

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

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗ
ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΗ ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Παραγωγική διαδικασία του λαβρακιού σε ένα σύστημα
ενυδραιοπονίας»**

Καλλιόπη Τάσιου

ΒΟΛΟΣ 2019

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

**POSTGRADUATE COURSE IN MEDITERANNEAN
AQUACULTURE**

POSTGRADUATE MASTER'S THESIS

**«Sea bass farming production process in an aquaponics
system»**

Kalliopi Tasiou

VOLOS 2019

«Παραγωγική διαδικασία λαβρακιού σε ένα σύστημα ενυδρείοπονίας»

Τριμελής Συμβουλευτική Εξεταστική Επιτροπή:

1) **Νικόλαος Βλάχος**, Ε.ΔΙ.Π., Βιολογία και Φυσιολογία Θρέψης διακοσμητικών ψαριών σε Ενυδρεία, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, *Επιβλέπων*.

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

3) **Παναγιώτη Βερίλλη**, Επίκουρος Καθηγητής, Μικροσκοπία και Ανάλυση Εικόνας στην Ιστολογία και στους Υδρόβιους Οργανισμούς, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, *Μέλος*.

Αφιερωμένη
στην κόρη μου Μαρία,
στον σύζυγό μου Διογένη
και στη μητέρα μου Θεονόμφη

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους αυτούς τους ανθρώπους που συνέβαλαν στην ολοκλήρωση της παρούσας Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της εργασίας Δρ. Νικόλαο Βλάχο, για την πολύτιμη βοήθειά του, τις εποικοδομητικές συζητήσεις και την διαρκή υποστήριξή του. Υπήρξε καθηγητής μου σε μεταπτυχιακό επίπεδο, μου υπέδειξε το θέμα της Διπλωματικής Εργασίας, είχε την επίβλεψη και την επιστημονική καθοδήγηση καθ' όλη τη διάρκειά της, και συνέβαλε τα μέγιστα στην αποπεράτωσή της.

Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της τριμελούς συμβουλευτικής και εξεταστικής επιτροπής, την κ. Ελένη Μεντέ, Καθηγήτρια του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας & Υδάτινου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και τον κ. Παναγιώτη Βερίλλη, Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας & Υδάτινου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για τις χρήσιμες συμβουλές τους και την καθοδήγησή τους.

Πολλές ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στην αγαπημένη μου Έφη Πατσέα, MSc Βιολόγο, για την αποτελεσματική υποστήριξή της και πολύτιμη βοήθειά της καθ' όλη την διάρκεια της Διπλωματικής Εργασίας. Ευχαριστώ, επίσης, τον κ. Εμμανουήλ Καπετάνιο, φοιτητή του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας & Υδάτινου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για την άμεση και ανιδιοτελή βοήθειά του, όσον αφορά την διεξαγωγή του πειράματος, για τις χρήσιμες και εποικοδομητικές συμβουλές που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της μεταπτυχιακής μου διατριβής. Ευχαριστώ επίσης την εταιρεία ιχθυοτροφών BIOMAR για την δωρεάν προμήθεια των ιχθυοτροφών καθώς και την εταιρεία Ιχθυοτροφεία ΣΕΛΟΝΤΑ για την δωρεάν προμήθεια των ιχθυδίων λαβρακιού.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην οικογένειά μου και στους δικούς μου ανθρώπους για την αμέριστη συμπαράσταση, βοήθεια και προ πάντων, για την υπομονή, κατανόηση, σεβασμό και ανοχή που μου έδειξαν καθ' όλο το χρονικό διάστημα των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ενυδραιοπονία αποτελεί ένα καινοτόμο, παραγωγικό κλάδο του αγροτικού τομέα που προάγει την οικολογική καλλιέργεια και ανάπτυξη φυτών και ψαριών. Η ενυδραιοπονία στο γλυκό νερό έχει εξελιχθεί σε μεγάλο βαθμό, σε αντίθεση με το υφάλμυρο ή θαλασσινό νερό όπου υπάρχει περιορισμένη γνώση. Σκοπός της παρούσης διπλωματικής μεταπτυχιακής διατριβής ήταν να μελετήσει την παραγωγική διαδικασία εκτροφής του λαβρακιού σε ένα σύστημα ενυδραιοπονίας καθώς και την την επίδραση τριών αλατοτήτων (8 ppt, 14 ppt και 20 ppt) στην ανάπτυξη, επιβίωση του λαβρακιού (*Dicentrarchus labrax*) και του κρίταμου (*Crithimum muritimum*) σε ένα υφάλμυρο σύστημα ενυδραιοπονίας.

Για το σκοπό αυτό κατασκευάστηκαν 9 αυτόνομα συστήματα ενυδραιοπονίας, κλειστού κυκλώματος με ανακυκλοφορία νερού για εκτροφή ψαριών και καλλιέργεια φυτών, τα οποία πληρώθηκαν με νερό αλατότητας 8 ppt, 14 ppt και 20 ppt, αντίστοιχα. Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 135 ιχθύδια λαβρακιού (*D. labrax*) μέσου αρχικού βάρους $8,2 \pm 0,15$ g και μέσου αρχικού μήκους $9,5 \pm 0,33$ cm τα οποία προήλθαν από το ίδιο απόθεμα γεννητόρων και διαμοιράστηκαν ανά 15 άτομα στις δεξαμενές εκτροφής ψαριών που είχαν όγκο 54 L. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 54 φυτικά άτομα κρίταμου (*C. muritimum*) μέσου ύψους $7,7 \pm 0,2$ cm, τα οποία διαμοιράστηκαν ανά 6 άτομα στις υδροπονικές δεξαμενές καλλιέργειας φυτών (grow bed) όγκου 54 L.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, τα ιχθύδια λαβρακιού αναπτύχθηκαν ικανοποιητικά στο υφάλμυρο σύστημα ενυδραιοπονίας και κατανάλωναν με προθυμία την τροφή τους παρουσιάζοντας στατιστικά σημαντικό αποτέλεσμα και μεγαλύτερη αύξηση βάρους, ημερήσιο ειδικό ρυθμό ανάπτυξης και ποσοστιαία αύξηση βάρους στις μεταχειρίσεις των 8 ppt και 14 ppt αλατότητας σε σχέση με εκείνα της μεταχείρισης

των 20 ppt αλατότητας (ANOVA, $p < 0,05$). Ο συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής ήταν στατιστικά σημαντικά μικρότερος στα ιχθύδια λαβρακιού των μεταχειρίσεων 8 ppt και 14 ppt αλατότητας σε σχέση με τον αντίστοιχο της μεταχείρισης 20 ppt αλατότητας (ANOVA, $p < 0,05$). Επιπλέον, τα άτομα κρίταμου παρουσίασαν εξίσου πολύ καλή συμπεριφορά ανάπτυξης στο υφάλμυρο σύστημα ενυδρείοποιίας δείχνοντας στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερη ανάπτυξη (αύξηση ύψους φυτού, ποσοστιαία αύξηση) και βιομάζα στη μεταχείριση 8ppt αλατότητας σε σύγκριση με εκείνα που αναπτύχθηκαν στις μεταχειρίσεις 14 ppt και 20 ppt αλατότητας, αντίστοιχα (ANOVA, $p < 0,05$). Τα φυτικά άτομα κρίταμου παρουσίασαν στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερη απορρόφηση νιτρικών και φωσφορικών ιόντων στο 8 ppt και 14 ppt σε σχέση με εκείνα στο 20 ppt (ANOVA, $p < 0,05$). Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή αναδεικνύει τη σημαντικότητα της ανάπτυξης της ενυδρείοποιίας σε υφάλμυρο νερό παράγοντας ταυτόχρονα λαβράκι και κρίταμο με ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Λέξεις κλειδιά: Ενυδρείοποιία, υφάλμυρο νερό, ανάπτυξη, παραγωγική διαδικασία, επιβίωση, λαβράκι, κρίταμος, απορρόφηση θρεπτικών.

ABSTRACT

The aim of this study was to investigate the seabass farming production process in an aquaponic system. Moreover, to study the effect of three different salinities levels (8 ppt, 14 ppt and 20 ppt) on the growth and survival rate of sea bass and the cultivation of rock samphire in a brackish aquaponic system. Nine recirculated aquaponic systems were constructed. A total number of 135 individual sea bass (*Dicentrarchus labrax*) (15 individuals / system) were used with an average initial weight of 8.2 ± 0.15 and length 9.5 ± 0.33 cm. In addition, 54 individual rock samphire (*Crithmum maritimum*) with an average initial height of 7.7 ± 0.2 cm (6 individual / aquaponic system) were distributed in the hydroponic tanks.

The results showed that seabass growth performance (WG, SGR and BWI) was statistically significant higher at 8 ppt and 14 ppt, respectively than at 20 ppt salinity treatment (ANOVA, $p < 0.05$). FCR, was statistically significant lower at 8 ppt and 14 ppt, than at 20 ppt salinity treatment (ANOVA, $p < 0.05$).

The halophyte rock samphire at 8 ppt salinity showed statistically significant better growth than the those at 20 ppt salinity treatment (ANOVA, $p < 0.05$). There were no statistically significant differences in ammonia removal efficiency of the plants ($p > 0.05$) in all treatments, except nitrate and phosphorous removal efficiency which were statistically significant higher at 8 and 14 ppt treatments compared to 20ppt salinity treatment. The results indicate that seabass and rock samphire can have a satisfactory growth performance in a brackish aquaponic system.

Key words: Recirculation aquaponic system, brackish water, growth, production process, survival, seabass, rock samphire, nutrients removal efficiency.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Γενικά στοιχεία	1
1.2 Λειτουργικά χαρακτηριστικά συστήματος ενυδρείοπονίας	4
1.3 Ποιότητα νερού	8
1.4 Πλεονεκτήματα συστημάτων ενυδρείοπονίας.....	10
1.5 Ψάρια και φυτά που χρησιμοποιούνται στα συστήματα ενυδρείοπονίας	10
1.6 Ενυδρείοπονία σε θαλασσινό και υφάλμυρο νερό.....	12
1.7 Παραγωγή	14
1.7.1 Προγραμματισμός και διαχείριση της παραγωγικής διαδικασίας.....	14
1.7.2 Κόστος παραγωγής.....	15
1.8 Περιβάλλον - Προστασία.....	17
1.9 Σκοπός Διπλωματικής μεταπτυχιακής εργασίας.....	19
2.ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	20
2.1 Προμήθεια ψαριών (<i>Dicentrarchus labrax</i>) και φυτών (<i>Crithimun muritimum</i>)	20
2.2 Πειραματικός σχεδιασμός: περιγραφή συστήματος ενυδρείοπονίας - συνθήκες εκτροφής-χειρισμοί	20
2.3 Σιτηρέσιο και χορήγηση τροφής	28
2.3.1 Υπολογισμός κατανάλωσης τροφής.....	30
2.4 Μετρήσεις μορφομετρικών χαρακτηριστικών ψαριών και φυτών	32
2.4.1. Μετρήσεις μορφομετρικών χαρακτηριστικών ατόμων λαβρακιού.....	32
2.4.2 Μετρήσεις μορφομετρικών χαρακτηριστικών ατόμων κρίταμου.....	33
2.5 Μετρήσεις φυσικοχημικών παραμέτρων.....	34
2.5.1 Χρωματομετρικός προσδιορισμός TAN.....	34
2.5.2 Χρωματομετρικός προσδιορισμός NO ₂ ⁻	35
2.5.3 Χρωματομετρικός προσδιορισμός NO ₃ ⁻	36
2.5.4 Χρωματομετρικός προσδιορισμός PO ₄ ⁻	37
2.5.5 Χρωματομετρικός προσδιορισμός Ca	39
2.6 Υπολογισμός λειτουργικών παραμέτρων του φίλτρου	41
2.7 Υπολογισμός δεικτών ανάπτυξης και αξιοποίησης της τροφής	45
2.8 Δείκτες ανάπτυξης κρίταμου	45

2.9 Στατιστική επεξεργασία.....	46
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	47
3.1 Ποιότητα νερού στα συστήματα εκτροφής λαβρακίου	47
3.2 Επιβίωση ψαριών και φυτών.....	60
3.3 Δείκτες ανάπτυξης ψαριών	60
3.3.1 Βάρος και μήκος σώματος	60
3.3.2 Αύξηση του βάρους, συντελεστής ευρωστίας και ειδικός ρυθμός ανάπτυξης ..	62
3.4 Δείκτες αξιοποίησης της τροφής.....	63
3.4.1 Συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής, συντελεστής ημερήσιας πρόσληψης τροφής και κατανάλωση τροφής.....	63
3.5 Δείκτης εκμετάλλευσης των συστατικών της τροφής.....	64
3.5.1 Συντελεστής απόδοσης πρωτεϊνών (PER).....	64
3.6 Παράμετροι ανάπτυξης φυτών.....	64
3.7 Λειτουργικά χαρακτηριστικά φίλτρου	67
4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	68
4.1. Φυσικοχημικές παράμετροι νερού	68
4.2 Ανάπτυξη και επιβίωση ιχθύων	71
4.3 Ανάπτυξη και επιβίωση φυτών	73
4.4 Λειτουργικά χαρακτηριστικά φίλτρου	75
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	77
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	78
6.1. Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία.....	78
6.2 Ελληνική βιβλιογραφία	88
6.3 Ηλεκτρονική βιβλιογραφία.....	89

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά στοιχεία

Η αύξηση του πληθυσμού της γης εκτιμάται ότι το 2050 θα ανέρχεται στα 9 δις άτομα παγκοσμίως (Bernstein 2011) και συνεπώς θα οδηγήσει στην αύξηση της ζήτησης τροφής κατά 70-100% σε παγκόσμιο επίπεδο (Godfray et al. 2010). Η κάλυψη των αναγκών σε τρόφιμα προέρχεται εξολοκλήρου από το γεωργικό τομέα (φυτική και ζωική παραγωγή, υδατοκαλλιέργειες) ο οποίος αναζητά συνεχώς καινοτόμες ιδέες, αναπτύσσοντας εναλλακτικές μεθόδους παραγωγής τροφίμων που θα είναι φιλικές προς το περιβάλλον (Rivera-Ferre et al. 2013). Οι σύγχρονες μέθοδοι που εφαρμόζονται στο γεωργικό τομέα στηρίζονται αφενός μεν στην αύξηση της παραγωγικής διαδικασίας, για την παραγωγή τροφίμων και αφετέρου επιχειρούν να μειώσουν την οικολογική φόρτιση (Love et al. 2015). Μεταξύ των σύγχρονων τεχνικών που χρησιμοποιούνται σήμερα στον γεωργικό τομέα ξεχωρίζουν η υδροπονία (Malorgio et al. 2005) και η εκτροφή ιχθύων στις ιχθυοκαλλιέργειες (Love et al. 2015).

Η αστική γεωργία δεν μπορεί να καλύψει τις ανάγκες και τις απαιτήσεις του σύγχρονου ανθρώπου, ενώ υπάρχει μια περιβαλλοντική λογική σε αναγνωρισμένα ιστορικά μοντέλα για την παραγωγή τροφίμων με εναλλακτικές μεθόδους όπως η υδροπονία στην περίπτωση παραγωγής φυτών και η υδατοκαλλιέργεια στην παραγωγή ιχθύων.

Η υδροπονία είναι μια μέθοδος καλλιέργειας φυτών χωρίς να απαιτείται η χρησιμοποίηση εδάφους και η υδατοκαλλιέργεια σε κλειστού κυκλώματος συστήματα με ανακυκλοφορία νερού (recirculates aqua, RAS), όπου επαναχρησιμοποιείται ο ίδιος

όγκος νερού, οδηγεί στη μείωση των απαιτήσεων σε νερό. Οι παραπάνω μέθοδοι εφαρμόζονται μεμονωμένα αλλά και ως μια συνδυασμένη τεχνική παραγωγής τροφίμων την ενυδρειοπονία (Somerville et al. 2014, Love et al. 2015).

Ιστορικά στοιχεία αναδεικνύουν την ενυδρειοπονία ως μια μέθοδος καλλιέργειας που εφαρμόστηκε περίπου 2000 χρόνια πριν στην Ασία, την Ινδία και την Κίνα ως συνδυαζόμενη καλλιέργεια ψαριών σε οριζόντες, ενώ χαρακτηρίστηκε αργότερα ως πρόδρομος της εκτροφής ιχθύων (Fernando 1993). Πολλές πόλεις και αστικοί οικισμοί αναμένεται να αυξηθούν σημαντικά μέχρι το 2025 και ως επακόλουθο θα ασκήσουν πίεση στη λειτουργία και στη διαχείριση των κεντρικών συστημάτων υποδομής για τη διαχείριση ενέργειας, οργανικών αποβλήτων και νερού (Gleick 2002). Η ενυδρειοπονία ως μια καινοτόμα μέθοδος καλλιέργειας θα μπορούσε να συμβάλει στην εξοικονόμηση πηγών όσον αφορά το νερό, την ενέργεια αλλά και τα τρόφιμα (Million et al. 2014). Ωστόσο, η διακίνηση τροφίμων δεν οργανώνεται κατάλληλα τόσο σε τοπικό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο και αυτό είναι αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης πολλών παραγόντων και τομέων πολιτικής, παρόλο που για την αύξηση της παραγωγής τροφίμων γίνονται ζυμώσεις με τελικό σκοπό την επίτευξη ενός κυκλικού αστικού συστήματος ανακύκλωσης τόσο των τροφίμων όσο και των πηγών ενέργειας (Benis & Ferrao 2017, Tedesco et al. 2017).

Τα συστήματα ενυδρειοπονίας αναμένεται να συμβάλλουν στην παραγωγή και κατανάλωση τροφίμων, στα διαφορετικά περιβάλλοντα αστικής ή αγροτικής, μικρής ή μεγάλης κλίμακας, αναπτυγμένα ή αναπτυσσόμενα (Junge et al. 2017), εκτιμώντας τη συμβολή τους στα ζητήματα βιωσιμότητας των συστημάτων τροφίμων (Konig et al. 2016).

Οι Somerville et al. (2014) αναφέρουν ότι σε παγκόσμιο επίπεδο η χρήση συστημάτων ενυδρειοπονίας αφορά τις εξής δύο περιπτώσεις:

1. Εμπορικά και ημι-εμπορικά συστήματα ενυδρείοποιίας με υψηλό κόστος, που αφορούν κυρίως μονοκαλλιέργειες μαρουλιών και βασιλικού.
2. Μεγάλες πιστοποιημένες μονάδες παραγωγής προϊόντων ενυδρείοποιίας προωθούν τα τρόφιμα στο λιανεμπόριο (εστιατόρια, παντοπωλεία, υγιεινής διατροφής, αγροτικές αγορές) αναπτύσσοντας στρατηγικές marketing.

Η σύγχρονη ενυδρείοποιία αναγνωρίστηκε από τα μέσα της δεκαετίας του 1980 μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1990 και χαρακτηρίστηκε ως μια μέθοδος ολοκληρωμένης καλλιέργειας γνωστή ως «AquaVege culture» (<http://iavs.info/>) (Rakocy & Allison 1981). Ο τομέας της ενυδρείοποιίας στην Γερμανία ξεκίνησε το 1980 όπου αρχικά συνδύαζε την παραγωγή ιχθύων και φυτών σε ξεχωριστά μέσα καλλιέργειάς τους ενώ αργότερα εξελίχθηκε συνδέοντας άμεσα την παραγωγή ψαριών με την παραγωγή φυτών στο ίδιο μέσο καλλιέργειας (Kloas et al. 2015). Στην Ευρώπη, η ανάπτυξη της ενυδρείοποιίας χρονικά καθυστέρησε και εξαπλώνεται με αργούς ρυθμούς σε σχέση με τις χώρες της Ασίας και την Αμερική. Οι χώρες της Μεσογείου εκμεταλλεζόμενες τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν και λόγω του γεγονότος ότι οι περισσότεροι παραγωγοί δύσπιστα επενδύουν στην εγκαθίδρυση ενός νέου σύγχρονου εξοπλισμού καλλιέργειας, εκτός των θερμοκηπίων και δεν είναι διατεθειμένοι να αναλάβουν το κόστος της επένδυσης για μια καλλιέργεια εκτός εδάφους.

Οι προοπτικές ανάπτυξης της ενυδρείοποιίας στην Ελλάδα είναι μεγάλη, μιας η υπάρχουσα τεχνογνωσία που έχει αναπτυχθεί τόσο από τις υδατοκαλλιέργειες όσο και από τις υδροπονικές καλλιέργειες μπορούν να συνδυαστούν και να οδηγήσουν στην αύξηση της εκδήλωσης του επενδυτικού ενδιαφέροντος. Ο Παπανικολάου (2017) επισημαίνει ότι η υδροπονική μέθοδος καλλιέργειας προσφέρει ορισμένα βασικά πλεονεκτήματα σε σχέση με μια «συμβατική» αγροτική εκμετάλλευση:

1. Δυνατότητα παραγωγής γεωργικών προϊόντων με σταθερά υψηλή ποιότητα ανεξάρτητα από τις κλιματικές συνθήκες.
2. Μεγάλη ευελιξία όσον αφορά την άρδευση, αφού μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ανακυκλοφορία του νερού.
3. Υψηλή παραγωγικότητα σε σχέση με τις «συμβατικές» καλλιέργειες με πολλά περιθώρια περαιτέρω ανάπτυξης.

Παρόλο που έχουν γίνει μέχρι τώρα λίγες προσπάθειες, η ενυδρειοπονία φαίνεται να έχει τα κατάλληλα εργαλεία για να ξεπεραστεί η αντίφαση μεταξύ της αναγκαίας εντατικοποίησης της παραγωγής τροφίμων και της βιωσιμότητας. Απαιτούνται νέες μελέτες και έρευνες για τον καλύτερο προσδιορισμό και την ακανόνιστη κερδοφορία ανάλογα με τον τύπο της εγκατάστασής της. Επιπλέον, αξίζει να επισημανθεί ο σημαντικός κοινωνικός ρόλος που μπορεί να διαδραματίσει το σύστημα ενυδρειοπονίας στην οικονομία μικρών κοινοτήτων, στους αστικούς και περιφερειακούς οικισμούς, των αναπτυσσόμενων χωρών, να βελτιώσει την ανθεκτικότητα των ανθρώπων και να χρησιμοποιηθεί ως εκπαιδευτικό εργαλείο για τη διδασκαλία της χημείας, της φυσιολογίας, της ανατομίας και της βοτανικής στους φοιτητές αλλά και τους εργαζόμενους σε αυτό τον τομέα.

1.2 Λειτουργικά χαρακτηριστικά συστήματος ενυδρειοπονίας

Η ενυδρειοπονία είναι μια εναλλακτική μέθοδος παραγωγής τροφίμων προς την κατεύθυνση της γεωργικής πρακτικής και αειφορίας. Συνδυάζει την υδροπονία και την υδατοκαλλιέργεια σε κλειστού κυκλώματος συστήματα με ανακυκλοφορία νερού (Ebeling & Timmons 2012) ενώ εφαρμόζει τεχνικές και διαδικασίες που αποσκοπούν στην παραγωγή βιο-ασφαλών τροφίμων, επιχειρώντας την κάλυψη των τροφικών

αναγκών του πληθυσμού και ελαχιστοποιεί σε μεγάλο βαθμό τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, μέσω της μείωσης του περιβαλλοντικού φορτίου (Alkemade et al. 2012, Somerville et al. 2014, Velten et al. 2015).

Η ανάπτυξη των φυτών στην ενυδραιοπονία στηρίζεται στα μεταβολικά προϊόντα των ψαριών, τα οποία χρησιμοποιούνται ως θρεπτικά συστατικά από τα φυτά για την ανάπτυξή τους (Somerville et al. 2014, Putra & Yuliando 2015). Πιο συγκεκριμένα η ενυδραιοπονία χρησιμοποιεί με κατάλληλο τρόπο τα απεκκρίματα των ψαριών και τα υπολείμματα της τροφής τους κατά την παραγωγική διαδικασία έτσι ώστε να μην χρησιμοποιούνται χημικά λιπάσματα για την διατροφή των φυτών, ούτε να απορρίπτονται όγκοι νερού και διηθήματα στο περιβάλλον (Somerville et al. (2014).

Η βασική λειτουργία ενός συστήματος ενυδραιοπονίας στηρίζεται στα μεταβολικά προϊόντα των ιχθύων καθώς και στα υπολείμματα της τροφής τους τα οποία μέσω της βιοχημικής διεργασίας της νιτροποίησης (Tyson et al. 2011) οξειδώνονται σε μη τοξικά παράγωγα τα οποία αξιοποιούνται/καταναλώνονται από τα φυτά (Alessio et al. 2001, Fronte et al. 2016). Πιο συγκεκριμένα, οι τοξικοί μεταβολίτες (αμμωνία και νιτρώδη ιόντα) μετατρέπονται σε νιτρικά ιόντα, αφού δεν είναι επιβλαβή για τα ψάρια και αφομοιώνονται σε ποσοστό 97% από τα φυτά, ώστε να καλύψουν την θρέψη τους και τις διατροφικές τους απαιτήσεις σε θρεπτικά συστατικά (Lennard 2006, Yildiz et al. 2017, Robaina et al. 2019). Συνεπώς, το μέσο καλλιέργειας (νερό) που χρησιμοποιεί ένα σύστημα ενυδραιοπονίας είναι εμπλουτισμένο με θρεπτικά συστατικά (νιτρικά ιόντα, φωσφορικά ιόντα κ.α.) και μέσω της συνεχόμενης ανακυκλοφορίας του, πραγματοποιείται απορρόφηση τους από τις ρίζες των φυτών, σαν φυσικό λίπασμα γι' αυτά (Somerville et al. 2014). Σύμφωνα με τον Lennard (2006), αυτή η διαδικασία συνίσταται ως μια πρακτική τεχνική που χρησιμοποιείται για την απονιτροποίηση του νερού στις δεξαμενές των ιχθύων σε ένα κλειστό σύστημα

εκτροφής ιχθύων (recirculated aquaculture system, RAS). Στην παραπάνω βιοχημική διεργασία οξείδωσης της αμμωνίας σε νιτρώδη και νιτρικά ιόντα σημαντικό ρόλο παίζουν τα νιτροποιητικά βακτήρια (Somerville et al. 2014, Fronte et al. 2016).

Συμπερασματικά, η επιτυχής και ισορροπημένη λειτουργία ενός συστήματος ενυδρειοπονίας εξαρτάται από την ημερήσια παραγωγή αμμωνίας από τους ιχθύες, ως αποτέλεσμα των υπολειμμάτων της μη καταναλώσιμης τροφής τους και της μεταβολικής δραστηριότητάς τους, καθώς και από τη συνολική βιομάζα των ιχθύων που υπάρχουν στο σύστημα. Ο ρυθμός παραγωγής της αμμωνίας εξαρτάται από την ημερήσια χορηγούμενη ποσότητα τροφής και υπολογίζεται ως ποσοστό επί του ζώντος βάρους ιχθύων, την περιεκτικότητα της τροφής σε πρωτεΐνη καθώς και τον αριθμό των περασμάτων του νερού από το βιολογικό φίλτρο (ρυθμός επανακυκλοφορίας).

