



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Εργαστήριο Σχεδιασμού Περιβαλλοντικών Διεργασιών

Διπλωματική Εργασία

«Απολύμανση της απορροής σε υδροπονικές καλλιέργειες
με χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας, με στόχο την
επαναχρησιμοποίηση»



Τουρσιδης Παύλος

2011050001

Εξεταστική Επιτροπή

Αν. καθ. Πέτρος Γκίκας (Επιβλέπων καθηγητής)

Επ. καθ. Δανάη Βενιέρη

Επ. καθ. Νίκος Ξεκουκουλωτάκης

ΧΑΝΙΑ, 2017

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	σελ. 6
Περίληψη	σελ. 7
Abstract	σελ. 8

Θεωρητικό Μέρος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΥΔΡΟΠΟΝΙΑ	σελ. 10
1.1 ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑΣ	σελ. 10
1.2 ΟΡΙΣΜΟΣ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑΣ	σελ. 12
1.3 ΦΑΣΕΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	σελ. 12
1.3.1 ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗ ΑΠΟΡΡΟΩΝ	σελ. 12
1.3.1.1 ΑΝΟΙΚΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	σελ. 12
1.3.1.2 ΚΛΕΙΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	σελ. 13
1.3.2 ΜΕΣΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΗΣ ΡΙΖΑΣ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ	σελ. 14
1.3.2.1 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΡΙΖΩΝ ΣΕ ΚΑΝΑΛΙΑ (ΧΩΡΙΣ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ)	σελ. 14
1.3.2.2 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΡΙΖΩΝ ΣΕ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ	σελ. 19
1.4 ΘΡΕΠΤΙΚΑ ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑ	σελ. 22
1.4.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ	σελ. 22
1.4.2 ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ	σελ. 23
1.4.3 ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ	σελ. 26
1.5 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΕΝΑΝΤΙ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΕΔΑΦΟΣ	σελ. 27
1.6 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑΣ	σελ. 28
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ	 σελ. 29
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	σελ. 29
2.2 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗΣ	σελ. 29
2.3 ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ ΤΩΝ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ ΑΝΑΚΥΚΛΩΦΟΡΙΑΣ	σελ. 30
2.3.1 ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ (ΠΑΣΤΕΡΙΩΣΗ)	σελ. 30
2.3.2 ΧΗΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ	σελ. 31
2.3.2.1 ΟΖΟΝΩΣΗ	σελ. 31
2.3.2.2 ΥΠΕΡΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ (H ₂ O ₂)	σελ. 32
2.3.2.3 ΙΩΔΙΟ	σελ. 32
2.3.2.4 ΧΛΩΡΙΩΣΗ	σελ. 32
2.3.3 ΔΙΗΘΗΣΗ	σελ. 33
2.3.3.1 ΔΙΗΘΗΣΗ ΜΕ ΜΕΒΡΑΝΕΣ	σελ. 34

2.3.3.2 ΔΙΗΘΗΣΗ ΜΕ ΑΡΓΟ ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΑ ΜΕΣΟ ΑΜΜΟΥ	σελ. 34
2.3.4 ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΦΥΤΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ	σελ. 36
2.3.5 ΥΠΕΡΙΩΔΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	σελ. 36
2.4 ΑΣΘΕΝΕΙΕΣ ΤΩΝ ΡΙΖΩΝ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΤΕΛΕΧΟΥΣ ΤΟΥ ΦΥΤΟΥ	σελ. 41
2.4.1 ΜΥΚΗΤΕΣ ΚΑΙ ΩΜΥΚΗΤΕΣ	σελ. 41
2.4.2 ΒΑΚΤΗΡΙΑ, ΙΟΙ ΚΑΙ ΠΑΡΑΣΙΤΑ	σελ. 44
2.5 ΔΕΙΚΤΕΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΤΡΟΦΙΜΩΝ	σελ. 47
2.6 Η ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΩΝ ΕΝΤΕΡΙΚΩΝ ΠΑΘΟΓΟΝΩΝ ΜΕ ΤΑ ΦΥΤΑ	σελ. 48
2.7 ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΑ ΟΡΙΑ ΓΙΑ ΤΑ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΠΡΟΟΡΙΖΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΓΙΑ ΑΡΔΕΥΣΗ	σελ. 50

Πειραματικό Μέρος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ	σελ. 53
3.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	σελ. 53
3.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ	σελ. 53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ	σελ. 54
4.1 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ	σελ. 55
4.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΠΟΛΥΜΑΝΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ UVC	σελ. 58
4.3 ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΟΥ ΘΡΕΠΤΙΚΟΥ ΔΙΑΛΥΜΑΤΟΣ	σελ. 65
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	σελ. 67
5.1 ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ	σελ. 67
5.1.1 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	σελ. 68
5.2 ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ	σελ. 76
5.2.1 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	σελ. 79
5.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗΣ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ ΜΕ ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ	σελ. 87
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ-ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΑΛΛΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ	σελ. 89
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	σελ. 91

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ισελ. 94

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑσελ. 97

Ευχαριστίες

Η συγγραφή της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήταν αδύνατη χωρίς την βοήθεια ορισμένων ανθρώπων, τους οποίους και θέλω να ευχαριστήσω. Κατ' αρχήν θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Πέτρο Γκίκα και το κ. Χάρη Μάρακα για το ενδιαφέρον που επέδειξαν και τις συμβουλές που μου έδιναν μέχρι και την τελευταία στιγμή πριν από την ολοκλήρωση της εργασίας, καθώς και για την λύση διαφόρων προβλημάτων που προέκυψαν κατά τη διάρκεια της συγγραφής. Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω την εταιρία ΜΙΧΟΣ Α.Ε., για την ευγενική προσφορά του συστήματος απολύμανσης (με το οποίο έγιναν τα πειράματα) στο Εργαστήριο Σχεδιασμού Περιβαλλοντικών Διεργασιών. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ιδιοκτήτες των θερμοκηπίων από τα οποία ελήφθησαν δείγματα και έγιναν πειραματικές εφαρμογές: τον κ. Γεώργιο Κελαηδή (Επισκοπή Ρεθύμνου), τον κ. Εμμανουήλ Πατεράκη (Βιράν Επισκοπή Ρεθύμνου) και τον κ. Τζεράκη Κωνσταντίνο (ΕΘ.Ι.Α.Γ.Ε., Χανίων). Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την απaráμλλη ηθική συμπαράσταση και κατανόηση που μου παρείχαν όλα αυτά τα χρόνια.

Περίληψη

Τα συστήματα ανακυκλοφορίας θρεπτικού διαλύματος, στις υδροπονικές καλλιέργειες προσφέρουν μια καλή μέθοδο για τον έλεγχο της έκπλυσης θρεπτικών ουσιών από τα θερμοκήπια στο περιβάλλον. Ωστόσο, είναι περισσότερο ευαίσθητα στην ανάπτυξη μολύνσεων του ριζικού συστήματος και εμπεριέχουν κίνδυνους εξάπλωσης των ασθενειών, μέσω των θρεπτικών διαλυμάτων σε όλη την καλλιέργεια. Αυτά τα μειονεκτήματα αποτελούν και το κύριο εμπόδιο υιοθέτησης αυτών των συστημάτων από την βιομηχανία. Συνεπώς, αναγκαία είναι η απολύμανση της επανακυκλοφορίας, για την αποφυγή μολύνσεων του ριζικού συστήματος.

Η παρούσα διπλωματική εργασία μελετά, με πειράματα στο εργαστήριο αλλά και στο πεδίο, την απολυμαντική δράση της υπεριώδους ακτινοβολίας UV-C (χαμηλού μήκους κύματος $100\text{nm} < \lambda < 280\text{nm}$) στην απορροή υδροπονικών καλλιεργειών, με την εφαρμογή ή όχι φίλτρανσης του διαλύματος. Για την παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκαν δέκα δειγματοληψίες και δύο εφαρμογές της διάταξης απολύμανσης UVC στο πεδίο. Οι δειγματοληψίες έλαβαν χώρα σε τρία διαφορετικά θερμοκήπια των Νομών Χανίων και Ρεθύμνης, τα δυο καλλιεργούσαν ντομάτες σε υπόστρωμα πετροβάμβακα (Βιράν Επισκοπή Ρεθύμνου, Επισκοπή Ρεθύμνου) και το τρίτο καλλιεργούσε αγγούρια σε σύστημα NFT (ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε Χανίων). Η εφαρμογή στο πεδίο πραγματοποιήθηκε στο θερμοκήπιο της Βιράν Επισκοπής Ρεθύμνου και στο θερμοκήπιο της Επισκοπής Ρεθύμνου.

Η αξιολόγηση της απολυμαντικής δράσης της UVC έγινε με βάση τρεις διαφορετικές μικροβιακές αναλύσεις (*Total Coliforms*, *E. coli* και Εντερόκοκκος). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η απολύμανση εργαστηριακά διαφέρει από αυτή στο πεδίο. Στο εργαστήριο τα ποσοστά θανάτωσης άγγιζαν το 99,90% με 100%, για μικρούς χρόνους ακτινοβολήσης (13 και 15 δευτερόλεπτα), ενώ στο πεδίο χρειάστηκαν μεγαλύτεροι χρόνοι ακτινοβολήσης (45 δευτερόλεπτα) για να φτάσουμε αυτά τα ποσοστά. Επίσης, στις εργαστηριακές δοκιμές οι υπό εξέταση μικροοργανισμοί δεν παρουσίασαν κάποια ένδειξη ανθεκτικότητας στην υπεριώδη ακτινοβολία, ωστόσο στο πεδίο και για σχετικά μικρούς χρόνους ακτινοβολήσης (13sec, 20sec) έδειξαν να είναι ανθεκτικοί και ιδιαίτερα τα στελέχη του εντερόκοκκου. Παρόλα αυτά καταφέραμε και στις δύο περιπτώσεις (στο εργαστήριο και στο πεδίο), στους υπό μελέτη χρόνους ακτινοβολήσης, να πετύχουμε ποσοστά θανάτωσης που να εμπίπτουν στα ανώτατα επιτρεπτά μικροβιολογικά όρια για απεριόριστη άρδευση.

Abstract

Water reuse in hydroponic systems offer a good method for the control of the of nutrients wasted from greenhouses. However, they are more vulnerable to infections which may drive to the spread of diseases through the nutrients solutions to the whole cultivation. All these drawbacks are the main reasons for the low rate of water reuse in greenhouses and why we have not adopted in industry yet. As solution to the above, is disinfection of the effluent, so to inactivate the pathogenic microorganisms, and be able to reuse the effluent without the threat of cultivation infection.

The present thesis studies the effect of UV-C radiation (low wavelength $100\text{nm} < \lambda < 280\text{nm}$) as a disinfectant in the waste liquid nutrient solution of hydroponic cultivations, both in laboratory scale and onsite, at hydroponic greenhouses. In total, then samples have been processed and two on site applications were have been carried out. The sampling took place in three different greenhouses in Crete, at the sub-prefectures of Chania and Rethymnon. Two greenhouses were located in Rethymnon (growing tomatoes on Rockwool substrate (Viran Episkopi of Rethymnon and Episkopi of Rethymnon), while the third one was located in Chania (growing cucumbers in NFT system (N.AG.RE.F, Chania)). The on site application of UV-C system in greenhouses was carried out in the greenhouses of Viran Episkopi of Rethymnon and Episkopi of Rethymnon.

The evaluation of UV-C as disinfectant was examined on three different groups of microorganisms (Total Coliforms, *E. coli* and *Enterococcus*). The results have shown that the disinfection efficiency in the laboratory was different from the one observed on site at the greenhouses. In the laboratory the death rates were nearly between 99,9% to 100% for very brief radiation time (13 and 15 seconds), whereas on the greenhouses more residence time was needed (45 seconds) to reach these death rates. Furthermore, in the laboratory tests the microorganisms which were tested did not present any resistance to the UV radiation; however, on site and for very brief radiation times (13sec, 15sec and 20sec) they proved to be resistant and especially the strains of *Enterococcus*. In spite of all these, we managed to achieve in the radiation times we have studied, both in the laboratory and on site, death rates which complying with the upper allowed limits for unrestricted irrigation.

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΥΔΡΟΠΟΝΙΑ

1.1 ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑΣ

Η υδροπονία χρησιμοποιούνταν για χιλιάδες χρόνια. Οι περίφημοι Κρεμαστοί Κήποι της Βαβυλώνας, ένα από τα επτά θαύματα του κόσμου, πιστεύεται πως λειτουργούσαν σύμφωνα με τις αρχές λειτουργίας της υδροπονίας. Χτισμένες το 600 π.Χ. στη Βαβυλωνία της Μεσοποταμίας, οι κήποι ήταν τοποθετημένοι κατά μήκος του Ευφράτη ποταμού. Το κλίμα της περιοχής ήταν ιδιαίτερα ξηρό και άγονο, με σπάνιες βροχοπτώσεις, και πιστεύεται πως οι καταπράσινοι κήποι υδροδοτούνταν από ένα σύστημα το οποίο αντλούσε νερό από τον ποταμό, μεταφέροντας το στο υψηλότερο επίπεδο της κατασκευής και στη συνέχεια έρεε ελεύθερα προς τα χαμηλότερα (<https://ydroponia.com/hydroponics/soillessculture/>).

Κατά το 10° και 11° αιώνα, οι Αζτέκοι ανέπτυξαν ένα σύστημα πλωτών κήπων βασισμένοι στην υδροπονία. Εκδιωγμένοι από τη γη τους, εγκαταστάθηκαν στη λίμνη Tenochtitlan. Μη έχοντας τη δυνατότητα να καλλιεργήσουν φυτά στις βαλτώδεις όχθες της λίμνης, κατασκεύασαν σχεδίες από καλάμια και ρίζες. Οι σχεδίες αυτές επικαλύφτηκαν με ένα λεπτό στρώμα χώματος από τον πάτο της λίμνης, και επέπλεαν στο νερό. Οι καλλιέργειες αναπτύσσονταν πάνω στις σχεδίες, ενώ οι ρίζες τους βρίσκονταν μέσα στο νερό (<https://ydroponia.com/hydroponics/soillessculture/>).

Η συστηματική μελέτη της υδροπονίας ξεκινάει το 1699 ως αποτέλεσμα της δουλειάς του John Woodward, μέλους του Βασιλικού Συλλόγου στην Αγγλία. Ο Woodward διεξήγαγε πειράματα προκειμένου να κατανοήσει τον τρόπο με τον οποίο τα φυτά λαμβάνουν τα απαραίτητα συστατικά για την ανάπτυξή τους. Η τεχνική παρέμεινε σε εργαστηριακή κλίμακα μέχρι το 1929, όταν ο καθηγητής William F. Gericke του πανεπιστημίου της Καλιφόρνια την πήρε από τα χέρια των πειραματιστών και την μετέτρεψε πρακτικά σε ανάπτυξη καλλιεργειών χωρίς έδαφος. Οι προσπάθειες του καθηγητή να δημιουργήσει μια υδροκαλλιέργεια είχε εξαιρετική επιτυχία, τόσο που τα καλλιεργούμενα φυτά τομάτας έφτασαν σε ύψος τα 8 μέτρα και η συλλογή των τοματών απαιτούσε τη χρήση σκάλας (<https://ydroponia.com/hydroponics/soillessculture/>). Σύμφωνα με τον Hewitt (1966), οι Knop (1860) και Sachs (1860) ήταν οι πρώτοι επιστήμονες που έφτιαξαν ένα τυποποιημένο θρεπτικό διάλυμα, με την προσθήκη διαφόρων ανόργανων αλάτων στο νερό και το χρησιμοποίησαν για την ανάπτυξη φυτών εκτός εδάφους, σε μια προσπάθεια να προσδιορίσουν τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία για την ανάπτυξη των φυτών. Η μελέτη της φυσιολογίας των φυτών στο επίπεδο των θρεπτικών αναγκών μελετήθηκε στη συνέχεια από πολλούς επιστήμονες που ανέπτυξαν διάφορες εναλλακτικές τεχνικές για να επιτύχουν καλύτερη ανάπτυξη των φυτών χωρίς την χρήση υποστρώματος. Σε άλλες μελέτες χρησιμοποιήθηκε ένα υπόστρωμα για την στήριξη και τον αερισμό του ριζικού συστήματος. Για να αποκλειστούν οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των συστατικών των θρεπτικών διαλυμάτων και των υποστρωμάτων, τα υποστρώματα έπρεπε να είναι χημικά αδρανή. Η χαλαζιακή άμμος και το αμμοχάλικο, ελεύθερα από ασβεστόλιθο, ήταν

τα δημοφιλέστερα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν εκείνη την εποχή στις μελέτες καλλιέργειας φυτών εκτός εδάφους. Η νέα αυτή επιστήμη ονομάστηκε “Υδροπονία” (Αγγλογάλλος, 2010).

Αν και τα επιστημονικά και τεχνολογικά επιτεύγματα της δεκαετίας του '30 ήταν εντυπωσιακά για την επιτυχή ανάπτυξη των φυτών εκτός εδάφους στα θερμοκήπια, ωστόσο ήταν ανεπαρκή για την οικονομική επιτυχία και τη βιωσιμότητα ενός τέτοιου εγχειρήματος. Η ανεπαρκής γνώση των αναγκών των φυτών σε θρεπτικά στοιχεία και νερό, τα προβλήματα αερισμού του ριζικού συστήματος, ο εξοπλισμός της άρδευσης και η περιορισμένη αυτοματοποίηση του συστήματος παροχής και ανακύκλωσης του θρεπτικού διαλύματος στα διάφορα συστήματα, ήταν οι κύριοι ανασταλτικοί παράγοντες επέκτασης της υδροπονίας σε εμπορική κλίμακα. Ωστόσο, ανεξάρτητα από τα απογοητευτικά αποτελέσματα, η υδροπονία εξαπλώθηκε ταχύτατα στην Ευρώπη, την Ινδία και τις Ηνωμένες Πολιτείες και πήρε ιδιαίτερη ώθηση κατά τον 2° Παγκόσμιο Πόλεμο. Η ικανότητα της τεχνικής να παράγει μεγάλες ποσότητες λαχανικών σε σύντομο χρονικό διάστημα για την τροφοδοσία του στρατού σε απομονωμένα νησιά, όπου το έδαφος ήταν ακατάλληλο για καλλιέργεια, καθώς επίσης και των στρατευμάτων κατοχής στη Ιαπωνία μετά την παύση των εχθροπραξιών, αξιοποιήθηκε επαρκώς. Τα συστήματα που εγκαταστάθηκαν για την τροφοδοσία των στρατευμάτων ήταν τεραστίων διαστάσεων και απαιτούσαν εξειδικευμένο προσωπικό για τη λειτουργία και τη συντήρησή τους. Μετά τον πόλεμο, πραγματοποιήθηκαν έρευνες σε αρκετές χώρες προκειμένου να αναπτυχθούν συστήματα τα οποία θα μπορούσαν να εγκατασταθούν και να λειτουργήσουν από ανειδίκευτους παραγωγούς και θα κάλυπταν ή θα συμπλήρωναν τις ανάγκες σε τρόφιμα μικρών πληθυσμών. Ένα τέτοιο κέντρο ιδρύθηκε στο Darjeeling της Ινδίας το 1946 (<https://ydroponia.com/hydroponics/soillessculture/>; Αγγλογάλλος, 2010).

Σήμερα, σε πολλά σπίτια και διαμερίσματα σε όλο τον κόσμο καλλιεργούνται τομάτες και άλλα κηπευτικά σε απλές υδροπονικές μονάδες σε ταρατσες, μπαλκόνια ή αυλές. Σε εμπορική κλίμακα η μέθοδος προκάλεσε ιδιαίτερο ενθουσιασμό κατά την διάρκεια των δεκαετιών '50 και '60, όπου οι περιοχές που καλλιεργήθηκαν παγκοσμίως αυξήθηκαν, ενώ παράλληλα άρχισαν να δημοσιεύονται μελέτες σχετικά με την σύνθεση των θρεπτικών υλικών. Το ενδιαφέρον για την εφαρμογή της υδροπονίας σε εμπορική κλίμακα αναβίωσε βαθμιαία μέχρι το τέλος της δεκαετίας του '60. Αυτή η τάση εμφανίστηκε κυρίως στο Ην. Βασίλειο, στην Ολλανδία και σε μερικές Σκανδιναβικές χώρες. Στην Αγγλία, για παράδειγμα, η παραδοσιακή μέθοδος καλλιέργειας τομάτας στο χώμα δεν είναι πλέον βιώσιμη σε πολλές περιοχές και οι καλλιεργητές καταφεύγουν στην υδροπονία (<https://ydroponia.com/hydroponics/soillessculture/>) (Αγγλογάλλος, 2010)).

1.2 ΟΡΙΣΜΟΣ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑΣ

Υδροπονία είναι η μέθοδος καλλιέργειας φυτών χωρίς τη χρήση του εδάφους ως μέσου ανάπτυξης του ριζικού συστήματος. Οι ρίζες των φυτών αναπτύσσονται είτε μέσα σε άλλα υλικά (υπόστρωμα), είτε σε νερό στο οποίο έχουν διαλυθεί όλα τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία (θρεπτικό διάλυμα) (Hydroflies, 2012).

1.3 ΦΑΣΕΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

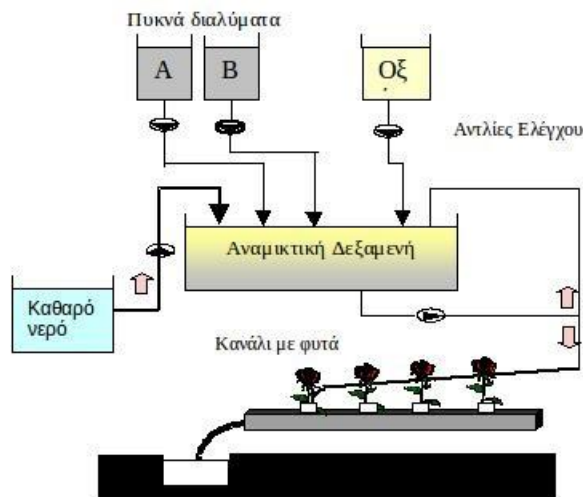
Τα υδροπονικά συστήματα ή συστήματα καλλιέργειας εκτός εδάφους διαχωρίζονται σε δύο φάσεις ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας τους. Η πρώτη αφορά στη διαχείριση των απορροών της καλλιέργειας και η δεύτερη στο μέσο ανάπτυξης της ρίζας των φυτών, δηλαδή αν η ρίζα των φυτών έρχεται σε άμεση επαφή με το θρεπτικό διάλυμα ή χρησιμοποιείται υπόστρωμα, οργανικής ή ανόργανης φύσης (Hydroflies, 2014).

1.3.1 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΡΡΟΩΝ

Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται τα ανοιχτά και τα κλειστά συστήματα όπου και αναλύονται στη συνέχεια.

1.3.1.1 ΑΝΟΙΚΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Αυτά τα συστήματα είναι τα πιο απλά και τα πρώτα που αναπτύχθηκαν. Έχουν διαδοθεί περισσότερο και έχουν λιγότερες απαιτήσεις. Στα ανοιχτά συστήματα, τα υγρά της αποστράγγισης δεν ανακυκλώνονται αλλά απορρίπτονται (εικόνα 1.1). Το γεγονός αυτό έχει σαν αποτέλεσμα αυξημένες απώλειες λιπασμάτων με την απορροή και ρύπανση του εδάφους και του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα. (<http://www.alagro.gr/anoixta-systhmata/>)



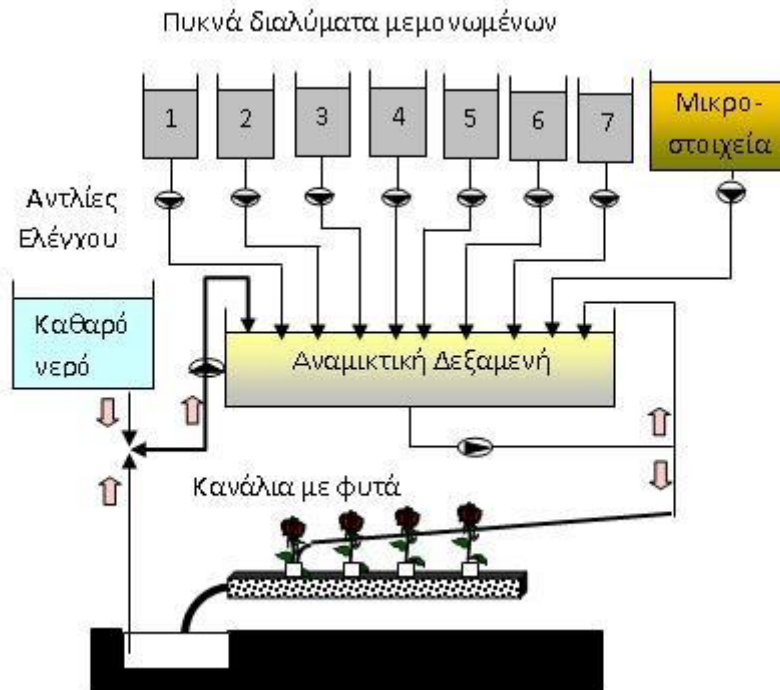
Εικόνα 1.1: Σχεδιάγραμμα ανοικτού (χωρίς ανακύκλωση) υδροπονικού συστήματος Α/Β δεξαμενών με χρήση αναμικτικής δεξαμενής, όπου οξ. η δεξαμενή οξέως (<http://www.alagro.gr/anoixta-systhmata/>).

1.3.1.2 ΚΛΕΙΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Στα κλειστά συστήματα το διάλυμα της απορροής ανακυκλώνεται και επαναχρησιμοποιείται σε μεγάλο ποσοστό (εικόνα 1.2). Με τον τρόπο αυτό έχουμε οικονομία στην κατανάλωση λιπασμάτων και σημαντική μείωση της ρύπανσης. Για λόγους συγκράτησης της ισορροπίας στο διάλυμα ένα μικρό ποσοστό πρέπει πάντα να απορρίπτεται. Αυτό επιτυγχάνεται είτε με συνεχή ποσοστιαία απόρριψη είτε με ολική απόρριψη του διαλύματος κατά αραιά χρονικά διαστήματα (<http://www.alagro.gr/kleista-systhmata/>).

Τα κλειστά συστήματα είναι περισσότερο ευαίσθητα σε μολύνσεις του ριζικού συστήματος και ένα σοβαρό μειονέκτημα είναι η πιθανή εξάπλωση ασθενειών σε όλα τα φυτά. Το μειονέκτημα όμως αυτό ξεπερνιέται με κατάλληλο σύστημα απολύμανσης της επανακυκλοφορίας του διαλύματος. Ωστόσο, το υψηλό κόστος επένδυσης, σε εξοπλισμό απολύμανσης της επανακυκλοφορίας, είναι ένας από τους περιοριστικούς παράγοντες εξάπλωσης αυτού του τύπου. Επίσης, η διατήρηση εύρωστων φυτών και καλού αέριου και ριζικού περιβάλλοντος καθώς και η προσεκτική ρύθμιση της ανακύκλωσης είναι φυσικοί τρόποι μείωσης της πιθανότητας μόλυνσης (<http://www.alagro.gr/kleista-systhmata/>).

Από μελέτες οικονομικών, τεχνικών και περιβαλλοντικών στοιχείων κλειστών συστημάτων για διάφορες ομάδες φυτών, έγινε ξεκάθαρο το γεγονός ότι με τα κλειστά συστήματα η κατανάλωση νερού και λιπασμάτων μπορεί να μειωθεί σημαντικά. Για το λόγο αυτό, σε πολλές χώρες η νομοθεσία θα οδηγήσει στην υποχρεωτική χρήση κλειστών υδροπονικών συστημάτων, αποβλέποντας στην μείωση της μόλυνσης των εδαφών και των υπογείων υδάτων (<http://www.alagro.gr/kleista-systhmata/>).



Εικόνα 1.2: Σχεδιάγραμμα κλειστού (με ανακύκλωση) υδροπονικού συστήματος δεξαμενών μεμονωμένων θρεπτικών στοιχείων, με χρήση αναμικτικής δεξαμενής (<http://www.alagro.gr/kleista-systhmata/>).

1.3.2 ΜΕΣΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΗΣ ΡΙΖΑΣ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ

Στην κατηγορία αυτή κατατάσσονται όλα τα συστήματα κλειστού και ανοιχτού τύπου. Τα υδροπονικά συστήματα, με βάση το μέσο ανάπτυξης της ρίζας, διαχωρίζονται σε συστήματα με υπόστρωμα και χωρίς υπόστρωμα. Στα υδροπονικά συστήματα με υπόστρωμα η ρίζα αναπτύσσεται μέσα σε κατάλληλο υλικό. Τέτοια υλικά είναι ο πετροβάμβακας, ο περλίτης, ο κοκκοφοίνικας, η ελαφρόπετρα κ.α. Τα συστήματα χωρίς υπόστρωμα είναι αυτά στα οποία η ρίζα αναπτύσσεται απευθείας μέσα στο θρεπτικό διάλυμα, χωρίς να υπάρχει κάποιο άλλο υλικό για την ανάπτυξη της ρίζας. Τέτοια συστήματα είναι το NFT, το σύστημα επίπλευσης(DFT) κ.α. (Πεπονάκης, 2012).

