειοπονίας με διαφορετικές πυκνότητες φυτών σπανακιού και πέστροφας αναφέρουν τιμές μεγαλύτερες VTR, σε σχέση με τις τιμές που προέκυψαν από το παρόν πείραμα.

#### 4.2 Ανάπτυξη τσιπούρας

Η τσιπούρα αποτελεί ένα από τα βασικά εδώδιμα είδη στην Μεσογειακή υδατοκαλλιέργεια σε υπερεντατικά ή εντατικά συστήματα εκτροφής και εκτρέφεται συνήθως σε αλατότητες 35 ppt. Ο Sadek (2000), αναφέρει ότι η τσιπούρα παρουσιάζει πολύ καλή προσαρμοστικότητα σε υφάλμυρο νερό σε συνθήκες αιχμαλωσίας.

Τα αποτελέσματα του παρόντος πειράματος έδειξαν ότι η τσιπούρα παρουσιάζει πολύ καλή ανάπτυξη και αυξημένη επιβίωση σε όλες τις πειραματικές μεταχειρίσεις (2% ζ.β./ημέρα, 5% του ζ.β./ημέρα και 7% του ζ.β./ημέρα).

Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας σε ότι αφορά την επιβίωση συμφωνούν με εκείνα που αναφέρονται από τους Vlahos *et al.* (2019) για την τσιπούρα όταν εκτρέφεται σε υφάλμυρο κλειστό σύστημα ανακυκλοφορίας νερού με αλατότητες 8 ppt και 20 ppt παρουσιάζοντας υψηλά ποσοστά επιβίωσης (99% -97%).

Επιπλέον, η Τασίου (2019) αναφέρει ότι τα λαβράκια στο υφάλμυρο σύστημα ενυδρειοπονίας με κρίταμο παρουσίασαν υψηλά ποσοστά επιβίωσης στις αλατότητες 8 ppt, 14 ppt και 20ppt τα οποία ήταν 90,19%, 80,26% και 71,72, αντίστοιχα. Οι Kotzen & Appelbaum (2010) αναφέρουν ότι η τιλάπια όταν εκτρέφεται σε υφάλμυρο σύστημα ενυδρειοπονίας με αλατότητα 1,2 ppt παρουσιάζει επιβίωση 84%.

Ο ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (SGR) στο παρόν πείραμα εμφανίστηκε να είναι στατιστικά μεγαλύτερος (ANOVA,  $p < 0,05$ ) στο επίπεδο διατροφής 5% του ζ.β./ημέρα (SGR =  $3,07 \pm 0,08$  %/ημέρα) σε σχέση με τα επίπεδα διατροφής 7% (SGR =  $2,94 \pm 0,08$  %/ημέρα) και 2% (SGR =  $1,52 \pm 0,14$  %/ημέρα) που ήταν μικρότερος. Οι Vlahos *et al.*



(2019), αναφέρουν τιμές SGR μικρότερες (SGR 8ppt : $3.17 \pm 0.04\%$ /ημέρα, SGR 20 ppt :  $3.17 \pm 0.06\%$ /ημέρα) από τις τιμές SGR του παρόντος πειράματος.