Η επιτυχής ανάπτυξη του φυτού από την άλλη πλευρά, εξαρτάται από τον ημερήσιο ρυθμό παραγωγής αμμωνίας και διαφοροποιείται σύμφωνα με το είδος και τις διατροφικές απαιτήσεις των φυτών σε θρεπτικά συστατικά που θα τοποθετηθούν στο σύστημα καλλιέργειας (Somerville et al. 2014). Για παράδειγμα για την ασφαλή ανάπτυξή τους:

- τα φυλλώδη λαχανικά απαιτούν 20-50 gr τροφής/m²/ημέρα
- τα καρποφόρα λαχανικά απαιτούν 50–80 gr τροφής /m²/ημέρα

Επιπροσθέτως, η ημερήσια παρακολούθηση ψαριών και φυτών αποσκοπεί στην εξασφάλιση της ευζωίας των οργανισμών που χρησιμοποιούνται στην ενυδρειοπονία και θεωρείται πολύ σημαντική για να είναι το σύστημα ισορροπημένο. Ασθένειες, θνησιμότητες και οι διατροφικές ελλείψεις είναι απόρροιες ενός μη ισορροπημένου συστήματος. Η εύρυθμη λειτουργία ενός συστήματος ενυδρειοπονίας προϋποθέτει τον τακτικό έλεγχο της ισορροπίας του συστήματος, μέσω του ελέγχου των επιπέδων

αζώτου στα σημεία εισόδου και εξόδου του νερού από τη δεξαμενή υδροπονικής καλλιέργειας των φυτών και τη δεξαμενή εκτροφής των ιχθύων.

Βασική προϋπόθεση είναι η ερμηνεία των αποτελεσμάτων, ώστε να μπορούν να αντιμετωπισθούν σε εύλογο διάστημα τυχόν καταστάσεις, που θα μπορούσαν να οδηγήσουν στη διατάραξη της ισορροπίας του συστήματος, όπως για παράδειγμα:

- υψηλές τιμές νιτροδών ιόντων ή αμμωνίας, ερμηνεύονται ως ανεπάρκεια βιολογικής επεξεργασίας.
- χαμηλά επίπεδα νιτρικών ιόντων (<80 mg/L), ερμηνεύονται ως ελάχιστη παροχή τροφής, μικρός αριθμός ψαριών ή μεγάλος αριθμός φυτών.
- υψηλά επίπεδα νιτρικών ιόντων (>150 mg/L), ερμηνεύονται ως υψηλή παροχή τροφής για τα φυτά με αποτέλεσμα να μην απορροφώνται σε ικανοποιητικό βαθμό.

Οι Vlahos et al. (2019) αναφέρουν ότι, σε ένα κλειστού κυκλώματος συστήματος ενυδρείοπονίας με ανακυκλοφορία νερού η ανανέωση με φρέσκο θαλασσινό ή γλυκό νερό είναι της τάξης του 10% μιας και το 90% του νερού επαναχρησιμοποιείται και η συνεχόμενη επανακυκλοφορία του νερού στοχεύει στην επαναρύθμιση του συστήματος και στον διαρκή εμπλουτισμό του νερού με διαλυμένο οξυγόνο. Η επαναρύθμιση του συστήματος στοχεύει στη διατήρηση των χημικών και φυσικών διαδικασιών που καθιστούν την καταλληλότητα του νερού για την ασφαλή διαβίωση και ανάπτυξη φυτών και ιχθύων.

Η επιτυχής λειτουργία ενός ισορροπημένου κλειστού κυκλώματος συστήματος ενυδρείοπονίας με ανακυκλοφορία νερού εξαρτάται από παραμέτρους όπως:

- Περιβαλλοντικοί παράγοντες (όπως διαλυμένο οξυγόνο, pH, θερμοκρασία αλκαλικότητα)

- Υδραυλικό φορτίο και υδραυλικός χρόνος παραμονής του νερού στο φίλτρο
- Ασφαλή ανάπτυξη βακτηρίων στο σύστημα
- Εισαγωγή θρεπτικών στο σύστημα (λόγος C/N, περιεκτικότητα τροφής σε N)
- Απομάκρυνση στερεών υπολειμμάτων (κόπρανα και υπολείμματα τροφής)
- Οξειδωτική ικανότητα φίλτρου
- Διαχείριση συστήματος

Ωστόσο, οι οργανισμοί που συνυπάρχουν σε ένα σύστημα ενυδρειοπονίας έχουν διαφορετικές απαιτήσεις και ως εκ τούτου απαιτείται προσοχή προκειμένου να επιτευχθεί η ισορροπία στο σύστημα καλλιέργειας. Οι ιχθύες, τα φυτά και τα βακτήρια, χαρακτηρίζονται από διαφορετικά βέλτιστα επίπεδα των προαναφερόμενων παραγόντων, ακόμη και αν τα εύρη ανοχής τους, σε αυτούς, είναι παρόμοια.

1.3 Ποιότητα νερού

Η ποιότητα του νερού σύμφωνα με τους Somerville et al. (2014) αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την εύρυθμη λειτουργία ενός συστήματος ενυδρειοπονίας και επιτυγχάνεται σε: pH 6-7, θερμοκρασία 18- 30 °C, διαλυμένο οξυγόνο (DO) > 5 mg/L, αμμωνία και νιτρώδη ιόντα < 1 mg/L και νιτρικά ιόντα να μην υπερβαίνουν τα 150 mg/L, διότι η βέλτιστη ισορροπία εξαρτάται από τη θερμοκρασία και το pH. Τα βακτήρια από την άλλη μεριά, αναπτύσσονται σε θερμοκρασία 18-30°C και τα φυτά χρειάζονται pH 7. Οι Rakocy et al. (2006) αποδίδουν την άριστη λειτουργία του συστήματος στην ελάχιστη παροχή τροφής η οποία θα πρέπει να κυμαίνεται από 60 έως 100 g/ m² μιας και παράγει 0,75 mg/L αμμωνία. Επίσης, 1m² υδροπονικής καλλιέργειας μπορεί να απομακρύνει 0.83 g N και 0.17 g συνολικού P (Tyson et al. 2011). Ο έλεγχος της ποιότητας του νερού σε ένα κλειστό σύστημα εκτροφής ιχθύων

θεωρείται ουσιαστικός για την παρεμπόδιση των ασθενειών στα εκτρεφόμενα ψάρια (Bio-Gro 2001). Το Naturland (2004) αναφέρει ότι η θερμοκρασία, το pH, η αλατότητα, το διαλυμένο οξυγόνο, η αμμωνία και τα νιτρικά ιόντα θα πρέπει να μην αποκλίνουν και να είναι εντός των ασφαλών ορίων που ισχύουν για το εκάστοτε εκτρεφόμενο είδος ιχθύος. Συνοπτικά, οι παράγοντες που επηρεάζουν τη λειτουργία του συστήματος ενυδρείοπονίας είναι:

- Το διαλυμένο οξυγόνο: παίζει σημαντικό ρόλο για την ανάπτυξη φυτών, ψαριών και βακτηρίων και θα πρέπει να κυμαίνεται από 5 έως 8 ppm.
- Το pH: παίζει καθοριστικό ρόλο κυρίως στα φυτά και τα βακτήρια και θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 6-7. Στα φυτά επηρεάζει τη διαθεσιμότητα των ιχνοστοιχείων. Για παράδειγμα σε pH που κυμαίνεται από 6 έως 6.5, υπάρχει μεγάλη διαθεσιμότητα ιχνοστοιχείων σε αντίθεση με pH 7.5 όπου παρεμποδίζεται η απορρόφηση του Fe, P, Mn από τα φυτά (nutrient lock out). Σε τιμές pH < 6, διαταράσσεται η ισορροπία του συστήματος και συνεπώς τα βακτήρια επηρεάζουν αρνητικά τις διαδικασίες νιτροποίησης, με αποτέλεσμα οι ιχθύες να επηρεάζονται μέσω των αλλαγών που επιφέρουν οι μειωμένες τιμές pH και επιδρούν στην τοξικότητα της αμμωνίας. Επίσης οι παρεμβάσεις που πρέπει να λαμβάνουν χώρα στις διορθώσεις του pH θα πρέπει να είναι ήπιας μορφής ώστε να μην επηρεάζεται η ισορροπία μεταξύ βακτηρίων, ιχθύων και φυτών και κατ' επέκταση να επηρεάζεται η διαβίωση και η βέλτιστη ανάπτυξή τους.
- Η θερμοκρασία: η αύξηση της θερμοκρασίας επηρεάζει την τοξικότητα της αμμωνίας, μειώνοντας τη διαλυτότητα του οξυγόνου, με αποτέλεσμα να μειώνεται η απορρόφηση του ασβεστίου (Ca) από τα φυτά.

1.4 Πλεονεκτήματα συστημάτων ενυδραιοπονίας

Ανάμεσα στα πλεονεκτήματα των συστημάτων ενυδραιοπονίας γλυκού νερού (Somerville et al.2014) και συστημάτων ενυδραιοπονίας με θαλασσινό ή υφάλμυρο νερό (Boxman et al. 2015, Pantanella & Colla 2013) συγκαταλέγονται τα εξής:

- Περιορισμένη χρήση νερού
- Βιώσιμα συστήματα εντατικής παραγωγής τροφίμων
- Παραγωγή γεωργικών προϊόντων (ψάρια και λαχανικά ή άλλων υδρόβιων ζωικών και φυτικών οργανισμών) με κύρια πηγή αζώτου από τα ψάρια
- Δεν απαιτούνται μεγάλες καλλιεργήσιμες εκτάσεις για την εφαρμογή των συστημάτων ενυδραιοπονίας
- Αξιοποίηση άγονων εκτάσεων όπως έρημοι, υποβαθμισμένα και αλμυρά εδάφη, αμμώδη νησιά κτλ.
- Παραγωγή οικολογικών προϊόντων προσφιλή στο περιβάλλον και βιο-ασφαλή (δεν χρησιμοποιούνται λιπάσματα ή φυτοφάρμακα η χρησιμοποιούνται σε περιορισμένο βαθμό)
- Αυξημένες αποδόσεις με ποιοτική παραγωγή, στοχεύοντας σε υψηλά επίπεδα ελέγχου ελαχιστοποιώντας τις απώλειες
- Περιορισμός αποβλήτων
- Ενίσχυση της οικονομίας
- Εντατικοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας

1.5 Ψάρια και φυτά που χρησιμοποιούνται στα συστήματα ενυδραιοπονίας

Η ενυδραιοπονία θεωρείται από τις πιο διαδεδομένες τεχνικές πρακτικές που αναπτύχθηκαν τα τελευταία χρόνια. Στην υδατοκαλλιέργεια ο ρυθμός ανάπτυξης καθορίζει την καταλληλότητα του είδους που πρόκειται να εκτραφεί. Είδη ιχθύων με χαμηλό ρυθμό ανάπτυξης μπορεί να επιλεγούν εξαιτίας της αγοραστικής αξίας που παρουσιάζουν.

Είδη όπως η κοινή τιλάπια (*Oreochromis niloticus*), η μπλέ τιλάπια (*Oreochromis aureus*), η κόκκινη τιλάπια (*Oreochromis mossambicus*), το υβρίδιο *O. aureus* X *O. niloticus*, το υβρίδιο *Oreochromis spp*, η πέστροφα, το αφρικάνικο γατόψαρο, τα κοί και ο κυπρίνος συγκαταλέγονται μεταξύ των ειδών των ιχθύων που χρησιμοποιούνται με επιτυχία σε ένα σύστημα ενυδραιοπονίας με γλυκό νερό (Nelson 2007, Kloas et al. 2015, Palm et al. 2014, Endut et al 2011).

Στην θαλάσσια ή υφάλμυρη ενυδραιοπονία επιλέγονται είδη ψαριών που μπορούν να εκτραφούν σε συστήματα θαλασσινού νερού (Alessio et al. 2001) και να συμβιώνουν με μεγάλη ποικιλία φυτών (Pantanella & Colla 2013). Η ενυδραιοπονία σε υφάλμυρο νερό συνδυάζει την εκτροφή Μεσογειακών ευρύαλων ειδών όπως η τσιπούρα (Vlahos et al. 2019) ή το λαβράκι σε συνδυασμό με μεγάλη ποικιλία Μεσογειακών φυτών όπως τα αλόφυτα (κρίταμος) (Vlahos et al. 2019) ή φύκη (Boxman 2015), τα οποία παρουσιάζουν αυξημένη εμπορική αξία (Fronte et al. 2016, Nozzi et al.2016).

Τα είδη φυτών που έχουν χρησιμοποιηθεί κατά καιρούς σε συστήματα ενυδραιοπονίας με επιτυχία είναι: η τομάτα, το μαρούλι, ο βασιλικός, η πιπεριά, το σπανάκι και η μελιτζάνα (Endut et al. 2009, Palm et al. 2014, Khater et al. 2015), ενώ στα είδη των φυτών που αναπτύσσονται σε αλατότητα 5 ppt (Ayers & Wescott 1989) είναι τα αλόφυτα. Ανάμεσα στα είδη αλόφυτων που καλλιεργούνται για την παραγωγή λαχανικών συγκαταλέγονται ο κρίταμος (rock samphire, *Chrithmum maritimum*),

πολλά είδη του γένους *Salicornia* και η κινόα (*Quinoa sp*) (Somerville et al. 2014, Pantanella & Bhujel 2015).

Επίσης, η θαλάσσια ή υφάλμυρη ενυδραιοπονία εφαρμόζεται σε καλλιέργειες οπωροκηπευτικών χρησιμοποιώντας υφάλμυρο νερό (5-30 g/L) (Pantanella 2012). Πολλά από αυτά τα είδη ανήκουν στην οικογένεια *Chenopodiaceae*, όπως για παράδειγμα το τεύτλο *Beta vulgaris* ή τα *Beta vulgaris var cycles* και αναπτύσσονται χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα σε αλατότητα 3,5-7 g/L. Άλλα είδη, όπως η κοινή ντομάτα (*Lycopersicon esculentum*), ο βασιλικός (*Ocimum basilicum*) μπορούν να αναπτυχθούν σε αλατότητες με περιεκτικότητα σε αλάτι 4g /L (Pantanella & Bhujel 2015). Η ενσωμάτωση της καλλιέργειας των φυκών στην θαλάσσια ενυδραιοπονία αποτελούν επίσης μια αξιόλογη εναλλακτική λύση (Pantanella & Bhujel 2015). Μεταξύ των διαφόρων ειδών φυκών αξιοσημείωτο ενδιαφέρον, παρουσιάζουν η σπιρουλίνα (*Arthospira platensis*) και η *Chlorella (Chlorella spp)*.

Οι Main et al. (2015), αναφέρουν ότι είδη ιχθύων όπως το *Sciaenops ocellatus* και το *Trachinotus carolinus* μπορούν να εκτραφούν σε συνδυασμό με τα είδη φυτών *Spartina alterniflora* (σπαρτίνα Αμερικής), το *Juncus romerianus* (μαύρη βελόνα) και το είδος *Rhizophora amangle* (κόκκινο μανγκρόβιο). Οι Boxman et al. (2015) καλλιέργησαν δύο είδη αλοφύτων, το *Batis maritima* και το *Sesuvium portulacastrum* σε συνδυασμό με το είδος *Sciaenops ocellatus* σε θαλάσσια ενυδραιοπονία. Τέλος οι Vlahos et al. (2019) καλλιέργησαν το αλόφυτο *Crithmum maritimum* (κρίταμος) με την χρήση της τσιπούρας (*Sparus aurata*) σε υφάλμυρο σύστημα ενυδραιοπονίας, με αλατότητες 8ppt και 20ppt.

1.6 Ενυδραιοπονία σε θαλασσινό και υφάλμυρο νερό

Η αύξηση της αλατότητας του εδάφους καθώς και ο περιορισμένος όγκος διαθέσιμου γλυκού νερού, οδήγησαν στην χρήση του υφάλμυρου νερού και την

χρησιμοποίηση φυτών που είναι ανθεκτικά στην αλατότητα (αλόφυτα) (Turcios & Papenbrock 2001, Buhmann & Papenbrock 2013, Turcios & Papenbrock 2014, Joesting et al. 2016). Οι ιδανικές συνθήκες αλατότητας για την ανάπτυξη των φυτών κυμαίνονται από 10 έως 20 g/L. Ορισμένα είδη φυτών όπως το *Distichlis palmeri* χαρακτηρίζονται ανθεκτικά σε συνθήκες υπεραλατότητας (Pantanella & Bhujel 2015). Επίσης, η θαλάσσια ενυδραιοπονία με υφάλμυρο νερό (5-30 g/L αλατότητα) μπορεί να εφαρμοστεί και σε καλλιέργειες οπωροκηπευτικών και αποτελεί μια εναλλακτική λύση καλλιέργειας και σε περιπτώσεις που δεν χρησιμοποιείται νερό χαμηλής αλατότητας (Pantanella & Bhujel 2015). Γενικά, οι έρευνες που έχουν διεξαχθεί μέχρι σήμερα στο υφάλμυρο ή θαλασσινό νερό είναι πολύ περιορισμένες (Nozzi et al. 2016, Fronte et al. 2016).

Οι Orellana et al. (2013) αναφέρουν ότι στον τομέα της υδατοκαλλιέργειας, οι πιο καινοτόμες στρατηγικές φαίνεται είναι η χρήση του θαλασσινού νερού όπου τα φυτά μπορούν να καλλιεργηθούν με γόνιμο τρόπο. Πολλές μελέτες δείχνουν ότι τα απόβλητα που παράγονται από θαλάσσιες εγκαταστάσεις υδατοκαλλιέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν με επιτυχία για την άρδευση των φυτών.

Αυτές οι διαπιστώσεις δημιούργησαν ενδιαφέρον για την θαλάσσια ενυδραιοπονία, όπου διάφορα είδη ψαριών και φυτών όπως προαναφέραμε μπορούν να καλλιεργηθούν. Αξιοσημείωτη συμβατότητα παρουσιάζουν διάφορα ευρύαλα είδη, τα οποία μπορούν να διαβιούν σε ευρεία κλίμακα αλατοτήτων (Alessio et al. 2001) με μια ευρεία ποικιλία αλόφυτων, διαφόρων φυτικών ειδών όπως διάφορες ποικιλίες λαχανικών, φύκια κ.α.(Pantanella & Colla 2013).

Οι συνθήκες για την ανάπτυξη των φυτών καθίστανται ευνοϊκές καθώς υπάρχει ιδανική αλατότητα που κυμαίνεται από το 1/3 έως 1/2 σε σχέση με την αλατότητα της θάλασσας (μεταξύ 10 και 20 g/L). Είδη όπως το *Distich lispalmeri* είναι ανθεκτικό στις

διαφορετικές συνθήκες αλατότητας (Pantanella & Bhujel 2015). Τα αλόφυτα παρουσιάζουν ενδιαφέρον για τις ιδιότητές τους σε πολλούς τομείς, όπως η φαρμακευτική, η παραγωγή τροφίμων και η βιομηχανία πετρελαίου (Koyro et al., 2011). Επιπλέον, λόγω των χαμηλών απαιτήσεων σε νερό, μπορούν να εφαρμοστούν σε εύφορες παράκτιες περιοχές, σε αστικούς οικισμούς καθώς και σε άγονες ερήμους (Pantanella 2012).

Ένα βασικό πλεονέκτημα της θαλάσσιας ενυδρειοπονίας θεωρείται η αυξημένη εμπορική αξία που παρουσιάζουν τα προϊόντα που παράγονται και πιο συγκεκριμένα η εμπορική τους αξία μπορεί να φτάσει τα 9 € / kg για τα φυτά και 6 € / kg για τους ιχθύες αντίστοιχα (Fronte et al. 2016).

1.7 Παραγωγή

1.7.1 Προγραμματισμός και διαχείριση της παραγωγικής διαδικασίας

Η ενυδρειοπονία είναι μια καινοτόμος διαδικασία, όπου τα προϊόντα της ανταγωνίζονται στην αγορά τα προϊόντα της βιολογικής καλλιέργειας ή τα συμβατικά, και μπορούν να πιστοποιηθούν ως οικολογικά προϊόντα (Weber & Rohracher 2012). Επίσης, η ενυδρειοπονία ως βιώσιμο καινοτόμο και έξυπνο σύστημα παραγωγής, ενσωματώνει την υδατοκαλλιέργεια με την υδροπονική καλλιέργεια φυτών και ως εκ τούτου η παραγωγή, η διακίνηση και η μεταφορά των τροφίμων απαιτεί υψηλό κόστος. Διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην οικονομία μιας περιοχής, διότι καλύπτει την τοπική παραγωγή αλλά και τον εφοδιασμό αστικών κέντρων, με φρέσκα, υγιεινά και χωρίς φυτοφάρμακα προϊόντα (Das & Kumbhakar 2012, Dos Santos et al. 2015).

Οι επιχειρηματικές πολιτικές και στρατηγικές για τα τρόφιμα ενυδρειοπονίας διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο και αποκαλύπτουν ένα κενό μεταξύ της πραγματικής

αγοράς και κατανάλωσης (Sillani & Nassivera 2015). Σύμφωνα με τους Love et al. (2014), για το 32% των ατόμων που ασχολούνται με την πώληση προϊόντων υδροπονίας, αυτό αποτελεί και την πρωταρχική πηγή εισοδήματος τους και αυτό γίνεται εφικτό μέσω των οικονομικών πολιτικών που βοηθούν τη χρηματοδότηση αυτής της παραγωγής. Η παραγωγική διαδικασία σε ένα σύστημα ενυδραιοπονίας καθορίζεται από παράγοντες όπως:

- η βιομάζα των ιχθύων, που θα χρησιμοποιηθεί στην εκτροφή
- η ποσότητα και το κόστος προμήθειας των ιχθυοτροφών
- η διαθεσιμότητα του εξοπλισμού
- το κατάλληλο προσωπικό

Η μέση τιμή της βιομάζας των ψαριών που συγκομίζεται από τους παραγωγούς είναι μεταξύ 23-45 kg/έτος, ενώ η μέση ποσότητα φυτών ήταν 45-226 kg/έτος. Η ενυδραιοπονία θα μπορούσε να αντιπροσωπεύσει ένα νέο ολοκληρωμένο γεωργικό σύστημα, από τους παραγωγούς στους καταναλωτές, λόγω των σύντομων αλυσίδων εφοδιασμού και της βιολογικής παραγωγής φρέσκων τροφίμων.

Αξίζει να ληφθεί υπόψη ότι, τα τελευταία 30 χρόνια η κύρια πηγή διακίνησης των λαχανικών στην Ευρώπη, είναι τα σούπερ μάρκετ τα οποία καθορίζουν τις τιμές και διαμορφώνουν τον υψηλό ανταγωνισμό μεταξύ περιοχών καλλιέργειας με αποτέλεσμα πολλοί παραγωγοί θερμοκηπίου, που θα μπορούσαν να αποτελέσουν την βάση για την εξάπλωση της ενυδραιοπονίας, να περιορίζουν τις επενδυτικές δυνατότητες τους σε νέες και καινοτόμες διαδικασίες παραγωγής αγαθών (Wellner et al. 2017).

1.7.2 Κόστος παραγωγής

Τα οφέλη ενός συστήματος ενυδραιοπονίας είναι πολλά, να σημειωθεί ότι η ελαχιστοποίηση της ανταλλαγής νερού μειώνει σημαντικά το κόστος λειτουργίας των

υδροπονικών συστημάτων σε ξηρά κλίματα και θερμαινόμενα θερμοκήπια όπου το κόστος του νερού (θερμαινόμενο ή μη) είναι σημαντικό. Η κατοχή μιας δευτερογενούς φυτικής καλλιέργειας που λαμβάνει τα περισσότερα από τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά χωρίς κόστος βελτιώνει σημαντικά το δυναμικό κέρδους του συστήματος. (Rakocy et al. 2006).

Οι εξοικονομήσεις πραγματοποιούνται μέσω της κατανομής λειτουργικών και δομικών δαπανών όπως αντλίες, δεξαμενές, θερμαντήρες και συστήματα ελέγχου Βασικό στοιχείο που συμβάλει στην διαμόρφωση του κόστους παραγωγής των εκτρεφόμενων ψαριών, είναι οι ιχθυοτροφές και στην συνέχεια ακολουθεί ο γόνος. Επιπλέον, η εντατική και ολοκληρωμένη παραγωγή ιχθύων και φυτών απαιτεί λιγότερη έκταση από τις λίμνες και τα κλασσικά θερμοκήπια. Αξίζει να σημειωθεί ότι, τα συστήματα ενυδρείοπονίας απαιτούν μεγάλη επένδυση κεφαλαίου, μέτρια εισροή ενέργειας, εξειδικευμένη διαχείριση και μπορούν να αποτελέσουν κερδοφόρες επιχειρησιακές μονάδες τις παγκόσμιας οικονομίας.

Ένα σύστημα ενυδρείοπονίας μπορεί για παράδειγμα να παράγει περίπου 11.000 lb τιλάπια και 1.400 lb μαρούλι ή 11.000 lb βασιλικού ετησίως, βάσει μελετών στους Παρθένους Νήσους. Οι Παρθένοι Νήσοι αντιπροσωπεύουν μια μικρή εξειδικευμένη αγορά με πολύ υψηλές τιμές για τιλάπια, μαρούλια και βασιλικό, καθώς περισσότερο από το 95% της προμήθειας σε λαχανικά και σχεδόν το 80% ψαριών εισάγονται. Η ετήσια απόδοση υπολογίζεται στα 185.248 \$ και πιο συγκεκριμένα οι τιμές πώλησης ψαριών είναι 2,50 \$/lb και για το μαρούλι 20 \$/lb. Ο προϋπολογισμός μιας τέτοιας επιχείρησης δείχνει ότι τα συστήματα ενυδρείοπονίας μπορούν να είναι κερδοφόρα σε ορισμένες εξειδικευμένες αγορές για την παραγωγή και εκμετάλλευση γεωργικών αγαθών. Σε ένα σύστημα ενυδρείοπονίας, σημαντική είναι η προσφορά και η ζήτηση που προκαλούν διακυμάνσεις των τιμών χονδρικής κατά τη διάρκεια του

έτους. Τα στοιχεία δείχνουν ότι τα αρωματικά φυτά (βασιλικός) γενικά, μπορούν να προσφέρουν ένα ακαθάριστο εισόδημα περισσότερο από 20 φορές μεγαλύτερο από αυτό των καρποφόρων καλλιεργειών στην ενυδρειοπονία, όπως είναι οι τομάτες και τα αγγούρια. Φαίνεται ότι μόνο μία μονάδα παραγωγής θα μπορούσε να προσφέρει ένα βιοτικό εισόδημα για έναν μικρό παραγωγό. Ωστόσο, τα δεδομένα αυτά δεν μπορούν να παρουσιάσουν κόστος κεφαλαίου, λειτουργίας και εμπορίας, το οποίο θα είναι σημαντικό. Αξίζει να σημειωθεί ότι, μεγάλες ποσότητες παραγόμενων βοτάνων θα μπορούσε να επιφέρουν μείωση των τιμών. Ο ανταγωνισμός από τους σημερινούς προμηθευτές της αγοράς στα παραπάνω είδη θα αποτελούσε και αυτό σημαντικό παράγοντα στην περαιτέρω μείωση των τιμών (Rakocy et al. 2006).