1.3.2.1 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΡΙΖΩΝ ΣΕ ΚΑΝΑΛΙΑ (ΧΩΡΙΣ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ)

Στα συστήματα αυτά οι ρίζες δεν στηρίζονται σε κάποιο μέσο παρά τοποθετούνται στα κανάλια συνεχούς ροής (NFT) ή σε δεξαμενές (DFT) είτε βρίσκονται εντελώς στον αέρα (αεροπονικά συστήματα). Όλα τα παραπάνω συστήματα είναι απαραίτητα κλειστά γιατί απουσιάζει το μέσο στήριξης της ρίζας.

Κανάλια συνεχούς ροής (NFT)

Η καλλιέργεια σε λεπτή στοιβάδα θρεπτικού διαλύματος η οποία είναι γνωστή διεθνώς με το ακρωνύμιο NFT (Nutrient Film Technique) είναι μέθοδος καλλιέργειας φυτών στην οποία το ριζικό σύστημα των φυτών αναπτύσσεται εντός ρέοντος θρεπτικού διαλύματος χωρίς την χρήση κάποιου στερεού υποστρώματος. Το θρεπτικό διάλυμα ρέει εντός καναλιών και το ύψος του δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 4 χιλιοστά ώστε να επιτυγχάνεται καλή οξυγόνωση του ριζικού συστήματος (εικόνα 1.3).

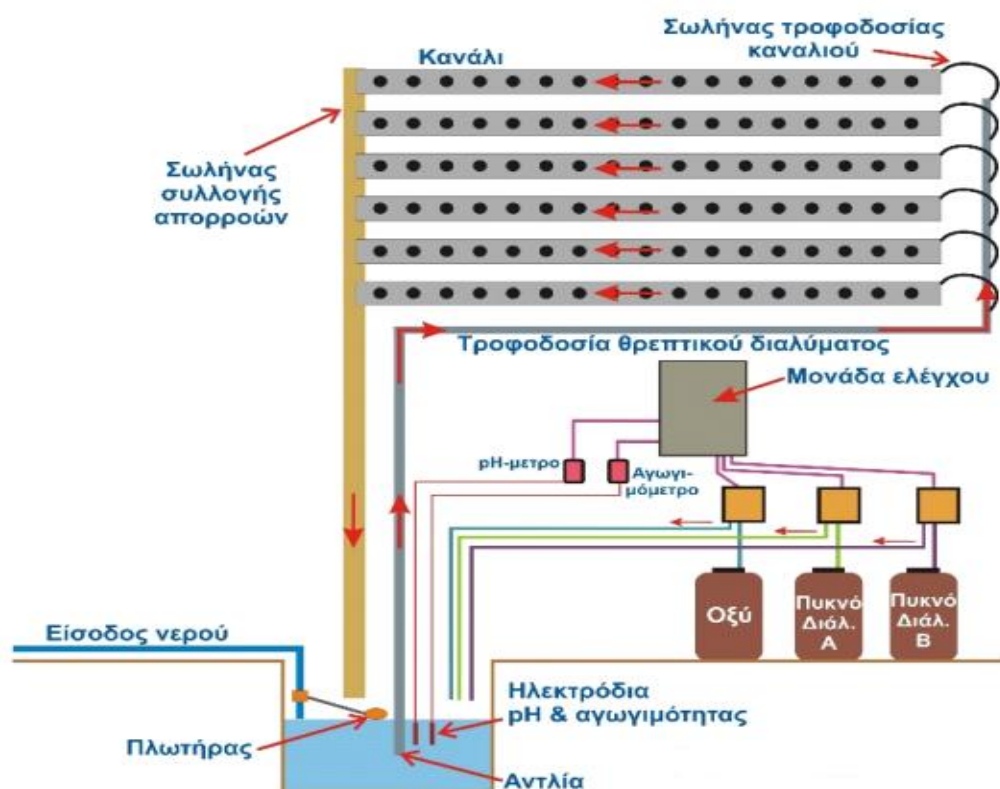
Μια τυπική εγκατάσταση NFT αποτελείται από:

α) Παράλληλα τοποθετημένα κανάλια (υδρορροές), με διαστάσεις που ποικίλλουν ανάλογα το καλλιεργούμενο φυτό, τα οποία έχουν κατάλληλη κλίση (1-2%) ώστε να ρέει το θρεπτικό διάλυμα με ρυθμό 1,5-4 λίτρα/λεπτό.

β) δίκτυο συλλογής του διαλύματος από τα κανάλια και επιστροφής του στη δεξαμενή ανακύκλωσης.

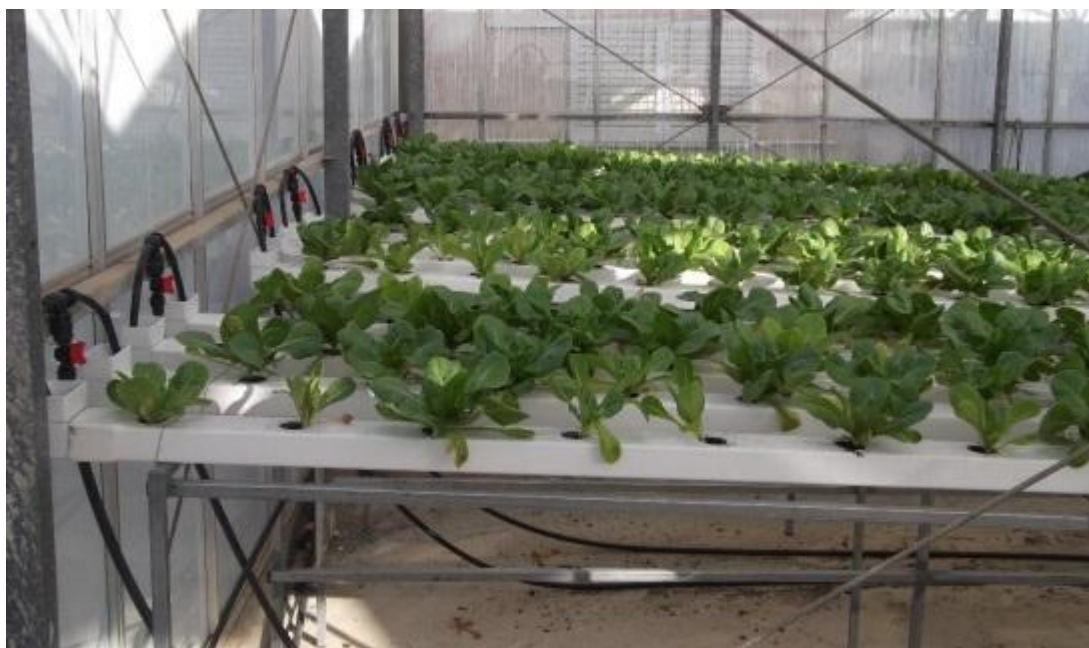
γ) σύστημα εμπλουτισμού του ανακυκλούμενου θρεπτικού διαλύματος με θρεπτικά στοιχεία και νερό.

δ) αντλία για την συνεχή κυκλοφορία του θρεπτικού διαλύματος (Hydroflies, 2012).



Εικόνα 1.3: Σχηματική απεικόνιση συστήματος NFT (Hydroflies, 2012).

Στη μέθοδο αυτή τα φυτά αναπτύσσονται σε κανάλια μήκους έως 20 μέτρων με κατάλληλη κλίση, ώστε να επιτυγχάνεται η φυσική ροή του θρεπτικού διαλύματος. Το πλάτος των καναλιών διαφοροποιείται ανάλογα με το ριζικό σύστημα που αναπτύσσει το κάθε φυτό. Έτσι στα φυτά με μεγάλη ρίζα που χρειάζονται στήριξη τα κανάλια είναι πλάτους 30εκ. και εσωτερικά τοποθετείται ένα ειδικό πλαστικό φύλλο. Έχει εξωτερικά λευκό χρώμα και εσωτερικά μαύρο. Τέτοια φυτά είναι η ντομάτα και το αγγούρι. Για τα φυτά που δεν χρειάζονται στήριξη τα κανάλια έχουν πλάτος 10-15εκ. Η επιφάνειά τους είναι επίπεδη και το κανάλι έχει οπές στην επιφάνεια σε αποστάσεις ανάλογες των αποστάσεων φύτευσης των φυτών (εικόνα 1.4) (Hydroflies, 2014).



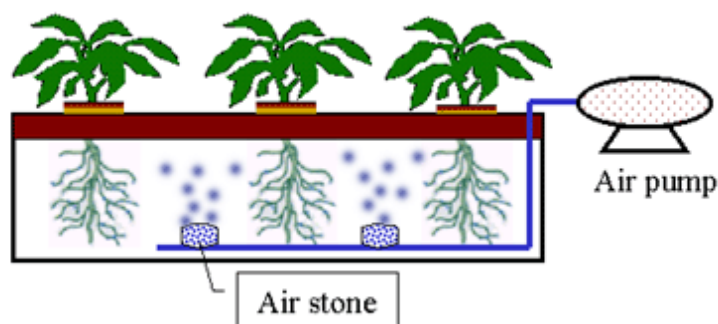
Εικόνα 1.4: Καλλιέργεια μαρουλιού σε NFT (Hydroflies, 2012).

Τα συστήματα NFT προσφέρουν ακρίβεια στη θρέψη, οικονομία στο νερό και στα λιπάσματα και είναι κατάλληλα και για υπαίθρια καλλιέργεια. Ωστόσο, έχουν υψηλό κόστος αρχικής εγκατάστασης, απαίτηση συνεχούς λειτουργίας αντλίας, συσσώρευση αλάτων στη δεξαμενή του θρεπτικού διαλύματος και άνοδο της αγωγιμότητας (Hydroflies, 2014).

Σύστημα επίπλευσης (DFT)

Στο σύστημα επίπλευσης (deep floating system) τα φυτά τοποθετούνται σε πλάκες διογκωμένης πολυστερίνης που επιπλέουν σε θρεπτικό διάλυμα με τις ρίζες τους να αναπτύσσονται εντός του θρεπτικού διαλύματος το οποίο με κάποιο τρόπο θα πρέπει να οξυγονώνεται (εικόνα 1.5). Οι πλάκες τοποθετούνται σε λεκάνες καλλιέργειας ύψους 25-30 εκ. με πλάτος και μήκος που κυμαίνονται ανάλογα με τις διαστάσεις του θερμοκηπίου. Το πάχος των πλακών θα πρέπει να είναι τέτοιο ώστε η άνοση που θα δημιουργούν να μπορεί να αντισταθμίσει το βάρος των φυτών,

συνήθως είναι από 2 εκ. έως 5 εκ.. Οι πλάκες μπορούν να μετακινηθούν στις λεκάνες ώστε η μεταφύτευση και η συγκομιδή να γίνονται γρήγορα. Θεωρητικά με το σύστημα επίπλευσης μπορούν να καλλιεργηθούν τα περισσότερα λαχανοκομικά και ανθοκομικά φυτά. Ωστόσο, στην γεωργική πράξη εφαρμόζεται κυρίως σε μικρού μεγέθους φυτά τα οποία καλλιεργούνται για το φύλλωμά τους όπως είναι το μαρούλι, ο μαϊντανός, ο δυόσμος κ.ά. Οι λεκάνες καλλιέργειας θα πρέπει να καλύπτονται με αδιάβροχο μη φυτοτοξικό υλικό. Συνήθως χρησιμοποιείται πλαστικό φύλλο πολυαιθυλενίου πάχους 500 μικρών, χρώματος μαύρου. Η ρύθμιση του θρεπτικού διαλύματος γίνεται με κεφαλή υδρολίπανσης στην οποία εισέρχεται το θρεπτικό διάλυμα από τις λεκάνες με τη βοήθεια αντλίας αναρρόφησης, διορθώνεται με βάση την αγωγιμότητα και το pH με την προσθήκη πυκνών διαλυμάτων και οξέως αντίστοιχα. Κατόπιν από την κεφαλή υδρολίπανσης επιστρέφει στις λεκάνες με πρόσπτωση από κάποιο ύψος ώστε να δημιουργούνται φυσαλίδες και να εμπλουτίζεται το θρεπτικό διάλυμα με οξυγόνο. Το σημείο πρόσπτωσης θα πρέπει να διαχωρίζεται από την υπόλοιπη καλλιέργεια ώστε να μην πέφτουν σταγονίδια στα φυτά. Στο θρεπτικό διάλυμα που εισέρχεται στη λεκάνη καλλιέργειας μπορεί να οξυγονώνεται και με εισαγωγή αέρα ώστε να διατηρείται το οξυγόνο σε όλο το θρεπτικό διάλυμα σε επίπεδα πάνω από 4 mg/l. Η στάθμη του θρεπτικού διαλύματος μέσα στις λεκάνες καλλιέργειας διατηρείται σταθερή με τη εισαγωγή νερού συνήθως μέσω μηχανικού πλωτήρα ή με αισθητήρα πίεσης που δίνει εντολή σε ηλεκτροβάννα (Hydroflies, 2014).



Εικόνα 1.5: Σχηματική απεικόνιση συστήματος DFT (<http://hydroponicsfarm.weebly.com/deep-floating-technique-dft.html>)

Τα συστήματα DFT προσφέρουν μεγάλο όγκο διαλύματος, συνεπώς δεν απαιτείται ούτε συχνή διόρθωση ούτε συνεχή λειτουργία της αντλίας. Το σύστημα αυτό είναι το πιο δημοφιλές για την καλλιέργεια φυλλωδών λαχανικών σε θερμοκήπιο, λόγω της αξιοποίησης του μεγαλύτερου εμβαδού του θερμοκηπίου αφού δεν χρειάζονται διάδρομοι και έχει χαμηλότερο κόστος συγκριτικά με ένα NFT σύστημα (Hydroflies, 2014). Ωστόσο, παρουσιάζει δυσκολίες στον έλεγχο της ποσότητας των θρεπτικών για μεγάλο αριθμό φυτών, απαιτεί συχνό έλεγχο της κατάστασης του θρεπτικού διαλύματος, το οποίο δεν μπορεί να παραμείνει για πάνω από τέσσερις εβδομάδες

στις δεξαμενές και συστηματικός έλεγχος της συγκέντρωσης οξυγόνου, διότι μπορεί να υπάρξει έλλειψη (Hydroflies, 2012; 2014).

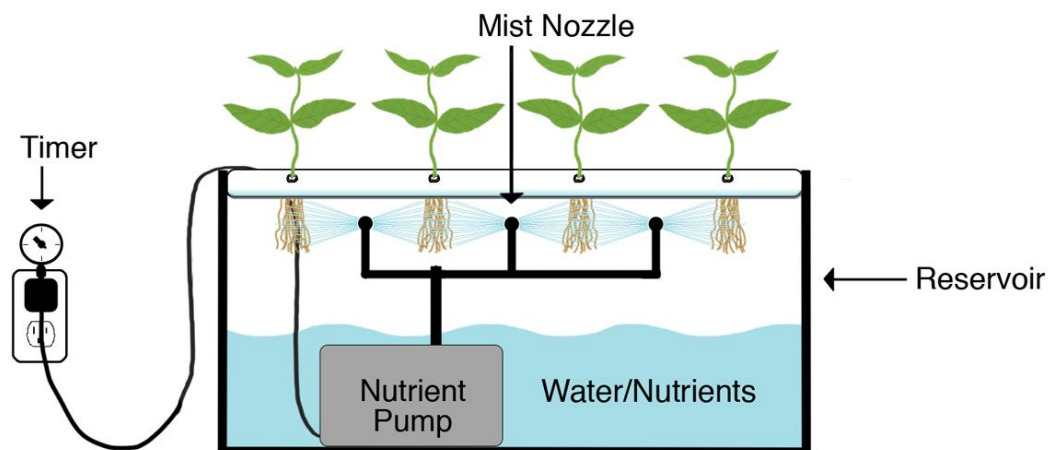
Το ριζικό σύστημα των φυτών και στα δύο συστήματα θα πρέπει να είναι λευκού χρώματος, ένδειξη υγιούς κατάστασης της ρίζας, χωρίς σκουρόχρωμες περιοχές (εικόνα 1.6) (Hydroflies, 2012).



Εικόνα 1.6: Υγιές ριζικό σύστημα φυτών στο σύστημα επίπλευσης (DFT) (Hydroflies, 2012) .

Αεροπονία

Στη μέθοδο αυτή τα φυτά καλλιεργούνται σε πλάκες από φελιζόλ και οι ρίζες τους ψεκάζονται περιοδικά με θρεπτικό διάλυμα σε μορφή νέφους (πολύ μικρά σταγονίδια). Σημαντικό είναι να μην υπάρχει φως ώστε να αποφευχθεί η ανάπτυξη των αλγών (εικόνα 1.7) (Hydroflies, 2014).



Εικόνα 1.7: Σχηματική απεικόνιση συστήματος αεροπονίας (<https://gr.pinterest.com/donnagracethomp/aeroponics/>).

1.3.2.2 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΡΙΖΩΝ ΣΕ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ

Στην υδροπονία σε υπόστρωμα τα φυτά αναπτύσσονται σε κάποιο φυσικό ή βιομηχανικά επεξεργασμένο πορώδες υλικό ή μείγματα αυτών, που μπορεί να συγκρατεί αέρα και νερό μέσα του.

Υπάρχουν δυο κατηγορίες υποστρωμάτων:

- Τα αδρανή, τα οποία δεν απελευθερώνουν θρεπτικά στοιχεία στο θρεπτικό διάλυμα.
- Τα οργανικά, τα οποία απελευθερώνουν θρεπτικά στοιχεία στο θρεπτικό διάλυμα.

Στην πρώτη κατηγορία ανήκει ο περλίτης, ο πετροβάμβακας και η ελαφρόπετρα, ενώ στη δεύτερη το πιο διαδεδομένο είναι ο κοκκοφοίνικας (Hydroflies, 2012).

Περλίτης

Ο περλίτης είναι ένα μοναδικό ηφαιστιογενές ορυκτό, πολλά κοιτάσματα υπάρχουν στη Μήλο, το οποίο διογκώνεται 13 φορές σε όγκο όταν θερμαίνεται σε 871 °C (εικόνα 1.8). Κατά τη διάρκεια της θέρμανσης το ορυκτό διογκώνεται και σχηματίζει ένα κοκκώδες λευκό υλικό που ζυγίζει 80-100 Kg/m³. Κάθε τεμάχιο περλίτη αποτελείται από μικρούς πόρους. Η επιφάνεια κάθε τεμαχίου καλύπτεται με μικρές κοιλότητες που δίνουν μια μεγάλη επιφάνεια. Οι επιφανειακές αυτές κοιλότητες συγκρατούν νερό και το καθιστούν διαθέσιμο στα φυτά. Επιπλέον, λόγω του

σχήματος κάθε τεμαχιδίου του περλίτη, εξασφαλίζονται πόροι για τον καλό αερισμό των ριζών (Hydroflies, 2012).



Εικόνα 1.8: Υπόστρωμα περλίτη (www.geoponiko-parko.gr).

Τα πλεονεκτήματα του περλίτη είναι:

- Βελτιώνει τον αερισμό και την στράγγιση.
- Εξασφαλίζει υγρασία και θρεπτικά στοιχεία για τα φυτά
- Έχει ανόργανη σύσταση και δεν ανοικοδομείται.
- Έχει ουδέτερο pH (6,5-7,5).
- Περιορίζει τις διακυμάνσεις θερμοκρασίας του εδάφους.
- Είναι απαλλαγμένος από ζιζάνια και ασθένειες.
- Είναι καθαρός, άοσμος, ελαφρύς και εύκολος στο χειρισμό.
- Είναι ανακυκλώσιμος (Hydroflies, 2012).

Ο περλίτης είναι υλικό που παράγεται στην Ελλάδα, η ικανότητα συγκράτησης νερού από τον περλίτη ανέρχεται σε 23% του ολικού πορώδους και έχει διάρκεια ζωής 3 χρόνια. Να σημειωθεί εδώ ότι ο περλίτης που χρησιμοποιείται σε κατασκευές και άλλες χρήσεις δεν είναι κατάλληλος για χρήση στην υδροπονία. Στην υδροπονία χρησιμοποιείται περλίτης συγκεκριμένης κοκκομετρίας, ώστε να επιτευχθούν συγκεκριμένες υδραυλικές ιδιότητες (Πεπονάκης, 2012).

Ελαφρόπετρα

Η ελαφρόπετρα επίσης παράγεται στην Ελλάδα. Και εδώ θα πρέπει να δοθεί προσοχή στην κοκκομετρία της ελαφρόπετρας που θα χρησιμοποιηθεί στην υδροπονία(εικόνα1.9) (Hydroflies, 2012).



Εικόνα 1.9: Υπόστρωμα ελαφρόπετρας (<https://www.geoanthos.gr>).

Πετροβάμβακας

Ο πετροβάμβακας είναι εισαγόμενο υλικό. Είναι το πιο διαδεδομένο υλικό παγκοσμίως καθώς διαθέτει εξαιρετικές υδραυλικές ιδιότητες. Το 96% του όγκου είναι κενό. Αυτό του δίνει μεγάλη υδατοχωρητικότητα. Έχει καλή στράγγιση και το μεγαλύτερο μέρος του νερού που συγκρατεί είναι εύκολα διαθέσιμο στην καλλιέργεια. Εδώ να σημειωθεί ότι ο βιομηχανικός πετροβάμβακας δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην υδροπονία. Στην υδροπονία χρησιμοποιείται ο υδροπονικός πετροβάμβακας ο οποίος έχει ειδική πλέξη και έχει εμβαπτιστεί σε ειδική ρητίνη, ώστε να αποκτήσει χαρακτηριστικά τέτοια που να τον κάνουν κατάλληλο για χρήση στην υδροπονία. Έχει διάρκεια ζωής 1-2 χρόνια, ανάλογα με τον τύπο. Σημαντικό μειονέκτημα του είναι ότι δεν είναι ανακυκλώσιμος (εικόνα 1.10) (Hydroflies, 2012).



Εικόνα 1.10: Υπόστρωμα πετροβάμβακα (<https://www.hydroponics.eu/rockwool-cube-7-5x7-5cm~1108.html>).

Κοκκοφοίνικας

Ο κοκκοφοίνικας είναι οργανικό υλικό. Παράγεται από τα υπολείμματα της καλλιέργειας καρύδας. Μετά την αφαίρεση της θρεπτικής ψίχας από το εσωτερικό της καρύδας, το σκληρό περίβλημα που μένει τεμαχίζεται και από αυτό παράγονται τα υποστρώματα κοκκοφοίνικα. Ο κοκκοφοίνικας δεν είναι

διαδεδομένος στην Ελλάδα. Έχει διάρκεια ζωής 3 χρόνια και σημαντικό πλεονέκτημα του είναι ότι είναι ανακυκλώσιμος (εικόνα 1.11) (Hydroflies, 2012)



Εικόνα 1.11: Υπόστρωμα κοκκοφοίνικα (<https://www.hydroculture.co.uk/coco-coir>).

1.4 ΘΡΕΠΤΙΚΑ ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑ

Τα θρεπτικά διαλύματα που χρησιμοποιούνται στην υδροπονία είναι υδατικά διαλύματα που περιέχουν όλα τα θρεπτικά στοιχεία που είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών και βρίσκονται διαλυμένα, είτε ως ιόντα ανόργανων αλάτων, είτε ως ευδιάλυτες ανόργανες χημικές ενώσεις, είτε ως ευδιάλυτες οργανικές χημικές ενώσεις. Το θρεπτικό διάλυμα παρέχεται στα φυτά είτε με απευθείας έγχυση των πυκνών διαλυμάτων στον αγωγό άρδευσης, είτε με την παρεμβολή στο σύστημα κάδου ανάμειξης (Hydroflies, 2014).

1.4.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ

Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC)

Είναι ένα μέγεθος που εκφράζει την ικανότητα του υδατικού διαλύματος να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα. Η ικανότητα του θρεπτικού διαλύματος να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα οφείλεται στην παρουσία ιόντων. Συνεπώς η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι ανάλογη της συνολικής συγκέντρωσης ιόντων στο διάλυμα. Όμως η EC δεν μας δίνει πληροφορίες για το είδος των ιόντων (K^+ , Na^+ , SO_4^{2-} κ.λπ.) που περιέχονται στο διάλυμα. Ωστόσο, αν η EC μειώνεται με την πάροδο του χρόνου, σημαίνει ότι καταναλώνονται θρεπτικά στοιχεία κατά την ομαλή ανάπτυξη της καλλιέργειας μας, που είναι απολύτως φυσιολογικό. Αν η EC αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου σημαίνει ότι υπάρχει συσσώρευση αλάτων/ιόντων, συνήθως μη χρήσιμων π.χ.

νατρίου, χλωρίου και έντονη αφαίρεση νερού, από την συμπύκνωση του θρεπτικού διαλύματος, δηλαδή συνθήκες αλάτωσης (Hydroflies, 2012; 2014).

Οξύτητα (pH)

Το pH είναι ο αρνητικός λογάριθμος της συγκέντρωσης ιόντων υδρογόνου (H^+) σε ένα υδατικό διάλυμα. Το pH ενός θρεπτικού διαλύματος είναι πολύ σημαντικό για την θρέψη των φυτών γιατί επηρεάζει τις χημικές ισορροπίες μεταξύ διαφόρων ιόντων και χημικών ενώσεων στο θρεπτικό διάλυμα. Κατά συνέπεια, το pH καθορίζει την διαλυτότητα και επομένως την διαθεσιμότητα πολλών θρεπτικών στοιχείων για τα φυτά. Οι επιθυμητές τιμές pH στο χώρο των ριζών κυμαίνονται από 5,5-6,5. Αυτές επιτυγχάνονται με την προσθήκη οξέως που αντιδρά με τα ανθρακικά ιόντα HCO_3^- που περιέχονται στο νερό άρδευσης. Συνήθως το pH τείνει να ανεβαίνει στο περιβάλλον των ριζών, η συνολική απορρόφηση θρεπτικών κατιόντων υπερέχει αυτής των ανιόντων, οπότε αποβάλλονται HCO_3^- ή OH^- . Αν το pH διατηρείται αυξημένο, υπάρχει πιθανή έλλειψη σιδήρου, μαγγανίου, χαλκού, ψευδαργύρου. Αν το pH διατηρείται χαμηλό, υπάρχει πιθανή έλλειψη ασβεστίου και μαγνησίου ή πιθανή τοξικότητα σιδήρου μαγγανίου, χαλκού, ψευδαργύρου και ευαισθησία σε αμμωνιακά (Hydroflies, 2012; 2014).

1.4.2 ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ

Απαραίτητο για την για την παρασκευή θρεπτικών διαλυμάτων είναι το νιτρικό ασβέστιο που παρέχει και ασβεστίου και νιτρικό άζωτο. Το επιπλέον άζωτο που απαιτείται θα πρέπει να παρέχεται από το νιτρικό κάλιο, το οποίο παρέχει επίσης κάλιο. Όλος ο φώσφορος μπορεί να ληφθεί από το φωσφορικό μονοκάλιο, το οποίο παρέχει επίσης και κάποια ποσότητα καλίου. Η υπόλοιπη απαιτούμενη ποσότητα σε κάλιο μπορεί να ληφθεί από το θειικό κάλιο, το οποίο προμηθεύει επίσης, το θρεπτικό διάλυμα, με κάποια ποσότητα θείου. Πρόσθετες ποσότητες θείου προέρχονται και από άλλες θειικές ενώσεις όπως θειικό μαγνήσιο, το οποίο καλύπτει τις ανάγκες σε μαγνήσιο. Ιχνοστοιχεία μπορούν να ληφθούν από εμπορικά προ-μείγματα. Ενώ αυτά είναι σχετικά ακριβά, σώζουν ουσιαστικά από επιπλέον εργασία ζύγισης των μεμονωμένων ενώσεων που περιέχονται στο μίγμα (Resh, 2012).