Η χημική σύσταση της σάρκας της τσιπούρας σε πρωτεΐνη, λίπος και υγρασία ήταν αντίστοιχα στη μεταχείριση 2% του ζ.β/ημέρα: πρωτεΐνη:  $75,5 \pm 0,16\%$  , λίπος:  $10,49 \pm 0,19\%$  , υγρασία:  $81,2 \pm 0,53\%$  , στη μεταχείριση 5% ζ.β/ημέρα πρωτεΐνη  $69,53 \pm 0,28\%$ , λίπος:  $18,87 \pm 0,38\%$  , υγρασία:  $76,25 \pm 0,37\%$  και στη μεταχείριση 7% ζ.β/ημέρα πρωτεΐνη:  $69,22 \pm 0,48\%$  , λίπος:  $17,57 \pm 0,09\%$  , υγρασία:  $80,41 \pm 0,53\%$ . Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το παρόν πείραμα με εκείνα που αναφέρουν οι Orban *et al.* (1997) για την τσιπούρα, όταν καλλιεργείται σε εντατικό σύστημα εκτροφής ήταν παρόμοια σε ότι αφορά την πρωτεΐνη, και μεγαλύτερα σε ότι αφορά την περιεκτικότητα σε λιπίδια και μικρότερα σε ότι αφορά την υγρασία. Οι Mengoli (1994) αναφέρουν εύρος τιμών της πρωτεΐνης κυμαίνεται μεταξύ 19,0- 22,8% για τα είδη τους γένους *Sparus spp.* Η περιεκτικότητα των ιχθύων σε λίπος επηρεάζει αρνητικά την συγκέντρωση του νερού και σχετίζεται αρνητικά με την περιεκτικότητα της σάρκας των ιχθύων σε πρωτεΐνες (Παπαναστασίου *et al* (1976).

(

,

### 4.3 Ανάπτυξη γλιστρίδας

Τα αποτελέσματα της παρούσης εργασίας έδειξαν ότι τα φυτά της γλιστρίδας που καλλιεργήθηκαν στο υφάλμυρο σύστημα ενυδρειοπονίας με αλατότητα 5 ppt παρουσίασαν μεγαλύτερη ανάπτυξη (ANOVA,  $p < 0.05$ ) στη μεταχείριση με επίπεδο διατροφής 7% του ζ.β/ημέρα σε σχέση με τη γλιστρίδα που καλλιεργήθηκαν στις μεταχειρίσεις 2% του ζ.β/ημέρα και 5% του ζ.β/ημέρα. Πιο συγκεκριμένα τα φυτά στη μεταχείριση 7% του ζ.β/ημέρα παρουσίασαν στατιστικά μεγαλύτερη ποσοστιαία αύξηση (ANOVA,  $p < 0.05$ )  $21,11 \pm 12,07\%$  σε σύγκριση με εκείνη της γλιστρίδας στη μεταχείριση 2% του ζ.β/ημέρα ( $5,82 \pm 7,89\%$ ) και 5% του ζ.β/ημέρα ( $5,96 \pm 3,17\%$ ). Η επιβίωση των ατόμων γλιστρίδων διακυμάνθηκε σε υψηλά επίπεδα και ήταν αντίστοιχα 100% στη μεταχείριση 5% του ζ.β/ημέρα και 75% στη μεταχείριση 7% του ζ.β/ημέρα.

Οι Flowers *et al.* (2008), αναφέρουν ότι τα αλόφυτα παρουσιάζουν ανθεκτικότητα σε ορισμένες συγκεντρώσεις άλατος, λόγω της ικανότητας τους να ολοκληρώνουν τον βιολογικό τους κύκλο σε συγκεντρώσεις έως 200 mM NaCl, συνθήκες παρόμοιες με εκείνες που υπάρχουν στα φυσικά τους ενδιαιτήματα. Οι He *et al.* (2021) έδειξαν ότι με

100 mM NaCl τα φυτά της γλιστρίδας παρουσιάζουν υψηλότερη παραγωγικότητα ριζών και βλαστών σε σύγκριση με εκείνα που καλλιεργήθηκαν με γλυκό νερό. Επίσης παρατήρησαν ότι τα φυτά της γλιστρίδας σε αλατότητες της τάξης 200 και 300 mM NaCl ήταν πολύ μικρά σε σχέση με φυτικά άτομα γλιστρίδας που καλλιεργήθηκαν σε περιβάλλον 0 και 100 mM NaCl.