1.8 Περιβάλλον - Προστασία

Σε παγκόσμιο επίπεδο, παρατηρείται αυξανόμενη μόλυνση των αρδευτικών υδάτινων πόρων και του εδάφους η οποία οφείλεται, στην εντατική γεωργική χρήση και στη μη φιλική προς το περιβάλλον δραστηριότητα, λόγω της ανάγκης παραγωγής ολοένα και μεγαλύτερων ποσοτήτων τροφίμων για την κάλυψη των αναγκών του αυξανόμενου πληθυσμού.

Η ενυδρειοπονία εμφανίστηκε πρόσφατα ως μια βιώσιμη μορφή εναλλακτικής γεωργίας και ενσωματώνει παραδοσιακές γεωργικές πρακτικές με επιστημονικές μεθόδους παραγωγής τροφίμων, συνδυάζοντας πρακτικές της υδατοκαλλιέργειας σε συνδυασμό με την υδροπονία (Dilley et al. 2001). Η βιωσιμότητα μιας μονάδας επιτυγχάνεται, μέσα από την εντατικοποίηση της παραγωγής και την χρήση διάφορων τεχνολογιών παρόμοιων με εκείνες που εφαρμόζονται στις υδατοκαλλιέργειες και περιγράφονται από τους Savidon et al. (2005) και εστιάζουν στην επεξεργασία νερού μέσω των βιολογικών φίλτρων στοχεύοντας στη μείωση του ρυπαντικού φορτίου.

Παράγοντες όπως η ποιότητα του νερού, η αποδοτικότητα του συστήματος, η διαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών και η φυσιολογία των οργανισμών (φυτών και ιχθύων) επηρεάζουν την βιωσιμότητα ενός συστήματος ενυδρείοπονίας.

Τα συστήματα ενυδρείοπονίας λειτουργούν συγχρόνως και ως μονάδες απορρύπανσης, μιας και εκτός των βιολογικών φίλτρων που χρησιμοποιούν, τα φυτά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και να λειτουργήσουν ως «φίλτρα» απορρύπανσης του νερού μέσω της απορρόφησης των νιτρικών και φωσφορικών ιόντων, με αποτέλεσμα απορρέων νερό που χύνεται στον φυσικό αποδέκτη και να είναι απαλλαγμένο από οποιουδήποτε τύπου ρυπαντές, διότι ο φώσφορος και το άζωτο που είναι τα κύρια συστατικά απόβλητα της ιχθυοκαλλιέργειας, προκαλώντας σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα. Στην Ελλάδα δεν υπάρχει νομοθετικό πλαίσιο για την ενυδρείοπονίας και ως εκ τούτου εφαρμόζεται το νομοθετικό πλαίσιο που εφαρμόζεται για την υδατοκαλλιέργεια και την υδροπονία. Για το λόγο αυτό είναι απαραίτητο να προηγηθεί μια μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων:

α) Το σύστημα παραγωγής πρέπει να ρυθμιστεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε να διασφαλίζεται η προστασία των υδάτινων και χερσαίων οικοσυστημάτων και γι' αυτό θα πρέπει η ενυδρείοπονία να χαρακτηρίζεται από:

- Υψηλής ποιότητας νερό που εισάγεται στην εγκατάσταση.
- Πρακτικές διαχείρισης των ψαριών ώστε παράσιτα, παθογόνοι μικροοργανισμοί, και άλλοι επιβαρυντικοί παράγοντες που μπορεί να εισαχθούν, να ασκούν ελάχιστες επιδράσεις στους άγριους πληθυσμούς και στο περιβάλλον. Επιπλέον προάγεται η ελαχιστοποίηση της πίεσης, η μείωση των επιπτώσεων των ασθενειών και η παγιοποίηση της ζωτικότητας των οργανισμών μέσω της κάλυψης των βιολογικών αναγκών και συμπεριφορών τους. Τέλος οι χώροι

εκτροφής τους θα πρέπει, όσο το δυνατόν περισσότερο, να προσομοιάζουν με εκείνους που βρίσκονται στο φυσικό περιβάλλον.

- Εισροές (λιπάσματα και βελτιωτικά εδάφους) που να είναι σύμφωνα με το ΠΑΡ. ΠΑ του ΚΑΝ 2092/91.
- Τρόπους παρεμπόδισης διαφυγής των καλλιεργούμενων οργανισμών.
- Κατάλληλο εξοπλισμό και σωστή συντήρηση.
- Πρακτικές διαχείρισης ήχους.
- Κατάλληλοι χώροι αποθήκευσης .
- Την τήρηση των απαιτήσεων της κοινοτικής και εθνικής νομοθεσία για την υγιεινή και ασφάλεια των προϊόντων.

β) Το νερό που εξέρχεται του συστήματος εκτροφής, ή των αγροτικών καλλιεργειών, δεν πρέπει να επιφέρει επιπτώσεις (Bio - Gro 2001):

- στο περιβάλλον.
- στην οικολογική ισορροπία.
- στην βιοποικιλότητα

1.9 Σκοπός Διπλωματικής μεταπτυχιακής εργασίας

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι να μελετήσει την παραγωγική διαδικασία εκτροφής του λαβρακιού και την καλλιέργεια του κριτάμου σε ένα υφάλμυρο σύστημα ενυδραιοπονίας και την επίδραση τριών αλατοτήτων 8 ppt, 14 ppt και 20 ppt στην ανάπτυξη τους. Η παρούσα διπλωματική έρχεται να εμπλουτίσει την έρευνα σχετικά με την ενυδραιοπονία και να αποτελέσει ένα ερέθισμα για μελλοντική ενασχόληση και ανάπτυξη της ενυδραιοπονίας με χρήση υφάλμυρου νερού.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Προμήθεια ψαριών (*Dicentrarchus labrax*) και φυτών (*Crithimum muritimum*)

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε στις εγκαταστάσεις του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και συγκεκριμένα στο τολ ενυδρειοπονίας και στο εργαστήριο υδατοκαλλιεργειών. Η διάρκεια του πειράματος ήταν 75 ημέρες και έλαβε χώρα από τον Νοέμβριο 2018 έως τον Ιανουάριο 2019. Τα ιχθύδια λαβρακιού (*Dicentrarchus labrax*) προμηθεύτηκαν από τον ιχθυογεννητικό σταθμό της εταιρίας ΣΕΛΟΝΤΑ Α.Ε.ΓΕ που εδρεύει στη θέση Τάπιες-Πελασγία, και μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο και τοποθετήθηκαν στα ενυδρεία υποδοχής διαστάσεων 50 X 50 X 50 cm και όγκου 125 L με αλατότητα 30 ppt και σε θερμοκρασία 22°C. Η διαδικασία προσαρμογής και εγκλιματισμού των ατόμων λαβρακιού διήρκεσε 20 ημέρες.

Τα άτομα κρίταμου (*Crithimum muritimum*) προέρχονταν από το Άγιο Όρος (κωδικός αναφοράς 16.5961) και πολλαπλασιάστηκαν στις εγκαταστάσεις του Ινστιτούτου Γενετικής Βελτίωσης και Φυτογενετικών Πόρων (Ελληνικός Γεωργικός Οργανισμός Δήμητρα) στη Θεσσαλονίκη και τοποθετήθηκαν σε ειδικά φυτοδοχεία στο θερμοκήπιο.

2.2 Πειραματικός σχεδιασμός: περιγραφή συστήματος ενυδρειοπονίας - συνθήκες εκτροφής-χειρισμοί

Για τις ανάγκες του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 135 ιχθύδια λαβρακιού (*D. Labrax*), μέσου βάρους $8,2 \pm 0,15$ g (μέσο βάρος \pm τυπικό σφάλμα) και μέσου μήκους $9,5 \pm 0,33$ cm (μέσο βάρος \pm τυπικό σφάλμα), τα οποία προέρχονταν από το ίδιο απόθεμα γεννητόρων και διαμοιράσθηκαν ανά 15 άτομα σε 9 αυτόνομα ενυδρειακά συστήματα ενυδραιοπονίας, με ανακυκλοφορία νερού. Κατά την διάρκεια του εγκλιματισμού τα ψάρια τοποθετήθηκαν για διάστημα 15 ημερών στα ενυδρεία υποδοχής με όγκο 125 L. Πριν από την έναρξη του πειράματος τα συστήματα ενυδραιοπονίας πληρώθηκαν με νερό αλατότητας 30 ppt και έγινε σταδιακή μείωση της αλατότητας του κάθε συστήματος ενυδραιοπονίας κατά 5 μονάδες μία φορά την εβδομάδα έως ότου η αλατότητα να σταθεροποιηθεί από 30 ppt στο 20 ppt, 14 ppt και 8 ppt, αντίστοιχα.

Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 54 φυτικά άτομα κρίταμου (*C. muritimum*) μέσου ύψους $7,7 \pm 0,2$ cm (μέσο βάρος \pm τυπικό σφάλμα), τα οποία διαμοιράσθηκαν ανά 6 άτομα στις 9 υδροπονικές δεξαμενές καλλιέργειας (grow bed). Η διαδικασία εγκλιματισμού που ακολουθήθηκε για τα φυτικά άτομα κρίταμου προκειμένου να αποφευχθεί το οσμωτικό stress ήταν παρόμοια με εκείνη των ιχθύων λαβρακιού. Πιο αναλυτικά η διαδικασία περιλάμβανε σταδιακή προσαρμογή των φυτικών ατόμων κρίταμου με νερό σχεδόν μηδενικής αλατότητας (βρύσης) ακολουθούμενη από ημερήσια σταδιακή αύξηση της αλατότητας κατά 50 mM NaCl έως ότου να φθάσει στο 8 ppt, 14 ppt και 20 ppt, αντίστοιχα. Φυτά και ψάρια αμέσως μετά το πέρας του εγκλιματισμού τοποθετήθηκαν τυχαία στα 9 συστήματα ενυδραιοπονίας, όπως περιγράφονται παρακάτω, με τα αντίγραφα τους στις τρεις διαφορετικές μεταχειρίσεις αλατότητας (3 συστήματα ανά αλατότητα), με αλατότητες 8 ppt, 14 ppt και 20 ppt, αντίστοιχα.

Κάθε σύστημα ενυδρειοπονίας αποτελούνταν από τρία ενυδρεία υδροπονικής καλλιέργειας του κρίταμου (grow bed) διαστάσεων 60 x 30 x 30 cm και ολικού όγκου 54 L και καλλιεργητική επιφάνεια 1800 cm² το καθένα (Εικ. 1α), από τρία ενυδρεία εκτροφής ψαριών (fish tank) διαστάσεων 60 x 30x30 cm και όγκου 54 L (Εικ. 1β) και από τρία ενυδρεία για το μηχανικό και βιολογικό φίλτρο και την αντλία, τύπου sump (Εικ. 2) (Vlahos et al. 2019).



Εικόνα 1. (α) Πειραματικό σύστημα ενυδρειοπονίας υφάλμυρου νερού. Διαφαινόνται οι δεξαμενές υδροπονικής καλλιέργειας (επάνω μέρος), τα ενυδρειακά συστήματα ανακυκλοφορίας νερού (στη μέση) και τα φίλτρα (στο κάτω μέρος) (β) Ενυδρεία υδροπονικής καλλιέργειας κρίταμου (Πηγή: προσωπικό αρχείο)

Τα φυτά επιλέχθηκαν να καλλιεργηθούν με τη μέθοδο της συνεχόμενης ροής μέσω της πλωτής σχεδίας (floating-raft) ως την συνήθη μέθοδο καλλιέργειας σε ένα σύστημα ενυδρειοπονίας μιας και επιτρέπει στις ρίζες του φυτού να απορροφά ελεύθερα τα θρεπτικά συστατικά του νερού χωρίς να μειώνει και να παρεμποδίζει τη διέλευση του νερού από τη δεξαμενή υδροπονικής καλλιέργειας του φυτού (Timmons

et al. 2002, Liang & Chien 2013, Somerville et al. 2014, Engle 2015, Waller et al. 2015).

Τα συστήματα ενυδρειοπονίας τοποθετήθηκαν στους μεταλλικούς πάγκους δημιουργώντας μια παράλληλη διάταξη ανάμεσα στα ενυδρεία (φυτών και ψαριών) του κάθε ενυδρειοπονικού συστήματος ώστε η ροή του νερού να γίνεται διαμέσου της βαρύτητας (Somerville et al. 2014) και να ρέει από το ενυδρείο της υδροπονικής καλλιέργειας στο ενυδρείο εκτροφής των ψαριών και στη συνέχεια το απορρέων νερό να καταλήγει στο φίλτρο τύπου sump, το οποίο υποστήριζε κάθε αυτόνομο σύστημα ενυδρειοπονίας διαμέσου της πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας επεξεργασίας του νερού.

Τα φίλτρα τύπου sump τοποθετήθηκαν σε εξηλασμένη πολυστερίνη πάχους 2,5 cm στο δάπεδο (Εικ.2). Ο όγκος του κάθε φίλτρου ήταν 30 L και χωρίστηκε σε τρία τμήματα, στο μηχανικό φίλτρο, στο βιολογικό και στο τρίτο τμήμα στο οποίο τοποθετήθηκε μια αντλία νερού (SUNSUN, 1800L/ h), ώστε να διοχετεύει το νερό στις υδροπονικές δεξαμενές καλλιέργειας κρίταμου κατά 90% και στο ενυδρείο εκτροφής των ψαριών κατά 10%.

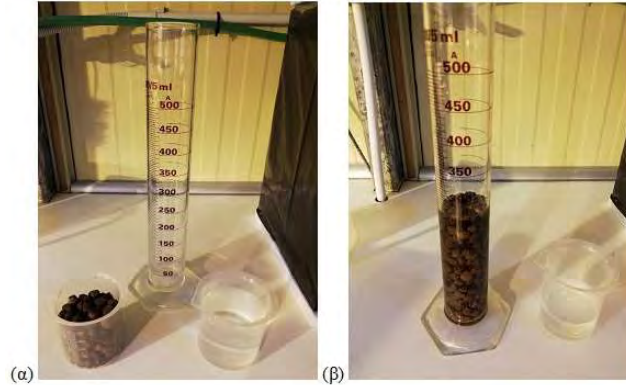
Το μηχανικό φίλτρο κάλυπτε μια επιφάνεια 255 cm² και αποτελούνταν από ένα διάτρητο καλάθι με άνοιγμα ματιού 1 cm μέσα στο οποίο τοποθετήθηκε υαλοβάμβακας δημιουργώντας ένα στρώμα πάχους 10 cm το οποίο συνέβαλλε στην κατακράτηση των αιωρούμενων σωματιδίων και των στερεών υπολειμμάτων (περιττώματα, υπολείμματα τροφής, αιωρούμενα σωματίδια) από τα ψάρια (Εικ.2).



Εικόνα 2. Ενυδρεία συστήματα ανακυκλοφορίας νερού με το αντίστοιχο φίλτρο τύπου sump του συστήματος ενυδρειοπονίας (στο φίλτρο διαφαίνεται το μηχανικό και το βιολογικό φίλτρο) (Πηγή: προσωπικό αρχείο).

Το βιολογικό φίλτρο κάλυπτε το μεγαλύτερο μέρος του φίλτρου δημιουργώντας μια επιφάνεια 455 cm^2 . Στο βιολογικό φίλτρο τοποθετήθηκαν ισόποσα τρία διαφορετικά υλικά πλήρωσης 2 L λάβα με διαμέτρημα κόκκου 35 mm, 2-4 L βιόσφαιρες μέσου διαμετρήματος 12 mm και 2 L κεραμικό κυλινδρικό υλικό με διαμέτρημα κόκκου $1,25 \pm 0,08 \text{ mm}$ δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό μεγάλη ειδική επιφάνεια στο φίλτρο (SSA) προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για την καλύτερη δυνατή ανάπτυξη των νιτροποιητικών βακτηρίων (Εικ. 2). Το κρίταμο, τοποθετήθηκε σε ειδικό διάτρητο φυτοδοχείο το οποίο πληρώθηκε με άργιλο τύπου LECA μέσου διαμετρήματος κόκκου $0,75 \pm 0,20 \text{ mm}$, προκειμένου να εξασφαλίζεται με την πρακτική αυτή σταθερότητα στο ριζικό σύστημα του κρίταμου. Σύμφωνα με τους Nuevaespana & Matias (2014), η άργιλος τύπου LECA έχει επιφάνεια $1,27 \text{ cm}^2$ και δημιουργεί διάκενο της τάξης του 8%, με απορροφητικότητα νερού της τάξης του 14%. Στην παρούσα εργασία υπολογίστηκε το διάκενο του αργίλου και βρέθηκε να είναι 0,5%, δημιουργώντας ένα πορώδες της τάξης του 50% (Εικ.3). Το διάκενο που δημιουργεί η άργιλος δεν

τραυματίζει τη ρίζα του φυτού και εξασφαλίζει αυξημένα ποσοστά υγρασίας στη ρίζα του. Επίσης επιτρέπει την καλύτερη διάχυση του ατμοσφαιρικού οξυγόνου βελτιστοποιώντας την αναπνοή της ρίζας του φυτού.



Εικόνα 3. (α) υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στον υπολογισμό του διάκενου, (β) υπολογισμός διάκενου (Πηγή: προσωπικό αρχείο)

Τα ενυδρεία υδροπονικής καλλιέργειας φυτών τοποθετήθηκαν σε εξηλασμένη πολυστερίνη πάχους 2,5 cm, στην οποία διανοίχθηκαν οπές διαμέτρου 5,5 cm έτσι ώστε να τοποθετηθούν τα ενυδρεία υδροπονικής καλλιέργειας με το κρίταμο σε απόσταση 7 cm από το κέντρο του ενός από το άλλο δημιουργώντας μια καλλιεργητική επιφάνεια 1,1 m².

Ο αριθμός των φυτών που προστέθηκε σε κάθε υδροπονική δεξαμενή προϋποθέτει την κάλυψη των ημερήσιων αναγκών τους σε αζωτούχες ενώσεις και υπολογίστηκε στο παρόν πείραμα στα 6 φυτά. Οι Endut et al. (2009) αναφέρουν ότι, ο αυξημένος αριθμός των φυτών στην υδροπονική δεξαμενή μπορεί να αποτελέσει περιοριστικό παράγοντα στην ανάπτυξη τους, εξαιτίας της μειωμένης ημερήσιας κάλυψης των αναγκών τους σε αζωτούχες ενώσεις.

Προκειμένου να εξασφαλισθεί η ημερήσια έκθεση των φυτών στο φως στα συστήματα ενυδρειοπονίας τοποθετήθηκαν λαμπτήρες υψηλής πίεσης 400 watt σε

απόσταση 60 cm από την επιφάνεια του grow bed (SYLVANIA, 230V HID High Pressure Sodium) (Εικ. 4). Η φωτοπερίοδος ακολούθησε αυτή του μηνός Νοεμβρίου και ρυθμίστηκε με χρονοδιακόπτη (IKEA, MAX 3680 W) να είναι 12 h φως : 12 h σκοτάδι.



Εικόνα 4. Σύστημα ενυδρειοπονίας με λαμπτήρες (Πηγή: προσωπικό αρχείο)

Η παροχή του νερού ρυθμίστηκε να είναι σταθερή σε όλα τα συστήματα ενυδρειοπονίας και υπολογίστηκε να είναι ίση με $3.31 \pm 0.06 \text{ m}^3/\text{d}$ και συνεχής εξασφαλίζοντας μια σταθερή ταχύτητα φιλτραρίσματος στα συστήματα ίση με $1,54 \text{ cm}/\text{min}$.

Η διάχυση του αέρα στα συστήματα ενυδρειοπονίας επιτεύχθηκε μέσω αεραντλίας (Hailea S300) η οποία παρείχε ατμοσφαιρικό αέρα διατηρώντας τα επίπεδα κορεσμού του διαλυμένου οξυγόνου στο 75% - 80%. Η καλύτερη διάχυση του αέρα στα ενυδρεία εκτροφής των ψαριών και υδροπονικής καλλιέργειας των φυτών επιτεύχθηκε διαμέσου μιας αερόπετρας πορόλιθου διαστάσεων $12 \times 25 \text{ mm}$. Η ροή του αέρα ρυθμίστηκε και ήταν παρόμοια σε όλα τα συστήματα ενυδρειοπονίας και υπολογίστηκε ίση με $16,5 \pm 8,81 \text{ cm}^3/\text{sec}$. Η θερμοκρασία του νερού κατά την διάρκεια του πειράματος σε όλα τα συστήματα ενυδρειοπονίας διατηρήθηκε σταθερή στους $20 \pm 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Η έναρξη λειτουργίας και η περίοδος ρύθμισης των συστημάτων ενυδρειοπονίας στηρίχθηκε στην μεθοδολογία που περιγράφεται στους Vlahos et al (2004), Vlahos et al (2013) και Vlahos et al (2016), και επιτεύχθηκε με προσθήκη 2 g NH_4Cl προκειμένου να χρησιμοποιηθεί ως πηγή αμμωνίας ώστε διαμέσου των νιτροποιητικών βακτηρίων (*nitrosomonas sp* και *nitrobacter sp*) να οξειδωθεί σε νιτρικά ιόντα που θα αξιοποιηθούν από τα φυτά για την κάλυψη των ημερήσιων αναγκών τους. Επίσης για την εξάτμιση κάθε ίχνος χλωρίου από το νερό, τα συστήματα ενυδρειοπονίας λειτούργησαν συνεχόμενα για 24 h ενώ για την ταχύτερη ρύθμιση των συστημάτων προστέθηκαν στο βιολογικό φίλτρο 10-20 κόκκοι λάβας από ήδη ρυθμισμένα συστήματα ενυδρειοπονίας με υφάλμυρο νερό. Το pH, η ολική αμμωνία (TAN), τα νιτρώδη (NO_2^-) και νιτρικά ιόντα (NO_3^-), τα φωσφορικά ιόντα (PO_4^-) και το ασβέστιο (Ca) μετρούνταν δύο φορές ημερησίως χρωματομετρικά (Liddicoat et al. 1975) και φασματοφωτομετρικά (HACH 3900, spectofotometer).

Τέλος, η διαχείριση των συστημάτων ενυδρειοπονίας περιλάμβανε μια σειρά ενεργειών που ελάμβαναν χώρα σε ημερήσια ή εβδομαδιαία ή μηνιαία βάση (Brenngballe 2015) και παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Διαχείριση συστημάτων ενυδρειοπονίας με υφάλμυρο νερό.

α/α	Ημερήσια διαχείριση: δράσεις	
1	Έλεγχος (απομάκρυνση) για νεκρά ψάρια ή ξηρά φυτά	√
2	Έλεγχος συμπεριφοράς ψαριών	√
3	Έλεγχος στάθμης νερού στα συστήματα (αντλία) (προσθήκη νερού όταν ήταν αναγκαία)	√
4	Απομάκρυνση υπολειμμάτων τροφής και περιττωμάτων	√
5	Έλεγχος αλατότητας και θερμοκρασίας	√
6	Μετρήσεις ποιότητας νερού	√
7	Τάισμα ψαριών	√
8	Έλεγχος λειτουργίας αεραντλιών και αντλιών παροχής νερού	√

Εβδομαδιαία διαχείριση: δράσεις		
1	Καθαρισμός μηχανικών φίλτρων (υαλομβάμβακας)	√
2	Έλεγχος ροής αέρα	√
3	Καθαρισμός αερόπετρων	√
4	Αλλαγή νερού	√
Μηνιαία διαχείριση: δράσεις		
1	Καθαρισμός βιολογικών φίλτρων (σιφωνισμός)	√
2	Καθαρισμός δεξαμενών υδροπονικής καλλιέργειας από φύκια	√

2.3 Σιτηρέσιο και χορήγηση τροφής

Η διάρκεια του πειράματος εκτροφής ήταν 75 ημέρες. Η τροφή που χορηγήθηκε καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος ήταν εμπορικά σύμπηκτα με μέσο διαμέτρημα κόκκων 1,5 mm, (εταιρεία ιχθυοτροφών BIOMAR ABEE) και επιλέχθηκε λόγω της υψηλής συνεκτικότητας και της χαμηλής διαλυτοποίησης που παρουσιάζει διευκολύνοντας με τον τρόπο αυτό την ημερήσια συλλογή των υπολειμμάτων της τροφής από τις δεξαμενές εκτροφής των ψαριών. Η τροφή χορηγούνταν τρεις φορές ημερησίως με το χέρι σε σταθερές ώρες κατά τη διάρκεια της ημέρας (10:00 πμ, 13:00 μμ και 16:00 μμ), ενώ το επίπεδο διατροφής προσδιορίστηκε στο 5% και διατηρήθηκε σταθερό καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος (Deering et al. 1997, Eroldoğan et. al. 2004). Η χορήγηση του σιτηρεσίου γίνονταν σε ημερήσια βάση για όλες τις ημέρες της εβδομάδας με εξαίρεση την Κυριακή όπου τα λαβράκια διατηρούνταν σε ασιτία. Η τροφή ζυγίζονταν σε ημερήσια βάση με ζυγό ακριβείας στο τέταρτο δεκαδικό ψηφίο (CAS. MWP-300H) και τοποθετούνταν σε ειδικά πλαστικά φιαλίδια στους 4°C. Κάθε δεκαπέντε ημέρες επαναπροσδιορίζονταν το βάρος των ιχθυδίων του λαβρακιού προκειμένου να προσδιοριστεί εκ νέου η μέση χορηγούμενη ποσότητα τροφής. Η

ποσοστιαία σύσταση των εμπορικών συμπληκτων που χρησιμοποιήθηκαν στην πειραματική διαδικασία παρουσιάζετε στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2: Σύσταση τροφής που χρησιμοποιήθηκε στην πειραματική διαδικασία

Ολικές πρωτεΐνες	55%
Ολικά λίπη	15%
Τέφρα	11,3%
Fibers/Κυτταρίνη	1%
Ολικός φώσφορος (P)	1,6%
Ασβέστιο (Ca)	1,7%
Νάτριο (Na)	0,2%
Υδατάνθρακες ¹	18,7%
Ενέργεια ²	22,7, %

*Οι υδατάνθρακες και η ενέργεια υπολογίστηκαν σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους:

$$^1 \text{Υδατάνθρακες (\%)} = 100 - (\text{Ολική Πρωτεΐνη} + \text{ολικά λιπίδια} + \text{Τέφρα})$$

$$^2 \text{ Ενέργεια (\%)} = 5,64 * \text{P(\%)} + 9,44 * \text{L(\%)} + 4,11 * \text{C(\%)}$$

Η ημερήσια ποσότητα τροφής υπολογίστηκε σύμφωνα με τον τύπο που περιγράφεται από τον Deering et al. (1997): Ημερήσια ποσότητα τροφής:

$$(F/d) = N_{\text{fish}} W * E\Delta \text{ (gr)}$$

Όπου:

N_{fish} = Αριθμός ατόμων λαβρακιού για κάθε σύστημα ενυδρείοπονίας

W= μέσο βάρος ατόμων ψαριών (gr)

EΔ= επίπεδο διατροφής (%)

Ο Πίνακας 3 παρουσιάζει την ημερήσια ποσότητα τροφής που χορηγούνταν στα συστήματα ενυδρείοπονίας καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας (75 ημέρες).