Μικρές καλλιέργειες μπορούν να χρησιμοποιήσουν προ-μείγματα για την εξασφάλιση των απαραίτητων μακροστοιχείων για τη θρέψη ενός φυτού, αλλά οι εμπορικές καλλιέργειες θα πρέπει να χρησιμοποιούν τις βασικές ενώσεις που παρατίθενται στον πίνακα 1.2. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι είναι πολύ δύσκολο να πάρεις ένα ομοιογενές μίγμα λιπασμάτων όταν εκατοντάδες κιλά μεμονωμένων ενώσεων αναμιγνύονται σε ένα μηχανικό αναδευτήρα. Πολλές από τις ενώσεις είναι σε μορφή κόκκων ή λεπτής σκόνης και συχνά είναι

ογκώδεις, με αποτέλεσμα να μην μπορούν αναμιχθούν ομοιόμορφα μηχανικά. Η εμπειρία με τέτοια προ-μίγματα έδειξε ελλείψεις σε μαγνήσιο, σχεδόν πάντα έλλειψη σιδήρου και συχνά πλεονασμό μαγγανίου. Επιπλέον, τα προ-μίγματα δεν προσφέρουν ευελιξία στο χειρισμό της σύνθεσης του θρεπτικού διαλύματος, η οποία είναι απαραίτητη κατά την διάρκεια των διάφορων φάσεων ανάπτυξης των φυτών και κατά τις αλλαγές στη διάρκεια της ημέρας. Αυτή η δυνατότητα χειρισμού της σύστασης του θρεπτικού διαλύματος είναι αναγκαία για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης των καλλιεργειών (Resh, 2012). Τα απαραίτητα στοιχεία για τη θρέψη ενός φυτού και η χημικές μορφές τους στο θρεπτικό διάλυμα δίνονται στον πίνακα 1.1.

Πίνακας 1.1: Χημικά στοιχεία θρεπτικού διαλύματος σε καλλιέργεια υδροπονίας (Hydroflies, 2014).

Μακροστοιχείο	Χημική μορφή	Ιχνοστοιχείο	Χημική μορφή
Άζωτο (N)	NO_3^- , NH_4^+	Σίδηρος (Fe)	Fe^{2+}
Φώσφορος (P)	H_2PO_4^-	Μαγγάνιο (Mn)	Mn^{2+}
Θείο (S)	SO_4^{2-}	Ψευδάργυρος (Zn)	Zn^{2+}
Κάλιο (K)	K^+	Χαλκός (Cu)	Cu^{2+}
Ασβέστιο (Ca)	Ca^{2+}	Βόριο (B)	H_3BO_3
Μαγνήσιο (Mg)	Mg^{2+}	Μολυβδαίνιο (Mo)	MoO_4^{2-}

Τα στοιχεία αυτά παρέχονται στη μορφή πλήρως υδροδιαλυτών ενώσεων μέσω των παρακάτω λιπασμάτων που έχει ο παραγωγός στη διάθεση του (πίνακας 1.2).

Πίνακας 1.2: Λιπάσματα διαθέσιμα στους παραγωγούς (Hydroflies, 2014).

Λιπάσματα Μακροστοιχείων	Λιπάσματα Ιχνοστοιχείων
Νιτρικό Ασβέστιο	Θειικό Μαγγάνιο
Νιτρικό Κάλιο	Θειικός Ψευδάργυρος
Νιτρική Αμμωνία	Θειικός Χαλκός
Νιτρικό Μαγνήσιο	Βορικό Οξύ
Φωσφορικό μονοκάλιο	Βόρακας
Φωσφορικό οξύ	Solubor
Θειικό Μαγνήσιο	Επταμολυβδαινικό αμμώνιο
Θειικό Κάλιο	Μολυβδαινικό Νάτριο

Η παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος γίνεται μέσω πυκνών μητρικών διαλυμάτων (100-200 φορές συμπυκνωμένα) τα οποία με δοσομετρική αντλία αραιώνονται σε καθορισμένη αναλογία στο νερό άρδευσης. Χρησιμοποιούνται τουλάχιστον δύο δοχεία πυκνών διαλυμάτων και ένα οξέος. Η χρήση δύο δοχείων πυκνών διαλυμάτων είναι απαραίτητη, γιατί το νιτρικό ασβέστιο πρέπει να τοποθετείται σε διαφορετικό δοχείο από τα φωσφορικά και θειικά λιπάσματα. Αυτό για αποφυγή κατακρήμνισης $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ και CaSO_4 , λόγω χαμηλής διαλυτότητας αυτών των λιπασμάτων. Το πυκνό διάλυμα οξέος (συνήθως HNO_3) χρησιμεύει στον έλεγχο του pH του διαλύματος.

Βασική αρχή για την σύνθεση ενός θρεπτικού διαλύματος είναι η επίτευξη των επιθυμητών τιμών στα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Συνολική συγκέντρωση ανόργανων ιόντων (EC)
- pH
- Αναλογίες ιοντικών συγκεντρώσεων μακροστοιχείων (meq/meq), K:Ca:Mg και N:K
- Η συγκέντρωση των ιόντων NH_4^+ , που μεταβάλλεται ανάλογα με την ανθεκτικότητα του φυτού και τις διακυμάνσεις του pH στη ριζόσφαιρα. $(\text{NH}_4^+)/(\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-)$ $(\text{H}_2\text{PO}_4^-)/(\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{PO}_4^-)$
- Συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων

Οι υπολογισμοί των δοσολογιών πρακτικά γίνονται μέσω προγράμματος στον υπολογιστή αυτόματα από την κεφαλή υδρολίπανσης (εικόνα. 1.12) (Hydroflies, 2014).



Εικόνα 1.12: Αριστερά απεικονίζεται η δεξαμενή πυκνών θρεπτικών διαλυμάτων και δεξιά ο υπολογιστής παρασκευής θρεπτικών διαλυμάτων, στο θερμοκήπιο της Βιράν Επισκοπής, Ν. Ρεθύμνου.

1.4.3 ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ

Την τελευταία δεκαετία, οι φυσικοί πόροι όπως το έδαφος και το νερό τείνουν να εκλείψουν. Το 87% του γλυκού νερού ετησίως χρησιμοποιείται στην αγροτική παραγωγή. Σε γενικές γραμμές, είναι δύσκολο να προσδιοριστεί με ακρίβεια η ετήσια παροχή νερού παγκοσμίως, λόγω των εποχιακών και γεωργικών διακυμάνσεων και η όλο και αυξανόμενη ελάττωση των παγκόσμιων αποθεμάτων νερού απειλούν την οικονομική ανάπτυξη, την βιωσιμότητα, την ποιότητα του περιβάλλοντος και πλήθος άλλων κοινωνικών στόχων σε άνδρες και ημι-άνδρες περιοχές σε πολλά μέρη του κόσμου, όπως την Νότια Αφρική, τη Μέση Ανατολή, τη Νότια Ευρώπη και τη Νότια Αμερική. Διάφορες μελέτες που διεξήχθησαν πρόσφατα σχετικά με την έλλειψη των αποθεμάτων νερού, πρότειναν για την διατήρηση των αποθεμάτων την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για γεωργικούς σκοπούς (Kumar and Cho, 2014).

Οι υδροπονικές καλλιέργειες απαιτούν μεγάλες ποσότητες νερού και απαραίτητα θρεπτικά συστατικά για την βελτιστοποίηση της φυτικής παραγωγής. Βασικά μακροστοιχεία και ιχνοστοιχεία παρέχονται στα φυτά με την διάλυση των λιπασμάτων στο νερό για την παραγωγή θρεπτικών διαλυμάτων. Τα υδροπονικά θρεπτικά διαλύματα περιέχουν άζωτο (N), φώσφορο (P), κάλιο (K), ασβέστιο (Ca), μαγνήσιο (Mg), θείο (S), σίδηρος (Fe), βόριο (B), χαλκός (Cu), μαγγάνιο (Mn) και ψευδαργύρου (Zn). Ωστόσο, το θρεπτικό διάλυμα θα πρέπει να αντικαθίσταται, δημιουργώντας υδροπονικά απόβλητα πλούσια σε άζωτο και φώσφορο. Όταν αυτά τα θρεπτικά στοιχεία εκχυθούν στο περιβάλλον μπορούν να προκαλέσουν ρύπανση του εδάφους και του υπόγειου υδροφόρου. Έρευνες έδειξαν ότι η ποσότητα του θρεπτικού διαλύματος που παρέχεται σε μια υδροπονική καλλιέργεια είναι 20 με 30% περισσότερη από αυτή που απαιτείται, λαμβάνοντας υπόψη και την μεταβλητότητα της άρδευσης, την απορρόφηση από τα φυτά και από το υπόστρωμα (Kumar and Cho, 2014).

Σε πειραματικές θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις η παραγόμενη καθημερινά ποσότητα θρεπτικού αποβλήτου ήταν 2.880 L/ha*day, αυτή η ποσότητα θα μπορούσε να ποτίσει μια περιοχή 409,86 m², για να αντισταθμίσει την ποσότητα απώλειας νερού που προέκυπτε από την εξατμισοδιαπνοή. Τις περισσότερες φορές τα απόβλητα που προκύπτουν από τις υδροπονικές καλλιέργειες απορρίπτονται σε λίμνες, θάλασσες ή ποταμούς χωρίς καμία επεξεργασία. Στην Κορέα τα απόβλητα των υδροπονικών εγκαταστάσεων εντάσσονται στα βιομηχανικά λύματα σύμφωνα με τον νόμο Water Quality Conservation Act of Korea και τα ανώτατα επιτρεπτά όρια ολικού αζώτου (T-N) και ολικού (T-P) στα υδροπονικά απόβλητα, για την απόρριψή τους στο περιβάλλον, ορίζονται σε 60 και 8 mg/L αντίστοιχα. Η απόρριψη ανεπεξέργαστων υδροπονικών λυμάτων στο νερό αποτελεί σημαντική περιβαλλοντική ανησυχία, καθώς τα υδροπονικά λύματα περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών και φωσφορικών ενώσεων* θρεπτικά στοιχεία που

μπορούν να προκαλέσουν φαινόμενα ευτροφισμού και να απελευθερώσουν τοξίνες στο νερό, επικίνδυνες για τα ζώα και τους ανθρώπους (Kumar and Cho, 2014).

Απαραίτητη είναι η ανάπτυξη καινοτόμων τεχνολογιών για την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών κινδύνων που συνδέονται με την απόρριψη των θρεπτικών διαλυμάτων στο περιβάλλον. Το θρεπτικό απόβλητο, που προέρχεται από τα υδροπονικά συστήματα καλλιέργειας, θα πρέπει να επεξεργάζεται με φυσικές και βιολογικές μεθόδους, όπως η καθίζηση, η μέθοδος της ενεργής ιλύος και της διήθησης, πριν την απόρριψη του στο περιβάλλον για την εξάλειψη των επιβλαβών παραγόντων. Επίσης, η ανάπτυξη των τεχνολογιών για την επαναχρησιμοποίηση των θρεπτικών διαλυμάτων μπορούν να παρέχουν μια ευκαιρία μείωσης της ποσότητας των θρεπτικών αποβλήτων και να συμβάλουν στην αύξηση της διαθεσιμότητας του νερού. Η επαναχρησιμοποίηση των θρεπτικών διαλυμάτων σε υδροπονική καλλιέργεια παράγει μεγάλη οικονομική αξία, διότι μειώνει το κόστος χρησιμοποίησης των λιπασμάτων, μειώνει την περιβαλλοντική ρύπανση από την απόρριψη των θρεπτικών αποβλήτων και αυξάνει την απόδοση των καλλιεργειών, αφού θρεπτικά συστατικά όπως το NO_3^- και το PO_4^- είναι διαθέσιμα για την ανάπτυξη των καλλιεργειών χωρίς κανένα κόστος (Kumar and Cho, 2014).

Εν κατακλείδι, οι λόγοι που οδήγησαν στην υιοθέτηση της επαναχρησιμοποίησης του θρεπτικού διαλύματος στα υδροπονικά συστήματα καλλιέργειας ήταν η ανάγκη για μείωση της κατανάλωσης του νερού άρδευσης σε άνυδρες και ημι-άνυδρες περιοχές του κόσμου, η ανάγκη για τον περιορισμό της περιβαλλοντικής ρύπανσης που προέρχεται από την ανεξέλεγκτη απόρριψη των θρεπτικών διαλυμάτων στο περιβάλλον και η ανάγκη της μείωσης του λειτουργικού κόστους των υδροπονικών συστημάτων (Kumar and Cho, 2014).

1.5 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΕΝΑΝΤΙ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΕΔΑΦΟΣ

Οι καλλιέργειες εκτός εδάφους είναι πιο αποδοτικές από τις αγροτικές καλλιέργειες, παρουσιάζουν αυξημένη σοδειά έναντι των καλλιεργειών του εδάφους και αυτό οφείλεται σε διάφορους παράγοντες. Σε ορισμένες περιπτώσεις, το έδαφος μπορεί να στερείται θρεπτικών συστατικών και να έχει κακή δομή. Επίσης, η παρουσία παρασίτων και ασθενειών στο έδαφος μπορούν να μειώσουν σημαντικά την συνολική παραγωγή. Ωστόσο, πολλά από αυτά τα προβλήματα μπορούν να αποφευχθούν με την χρήση κατάλληλων λιπασμάτων και την απολύμανση του εδάφους. Αλλά και πάλι αυτό θα αντιπροσώπευε τις μικρότερες αυξήσεις στην απόδοση που θα μπορούσαν να επιτευχθούν σε μια υδροπονική καλλιέργεια. Έρευνες έδειξαν ότι, κάτω από συνθήκες θερμοκηπίου, όταν οι περιβαλλοντικές συνθήκες εκτός του θρεπτικού μέσου ήταν παρόμοιες και για τις δυο καλλιέργειες (υδροπονικής και του εδάφους) οι ντομάτες που καλλιεργούνταν υδροπονικά παρουσίαζαν συνήθως αύξηση στην παραγωγή κατά 20-25%. Γενικά, τα

κύρια πλεονεκτήματα της υδροπονίας έναντι της καλλιέργειας σε έδαφος είναι η πιο αποτελεσματική ρύθμιση των θρεπτικών συστατικών, η διαθεσιμότητα σε περιοχές του κόσμου που έχουν μη καλλιεργήσιμη γη, η αποτελεσματική χρήση νερού και λιπασμάτων και η δυνατότητα πυκνότερης φύτευσης, με αποτέλεσμα την αύξηση της απόδοσης ανά στρέμμα (Resh, 2012).

1.6 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑΣ

Πλεονεκτήματα Υδροπονίας

- Ριζική αντιμετώπιση των προβλημάτων ασθενειών του εδάφους.
- Δεν υφίσταται ανάγκη για απολύμανση του εδάφους.
- Αντιμετωπίζεται η χαμηλή γονιμότητα που εμφανίζουν τα εδάφη θερμοκηπίου.
- Δυνατότητα χρήσης νερού με υψηλά άλατα ($EC > 1-1,5 \text{ dS/m}$) σε ανοιχτά συστήματα.
- Μειωμένο κόστος θέρμανσης & εξοικονόμηση ενέργειας.
- Πρωίμιση παραγωγής και αύξηση των αποδόσεων.
- Ακριβής και ελεγχόμενη θρέψη των φυτών.
- Απαλλαγή από τις εργασίες της προετοιμασίας του εδάφους (όργωμα, φρεζάρισμα, βασική λίπανση, κ.λπ.) και δεν υπάρχει η αγρανάπαυση.
- Βελτίωση της ποιότητας των καλλωπιστικών φυτών και ίσως των λαχανοκομικών.
- Προστασίας του περιβάλλοντος (κλειστό υδροπονικό σύστημα).

Μειονεκτήματα υδροπονίας

- Υψηλό κόστος της αρχικής εγκατάστασης μιας υδροπονικής μονάδας
- Λανθασμένοι χειρισμοί έχουν δυσμενείς και έντονες επιδράσεις.
- Επιμόρφωση παραγωγών & χρήση ειδικευμένων γνώσεων.
- Κίνδυνος εύκολης εξάπλωσης (κλειστά συστήματα) μιας μόλυνσης μέσω του ανακυκλούμενου θρεπτικού διαλύματος (σκόπιμη είναι η απολύμανση του διαλύματος).
- Ορισμένοι παραγωγοί παραπονούνται ότι στα ανοιχτά υδροπονικά συστήματα η κατανάλωση λιπασμάτων είναι αυξημένη σε σύγκριση με του εδάφους (Hydroflies, 2012).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ ΣΤΗΝ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τόσο οι παραγωγοί όσο και οι κυβερνήσεις, αναγνωρίζουν ότι για λόγους προστασίας του περιβάλλοντος, τα υγρά της αποστράγγισης, των υδροπονικών καλλιεργειών, δεν θα πρέπει να απορρίπτονται, για την αποφυγή ρύπανσης του έδαφους και του υπόγειου υδροφορέα, αλλά να συλλέγονται και να επαναχρησιμοποιούνται εντός κλειστών συστημάτων επανακυκλοφορίας (Ehret et al., 2001).

Τα συστήματα αυτά επιτρέπουν καλή περιβαλλοντική διαχείριση και δίνουν την δυνατότητα στους παραγωγούς να εξοικονομήσουν νερό και λίπασμα. Ωστόσο, είναι περισσότερο ευαίσθητα σε μολύνσεις του ριζικού συστήματος και ένα σοβαρό μειονέκτημα είναι η πιθανή εξάπλωση ασθενειών σε όλα τα φυτά της καλλιέργειας (Ehret et al., 2001).

Οι ασθένειες της ρίζας αποτελούν σημαντικό πρόβλημα στην παραγωγή καλλιεργειών θερμοκηπίου, που επηρεάζουν τόσο την απόδοση, όσο και την ποιότητα του εμπορικού προϊόντος. Η μόλυνση του θρεπτικού διαλύματος από παθογόνους μικροοργανισμούς μπορεί να προκύψει από διάφορες πηγές, όπως από μολυσμένο νερό της βροχής, επιφανειακό νερό και μολυσμένο υπόστρωμα. Επίσης, έρευνες έχουν δείξει ότι ορισμένοι παθογόνοι μικροοργανισμοί είναι εύκολο να εξαπλωθούν μέσω των θρεπτικών διαλυμάτων, λόγω της επανακυκλοφορίας τους. Συνεπώς, καθίσταται αναγκαία η απολύμανση της επανακυκλοφορίας, για την αποφυγή μολύνσεων του ριζικού συστήματος (Ehret et al., 2001).

2.2 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗΣ

Απολύμανση είναι η εξάλειψη ή μείωση τουλάχιστον 1.000-10.000 φορές του αριθμού των παθογόνων και δυνητικά παθογόνων μικροοργανισμών (αλλά όχι των ανθεκτικών τους μορφών, όπως των σπόρων τους) με χρήση φυσικών, χημικών ή άλλων μέσων (<http://www.klinex.gr/protection/disinfection/>). Η απολύμανση διαφέρει από την αποστείρωση. Η αποστείρωση συνεπάγεται την καταστροφή όλων των παθογόνων λοιμωδών ή παρασιτικών παραγόντων συμπεριλαμβανομένων και των μικροβιακών σπορίων σε ένα μέσο, ενώ η απολύμανση καθιστά ένα μέσο κατά ένα μεγάλο μέρος, και όχι πλήρως, ελεύθερο από μολυσματικούς παράγοντες. Η απολύμανση μπορεί να επιτευχθεί μέσω της εφαρμογής θερμότητας, φωτός (ακτινοβολίας), οξειδωτικών χημικών ουσιών, οξέων και αλκαλίων, ιόντων μετάλλων, και χημικών ουσιών ενεργής επιφάνειας (Μάρακας, 2006).

2.3 ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ ΤΩΝ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ ΑΝΑΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

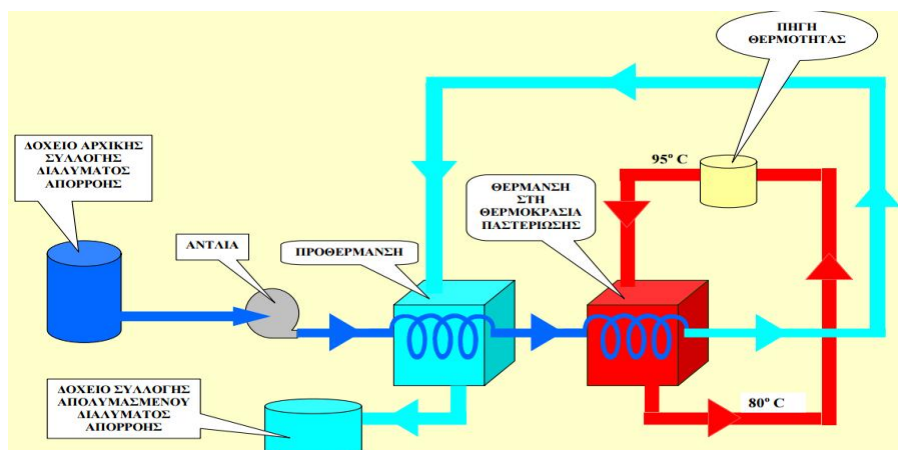
Με την πάροδο των χρόνων και εντονότερα την τελευταία δεκαετία, έχουν μελετηθεί διάφορες τεχνικές απολύμανσης για την ικανότητα τους να ελαχιστοποιούν την εξάπλωση των παθογενειών του ριζικού συστήματος, λόγω της επανακυκλοφορίας του θρεπτικού διαλύματος. Μερικές από αυτές τις τεχνικές χρησιμοποιούνται σήμερα με επιτυχία στις θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις και άλλες βρίσκονται ακόμα υπό μελέτη. Καθεμία από αυτές έχει τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα με βάση την αποτελεσματικότητα, το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης και την αξιοπιστία. Ανάλογα με το είδος της τεχνικής που χρησιμοποιείται στην υδροπονία, διακρίνονται πέντε βασικές κατηγορίες απολύμανσης. Η θερμική, η χημική επεξεργασία, η υπεριώδης ακτινοβολία, η διήθηση και η βιολογική φυτοπροστασία (Ehret et al., 2001) .

2.3.1 ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ (ΠΑΣΤΕΡΙΩΣΗ)

Για την καταστροφή όλων των παθογόνων (μύκητες, βακτήρια και ιούς) απαιτούνται θερμοκρασίες 95°C για 15 δεύτερα, ενώ για το φουζάριο και τον ιό του μωσαϊκού της ντομάτας-ToMV απαιτούνται 85°C για 3 λεπτά.

Τα εμπορικά συστήματα (εικόνα2.1) που έχουν αναπτυχθεί βασίζονται στην θερμική επεξεργασία του θρεπτικού διαλύματος στους 95 ° C για τριάντα δευτερόλεπτα και συχνά συνοδεύονται από ένα σύστημα ταχείας διήθησης, για την αφαίρεση πρασινάδων και άλλων σωματιδίων. Η θέρμανση των θρεπτικών διαλυμάτων προκαλεί σε αυτές τις θερμοκρασίες συσσώρευση ιζήματος στις σπείρες θέρμανσης και στις σωληνώσεις, για αυτό συχνά προστίθεται οξύ στα θρεπτικά διαλύματα σε μικρές ποσότητες πριν από την θερμική επεξεργασία. Στα περισσότερα εμπορικά συστήματα παστερίωσης, αυτό γίνεται αυτόματα.

Τα θερμικά επεξεργασμένα διαλύματα δεν έχει παρατηρηθεί να αυξάνουν την θερμοκρασία του διαλύματος που επιστρέφει στην καλλιέργεια, λόγω της αναμείξεως του με ψυχρότερο φρέσκο διάλυμα. Η μέθοδος αυτή είναι αποτελεσματική ενάντια σε όλα τα παθογόνα (μύκητες, βακτήρια και ιούς), θεωρείται σχετικά απλή τεχνολογία και δεν προκαλεί φυτοτοξικότητα. Ωστόσο, έχει υψηλό λειτουργικό κόστος (Ehret et al., 2001; IGE, 2014).



Εικόνα 2.1: Σχηματική απεικόνιση συστήματος θερμικής επεξεργασίας
(<http://www.ekk.aua.gr/seminar/seminar01.pdf>).

2.3.2 ΧΗΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Ενώ έχουν αναπτυχθεί διάφορα χημικά μυκητοκτόνα τα οποία είναι αποτελεσματικά ενάντια στους παθογόνους μικροοργανισμούς που έχουν βρεθεί στις καλλιέργειες θερμοκηπίων. Παρόλα αυτά, είναι ασαφές τι επιπτώσεις μπορεί να έχουν αυτές οι ενώσεις στα συστήματα επανακυκλοφορίας. Για το λόγο αυτό, έχουν διενεργηθεί διάφορες μελέτες για την πιθανή χρήση μεθόδων που να εστιάζουν στην εξάλειψη του ευρέως συνόλου των μικροοργανισμών που μπορούν να πλήξουν μια υδροπονική καλλιέργεια, όπως η χλωρίωση, η οζόνωση, κ.λπ. (Ehret et al., 2001).

2.3.2.1 ΟΖΟΝΩΣΗ

Το όζον είναι αέριο, άχρωμο με μεγάλη διαβρωτική και τοξική δράση. Αποτελείται από 3 άτομα οξυγόνου, για αυτό είναι πολύ ασταθές και γρήγορα μετατρέπεται σε αέριο οξυγόνο και μία ελεύθερη ρίζα οξυγόνου η οποία είναι πολύ δραστική και οξειδώνει οργανικά σωματίδια, που βρίσκονται στο νερό π.χ. πρωτεΐνες, υδατάνθρακες και χουμικά οξέα (Ehret et al., 2001).

Το όζον χρησιμοποιείται ευρέως, για πολλά χρόνια, στην απολύμανση του πόσιμου νερού, των λυμάτων και των ενυδρείων. Κατά τα τελευταία περίπου δέκα χρόνια το όζον έχει χρησιμοποιηθεί ως απολυμαντικός παράγοντας και στα συστήματα επανακυκλοφορίας των θρεπτικών διαλυμάτων. Πρώιμες μελέτες έδειξαν ότι το όζον μπορεί να σκοτώσει αποτελεσματικά παθογόνα όπως το *Corynebacterium* και το *Fusarium*, αλλά η αποτελεσματικότητά του ήταν μειωμένη στο θρεπτικό διάλυμα, λόγω της αλληλεπίδρασης του με χηλικές ενώσεις σιδήρου. Επίσης, πειράματα που έγιναν σε δοκιμαστικούς σωλήνες, με μικροοργανισμούς καλλιεργημένους στο εργαστήριο, έδειξαν ότι το όζον είναι αποτελεσματικό στην μείωση του πληθυσμού των παθογόνων βακτηρίων (*Corynebacterium*, *Pseudomonas*, *Erwinia*) και του μύκητα *Fusarium*. Μολονότι, η συγκέντρωση του όζοντος που χρησιμοποιήθηκε δεν

είχε αναφερθεί, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο χρόνος που απαιτείται για την μείωση του πληθυσμού των μικροοργανισμών από 5×10^3 cells/ml – 5×10^4 cells/ml σε 1 cell/ml ήταν αρκετά υψηλός(από 60 έως 120 λεπτά). Ωστόσο, άλλες εργαστηριακές μελέτες έδειξαν ότι σχετικά μικρότερος χρόνος επαφής (20 λεπτά) χρειαζόταν για την εξάλειψη του *Fusarium* και του *Verticillium* (Ehret et al., 2001).

Η μέθοδος αυτή είναι αποτελεσματική ενάντια σε όλα τα παθογόνα (μύκητες, βακτήρια και ιούς), αλλά απαιτεί σχετικά μεγάλο χρόνο επαφής για την απολύμανση των θρεπτικών διαλυμάτων. Επιπλέον, οξειδώνει τον σίδηρο, το μαγγάνιο και τα σουλφίδια και μπορεί να αντιδράσει με μερικά λιπάσματα και να επιφέρει αλλαγές στην σύσταση του θρεπτικού διαλύματος (ΙΓΕ, 2014).

2.3.2.2 ΥΠΕΡΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ (H_2O_2)

Αν το H_2O_2 προστεθεί στο νερό, ελευθερώνει ενεργό οξυγόνο O^{\cdot} και νερό, γεγονός που το καθιστά ελκυστικό ως απολυμαντικό. Εργαστηριακές μελέτες in vitro έδειξαν ότι 1 mM H_2O_2 θα απέτρεπε εντελώς την βλάστηση κονιδίων και θα μείωνε σημαντικά την μυκηλιακή ανάπτυξη τριών ειδών του *Fusarium*. Άλλες έρευνες έδειξαν ότι για την θανάτωση των κονιδίων του *F.oxysporum* (φουζάριο) απαιτούνται 50-100 ppm για 5 λεπτά, ενώ για τους ιούς του μωσαϊκού της ντομάτας-ΤοMV απαιτούνται 400 ppm για 5 λεπτά. Επίσης, το H_2O_2 μελετήθηκε ως μέσο πρόληψης για την ανάπτυξη αλγών στην υδροπονία, αλλά η απαιτούμενη δόση των 50 ppm ήταν φυτοτοξική (Ehret et al., 2001; ΙΓΕ, 2014).