Ο Tzortzakis (2009a) μελέτησε την επίδραση χαμηλής αλατότητας (40 mM NaCl) σε υδροπονική καλλιέργεια (NFT) μαρουλιού, και παρατήρησε ότι δεν επέφερε μεταβολές στην ανάπτυξη της ρίζας ενώ (40 mM NaCl και 120 mM NaCl) μείωσε την ανάπτυξη του υπέργειου τμήματος του μαρουλιού καθώς και το συνολικό τους βάρος.()

Οι Teixeira et al.(2009) αναφέρουν ότι η υψηλή αλατότητα αυξάνει ελαφρώς τη συγκέντρωση Mg. Χαμηλότερες συγκεντρώσεις K, Ca και Mg στην γλιστρίδα σε περιβάλλον υψηλής αλατότητας αποδίδεται η καχεκτική αρχιτεκτονική των ριζών η οποία περιορίζει την πρόσληψη νερού και ανόργανων συστατικών.

Οι Yun Kong et al.(2014) αναφέρουν πως είναι εφικτή η υδροπονική παραγωγή της γλιστρίδας σε θρεπτικά διαλύματα με 8 έως 12 mM Na<sup>+</sup>. Η απόδοση της βιομάζας και η απομάκρυνση του νατρίου της γλιστρίδας μπορεί να επηρεαστεί σε σχέση με το χρόνο μετά την μεταφύτευσή τους.

Στον παρόν πείραμα τα αποτελέσματα υποδηλώνουν ότι η γλιστρίδα αναπτύσσεται ικανοποιητικά στη μεταχείριση 7% του ζ.β/ημέρα. με αλατότητα 5 ppt αξιοποιώντας τα θρεπτικά συστατικά σε μεγάλο βαθμό. Επίσης, σύμφωνα με τα αποτελέσματα του παρόντος πειράματος, η αύξηση και η απόδοση της γλιστρίδας, η αύξηση του ύψους του φυτού καθώς και ο αριθμός των φύλλων της γλιστρίδας επηρεάστηκε σημαντικά από την τροφή καθώς και από διαφορετικό ποσοστό σιτηρεσίου που χορηγούνταν στα πειραματικά συστήματα εκτροφής λόγω διαφοροποίησης του ρυθμού παραγωγής αμμωνίας στις πειραματικές μεταχειρίσεις.

Η απόδοση ενός ενυδρειοπονικού συστήματος, επηρεάζεται από το βάρος και τη βιομάζα του φυτού και επηρεάζεται από παράγοντες όπως η υδροπονική δεξαμενή (Rakocy et al. 2006), οι κλιματολογικές συνθήκες (Love et al. 2015), το είδος του ιχθύος (Sace & Fitzsimmons 2013), η ποσότητα και η ποιότητα της τροφής (Rakocy 2012), το σύστημα ενυδρειοπονίας (Carneiro et al. 2015) και η ποικιλία των φυτών (Pinho et al. 2017) .

Η χημική σύσταση του φυτού ήταν υψηλότερη στη μεταχείριση 5% του ζ/β/ημέρα με 14,95±0,18% και στη μεταχείριση 7% του ζ/β/ημέρα με 14,85 ±0,35% σε σχέση με τη μεταχείριση 2% του ζ.β/ημέρα που ήταν 14,78 ± 0,08%. Η χημική σύσταση σε πρωτεΐνη

στα αρχικά άτομα της γλιστρίδας ήταν  $14,47 \pm 0,19\%$ . Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το παρόν πείραμα σε ότι αφορά την χημική σύσταση της γλιστρίδας δεν συμφωνούν με εκείνα που αναφέρονται από τους Mohamed *et al.* (1994) που ήταν μεγαλύτερα τιμές 27,74% κατά την ανάπτυξη της γλιστρίδας στις 30 ημέρες πειράματος.