Πίνακας 3: Ποσότητα τροφής/ημέρα που χορηγήθηκε καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας (75 ημέρες) (ST: salinity treatment).

Ημέρες εκτροφής	ST1 (g/d)	ST2 (g/d)	ST3 (g/d)	ST4 (g/d)	ST5 (g/d)	ST6 (g/d)	ST7 (g/d)	ST8 (g/d)	ST9 (g/d)
0-15	6,2	6,2	6,0	6,0	6,3	6,1	6,0	6,2	6,2
15-30	8,4	8,5	8,5	8,0	8,4	8,5	8,3	8,1	8,1
30-45	11,0	11,3	11,5	10,6	10,9	11,6	10,9	10,6	9,8
45-60	13,9	15,0	15,3	14,2	13,8	15,8	14,6	13,7	12,2
60-75	18,0	19,7	20,0	18,0	17,6	20,3	18,6	18,2	16,0

2.3.1 Υπολογισμός κατανάλωσης τροφής

Η ποσότητα τροφής που καταναλώθηκε από κάθε λαβράκι υπολογίστηκε διαμέσου προσδιορισμού της ποσότητας τροφής που χορηγούνταν σε ημερήσια βάση καθώς και των υπολειμμάτων της τροφής που δεν καταναλώθηκε 24 h από το τελευταίο τάισμα για διάστημα 30 ημερών. Η συλλογή των υπολειμμάτων τροφής γινόταν με σιφονισμό πριν το πρώτο γεύμα και τοποθετούνταν σε ειδικούς κωδικοποιημένους πλαστικούς δειγματοληπτικούς συλλεκτήρες.

Η διαδικασία μέσω της οποίας γίνονταν η απομάκρυνση των υπολειμμάτων και περιττωμάτων περιλάμβανε πολύ καλό ξέπλυμα των δειγμάτων με γλυκό νερό για την απομάκρυνση υπολειμμάτων αλατιού. Ο διαχωρισμός των περιττωμάτων από την τροφή γίνονταν μακροσκοπικά (σχήμα, χρωματισμός) με πιπέτα τύπου Pasteur όπου το δείγμα διηθούνταν σε πλαγκτονικό δίχτυ με άνοιγμα ματιού 0,5-0,2 mm.

Η κατανάλωση τροφής υπολογίστηκε από τον παρακάτω τύπο σύμφωνα με τον οποίο, από την ξηρή ουσία της ακατανάλωτης τροφής αφαιρούνταν η ξηρή ουσία της ημερήσιας χορηγούμενης τροφής.

$$KT(g) \text{ λαβρακιού} = [EO_{\text{χορηγ. τροφής}} - (EO_{\text{χορηγ. τροφής}} \times \Sigma\Delta/100)] - EO_{\text{εναπομ. τροφής}}$$

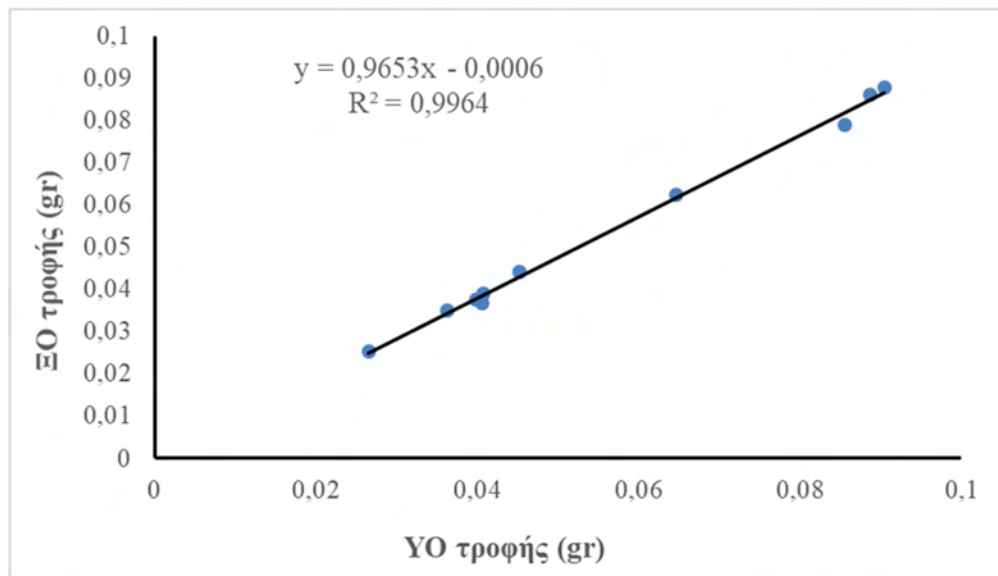
Όπου,

ΣΔ, αφορά τον συντελεστή διόρθωσης, ο οποίος εκτιμά την ποσότητα της τροφής, η οποία χορηγήθηκε κατά τη διάρκεια δύο διαδοχικών ταϊσμάτων. Η τροφή διαλύθηκε στο νερό κατά την παραμονή της και υπολογίστηκε από προζυγισμένη ποσότητα 10 συμπήκτων τα οποία αφέθηκαν στο νερό για 24 h και επαναζυγίστηκε. Η ποσοστιαία (%) διαφοροποίηση αποτέλεσε τον συντελεστή διόρθωσης (ΣΔ) και υπολογίστηκε από τον τύπο:

$$\Sigma\Delta = [100 \times (\text{ΞΟ}_{\text{χορηγούμενης τροφής}} - \text{ΞΟ}_{\text{τροφής μετά από 24 ώρες}})] / \text{ΞΟ}_{\text{χορηγούμενης τροφής}}$$

Η σχέση μεταξύ ξηρής ουσίας (ΞΟ) και υγρής ουσίας (ΥΟ) συμπήκτου καθορίστηκε μέσω γραμμικών συσχετίσεων σύμφωνα με το Σχήμα 1 και δίνεται από τον γραμμική σχέση:

$$\text{ΞΟ}_{\text{σύμπηκτου}} (\text{g}) = 0,9653 \times \text{ΥΟ}_{\text{σύμπηκτου}} - 0,0006 \quad (R^2=0,99, n=10).$$

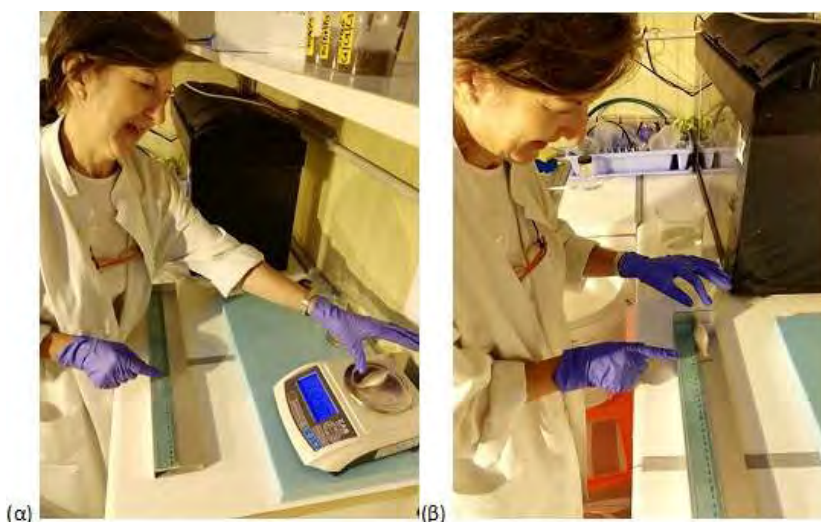


Σχήμα 1. Υπολογισμός της σχέσης ΞΟ και ΥΟ συμπήκτου

2.4 Μετρήσεις μορφομετρικών χαρακτηριστικών ψαριών και φυτών

2.4.1. Μετρήσεις μορφομετρικών χαρακτηριστικών ατόμων λαβρακιού

Οι μετρήσεις του μήκους (L, cm) και του βάρους (W, g) γίνονταν με αναισθητοποίηση σε λουτρό με προσθήκη 0,25 mL/L φαινοεξαιθανόλης. Μετρήθηκε το ολικό μήκος (L, cm) και ολικό βάρος (W, gr) των ατόμων λαβρακιού στην αρχή του πειράματος (d0), την 15^η ημέρα (d15), την 30^η ημέρα (d30), την 45^η ημέρα (d45) και την 75^η ημέρα (d75) και έλαβαν χώρα συνολικά πέντε δειγματοληψίες. Τα ιχθύδια του λαβρακιού πριν από κάθε μέτρηση παρέμειναν σε ασιτία για 24 ώρες και στη συνέχεια αναισθητοποιούνταν σε λουτρό με 2-φαινοεξαιθανόλη σε συγκέντρωση 0,25 mL/L. Για τις μετρήσεις του ολικού βάρους χρησιμοποιήθηκε ζυγός ακριβείας (CAS MWP-300H) με ακρίβεια δεύτερο δεκαδικού ψηφίου (Εικ. 5α) και για το ολικό μήκος χρησιμοποιήθηκε ιχθυόμετρο (Εικ. 5β).



Εικόνα 5. (α) Μέτρηση ολικού βάρους (W) του λαβρακιού (β) μέτρηση ολικού μήκους (L) (Πηγή: προσωπικό αρχείο).

2.4.2 Μετρήσεις μορφομετρικών χαρακτηριστικών ατόμων κρίταμου

Η μέτρηση των μορφομετρικών χαρακτηριστικών των φυτών γίνονταν με χάρακα και περιλάμβανε την καταμέτρηση του ύψους του κρίταμου κάθε 15 ημέρες. Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 5 μετρήσεις φυτών. Εκτός των άλλων η καταμέτρηση περιλάμβανε την καταγραφή του αριθμού των βλαστών, τον αριθμό των αναπτυσσόμενων βλαστών, το μήκος (ύψος) του υπέργειου μέρους του κρίταμου μη συμπεριλαμβανομένου του βλαστικού μέρους του φυτού (φύλο) και ο αριθμός των ξηρών βλαστών (Εικ. 6). Η μέτρηση της βιομάζας του φυτού έγινε με ξήρανση σε φούρνο στους 70°C για 48 h , αφού διαχωριζόταν το υπέργειο μέρος του φυτού από το σύστημα ριζών και στη συνέχεια προσδιορίστηκε το ξηρό βάρος με ζυγό ακριβείας (CAS MWP-300H).



Εικόνα 6. Μέτρηση ύψους φυτού (Πηγή: προσωπικό αρχείο)

2.5 Μετρήσεις φυσικοχημικών παραμέτρων

Δύο φορές την εβδομάδα πραγματοποιούνταν μετρήσεις ολικής αμμωνίας (TAN), νιτρωδών ιόντων (NO_2^-), νιτρικών ιόντων (NO_3^-), φωσφορικών ιόντων (PO_4^-) και ασβέστιου (Ca). Οι μετρήσεις των φυσικοχημικών παραμέτρων πραγματοποιούνταν πριν από το πρώτο γέυμα στην είσοδο της υδροπονικής δεξαμενής, έξοδος του νερού από την υδροπονική δεξαμενή στα ψάρια φασματοφωτομετρικά (HACH 3900 spectofotometer) και χρωματομετρικά (test kits ,API). Αναλυτικά η TAN μετρούνταν στην είσοδο (inlet) του νερού στο φίλτρο και στην έξοδο (outlet) του νερού από το φίλτρο (από το σημείο που το νερό χυνόταν στα φυτά). Τα NO_3^- και PO_4^- μετρούνταν αντίστοιχα στην είσοδο του νερού προς την υδροπονική δεξαμενή καλλιέργειας (Grow bed) και στην έξοδο του νερού στη δεξαμενή των ψαριών.

Το Ca, τα NO_2^- , μετριούνταν επίσης μια φορά την εβδομάδα από την δεξαμενή εκτροφής των ψαριών. Το διαλυμένο οξυγόνο, τα επίπεδα κορεσμού σε οξυγόνο, το pH και η θερμοκρασία πραγματοποιούνταν δύο φορές την εβδομάδα τόσο στις δεξαμενές υδροπονικής καλλιέργειας του κρίταμου όσο και στις δεξαμενές εκτροφής των λαβρακιών με φορητό ηλεκτρονικό όργανο μέτρησης (HACH HQ 40 D). Τέλος, σε ημερήσια βάση γίνονταν ο έλεγχος της αλατότητας του νερού με το διαθλασίμετρο (Aqua Medic refractometer).

2.5.1 Χρωματομετρικός προσδιορισμός TAN

Ο χρωματομετρικός προσδιορισμός της TAN (mg/L), γίνονταν σύμφωνα με τη μέθοδο που περιγράφεται από τους Liddicoat et al. (1975) και στηρίζεται στη χρήση

αντιδραστηρίων φαινόλης αλκοόλης σε οξειδωτικό διάλυμα και σιδηρούχο καταλύτη (Εικ.7α).



Εικόνα 7(α). Χρωματικός προσδιορισμός TAN (Πηγή: προσωπικό αρχείο)

Αναλυτικά η μέθοδος συνίσταται στην εξής διαδικασία:

Βήμα 1: Σε υάλινη κυψελίδα προστίθενται 5mL δείγματος νερού.

Βήμα 2: Προσθήκη 8 σταγόνες από το αντιδραστήριο Ammonia #1, ανακίνηση για 5 sec.

Βήμα 3: Προσθήκη 8 σταγόνες του αντιδραστηρίου Ammonia # 2 και ανακίνηση για 5 sec.

Βήμα 4: Μετά την πάροδο 5 min, εκτελούμε την μέτρηση συγκρίνοντας το χρώμα της μέτρησης με την κλίμακα της αμμωνίας.

2.5.2 Χρωματομετρικός προσδιορισμός NO_2^-

Ομοίως για τον χρωματομετρικό προσδιορισμό των NO_2^- (mg/L) εφαρμόστηκε η μέθοδος που περιγράφεται από τους Liddicoat et al. (1975) η οποία στηρίζονταν στη

χρήση αντιδραστηρίων φαινόλης αλκοόλης σε οξειδωτικό διάλυμα και σιδηρούχο καταλύτη (Εικ. 7β).



Εικόνα 7 (β). Χρωματικός προσδιορισμός NO_2^- (Πηγή: προσωπικό αρχείο)

Αναλυτικά η μέθοδος συνίσταται στην ακόλουθη διαδικασία:

Βήμα 1: Σε υάλινη κυψελίδα προστίθενται 5 mL δείγματος νερού.

Βήμα 2: Προσθήκη 5 σταγόνες από το αντιδραστήριο και ανακαίνιση για 5 sec.

Βήμα 3: Μετά την πάροδο 5 min, εκτελούμε την μέτρηση συγκρίνοντας το χρώμα του δείγματος με την κλίμακα νιτρωδών.

2.5.3 Χρωματομετρικός προσδιορισμός NO_3^-

Ομοίως, για τον προσδιορισμό των νιτρικών ιόντων (NO_3^-) (mg/L) εφαρμόστηκε η μέθοδος αντιδραστηρίων φαινόλης αλκοόλης σε οξειδωτικό διάλυμα και σιδηρούχο καταλύτη (Liddicoat et al. 1975) (Εικ. 7γ), με την εξής διαδικασία που περιγράφεται παρακάτω:



Εικόνα 7 (γ). Χρωματικός προσδιορισμός NO_3^- (Πηγή: προσωπικό αρχείο)

Βήμα 1: Σε υάλινη κυψελίδα προστίθενται 5 mL δείγματος νερού.

Βήμα 2: Προσθήκη 10 σταγόνες από το αντιδραστήριο Nitrate #1 και ανακαίνιση για 5 sec.

Βήμα 3: Προσθήκη 10 σταγόνες από το αντιδραστήριο Nitrate #2 και ανακαίνιση για 5 sec.

Βήμα 4: Μετά την πάροδο 5 min, εκτελούμε την μέτρηση συγκρίνοντας το χρώμα του δείγματος με την κλίμακα νιτρικών.

2.5.4 Χρωματομετρικός προσδιορισμός PO_4^-

Ο χρωματομετρικός προσδιορισμός των PO_4^- (mg/L), έγινε σύμφωνα με τη μέθοδο που περιγράφεται από τους (Liddicoat et al. 1975) (Εικ. 7δ). Η μέθοδος συνίσταται αναλυτικά στην ακόλουθη διαδικασία:



Εικόνα 7 (δ). Χρωματικός προσδιορισμός PO_4^- (Πηγή: προσωπικό αρχείο)

Βήμα 1: Προσθήκη 10 mL δείγματος νερού με σύριγγα.

Βήμα 2: Προσθήκη 4 σταγόνες από το αντιδραστήριο PO_4-1 και ανάδευση για 10 sec.

Βήμα 3: Προσθήκη 1 κουταλιάς από το αντιδραστήριο PO_4-2 και ανάδευση για 30 sec.

Βήμα 4: Εκτελούμε την μέτρηση συγκρίνοντας το χρώμα του δείγματος με την κλίμακα των φωσφορικών.

Στην περίπτωση που τα αποτελέσματα εκφραστούν σε $\text{PO}_4\text{-P}$ αυτό γίνεται σύμφωνα με τον Πίνακα 4.

Πίνακας 4: Χρωματομετρικός προσδιορισμός PO_4^- , για ενυδρεία θαλασσινού νερού (εκτροφής ψαριών ή κοραλλιών) (πηγή: www.marine-aquatics.eu, όπως τροποποιήθηκε από Βλάχο 2017)

Φωσφορικά (ppm)	Φώσφορος (ppm)
0,03 (ΚΑΛΗ)	0,01
0,10 (ΚΡΙΣΙΜΗ)	0,03
0,25 (ΕΝΥΔΡΕΙΑ ΚΟΡΑΛΛΙΩΝ)	0,08
0,50	0,17
1,00	0,33
3,00	1,00

2.5.5 Χρωματομετρικός προσδιορισμός Ca

Ομοίως για το χρωματομετρικό προσδιορισμό του Ca ακολουθήθηκε η μέθοδος που περιγράφεται από τον Kohn (1969) (Εικ. 7ε). Πιο συγκεκριμένα:



Εικόνα 7(ε). Χρωματικός προσδιορισμός PO_4 (Πηγή: προσωπικό αρχείο)

Βήμα 1: Προσθήκη 2 mL νερό δείγματος με σύριγγα.

Βήμα 2: Προσθήκη ένα κουταλάκι του γλυκού από το αντιδραστήριο Ca-1.

Βήμα 3: Προσθήκη 8 σταγόνες από το αντιδραστήριο Ca-2.

Βήμα 4: Προσθήκη 1 mL από το αντιδραστήριο Ca-3 και τιτλοδοτούμε .

Βήμα 5: Προσθήκη σταγόνα-σταγόνα 1 mL με την σύριγγα το αντιδραστήριο Ca-3 στο δείγμα, αναδεύοντας μετά από κάθε σταγόνα για 1 sec ή για 2 sec μέχρι να αλλάξει το χρώμα από ροζ – κόκκινο σε ένα καθαρό μπλε χρώμα.

Βήμα 6: Η σύριγγα τοποθετείται σε όρθια θέση καταγράφοντας την τιμή από τη διαβάθμισή της αντιστοιχώντας την τιμή με την συγκέντρωση του ασβεστίου σύμφωνα με τον Πίνακα 5.

Πίνακας 5: Χρωματομετρικός προσδιορισμός Ca (πηγή: www.marine-aquatics.eu, όπως τροποποιήθηκε από τον Βλάχο, 2017)

Διαβάθμιση σε mL	Συγκέντρωση Ca (mg/L=ppm)	Διαβάθμιση σε mL	Συγκέντρωση Ca (mg/L=ppm)
0,00	500	0,52	240
0,02	490	0,54	230
0,04	480	0,56	220
0,06	470	0,58	210
0,08	460	0,60	200
0,10	450	0,62	190
0,12	440	0,64	180
0,14	430	0,66	170
0,16	420	0,68	160
0,18	410	0,70	150
0,20	400	0,72	140
0,22	390	0,74	130
0,24	380	0,76	120
0,26	370	0,78	110
0,28	360	0,80	100
0,30	350	0,82	90
0,32	340	0,84	80
0,34	330	0,86	70
0,36	320	0,88	60
0,38	310	0,90	50
0,40	300	0,92	40
0,42	290	0,94	30
0,44	280	0,96	20
0,46	270	0,98	10
0,48	260	1,00	0
0,50	250		

2.6 Υπολογισμός λειτουργικών παραμέτρων του φίλτρου

Ένας σημαντικός παράγοντας που καθορίζει την απόδοση του φίλτρου, την βιωσιμότητα των ψαριών και την φέρουσα ικανότητα του βιολογικού φίλτρου είναι η TAN, η οποία εκφράζεται ως το άθροισμα της ιονισμένης αμμωνίας και της μη ιονισμένης αμμωνίας. $[TAN=(NH_3-N)+(NH_4^+-N)]$. Η μη ιονισμένη αμμωνία (NH_3-N) εξαιτίας της τοξικότητας που παρουσιάζει, επιδρά στην ανάπτυξη και επιβίωση των ψαριών σε αντίθεση με την ιονισμένη αμμωνία (NH_4^+-N) η οποία δεν είναι τοξική και δεν επηρεάζει την επιβίωση των ψαριών (Huguenin & Colt 2002).

Η ολική αμμωνία (TAN), η ιονισμένη και μη ιονισμένη αμμωνία περιγράφονται από τις παρακάτω μαθηματικές σχέσεις (Huguenin & Colt 2002):

Ολική αμμωνία (TAN):

$TAN = \text{ιονισμένη αμμωνία} + \text{μη ιονισμένη αμμωνία}$

$\text{Ιονισμένη αμμωνία} = \alpha * TAN$

$\text{Μη ιονισμένη αμμωνία} = TAN - \text{Ιονισμένη αμμωνία}$

Όπου:

$TAN = \text{ολική αμμωνία του νερού (mg/L)}$

$\alpha = \text{γραμμομοριακό κλάσμα διάσπασης της αμμωνίας στο νερό. Υπολογίζεται, από τον Πίνακα 6, σύμφωνα με την θερμοκρασία του νερού και το pH (Πιν. 6).}$

Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής νερού (t), ο ρυθμός ανακύκλωσης νερού (r) και το υδραυλικό φορτίο (HLR), υπολογίζονται από τις παρακάτω σχέσεις (Endut et al. 2010):

Υδραυλικός χρόνος παραμονής (HLR):

$HLR = \text{παροχή νερού (Q)} / \text{ολική επιφάνεια φίλτρου (W)}$

Ρυθμός ανακύκλωσης νερού (r):

Ρυθμός ανακύκλωσης νερού (r) = όγκος ανακύκλωσης / συνολικός όγκος νερού στο ενυδρείο

Υδραυλικός χρόνος παραμονής (t):

Υδραυλικός χρόνος παραμονής νερού (t) = επιφάνεια φίλτρου (W)*βάθος νερού*πορώδες υλικό φίλτρου (s) /παροχή νερού (Q)

Επίσης, υπολογίστηκαν ο ρυθμός ανανέωσης του νερού σε κάθε σύστημα (%) και η εξάτμιση (%) σύμφωνα με τους τύπους που περιγράφονται από τον Βλάχο (2017):

Ανανέωση νερού:

$$\text{Ανανέωση (\%)} = \frac{\text{Ανανέωση/ημέρα (m}^3\text{)} * 100}{V \text{ (m}^3\text{)}}$$

$$\text{ανανέωση/ημέρα} = 0,24\text{m}^3 * \frac{\text{ποσότητα τροφής (kg)}}{1\text{kg τροφής}}$$

Εξάτμιση:

$$\text{Εξάτμιση} = V * \left[1 - \frac{SG_{in} * S_{in}}{SG_f * S_{fin}} \right]$$

Όπου V : όγκος συστήματος (L)

SG_{in} : αρχική ειδική βαρύτητα

SG_{fin} : ειδική βαρύτητα μετά από χρονική στιγμή t

$S\%$: αρχική αλατότητα

$S_{fin}\%$: αλατότητα μετά από χρόνο t

Η παροχή του νερού μετρήθηκε σύμφωνα με τη μέθοδο που περιγράφεται στον Spotte (1992). Πιο συγκεκριμένα, σε ογκομετρικό κύλινδρο των 1000 mL μετρήθηκε ο όγκος του νερού που καταλάμβανε ο κύλινδρος στην μονάδα του χρόνου (10 sec). Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε τρεις φορές και στην συνέχεια υπολογίστηκε ο μέσος όρος της παροχής για κάθε σύστημα ενυδρειοπονίας με τον τύπο που ακολουθεί:

$$Q = (\pi * D^2 / 4) * V$$

Όπου:

$$\alpha=3,14$$

D=διάμετρος της σωλήνας (cm)

V=όγκος του νερού που εκτοπίστηκε (cm³)

Ο όγκος των υλικών πλήρωσης του φίλτρου (V_{media}), καθώς και η ειδική επιφάνεια (SSA) υπολογίστηκαν σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους (Huguenin & Colt 2002):

Όγκος μέσων φίλτρου:

$$\text{Όγκος μέσου φίλτρου (υλικά πλήρωσης)} = \frac{\text{Επιφάνεια μέσων φίλτρου (m}^2\text{)}}{\text{SSA (}\frac{\text{m}^2}{\text{m}^3}\text{)}}$$

Ειδική επιφάνεια:

SSA=Παραγωγή αμμωνίας (g/day)/ρυθμός απομάκρυνσης αμμωνίας (g*d/ m²)

Ο ρυθμός παραγωγής της αμμωνίας (P_{TAN}) και η ποσοστιαία απορρόφηση των θρεπτικών (αμμωνίας, νιτρικών και φωσφορικών ιόντων), (NRE, %) υπολογίστηκαν σύμφωνα με τους τύπου που περιγράφονται αντίστοιχα από τους Dediu et al. (2012) και Boxman et al. (2017):

Ρυθμός παραγωγής αμμωνίας (P_{TAN}):

P_{TAN} (mg/g ψαριού/h) = $(C_e - C_i) * Q/W$, Όπου: C_e , C_i συγκέντρωση αμμωνίας στην απορροή και εκροή (mg/L)

W: μέσο βάρος ψαριού στη δεξαμενή (gr)

Q: Παροχή νερού (L/h)

Ποσοστιαία απορρόφηση θρεπτικών (NRE, %):

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

Όπου C_i και C_e : συγκέντρωση θρεπτικού στην είσοδο και έξοδο της υδροπονικής δεξαμενής ή της εξόδου του νερού από το φίλτρο στην περίπτωση της αμμωνίας

Το διάκενο (e) υπολογίστηκε από τον τύπο (Spotte 1992):

Διάκενο (e):

$$e = \frac{V \text{ πόρων του υλικού}}{\text{Συνολικό όγκο υλικού}} \times 100$$

Η αποδοτικότητα του βιολογικού φίλτρου υπολογίστηκε σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο (Timmons & Losordo 2000):

Αποδοτικότητα φίλτρου (E):

$$E = \frac{1+(C*R)-C}{C*R}, \text{ όπου:}$$

C= παράγοντας επιτρεπόμενης συγκέντρωσης της αμμωνίας,

R= ποσοστό του νερού που ανακυκλώνεται (δεκαδικός)

Πίνακας 6: Γραμμομοριακό κλάσμα διάσπασης της αμμωνίας (Πηγή Huguenin & Colt 2002)

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

2.7 Υπολογισμός δεικτών ανάπτυξης και αξιοποίησης της τροφής

Για τον υπολογισμό της ανάπτυξης και αξιοποίησης της τροφής χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθοι δείκτες σύμφωνα με τις παρακάτω μαθηματικές σχέσεις (Παπουτσόγλου 2008, Bahadir Koca et.al 2009, Μεντέ και Νέγκας 2011):

Ημερήσια ποσότητα τροφής:

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

Αύξηση σωματικού βάρους (WG):

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

Ειδικός ρυθμός ανάπτυξης:

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

όπου: W_f = τελικό βάρος (gr) και W_i = αρχικό βάρος (gr)

Συντελεστής Ευρωστίας (C.F.):

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

Επιβίωση (%):

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

Συντελεστής μετατρεψιμότητας τροφής (FCR):

$$(FCR) = \text{κατανάλωση τροφής } (g) / \text{αύξηση βάρους } (g)$$

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

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

Συντελεστής απόδοσης πρωτεΐνης (PER):

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

2.8 Δείκτες ανάπτυξης κρίταμου

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

Αύξηση ύψους φυτού (cm/d):

Αύξηση ύψους φυτού (cm/d) = τελικό ύψος φυτού/ημέρες καλλιέργειας

WH (cm) = Τελικό ύψος φυτού - Αρχικό ύψος φυτού

Διαφορά ύψους (dH):

Διαφορά ύψους (dH) = Τελικό ύψος - Αρχικό ύψος

Ποσοστιαία αύξηση φυτού (G):

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

$G\% = \text{Τελικό ύψος} - \text{Αρχικό ύψος} * 100 / 60$

2.9 Στατιστική επεξεργασία

Τα δεδομένα που προέκυψαν από την πειραματική διαδικασία (ποιότητα νερού, ανάπτυξη λαβρακιού και κρίταμου) και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του φίλτρου επεξεργάστηκαν στατιστικά χρησιμοποιώντας την ανάλυση διακύμανσης μονής 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 παραλλακτικότητα των μέσων όρων ελέγχθηκε σύμφωνα με Levene's test. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ως μέσος όρος και τυπικό σφάλμα ($MO \pm SEM$).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Ποιότητα νερού στα συστήματα εκτροφής λαβρακίου

Τα αποτελέσματα της ποιότητας του νερού στα πειραματικά συστήματα ενυδρειοπονίας παρουσιάζονται στον Πίνακα 4 και για τις τρεις μεταχειρίσεις (8 ppt, 14 ppt & 20 ppt). Ο Πίνακας 4 παρουσιάζει τις συγκεντρώσεις των ανόργανων θρεπτικών συστατικών και κυρίως της ολικής αμμωνίας (TAN) στη θέση εισόδου του νερού στο φίλτρο και εξόδου του νερού από το φίλτρο, των νιτρικών ιόντων (NO_3^-), των νιτρωδών ιόντων (NO_2^-), των φωσφορικών ιόντων (PO_4^-), του ασβεστίου (Ca), του pH και του οξυγόνου (O_2) για όλες τις ημέρες που διήρκεσε η εκτροφή. Η δειγματοληψία νερού πραγματοποιούνταν στις θέσεις εισόδου και εξόδου του νερού από την υδροπονική δεξαμενή καλλιέργειας, με εξαίρεση την TAN όπου μετριούνταν στην είσοδο του νερού στο φίλτρο και κατά την έξοδό του από το φίλτρο.