Συστήνεται αντί του χλωρίου και θα μπορούσε να συνδυαστεί με την απολύμανση με όζον, σχηματίζοντας ρίζες υδροξυλίου οι οποίες είναι ένα ακόμη ισχυρό οξειδωτικό μέσο. Ωστόσο, μπορεί να αντιδράσει με μερικά λιπάσματα και να επιφέρει αλλαγές στο διάλυμα. Για απολύμανση υποστρώματος γίνεται διαβροχή του για 5-24 ώρες με H_2O_2 , για να σκοτωθούν τα παθογόνα. Το υπόστρωμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί αμέσως μετά για φύτευση (Ehret et al., 2001; ΙΓΕ, 2014).

2.3.2.3 ΙΩΔΙΟ

Το ιώδιο μπορεί να αποβεί τοξικό στα φυτά και μπορεί να αντιδράσει με μερικά λιπάσματα και να επιφέρει αλλαγές στο διάλυμα. Παρόλα αυτά, μπορεί να διευκολύνει την απολύμανση εάν οι οργανισμοί στο νερό εκτίθενται στην κατάλληλη δόση και έχουν τον κατάλληλο χρόνο παραμονής. Για θανάτωση του *F. oxysporum* (φουζάριο) απαιτούνται 0,7 ppm Ιωδίου (Μάρακας, 2006; ΙΓΕ, 2014).

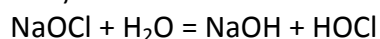
2.3.2.4 ΧΛΩΡΙΩΣΗ

Το χλώριο χρησιμοποιείται ευρέως στην απολύμανση του πόσιμου νερού από το 1908. Το χλώριο δρα διαπερνώντας την κυτταρική μεμβράνη και αδρανοποιώντας ορισμένα ένζυμα, σε ότι αφορά τα βακτηρίδια, ενώ σε ότι αφορά τους ιούς και

τους άλλους μικροοργανισμούς, ο τρόπος δράσης δεν έχει εξηγηθεί πλήρως και πιθανολογείται ότι επιδρά απευθείας στο DNA και RNA του πυρήνα. Η διαδικασία αδρανοποίησης των ενζύμων έχει διαπιστωθεί ότι είναι αναστρέψιμη (IGE, 2014; Μάρακας, 2006).

Στα υδροπονικά συστήματα δεν έχει χρησιμοποιηθεί το υγρό-αέριο χλώριο (Cl_2) ως απολυμαντικό, αλλά έχουν δοκιμαστεί άλλες μορφές από τις οποίες μπορεί να προκύψει χλώριο. Για παράδειγμα, το υποχλωριώδες νάτριο (NaOCl), που είναι το δραστικό συστατικό της χλωρίνης, βρέθηκε ότι είναι αποτελεσματικό ενάντια στην μάρανση, σε καλλιέργειες γλυκιάς πιπεριάς, που προκαλείται από το βακτήριο *Pseudomonas* (ψευδομονάδα). Ωστόσο, για συγκεντρώσεις πάνω από 50ppm παρουσιάζονται προβλήματα φυτοτοξικότητας, για αυτό μια συγκέντρωση μεταξύ 15 με 20ppm φαίνεται να είναι κατάλληλη για τον έλεγχο της *Pseudomonas* και την ελαχιστοποίηση των προβλημάτων φυτοτοξικότητας. Υπάρχουν επίσης στοιχεία που δείχνουν ότι NaOCl είναι αποτελεσματικό ενάντια και στα νηματώδη, που προέρχονται συνήθως από μολυσμένα νερά. Χλωραμίνη και διοξείδιο του χλωρίου (ClO_2) είναι δύο άλλα απολυμαντικά, με βάση το χλώριο, που έχουν χρησιμοποιηθεί ελάχιστα σε υδροπονικά συστήματα (Ehret et al., 2001).

Κατά κανόνα η χλωρίωση του νερού με στόχο τη μικροβιακή απολύμανση, γίνεται με προσθήκη υποχλωριώδους νατρίου (NaOCl). Το υποχλωριώδες νάτριο (χλωρίνη) αντιδρά στο νερό ως ακολούθως:



Θεωρείται καλό απολυμαντικό, εν τούτοις το NaOCl και το υπολειμματικό χλώριο μπορεί να αντιδράσουν με την αμμωνία, στο θρεπτικό διάλυμα, προς σχηματισμό χλωραμίνων, οι οποίες έχουν επιζήμια επίδραση στην ανάπτυξη των φυτών (Ehret et al., 2001; IGE, 2014)..

2.3.3 ΔΙΗΘΗΣΗ

Στην απολύμανση του νερού άρδευσης ή του θρεπτικού διαλύματος με διήθηση, λαμβάνεται πάντα υπόψη το πολύ μικρό μέγεθος των φυτοπαθογόνων μικροοργανισμών. Το μέγεθος των φυτοπαθογόνων μυκήτων κυμαίνεται μεταξύ 3 έως 50 μm , ενώ των βακτηρίων περίπου στο 1 μm και των φυτοπαθογόνων ιών στα 0,03 με 0,3 μm . Προφανώς τα τυπικά φίλτρα, με μέγεθος πόρων από 80 έως 100 μm , που χρησιμοποιούνται συνήθως για την πρόληψη φαινομένων φραξίματος δεν είναι αποτελεσματικά στον καθαρισμό του θρεπτικού διαλύματος από τους παθογόνους μικροοργανισμούς. Για αυτό το λόγο, στην απολύμανση του νερού άρδευσης ή των θρεπτικών διαλυμάτων χρησιμοποιούνται κυρίως διηθητικές μεμβράνες και διήθηση με αργό φιλτράρισμα μέσο άμμου, που θεωρούνται καταλληλότερες τεχνικές (Ehret et al., 2001).

2.3.3.1 ΔΙΗΘΗΣΗ ΜΕ ΜΕΜΒΡΑΝΕΣ

Ανάλογα με το μέγεθος των πόρων η διήθηση μέσω μεμβρανών διακρίνεται σε μικρό-διήθηση (MF), υπέρ-διήθηση (UF), νάνο-διήθηση (NF). Επίσης, η αντίστροφη όσμωση και διάφορα συστήματα αιμοκάθαρσης θεωρούνται τεχνικές διήθησης με μεμβράνη. Οι μεμβράνες μπορούν να αποτελούνται από διάφορα υλικά όπως οξική κυτταρίνη, διάφορα πολυμερή ή κεραμικά και να ποικίλλουν στην δομή και στο μέγεθος (Ehret et al., 2001).

Τελευταία, η τεχνική της εγκάρσιας ροής (μέγεθος πόρων από 0,01 έως 10 μm) φαίνεται να είναι αρκετά κατάλληλη για την εξάλειψη των φυτοπαθογόνων. Σε ορισμένη πίεση το ανεπεξέργαστο νερό επανακυκλοφορεί συνεχώς κατά μήκος της μεμβράνης, κατακρατώντας έτσι τα σωματίδια που είναι μεγαλύτερα από τους πόρους της μεμβράνης. Επίσης, με αυτό τον τρόπο αποφεύγονται φαινόμενα φραγίσματος της μεμβράνης (Ehret et al., 2001).

Το νερό και τα θρεπτικά συστατικά συμπεριλαμβανομένου και των χηλικών μπορούν να διαπεράσουν την μεμβράνη. Ωστόσο, με την πάροδο του χρόνου η συγκέντρωση των σωματιδίων που παραμένουν στο ανεπεξέργαστο νερό μπορεί να αυξηθεί, ως εκ τούτου θα πρέπει να απορρίπτεται κατά καιρούς. Εντούτοις, προτάθηκε το απορριφθέν διάλυμα να επιστρέφεται στην δεξαμενή συλλογής υδάτων για λόγους εξοικονόμησης νερού και θρεπτικών (20-30%) (Ehret et al., 2001).

2.3.3.2 ΔΙΗΘΗΣΗ ΜΕ ΑΡΓΟ ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΑ ΜΕΣΩ ΑΜΜΟΥ

Το αργό φιλτράρισμα μέσω άμμου αναπτύχθηκε αρχικά από τον John Gibb στη Σκωτία το 1804 για τον καθαρισμό του νερού. Μετά τη βελτίωση του σχεδιασμού του, το αργό φιλτράρισμα μέσω άμμου έγινε μια κοινή μέθοδος καθαρισμού του πόσιμου νερού. Το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα της αποτελεσματικότητας της μεθόδου, για τον καθαρισμό των υδάτων από παθογόνους μικροοργανισμούς που προσβάλλουν των άνθρωπο, δόθηκε το 1892 στο Αμβούργο της Γερμανίας, όπου οι κάτοικοι των πόλεων που τροφοδοτούνται από το ανεπεξέργαστο νερό του ποταμού Έλβα επλήγησαν από μια σοβαρή επιδημία χολέρας, ενώ ο πληθυσμός της γειτονικής πόλης Αλτόνας, όπου επεξεργάζονταν το νερό με αργό φιλτράρισμα δεν επηρεάστηκε από τη χολέρα (Ehret et al., 2001).

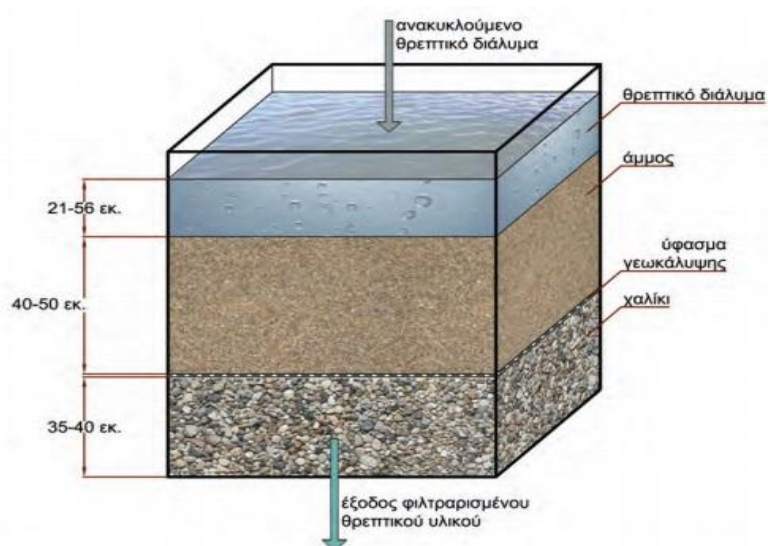
Στα μέσα του 20^{ου} αιώνα το αργό φιλτράρισμα με άμμο αντικαταστήθηκε ή τουλάχιστον συμπληρώθηκε και με άλλες μεθόδους επεξεργασίας νερού, όπως χλωρίωση, ακτινοβολία UV, κ.λπ. Ωστόσο, πρόσφατα έχει αρχίσει να κερδίζει το χαμένο έδαφος. Στα τέλη της δεκαετίας του ογδόντα ο Wohanka παρουσίασε τις προοπτικές της αργής διήθησης με άμμο για την εξάλειψη των φυτοπαθογόνων, στην επαναχρησιμοποίηση νερού άρδευσης και θρεπτικού διαλύματος. Η μέθοδος αυτή έκτοτε έχει υιοθετηθεί ευρέως για τα κλειστά συστήματα καλλιέργειας στην γεωργική βιομηχανία (εικόνα 2.2) (Ehret et al., 2001).



Εικόνα 2.2: Κάτοψη φίλτρου άμμου(<http://www.ekk.aua.gr/seminar/seminar01.pdf>).

Είναι μια βιολογική διαδικασία/μέθοδος. Πρακτικά, φιλτράροντας συνεχώς το 30% περίπου του ανακυκλούμενου διαλύματος στα κλειστά υδροπονικά συστήματα όλο το εικοσιτετράωρο, καταστέλλεται αποτελεσματικά μια προσβολή σχεδόν σε όλες τις καλλιέργειες. Η μέθοδος είναι εύκολα εφαρμόσιμη, περιβαλλοντολογικά ασφαλής και οικονομική (ΙΓΕ, 2014).

Το σύστημα αποτελείται από μία στήλη άμμου ύψους τουλάχιστον 50 cm, αλλά προτιμάται στήλη ύψους 80-100 cm, ώστε όταν λερωθεί το πάνω μέρος και εμποδίζεται η ροή, να μπορεί να αφαιρείται το λεπτό στρώμα της άμμου. Καλύτερα είναι πριν το φιλτράρισμα από την άμμο το διάλυμα να περνά από σήτα /κόσκινο, που αφαιρεί τα χονδρά υλικά. Η στήλη άμμου τοποθετείται πάνω από στρώση χαλικιού ύψους 35-40 cm, με διαχωριστικό ύφασμα εδαφοκάλυψης (εικόνα 2.3) (ΙΓΕ, 2014).



Εικόνα 2.3: Σχηματική απεικόνιση μεθόδου απολύμανσης με αργό φιλτράρισμα (ΙΓΕ, 2014).

Με το πέρασμα του θρεπτικού διαλύματος η επιφάνεια των κόκκων της άμμου καλύπτεται με μια βιολογική μεμβράνη-ύφασμα γεωκάλυψης, δηλαδή ένα σύνθετο οικοσύστημα με ανταγωνιστική μικροχλωρίδα, το οποίο τρέφεται από την οργανική ύλη που υπάρχει στο θρεπτικό διάλυμα, συμπεριλαμβανομένων και των σπορίων των μυκήτων. Τα οργανικά σωματίδια περνώντας μέσα από το φίλτρο έλκονται από τους κόκκους, παγιδεύονται στην κολλώδη βιολογική μεμβράνη και καταναλώνονται από τα βακτήρια και πρωτόζωα που ζουν εκεί κοινώς ως “φάγοι”. Είναι αερόβια διαδικασία, παίρνει οξυγόνο από το θρεπτικό διάλυμα, γι’ αυτό είναι απαραίτητη η διαρκής ροή του θρεπτικού διαλύματος ή του νερού από το φίλτρο. Αν σταματήσει η ροή και το φίλτρο στεγνώσει παύει να δουλεύει. Απαιτούνται 3 μήνες για να αναπτυχθεί βιολογική μεμβράνη, άρα εγκαθίσταται το σύστημα άμμου 3 μήνες πριν τη φύτευ για να είναι έτοιμο για το βιολογικό φιλτράρισμα. Για το φιλτράρισμα 10-30 m³ ανακυκλούμενου διαλύματος το εικοσιτετράωρο, απαιτείται μία διάμετρος φίλτρου 2,3 m. Η ταχύτητα ροής πρέπει να είναι 0,1-0,3m³ /m² φίλτρου/h. Η ροή βασίζεται στους νόμους βαρύτητας. Όσο καλύτερης ποιότητας είναι η άμμος, τόσο καλύτερη και ταχύτερη είναι η ροή. Προτιμάται η χαλαζιακή άμμος (χωρίς ανθρακικό ασβέστιο) με κοκκομετρία ομοιόμορφη 0,2-0,3 mm (ΙΓΕ, 2014).

2.3.4 ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΦΥΤΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

Δίδεται μεγάλη σημασία στην ανάπτυξη της μικροχλωρίδας της ρίζας, η οποία δρα ανταγωνιστικά στα παθογόνα. Αυτό επιτυγχάνεται με την υποβοήθηση της ανάπτυξης της φυσικής μικροχλωρίδας της ρίζας ή με την προσθήκη επιλεγμένων ανταγωνιστών, που δρουν με διάφορους τρόπους, όπως μυκοπαρασιτικά, ανταγωνιστικά θρεπτικών στοιχείων, παράγοντας τοξικές ουσίες, διευκολύνοντας τους μηχανισμούς αντίστασης των φυτών, ευνοώντας την ανάπτυξη των φυτών κ.α. Τέτοια σκευάσματα είναι το Mycostop, Soil Guard, Root Shield ή Path Guard (ΙΓΕ, 2014).

2.3.5 ΥΠΕΡΙΩΔΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Η χρήση των λαμπτήρων UV έχει αποδειχθεί εξαιρετικά αποτελεσματική στην απολύμανση των συστημάτων επανακυκλοφορίας. Η αποτελεσματικότητα και οι επιπτώσεις της υπεριώδους ακτινοβολίας στις καλλιέργειες εκτός εδάφους ερευνήθηκαν από τον Schwatzkopf το 1987, στην παραγωγή μαρουλιού. Ο Schwatzkopf παρατήρησε ότι η μέθοδος ήταν αποτελεσματική στην θανάτωση βακτηρίων, αλλά σε υψηλή ένταση ανέστελλε σημαντικά την ανάπτυξη των φυτών που καλλιεργούνταν μέσα στο θρεπτικό διάλυμα. Η αιτία αυτής της αναστολής θεωρήθηκε η πιθανή ύπαρξη όζοντος και/ή ελεύθερων ριζών στο θρεπτικό διάλυμα, που είναι γνωστό ότι μπορούν να παραχθούν από την υπεριώδη ακτινοβολία (Ehret et al., 2001).

Ο Stanghellini το 1984, διεξήγαγε δοκιμές για τον προσδιορισμό της αποτελεσματικότητας της UV ακτινοβολίας στον έλεγχο του σαπίσματος των ριζών

σπανακιού που οφειλόταν στον ωομύκητα *P. aphanidermatum*. Νεαρά φυτά σπανακιού αναπτύχθηκαν σε θρεπτικό διάλυμα με επανακυκλοφορία, το οποίο ήταν μολυσμένο με εγκυστωμένα ζωοσπόρια και ωοσπόρια. Το διάλυμα είτε τροφοδοτούνταν στα φυτά ανεπεξέργαστο ή περνούσε από μια μονάδα απολύμανσης UV με παροχή 124 lt/min. Μέσα σε επτά μέρες τα νεαρά φυτά που τροφοδοτούνταν με το ανεπεξέργαστο διάλυμα ήταν νεκρά, ενώ σε αυτά που καλλιεργούνταν με απολυμασμένο διάλυμα δεν παρουσιάστηκε κανένας θάνατος, ούτε μολύνθηκε καμία ρίζα (Ehret et al., 2001).

Οι Benoit και Ceustermans δοκίμασαν ένα σύστημα απολύμανσης UV, με λάμπα Υδραργύρου χαμηλής πίεσης και ισχύος 60 watt στη μείωση του σαπίσματος των ριζών μαρουλιού, που οφειλόταν στην μόλυνση από τον ωομύκητα *Pythium*. Οι δύο επιστήμονες παρατήρησαν ότι σε μια μέση ακτινοβολία των 98mJ/cm², κανένα από τα φυτά δεν πέθανε, ακόμα και αυτά που είχαν αγοραστεί και βρέθηκαν μολυσμένα από το *Pythium* sp. Επίσης, εργαστηριακές μελέτες και μελέτες σε θερμοκήπια έδειξαν ότι η υπεριώδης ακτινοβολία μπορεί να εξαλείψει μια ενιαία λοίμωξη από το *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* (FORL) σε συστήματα NFT (Ehret et al., 2001).

Ορισμός υπεριώδους ακτινοβολίας

Η υπεριώδης ακτινοβολία είναι μια φυσική διαδικασία απολύμανσης νερού, η οποία χρησιμοποιεί την έκθεση σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος υπεριώδους φωτός, προκαλώντας φώτο-βιοχημικές αλλαγές μέσα στους μικροοργανισμούς. Για να πραγματοποιηθεί μια φωτοχημική αντίδραση, δύο τουλάχιστον όροι πρέπει να ικανοποιούνται:

- πρέπει να είναι διαθέσιμη ακτινοβολία ικανοποιητικής ενέργειας ώστε να μπορέσει να αλλάξει τους χημικούς δεσμούς,
- η ακτινοβολία πρέπει να απορροφηθεί από το μόριο-στόχος.

Η υπεριώδης ακτινοβολία ή αλλιώς UV (Ultra Violet) ενέργεια βρίσκεται στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα μεταξύ του ορατού φωτός και των ακτινών X και μπορεί καλύτερα να περιγραφεί ως αόρατη ακτινοβολία. Επειδή είναι ακτινοβολία με μικρότερα μήκη κύματος από αυτά του φωτός, κατέχει υψηλότερη ενέργεια.

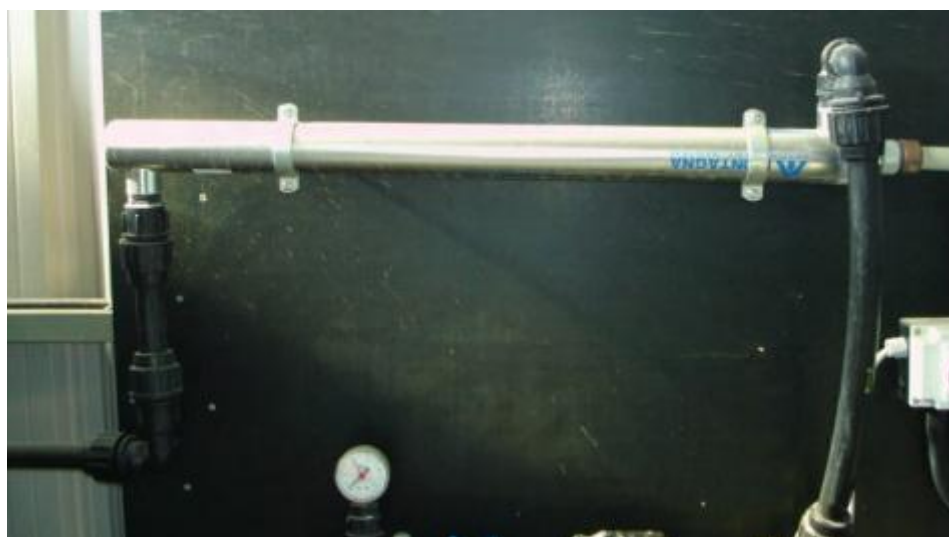
Η υπεριώδης ακτινοβολία είναι μη-ιονίζουσα και έχει ένα εύρος μήκους κύματος από 100 – 400 nm και υποδιαιρείται σε τρεις ζώνες:

- Την UV-A (μεγάλου κύματος) από 315 – 400 nm.
- Την UV-B (μεσαίου κύματος) από 280 – 315 nm.
- Την UV-C (μικρού κύματος) από 100 – 280 nm.

Η UV ακτινοβολία με μικρότερα μήκη κύματος μπορεί να είναι επιβλαβής για τις βιολογικές δομές, όπως η UV-C ακτινοβολία που χρησιμοποιείται για την θανάτωση των παθογόνων μικροοργανισμών. Από το φάσμα 100-280nm που αποτελείται η ακτινοβολία UV-C, 254nm είναι το μήκος κύματος που χρησιμοποιείται συχνά για απολύμανση (Μάρακας, 2006; Zheng et al., 2012).

Μηχανισμός UV ακτινοβολίας στην υδροπονία

Εκπέμπεται ακτινοβολία UV-C 254nm από ειδικό λαμπτήρα UV, που βρίσκεται μέσα σε κλειστό χώρο (εικ.2.4). Γύρω από τη λάμπα περνά το νερό ή το θρεπτικό διάλυμα, οπότε UV ακτινοβολία διαπερνά την κυτταρική μεμβράνη των κυττάρων και διασπά το DNA και RNA τους, αποτρέποντας την αναπαραγωγή τους. Η πιο κοινή πηγή UV-C ακτινοβολίας είναι ένας λαμπτήρας ατμών υδραργύρου κατασκευασμένος από χαλαζία ή από παρόμοιο υλικό, όπου δεν απορροφάει στο έντονο και καταστρεπτικό μη αόρατο φως των 254 nm. Η υπεριώδης ακτινοβολία εκπέμπεται από τη δημιουργία ενός τόξου εντός της λάμπας ατμού υδραργύρου εξαιτίας ηλεκτρικής εκκένωσης (ΙΓΕ, 2014; Μάρακας, 2006).



Εικόνα 2.4: Απολύμανση με υπεριώδη ακτινοβολία(λυχνία UV σε κλειστό φίλτρο απολύμανσης) (ΙΓΕ, 2014).

Η υπεριώδης ακτινοβολία δρα ουσιαστικά ως «στερωτικό» των μικροοργανισμών αποτρέποντας τον πολλαπλασιασμό τους και συγκεκριμένα αλλοιώνοντας το DNA και RNA εμποδίζει τη μεταφορά γενετικού υλικού και άρα την αναπαραγωγή των μικροοργανισμών. Παρόλα αυτά αρκετοί μικροοργανισμοί παρουσιάζουν την ικανότητα να επιδιορθώνουν μόνοι τους τις βλάβες του γενετικού υλικού, όταν εκτίθενται σε ελαφριά ενέργεια σε μήκη κύματος μεταξύ 310 και 500 nm (φωτοενεργοποίηση). Η αρχική ακολουθία βάσεων αποκαθίσταται, και οι οργανισμοί μπορούν να αντιγραφούν κανονικά, αναιρώντας έτσι, κατά κάποιον τρόπο, την απολυμαντική επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας. Ο βαθμός επανενεργοποίησης είναι ανάλογος προς το χρόνο παραμονής, την ένταση της έκθεσης και τη θερμοκρασία (Μάρακας, 2006).

Η αποτελεσματικότητα της απολύμανσης εξαρτάται από τη διάρκεια και την ένταση της ακτινοβολίας καθώς και την ταχύτητα με την οποία περνά το νερό από τον λαμπτήρα. Επίσης, η αποτελεσματικότητα της UV ακτινοβολίας στην καταστροφή των παθογόνων επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την καθαρότητα του νερού. Μειωμένη διαύγεια στο νερό άρδευσης, μειώνει κατά πολύ την αποτελεσματικότητα της υπεριώδους ακτινοβολίας, διότι η εισερχόμενη ακτινοβολία ανακλάται ή απορροφάται από διάφορα σωματίδια, με αποτέλεσμα να μειώνει σημαντικά την ποσότητα της ακτινοβολίας που φτάνει στους παθογόνους μικροοργανισμούς. Η θολερότητα του νερού για τη βέλτιστη αποτελεσματικότητα της ακτινοβολίας UV πρέπει να είναι μικρότερη από 2 NTU. Τα ποσοστά μετάδοσης της ακτινοβολίας του ανακυκλωμένου νερού άρδευσης είναι συνήθως πολύ χαμηλότερα από τα συνιστώμενα ποσοστά, ειδικότερα στα φυτώρια. Για αυτό στα υδροπονικά συστήματα επιβάλλεται καλό φίλτράρισμα πριν την απολύμανση (Zheng et al., 2012; ΙΓΕ, 2014).

Δόση ακτινοβολίας UV

Δυο τύποι λαμπτήρων UV έχουν μελετηθεί για την αποτελεσματικότητά τους στην απολύμανση ενάντια στους φυτοπαθογόνους μικροοργανισμούς, σε δοκιμές θερμοκηπίων. Οι λαμπτήρες υψηλής πίεσης, που εκπέμπουν ακτινοβολία UV-C με μήκος κύματος μεταξύ 200-280 nm και οι λαμπτήρες χαμηλής πίεσης, που εκπέμπουν ακτινοβολία UV-C στο επιθυμητό μήκος κύματος των 253,7 nm. Οι λαμπτήρες υψηλής πίεσης είναι λιγότερο ενεργειακά αποδοτικοί από τους λαμπτήρες χαμηλής πίεσης, μόνο το 10% της ενέργειας που δαπανάται μετατρέπεται σε υπεριώδη ακτινοβολία, σε αντίθεση με τους λαμπτήρες χαμηλής πίεσης που το ποσοστό μετατροπής μπορεί να φτάσει μέχρι και 40%. Ως εκ τούτου, τόσο οι υψηλής, όσο και οι χαμηλής πίεσης λαμπτήρες μπορούν να απολυμάνουν αποτελεσματικά τα συστήματα επανακυκλοφορίας υπό την προϋπόθεση ότι η απαιτούμενη UV δόση έχει επιτευχθεί (Ehret et al., 2001).

Μια δόση UV των 28 mJ/cm², από λαμπτήρα υψηλής πίεσης, έχει σαν αποτέλεσμα μείωση της πιθανότητας μόλυνσης από τα κονίδια του *Fusarium oxysporum f. sp. radicle-lycopersici* (FORL) κατά 90% και μια δόση των 84 mJ/cm² ήταν αρκετή για να μειώσει τα κονίδια κατά 99,9%. Η πιθανότητα μόλυνσης από τον ιό του μωσαϊκού της ντομάτας-ToMV μειώθηκε κατά 99,8% μετά από μια δόση περίπου 100 mJ/cm² και κατά 99,9% μετά από μια δόση 277 mJ/cm². Ο λαμπτήρας χαμηλής πίεσης εξουδετερώνει τα κονίδια του *Fusarium oxysporum f. sp. melongenae* (FOM) με μια δόση των 70 mJ/cm². Μια δόση των 100 mJ/cm² μειώνει τη μολυσματικότητα του ToMV κατά 99% και μία δόση 150-175 mJ/cm² αύξησε την μείωση στο 99,9%. Τα παραπάνω αποτελέσματα πάρθηκαν μετά από φίλτρωση των δειγμάτων, για την απομάκρυνση οργανικού υλικού, δεδομένου ότι η εισερχόμενη ακτινοβολία μπορεί να ανακλαστεί ή να απορροφηθεί από διάφορα σωματίδια και να μειώσει την απόδοση της UV (πίνακας 2.1) (Ehret et al., 2001).