#### **4.4. Δείκτες επιβάρυνσης και λειτουργίας ενυδρειοπονικού συστήματος**

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι δείκτες λειτουργίας (HLR, HRT) του ενυδρειοπονικού συστήματος δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων (ANOVA,  $p > 0.05$ ) υποδηλώνοντας ότι τα συστήματα ενυδρειοπονίας λειτουργήσαν ικανοποιητικά χωρίς να παρεμποδίζεται η μεταφορά των θρεπτικών στο σύστημα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το παρόν πείραμα ο δείκτης HLR διακυμάνθηκε από 5,88 cm/d έως 5,93 cm/d και ήταν μεγαλύτερος από εκείνον που αναφέρει ο Κουτράκης (2021) σε υφάλμυρο σύστημα ενυδρειοπονίας με ρόκα και λαβράκι που ήταν της τάξης του 5 m/d. Οι Endut *et al.* (2010) αναφέρουν ότι σε ένα σύστημα ενυδρειοπονίας γλυκού νερού ο δείκτης HLR ήταν της τάξης των 2,56 m/d.

Ο δείκτης HLR, επηρεάζει την παραγωγικότητα του συστήματος (ανάπτυξη ψαριών και φυτών) καθώς και την ημερήσια πρόσληψη των θρεπτικών από τα φυτά (Chen *et al.* 2006, Nozzi *et al.* 2016). Ο ογκομετρικός ρυθμός οξείδωσης της αμμωνίας (VTR) παρουσίασε στατιστικά μεγαλύτερη τιμή στη μεταχείριση 7% του ζ.β/ημέρα συγκριτικά με τις μεταχειρίσεις 2% του ζ.β/ημέρα και 5% του ζ.β/ημέρα (ANOVA,  $p < 0.05$ ) υποδηλώνοντας αυξημένη αποδοτικότητα (E) στο φίλτρο της μεταχείρισης 7% του ζ.β/ημέρα και καλύτερη αξιοποίησης του αζώτου από τα φυτά (ANOVA,  $p < 0.05$ ). Οι Kumar *et al.* (2010) μελέτησαν το ρυθμό νιτροποίησης σε κλειστό σύστημα RAS και βρήκαν VTR  $0.1533 \pm 0.0045$  kg TAN/m<sup>3</sup>/day, μικρότερο από το VTR που αναφέρεται στο παρόν πείραμα.

## 5.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε για πρώτη φορά η ανάπτυξη της γλιστρίδας και της τσιπούρας σε κλειστό σύστημα ενυδρειοπονίας με ανακυκλοφορία υφάλμυρου νερού με τη μέθοδο του θρεπτικού υποστρώματος (NFT).

Τα αποτελέσματα της παρούσης εργασίας έδειξαν ότι είναι εφικτή και αποτελεσματική η συνδυασμένη καλλιέργεια της τσιπούρας και της γλιστρίδας στο ενυδρειοπονικό σύστημα NFT επιφέροντας σημαντικά αποτελέσματα ανάπτυξης και επιβίωσης, αποτελέσματα.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι τσιπούρες όταν σιτίζονται με σιτηρέσιο 5% του ζ.β/ημέρα παρουσίασαν καλύτερη ανάπτυξη συγκριτικά με τις τσιπούρες που σιτίζονταν με 2% του ζ.β/ημέρα που είχαν τη μικρότερη ανάπτυξη. Επίσης σύμφωνα με τα αποτελέσματα η γλιστρίδα μπορεί να επιβιώσει και να αναπτυχθεί στο υφάλμυρο περιβάλλον του ενυδρειοπονικού συστήματος υποδηλώνοντας ότι η αλατότητα επηρεάζει την ανάπτυξη της γλιστρίδας σε σημαντικό βαθμό.