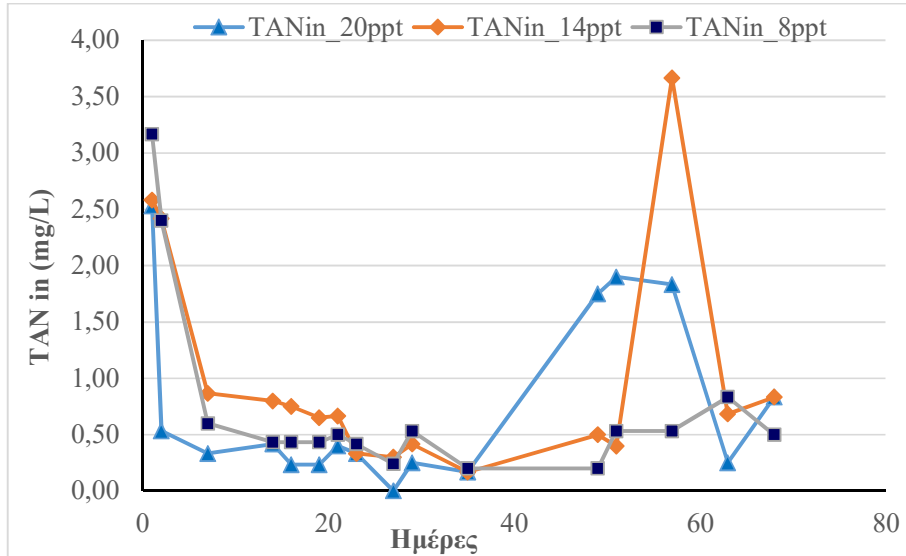
Οι παράμετροι TAN_{in} , TAN_{out} , τα NO_2^- , τα $\text{NO}_3^-_{out}$, το pH_{FT} , pH_{GB} , το O_2 , τα $\text{PO}_4^-_{out}$, το Ca, και το διαλυμένο οξυγόνο, δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA, $p > 0.05$) (Πιν. 4). Τα $\text{NO}_3^-_{in}$ και $\text{PO}_4^-_{in}$ παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών αλατοτήτων (ANOVA, $p < 0.05$) (Πιν. 4).

Πίνακας 4. Ποιοτικά νερού στα συστήματα ενυδρείων εκτροφής λαβρακιού και κρίταμου στις αλατότητες 8 ppt, 14 ppt και 20 ppt κατά την είσοδο και έξοδο του νερού στις υδροπονικές δεξαμενές καλλιέργειας, στην είσοδο και έξοδο του νερού από τα ενυδρειακά συστήματα εκτροφής ψαριών.

	8 ppt	14 ppt	20 ppt
TAN _{in} (mg/L)	0,02 ± 1,00 ^a	0,08 ± 0,75 ^a	0,04 ± 0,75 ^a
TAN _{out} (mg/L)	0,24 ± 0,05 ^a	0,30 ± 0,04 ^a	0,27 ± 0,06 ^a
NO ₂ ⁻ (mg/L)	0,76 ± 0,19 ^a	0,65 ± 0,13 ^a	0,55 ± 0,11 ^a
NO ₃ ⁻ _{in} (mg/L)	117,06 ± 6,82 ^a	119,81 ± 7,36 ^a	93,94 ± 7,48 ^b
NO ₃ ⁻ _{out} (mg/L)	69,19 ± 6,81 ^a	69,50 ± 7,35 ^a	70,81 ± 7,47 ^a
PO ₄ ⁻ _{in} (mg/L)	2,78 ± 0,50 ^a	4,93 ± 0,67 ^b	2,94 ± 0,64 ^a
PO ₄ ⁻ _{out} (mg/L)	1,25 ± 0,22 ^a	1,90 ± 0,36 ^a	1,57 ± 0,31 ^a
Ca (mg/L)	251,67 ± 15,77 ^a	283,56 ± 16,13 ^a	269,63 ± 14,9 ^a
O ₂ (mg/L)	6,65 ± 0,10 ^a	6,87 ± 0,10 ^a	6,81 ± 0,08 ^a
pH _{FT} (mg/L)	7,08 ± 0,16 ^a	6,88 ± 0,11 ^a	6,94 ± 0,15 ^a
pH _{GB} (mg/L)	7,2 ± 0,12 ^a	6,98 ± 0,09 ^a	7,06 ± 0,12 ^a

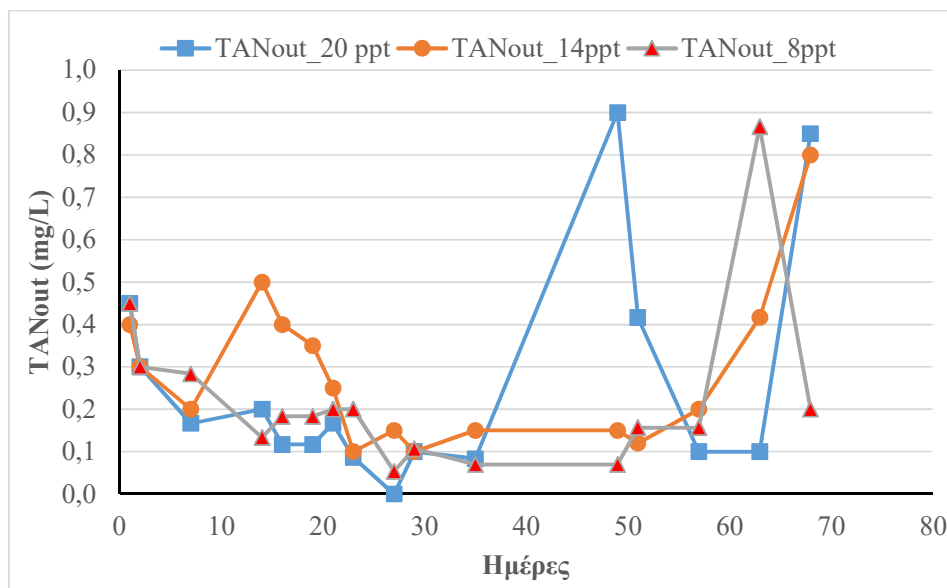
Τα δεδομένα εκφράζονται ως MO ± S.E.M. Οι μέσοι όροι μεταξύ των μεταχειρίσεων που φέρουν τον ίδιο εκθέτη δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA, $p > 0.05$) (n=16)

Στο Σχήμα 1, αποτυπώνεται η διακύμανση της ολικής αμμωνίας στο σημείο εισόδου (TAN_{in}) του νερού στο φίλτρο η οποία παρουσιάζει αυξομειώσεις καθ' όλη την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας με την μέση τιμή να κυμαίνεται 0,02 ± 1,00 mg/L για την αλατότητα 8 ppt, 0,08 ± 0,75 mg/L για την αλατότητα 14 ppt και 0,04 ± 0,75 mg/L για την αλατότητα 20 ppt. Η TAN ελαχιστοποιείται την 27^η ημέρα στην αλατότητα 20 ppt σε τιμές μικρότερες από 0,05 (mg/L) (Σχ. 1).



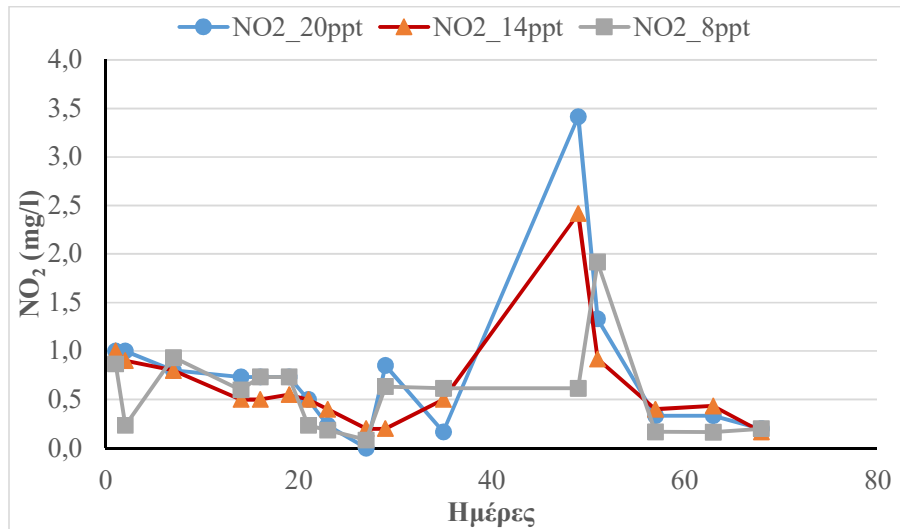
Σχήμα 1. Διάγραμμα μεταβολής της ολικής αμμωνίας (TAN_{in}) στο σημείο εισόδου του νερού στο φίλτρο στα ενυδρειακά συστήματα ανακυκλοφορίας νερού του ενυδραιοπονικού συστήματος με αλατότητα 8 ppt, 14 ppt και 20 ppt, αντίστοιχα.

Παρόμοια τάση ακολουθεί και η ολική αμμωνία (TAN_{out}) στο σημείο εξόδου από το φίλτρο, όταν το νερό ρέει προς την υδροπονική δεξαμενή των φυτών. Πιο συγκεκριμένα η TAN_{out} (Σχ.2) και στις τρεις αλατότητες παρουσιάζει μια τάση ελαχιστοποίησης μετά την 25^η με 27^η ημέρα του πειράματος λαμβάνοντας τιμές μικρότερες από 0,1 mg/L. Οι μέγιστες τιμές της TAN_{out} κυμαίνονταν από 0,8 - 0,9 mg/L και παρατηρήθηκαν την 63^η και 68^η ημέρα της πειραματικής διαδικασίας για αλατότητες 20 ppt και 14 ppt. Αντίθετα η μέγιστη τιμή της TAN_{out} για την αλατότητα 8 ppt παρατηρήθηκε την 1^η ημέρα της πειραματικής διαδικασίας και κυμαίνονταν στο 4 mg/L (Σχ.2).



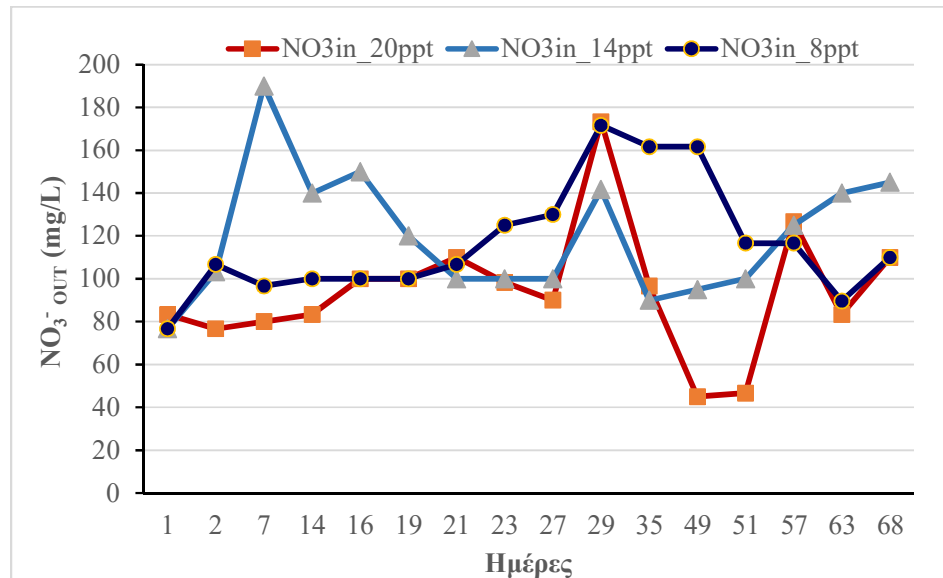
Σχήμα 2. Διάγραμμα μεταβολής της ολικής αμμωνίας (TAN_{out}) στο σημείο εξόδου του νερού από το φίλτρο στα ενυδρειακά συστήματα ανακυκλοφορίας νερού του ενυδρειοπονικού συστήματος με αλατότητα 8 ppt, 14 ppt και 20 ppt, αντίστοιχα.

Τα NO_2^- διακυμάνθηκαν από $0, 24 \pm 0,05$ mg/L για την αλατότητα 8 ppt, $0,30 \pm 0,04$ mg/L για την αλατότητα 14 ppt και $0,27 \pm 0,06$ mg/L για την αλατότητα 20 ppt, χωρίς να παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA, $p > 0.05$). Από την εκκίνηση της πειραματικής διαδικασίας έως και την 49^η ημέρα του πειράματος τα νιτρώδη ιόντα εμφάνισαν μια τάση ομαλών αυξομειώσεων μέχρι να φθάσουν τη μέγιστη συγκέντρωσή τους (49^η -51^η ημέρα) στη συνέχεια και μέχρι τη λήξη του πειράματος ακολούθησαν μια τάση μείωσης λαμβάνοντας τις ελάχιστες συγκεντρώσεις $<0,2$ mg/L (Σχ. 3).



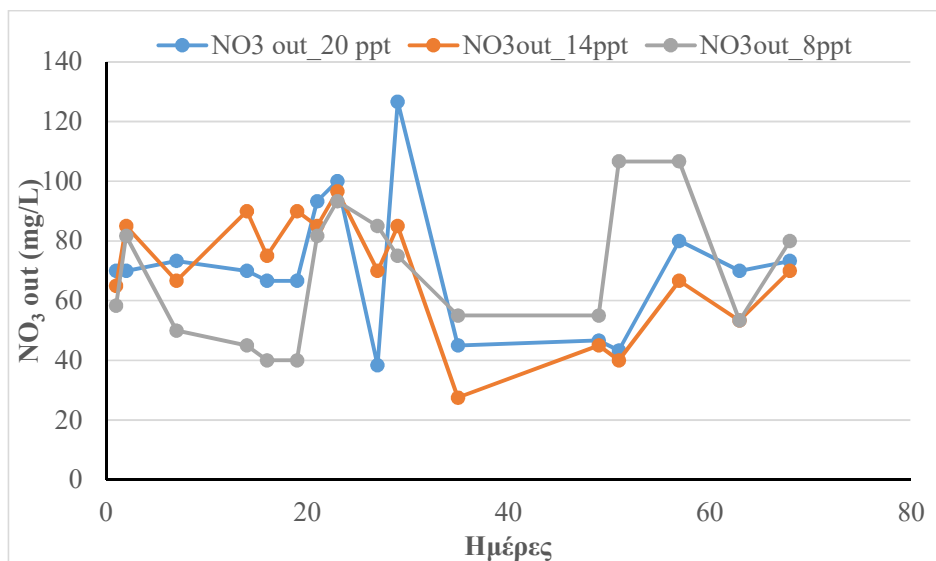
Σχήμα 3. Διάγραμμα μεταβολής των νιτρωδών ιόντων (NO_2^-) στα ενδρειακά συστήματα ανακυκλοφορίας νερού του ενδραιοπονικού συστήματος με αλατότητα 8 ppt, 14 ppt και 20 ppt, αντίστοιχα.

Οι μέσες συγκεντρώσεις των $\text{NO}_3^-_{\text{in}}$ στη θέση εισόδου του νερού στην υδροπονική καλλιέργεια παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA, $p < 0.05$) και διακυμάνθηκε και για τις τρεις μεταχειρίσεις από $117,06 \pm 6,82$ mg/L έως $119,81 \pm 7,36$ mg/L για τις αλατότητες 8 ppt και 14 ppt, αντίστοιχα. Αντίθετα στην αλατότητα 20 ppt η μέση συγκέντρωση των $\text{NO}_3^-_{\text{in}}$ κυμάνθηκε στο $93,94 \pm 7,48$ mg/L (Πιν.4). Παρατηρήθηκαν αυξομειώσεις από τις πρώτες ημέρες του πειράματος σε όλες τις μεταχειρίσεις, ενώ από την 57^η ημέρα μέχρι την ολοκλήρωση της πειραματικής διαδικασίας συνεχίζουν να παρουσιάζουν μια τάση αύξησης (Σχ.4).



Σχήμα 4. Διάγραμμα μεταβολής των νιτρικών ιόντων ($\text{NO}_3^-_{\text{in}}$) στο σημείο εισόδου του νερού στην υδροπονική δεξαμενή καλλιέργειας του κρίταμου του ενυδρειοπονικού συστήματος με αλατότητα 8 ppt, 14 ppt και 20 ppt, αντίστοιχα.

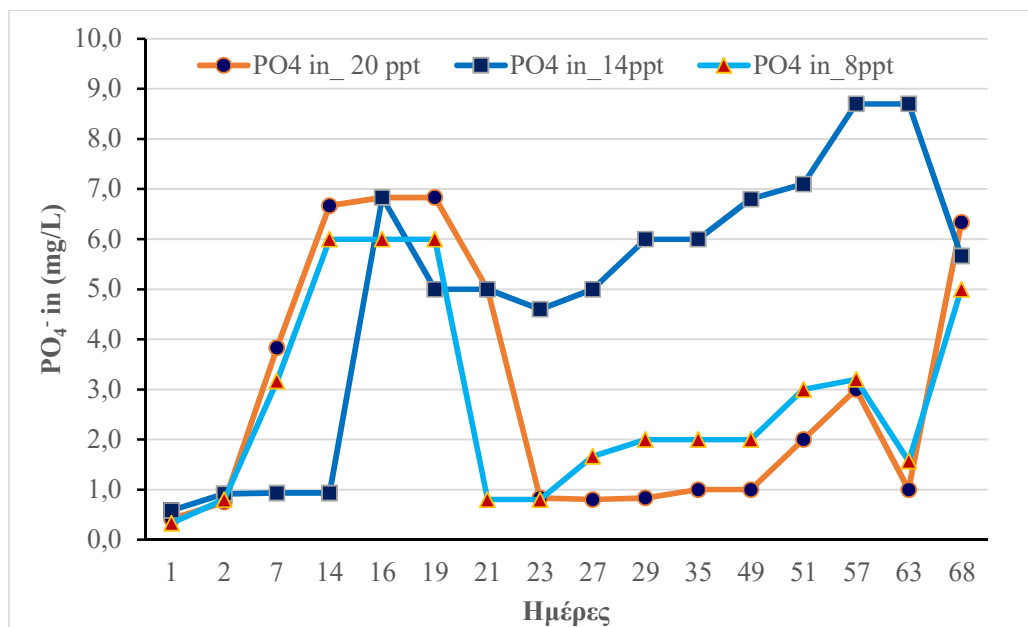
Τα $\text{NO}_3^-_{\text{out}}$ στη θέση εξόδου του νερού από την υδροπονική δεξαμενή (grow bed) παρουσιάζουν παρόμοια τάση μεταβολής καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας χωρίς να παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA, $p > 0.05$), με τις μέσες τιμές τους να κυμαίνονται από $69,19 \pm 6,81$ mg/L έως $70,81 \pm 7,47$ mg/L και για τις τρεις μεταχειρίσεις. Συγκεκριμένα η μέση τιμή για την αλατότητα 8 ppt ήταν $69,19 \pm 6,81$ mg/L, για την αλατότητα 14 ppt ήταν $69,50 \pm 7,35$ mg/L ενώ για την αλατότητα 20 ppt ήταν $70,81 \pm 7,47$ mg/L. Οι μέγιστες τιμές παρατηρήθηκαν μεταξύ της 23^{ης} και 51^{ης} ημέρας (Σχ.5).



Σχήμα 5. Διάγραμμα μεταβολής των νιτρικών ιόντων ($\text{NO}_{3\text{out}}$) στο σημείο εξόδου του νερού από την υδροπονική δεξαμενή καλλιέργειας του ενυδρειοπονικού συστήματος με αλατότητα 8 ppt, 14 ppt και 20 ppt, αντίστοιχα.

Τα φωσφορικά ιόντα ($\text{PO}_4^-_{\text{in}}$) παρουσίασαν στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερη τιμή ($4,93 \pm 0,67$) στο 14 ppt, (ANOVA, $p < 0,05$), σε αντίθεση με την αλατότητα 8 ppt και 20 ppt όπου παρουσίασαν μικρότερες τιμές. Επίσης τα φωσφορικά ιόντα ($\text{PO}_4^-_{\text{in}}$) στην είσοδο παρουσιάζουν μια τάση αυξομειώσης σε όλες τις ημέρες του πειράματος και στις τρεις μεταχειρίσεις με την μέγιστη τιμή να ανέρχεται στο 6,8 mg/L την 16^η ημέρα του πειράματος για την αλατότητα 20 ppt και 14 ppt (Σχ. 6). Επίσης για την αλατότητα των 8 ppt αντίστοιχα η συγκέντρωση του φωσφόρου κυμάνθηκε από 0,3 mg/L έως 6 mg/L (μέγιστη την 16^η και 19^η ημέρα του πειράματος). Στην αλατότητα 8 ppt και 20 ppt τα φωσφορικά λαμβάνουν την μέγιστη τιμή μεταξύ τη 16^η και 19^η ημέρα, ενώ στην αλατότητα 14 ppt λαμβάνει την μέγιστη τιμή την 57^η ημέρα. Η μέση τιμή του φωσφόρου κυμάνθηκε $2,78 \pm 0,50$ mg/L στην αλατότητα 8 ppt, $4,93 \pm 0,67$ mg/L στην αλατότητα 14 ppt και τέλος $2,94 \pm 0,64$ mg/L, στην αλατότητα 20 ppt (Σχ. 6).

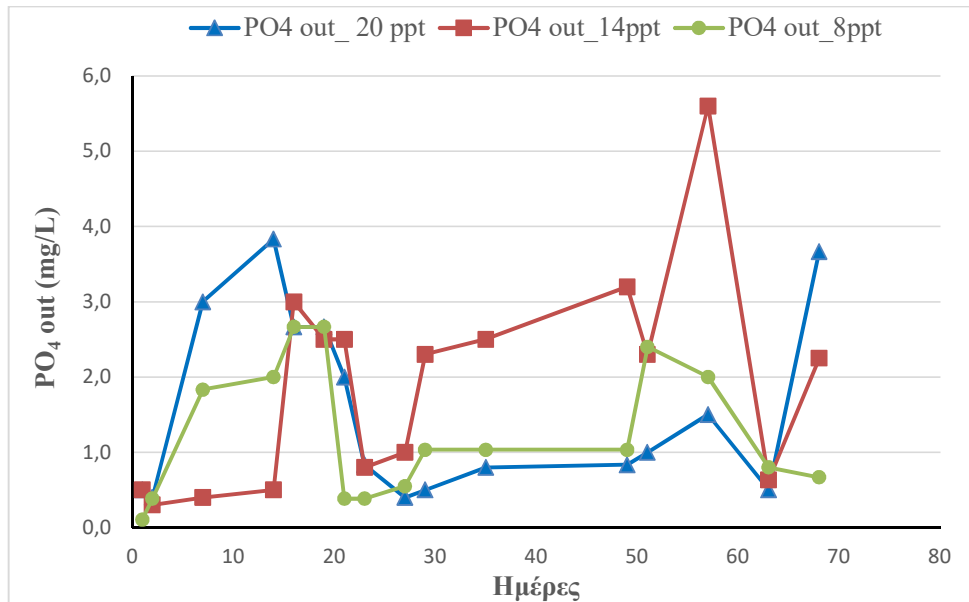
Στο Σχήμα 6 αποτυπώνονται οι μεταβολές του φωσφόρου καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας.