Στα εμπορικά θερμοκήπια συνιστάται μια δόση των 100 mJ/cm² για την εξάλειψη των παθογόνων μυκήτων και μια δόση των 250 mJ/cm² για την πλήρη απολύμανση (συμπεριλαμβανομένου ιών και βακτηρίων) των θρεπτικών διαλυμάτων. Αυτές οι

δόσεις είναι κάπως υψηλότερες από αυτές των πειραμάτων, κυρίως για λόγους ασφαλείας (Ehret et al., 2001).

Πίνακας 2.1: Συνιστώμενες δόσεις ακτινοβολίας UV για διάφορους φυτοπαθογόνους μικροοργανισμούς (Zheng et al., 2012).

Μικροοργανισμοί	Μέθοδος αναπαραγωγής	Μήκος κύματος (nm)	Δόση ακτινοβολίας UV (mJ/cm ²)
Bacteria		254	3.5-26.5
Tomato mosaic virus	ιός	254	100 (λαμπτήρας χαμηλής πίεσης, 50% νερό αποστράγγισης + 50% βρόχινο νερό) 277 (λαμπτήρας υψηλής πίεσης, νερό αποστράγγισης) 106 (λαμπτήρας υψηλής πίεσης, 50% νερό αποστράγγισης + 50% βρόχινο νερό)
<i>Fusarium oxysporum</i>	κονίδια	254	70 (λαμπτήρας χαμηλής πίεσης, 50% νερό αποστράγγισης + 50% βρόχινο νερό) 84 (λαμπτήρας υψηλής πίεσης)
<i>Pythium ultimum</i>	σπόρια	254	40
<i>Phytophthora cinnamomi</i>	σπόρια	254	43
<i>Colletotrichum capsici</i>	σπόρια	254	31
<i>Alternaria zinniae</i>	σπόρια	254	850
<i>Phytophthora citrophthora</i>	ζωοσπόρια	254	10
<i>Phytophthora nicotianae</i>	Ζωοσπόρια	254	30
<i>Phytophthora capsici</i>	Ζωοσπόρια	248	30
<i>Radopholus similis</i>	Νηματώδη	254	100 (δεν προκαλεί θνησιμότητα αλλά αποτρέπει μόλυνση των ριζών)

Πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα

Πλεονεκτήματα:

- Δεν αλλάζει σημαντικά το pH, τη θερμοκρασία του νερού και τη χημική σύνθεση.
- Δεν είναι επικίνδυνη για το περιβάλλον και τους εργαζομένους.

- Δεν υπάρχει κίνδυνος συσσώρευσης χημικών ουσιών σε φυτοτοξικά επίπεδα.
- Αποτελεσματικό έναντι όλων των παθογόνων όταν εφαρμόζεται σωστά.
- Συνήθως χαμηλό λειτουργικό κόστος.
- Πολύ γρήγορη απολύμανση. Ο χρόνος επαφής κυμαίνεται μεταξύ δευτερολέπτων.

Μειονεκτήματα:

- Καταστρέφεται μέρος του χηλικού σιδήρου του θρεπτικού διαλύματος.
- Οι Εναποθέσεις αλάτων στην εξωτερική κρυσταλλική επιφάνεια της λυχνίας μειώνουν βαθμιαία την διαπερατότητά της.
- Η λυχνία UV έχει σχετικά περιορισμένη διάρκεια ζωής.
- Η αποτελεσματικότητά της εξαρτάται από την διαύγεια του νερού. Επομένως, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η φίλτρηση του νερού, πριν την απολύμανση.
- Δεν έχει υπολειμματική δράση.
- Υψηλό κόστος εγκατάστασης (ΙΓΕ, 2014; Zheng et al., 2012; (Bolton and Cotton, 2009; Newman, 2004).

2.4 ΑΣΘΕΝΕΙΕΣ ΤΩΝ ΡΙΖΩΝ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΤΕΛΕΧΟΥΣ ΤΟΥ ΦΥΤΟΥ

Οι μύκητες και οι άλλοι μικροοργανισμοί που προσβάλλουν τη ρίζα και τη βάση του κορμού είναι σοβαρή απειλή στις υδροπονικές καλλιέργειες. Ειδικότερα οι οργανισμοί που παράγουν ζωοσπόρια, όπως το Πύθιο και η Φυτόφθορα αναπτύσσονται πολύ συχνά, λόγω των υγρών συνθηκών που επικρατούν σε αυτά τα συστήματα. Καθώς τα ζωοσπόρια μπορούν να κολυμπήσουν, διευκολύνεται έτσι σε κλειστά συστήματα η ταχεία μετάδοσή τους και η μόλυνση της συνολικής καλλιέργειας. Επιπλέον, επιδημίες ασθενειών μπορούν να εμφανιστούν σε περιόδους που το φυτό έχει στρεσαριστεί, λόγω υψηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας, μειωμένου οξυγόνου, υψηλής θερμοκρασίας, αλλαγές στο pH του θρεπτικού διαλύματος (ΙΓΕ,2014; Vallance et al.,2011).

Τα συνηθέστερα φυτοπαθογόνα που εντοπίζονται, είτε στο θρεπτικό διάλυμα, είτε στο υπόστρωμα, είτε στη ρίζα του φυτού στις υδροπονικές καλλιέργειες είναι κυρίως το Πύθιο (κατά 90%), αλλά και τα Φουζάριο, Φυτόφθορα, Βερτιτσίλιο και Ριζοκτόνια. Επίσης, είναι δυνατό να εντοπιστούν και νηματώδεις, που συνήθως προέρχονται από μολυσμένα νερά (ΙΓΕ,2014).

2.4.1 ΜΥΚΗΤΕΣ ΚΑΙ ΩΜΥΚΗΤΕΣ

Μια ποικιλία από σύμπλοκα μυκήτων και ωομυκήτων είναι υπεύθυνα για την νέκρωση των ριζών. Σε ένα πείραμα που διήρκησε τρία χρόνια σε καλλιέργειες εκτός εδάφους κατά μήκος της Γαλλίας, έδειξε ότι η κατανομή των μυκήτων και ωομυκήτων διαφέρει από περιοχή σε περιοχή. Ωστόσο, ορισμένοι μύκητες, συμπεριλαμβανομένου του *Fusarium oxysporum f.sp. radicis lycopersici*, και

ωομύκητες, όπως είδη του *Pythium*, βρέθηκαν σε όλα τα θερμοκήπια, που ερευνήθηκαν, στις έξι γαλλικές περιφέρειες (Vallance et al.,2011).

Πύθιο (*Pythium Sp.*)

Το Πύθιο είναι γένος παρασιτικών ωομυκήτων και αποτελεί κατά 90% το κύριο παθογόνο σε υδροπονικές καλλιέργειες. Τα κύρια συμπτώματα της ασθένειας είναι η σήψη των ριζών και της περιοχής του λαιμού μετά το φύτευμα (μεταφυτρωτική τήξη). Στο σημείο προσβολής, συνήθως στο υποκοτύλιο, παρατηρείται μικροσκοπική κηλίδα λίγο μετά την έξοδο του φυταρίου από το υπόστρωμα, που εξελίσσεται σε υδατώδη μεταχρωματισμό (παρουσιάζουν μια «ζεματισμένη» όψη), που οδηγεί σε νέκρωση και συρρίκνωση του προσβεβλημένου στελέχους. Η προσβολή μπορεί να γίνει και πριν από το φύτευμα (προφυτρωτική τήξη), αρχίζοντας από το άκρο της ρίζας. Τα προσβεβλημένα στο λαιμό ή στις ρίζες φυτά εμφανίζουν το σύνδρομο του βραδέος μαρασμού ή της αποπληξίας. Αν τα φυτάρια επιβιώσουν της προσβολής παρουσιάζουν νανισμό και αν έχουν αρχίσει να ξυλοποιούνται παρουσιάζουν έντονη μάρανση, αλλά καταφέρνουν να επιβιώσουν αν επικρατήσουν συνθήκες ευνοϊκές για τα φυτά και δυσμενείς για τους παθογόνους. Στους προσβεβλημένους ιστούς εμφανίζεται πλούσιο βαμβακώδες μυκήλιο όταν υπάρχει αρκετή υγρασία. Η είσοδος του παθογόνου στη ρίζα ευνοείται από μηχανική ζημιά/σπάσιμο ρίζας (Κωτίδης,2010).

Οι προσβολές από Πύθιο προέρχονται από:

- Νερό, ειδικά αυτά με υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών, ανοικτές δεξαμενές.
- Υποστρώματα, ειδικά αυτά που δεν έχουν ζυμωθεί καλά σε υψηλές θερμοκρασίες π.χ. κοκκοφοίνικας.
- Εργαλεία.
- Φυτικό υλικό, μολυσμένος σπόρος, σπορόφυτα (ΙΓΕ, 2014).

Φυτοφθόρα (*Phytophthora spp.*)

Η Φυτοφθόρα είναι γένος μυκήτων που προσβάλλουν όλα τα τμήματα του φυτού, υπόγεια και εναέρια. Η μόλυνση του φυτού αρχίζει από το ριζικό σύστημα. Στη βάση του στελέχους (λαιμός) η ασθένεια εμφανίζεται με τη μορφή υδατωδών επιμηκών κηλίδων που σύντομα γίνονται πράσινο-καστανές ή καστανές και ο φλοιός γίνεται μαλακός και συνήθως βυθίζεται. Στα φύλλα που βρίσκονται χαμηλά η ασθένεια εκδηλώνεται υπό μορφή ακανόνιστων κηλίδων με υδατώδη όψη, οι οποίες στην αρχή έχουν υποκίτρινο χρώμα και στη συνέχεια παίρνουν γκρίζο-καστανό ή καστανό χρώμα. Στην κάτω επιφάνεια φύλλων στα σημεία των κηλίδων και κυρίως στην περιφέρεια τους, εμφανίζεται υπό συνθήκες υψηλής υγρασίας αραιή, υπόλευκη, χνοώδης εξάνθηση, η οποία αποτελεί τις καρποφορίες του μύκητα (Κωτίδης, 2010).

Φουζάριο (*Fusarium* sp.)

Το Φουζάριο είναι γένος μυκήτων και μπορεί να προσβάλλει το φυτό σε όλα τα στάδια ανάπτυξης. Η ένταση της προσβολής εξαρτάται από το επίπεδο της μόλυνσης και τις συνθήκες ανάπτυξης, ιδίως της θερμοκρασίας. Στα νεαρά φυτά τα φύλλα μπορεί να κιτρινίσουν και να μαραθούν, όταν προσβληθούν οι ρίζες (σήψη ριζών), ακόμη και όταν τα ριζώματα δεν έχουν εμφανίσει μεταχρωματισμό των αγγείων. Το κιτρίνισμα των φύλλων και ο μααρασμός εμφανίζονται αρχικά στα πρώτα χαμηλά φύλλα και στην συνέχεια μπορεί να επεκταθούν σε ολόκληρο το φυτό. Είναι χαρακτηριστική η εμφάνιση μονόπλευρης χλωρώσεως σε μερικά φύλλα, τα οποία βαθμιαία μαραίνονται μέχρις ότου ολόκληρο το φυτό καταρρεύσει. Ο προσβεβλημένος κόνδυλος δεν μαλακώνει, όπως στην περίπτωση των αδροβακτηριώσεων, αλλά σε κατά μήκος τομές εμφανίζονται τμήματα με κόκκινο-καφέ έως μαύρους μεταχρωματισμούς του αγγειακού συστήματος. Εάν οι συνθήκες ανάπτυξης των φυτών είναι άριστες, είναι πιθανό τα φυτά να παραμείνουν ασυμπτωματικά, εκτός και αν εμφανιστούν συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών (θερμοκρασιακό στρες) (Κωτίδης, 2010).

Ριζοκτονία (*Rhizoctonia* spp.)

Η Ριζοκτονία είναι γένος μυκήτων και προκαλεί κυρίως σήψεις λαιμού, «τήξεις» φυταρίων και σηψιρριζίες. Τα συμπτώματα προσβολής από *R. solani* στα φυτάρια σπορίων μοιάζουν με αυτά που προκαλούνται από το *Pythium*. Ο *R. solani* προσβάλλει κυρίως το υπόγειο μέρος των φυτών (σπόρους, βολβούς, υποκοτύλια και ρίζες) αλλά μπορεί να προσβάλλει και υπέργεια μέρη (π.χ. λοβό, ελάσματα, μίσχοι). Από τα πιο χαρακτηριστικά συμπτώματα της ασθένειας είναι η μείωση της βλαστικής ικανότητας των σπόρων. Ακόμη και αν βλαστήσουν οι προσβεβλημένοι από το παθογόνο σπόροι, νεκρώνονται πριν (προφυτρωτική τήξη) ή αμέσως μετά την έκπτυξή τους από το υπόστρωμα (μεταφυτρωτική τήξη). Εκτός από την προσβολή των υπόγειων φυτικών οργάνων ο μύκητας προσβάλλει περιστασιακά ιστούς ελασμάτων και ανθέων που βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια του υποστρώματος. Στις περιπτώσεις αυτές η μόλυνση πραγματοποιείται μέσω του νερού της άρδευσης. Οι προσβεβλημένοι ιστοί αποσθρώνονται, αποσυντίθεται και «στεγνώνουν» σχηματίζοντας βυθιζόμενες νεκρωτικές περιοχές που καλύπτονται από το μυκήλιο και τα σκληρώτια του μύκητα. Το πιο χαρακτηριστικό σύμπτωμα της ασθένειας όμως είναι η σήψη του λαιμού και τήξεις των φυταρίων. Η προσβολή εκδηλώνεται με την μορφή μικρών ερυθρωπών κηλίδων, οι οποίες εξελίσσονται σε ελαφρά βυθιζόμενες ερυθρό-καστανές μέχρι καστανές νεκρωτικές περιοχές με σαφή όρια και ξηρή συστάση. Οι κηλίδες αυτές συχνά καλύπτονται από αραιό μυκήλιο χρώματος ανοιχτού καστανού ή καστανού. Τα προβεβλημένα φυτά παρουσιάζουν καχεξία και συχνά κιτρινίσματα. Όσα σπορόφυτα καταφέρουν να επιβιώσουν θα είναι καχεκτικά και επομένως μη εμπορεύσιμα και επιρρεπή σε προσβολές από άλλα παθογόνα (Κωτίδης, 2010).

Βερτιτσιλίο (*Verticillium spp.*)

Το βερτιτσιλίο είναι γένος μυκήτων που μολύνει ένα ευρύ φάσμα ξενιστών, συμπεριλαμβανομένων πάνω από 350 ειδών λαχανικών, οπωροφόρων δέντρων, καλλωπιστικών φυτών και δασικών δέντρων. Τα λαχανικά παρουσιάζουν αυξημένη ευαισθησία σε αυτόν, με αποτέλεσμα τη συχνή εμφάνισή του. Το *Verticillium spp.* προσβάλλει το βλαστό και τα φύλλα, φράζοντας του αγγειακούς ιστούς προκαλώντας προβλήματα στην τροφοδοσία νερού και θρεπτικών στοιχείων, οδηγώντας το φυτό σε μααρασμό. Σε μικρά φυτά και φιντάνια, η μόλυνση από βερτιτσιλίο μπορεί να αποφέρει ακαριαίο θάνατο, ενώ σε πιο ανεπτυγμένα φυτά η ένταση των συμπτωμάτων μπορεί να ποικίλλει. Μερικές φορές τα συμπτώματα εμφανίζονται μόνο στην μια πλευρά του φυτού και αυτό συμβαίνει γιατί η ασθένεια εξαπλώνεται προς τα πάνω διαμέσου του αγγειακού ιστού και όχι ακτινικά στο βλαστό. Επιπλέον, τα φυτά που έχουν προσβληθεί από το βερτιτσιλίο μπορεί να παρουσιάσουν νανισμό, χλώρωση ή κιτρίνισμα των φύλλων, νέκρωση ή θάνατο των ιστών και αποφύλλωση. Ο εσωτερικός αποχρωματισμός του αγγειακού ιστού μπορεί να γίνει ορατός μόνο όταν κόβεται το στέλεχος (https://en.wikipedia.org/wiki/Verticillium_wilt).

2.4.2 ΒΑΚΤΗΡΙΑ, ΙΟΙ ΚΑΙ ΠΑΡΑΣΙΤΑ

Κορυνοβακτήριο (*Corynebacterium spp.*)

Το κορυνοβακτήριο είναι γένος βακτηρίων. Οι ασθένειες που προκαλούνται από αυτά χωρίζονται σε δυο είδη, τις αγγειακές παθήσεις που προκαλούνται από τα *C. betae*, *C. flaccumfaciens*, *C. insidiosum*, *C. michiganense*, *C. poinsettiae*, *C. rathayi* (*C. agropyri*, *C. iranica* και *C. tritici*) και πιθανότατα και από το *C. lilii* και τις υπερτροφικές ασθένειες που προκαλούνται από το *C. fascians* και το *C. hypertrophicans*. Οι παθογόνοι των αγγειακών παθήσεων, εξαπλώνονται μέσω του αγγειακού συστήματος, συμπεριλαμβανομένης της ανάπτυξης του σπόρου και συνήθως περιορίζονται στους αγγειακούς ιστούς. Στα προχωρημένα στάδια της ασθένειας μπορεί να διεισδύσουν και σε άλλους ιστούς. Συνήθως, προκαλούν μααρασμό, που οφείλεται στην έμφραξη των αγγείων και στην ενζυμική διαταραχή των αγγείων που έρχονται σε επαφή με το νερό. Ωστόσο, υπάρχουν έμμεσες αποδείξεις ότι μερικοί από αυτούς μπορεί να παράγουν τοξίνες. Τα υπερτροφικά παθογόνα προκαλούν ανεξέλεγκτο πολλαπλασιασμό του μεριστωματικού ιστού, στην περίπτωση του *C. fascians* δημιουργούνται φυλλώδεις όζοι στην βάση του φυτού. Τα κύτταρα του *C. fascians* εμφανίζονται να κατοικούν στην επιφάνεια και στα εξωτερικά κυτταρικά στρώματα των μπουμπουκιών, αν και κάποιες έρευνες έχουν δείξει ότι υπάρχει πιθανότητα να βρίσκονται και στους εσωτερικούς ιστούς σε "Μορφή L". Για τα *C. hypertrophicans* λίγα είναι γνωστά (Lelliott, 1966).

Ψευδομονάδα (*Pseudomonas spp.*)

Η Ψευδομονάδα είναι γένος βακτηρίων που προκαλεί ασθένειες όπως η βακτηριακή στιγματώση και η νέκρωση της εντεριώνης. Η βακτηριακή στιγματώση προκαλείται από το *Pseudomonas syringae* pv. *tomato*, το οποίο προσβάλλει όλα τα μέλη του φυτού. Στα φύλλα σχηματίζονται σκουρόχρωμες γωνιώδεις κηλίδες που περιβάλλονται από κίτρινη άλω και στα στελέχη και στους μίσχους ακανόνιστες καστανές κηλίδες. Στους καρπούς σχηματίζονται μικρές κηλίδες (1-2 mm), ανυψωμένες, σκούρες καφέ έως μαύρες, μερικές φορές με σκούρο πράσινο περίγυρο. Το παθογόνο παραμένει στην περιοχή του ριζικού συστήματος και εξαπλώνεται σε ιδανικές συνθήκες θερμοκρασίας 25 °C και 80% σχετικής υγρασίας. Η νέκρωση της εντεριώνης προκαλείται από τα *Pseudomonas viridiflava*, *P. corrugate*, *P. cichorri*, *P. fluorescens* biovars I και II, τα οποία προσβάλλουν αρχικά τα ώριμα και παλιά φύλλα, προκαλώντας ξήρανση. Η προσβολή παρατηρείται στο φυτό με την καταστροφή της κεντρικής περιοχής (εντεριώνης) του βλαστού, των μίσχων των φύλλων και των ποδίσκων των καρπών. Στη συνέχεια η εντεριώνη καταστρέφεται και οι βλαστοί, οι μίσχοι και οι ποδίσκοι εμφανίζονται κενοί εσωτερικά (Παούρης, 2012).

Ερβινία (*Erwinia*)

Οι βακτηριώσεις που προκαλούνται από βακτήρια του γένους *Erwinia* έχουν παγκόσμια εξάπλωση και προσβάλλουν πολυάριθμα φυτά, κηπευτικά και καλλωπιστικά όπως: τομάτα, πιπεριά, γαρίφαλο, γλαδιόλες. Η υγρή βακτηριακή σήψη (tuber root), όπως είναι γνωστή η ασθένεια, μπορεί να ξεκινήσει από ένα φύλλο και να επεκταθεί προς τον μίσχο, το βλαστό και προοδευτικά σε ολόκληρο το φυτό. Τα προσβεβλημένα φύλλα μαραίνονται και πέφτουν. Εκτεταμένη προσβολή οδηγεί προοδευτικά σε μαρανση και νέκρωση ολόκληρου του φυτού. Οι προσβεβλημένοι βλαστοί έχουν σκοτεινό πράσινο χρώμα, όμως δεν γίνονται νεκρωτικοί, διότι ο μαρασμός καθίσταται μη αναστρέψιμος. Το μαρασμό των φύλλων συνοδεύει μια μαλακή σήψη στη βάση του μίσχου τους. Η προαναφερόμενη σήψη εξαπλώνεται με γρήγορους ρυθμούς με αποτέλεσμα να προκαλείται σήψη και συρρίκνωση ολόκληρου του μίσχου. Υδατώδης περιοχή παρουσιάζεται στην κάτω επιφάνεια του ελάσματος των προσβεβλημένων φύλλων. Ξεκινάει από το σημείο προσφύσεως του φύλλου στο μίσχο και εξαπλώνεται πέριξ των κύριων νευρώσεων. Το χαρακτηριστικό της προσβολής είναι ότι το φύλλωμα του κυκλάμινου αποσπάται εύκολα από το ριζώματα με ελαφρύ τράβηγμα. Μαλακή και υγρή σήψη εμφανίζονται επίσης στα ριζώματα των προσβεβλημένων φυτών. Η προσβολή συνήθως αρχίζει από τα ριζώματα και εξαπλώνεται στο φύλλωμα. Αν δημιουργήσουμε μια κάθετη τομή, τα προσβεβλημένα μέρη του ριζώματος εμφανίζονται σαν μια μαλακή, σηπόμενη, πολτώδης μάζα που έχει το ίδιο περίπου χρώμα με τους υγιείς ιστούς. Είναι χαρακτηριστικό ότι σε αυτές τις θέσεις η επιδερμίδα του ριζώματος αποκολλάται εύκολα (Κωτίδης, 2010).

Ιός του μωσαϊκού της ντομάτας (ToMV)

Το πιο κοινό σύμπτωμα είναι διάστικτες περιοχές στα φύλλα χρώματος ανοιχτού έως σκούρου πράσινου. Τα φυτά που προσβάλλονται νωρίς έχουν καθυστερημένη ανάπτυξη και είναι χλωρωτικά. Μπορεί επίσης να συμβεί κατσάρωμα των φύλλων και παραμόρφωση καθώς επίσης και ραβδώσεις στο μίσχο. Στους καρπούς μπορεί να εμφανιστεί μωσαϊκό και παραμορφώσεις, το εσωτερικό σύμπτωμα είναι καφέτιασμα των αγγείων. Στα φυτά που προσβάλλονται νωρίς, τα άνθη είναι στείρα και έτσι σε μεταγενέστερο στάδιο προσβολής δεν φέρουν καρπούς (Παούρης, 2012).

Ιός του μωσαϊκού του καπνού (TMV)

Έχουν εντοπιστεί διάφορες φυλές του παθογόνου, με διαφορετική εμφάνιση συμπτωμάτων πάνω στα φυτά. Μιά φυλή του ιού προκαλεί χλώρωση των νεύρων των φύλλων, μείωση της βλαστικής ανάπτυξης του φυτού και παραμόρφωση των φύλλων. Άλλη φυλή προκαλεί βυθισμένες νεκρώσεις στα νεύρα, τους βλαστούς και τους μίσχους των φύλλων και νεκρωτικές κηλίδες σε φύλλα και καρπούς (Παούρης, 2012).

Ιός του μωσαϊκού της αγγουριάς (CMV)

Τα φυτά που έχουν προσβληθεί νωρίς είναι κίτρινα, θαμνώδη, έχει ανακοπεί η ανάπτυξή τους και εμφανίζουν κηλίδες στα φύλλα. Χαρακτηριστικό σύμπτωμα είναι νημάτωση (περιορισμός των ελασμάτων των φύλλων κατά μήκος του κεντρικού νεύρου μόνο) το οποίο αποκαλείται «κορδόνι παπουτσιού». Τα πολύ προσβεβλημένα φυτά έχουν λίγους μικρούς καρπούς με καθυστερημένη ωρίμανση (Παούρης, 2012).

Νηματώδη (*Nematodes*)

Τα νηματώδη είναι τύπος σκουληκιών τα οποία αποτελούν το βιολογικό φύλο των Νηματωδών (*Nematoda*). Πρόκειται για φύλο με εξαιρετικά μεγάλη ποικιλία ως προς τα περιβάλλοντα στα οποία μπορεί να προσαρμοστεί και τους διάφορους τύπους οι οποίοι υπάρχουν. Προσβάλλουν όλα σχεδόν τα μέρη του φυτού. Περισσότερο όμως ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι νηματώδεις, που προκαλούν κύστες στο ριζικό σύστημα. Κύρια συμπτώματα της προσβολής είναι η εμφάνιση μικρών κύστεων αρχικά στα ριζίδια, που στη συνέχεια μεγαλώνουν και καλύπτουν όλες τις ρίζες, τις οποίες και καταστρέφουν (Πρωτούλης, 2007).

Τέλος, όσον αφορά στην προστασία των υδροπονικών καλλιεργειών από ασθένειες του εδάφους, όπως Πύθιο, Φυτόφθορα (*Pythium* και *Phytophthora*) κ.λπ., αυτή παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα, με την προϋπόθεση ότι τηρούνται βασικοί κανόνες φυτοϋγείας. Εδώ να τονιστεί ότι η ανάπτυξη μιας ασθένειας προϋποθέτει την ταυτόχρονη ύπαρξη τριών παραγόντων που είναι:

- Ύπαρξη αρχικού μολύσματος (νερό, υπόστρωμα, εργαλεία, φυτικό υλικό).

- Ευαισθησία ξενιστή (ασθενικά φυτά, ευαίσθητα είδη και ποικιλίες).
- Ύπαρξη ευνοϊκών συνθηκών ανάπτυξης του παθογόνου (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, κ.ά.).

Όταν ένας από τους τρεις αυτούς παράγοντες δεν ισχύει, τότε δεν αναπτύσσεται οποιαδήποτε ασθένεια στα φυτά (ΙΓΕ, 2014).

2.5 ΔΕΙΚΤΕΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

Όπως είναι γνωστό η εκτίμηση της ποιότητας του νερού και των τροφίμων, από μικροβιολογική άποψη, βασίζεται στην αναζήτηση μικροβιακών δεικτών. Οι δείκτες αυτοί είναι αλλόχθονοι μικροοργανισμοί, οι οποίοι μπορούν να εντοπιστούν στο υδάτινο οικοσύστημα, στο έδαφος και στην βλάστηση. Προέρχονται κυρίως από το γαστρεντερικό σωλήνα του ανθρώπου και των θερμόαιμων ζώων. Οι παθογόνοι μικροοργανισμοί, αν υπάρχουν στο νερό, υπάρχουν σε πολύ χαμηλότερο αριθμό από την φυσιολογική χλωρίδα του εντέρου. Η αναζήτησή τους δεν είναι κατάλληλη για έλεγχο ρουτίνας, διότι για την απομόνωση τους απαιτούνται πολύπλοκες, χρονοβόρες και δαπανηρές εξετάσεις. Επίσης, δεδομένου ότι από άποψη δημόσιας υγείας δεν μας ενδιαφέρει τόσο εάν το νερό περιέχει πράγματι παθογόνους, αλλά το αν μπορεί να περιέχει. Για αυτό και επιλέγουμε να αναζητήσουμε την φυσιολογική εντερική χλωρίδα, που παρέχει πολύ μεγαλύτερο όριο ασφαλείας, παρά τους παθογόνους μικροοργανισμούς. Οι συχνότεροι χρησιμοποιημένοι δείκτες είναι τα ολικά κολοβακτηριοειδή (Total coliforms), η *E.coli* και οι Εντερόκοκκοι (Κουιμτζή και Σαμαρά, 1994).