Το NFT σύστημα ενυδρειοπονίας λειτουργεί αποδοτικά και αποτελεσματικά μιας και διατηρεί τα επίπεδα μεταβολικών προϊόντων που παράγονται από τα ψάρια τα οποία μεταφέρονται διαμέσου της συνεχόμενης ροής ώστε να απορροφηθούν από τα φυτά. Σύμφωνα με τους συγγραφείς δεν υπάρχουν πολλές μελέτες σχετικά με την καλλιέργεια της γλιστρίδας σε υφάλμυρα σύστημα ενυδρειοπονίας απορροφώντας σε μικρότερο βαθμό τα θρεπτικά συστατικά συγκριτικά με την ανάπτυξη της γλιστρίδας σε υδροπονικό σύστημα καλλιέργειας.

Η πυκνότητα των ψαριών στις δεξαμενές καλλιέργειας επηρεάζει την παραγωγή των μεταβολιτών εξαιτίας αύξησης του φορτίου επιβάρυνσης στο σύστημα. Προκειμένου να μελετηθεί διεξοδικά η απόδοση ενός NFT συστήματος ενυδρειοπονίας με γλιστρίδα απαιτούνται να διεξαχθούν περισσότερες μελέτες μιας και η αλατότητα ως παράγοντας επηρεάζει την ανάπτυξη του φυτού και την φυσιολογική απόκριση της γλιστρίδας στην απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών. Τέλος, τα αποτελέσματα της παρούσης εργασίας δείχνουν, ότι η γλιστρίδα μπορεί να παραχθεί ικανοποιητικά και σε αποδόσεις υψηλές σε κλειστό ενυδρειοπονικό σύστημα με υφάλμυρο νερό.

## 6. Βιβλιογραφία

### 6.1. Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

- Addy MM, Kabir F, Zhang R, Lu Q, Deng X, Current D, Griffith R, Ma Y, Zhou W, Chen P, Ruan R (2017) Co-cultivation of microalgae in aquaponic systems. *Bioresour Technol* 245 (2017):27–34.
- Anastaácio, A., and Carvalho, I. S. (2013). Accumulation of fatty acids in purslane grown in hydroponic salt stress conditions. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 64, 235–242.
- Alessio G., Allegrucci, G., Angle, G. (2001). *Acquacoltura responsabile – Verso le produzioni acquatiche del terzo millennio Romma: Unimar-Uniprom.*
- Avnimelech Y (2015) *Biofloc technology: a practical guide book*, 3rd edn. The World Aquaculture Society, Baton Rouge.
- Ayre JM, Moheimani NR, Borowitzka MA (2017) Growth of microalgae on undiluted anaerobic digestate of piggery effluent with high ammonium concentrations. *Algal Res* 24:218–226.
- Bernstein, S. (2011). *Aquaponic gardening: a step-by-step guide to raising vegetables and fish together*. Gabriola Island, Canada: New Society Publishers.
- Borowitzka MA, Moheimani NR (2013) Open pond culture systems. In: *Algae for biofuels and energy*. Springer, Dordrecht.
- Boxman S. (2015) *Resource Recovery Through Halophyte Production in Marine Aquaponics: An Evaluation of the Nutrient Cycling and the Environmental Sustainability of Aquaponics.*
- Clawson JM, Hoehn A, Stodieck LS, Todd P, Stoner RJ (2000) NASA – review of aeroponics – aeroponics for spaceflight plant growth. *Aeroponics DIY*.
- Cros, V., J.J. Martí'nez-Sa'nchez, and J.A. Franco. 2007. Good yields of common purslane with a high fatty acid content can be obtained in a peat-based floating system. *HortTechnology* 17:14–2.
- Deppeler S, Petrou K, Schulz KG, Westwood K, Pearce I, McKinlay J, Davidson A (2018) Ocean acidification of a coastal Antarctic marine microbial community reveals a critical threshold for CO<sub>2</sub> tolerance in phytoplankton productivity. *Biogeosciences* 15(1):209–231.
- Dufault RJ, Korkmaz A (2000) Potential of biosolids from shrimp aquaculture as a fertiliser in bell pepper production. *Compost Sci Util* 3:310–319