Σχήμα 6. Διάγραμμα μεταβολής του φωσφόρου ($PO_4^-_{in}$) στη θέση εισόδου του νερού στην υδροπονική δεξαμενή καλλιέργειας του κρίταμου του ενυδρειοπονικού συστήματος με αλατότητα 8 ppt, 14 ppt και 20 ppt, αντίστοιχα.

Τα φωσφορικά ιόντα ($PO_4^-_{out}$) στην έξοδο του νερού από την υδροπονική δεξαμενή καλλιέργειας (grow bed) δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (Πιν.4) (ANOVA, $p>0.05$). Σύμφωνα με το Σχήμα 7, τα φωσφορικά παρουσιάζουν μια τάση αυξομείωσης καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος. Τα φωσφορικά ($PO_4^-_{out}$) στην έξοδο του νερού από το growbed παρουσιάζουν μια τάση αυξομείωσης σε όλες τις ημέρες του πειράματος και στις τρεις μεταχειρίσεις (Σχ.7). Η συγκέντρωση του φωσφόρου για την αλατότητα 20 ppt κυμάνθηκε από 0,4 mg/L έως 3,8 mg/L (μέγιστη τιμή την 14^η ημέρα του πειράματος), για την αλατότητα 14 ppt κυμάνθηκε από 0 mg/L έως 5,6 mg/L την 57^η ημέρα του πειράματος, ενώ για την

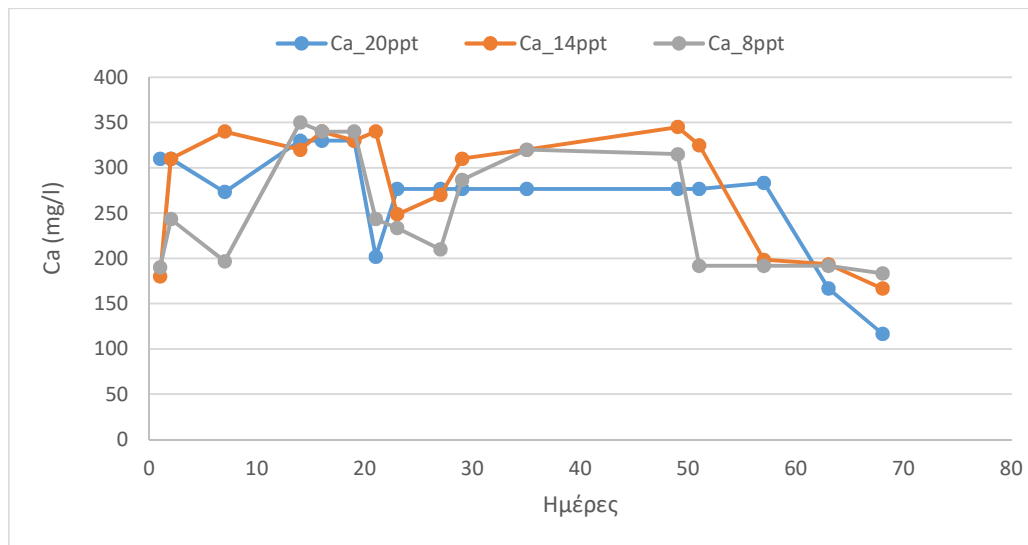
αλατότητα 8 ppt κυμάνθηκε από 0,1 mg/L έως 2,7 mg/L την 16^η και 19^η ημέρα του πειράματος. Η μέση τιμή του φωσφόρου κυμάνθηκε $1,25 \pm 0,22$ mg/L στην αλατότητα 8 ppt, $1,90 \pm 0,36$ mg/L στην αλατότητα 14 ppt και τέλος $1,57 \pm 0,31$ mg/L, στην αλατότητα 20 ppt (Σχ. 6).



Σχήμα 7. Διάγραμμα μεταβολής των φωσφορικών ιόντων (PO_4^- out) στη θέση εξόδου του νερού στην υδροπονική δεξαμενή καλλιέργειας του κρίταμου του ενυδρειοπονικού συστήματος με αλατότητα 8 ppt, 14 ppt και 20 ppt, αντίστοιχα.

Το ασβέστιο (Πιν.4) δεν παρουσιάζει στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA, $p > 0.05$) καθ' όλη την διάρκεια του πειράματος και στις τρεις μεταχειρίσεις της αλατότητας. Η μεταβολή της συγκέντρωσης του ασβεστίου παρουσιάζει αυξομειώσεις καθ' όλη την διάρκεια του πειράματος και ελαχιστοποιείται την τελευταία ημέρα του πειράματος και στις τρεις αλατότητες (Σχ.8). Η μέση τιμή του

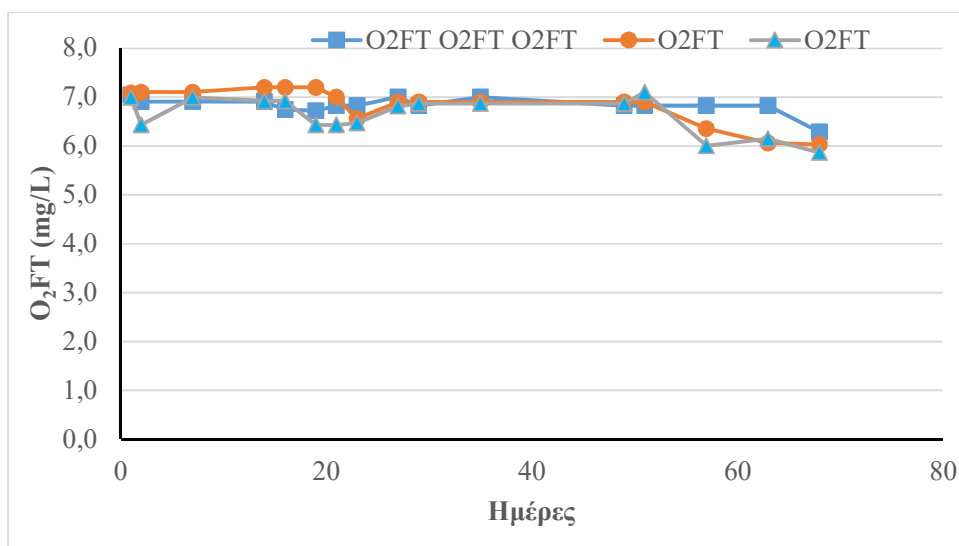
κυμαίνεται $251,67 \pm 15,77$ mg/L για την αλατότητα 8 ppt, $283,56 \pm 16,13$ mg/L για την αλατότητα 14 ppt και $269,63 \pm 14,88$ mg/L για την αλατότητα 20 ppt.



Σχήμα 8. Διάγραμμα μεταβολής του ασβεστίου (Ca) στα ενυδρειακά συστήματα ανακυκλοφορίας νερού του ενυδραιοπονικού συστήματος με αλατότητα 8 ppt, 14 ppt και 20 ppt, αντίστοιχα.

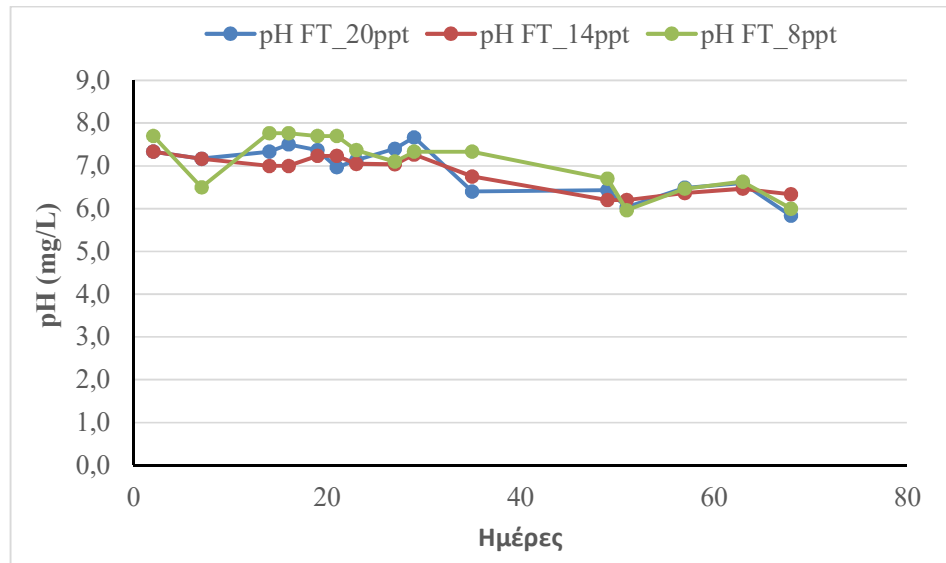
Το διαλυμένο οξυγόνο (O_2) στα συστήματα ενυδραιοπονίας με αλατότητα 8 ppt, 14 ppt και 20 ppt παρουσιάζει μεταβολές καθ' όλη την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας, κάνοντας μία απότομη αύξηση την 57^η-63^η ημέρα στην αλατότητα 20 ppt με τιμή 21 mg/L και μετά αρχίζει και μειώνεται. Στην αλατότητα 14 ppt παρατηρείται μια φθίνουσα πορεία των τιμών από την 1^η έως την τελευταία ημέρα του πειράματος, ενώ στην αλατότητα 8 ppt παρουσιάζονται αυξομειώσεις στις τιμές του οξυγόνου (Σχ.9). Η μέση τιμή του οξυγόνου κυμάνθηκε από $6,65 \pm 0,10$ mg/L για την αλατότητα 8 ppt έως $6,87 \pm 0,10$ mg/L για την αλατότητα 14 ppt και $6,81 \pm 0,08$ mg/L για την αλατότητα 20 ppt (Σχ.9). Το διαλυμένο οξυγόνο δεν παρουσίασε στατιστικά

σημαντικές διαφορές σε όλες τις μεταχειρίσεις καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας. (Πίν. 4) (ANOVA, $p>0.05$).



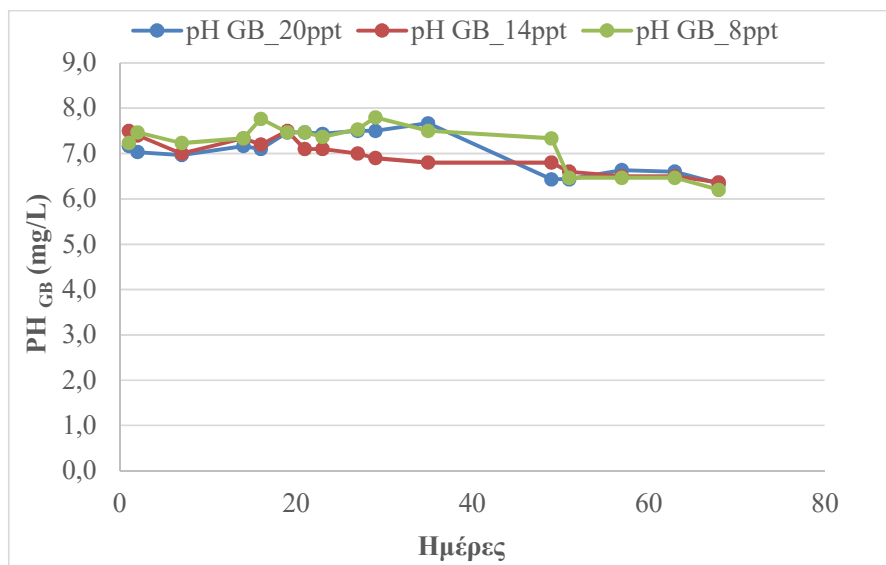
Σχήμα 9. Διάγραμμα μεταβολής του διαλυμένου οξυγόνου (O_2) στα ενυδρειακά συστήματα ανακυκλοφορίας νερού του ενυδραιοπονικού συστήματος με αλατότητα 8 ppt, 14 ppt και 20 ppt, αντίστοιχα.

Συγκρίνοντας το pH_{FT} στα ενυδρειακά συστήματα ανακυκλοφορίας νερού του ενυδραιοπονικού συστήματος με αλατότητα 8 ppt, 14 ppt και 20 ppt αντίστοιχα, διαπιστώθηκε ότι το pH_{FT} και στις τρεις αλατότητες παρουσίασε μια τάση μείωσης κατά την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας λαμβάνοντας την ελάχιστη τιμή 5,8 κατά τη λήξη του πειράματος για την αλατότητα 20 ppt, 6,3 για την αλατότητα 14 ppt και 6,0 για την αλατότητα 8 ppt. Η μέση τιμή του pH ήταν $7,08 \pm 0,16$ στην αλατότητα 8 ppt, $6,88 \pm 0,11$ στην αλατότητα 14 ppt και τέλος $6,94 \pm 0,15$, στην αλατότητα 20 ppt (Σχ.10) χωρίς να παρουσιάζει στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA $p>0.05$) (Πίν.4).



Σχήμα 10. Διάγραμμα μεταβολής του pH_{FT} στα ενυδρειακά συστήματα ανακυκλοφορίας νερού του ενυδρειοπονικού συστήματος με αλατότητα 8 ppt, 14 ppt και 20 ppt, αντίστοιχα.

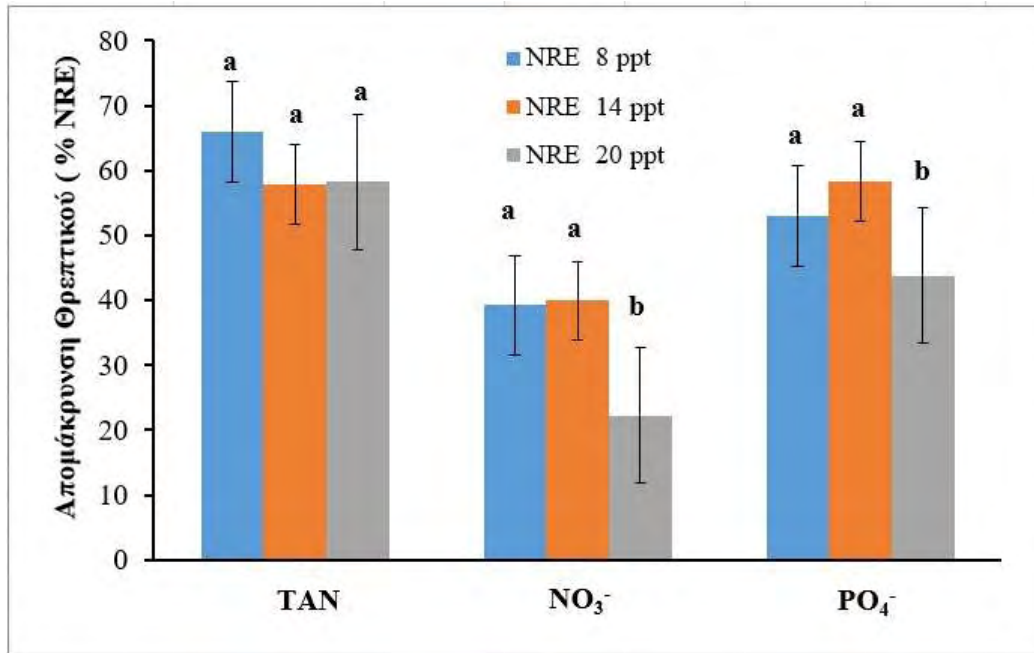
Συγκρίνοντας το pH_{GB} στις υδροπονικές δεξαμενές καλλιέργειας του κρίταμου στα συστήματα ενυδρειοπονίας με αλατότητα 8 ppt, 14 ppt και 20 ppt αντίστοιχα, διαπιστώθηκε ότι δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (Πίν.4) (ANOVA, $p > 0.05$). Το pH_{GB} και στις τρεις αλατότητες παρουσίασε μια τάση μείωσης κατά την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας λαμβάνοντας την ελάχιστη τιμή κατά τη λήξη του πειράματος 6,3 mg/L, 6,4 mg/L, και 6,2 mg/L αντίστοιχα για τις αλατότητες 20ppt, 14ppt και 8ppt. Η μέση τιμή του pH ήταν $7,2 \pm 0,12$ mg/L στην αλατότητα 8 ppt, $6,98 \pm 0,09$ mg/L στην αλατότητα 14 ppt και τέλος $7,06 \pm 0,12$ mg/L, στην αλατότητα 20 ppt (Σχ.11).



Σχήμα 11. Διάγραμμα μεταβολής του pH_{GB} στις υδροπονικές δεξαμενές καλλιέργειας του κρίταμου στα συστήματα ενυδρείοπονίας με αλατότητα 8 ppt, 14 ppt και 20 ppt αντίστοιχα

Υπολογίσθηκε η ποσοστιαία απορρόφηση των θρεπτικών (TAN , NO_3^- , PO_4^-), στην είσοδο και έξοδο της υδροπονικής δεξαμενής καλλιέργειας κρίταμου στο υφάλμυρο σύστημα ενυδρείοπονίας, με εξαίρεση την αμμωνία (TAN) που υπολογίστηκε στην είσοδο και έξοδο του νερού από το φίλτρο.

Η απορρόφηση της TAN ως θρεπτικό μέσο βρέθηκε να είναι ίση με 66,06% για την αλατότητα 8 ppt, 57,84 % για την αλατότητα 14 ppt και 58,23% για την αλατότητα 20 ppt, χωρίς να παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA, $p > 0,05$) (Σχ.12). Η απορρόφηση των νιτρικών ιόντων ήταν στατιστικά μικρότερη (ANOVA, $p < 0,05$) στο 20 ppt (22,28%) σε σχέση με εκείνη στο 8 ppt και 14 ppt που ήταν αντίστοιχα 39,20 % και 39,96%. Τέλος τα φωσφορικά ιόντα παρουσίασαν στατιστικά μεγαλύτερη απορρόφηση (ANOVA, $p < 0,05$) στο 8 ppt (53,08%) και 14 ppt (58,31%) σε σχέση με εκείνη στο 20 ppt (41,00%).



Σχήμα 12. Μέση ποσοστιαία απομάκρυνση των θρεπτικών (%) από κάθε υδροπονική δεξαμενή καλλιέργειας κρίταμου στο 8 ppt, 14 ppt και 20ppt. Οι μπάρες σφάλματος δείχνουν την τυπική απόκλιση. Όμοια γράμματα πάνω από τις μπάρες δεν δείχνουν στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων (ANOVA, $p > 0,05$).

3.2 Επιβίωση ψαριών και φυτών

Η επιβίωση των ψαριών, ήταν 100 % σε όλες τις μεταχειρίσεις (Πιν.5) καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος. Επίσης ο κρίταμος παρουσίασε υψηλό ρυθμό επιβίωσης και στις τρεις μεταχειρίσεις (8 ppt, 14 ppt και 20 ppt) χωρίς να παρατηρηθούν αξιοσημείωτες απώλειες στις ρίζες του φυτού ή στους βλαστούς του.

3.3 Δείκτες ανάπτυξης ψαριών

3.3.1 Βάρος και μήκος σώματος

Το μέσο αρχικό βάρος του λαβρακιού στην έναρξη του πειράματος δεν παρουσίασε σημαντικές στατιστικές διαφορές μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων (ANOVA, $p>0.05$). Το μέσο τελικό βάρος παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA, $p<0.05$) και διακυμάνθηκε από $30,89 \pm 0,84$ g στο σύστημα ενυδρείοπονίας με αλατότητα 8 ppt, $29,62 \pm 0,72$ g και $22,94 \pm 0,55$ g για τη 14 ppt και 20 ppt, αντίστοιχα. Το μέσο αρχικό μήκος του λαβρακιού κατά την έναρξη του πειράματος δεν παρουσίασε σημαντικές στατιστικές διαφορές (ANOVA, $p>0.05$) (Πιν.5).

Πίνακας 5. Αρχικό βάρος (W_{in} , g), τελικό βάρος (W_{fin} , g), αρχικό μήκος (L_{in} , cm), τελικό μήκος (L_{fin} , cm), αύξηση βάρους (WG,g), ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (SGR), αρχικός συντελεστής ευρωστίας (C_{in}), τελικός συντελεστής ευρωστίας (CF_{fin}), λαβρακίων σε υφάλμυρο ενυδρείοπονικό σύστημα με αλατότητες 8 ppt, 14 ppt και 20 ppt αντίστοιχα, για διάρκεια 75 ημερών. Οι τιμές παρουσιάζονται ως $MO \pm SEM$ ($n=108$).

	8 ppt	14 ppt	20 ppt
Αρχικό βάρος (W_{in} , g)	$15,10 \pm 0,40^a$	$14,45 \pm 0,34^a$	$14,03 \pm 0,31^a$
Τελικό βάρος (W_{fin} , g)	$30,89 \pm 0,84^a$	$29,62 \pm 0,72^a$	$22,94 \pm 0,55^b$
Αύξηση βάρους (WG,g)	$22,84 \pm 0,88^a$	$21,45 \pm 0,71^a$	$14,64 \pm 0,55^b$
Ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (SGR, % / day)	$1,90 \pm 0,05^a$	$1,83 \pm 0,04^a$	$1,44 \pm 0,04^b$
Ποσοστιαία αύξηση βάρους (BWI %)	$291,79 \pm 14,51^a$	$268,13 \pm 10,78^a$	$179,96 \pm 8,17^b$
Επιβίωση (%)	$90,19 \pm 5,12^a$	$80,26 \pm 5,79^a$	$71,72 \pm 5,84^a$
Αρχικός συντελεστής ευρωστίας (C_{in})	$1,01 \pm 0,02^a$	$1,04 \pm 0,01^a$	$1,01 \pm 0,01^a$
Τελικός συντελεστής ευρωστίας (CF_{fin})	$1,20 \pm 0,01^a$	$1,20 \pm 0,01^a$	$1,12 \pm 0,02^b$
Αρχικό μήκος (L_{in} , cm)	$10,99 \pm 10,99^a$	$10,66 \pm 0,078^b$	$10,72 \pm 0,078^b$
Τελικό μήκος (L_{fin} , cm)	$13,63 \pm 0,11^a$	$13,46 \pm 0,09^a$	$12,72 \pm 0,18^b$

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

Το μέσο τελικό μήκος παρουσίασε στατιστικές σημαντικές διαφορές (ANOVA, $p<0.05$). Η μεγαλύτερη αριθμητική τιμή εμφανίστηκε στο 8 ppt ($13,63 \pm 0,11$ cm), σε

αντίθεση με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις οι οποίες ήταν $12,72 \pm 0,18$ cm και $13,46 \pm 0,09$ cm για το 20 ppt και 14 ppt, αντίστοιχα (Πιν.5).

3.3.2 Αύξηση του βάρους, συντελεστής ευρωστίας και ειδικός ρυθμός ανάπτυξης

Στο τέλος του πειράματος, τα λαβράκια παρουσίασαν σημαντικά μεγαλύτερη αύξηση βάρους (WG) στην αλατότητα 8 ppt, και 14 ppt σε σχέση με τα λαβράκια στο 20 ppt αντίστοιχα (ANOVA, $p < 0.05$) (Πίν.5). Η μέση αύξηση βάρους στην αλατότητα 8 ppt και 14 ppt ήταν $22,84 \pm 0,88$ g και $21,45 \pm 0,71$ g αντίστοιχα, ενώ στην αλατότητα 20 ppt ήταν $5,73 \pm 0,35$ g.

Ο αρχικός συντελεστής ευρωστίας (C_{fin}) παρουσίασε στατιστικά παρόμοια τιμή (ANOVA, $p > 0.05$) στα υφάλμυρα συστήματα ενυδρείοποιίας με αλατότητες 8 ppt, 14 ppt και 20 ppt και ήταν $1,01 \pm 0,02$, $1,04 \pm 0,01$ και $1,01 \pm 0,01$, αντίστοιχα.

Ο τελικός συντελεστής ευρωστίας (CF_{fin}) παρουσιάζει στατιστικά σημαντική διαφορά (ANOVA, $p < 0.05$). Οι μεγαλύτερες τιμές παρατηρούνται στην αλατότητα 8 ppt ($1,20 \pm 0,01$) και 14 ppt ($1,20 \pm 0,01$), σε σχέση με την αλατότητα των 20 ppt ($1,12 \pm 0,02$) (Πίν.5).

Ο ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (SGR) παρουσιάζει στατιστικά μεγαλύτερη τιμή (ANOVA, $p < 0.05$) στην αλατότητα των 8 ppt ($1,90 \pm 0,05$ %/d), σε σχέση με εκείνο στο 14 ppt και 20 ppt που παρουσίασαν τιμές $1,83 \pm 0,04$ % /d και $1,44 \pm 0,04$ %/d αντίστοιχα για τις αλατότητες 14 και 20 ppt (Πιν.5).

3.4 Δείκτες αξιοποίησης της τροφής

3.4.1 Συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής, συντελεστής ημερήσιας πρόσληψης τροφής και κατανάλωση τροφής

Ο συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR) μεταξύ των λαβρακίων που εκτράφηκαν στο ενυδρειοπονικό σύστημα με αλατότητες 8 ppt, 14 ppt και 20 ppt ήταν στατιστικά μεγαλύτερος σε σχέση με το FCR στο 8 ppt, 14 ppt (ANOVA, $P < 0.05$). Η μέση τιμή του συντελεστή μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR) στο 8 ppt ήταν $0,93 \pm 0,04$, στο 14 ppt ήταν $0,93 \pm 0,05$ και $1,28 \pm 0,07$ στο 20 ppt (Πιν.6). Η κατανάλωση τροφής (FC), δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές σε όλες τις μεταχειρίσεις (ANOVA, $p > 0,05$). Τα λαβράκια κατανάλωσαν $5,96 \pm 0,1$ gr, $5,86 \pm 0,1$ gr και $5,99 \pm 0,09$ gr τροφής στις αλατότητες 8 ppt, 14 ppt και 20 ppt, αντίστοιχα.

Πίνακας 6. Συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR), συντελεστής ημερήσιας πρόσληψης τροφής (DFI) και συντελεστής απόδοσης πρωτεϊνών (PER), ppt για διάστημα 75 ημερών.

	8 ppt	14 ppt	20 ppt
Συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR)	$0,93 \pm 0,04^a$	$0,93 \pm 0,05^a$	$1,28 \pm 0,07^b$
Κατανάλωση τροφής (FC, g)	$5,96 \pm 0,1^a$	$5,86 \pm 0,1^a$	$5,99 \pm 0,09^a$
Ημερήσια πρόσληψη της τροφής (DFI (%/day))	$1,33 \pm 0,07^b$	$1,33 \pm 0,07^b$	$1,83 \pm 0,10^a$
Συντελεστής απόδοσης πρωτεΐνης (PER)	$2,11 \pm 0,07^b$	$2,09 \pm 0,06^b$	$1,54 \pm 0,05^a$

Οι τιμές παρουσιάζονται ως $MO \pm EM$ ($n=108$). Οι μέσοι όροι κάθε παραμέτρου μεταξύ των μεταχειρίσεων που φέρουν τον ίδιο εκθέτη δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p > 0.05$).