Ολικά κολοβακτηριοειδή (Total coliforms)

Ανήκουν στην οικογένεια των Εντεροβακτηριακών. Τυπικά γένη συναντώμενα στα δίκτυα νερού είναι τα *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Hafnia*, *Serratia*, *Klebsiella*. Δεν θεωρούνται σαν ειδικοί δείκτες κοπρανώδους μόλυνσης του νερού, δεδομένου ότι πολλά είδη είναι περιβαλλοντικής προέλευσης (έδαφος, φύλλα κ.λπ.). Παρέχουν ενδείξεις για άλλης προέλευσης μικροβιακή μόλυνση του νερού, συμπληρώνοντας έτσι τα στοιχεία που παρέχονται από άλλες παραμέτρους (Κουιμτζή και Σαμαρά, 1994).

Escherichia coli

Ανήκει στα κολοβακτηριοειδή, συνεπώς είναι μέλος της οικογένειας των Εντεροβακτηριακών και θεωρείται ο βασικός δείκτης κοπρανώδους μόλυνσης, τόσο του πρωτογενούς, όσο και του κατεργασμένου νερού. Η *E. coli* αποτελεί μόνιμο ξενιστή του εντέρου των ανθρώπων και των θερμόαιμων ζώων, όπου μπορεί να υπάρχει σε μεγάλους αριθμούς (μέχρι και 10^9 /gr κοπράνων) και μπορεί να αντιπροσωπεύει το 95% των Εντεροβακτηριακών που ανευρίσκονται στα κόπρανα. Τα χαρακτηριστικά επιβίωσης και η ευαισθησία της στα απολυμαντικά είναι όμοια με εκείνα πολλών παθογόνων μικροβίων, ιδιαίτερα δε με την Σαλμονέλα και την Σιγκέλλα. Λόγω των ιδιοτήτων αυτών, η *E. coli* είναι ο καλύτερος βιολογικός δείκτης

κοπρανώδους μόλυνσης του νερού. Η απομόνωσή της από δείγματα νερού, αποδεικνύει πέρα από κάθε αμφιβολία την πρόσμιξη του νερού με περιττωματικές ουσίες, υποδηλώνοντας ότι και οποιοσδήποτε άλλος μικροοργανισμός που τυχόν βρίσκεται στο έντερο των ανθρώπων και των ζώων μπορεί να εισχωρήσει στο νερό και κατ' επέκταση και παθογόνοι μικροοργανισμοί, επισημαίνοντας τους δυνητικούς κινδύνους μετάδοσης λοιμωδών νοσημάτων (Κουιμτζή και Σαμαρά,1994).

Εντερόκοκκος (*Enterococcus*)

Ανήκει στην οικογένεια των Στρεπτοκόκκων, στην ομάδα των D κατά Lancefield. Αποτελείται από διάφορα είδη που υπάρχουν στα κόπρανα ανθρώπων και θερμόαιμων ζώων. Στα κόπρανα ανθρώπων οι εντερόκοκκοι σπανίως υπερβαίνουν τους 10^6 /gr, ενώ στα κόπρανα των ζώων υπάρχουν σε μεγαλύτερο αριθμό από την *E.coli*. Σπανίως πολλαπλασιάζονται στο νερό και παρουσιάζουν μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στα περιβαλλοντικά stress και στην χλωρίωση από την *E.coli*. Η παρουσία τους αποτελεί απόδειξη μόλυνσης του ύδατος με περιττωματικές ουσίες και δη παλαιότερης μόλυνσης. Ο κύριος λόγος αναζήτησής τους είναι η εκτίμηση της σημασίας της παρουσίας Ολικών Κολοβακτηριοειδών επί απουσίας *E.coli* καθώς και η παροχή συμπληρωματικών πληροφοριών για την εκτίμηση της έκτασης πιθανής κοπρανώδους μόλυνσης (Κουιμτζή και Σαμαρά,1994).

2.6 Η ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΩΝ ΕΝΤΕΡΙΚΩΝ ΠΑΘΟΓΟΝΩΝ ΜΕ ΤΑ ΦΥΤΑ

Τις τελευταίες δυο δεκαετίες υπάρχει όλο και ένας αυξανόμενος αριθμός μολύνσεων, που οφείλονται σε εντερικά παθογόνους μικροοργανισμούς, από την κατανάλωση φρέσκων προϊόντων. Για το λόγο αυτό, απαραίτητη είναι η διερεύνηση της ανάπτυξης των ανθρωπινων παθογόνων στα φυτά. Οι εντερικά παθογόνοι μικροοργανισμοί μπορούν να επιβιώσουν κάτω από αντίξοες συνθήκες στα φυτά, προσκολλώντας ή εισβάλλοντας σε αυτά. Επίσης, η μικροβιακή χλωρίδα του φυτού και τα έντομα μπορούν να συμβάλλουν στην επιβίωση και μετάδοση των εντερικά παθογόνων στα φυτά. Ωστόσο, ανθρωπίνα εντερικά παθογόνα μπορούν να προκαλέσουν την ενεργοποίηση του ανοσοποιητικού συστήματος του φυτού, αλλά μερικά παθογόνα, όπως η *Salmonella* μπορούν να ξεπεράσουν τους μηχανισμούς άμυνας του φυτού (Jeong et al., 2014).

Επιβίωση εντερικών παθογόνων στα φυτά

Μια ποικιλία εντερικών παθογόνων έχουν βρεθεί σε φρέσκα φρούτα και λαχανικά, συμπεριλαμβανομένης της *S. enterica*, *Listeria monocytogenes*, *E. coli*, *Shigella spp.*, *Campylobacter spp.*, *Yersinia spp.*, και του *Staphylococcus aureus*. Η επαφή των εντερικών παθογόνων με τα λουλούδια, τους μίσχους ή τις ρίζες των φυτών οδηγεί σε διήθηση και αποικισμό των φυτικών ιστών. Οι εντερικά παθογόνοι μικροοργανισμοί συνήθως δεν θεωρούνται μέρος του μικροβιακού πληθυσμού της φυλλόσφαιρας. Ωστόσο, αυτή η αντίληψη τείνει να αντικρουστεί με βάση τα πρόσφατα κρούσματα τροφικών δηλητηριάσεων (Jeong et al., 2014).

Πολλές μελέτες έχουν ερευνήσει την επιβίωση των εντερικών παθογόνων στα φυτά. Η πλειονότητα των μελετών έχουν επικεντρωθεί στον ψεκάσμο της *E. coli* και της *Salmonella* ή στην τοποθέτηση απ' ευθείας πάνω στο φύλλωμα των φυτών. Όταν εφαρμόζονται απευθείας στο φύλλωμα, η *E. coli* και η *Salmonella* μπορεί να επιβιώσουν στο μαϊντανό για 177 και 231 ημέρες αντίστοιχα. Μετά τον ψεκάσμο μαρουλιών με μολυσμένο νερό, που περιείχε *E. Coli*, έγινε ανάκτηση της *E. Coli* από το φύλλωμα, ύστερα από 30 μέρες. Παρατηρήθηκε ότι η ανάκτηση ήταν μεγαλύτερη σε σύγκριση με των μαρουλιών που ποτίστηκαν κανονικά. Επιπλέον, τα φύλλα του μαρουλιού παρέμειναν μολυσμένα με *E. coli*, ακόμη και μετά το πλύσιμο, υποδεικνύοντας ότι ο ψεκάσμος λαχανικών με μολυσμένο νερό μπορεί να οδηγήσει σε εσωτερικό αποικισμό του φυτικού ιστού από τα εντερικά παθογόνα (Jeong et al., 2014).

Ο εσωτερικός αποικισμός του φυτού από εντερικά παθογόνα μπορεί να συμβεί και μέσω των ριζών. Έρευνες έδειξαν ότι, όταν φυτά μαρουλιού που καλλιεργήθηκαν σε ένα υδροπονικό σύστημα, του οποίου το θρεπτικό διάλυμα ήταν μολυσμένο με *E. Coli* ή *Salmonella Typhimurium*, τα εντερικά παθογόνα ανιχνεύτηκαν στην επιφάνεια των αποστειρωμένων φύλλων των μαρουλιών. Επομένως, η ύπαρξη *E. Coli* και *Salmonella Typhimurium* στο νερό άρδευσης ή στο θρεπτικό διάλυμα καθιστά δυνατή την εισχώρησή τους από τις ρίζες και τη μεταφορά τους στα φύλλα και τους μίσχους (Jeong et al., 2014).

Επίσης, βλάβη των ιστών μπορεί να ευνοήσει τον ταχύ πολλαπλασιασμό της *E. Coli* στα μαρούλια. Το μέγεθος του πληθυσμού της *E. Coli* τέσσερις ώρες μετά των εμβολιασμό των μαρουλιών, αυξήθηκε κατά 4 φορές όταν τα φύλλα του μαρουλιού είχαν μηχανικά μελανιαστεί, κατά 4,5 φορές όταν είχαν κοπεί σε μεγάλα κομμάτια και κατά 11 φορές όταν είχαν τεμαχιστεί σε πολλά κομμάτια. Συνεπώς, διάφορα είδη βλαβών των ιστών των φυτών κατά την συγκομιδή ή την επεξεργασία ευνοεί των πολλαπλασιασμό της *E. Coli* (Jeong et al., 2014).

Αλληλεπίδραση φυτοπαθογόνων με εντερικά παθογόνων

Οι ασθένειες των φυτών μπορούν να αλλάξουν το περιβάλλον της φυλλόσφαιρας και να ευνοήσουν την ανάπτυξη των εντερικών παθογόνων. Έρευνες έδειξαν ότι φυτά που εμβολιαστήκαν με *Pectobacterium carotovorum subsp. carotovorum* και *S. enterica* ή *E. Coli*, παρουσίασαν αυξημένα επίπεδα *S. enterica* ή *E. Coli* κατά 10 φορές περισσότερο, σε σύγκριση με τα φυτά που εμβολιάστηκαν μόνο με *S. enterica* ή *E. Coli*. Επίσης, σήψη που προκαλείται από τους μύκητες *Botrytis* και *Rhizopus* ενισχύει την ανάπτυξη της σαλμονέλας στις πατάτες, τα καρότα, και τα πιπέρια. Στην ανατολική ακτή της Βιρτζίνια ποικιλίες ντομάτας εμβολιάστηκαν με *S. enterica* και με *S. enterica* μαζί με *Ralstonia solanacearum*. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι ντομάτες που εμβολιάστηκαν με *S. enterica* σε συνδυασμό με *Ralstonia solanacearum* παρουσίασαν αυξημένες ποσότητες *S. enterica*, σε σχέση με αυτές που εμβολιάστηκαν μόνο με *S. enterica*. Προτάθηκε έτσι ότι το *R. solanacearum* ευνοεί την επιβίωση του *S. enterica* και την μεταφορά του μέσω των εσωτερικών ιστών της ντομάτας. Έκτος από τους φυτοπαθογόνους μικροοργανισμούς, έρευνες έδειξαν ότι και τα επίφυτα βακτήρια, όπως το

Pseudomonas syringae και η *Erwinia herbicola* ενίσχυσαν την επιβίωση του *S. enterica* στα φύλλα. Ωστόσο, στην ριζόσφαιρα ο πληθυσμός της *S. enterica* και *E. Coli* μπορεί να είναι μειωμένος σε σχέση με την φυλλόσφαιρα, λόγω του ανταγωνισμού με τους επίφυτους μικροοργανισμούς της ρίζας (Jeong et al., 2014).

2.7 ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΑ ΟΡΙΑ ΓΙΑ ΤΑ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΠΡΟΟΡΙΖΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΓΙΑ ΑΡΔΕΥΣΗ.

Τα νομοθετικά όρια για την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων για αρδευτικούς σκοπούς διαφέρουν από χώρα σε χώρα. Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO) το 1989 θέσπισε ως ανώτατο επιτρεπτό όριο των περιττωματικών κολοβακτηριδίων (*Fecal coliforms*) στα λύματα που προορίζονται για απεριόριστη άρδευση τις 1.000 αποικίες/100ml. Σύμφωνα με τον Οργανισμό Προστασίας του Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών (EPA), η επαναχρησιμοποίηση λυμάτων για πότισμα καλλιεργειών τροφίμων σε μερικές πολιτείες απαγορεύεται, ενώ σε άλλες επιτρέπεται μονό υπό την προϋπόθεση ότι δεν προορίζονται να καταναλωθούν ωμά. Στην πολιτεία της Νεβάδα η επαναχρησιμοποίηση λυμάτων επιτρέπεται μόνο για επιφανειακή άρδευση και το ανώτατο επιτρεπτό όριο των *Fecal coliforms* στα λύματα καθορίζεται στις 400 αποικίες/100ml. Στις πολιτείες που τα λύματα επαναχρησιμοποιούνται για άρδευση τροφίμων που ενδέχεται να καταναλωθούν ωμά θεσπίζονται αυστηρότερες ρυθμίσεις για τον έλεγχο των λυμάτων που προορίζονται για επαναχρησιμοποίηση. Τέτοια όρια είναι θεσπισμένα στις πολιτείες της Αριζόνα, της Καλιφόρνιας, της Φλόριντας, της Χαβάης και της Ουάσινγκτον. Στην Αριζόνα και στη Χαβάη τα ανώτατα επιτρεπτά όρια των *Fecal coliforms* στα λύματα καθορίζεται στις 23 αποικίες/100ml, ενώ στη Φλόριντα στις 25 αποικίες/100ml. Στη Καλιφόρνια και στην Ουάσινγκτον το ανώτατο επιτρεπτό όριο των *Total coliforms* θεσπίζεται στις 23 αποικίες/100ml (WHO, 1989; EPA, 2004; Ανδρεαδάκης et al., 2005).

Στην Ευρώπη δεν υπάρχει μια κοινή κατευθυντήρια γραμμή για όλα τα κράτη μέλη. Στην Ιταλία ο νόμος θέτει ως ανώτατο επιτρεπτό όριο συγκέντρωσης της *Escherichia coli* σε νερό άρδευσης τις 10 αποικίες/100ml για το 80% των δειγμάτων και τις 100 αποικίες/100ml για το 95% των δειγμάτων. Ωστόσο, αν το νερό προέρχεται από συστήματα φυτοθεραπείας τα όρια καθορίζονται στις 50 αποικίες *E.coli*/100ml για το 80% των δειγμάτων και στις 200 αποικίες *E.coli*/100ml για το 95% των δειγμάτων. Στην Κύπρο τα ανώτατα επιτρεπτά όρια για απεριόριστη άρδευση καθορίζονται στις 5 αποικίες *Fecal coliforms*/100ml για το 80% των δειγμάτων και στις 15 αποικίες *Fecal coliforms*/100ml για το 95% των δειγμάτων. Σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες όπως η Γαλλία και η Ισπανία (Ανδαλουσία) τα νομοθετικά όρια είναι λιγότερο αυστηρά με τα ανώτατα επιτρεπτά όρια για *Fecal coliforms* στα

λύματα να καθορίζονται σε 1.000 αποικίες/100ml. Τέλος, σύμφωνα με την Κοινή Υπουργική Απόφαση 145116/2011 για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων τα ανώτατα επιτρεπτά μικροβιολογικά όρια για απεριόριστη άρδευση στην Ελλάδα καθορίζονται σε E.Coli ≤ 5 αποικίες/100ml για το 80% των δειγμάτων και E.Coli ≤ 50 αποικίες/100ml για το 95% των δειγμάτων (D.M. η. 185/2003; Brissaud, 2008; Υ.Α οικ. 145116/2011).

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

3.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εκτίμηση της αποτελεσματικότητας της υπεριώδους ακτινοβολίας, ως απολυμαντικό μέσο, των απορροών υδροπονικών καλλιεργειών, με στόχο την δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης τους (συστήματα επανακυκλοφορίας). Για την αξιολόγηση της απολυμαντικής δράσης της διάταξης UVC χρησιμοποιήθηκαν τρεις διαφορετικές ομάδες μικροοργανισμών (*T.coliforms*, *E.coli* και ο Εντερόκοκκος), όπου μέσω πειραματικών διαδικασιών θελήσαμε να παρατηρήσουμε εάν υπάρχει σημαντική μείωση του βακτηριακού πληθυσμού στο διάλυμα της απορροής μετά την απολύμανση.

3.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Αρχικά λήφθηκαν οι σχεδιαστικές παράμετροι βάσει των οποίων σχεδιάστηκε, μέσω έρευνας από βιβλιογραφία, η διάταξη απολύμανσης με χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας (UV-C).

Για την διάταξη απολύμανσης UV-C χρησιμοποιήθηκε λάμπα εκπομπής μήκους κύματος φωτός $\lambda=254$ nm η οποία τοποθετήθηκε στο κέντρο κυλινδρικής στήλης χωρητικότητας 500 mL. Επειδή η ένταση της ακτινοβολίας της λάμπας ήταν καθορισμένη, ο μοναδικός παράγοντας που μπορούσε να μεταβληθεί ήταν ο χρόνος ακτινοβολήσης (δηλαδή ο χρόνος παραμονής του υγρού εντός του συστήματος απολύμανσης). Οι χρόνοι ακτινοβολήσης που χρησιμοποιήθηκαν ήταν 13sec, 15sec, 20sec, 30sec και 45sec. Βάσει των μετρήσεων με μεταβλητό χρόνο ακτινοβολήσης διαφοροποιούνταν και η παροχή του αποβλήτου στο κυλινδρικό δοχείο, η οποία ρυθμιζόταν με περισταλτική αντλία μεταβαλλόμενης παροχής. Οι μετρήσεις των εξεταζόμενων ομάδων μικροοργανισμών πραγματοποιούνταν με δειγματοληψία πριν την είσοδο και μετά την έξοδο του αποβλήτου από το κυλινδρικό δοχείο. Η συγκέντρωση των μικροοργανισμών στο προς εξέταση διάλυμα προέκυπτε με τη χρήση αποστειρωμένου φίλτρου με πόρους διαμέτρου $d=0,45$ μm , το οποίο ήταν εμποτισμένο με κατάλληλα θρεπτικά συστατικά. Το φίλτρο τοποθετούνταν σε συσκευή διήθησης με κενό αέρος και γίνονταν διήθηση του υγρού. Αμέσως μετά, το φίλτρο τοποθετούνταν για επώαση σε τρυβλία σε επωαστήριο, στους 37°C. Την μέθοδο αυτή ακολουθήσαμε και στις δοκιμές στο εργαστήριο και στο πεδίο με την διαφορά όμως ότι στο εργαστήριο τα δείγματα λαμβάνονταν μετά από απολύμανση δείγματος 2500ml. Ενώ, στο πεδίο γινόταν λήψη ανά 5, 10, 15, 20 και 30 λεπτών από την λειτουργία της διάταξης UV.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ

Για την παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκαν δέκα δειγματοληψίες και δύο εφαρμογές της διάταξης απολύμανσης UV-C στο πεδίο. Για να υπάρχει μεγάλη ποικιλία πειραματικών αποτελεσμάτων οι δειγματοληψίες έλαβαν χώρα σε τρία διαφορετικά θερμοκήπια των Νομών Χανίων και Ρεθύμνης, τα δυο καλλιεργούσαν ντομάτες σε υπόστρωμα πετροβάμβακα (εικόνα 4.1) (Βιράν Επισκοπή Ρεθύμνου, Επισκοπή Ρεθύμνου) και το τρίτο καλλιεργούσε αγγούρια σε σύστημα NFT (ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε Χανίων) (εικόνα 4.2). Η απολύμανση στο πεδίο πραγματοποιήθηκε στο θερμοκήπιο της Βιράν Επισκοπής και της Επισκοπής. Στη συνέχεια, τα δείγματα προς επεξεργασία, αφού συλλέγονταν από το εκάστοτε θερμοκήπιο, μεταφέρονταν στο εργαστήριο για να ακολουθήσουν οι πειραματικές διαδικασίες που αναλύονται παρακάτω.



Εικόνα 4.1: Αριστερά απεικονίζεται καλλιέργεια ντομάτας σε υπόστρωμα πετροβάμβακα στο θερμοκήπιο της Βιράν Επισκοπής. Δεξιά απεικονίζεται το θερμοκήπιο της Βιράν Επισκοπής.



Εικόνα 4.2: Θερμοκήπιο καλλιέργειας αγγουριών στο ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε Χανίων.

4.1 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ

Για την προετοιμασία των δειγμάτων και την περαιτέρω επεξεργασία τους χρησιμοποιήθηκε ο εξής εργαστηριακός εξοπλισμός,

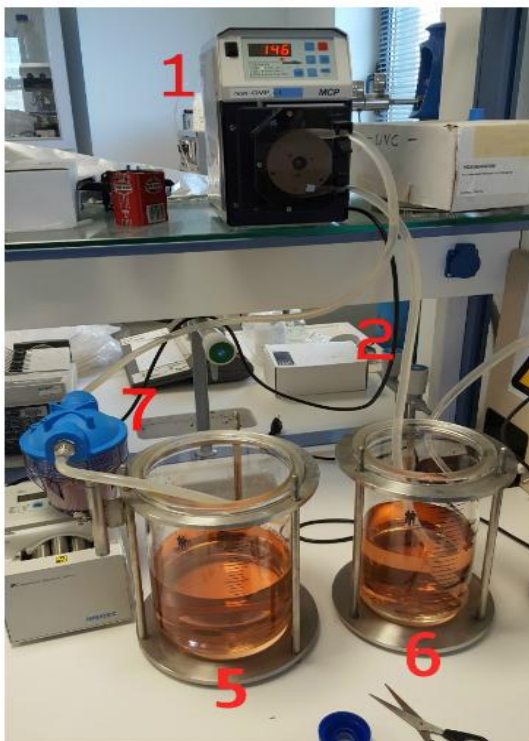
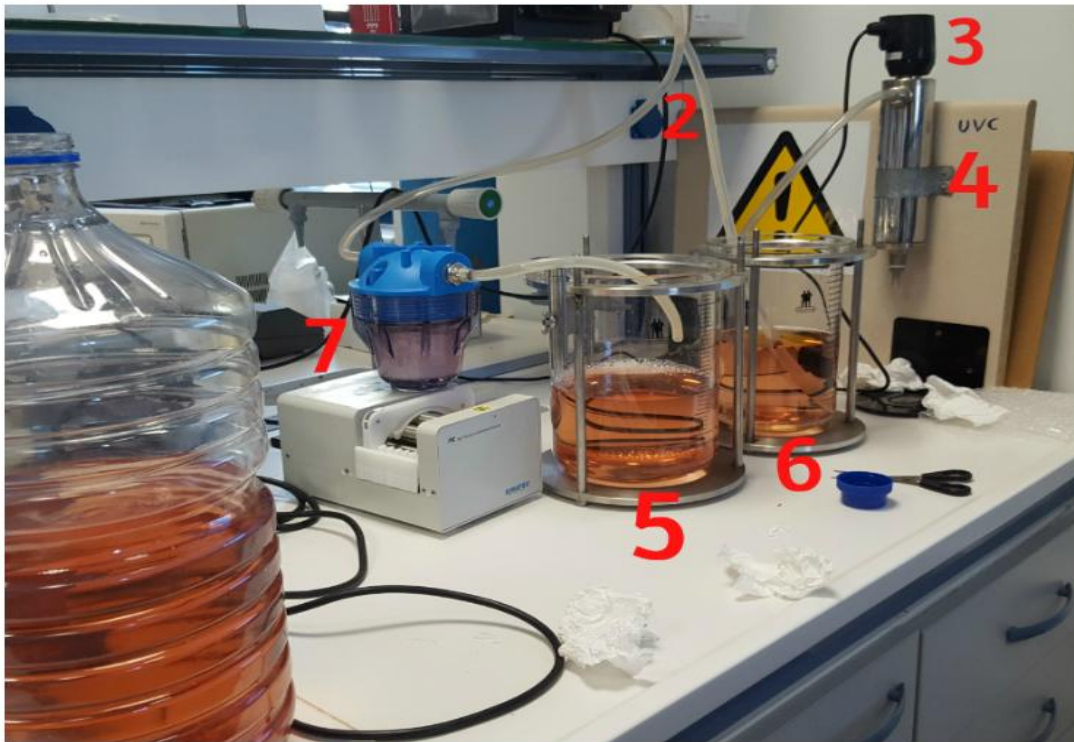
- Αποστειρωμένα τρυβλία , διαμέτρου 55 mm
- Φίλτρα Whatman : Membrane filters 0,45 μm (Mixed cellulose ester)
- Ογκομετρικοί κύλινδροι
- Ογκομετρικές φιάλες
- Ποτήρια ζέσεως
- Πιπέτα SCI LOGEX 1mL
- Συσκευή διήθησης με κενό

Σύστημα απολύμανσης υπεριώδους ακτινοβολίας

Το σύστημα απολύμανσης αποτελούνταν (εικόνα 4.3),

- Αντλία ISMATEC, Type : MCP V.5.12 μεταβλητής παροχής.
- Σωληνάκι συλικονούχο, για την μεταφορά του αποβλήτου στη συσκευή απολύμανσης.
- Λάμπα UV μήκους κύματος $\lambda = 254 \text{ nm}$, LAMP ASSY (TUBED), ισχύος 10W , Model : S212RL.
- Φωτιστικό σώμα λάμπας μάρκας sterilight copper, όγκου V = 500mL.
- Ογκομετρική φιάλη συλλογής δείγματος.
- Ογκομετρική φιάλη συλλογής απολυμασμένου δείγματος.

- Συσσκευή φιλτραρίσματος νερού παροχής ύδρευσης $\varnothing 1/2''$ 8 bar 45°C μικρή μονή (μοντέλο SX AS 3P MEDIUM PLUS) με φίλτρο νήματος πολυπροπυλενίου 25 micron για συγκράτηση λάσπης & σκουριάς 5''(μοντέλο FA 5 SX FOR MEDIUM).



Εικόνα 4.3: Σύστημα απολύμανσης υπεριώδους ακτινοβολίας (UV-C): 1. Αντλία ISMATEC, Type : MCP V.5.12 μεταβλητής παροχής, 2. Σωληνάκι συλικονούχο για την μεταφορά του αποβλήτου στη συσκευή απολύμανσης, 3. Λάμπα UV μήκους κύματος $\lambda = 254 \text{ nm}$, LAMP ASSY (TUBED), ισχύος 10W , Model : S212RL, 4. Φωτιστικό σώμα λάμπας μάρκας sterilight copper,

όγκου V = 500mL, 5. Ογκομετρική φιάλη συλλογής δείγματος, 6. Ογκομετρική φιάλη συλλογής απολυμασμένου δείγματος, 7. Συσκευή φιλτραρίσματος νερού παροχής ύδρευσης Ø½" 8 bar 45°C μικρή μονή (μοντέλο SX AS 3P MEDIUM PLUS) με φίλτρο νήματος πολυπροπυλενίου 25 micron για συγκράτηση λάσπης & σκουριάς 5"(μοντέλο FA 5 SX FOR MEDIUM).

Προσδιορισμός ποιοτικών χαρακτηριστικών δείγματος

- Ο υπολογισμός των αμμωνιακών ιόντων έγιναν με το κιτ αντιδραστηρίων Nessler Kit της HACH.
- Τα νιτρικά ιόντα υπολογίστηκαν με έτοιμα φιαλίδια LCK 339 της HACH.
- Και τα φωσφορικά ιόντα υπολογίστηκαν με έτοιμα φιαλίδια LCK 349 της HACH.
- Η χώνευση των παραπάνω φιαλιδίων έγινε σε φούρνο HACH LT200 για LCK φιαλίδια και οι μετρήσεις έγιναν σε Φασματοφωτόμετρο HACH DR2800.
- Το pH μετρήθηκε με το φορητό pH-μέτρο WTW Mutli 3410.
- Η αγωγιμότητα μετρήθηκε από το όργανο Eutech Instruments COND 500 με ηλεκτρόδιο CELL COND EPOXY ATC 25' K=1.0.
- Τέλος, η θολερότητα μετρήθηκε από το όργανο HACH Ratio Turbimeter 19800.