- Dufault RJ, Korkmaz A, Ward B (2001) Potential of biosolids from shrimp aquaculture as a fertiliser for broccoli production. *Compost Sci Util* 9:107–114.
- Endut A., Jusoh A., Ali N., Wan-Nik W., Hassan A., (2010). A Study on the optimal hydraulic loading rate and plant ratios in recirculation aquaponic system. *Bioresour. Technol.* 101: 1511-1517.
- Engle, C. R. 2015. Economics of aquaponics. SRAC (Southern Regional Aquaculture Center) Publication No. 5006.
- Franco, J. A., Cros, V., Vicente, M. J., and Martínez-Sánchez, J. J. (2011). Effects of salinity on the germination, growth, and nitrate contents of purslane (*Portulaca oleracea* L.) cultivated under different climatic conditions. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 86, 1–6.
- Fronte, B., Galliano, G., Bibbiani, C. (2016). From freshwater to marine aquaponic: new opportunities for marine fish species production. 4th Conference with International Participation Conference VIVUS – on Agriculture, Environmentalism, Horticulture and Floristics, Food Production and Processing and Nutrition »With Knowledge and Experience to New Entrepreneurial Opportunities« 20th and 21st April 2016, Biotechnical Centre Naklo, Strahinj 99, Naklo, Slovenia.
- Gooley GJ, Gavine FM (2003) Integrated agri-aquaculture systems: a resource handbook for Australian industry development. RIRDC Publication No. 03/012
- Gordon JM, Polle JE (2007) Ultra-high bioproductivity from algae. *Appl Microbiol Biotechnol* 76 (5):969–975.
- Gunning D, Maguire J, Burnell G (2016) The development of sustainable saltwater-based food production systems: a review of established and novel concepts. *Water* 8(12):598.
- Hikosaka Y, Kanechi M, Uno Y (2014) A novel aeroponic technique using dry-fog spray fertigation to grow leaf lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *crispa*) with water-saving hydroponics. *Adv Hortic Sci* 28(4):184–189.
- Kapetanios E., Vlahos N., Berillis P., Mente E (2021). PRELIMINARY RESULTS OF BRACKISH AQUAPONICS WITH SEA BASS (*Dicentrarchus labrax*) AND OPPOSITE-LEAVED SALTWORT PLANT OR AGRETTI (*Salsola soda*). Oral Presentation in 4th International Congress on Applied Ichthyology, Oceanography & Aquatic Environment, HydroMediT 2021, Virtual Congress Mytilene 4-6 November 2021 Greece.
- Karkanis, A. C., and Petropoulos, S. A. (2017). Physiological and growth responses of several genotypes of common purslane (*Portulaca oleracea* L.) under Mediterranean semi-arid conditions. *Not. Bot. Horti. Agrobi.* 45, 569 –575.