Ο συντελεστής ημερήσιας πρόσληψης τροφής (DFI) στο τέλος του πειράματος παρουσίασε στατιστικά μεγαλύτερη τιμή στο 20 ppt σε αντίθεση με το DFI στο 8 ppt και 14 ppt (ANOVA, $p < 0.05$) (Πιν.6). Η μέση τιμή του συντελεστή ημερήσιας

πρόσληψης τροφής (DFI) ήταν $1,33 \pm 0,07$ στο 8 ppt, $1,33 \pm 0,07$ στο 14 ppt ενώ στο 20 ppt ήταν $1,83 \pm 0,10$ στο 20 ppt (Πίν. 6).

3.5 Δείκτης εκμετάλλευσης των συστατικών της τροφής

3.5.1 Συντελεστής απόδοσης πρωτεϊνών (PER)

Ο συντελεστής απόδοσης των πρωτεϊνών (PER) στο τέλος του πειράματος παρουσίασε στατιστικά μικρότερη τιμή στο 20 ppt σε αντίθεση με το PER στο 8 ppt και 14 ppt (ANOVA, $p < 0.05$) (Πίν.6). Η μέση τιμή του συντελεστή απόδοσης πρωτεϊνών (PER) ήταν $2,11 \pm 0,07$ στο 8 ppt, $2,09 \pm 0,06$ στο 14 ppt και $1,54 \pm 0,05$ στο 20 ppt. (Πίν. 6).

3.6 Παράμετροι ανάπτυξης φυτών

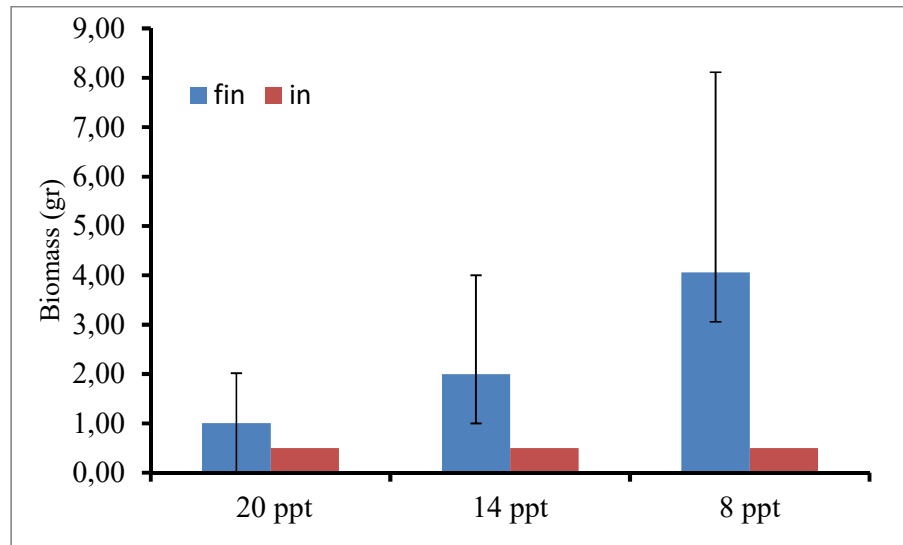
Ο Πίνακας 7 παρουσιάζει τις παραμέτρους ανάπτυξης του κρίταμου στις αλατότητες 8 ppt, 14 ppt και 20 ppt για όλο το διάστημα εκτροφής (75 ημέρες). Το Σχήμα 8, παρουσιάζει την μεταβολή της ολικής βιομάζας μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων, η οποία λαμβάνει τη μέγιστη τιμή της στην αλατότητα των 8 ppt σε σχέση με τις υπόλοιπες αλατότητες. Η βιομάζα των φυτών σε σχέση με τον αριθμό των πλάγιων κλάδων είχε πολύ καλύτερη ανάπτυξη στην αλατότητα των 8 ppt και 14 ppt σε σχέση με την αλατότητα των 20 ppt που είχε και την μικρότερη δυνατή ανάπτυξη ο κρίταμος (Σχ. 8). Όπως προκύπτει από τον πίνακα 7 το αρχικό ύψος του κρίταμου δεν παρουσιάζει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων (ANOVA, $p > 0.05$).

Το τελικό ύψος του κριτάμου, η αύξηση μήκους και η ποσοστιαία αύξηση παρουσιάζουν στατιστικά μεγαλύτερη αύξηση. Στο τέλος του πειράματος, το τελικό ύψος του κριτάμου, η αύξηση ύψους και η ποσοστιαία αύξηση του κριτάμου παρουσιάζει στατιστικά μεγαλύτερη τιμή στην αλατότητα των 8 ppt και 14 ppt σε σχέση με εκείνη των 20 ppt όπου ο κριτάμος παρουσίασε την μικρότερη ανάπτυξη (ANOVA, $p < 0.05$) (Εικ. 8). Τέλος ο τελικός αριθμός αναπτυσσόμενων κλαδιών ήταν στατιστικά μεγαλύτερος στο 8 ppt ($4,17 \pm 0,87$) και 14 ppt ($4,33 \pm 0,92$) σε σχέση με εκείνη των 20 ppt που ήταν μικρότερος ($2,28 \pm 0,35$).

Πίνακας 7: Παράμετροι ανάπτυξης κριτάμου στο υφάλμυρο σύστημα ενυδριοπονίας με αλατότητες 8 ppt 14 ppt και 20 ppt για το διάστημα της πειραματικής διαδικασίας των 75 ημερών.

	8 ppt	14 ppt	20 ppt
Αρχικό ύψος φυτού (cm)	$7,72 \pm 0,35^a$	$7,77 \pm 0,30^a$	$7,61 \pm 0,41^a$
Τελικό ύψος φυτού (cm)	$12,67 \pm 0,69^a$	$10,75 \pm 0,48^b$	$8,29 \pm 0,39^c$
Αύξηση ύψους φυτών	$4,95 \pm 0,66^a$	$2,98 \pm 0,49^b$	$0,68 \pm 0,17^c$
Ποσοστιαία Αύξηση (%)	$67,82 \pm 9,67^a$	$40,94 \pm 6,83^b$	$7,42 \pm 1,53^c$
Τελικός αριθμός αναπτυσσόμενων κλάδων	$4,17 \pm 0,879^a$	$4,33 \pm 0,922^a$	$2,28 \pm 0,351^b$

Οι τιμές παρουσιάζονται ως $MO \pm SEM$ ($n=54$). Οι μέσοι όροι κάθε παραμέτρου μεταξύ των μεταχειρίσεων που φέρουν τον ίδιο εκθέτη δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p > 0.05$).



Σχήμα 8. Διακύμανση της βιομάζας του κρίταμου στις τρεις μεταχειρίσεις.



Εικόνα 8. Διαφοροποίηση αύξησης κρίταμου στο τέλος του πειράματος για τις τρεις αλατότητες (α) 8 ppt, (β) 14 ppt και (γ) 20 ppt (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)

3.7 Λειτουργικά χαρακτηριστικά φίλτρου

Το υδραυλικό φορτίο (HLR), ο υδραυλικός χρόνος παραμονής (HRT), η παροχή νερού (Q), ο ρυθμός ανακύκλωσης (r), ο ρυθμός παραγωγής αμμωνίας (P_{TAN}), η αποτελεσματικότητα του βιολογικού φίλτρου (E) δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA, $p>0,05$) (Πιν.8). Η ειδική επιφάνεια του φίλτρου (SSA) και ο όγκος των μέσων του βιολογικού υλικού (V_{media}) ήταν στατιστικά μικρότεροι στην αλατότητα 14 ppt σε σχέση με τις αλατότητες 8 ppt και 20 ppt που ήταν αντίστοιχα στατιστικά μεγαλύτεροι (ANOVA, $p<0,05$).

Πίνακας 8: Λειτουργικά χαρακτηριστικά φίλτρου στα τρία συστήματα ενυδρείων αλατότητας 8 ppt, 14 ppt και 20 ppt, αντίστοιχα. Τα δεδομένα εκφράζονται ως Μέσες Τιμές ± SEM.

	8 ppt	14 ppt	20 ppt
Υδραυλικό Φορτίο (HLR, cm/d)	2,51±0,05 ^a	2,50±0,05 ^a	2,51±0,05 ^a
Υδραυλικός χρόνος παραμονής (HRT, min)	4,59±0,08 ^a	4,60±0,09 ^a	4,58±0,09 ^a
Παροχή νερού (Q, m ³ /d)	3,34±0,06 ^a	3,24±0,06 ^a	3,35±0,06 ^a
Ρυθμός ανακύκλωσης (r)	0,90±0,01 ^a	0,90±0,01 ^a	0,90±0,01 ^a
Ρυθμός παραγωγής αμμωνίας (P_{TAN} , mg/L)	3,03±0,45 ^a	2,91±0,91 ^a	2,79±0,34 ^a
Ειδική επιφάνεια φίλτρου (SSA) (m ² /m ³)	292,67±44,22 ^a	163,65±22,99 ^b	235,93±29,18 ^b
Αποτελεσματικότητα βιολογικού φίλτρου (E)	0,65±0,14 ^a	0,66±0,18 ^a	0,71±0,12 ^a
Όγκος Μέσων φίλτρου ($V_{\text{filter media}}$, L)	6,60±0,99 ^a	3,69±0,51 ^b	5,32±0,65 ^a
Όγκος φίλτρου (V_{filter} , L)	32,2±0,091 ^a	32,3±0,12 ^a	32,3±0,05 ^a

Οι μέσοι όροι κάθε παραμέτρου μεταξύ των μεταχειρίσεων που φέρουν τον ίδιο εκθέτη δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p>0,05$).

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Ο τομέας της ενυδραιοπονίας είναι ένας ταχύτατα αναπτυσσόμενος κλάδος παραγωγής τροφίμων, όπου μέσα από μια σύγχρονη μέθοδο συγκαλλιέργειας συνδυάζεται η εκτροφή ψαριών και η καλλιέργεια φυτών (Goddek et al. 2019).

Η παρούσα μελέτη πραγματοποιείται για πρώτη φορά την ανάπτυξη που είχε το λαβράκι και το φυτό κρίταμος σε ένα ενυδραιοπονικό σύστημα που περιείχε υφάλμυρο νερό σε τρεις διαφορετικές αλατότητες (8 ppt, 14 ppt και 20 ppt). Ελάχιστες έρευνες έχουν διεξαχθεί μέχρι σήμερα στην ενυδραιοπονία σε υφάλμυρο νερό (Kotzen & Appelbaum 2010, Nozzi et al. 2016, Fronte et al. 2016, Vlahos et al. 2019) σε σχέση με τις αντίστοιχες μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί στο γλυκό νερό (Rakocy et al. 2006, Endut et al. 2009, Endut et al. 2010, Somerville et al. 2014, Stathopoulou et al. 2018). Η παρούσα μελέτη έρχεται να συμπληρώσει το βιβλιογραφικό κενό που υπάρχει στην ενυδραιοπονία υφάλμυρου νερού.

4.1. Φυσικοχημικές παράμετροι νερού

Όσον αφορά τις φυσικοχημικές παραμέτρους του νερού, διατηρήθηκαν σταθερές καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος. Η διακύμανση του pH στις δεξαμενές ψαριών, μεταξύ των διαφορετικών μεταχειρίσεων αλατότητας (8 ppt, 14 ppt και 20 ppt), είχε εύρος 6,88 έως 7,08. Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας διαφέρουν ως προς ανάλογα αποτελέσματα σε αντίστοιχα πειράματα. Πιο αναλυτικά, οι Kotzen & Appelbaum (2010) υπολόγισαν πως το pH κυμαινόταν από 6,32 ως 8,5 σε αλατότητες 2,8 ppt (4500 $\mu\text{S}/\text{cm}$) και 3,1 ppt (4780 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Οι Nozzi et al. (2016) αναφέρουν ότι σε σύστημα ενυδραιοπονίας με υφάλμυρο νερό (λαβράκι και σέσκουλο), το pH

κυμαίνονταν μεταξύ 8-8,4 σε αλατότητες από 25 ppt έως και 0 ppt, ενώ σε αντίστοιχη μελέτη των Vlahos et al. (2019) αναφέρεται ένα εύρος τιμών pH μεταξύ 7,54-7,73 σε ενυδρειοπονικό σύστημα με τσιπούρα και κρίταμο και αλατότητες 8 ppt και 20 ppt. Παρατηρώντας τις παραπάνω τιμές διακρίνεται ότι, χρειάζονται περισσότερες μελέτες με ψάρια και φυτά σε ενυδρειοπονικά υφάλμυρα συστήματα.

Οι τιμές της αμμωνίας του παρόντος πειράματος υπολογίστηκαν μεταξύ 0,24 mg/L, 0,30 mg/L και 0,27 mg/L αντίστοιχα για τις τρεις μεταχειρίσεις (8 ppt, 14 ppt και 20 ppt) και ήταν μικρότερες με τις τιμές της αμμωνίας που αναφέρουν οι Kotzen & Appelbaum (2010) και μεγαλύτερες με τις τιμές των Nozzi et al. (2016) σε συστήματα ενυδρειοπονίας με υφάλμυρο νερό για τιλάπια και λαβράκι αντίστοιχα. Πιο συγκεκριμένα οι Kotzen & Appelbaum (2010) υπολόγισαν μια μέση τιμή αμμωνίας 1,87 mg/L, ενώ οι Nozzi et al. (2016) υπολόγισαν τιμές αμμωνίας 0,05 mg/L και τιμές νιτρωδών ιόντων 0,1 mg/L στο υφάλμυρο σύστημα ενυδρειοπονίας με λαβράκι. Επιπλέον οι Vlahos et al. (2019) σε υφάλμυρο σύστημα ενυδρειοπονίας με τσιπούρα και κρίταμο σε αλατότητες 20 ppt και 8 ppt, οι τιμές της αμμωνίας (0,33-0,39 mg/L) και των νιτρωδών ιόντων (0,82- 0,89 mg/L) ήταν μεγαλύτερες σε σχέση με τις τιμές του παρόντος πειράματος. Οι τιμές των νιτρωδών ιόντων του παρόντος πειράματος ήταν 0,77 mg/L για την αλατότητα 8 ppt, 0,65 mg/L στο 14 ppt και 0,55 mg/L στο 20 ppt και ήταν μικρότερες από εκείνες που αναφέρουν οι Vlahos et al. (2019) στο υφάλμυρο σύστημα ενυδρειοπονίας με τσιπούρα και κρίταμο στις αλατότητες 8 ppt (0,89 mg/L) και 20 ppt (0,82 mg/L). Ακόμη μικρότερες τιμές στα νιτρώδη ιόντα καταγράφηκαν από τους Nozzi et al. (2016) σε υφάλμυρο σύστημα ενυδρειοπονίας λαβρακιού και σέσκουλου με τιμές που κυμάνθηκαν από 0,03 mg/L έως 0,01 mg/L και αλατότητες από 25 ppt έως 0 ppt.

Σε ότι αφορά τα νιτρικά ιόντα, στην παρούσα εργασία υπολογίστηκαν μεταξύ 93,94 έως 119,81 mg/L στις αλατότητες 20 ppt, 14 ppt και 8 ppt και ήταν μεγαλύτερα σε σχέση με τα νιτρικά ιόντα που αναφέρονται στα πειράματα ενυδρείοπονίας με υφάλμυρο νερό και λαβράκι (Nozzi et al. 2016) που ήταν 60 mg/L και σε εκείνο των Vlahos et al. (2019) με τσιπούρα που ήταν 76,4 έως 77,2 mg/L. Τα υψηλά επίπεδα νιτρικών ιόντων υποδηλώνουν την εύρυθμη λειτουργία του συστήματος ενυδρείοπονίας (Spotte 1992, Endut et al. 2009, Somerville et al. 2014 Vlahos et al. 2019). Οι Kotzen & Appelbaum (2010) σε πειράματα ενυδρείοπονίας με τιλápια σε υφάλμυρο νερό, βρήκαν τιμές νιτρικών ιόντων κατά πολύ μικρότερες (μεταξύ 10-20 mg/L).

Στην παρούσα εργασία η ποσοστιαία απορρόφηση (% NRE) της αμμωνίας (66,06%, 57,84% και 58,23% για τις αλατότητες 8 ppt, 14 ppt και 20 ppt) ήταν υψηλή σε όλες της αλατότητες χωρίς να παρουσιάζονται στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA, $p > 0,05$) και υψηλότερα από εκείνα των Gichana et al. (2019) όπου στα ενυδρείοπονικά συστήματα καλλιέργειας κολοκύθας, άψινθου και αμάρανθου, τα επίπεδα απορρόφησης σε αμμωνία ήταν από 48,8 έως 50%.

Η ποσοστιαία απορρόφηση (% NRE) σε νιτρικά ιόντα ήταν στατιστικά υψηλότερη στις αλατότητες 8 ppt και 14 ppt και κυμάνθηκε στο 39,20 % και 39,96%, αντίστοιχα. Μικρότερη απορρόφηση παρουσίασαν τα φυτά στο 20 ppt (22,28%). Τα αποτελέσματα της παρούσης μελέτης αναφορικά με την απορρόφηση των νιτρικών ήταν χαμηλότερα σε σχέση με εκείνα που αναφέρουν οι Gichana et al. (2019) που ήταν πολύ υψηλή για τον άψινθο (76,03%) και ελαφρώς μικρότερη για την κολοκύθα και τον αμάρανθο, 67% και 68,1% αντίστοιχα. Η ποσοστιαία απορρόφηση (% NRE) των φωσφορικών ιόντων στην παρούσα εργασία ήταν στατιστικά μικρότερη στο 20 ppt (41%) σε σχέση με το 8 ppt (53,08%) και 14 ppt (58,31%) και σχετικά μικρότερη σε

σύγκριση με την απορρόφηση των φωσφορικών ιόντων στην κολοκύθα (75,6%) όπως αναφέρουν οι Gichana et al. (2019), ενώ ο άψινθος (45%) και ο αμάρανθος (40%) είχαν παρόμοια απορρόφηση με τον κρίταμο.

Συμπερασματικά, η αποτελεσματική απορρόφηση των φυτών στο σύστημα ενυδρειοπονίας επηρεάζεται από παράγοντες όπως: η επιφάνεια που καλύπτει το ριζικό σύστημα των φυτών, η ηλικία των φυτών και οι απαιτήσεις τους σε θρεπτικά, τη μικροβιακή εικόνα που παρουσιάζει το σύστημα (πχ βακτήρια), την παροχή του νερού καθώς και το χαμηλό υδραυλικό φορτίο (Endut et al. 2010, Boxman et al. 2017, Gichana et al. 2019).

4.2 Ανάπτυξη και επιβίωση ιχθύων

Το λαβράκι αποτελεί ένα από τα πιο διαδεδομένα είδη υδατοκαλλιέργειας στη Μεσόγειο εξαιτίας της μεγάλης του ανεκτικότητας σε αλλαγές που γίνονται στο φυσικό τους περιβάλλον (FAO 2013). Ανήκει στα ευρύαλα είδη και μπορεί να επιβιώσει μέχρι και σε γλυκό νερό, αν ο εγκλιματισμός γίνει σε κατάλληλες συνθήκες (FAO 2013).

Στη παρούσα πειραματική διαδικασία, το λαβράκι παρουσίασε ικανοποιητική ανάπτυξη, αυξημένη επιβίωση καταναλώνοντας με προθυμία τη τροφή, στο υφάλμυρο περιβάλλον ενυδρειοπονίας σε τρεις διαφορετικές αλατότητες 8 ppt, 14 ppt και 20 ppt. Στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας το τελικό μέσο βάρος στις μεταχειρίσεις των 14 ppt και 8 ppt παρουσίασε στατιστικά μεγαλύτερη τιμή σε σχέση με την μεταχείριση των 20 ppt (ANOVA, $p < 0.05$). Επίσης η αύξηση βάρους, ο ειδικός ρυθμός ανάπτυξης, η ποσοστιαία αύξηση βάρους, ο τελικός συντελεστής ευρωστίας και το τελικό μήκος παρουσίασαν στατιστικά μεγαλύτερη τιμή στις μεταχειρίσεις 8 ppt και 14 ppt σε σχέση με την μεταχείριση των 20 ppt (ANOVA, $p < 0.05$). Παρόμοια τάση παρουσιάστηκε και

στους δείκτες αξιοποίησης της τροφής (FCR, DFI και PER). Εξαίρεση αποτέλεσαν η επιβίωση και ο αρχικός συντελεστής ευρωστίας στους οποίους όλες οι μεταχειρίσεις δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA, $p > 0.05$).

Επιπροσθέτως, τα ψάρια σε αλατότητες 8 ppt, 14 ppt και 20 ppt παρουσίασαν τελικό μέσο βάρος 30,89 gr, 29,62 gr και 22,94 gr αντίστοιχα, και παρουσίασαν μια μέση αύξηση βάρους 22,84 gr, 21,45gr και 14,64 gr αντίστοιχα. Σε αντίστοιχο πείραμα εκτροφής λαβρακιού (διάρκειας 90 ημερών) μέσου αρχικού βάρους 9,5 gr σε αλατότητες 10 ppt, 20 ppt, 30 ppt, 40 ppt καθώς και στο γλυκό νερό, και σε θερμοκρασία 23,4-26,2 °C οι Eroldoğan and Kumlu (2002) βρήκαν ότι τα λαβράκια σε σύστημα ανακύκλωσης (RAS) με διαφορετικές αλατότητες μπορούν και αναπτύσσονται καλύτερα στις αλατότητες 10 ppt και 20 ppt παρουσιάζοντας μεγαλύτερο μέσο τελικό βάρος 33,45 gr και 33,41gr, αντίστοιχα σε σχέση με τα μέσα τελικά βάρη των λαβρακιών του παρόντος πειράματος.

Στο πείραμα των Kotzen & Appelbaum (2010) οι τιλάπιες παρουσίασαν υψηλά ποσοστά επιβίωσης (84%) σε χαμηλότερη αλατότητα 1,2 ppt, ενώ στο εξεταζόμενο πείραμα η επιβίωση των λαβρακιών κυμάνθηκε μεταξύ 71,72% - 90,19% για όλες τις διαφορετικές μεταχειρίσεις αλατότητας. Σε ότι αφορά την αύξηση βάρους, οι τιλάπιες που είχαν τοποθετηθεί σε υφάλμυρο σύστημα ενυδρειοπονίας παρουσίασαν μεγαλύτερη αύξηση βάρους της τάξης των 104 gr (0,78 gr ιχθύ/ημέρα) σε περίοδο 112 ημερών. Αξιοσημείωτο γεγονός είναι πώς κατά τη διάρκεια του πειράματος κάποιες τιλάπιες παρουσίασαν ωτοκία στην πορεία του πειράματος.

Στο πείραμα των Vlahos et al. (2019) οι τσιπούρες παρουσίασαν αύξηση βάρους της τάξης των 25 gr και στις δύο αλατότητες (8 ppt και 14 ppt), ενώ και εκείνες παρουσίασαν υψηλότερα ποσοστά επιβίωσης (97-99 %).

Επιπροσθέτως, οι Waller et al. (2015) αναφέρουν ότι το λαβράκι αναπτύσσεται κατά μέσο όρο από τα 32 gr στα 54 gr παρουσιάζοντας αύξηση βιομάζας κατά 5,6 kg, με SGR 1.5%/d και FCR 0.93 σε ένα σύστημα ενυδρειοπονίας με αλατότητα 15-16 ppt σε χρονικό διάστημα 35 ημερών. Τα αποτελέσματα της παρούσης εργασίας συμφωνούν με εκείνα των Waller et al. (2015) όσον αφορά τον συντελεστή FCR (0,93 για τις αλατότητες 8 ppt και 14 ppt), με τον ειδικό ρυθμό ανάπτυξης (SGR) να είναι υψηλότερος και να κυμαίνεται από 1,83 %/d στο 14ppt έως 1,90 %/d στο 8 ppt.

Όσον αφορά το πείραμα των Nozzi et al. (2016), είχε ως στόχο να αναδείξει, αν το λαβράκι που προήλθε από ενυδρειοπονικό σύστημα υφάλμυρου νερού αλατότητας 20 ppt είναι ποιοτικά αντάξιο με το λαβράκι που προέρχεται από ενυδρειοπονικό σύστημα γλυκού νερού (0 ppt). Το συμπέρασμα της ερευνάς τους ήταν ότι, μπορεί να παραχθεί ποιοτικό ψάρι με αυτόν τον τρόπο εκτροφής μιας με παρόμοια ποσοστά λιπιδίων, πολυακόρεστων και μονοακόρεστων λιπαρών οξέων τα οποία παίζουν σημαντικό ρόλο στην υγεία των καταναλωτών.

4.3 Ανάπτυξη και επιβίωση φυτών

Αναφορικά με τα φυτά πρέπει να τονιστεί ότι, παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ του τελικού ύψους φυτού, της αύξησης μήκους φυτού, την ποσοστιαία αύξηση μήκους και του τελικού αριθμού πλαγίων κλάδων σε όλες τις μεταχειρίσεις (ANOVA, $p < 0.05$).

Εξετάζοντας τις τελικές μετρήσεις των φυτών γίνεται αντιληπτό ότι, η μεταχείριση 8 ppt παρουσίασε στατιστικά καλύτερα αποτελέσματα (ANOVA, $p < 0.05$) σε σχέση με τις άλλες δύο μεταχειρίσεις (14 ppt και 20 ppt), καθώς σε αυτήν παρατηρήθηκε το καλύτερο τελικό μήκος (12,67 cm), ο καλύτερος κατά μέσο όρο

αριθμός αναπτυσσόμενων κλάδων (4,17) και η μεγαλύτερη ποσοστιαία αύξηση (67,82 %). Στον αντίποδα, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, στην μεταχείριση των 20 ppt παρουσιάστηκε μικρότερο τελικό μήκος (8,29 cm), μικρότερος αριθμός αναπτυσσόμενων κλάδων ($2,28 \pm 0,351$) και μικρότερη ποσοστιαία αύξηση (7,42 %), ενώ στη μεταχείριση 14 ppt η ποσοστιαία αύξηση του κρίταμου ήταν ικανοποιητική (40,94 %). Τα αποτελέσματα της παρούσης εργασίας δεν συμφωνούν με εκείνα των Vlahos et al. (2019), καθώς τα φυτά κρίταμου που καλλιεργήθηκαν σε 2 διαφορετικές αλατότητες (8 ppt και 20 ppt) παρουσίασαν μικρότερη ποσοστιαία αύξηση και στις δύο αλατότητες (8 ppt:23,8% και 20 ppt:13,83%).

Η διαφορά στην ανάπτυξη του κρίταμου μεταξύ της μεταχείρισης 8 ppt και των υπολοίπων δύο μεταχειρίσεων συμφωνεί και με τους Ben Amor et al. (2005) οι οποίοι κατέδειξαν ότι, το ιδανικό επίπεδο αλατότητας για την ανάπτυξη του κρίταμου κυμαίνεται περίπου στα 8 ppt (50 mM NaCl).