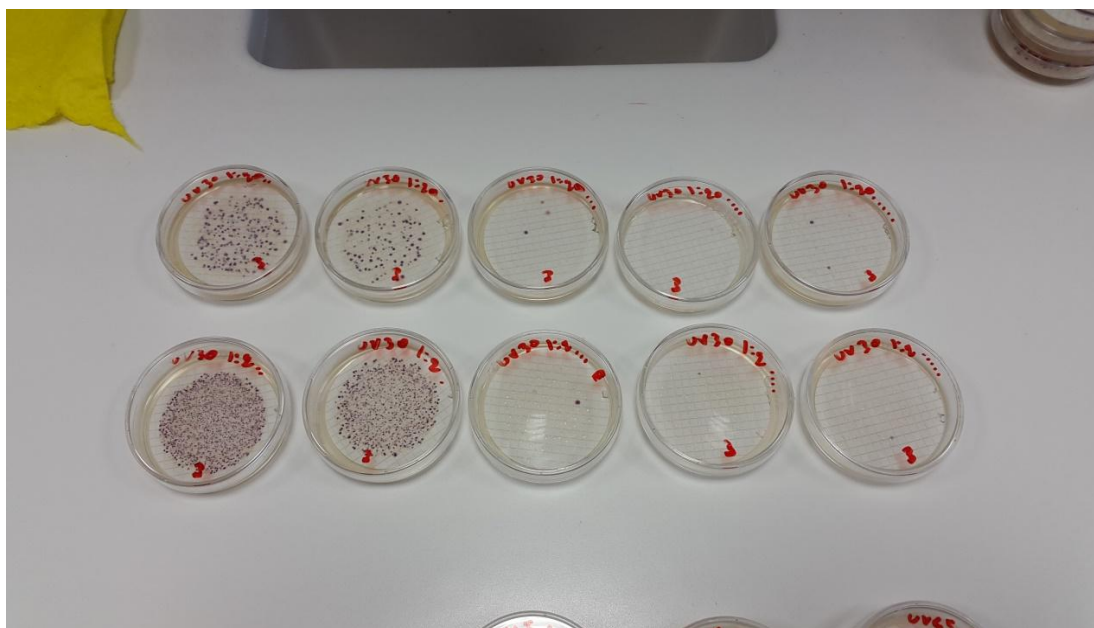
Επώαση μικροοργανισμών

Για την επώαση των μικροοργανισμών χρησιμοποιήθηκαν τρία διαφορετικά είδη υποστρώματος, ένα για τη καταμέτρηση των αποικιών της *E.Coli* και των *Total Coliforms* και δύο για την καταμέτρηση των αποικιών του εντερόκοκκου.

Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε, για την παραγωγή υποστρώματος, για την ανάπτυξη της *E.Coli* και των *Total Coliforms* ήταν το Harlequin E.coli/Coliform Medium HAL008, στο οποίο, οι αποικίες της *E.Coli* εμφανίζονταν με μπλε χρώμα και οι αποικίες των υπόλοιπων κολοβακτηριδίων με ροζ. Για την ανάπτυξη του εντερόκοκκου χρειάστηκαν δύο διαφορετικά είδη υποστρώματος α) Slanetz & Bartley Medium LAB 166 και β) Bile Aesculin Agar LAB207. Στο πρώτο υπόστρωμα γινόταν η επώαση των αποικιών του εντερόκοκκου, όπου εμφανίζονταν με καφέ χρώμα και στο δεύτερο υπόστρωμα τοποθετούνταν για να διαχωρίσουμε τους εντερόκοκκους κοπρανώδους προέλευσης από τους υπόλοιπους, των οποίων οι αποικίες γίνονταν μαύρες.

Μετά την παραγωγή των τριών υποστρωμάτων σύμφωνα με τις οδηγίες που αναγράφονταν στις συσκευασίες τους, το άγαρ τοποθετούνταν σε αποστειρωμένα τρυβλία και αποθηκευόταν στο ψυγείο (DOMETIC MP280) στους 5,8°C. Για την επώαση και ανάπτυξη των μικροοργανισμών στα τρυβλία χρησιμοποιήθηκε επωαστικός κλίβανος Heraeus , model : BBD6220, ρυθμισμένος στους 37°C. Η διάρκεια επώασης για τα τρυβλία της *E.Coli* και των *Total Coliforms* ήταν 24 ώρες

και του εντερόκοκκου για τα τρυβλία του υποστρώματος (α) ήταν 48 ώρες και μετέπειτα τοποθέτηση του φίλτρου διήθησης στα τρυβλία του υποστρώματος (β) για 45 λεπτά (εικόνα 4.4).



Εικόνα 4.4: Τρυβλία πετρί *T.coliforms* και *E.coli* μετά από επώαση 24 ωρών.

4.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΠΟΛΥΜΑΝΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ UVC

Περιγραφή διαδικασίας

Αρχικά, συλλέγαμε το δείγμα σε αποστειρωμένα πλαστικά δοχεία ΡΤΕ(εικόνα 4.5) και στην συνέχεια το μεταφέραμε στο εργαστήριο, όπου λάμβανε χώρα η διαδικασία της απολύμανσης. Το δείγμα τοποθετούνταν σε μια ογκομετρική φιάλη και με την βοήθεια περισταλτικής αντλίας, η οποία ρυθμιζόταν κάθε φορά στις κατάλληλες στροφές για να επιτυγχάνεται ο επιθυμητός χρόνος ακτινοβολήσης, μεταφερόταν στο φίλτρο, όπου κατακρατούνταν αιωρούμενα στερεά και άλγη, και έπειτα στην συσκευή απολύμανσης. Η συλλογή του απολυμασμένου δείγματος, για κάθε χρόνο ακτινοβολήσης, πραγματοποιούνταν σε ποτήρια ζέσεως ύστερα από απολύμανση δείγματος 2500ml, δηλαδή όγκου πενταπλάσιου της χωρητικότητας της στήλης UV (500ml).



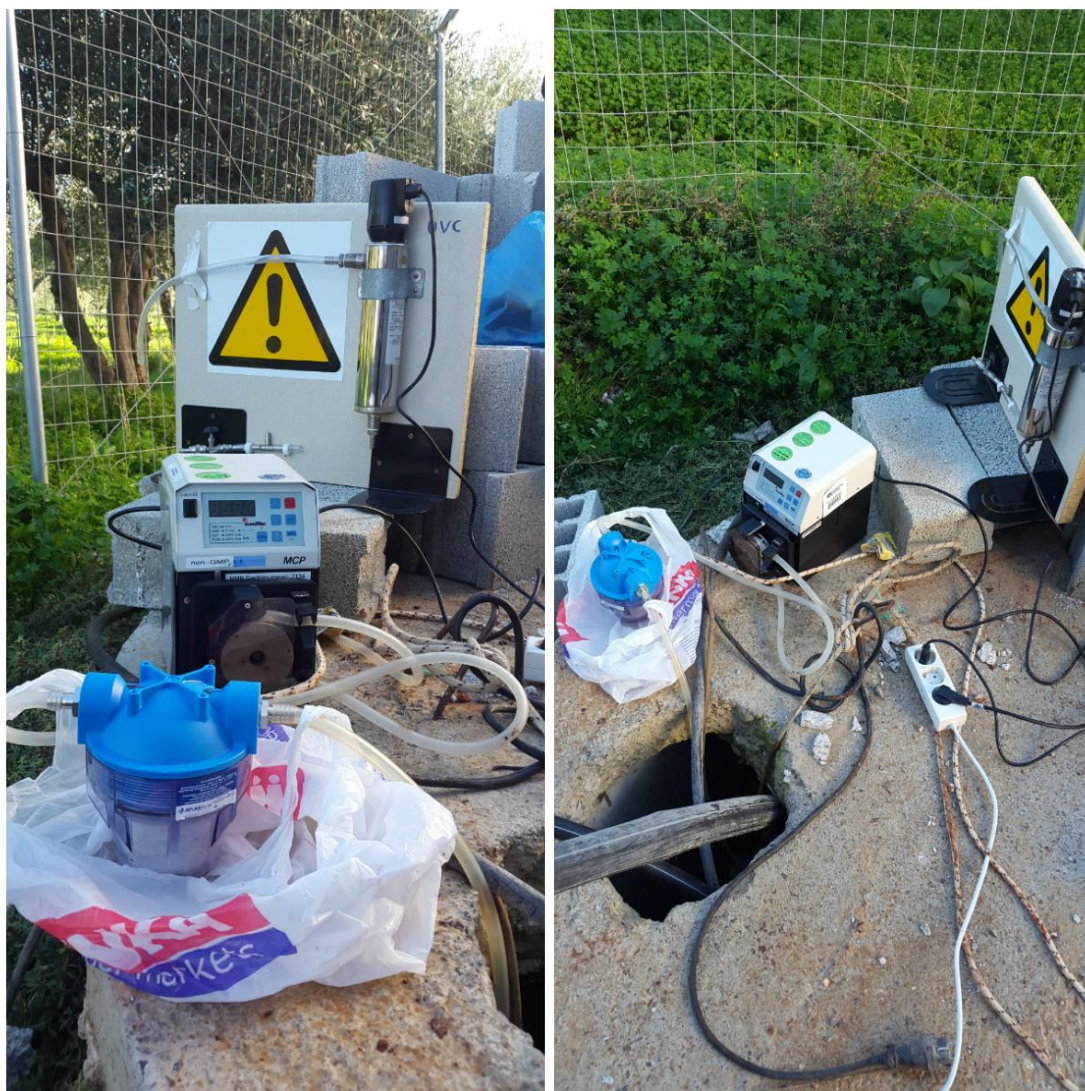
Εικόνα 4.5: Συλλογή δείγματος σε αποστειρωμένα πλαστικά δοχεία ΡΤΕ από την απορροή του θερμοκήπιο του ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε Χανίων.

Οι μετρήσεις των εξεταζόμενων μικροοργανισμών πραγματοποιούνταν με δειγματοληψία πριν την είσοδο και μετά την έξοδο από την διάταξη απολύμανσης (για κάθε χρόνο ακτινοβολήσης). Κατόπιν κατάλληλων αραιώσεων λαμβάνονταν ποσότητα 100mL των αραιωμένων δειγμάτων και τοποθετούνταν στη συσκευή διήθησης με κενό (εικόνα 4.6). Μέσω της συσκευής διήθησης οι μικροοργανισμοί κατακρατούνταν σε φίλτρα πόρων $d=45\mu\text{m}$. Έπειτα, τα φίλτρα τοποθετούνταν σε τρυβλία με το κατάλληλο υπόστρωμα ανάπτυξης και αφήνονταν να επωαστούν σε κλίβανο με σταθερή θερμοκρασία 37°C . Τα τρυβλία για την *Escherichia Coli* και τα *T.coliforms* παρέμεναν για 24 ώρες στον επωαστικό κλίβανο, ενώ του εντερόκοκκου για 48 ώρες και μετέπειτα τοποθετούνταν σε τρυβλία διαφορετικού υποστρώματος για 45 λεπτά, με σκοπό να διαχωρίσουμε τους εντερόκοκκους κοπρανώδους προέλευσης από τους υπόλοιπους, των οποίων οι αποικίες γίνονταν μαύρες. Τέλος, καταμετρούνταν οι αποικίες στα τρυβλία και επεξεργάζονταν τα αποτελέσματα.



Εικόνα 4.6: Προετοιμασία δειγμάτων για διήθηση

Την ίδια μέθοδο ακολουθήσαμε και στην απολύμανση που έλαβε χώρα στο πεδίο (εικόνα 4.7 και εικόνα 4.8), με την διαφορά όμως ότι τα δείγματα δεν λαμβάνονταν μετά από απολύμανση δείγματος 2500ml. Ωστόσο, γινόταν λήψη ανά 5, 10, 15, 20 και 30 λεπτών από την λειτουργία της διάταξης UV-C. Επιπλέον, πρέπει να επισημανθεί ότι δεν πραγματοποιήθηκε φίλτρηση όλων των δειγμάτων, αλλά αποφασίσαμε να επιλέξουμε τυχαία σε κάποια δείγματα να μην πραγματοποιηθεί φίλτρηση, ώστε να συγκρίνουμε την αποτελεσματικότητα της διάταξης με και χωρίς το φίλτρο.



Εικόνα 4.7: Πειραματική διάταξη UV-C με φίλτρο στο θερμοκήπιο της Βιράν Επισκοπής.



Εικόνα 4.8: Πειραματική διάταξη UV-C με φίλτρο στο θερμοκήπιο της Επισκοπής.

Υπολογισμός δόσης ακτινοβολίας

Από βιβλιογραφία συλλέξαμε πληροφορίες για τις βέλτιστες σχεδιαστικές παραμέτρους που θα μπορούσαμε να επιτύχουμε σε εργαστηριακή κλίμακα και προσπαθήσαμε να φτάσουμε όσο πιο κοντά γίνεται σε αυτές. Το δοχείο απολύμανσης είχε χωρητικότητα όγκου 500 mL, η λάμπα υπεριώδους ακτινοβολίας που χρησιμοποιήθηκε ήταν χαμηλής πίεσης Ισχύος 10w, το μήκος του δοχείου ήταν $L=23$ cm και η ακτίνα του δοχείου ήταν $\rho=3,15$ cm. Από την βιβλιογραφία (Ehret et al.,2001) γνωρίζουμε ότι το ποσοστό μετατροπής της ενέργειας που δαπανάται για την παραγωγή υπεριώδους ακτινοβολίας μπορεί να φτάσει μέχρι και 40% για τους λαμπτήρες χαμηλής πίεσης. Σε συνδυασμό με τα παραπάνω δεδομένα και τις παρακάτω εξισώσεις (4.1, 4.2, 4.3, 4.4) πραγματοποιήθηκε ο υπολογισμός της δόσης που θα επιβαλλόταν στα δείγματα για χρόνους ακτινοβολήσης 13 sec, 15 sec, 20 sec, 30 sec και 45 sec.

$$E = 2 * \pi * \rho * L \quad (4.1)$$

Όπου,

E = επιφάνεια εσωτερικού κελύφους (cm^2)

ρ = ακτίνα δοχείου (cm)

L = μήκος δοχείου (cm)

$$\text{Προσπίπτουσα ακτινοβολία} = \text{Ισχύς λαμπτήρα} * \text{Ποσοστό μετατροπής} \quad (4.2)$$

$$I_E = \frac{\text{Προσπίπτουσα ακτινοβολία}}{E} \quad (4.3)$$

$$D = I_E * t \quad (4.4)$$

Όπου,

D = Δόση ακτινοβολίας (mj/cm^2)

I_E = Ένταση ακτινοβολίας (mW/cm^2)

t = χρόνος ακτινοβολήσης (sec)

Επομένως, από εξίσωση (4.1) προκύπτει,

$$E = 2 * 3,14 * 3,15cm * 23cm \Rightarrow$$

$$E = 455cm^2 \text{ (4.5)}$$

Από εξίσωση (4.2) έχουμε,

$$\text{Προσπίπτουσα ακτινοβολία} = 10 W * 0,4 \Rightarrow$$

$$\text{Προσπίπτουσα ακτινοβολία} = 4 W = 4.000 mW \text{ (4.6)}$$

Από εξίσωση (4.3) και εξίσωση (4.5) και (4.6) προκύπτει,

$$I_E = \frac{4.000 mW}{455 cm^2} \Rightarrow$$

$$I_E = 8,79 \frac{mW}{cm^2} \text{ (4.7)}$$

Από εξίσωση (4.4) και εξίσωση (4.7) προκύπτει,

- Για χρόνο ακτινοβολήσης $t=13 \text{ sec}$ η δόση ακτινοβολίας ήταν,

$$D = 8,79 \frac{mW}{cm^2} * 13 s = 114,27 mJ/cm^2$$

- Για χρόνο ακτινοβολήσης $t=15 \text{ sec}$ η δόση ακτινοβολίας ήταν,

$$D = 8,79 \frac{mW}{cm^2} * 15 s = 131,85 mJ/cm^2$$

- Για χρόνο ακτινοβολήσης $t=20 \text{ sec}$ η δόση ακτινοβολίας ήταν,

$$D = 8,79 \frac{mW}{cm^2} * 20 s = 175,8 mJ/cm^2$$

- Για χρόνο ακτινοβολήσης $t=30 \text{ sec}$ η δόση ακτινοβολίας ήταν,

$$D = 8,79 \frac{\text{mW}}{\text{cm}^2} * 30 \text{ s} = 263,7 \text{ mJ/cm}^2$$

- Για χρόνο ακτινοβολήσης $t=45 \text{ sec}$ η δόση ακτινοβολίας ήταν,

$$D = 8,79 \frac{\text{mW}}{\text{cm}^2} * 45 \text{ s} = 395.55 \text{ mJ/cm}^2$$

4.3 ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΟΥ ΘΡΕΠΤΙΚΟΥ ΔΙΑΛΥΜΑΤΟΣ

Επισκοπή

Πίνακας 4.1: Ποιοτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων της Επισκοπής

5 Χαρακτηριστικά/δείγμα	Εισόδου	Εξόδου
N-NH ₃ (mg/l)	400	340
NO ₃ ⁻ -N (mg/l)	90	120
PO ₃ ³⁻ -P (mg/l)	21,4	26,8

Από το πίνακα 4.1 παρατηρούμε ότι στην καλλιέργεια ντομάτας του θερμοκηπίου της Επισκοπής πριν την είσοδο του θρεπτικού διαλύματος στο σύστημα έχουμε συγκέντρωση αμμωνιακών ιόντων (N-NH₃) 400 mg/l ενώ μετά την έξοδο του θρεπτικού διαλύματος από το σύστημα έχουμε συγκέντρωση 340 mg/l. Επομένως, με ένα πρόχειρο υπολογισμό θα μπορούσαμε να πούμε ότι στο σύστημα καταναλώνονται 60 mg/l N-NH₃ και στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης του διαλύματος της απορροής θα μπορούσαμε να εξοικονομήσουμε 340 mg/l N-NH₃, δηλαδή το 85% της αρχικής συγκέντρωσης των αμμωνιακών ιόντων στο θρεπτικό διάλυμα. Για τα φωσφορικά ιόντα (PO₃³⁻-P) πριν την είσοδο του θρεπτικού διαλύματος στο σύστημα έχουμε συγκέντρωση 21,4 mg/l και μετά την έξοδο του θρεπτικού διαλύματος από το σύστημα έχουμε συγκέντρωση 26,8 mg/l. Εδώ παρατηρούμε μια μία αύξηση στην συγκέντρωση των φωσφορικών ιόντων η οποία δεν είναι φυσιολογική και πολύ πιθανόν να οφείλεται σε λάθος που συνέβη κατά την διάρκεια του προσδιορισμού της συγκέντρωσης τους. Το ίδιο πολύ πιθανόν να συνέβη και στον προσδιορισμό των νιτρικών ιόντων, αφού και αυτά παρουσίασαν αύξηση της συγκέντρωσης τους μετά την έξοδο από το σύστημα.

ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε ΧΑΝΙΩΝ

Πίνακας 4.2: Ποιοτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων της Επισκοπής

Χαρακτηριστικά/δείγμα	Εισόδου	Εξόδου
N-NH₃ (mg/l)	27	12
NO₃⁻-N (mg/l)	66	70
PO₃³⁻-P (mg/l)	24,8	19,26

Από το πίνακα 4.2 παρατηρούμε ότι στην καλλιέργεια αγγουριού του θερμοκηπίου του ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε πριν την είσοδο του θρεπτικού διαλύματος στο σύστημα έχουμε συγκέντρωση αμμωνιακών ιόντων (N-NH₃) 27 mg/l ενώ μετά την έξοδο του θρεπτικού διαλύματος από το σύστημα έχουμε συγκέντρωση 12 mg/l. Επομένως, με ένα πρόχειρο υπολογισμό θα μπορούσαμε να πούμε ότι στο σύστημα καταναλώνονται 15 mg/l N-NH₃ και στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης του διαλύματος της απορροής θα μπορούσαμε να εξοικονομήσουμε 12 mg/l N-NH₃, δηλαδή το 44,45% της αρχικής συγκέντρωσης των αμμωνιακών ιόντων στο θρεπτικό διάλυμα. Για τα φωσφορικά ιόντα (PO₃³⁻-P) πριν την είσοδο του θρεπτικού διαλύματος στο σύστημα έχουμε συγκέντρωση 24,8 mg/l και μετά την έξοδο του θρεπτικού διαλύματος από το σύστημα έχουμε συγκέντρωση 19,26 mg/l. Επομένως, με ένα πρόχειρο υπολογισμό θα μπορούσαμε να πούμε ότι στο σύστημα καταναλώνονται 5,54 mg/l PO₃³⁻-P και στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης του διαλύματος της απορροής θα μπορούσαμε να εξοικονομήσουμε 19,26 mg/l PO₃³⁻-P, δηλαδή το 77,7% της αρχικής συγκέντρωσης των φωσφορικών ιόντων στο θρεπτικό διάλυμα. Τέλος, για τα νιτρικά ιόντα (NO₃⁻-N) πριν την είσοδο του θρεπτικού διαλύματος στο σύστημα έχουμε συγκέντρωση 66 mg/l και μετά την έξοδο του θρεπτικού διαλύματος από το σύστημα έχουμε συγκέντρωση 70 mg/l. Εδώ παρατηρούμε μια μία αύξηση στην συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων η οποία δεν είναι φυσιολογική και πολύ πιθανόν να οφείλεται σε λάθος που συνέβη κατά την διάρκεια του προσδιορισμού της συγκέντρωσης τους.

Βιράν Επισκοπή

Στα δείγματα της Βιράν Επισκοπής δεν πραγματοποιήθηκε προσδιορισμός της συγκέντρωσης των νιτρικών, αμμωνιακών και φωσφορικών ιοντών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Σε αυτό το κεφάλαιο παρατίθενται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα όλων των πειραμάτων.

Παρακάτω παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά κάθε δείγματος και τα αποτελέσματα που προέκυψαν κατά την διάρκεια των πειραμάτων μεταβάλλοντας τον χρόνο ακτινοβολήσης.

5.1 ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ

Στους πίνακες 5.1 – 5.4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή της διάταξης UVC σε δείγματα που μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο.

Πίνακας 5.1: Ποιοτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων, που η απολύμανση πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο.

Χαρακτηριστικά/δείγμα	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°
Ημερομηνία	01/10/16	20/10/16	01/11/16	01/11/16	09/11/16	25/11/16	25/11/16	25/11/16	25/11/16	25/11/16
Δειγματοληψίας	Βιράν	Επισκοπή	ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε	ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε	Επισκοπή	Επισκοπή	Επισκοπή	Επισκοπή	Βιράν	Βιράν
Τοποθεσία	Επισκοπή								Επισκοπή	Επισκοπή
Καλλιέργεια	Ντομάτας	Ντομάτας	Αγγουριού	Αγγουριού	Ντομάτας	Ντομάτας	Ντομάτας	Ντομάτας	Ντομάτας	Ντομάτας
pH	7,4	6,15	6,2	6,2	6,15	6,1	6,1	6,1	7,2	7,2
Αγωγιμότητα(mS/cm ²)	35,5	25,8	18,2	18,2	25,8	25,5	25,5	25,5	24,3	24,3
Θολερότητα πριν την Φίλτραση (NTU)	-	5,5	3,1	3,1	6	6	6	6	-	-
Θολερότητα μετά την Φίλτραση (NTU)	-	-	1	1	1	1	1	1	-	-
N-NH ₃ (mg/l)	-	340	12	12	340	340	340	340	-	-
NO ₃ ⁻ -N (mg/l)	-	120	70	70	120	120	120	120	-	-
PO ₃ ³⁻ -P (mg/l)	-	26,8	19,26	19,26	26,8	26,8	26,8	26,8	-	-
Θερμοκρασία (°C)	-	20	21	21	20	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5

Πίνακας 5.2: Συγκεντρωτικός πίνακας μείωσης του πληθυσμού της *E.coli* μετά από απολύμανση με UV στο εργαστήριο για τα δείγματα του πίνακα 5.1, στους διάφορους χρόνους ακτινοβολήσης.

Escherichia coli (αποικίες/100ml)										
Χρόνος ακτινοβολήσης (s)	1° δείγμα	2° δείγμα	3° δείγμα	4° δείγμα	5° δείγμα	6° δείγμα	7° δείγμα	8° δείγμα	9° δείγμα	10° δείγμα
0	900	20.150	0	0	40.000	2.000	3.000	4.000	2.500	3.000
13	-	-	-	-	-	0	0	0	-	-
15	0	-	0	0	-	-	-	-	0	0
20	-	-	-	-	0	0	0	0	-	-
30	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0

Πίνακας 5.3: Συγκεντρωτικός πίνακας μείωσης του πληθυσμού των *T.coliforms* μετά από απολύμανση με UV στο εργαστήριο για τα δείγματα του πίνακα 5.1, στους διάφορους χρόνους ακτινοβολήσης.

Total coliforms (αποικίες/100ml)										
Χρόνος ακτινοβολήσης (s)	1 ^ο δείγμα	2 ^ο δείγμα	3 ^ο δείγμα	4 ^ο δείγμα	5 ^ο δείγμα	6 ^ο δείγμα	7 ^ο δείγμα	8 ^ο δείγμα	9 ^ο δείγμα	10 ^ο δείγμα
0	94.000	3.000.000	6.300	5.000	2.350.000	40.000	55.000	80.000	280.000	308.000
13	-	-	-	-	-	20	56	220	-	-
15	98	-	6	2	-	-	-	-	18	40
20	-	-	-	-	40	10	40	120	-	-
30	10	48	0	0	0	0	10	30	12	15

Πίνακας 5.4: Συγκεντρωτικός πίνακας μείωσης του πληθυσμού του Εντερόκοκκου μετά από απολύμανση με UV στο εργαστήριο για τα δείγματα του πίνακα 5.1, στους διάφορους χρόνους ακτινοβολήσης.

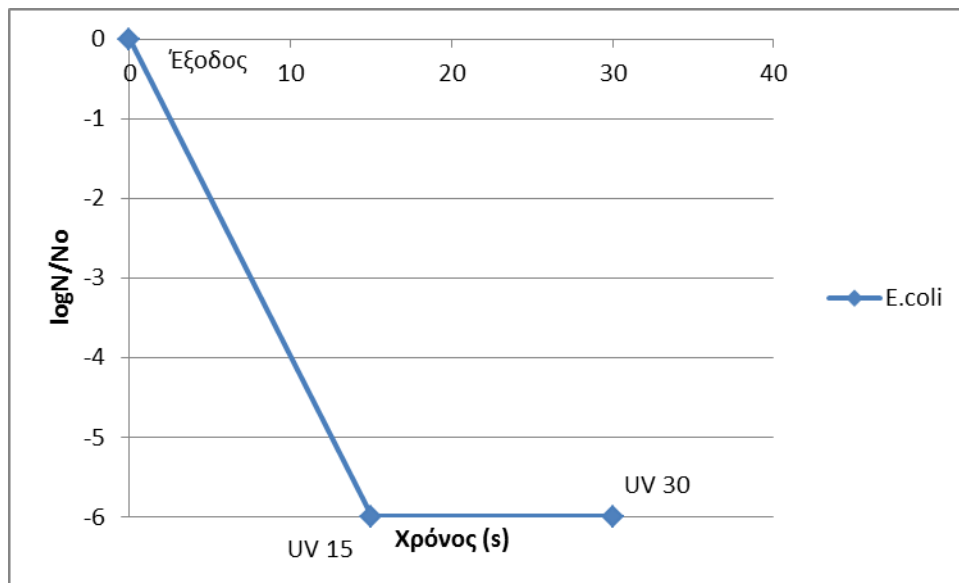
Enterococcus (αποικίες/100ml)										
Χρόνος ακτινοβολήσης (s)	1 ^ο δείγμα	2 ^ο δείγμα	3 ^ο δείγμα	4 ^ο δείγμα	5 ^ο δείγμα	6 ^ο δείγμα	7 ^ο δείγμα	8 ^ο δείγμα	9 ^ο δείγμα	10 ^ο δείγμα
0	-	140	10	10	25.000	3.000	2.500	3.800	1.000	1.500
13	-	-	-	-	-	0	0	0	-	-
15	-	-	0	0	-	-	-	-	1	0
20	-	-	-	-	30	0	0	0	-	-
30	-	14	0	0	0	0	0	0	1	0

5.1.1 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

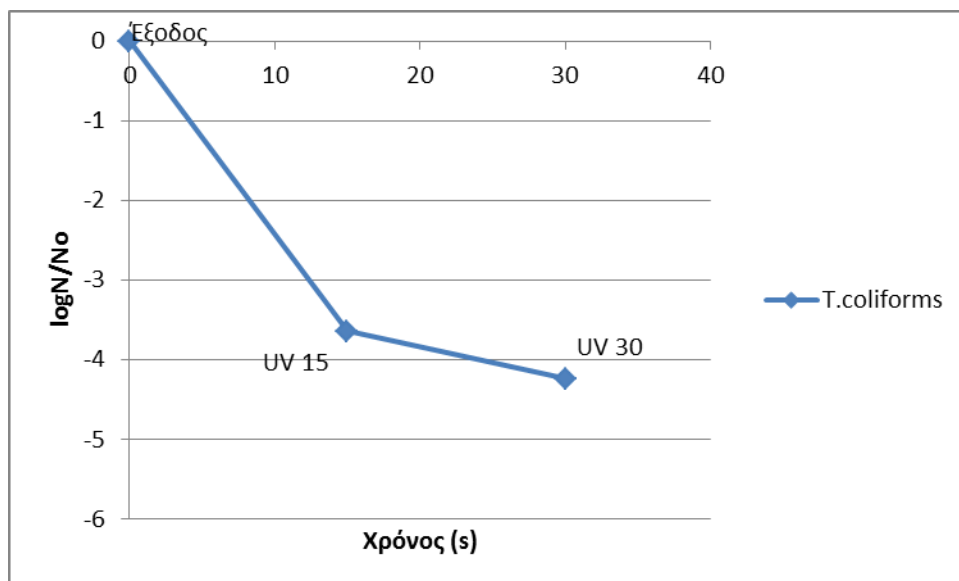
Από τους πίνακες I.1 – I.10 του ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΟΣ I προέκυψαν τα διαγράμματα 5.1 - 5.11 και οι πίνακες 5.5 – 5.8, για την διευκόλυνση του σχολιασμού των αποτελεσμάτων.