- Khandaker M, Kotzen B (2018) The potential for combining living wall and vertical farming systems with aquaponics with special emphasis on substrates. *Aquacult Res* 23 January 2018.
- Kilic, C.C., Y.S. Kukul, and D. Anac. 2008. Performance of purslane (*Portulaca oleracea* L.) as a salt-removing crop. *Agr. Water Mgt.* 95:854–858.
- Kumar V. J. R., Joseph., V, Philip., R., I. S. B. Singh (2010). Nitrification in brackish water recirculating aquaculture system integrated with activated packed bed bioreactor. *Water Science & Technology-WST.* 61.3. doi: 10.2166/wst.2010.849.
- 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. *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 8, 693 – 700.
- Liddicoat, M.I., Tibbitts, S., & Butler, E. I. (1975). The determination of ammonia in seawater. *Limnology and Oceanography*, 20(1). 131- 132.
- L. Liu, P. Howe, Y.-F. Zhou, Z.-Q. Xu, C. Hocart, and R. Zhang, “Fatty acids and  $\beta$ -carotene in Australian purslane (*Portulaca oleracea*) varieties,” *Journal of Chromatography A*, vol. 893, no. 1, pp. 207–213, 2000.
- Lv, S., P. Jiang, X. Chen, P. Fan, X. Wang, and Y. Li. 2012. Multiple compartmentalization of sodium conferred salt tolerance in *Salicornia europaea*. *Plant Physiol. Biochem.* 51:47–52.
- Moheimani NR, Isdepsky A, Lisec J, Raes E, Borowitzka MA (2011) Coccolithophorid algae culture in closed photobioreactors. *Biotechnol Bioeng* 108(9):2078–2087.
- Nelson, R.L., 2008. *Aquaponic Food Production: Growing Fish and Vegetables for Food and Profit.* Nelson and Pade, Wisconsin.
- Nguyen H. et al (2014) Selection for enhanced growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in brackish water (15 – 20 ppt) in Vietnam.
- Nozzi B. et al (2013) Evaluation of *Dicentrarchus labrax* meats and the plant quality of *Beta vulgaris* var. *cicla* bred in freshwater and saltwater hydroponic systems.
- Oswald WJ (1988) Role of microalgae in liquid waste treatment and reclamation. In: Lembi CA, Robert Waaland J (eds) *Algae and human affairs.* Sponsored by the Phycological Society of America, Inc.
- Pantarella E., Bhujel C.R. (2015). Saline Aquaponics-Potential Player In Food, Energy Production. *Global Aquaculture Advocate*, pp. 42-43.

- Pantanella E., Colla G. (2013) Saline aquaponics opportunities for intergrade marine aquaculture. International aquaponic conference: Aquaponics and global food security, 19 – 21, June 2013,. University of Wisconsin – Stevens Point, 2013.
- Petropoulos, S. A., Karkanis, A., Martins, N., and Ferreira, I. C. F. R. (2018). Edible halophytes of the Mediterranean basin: potential candidates for novel food products. Trends Food Sci. Technol. 74, 69–84. doi: 10.1016/j.tifs.2018.02.006.
- Pinho SM, Molinari D, De Mello GL, Fitzsimmons KM, Emerenciano MGC (2017) Effluent from a biofloc technology (BFT) tilapia culture on the aquaponics production of different lettuce varieties. Ecol Eng 103:146–153.
- Rakocy, J.E., Bailey, D.S., Shultz, R.C. and Danaher, J.J. (2007). Fish and vegetable production in a commercial aquaponic system: 25 years of research at the University of the Virgin Islands. Proceedings of the 2007 National Canadian Aquaculture Conference. Edmonton, Alberta, Canada.
- Rakocy, J.E, Masser, M.P., Losordo, T.M., (2006). Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics- integrating fish and plant culture, Southern Regional Aquaculture Center, vol. 454, pp. 1-16.
- Savvas, D., V.A. Pappa, G. Gizas, and L. Maglaras. 2005. Influence of NaCl concentration in the irrigation water on salt accumulation in the root zone and yield in a cucumber crop grown in a closed hydroponic system. Acta Hort. 697: 93–98.
- Schmautz Z, Loeu F, Liebisch F, Graber A, Mathis A, Bulc TG, Junge R (2016) Tomato productivity and quality in aquaponics: comparison of three hydroponic methods. Water 8:1–22.
- Simopoulos A. P., H. A. Norman, and J. E. Gillaspay,(1995) “Purslane in human nutrition and its potential for world agriculture,” World Review of Nutrition and Dietetics, vol. 77, pp. 47–74, 19.
- Stokstad E (2010) Down on the shrimp farm. Science 328:1504–1505.
- Teixeira, M., and Carvalho, I. S. (2009). Effects of salt stress on purslane (*Portulaca oleracea*) nutrition. Ann. Appl. Biol. 154, 77–86.
- Theodorakaki E. et al (2021) Theodorakaki E., Papadakis G., Kaloussias S., Mente E., **Vlahos N** (2021). LEAPING GREY MULLET *Liza saliens* AS AN ALTERNATIVE AND CANDITATE FISH SPECIES TO BE USED IN A BRACKISH AQUAPONIC SYSTEM CO-CULTIVATED WITH ROCKET PLANT *Eruca sativa*. Oral Presentation in 4th



International Congress on Applied Ichthyology, Oceanography & Aquatic Environment, HydroMediT 2021, Virtual Congress Mytilene 4-6 November 2021 Greece.