Όσον αφορά άλλα φυτά τα οποία καλλιεργήθηκαν σε υφάλμυρα συστήματα ενυδρειοπονίας, προτιμώνται κυρίως αλόφυτα λόγω της ανοχής τους στην αλατότητα (Fronte et al. 2016, Flowers et al. 2008). Παρόλα αυτά, οι Kotzen & Appelbaum (2010) καλλιέργησαν μια πληθώρα φυτών σε υφάλμυρο ενυδρειοπονικό σύστημα αλατότητας 1,2 ppm, και φυτά όπως η φράουλα (*Fragaria sp.*), το είδος *Petroselinum sp.* και το λάχανο (*Lactucas ativa*) να έχουν μια αρκετά καλή αύξηση. Υπήρχαν όμως και φυτά όπως το σπανάκι (*Spinaciao leracea*) και ο βασιλικός (*Ocimum basilicum purpurascens*) τα οποία δεν είχαν την ίδια ενθαρρυντική ανάπτυξη.

Επιπλέον οι Nozzi et al. (2016) καλλιέργησαν το είδος *Beta vulgaris* (σέσκουλο) σε συστήματα ενυδρειοπονίας υφάλμυρου νερού αλλά και σε συστήματα ενυδρειοπονίας γλυκού νερού. Η σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων των 2 μεταχειρίσεων αναφέρουν πώς στα συστήματα ενυδρειοπονίας με υφάλμυρο νερό οι

ρίζες των φυτών ήταν πολύ μεγαλύτερες σε σχέση με αυτές των φυτών που καλλιεργήθηκαν σε γλυκό νερό (126,9 cm έναντι 46,16 cm), ενώ στον αντίποδα το τελικό ύψος των φυτών που καλλιεργήθηκαν σε υφάλμυρο σύστημα ενυδραιοπονίας ήταν μικρότερο από το αντίστοιχο των φυτών που καλλιεργήθηκαν σε σύστημα ενυδραιοπονίας γλυκού νερού (31,97 cm έναντι 40,49 cm).

4.4 Λειτουργικά χαρακτηριστικά φίλτρου

Τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του φίλτρου, το υδραυλικό φορτίο, ο υδραυλικός χρόνος παραμονής, η παροχή νερού, ο ρυθμός ανακύκλωσης, ο ρυθμός παραγωγής αμμωνίας, η αποτελεσματικότητα του βιολογικού φίλτρου και ο όγκος του φίλτρου, δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των 3 μεταχειρίσεων (8 ppt, 14 ppt και 20 ppt) (ANOVA, $p > 0.05$). Η ειδική επιφάνεια του φίλτρου και ο όγκος μέσων φίλτρου ήταν μικρότερα στην αλατότητα των 14 ppt σε σχέση με τις αντίστοιχες των 8ppt και 20 ppt (ANOVA, $p < 0.05$).

Στο παρόν πείραμα η καλύτερη ανάπτυξη για το λαβράκι (SGR: 1.90%/d και FCR:0,93) και τον κρίταμο (αύξηση ύψους: 4.95cm/m) παρατηρήθηκε στη μεταχείριση των 8 ppt με υδραυλικό φορτίο 2,51 cm/d. Οι Endut et al. (2010), αναφέρουν ότι όταν το υδραυλικό φορτίο είναι της τάξης του 2,56 m/d σε ένα σύστημα ενυδραιοπονίας με γλυκό νερό, τότε οι ιχθύες παρουσιάζουν SGR:1,73%/d και FCR: 1,34. Παρόλο αυτά οι Vlahos et al. (2019) αναφέρουν ότι, η τσιπούρα παρουσίασε μεγαλύτερη ανάπτυξη (SGR:3,17%/d, FCR:1,80 και 1,84 στο 8 και 20 ppt, αντίστοιχα) στο υφάλμυρο σύστημα ενυδραιοπονίας σε μικρότερο υδραυλικό φορτίο (1,85 cm/d) και ο κρίταμος παρουσίασε μεγαλύτερη τελική αύξηση ύψους 10,32 cm και 8,03 cm στο 8 και 20 ppt, αντίστοιχα.

Επιπροσθέτως, ο υδραυλικός χρόνος παραμονής, ο ρυθμός ανακύκλωσης και η ειδική επιφάνεια του φίλτρου του παρόντος πειράματος, ήταν μεγαλύτερες σε σχέση με εκείνες που αναφέρουν οι Vlahos et al. (2019). Οι Nozzi et al. (2016) και οι Chen et al.,(2006) αναφέρουν ότι το υδραυλικό φορτίο επηρεάζει την παραγωγικότητα του συστήματος (ανάπτυξη ψαριών και φυτών) και την ημερήσια πρόσληψη των θρεπτικών από τα φυτά.

Επίσης, ο υδραυλικός χρόνος παραμονής επηρεάζει την αποδοτικότητα του βιολογικού φίλτρου σε ένα σύστημα ενυδρειοπονίας. Στο παρόν πείραμα η αποτελεσματικότητα του βιολογικού φίλτρου στο κλειστό σύστημα ενυδρειοπονίας με ανακυκλοφορία νερού ήταν 65% για τις αλατότητες 8 ppt και 14 ppt και 71% για την αλατότητα 20 ppt. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με εκείνα των Timmons & Losordo (2000) που αναφέρουν ότι η απόδοση ενός φίλτρου όταν υπερβαίνει το 60% οξειδώνει αποτελεσματικότερα τα μεταβολικά προϊόντα των ψαριών.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα μελέτη πραγματοποιείται για πρώτη φορά σύμφωνα με τη γνώση της συγγραφέως την εγκαθίδρυση ενός συστήματος ενυδρειοπονίας με υφάλμυρο νερό με τρεις διαφορετικές αλατότητες (8 ppt, 14 ppt και 20 ppt) χρησιμοποιώντας το λαβράκι και τον κρίταμο ως δυο παραγωγικά είδη που παρουσιάζουν αξιόλογο ενδιαφέρον.

Διαμέσου των αποτελεσμάτων της εργασίας αυτής αναδεικνύεται ότι, είναι εφικτή και βιώσιμη η συγκαλλιέργεια του λαβρακιού, ενός Μεσογειακού είδους ιχθύος, με αυξημένη εμπορική αξία και του κρίταμου, ενός αλόφυτου με μεγάλη εμπορική αξία και αυξημένες θεραπευτικές ιδιότητες. Τα αποτελέσματα επίσης, έδειξαν ότι, ο κρίταμος, αξιοποιεί τα θρεπτικά συστατικά (απόβλητα υδατοκαλλιέργειας), που προέρχονται από τα μεταβολικά προϊόντα των ιχθύων, σε ικανοποιητικό βαθμό.

Η αποτελεσματική ποσοστιαία απορρόφηση των νιτρικών και φωσφορικών ιόντων από τα φυτά σ' ένα σύστημα ενυδρειοπονίας επηρεάζεται από παράγοντες όπως: η επιφάνεια που καλύπτει το ριζικό σύστημα των φυτών, η ηλικία των φυτών και οι απαιτήσεις τους σε θρεπτικά, τη μικροβιακή εικόνα που παρουσιάζει το σύστημα (πχ βακτήρια), την παροχή του νερού καθώς και το χαμηλό υδραυλικό φορτίο

Η καλύτερη ανάπτυξη για τον κρίταμο και το λαβράκι παρουσιάστηκε στις μεταχειρίσεις 8 ppt και 14 ppt καταδεικνύοντας με τον τρόπο αυτό ότι, τα αλόφυτα μπορούν να αποτελέσουν μια ικανοποιητική παραγωγική μονάδα ενυδρειοπονίας υφάλμυρου νερού.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

6.1. Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

- Alessio G., Allegrucci G., Angle G. (2001). *Acquacoltura responsabile – Verso le produzioni acquatiche del terzo millennio* Romma: Unimar-Uniprom.
- Alkemade F., Suurs R.A.A. (2012). Patterns of expectations for emerging sustainable technologies. *Technol. Forecast. Soc. Change* 79 (3), 448e456.
- Ayers R. S. and Wescott D. W. (1989). Water quality for agriculture, *FAO Irrigation and Drainage Paper*, vol. 29, pp. 737–746.
- Bahadir Koca S., Diler I., Dulluc A., Yigit N.O and Bayrak H. (2009). Effect of different feed types and feed conversion ratio of angelfish (*Pterophyllum scalare*, Lichtenstein, 1823). *Journal of Applied Biological Sciences*, 3: 6-10.
- Ben Amor N., Ben Hamed K., Debez A., Grignon C., Abdely C., (2005). *Physiological and antioxidant responses of the perennial halophyte *Carrithmum maritimum* to salinity*. *Plant science* 168 (889-899).
- Benis K., Ferrao P. (2017). Potential mitigation of the environmental impacts of food systems through urban and peri-urban agriculture (UPA) e a life cycle assessment approach. *J. Clean. Prod.* 140 (S), 784e795. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.176>.
- Bernstein S. (2011). *Aquaponic gardening: a step-by-step guide to raising vegetables and fish together*. Gabriola Island, Canada: New Society Publishers.
- Binz C., Larsen T.A., Maurer M., Truffer B., Gebauer H. (2010). Zukunft der dezentralen Wassertechnologien. EAWAG, Dübendorf, Switzerland, p. 59.
- Bio - Gro (2001). Organic Standards, Module Aquaculture Production Standard for Shellfish, version 1 30/4/2001, p 3 - 11, New Zealand.

- Boxman S., Main K., Nystrom M., Ergas S.J., Trotz M. (2015) Aquaponic System Produces Red Drum, Saltwater Vegetable Species, *Global Aquaculture Advocate*, pp. 58-60.
- Bregnballe J. (2015). A Guide to Recirculation Aquaculture. An introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems FAO and EUROFISH, ROME P.p 100. ISBN 978-92-5-108776-3. WWW. Fao. Org/publications/card.
- Buhmann A., Papenbrock J. (2013b). An economic point of view of secondary compounds in halophytes, *Functional Plant Biology*, vol. 40, pp. 952–967.
- Carroza C., Hurtado F., Cutierrez X. (2012). Nitrogenated compounds biofiltration under alternative bacterium fixation substrates. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*,40(3):772-785.
- Chen S., Ling J., Blancheton J-P. (2006). Nitrification Kinetics of biofilm as affected by water quality factors. *Aquacultural Engineering*, 34, 179-197.
- Das A., Kumbhakar S.C. (2012). Productivity and efficiency dynamics in Indianbanking: An input distance function approach incorporating quality of inputsand outputs. *J. Appl. Econ.* 27 (2), 205–234.
- Dediul D. Cristeal V. and Xiaoshuan Z. (2012). Waste production and valorization in an integrated aquaponic system with bester and lettuce *African Journal of Biotechnology* Vol. 11(9), pp. 2349-2358.
- Deering M J., Fielder D.R., Hewitb D.R. (1997). Growth and fatty acid composition of juvenile leader prawns, *Penaeus monodon*, fed different lipids. *Aquacultive* Volume 151, Issues 1-4, 15 May 1997, Pages 131-141.

- Díaz V., Ibáñez R., Gómez P., Urriaga A.M., Ortiz I. (2012). Kinetics of nitrogen compounds in a commercial marine Recirculating Aquaculture System. *Aquac. Eng.* 50, 20–27.
- Dilley M., Boudreau T. E. (2001). Coming to terms with vulnerability: a critique of the food security definition”, *Food Policy*, Vol. 26(3), pp.229-247.
- Dos Santos M.J.P.L., Mendes-Ribeiro M., Marques I.A., Pereira, J.M. (2015). Portuguese airport efficiency analysis: the case study of oporto. *Mediterr. J.Soc. Sci.* 6 (6 S2), 390.
- Ebeling J.M., Timmons M.B., (2012). *Recirculating Aquaculture Systems*. In: *Aquaculture Production Systems*, Hoboken, NJ, USA: Tidwell, J.H. Ed, John Willey& Sons.
- Endut A., Jusoh A., Ali N., Wan Nik W.N. Hassan A. (2009). Effect of flow rate on water quality parameters and plant growth of water spinach (*Ipomoea aquatica*) in an aquaponic recirculating system. *DesalinWater Treat* 5(1–3):19–28.
- Endut A., Jusoh A., Ali N., Wan Nik W.B., Hassan A. (2009). *A study on the optimal hydraulic loading rate and plant ratios in recirculation aquaponic system*. *Bioresource Technology* 101 (2010) 1511-1517.
- Endut A., Jusoh A., Ali N., Wan-Nik W., Hassan A. (2010). A Study on the optimal hydraulic loading rate and plant ratios in recirculation aquaponic system. *Bioresour. Technol.* 101: 1511-1517.
- Endut A., Jusoh A., Ali N., Wan Nik W.B. (2011). Nutrient removal from aquaculture wastewater by vegetable production in aquaponics recirculation system, *Desalination and Water Treatment*, vol. 32, pp. 422-430.

- Eroldođan O.T.; Kumlu M. (2002). Growth performance, body traits and fillet composition of the European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) reared in various salinities and fresh water. *Turkish J. Vet. Anim. Sci.*, 26, 993–1001.
- Eroldođan O.T.; Kumlu M., Aktas M., (2004). Optimum feeding rates for European sea bass *Dicentrarchus labrax* L. reared in seawater and freshwater. *Aquaculture*, 231, 501–515. [CrossRef].
- FAO (2013). [On-farm feeding and feed management in aquaculture](#). Fisheries and Aquaculture Technical Paper. Food and Agriculture Organization Of the United Nations Rome, No. 583. 67 pp. ISBN 978-92-5-107978-2.
- Fernando C. H., (1993). Rice field ecology and fish culture - an overview. *Hydrobiologia* 259(2):91-113.
- Flowers T.J., Colmer T.D. (2008) Salinity tolerance in halophytes, *New Phytologist* 179, 945–963.
- Franco-Nava M.A., Blancheton J.P., Deviller G., Charrier A., Le-Gall J.Y. (2004). Effect of fish size and hydraulic regime on particulate organic matter dynamics in a recirculating aquaculture system, elemental carbon and nitrogen approach. *Aquaculture*, 239: 179-198.
- Fronte B., Galliano G., Bibbiani C. (2016). *From freshwater to marine aquapoinic: 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.
- Gleick P.H. (2002). Water management: soft water paths. *Nature* 418 (6896), 373.

- Goddek S., Joyce A., Kotzen B., Burnell G.M. (2019) *Aquaponics Food Production Systems*, SpringerOpen. ISBN 978-3-030-15942-9 <https://doi.org/10.978-3-030-15943-6>.
- Godfray H.C.J., Beddington J.R., Crute I.R., Haddad L., Lawrence D., Muir J. F., Pretty J., Robinson S., Thomas S.M., Toulmin C. (2010). Food security: The challenge of feeding 9 billion people, *Science*, vol. 327, pp. 812-818.
- Huguenin E.J., and Colt J. (2002). *Design and operating guide for aquaculture seawater systems*. 2nd edition. Elsevier Science BV. Sara Burgerhartstraat 25., P.O Box 211,1000., Amsterdam. The Netherlands pp.20-24.
- Joesting H.M., Blaylock,R., Biber P., Ray A. (2016). The use of marine aquaculture solid waste for nursery of salt marsh plants *Spartina alterniflora* and *Juncus roemerianus*, *Aquaculture reports*, vol. 3, pp. 108-114.
- Junge R., Konig B., Villarroel M., Komives T., Jijakli M.H. (2017). Strategic points in aquaponics. *Water* 9 (3), 182.
- Khater E.G., Bahnasawy A.H., Shams A.E.S., Hassaan M.S., Hassan Y.A. (2015). Utilization of effluent fish farms in tomato cultivation, *Ecological Engineering*, vol. 83, pp. 199-207.37.
- Kloas W., Groß R., Baganz D., Graupner J., Monsees H., Schmidt U., Staaks G., Suhl J., Tschirner M., Wittstock B., Wuertzl S., Zikova A., Rennert B. (2015). A new concept for aquaponic systems to improve sustainability, increase productivity, and reduce environmental impacts, *Aquaculture Environment Interactions*, vol. 7, pp. 179–192.
- Kohn R., (1969). Spectrophotometric Determination of Magnesium, Calcium, Strontium and Barium Present in Pairs by Use of Tetramethylmurexide. Institute of Chemistry, Slovak Academy of Sciences, Bratislava 9 Received. P.p 1-735.

- Kotzen B., Appelbaum S. (2010). *An Investigation of Aquaponicw Using Brackish Water Resources in the Negev Desert*. *Journal of Applied Aquaculture*, 22:297-320.
- Konig B., Junge R., Bittsanszky A., Villarroel M., Komives T. (2016). On the sustainability of aquaponics. *Ecocycles* 2 (1), 9e15.
- Koyro H., Ajmal Khan M. and Lieth H. (2011) Halophytic crops: A resource for the future to reduce the water crisis?, *Emirates Journal of Food and Agriculture*, vol. 23, no. 1, pp. 1-16.
- Lennard W.A. (2006). *Aquaponic integration of Murray Cod (Maccullochella peelii peelii) aquaculture and lettuce (lactuca sativa) hydroponics*. Ph.D dissertation, School of Applied Sciences, Department of Biotechnology and Environmental Biology, Royal Melbourne Institute of Technology. Melbourne, Victoria Australia.
- 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.* 85, 693–700.
- Liddicoat M.I., Tibhitts S., & Butler E.I. (1975). *The determination of ammonia in seawater*. *Limnology and Ocenography*, 20(1), 131-132.
- Love D.C., Fry J.P., Genello L., Hill E.S., Adam Frederick J., Li X., Semmens K. (2014). An International Survery of Aquaponics Practitioners, *PLOS ONE*, vol. 9, no.7, e102662.
- Love D.C., Fry J.P., Li X., Hill E.S., Ganello L., Semmers K., Thompson R.E. (2015). Commercial aquaponics production and profitability: Findings from an international survery, *Aquaculture*, vol. 435, pp. 67-74.

- Malorgio F., Incrocci L., Dimauro B., Pardossi A. (2005). La tecnica della coltivazione fuori suolo. Ministero delle Politiche Agricole e Forestali, Università di Pisa, Regione Siciliana Assessorato Agricoltura e Foreste.
- Main K.L. (2015). Sustainable approaches to growing local seafood for local communities, World Aquaculture, Jeju, South Korea.
- Million A., Bürgow G., Steglich A., Raber W. (2014). Roof water-farm. Participatory and multifunctional infrastructures for urban neighborhoods. In: Roggema, R., Keffe, G. (Eds.), Proceedings. 6th AESOP Food Planning Conference. Leuwarden, The Netherlands, 5-7 November 2014, 659e678.
- Naturland (2004). Standards for organic aquaculture *Cyprinus carpio* and its accompanying species, version 01/2004, p 3 - 10, German.
- Nelson R.L. (2007). Ten aquaponic systems around the world, *Aquaponics Journal*, vol. 46, pp. 1-8.
- Nozzi V., Parisi G., Crescenzo D., Giordano M., Carnevali O. (2016). Evaluation of *Dicentrarchus labrax* Meats and the Vegetable Quality of *Beta vulgaris* var cicla Farmed in Freshwater and Saltwater Aquaponic Systems, *Water* 2016, 8, 423.
- Nuevaespana J., Matias J. (2014). Comparison of the physical profile of Klayton and LECA as media for aquaponics. *AquaOrganika* p.p 1-7.
- Orellana J., Waller U., Wecker, B. (2013). (Culture of yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*) in a marine recirculating aquaculture system (RAS) with artificial seawater, *Aquaculture Engineering*, 2013, 10.1016/j.aquaeng.2013.09.004.
- Palm W.H., Bissa K., Knaus U. (2014). Significant factors affecting the economic sustainability of closed aquaponic systems. Part II: fish and plant growth, *AACL Bioflux*, 2014, vol. 7, no. 3, pp. 162-175.

- Pantarella E. (2012b). Integrated Marine Aquaculture-Agriculture: Sea Farming Out of The Sea, *Global Aquaculture Advocate*, pp. 70-72.
- Pantarella E., Colla G. (2013). Saline aquaponics opportunities for integrated marine aquaculture. International aquaponic conference: Aquaponics and global food security, 19-21, June 2013. University of Wisconsin-Stevens Point, 2013.
- Pantarella E., Bhujel C.R. (2015). Saline Aquaponics-Potential Player In Food, Energy Production. *Global Aquaculture Advocate*, pp. 42-43.
- Putra A.P., Yuliando H. (2015). Soilless Culture System to Support Water Use Efficiency and Product Quality: a Review. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, vol. 2, pp. 283-288.
- Robaina L., Sánchez J. Pirhonen J. Mente E. and Goosen N. (2019). Fish diets in aquaponics. Chapter 13. In: *Aquaponics Food Production Systems: Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the Future*. (Eds Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., Burnell, G.). Springer-Nature International Publishing. ISBN: 978-3-030-15942-9
- Rakocy J.E., Allison R. (1981). Evaluation of a Closed Recirculating System for the Culture of tilapia and Aquatic Macrophytes. In: Allen, L.J., Kinney, E.C. (Eds.), *Proc. Of the Bio-engineering Symposium for Fish Culture*. Publ. No. 1, vol. 1981. American Fisheries Society, Bethesda, MD, pp. 296-307.
- 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.
- Rivera-Ferre M., Ortega-Cerdà M., Baumgärtner J. (2013). Rethinking Study and Management of Agricultural Systems for Policy Design, *Sustainability*, vol. 5, pp.3858–3875.

- Savidov N. (2005). Evaluation of Aquaponics Technology in Alberta, Canada, *Aquaponics Journal*, vol. 37, pp. 20-25.
- Sillani S., Nassivera F. (2015). Consumer behavior in choice of minimally processed vegetables and implications for marketing strategies. *Trends Food Sci. Technol.* 46 (2), 339e345.
- Somerville C., Cohen M., Pantanella E., Stankus A., Lovatelli A. (2014). Small-scale aquaponic food production. Integrated fish and plant farming. FAO Fisheries and Aquaculture. Technical Paper. No. 589. Rome, FAO. 262 pp. <https://doi.org/10.1002/pssb.201300062>. Accessed 13 April 2019
- Spotte S. (1992). *Captive Seawater Fishes*. John Wiley & Sons, New York. 942pp.
- Stathopoulou P., Berillis P., Levizou E., Sakellariou-Makrantonaki M., Kormas A.K., Angelaki A., Kapsis P., Vlahos N., and Mente E. (2018). Basil and Nile tilapia Production in a Small Scale Aquaponic System. *Journal of Fisheries Sciences.com*. 12(4): 001-003. E-ISSN 1307-234X.
- Tedesco C., Petit C., Billen G., Garnier J., Personne E. (2017). Potential for recoupling production and consumption in peri-urban territories. The case-study of the Saclay plateau near Paris, France. *Food Policy* 69 (S), 35e45. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2017.03.006>.
- Timmons B.M., Losordo M.T. (2000). *Aquaculture water reuses systems: Engineering Design and Management*. Elsevier Science B.V. Amsterdam, the Netherlands. Pp.333. ISBN: 0-444-89585-X.
- Timmons M.B., Ebeling J.M., Wheaton F.W., Summerfelt S.T., Vinci B.J. (2002). *Recirculating aquaculture systems*, 2nd edn. Cayuga Aqua Ventures, New York.

- Turcios A.E., Papenbrock J. (2014). Sustainable Treatment of Aquaculture Effluents- What Can We Learn from the Past for the Future? *Sustainability*, vol. 6, pp. 836–856.
- Tyson R.C., Treadwell D.D., Simonne E.H. (2011). *Opportunities and Challenges to Sustainability in Aquaponic Systems. Hor Technology*, vol.21, pp. 6-13.
- Velten S., Leventon J., Jager N., Newig J. (2015). What Is Sustainable Agriculture? A Systematic Review, *Sustainability*, vol. 7, pp. 7833-7865.
- Vlahos N., Hotos G., Kapetanios N. (2004). The effect of temperature on the conditioning og the filter bed in aquaria. Proceedings of 2nd International Congress on Aquaculture Fisheries Technology and Environmental. Athens 18-19 June 2004. ISBN.
- Vlahos N., Kormas K., Pachiadaki M.G., Meziti A., Hotos G.N., Mente E. (2013). Changes of bacterioplankton apparent species richness in two ornamental fish aquaria SpringerPlus a Springer Open Journal 2:66, 1-9.
- Vlahos N., Akrivouli A., Mente E., Exadactylos A., Nystas T., Patsea E.,Vidalis K., Hotos G. (2016). The effect of three different temperatures on the growth and survival rate of *Palaemon adspersus*. Procceding of the 2nd International Congress on Applied Ichthyology & Aquatic Environment. 10-12 November 2016 Messolonghi – Greece pp:59-63. ISBN 978-618-80242-3-6.
- 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). DOI: 10.3390/su11184820.

- Vlahos N., Mitsopoulos I., Babouklis K., Kapetanios E., Frangou S., Manolios A., Giannoulatou K., Mardoglou E., and Mente E. (2019). Design, Aquascape and Conditioning of a Brackish Aquaponics System. World Aquaculture society (EAS), Aquaculture Europe 2019, 7-10 October, Berlin Germany 2019.
- Waller U., Buhmann A.K., Emst A., Hanke W., Kulakowski A., Wecker B., Orellana I. (2015). Papenbrock, J. Integrated multi-tropic aquaculture in a zero – exchange recirculation aquaculture system for marine fish and hydroponic halophyte production. *Aquac. Int.* 2015, 23, 1473-1489.
- Weber K.M., Rohracher H. (2012). Legitimizing research, technology and innovation policies for transformative change. *Res. Policy* 41 (6), 1037e1047.
- Wellner M., Knoop M., Theuvsen L. (2017). Der Markt für Obst und Gemüse. *GJAE* 66, 82e96.
- Yildiz H., Robaina L., Pirhonen J., Mente E., Domínguez D., Parisi G. (2017) Fish Welfare in Aquaponic Systems: Its Relation to Water Quality with an Emphasis on Feed and Faeces. A Review *Water*, 9(1), 13; <https://doi.org/10.3390/w9010013>.
- Zar J.H. (1999). *Biostatistical Analysis*; Prentice-Hall: London, UK. P. 718.

6.2 Ελληνική βιβλιογραφία

- Βλάχος Ν. (2017). Ενυδρεία, Εκπαιδευτικές Σημειώσεις Τμήμα Τεχνολογίας Αλιείας Υδατοκαλλιεργιών. Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδος, σελ. 77.
- Μεντέ Ε., Νέγκας Χ. (2011). Στοιχεία Φυσιολογίας Θρέψης και Εφαρμοσμένη Διατροφή Ιχθύων και Καρκινοειδών Εκδόσεις Παπαζήση, Αθήνα σελ.809.

Παπανικολάου Δ. (2017). Μελέτη σκοπιμότητας ίδρυσης και λειτουργίας θερμοκηπιακής μονάδας υδροπονικής καλλιέργειας με εφαρμογή καινοτόμων λύσεων για την μείωση κατανάλωσης ενεργειακών και υδάτινων πόρων. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Πειραιά, Τμήμα Οργάνωσης και Διοίκησης Επιχειρήσεων, Πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών στη Διοίκηση Επιχειρήσεων (MBA). σελ.102.

Παπουτσόγλου Σ.Ε. (2008). Διατροφή Ιχθύων. Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης, Αθήνα σελ. 976.

6.3 Ηλεκτρονική βιβλιογραφία

<http://iavs.info/>

www.marine-aquatics.eu

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.176>