Timmons MB, Ebeling JM, Wheaton FW, Summerfelt ST, Vinci BJ., (2002).

Turcios AE, Papenbrock J (2014) Sustainable treatment of aquaculture effluents – what can we learn for the past for the future? Sustainability 6:836–856.

Uddin., Md, Kamal.,, Abdul Shukor Juraimi, Md Sabir Hossain, Most. Altaf Un Nahar, Md. Equb Ali, and M. M. Rahman. (2014). Purslane Weed (*Portulaca oleracea*): A Prospective Plant Source of Nutrition, Omega-3 Fatty Acid, and Antioxidant Attributes. Hindawi Publishing Corporation. Scientific World Journal., Volume 2014, Article ID 951019, <http://dx.doi.org/10.1155/2014/951019>.

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

Weathers PJ, Zobel RW (1992) 1992, Aeroponics for the culture of organisms. Tissues Cells Biotechnol Adv 10(1):93–115.

Wijihastuti RS, Moheimani NR, Bahri PA, Cosgrove JJ, Watanabe MM (2017) Growth and photosynthetic activity of *Botryococcus braunii* biofilms. J Appl Phycol 29(3):1123–1134.

Winter, K., and Holtum, J. A. M. (2014). Facultative crassulacean acid metabolism (CAM) plants: powerful tools for unravelling the functional elements of CAM photosynthesis. J. Exp. Bot. 65, 3425–3441.

Zar J. H. Biostatistical Analysis; Prentice-Hall: London, UK, (1999); P. 718.

Zou, Y., Hu, Z., Zhang, J., Guimbaud, C., Wang, Q., Fang, Y., 2016a. Effect of seasonal variation on nitrogen transformations in aquaponics of northern China. Ecol. Eng. 94, 30–36.

## **6.2. Ελληνόγλωσση Βιβλιογραφία**

Δεβετζόγλου Κ. (2021). Ανάπτυξη λαβρακιού και ρόκας σε σύστημα ενυδρείοπονίας. Διπλωματική προπτυχιακή εργασία. Εκδόσεις Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Ζωικής Παραγωγής, Αλιείας και Υδατοκαλλιεργειών. Σελ. 50.

Καββαδάς Δ. (1956). Εικονογραφημένο Βοτανικον-φυτολογικον λεξικον (εννιάτομο). Εκδότης ΠΕΛΕΚΑΝΟΣ Σειρά Χρονολογία Έκδοσης Ιούλιος 1956. Σελ 506.

- Κλείτση Κ., Μακρυγιάννη Δ. (2019). Μελέτη της επίδρασης της αζωτούχου λίπανσης στην ολική αντιοξειδωτική ικανότητα της *Portulaca oleracea*, κατά την χειμερινή περίοδο. Πτυχιακή διατριβή. Τμήμα Γεωπονίας. ΤΕΙ Ηπείρου.
- Κλαουδάτος Σ. και Κλαουδάτος Δ. (2012) Καλλιέργειες φυτικών και εκτροφές υδρόβιων ζωικών οργανισμών. Κεφ 3.2.2.6 Πάχυνση, Σελ 262 - 263 Εκδόσεις: ΠΡΟΠΟΜΠΟΣ, Αθήνα.
- Τάσιου., Κ. (2019). Παραγωγική διαδικασία του λαβρακιού σε ένα σύστημα ενυδρείοπονίας. Μεταπτυχιακή διατριβή. Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. Σελ.85.