Στα ημιλογαριθμικά διαγράμματα οι μηδενικές τιμές δεν μπορούν να απεικονιστούν, διότι όπως γνωρίζουμε ο λογάριθμος του μηδενός ($\log(0)$) τείνει στο άπειρο. Ως εκ τούτου, θεωρήσαμε ότι όποτε το κλάσμα του αριθμού των αποικιών για χρόνο ακτινοβολήσης t (N) δια τον αρχικό αριθμό αποικιών (N_0) στο δείγμα ισούταν με μηδέν, τότε ο λογάριθμος του κλάσματος θα ήταν ίσος με -6. Δηλαδή, όποτε το κλάσμα $N/N_0=0$, τότε θα ίσχυε ότι $\log(N/N_0)=\log(10^{-6})=-6$, για να μπορέσουμε να απεικονίσουμε διαγραμματικά και τους χρόνους ακτινοβολήσης στους οποίους το κλάσμα N/N_0 είναι ίσο με μηδέν.

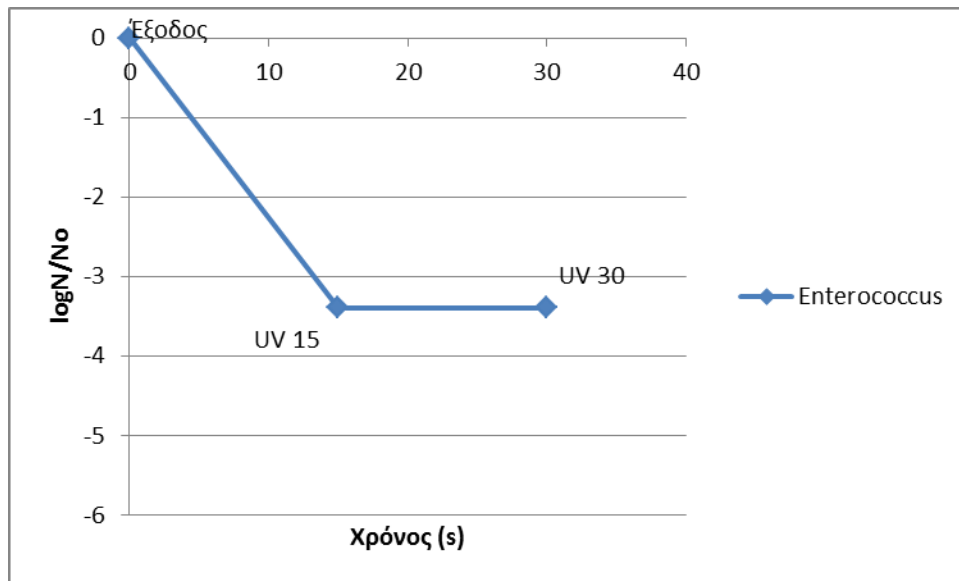
Βιράν Επισκοπή



Διάγραμμα 5.1: Διαγραμματική απεικόνιση του ρυθμού μείωσης της *E.coli* για διάφορους χρόνους ακτινοβολήσης στην στήλη UV, στην απορροή του θερμοκηπίου της Βιράν Επισκοπής.



Διάγραμμα 5.2: Διαγραμματική απεικόνιση του ρυθμού μείωσης των *T.coliforms* για διάφορους χρόνους ακτινοβολήσης στην στήλη UV, στην απορροή του θερμοκηπίου της Βιράν Επισκοπής.



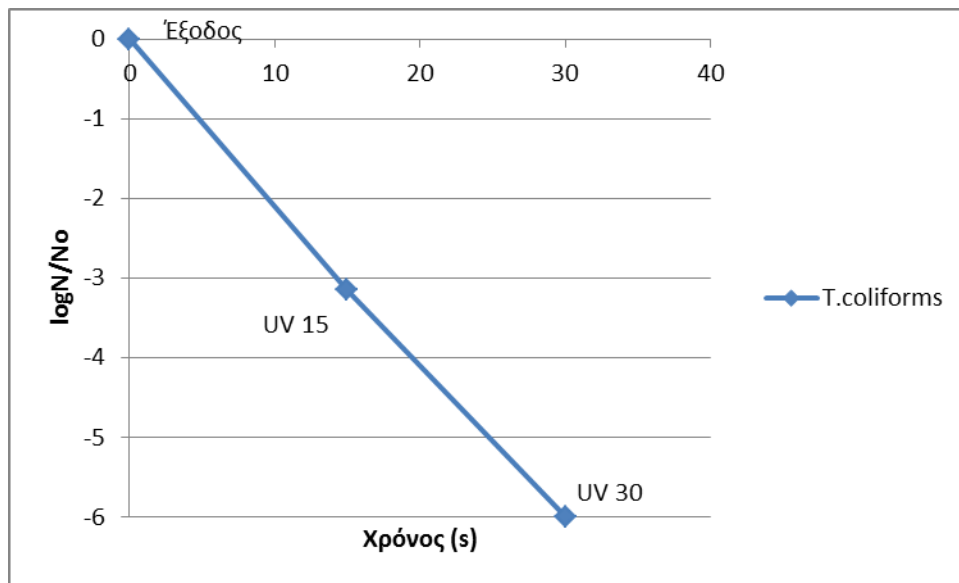
Διάγραμμα 5.3: Διαγραμματική απεικόνιση του ρυθμού μείωσης του Εντερόκοκκου για διάφορους χρόνους ακτινοβολήσης στην στήλη UV, στην απορροή του θερμοκηπίου της Βιράν Επισκοπής.

Πίνακας 5.5: Ποσοστιαία θανάτωση των υπό εξέταση μικροοργανισμών στα δείγματα που λήφθηκαν από το θερμοκήπιο της Βιράν Επισκοπής, για τους διάφορους χρόνους ακτινοβολήσης.

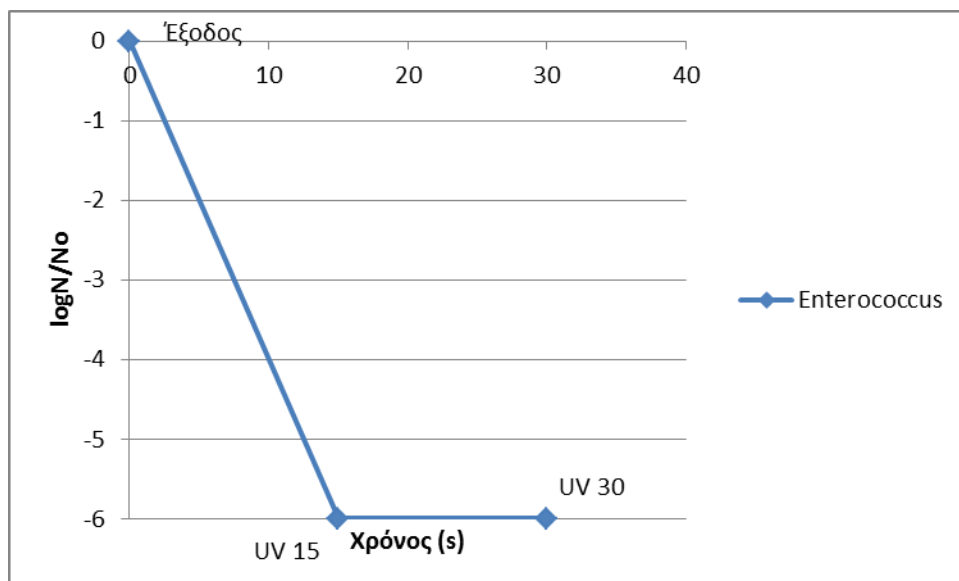
Ποσοστιαία θανάτωση Μικροοργανισμών (%)			
Χρόνος ακτινοβολήσης (s)	E.coli	T.coliforms	Εντερόκοκκος
15	100	99,98	99,96
30	100	99,99	99,96

Από τα διαγράμματα 5.1, 5.2, 5.3 καθώς και από τον πίνακα 5.5 παρατηρούμε ότι ένας χρόνος ακτινοβολήσης γύρω στα 15sec εξαλείφει το 99,96 – 100% των υπό εξέταση μικροοργανισμών. Επομένως, θα μπορούσαμε να πούμε ότι επιθυμητά αποτελέσματα θανάτωσης των υπό εξέταση μικροοργανισμών θα μπορούσαν να επιτευχθούν και σε χρόνο ακτινοβολήσης μικρότερο από 15sec.

ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε ΧΑΝΙΩΝ



Διάγραμμα 5.4: Διαγραμματική απεικόνιση του ρυθμού μείωσης των *T.coliforms* για διάφορους χρόνους ακτινοβολήσης στην στήλη UV, στην απορροή του θερμοκηπίου του ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε.



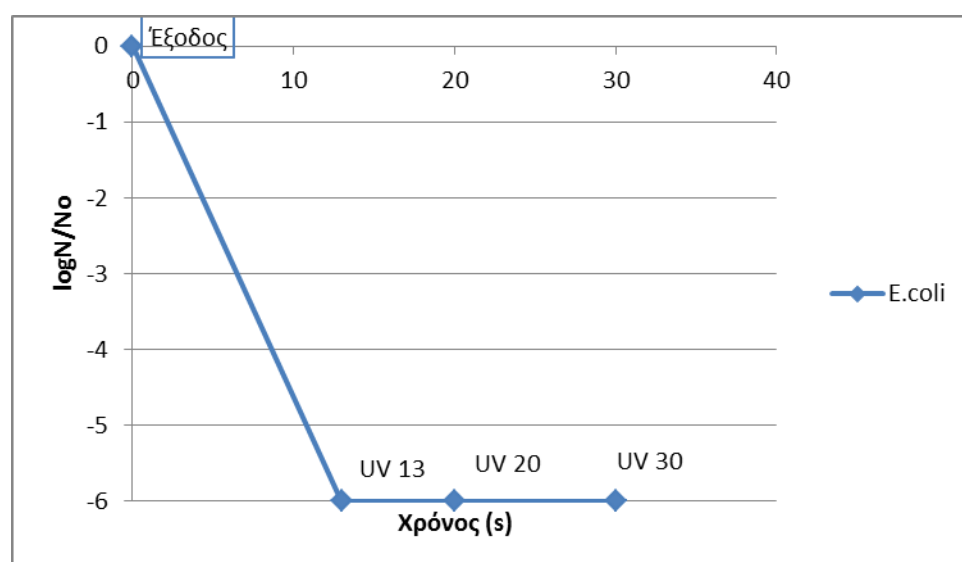
Διάγραμμα 5.5: Διαγραμματική απεικόνιση του ρυθμού μείωσης του Εντερόκοκκου για διάφορους χρόνους ακτινοβολήσης στην στήλη UV, στην απορροή του θερμοκηπίου του ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε.

Πίνακας 5.6: Ποσοστιαία θανάτωση των υπό εξέταση μικροοργανισμών στα δείγματα που λήφθηκαν από το θερμοκήπιο του ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε, για τους διάφορους χρόνους ακτινοβολήσης.

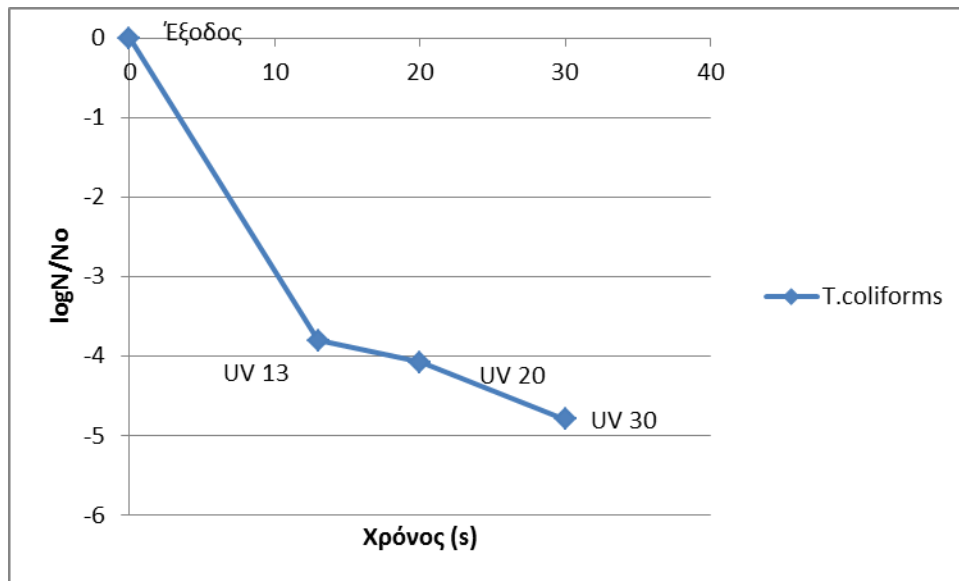
Ποσοστιαία θανάτωση Μικροοργανισμών (%)			
Χρόνος ακτινοβολήσης (s)	<i>E.coli</i>	<i>T.coliforms</i>	Εντερόκοκκος
15	-	99,93	100
30	-	100	100

Από τα διαγράμματα 5.4, 5.5, καθώς και από τον πίνακα 5.6 παρατηρούμε ότι ένας χρόνος ακτινοβολήσης γύρω στα 15s θα ήταν επαρκής για να εξαλείψει το 99,93 – 100% των υπό εξέταση μικροοργανισμών. Επομένως, θα μπορούσαμε να πούμε ότι επιθυμητά αποτελέσματα θανάτωσης των υπό εξέταση μικροοργανισμών θα μπορούσαν να επιτευχθούν σε χρόνο ακτινοβολήσης μικρότερο από 15sec. Στα δείγματα που λήφθηκαν από το θερμοκήπιο του ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε δεν βρέθηκαν βακτηριακά στελέχη *E.coli*, για αυτό και δεν παρουσιάζονται αποτελέσματα.

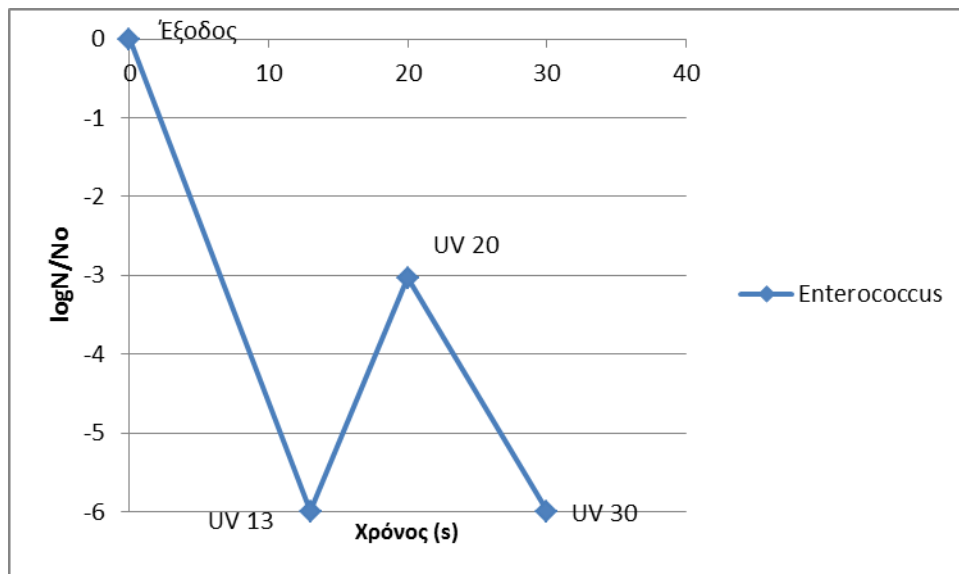
Επισκοπή



Διάγραμμα 5.6: Διαγραμματική απεικόνιση του ρυθμού μείωσης της *E.coli* για διάφορους χρόνους ακτινοβολήσης στην στήλη UV, στην απορροή του θερμοκηπίου της Επισκοπής.



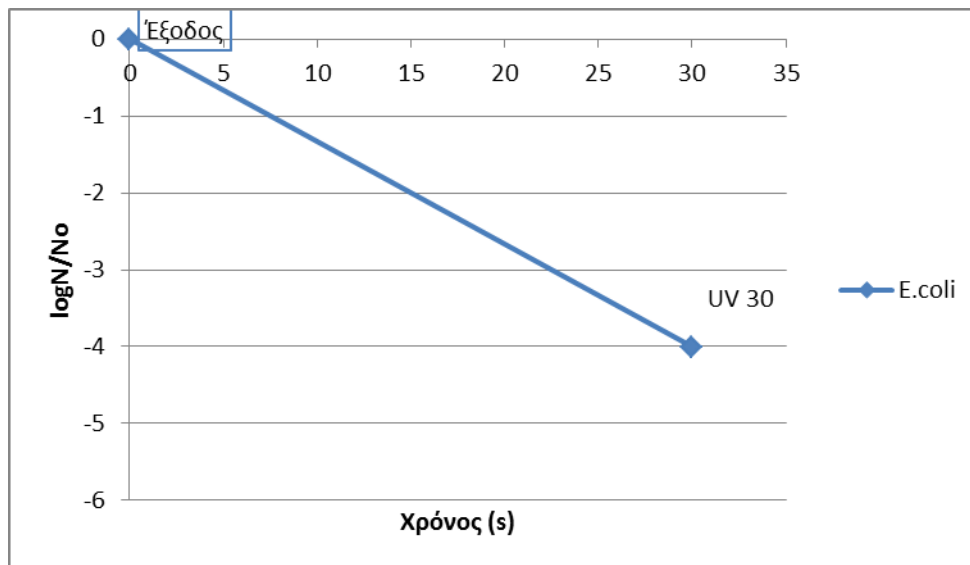
5.7: Διαγραμματική απεικόνιση του ρυθμού μείωσης των T.coliforms για διάφορους χρόνους ακτινοβολήσης στην στήλη UV, στην απορροή του θερμοκηπίου της Επισκοπής.



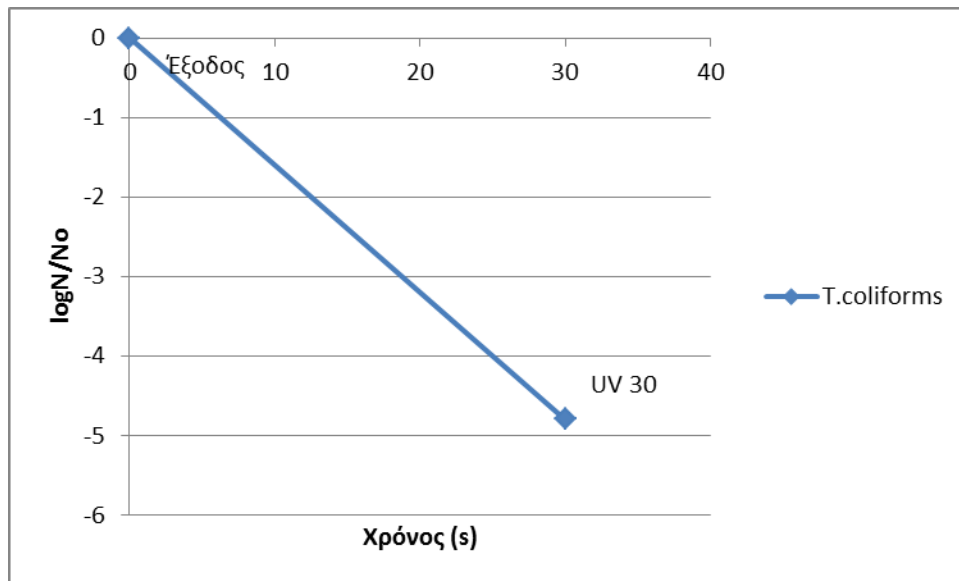
Διάγραμμα 5.8: Διαγραμματική απεικόνιση του ρυθμού μείωσης του Εντερόκοκκου για διάφορους χρόνους ακτινοβολήσης στην στήλη UV, στην απορροή του θερμοκηπίου της Επισκοπής.

Πίνακας 5.7: Ποσοστιαία θανάτωση των υπό εξέταση μικροοργανισμών στα δείγματα που λήφθηκαν από το θερμοκήπιο της Επισκοπής, για τους διάφορους χρόνους ακτινοβολήσης.

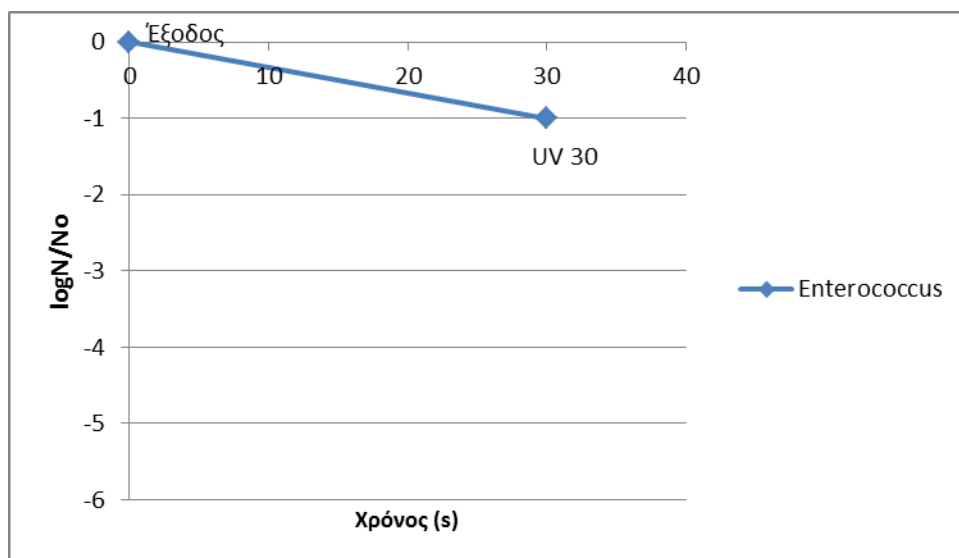
Ποσοστιαία θανάτωση Μικροοργανισμών (%)			
Χρόνος ακτινοβολήσης (s)	E.coli	T.coliforms	Εντερόκοκκος
13	100	99,98	100
20	100	99,99	99,91
30	100	100	100



Διάγραμμα 5.9: Διαγραμματική απεικόνιση του ρυθμού μείωσης της *E.coli* για διάφορους χρόνους ακτινοβολήσης στην στήλη UV, στο 2^ο δείγμα από το θερμοκήπιο της Επισκοπής, το οποίο δεν έχει υποστεί φίλτραση.



Διάγραμμα 5.10: Διαγραμματική απεικόνιση του ρυθμού μείωσης των *T.coliforms*, για διάφορους χρόνους ακτινοβόλησης στην στήλη UV, στο 2^ο δείγμα από το θερμοκήπιο της Επισκοπής, το οποίο δεν έχει υποστεί φίλτραυση.



Διάγραμμα 5.11: Διαγραμματική απεικόνιση του ρυθμού μείωσης του Εντερόκοκκου για διάφορους χρόνους ακτινοβόλησης στην στήλη UV, στο 2^ο δείγμα από το θερμοκήπιο της Επισκοπής, το οποίο δεν έχει υποστεί φίλτραυση.

Πίνακας 5.8: Ποσοστιαία θανάτωση των υπό εξέταση μικροοργανισμών στο 2^ο δείγμα που λήφθηκαν από το θερμοκήπιο της Επισκοπής και δεν έχει υποστεί φίλτρηση, για τους διάφορους χρόνους ακτινοβολήσης.

Ποσοστιαία θανάτωση Μικροοργανισμών (%) στο 2 ^ο δείγμα			
Χρόνος ακτινοβολήσης (s)	E.coli	T.coliforms	Εντερόκοκκος
30	99,99	99,998	90

Από τα διαγράμματα 5.6, 5.7, 5.8 καθώς και από τον πίνακα 5.8 παρατηρούμε ότι ένας χρόνος ακτινοβολήσης γύρω στα 13s θα ήταν επαρκής για να εξαλείψει το 99,98– 100% των υπό εξέταση μικροοργανισμών. Επομένως, θα μπορούσαμε να πούμε ότι επιθυμητά αποτελέσματα θανάτωσης των υπό εξέταση μικροοργανισμών θα μπορούσαν να επιτευχθούν και σε χρόνο ακτινοβολήσης μικρότερο από 13sec. Για το 2^ο δείγμα, το οποίο δεν έχει υποστεί φίλτρηση, δεν μπορούμε να εκφέρουμε γνώμη για το ποιος θα θεωρούνταν ένας επαρκής χρόνος ακτινοβολήσης, γιατί πραγματοποιήθηκε απολύμανση μόνο για χρόνο ακτινοβολήσης 30s. Ωστόσο, μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι στα δείγματα που υπέστησαν φίλτρηση, σε χρόνο ακτινοβολήσης 30s επιτυγχάνεται 100% εξάλειψη των υπό εξέταση μικροοργανισμών, σε αντίθεση με το 2^ο δείγμα που η θανάτωση των μικροοργανισμών κυμαίνεται μεταξύ 90 - 99,998%.

Σύγκριση φιλτραρισμένων με μη φιλτραρισμένων δειγμάτων

Από τα διαγράμματα 5.1 – 5.11 και από τους πίνακες 5.5 – 5.8 παρατηρούμε ότι τα μη φιλτραρισμένα από τα φιλτραρισμένα δείγματα δεν παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές στα ποσοστά εξάλειψης της *E.coli* και των *T.coliforms*, ωστόσο στο δείγμα 2 που δεν έχει υποστεί φίλτρηση οι Εντερόκοκκοι δείχνουν να είναι πιο ανθεκτικοί. Αυτό πολύ πιθανόν να οφείλεται στα αιωρούμενα στέρεα που απορροφούν ή αντανakλούν την υπεριώδη ακτινοβολία και παρεμποδίζουν να φτάσει στους επιθυμητούς μικροοργανισμούς.

5.2 ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ

Στους πίνακες 5.9 – 5.15 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή της διάταξης UV-C με φίλτρο, στα θερμοκήπια της Βιράν Επισκοπής και της Επισκοπής. Η εφαρμογή της διάταξης UV-C στο θερμοκήπιο της Βιράν Επισκοπής πραγματοποιήθηκε στις 2/12/16 και η επεξεργασία των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε την ίδια μέρα. Η εφαρμογή της διάταξης UV-C στο θερμοκήπιο της Επισκοπής πραγματοποιήθηκε στις 5/12/16 και η επεξεργασία των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε επίσης την ίδια μέρα.

Πίνακας 5.9: Ποιοτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων, που η απολύμανση πραγματοποιήθηκε στο πεδίο.

Χαρακτηριστικά/δείγμα	1 ^ο	2 ^ο
Ημερομηνία δειγματοληψίας	2/12/16	5/12/16
Τοποθεσία	Βιράν Επισκοπή	Επισκοπή
Καλλιέργεια	Ντομάτας	Ντομάτας
pH	7,2	6,1
Αγωγιμότητα(mS/cm ²)	24,3	25,5
Θολρότητα πριν την Φίλτραση (NTU)	13	1,8
Θολρότητα μετά την Φίλτραση (NTU)	10	1,5
N-NH ₃ (mg/l)	-	340
NO ₃ ⁻ -N (mg/l)	-	120
PO ₃ ³⁻ -P (mg/l)	-	26,8
Θερμοκρασία (°C)	20,5	20,5

Βιράν Επισκοπή

Πίνακας 5.10: Συγκεντρωτικός πίνακας μείωσης του πληθυσμού της *E.coli* μετά από απολύμανση με UV στο θερμοκήπιο της Βιράν Επισκοπής, στους διάφορους χρόνους ακτινοβολήσης.

Escherichia coli (αποικίες/100ml)					
Χρόνος ακτινοβολήσης(s)	Δειγματοληψία στα 5min	Δειγματοληψία στα 10min	Δειγματοληψία στα 15min	Δειγματοληψία στα 20min	Δειγματοληψία στα 30min
0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250
13	145	195	250	230	185
20	64	94	59	64	73
30	19	42	44	39	40

Πίνακας 5.11: Συγκεντρωτικός πίνακας μείωσης του πληθυσμού των *T.coliforms* μετά από απολύμανση με UV στο θερμοκήπιο της Βιράν Επισκοπής, στους διάφορους χρόνους ακτινοβολήσης.

Total coliforms (αποικίες/100ml)					
Χρόνος ακτινοβολήσης(s)	Δειγματοληψία στα 5min	Δειγματοληψία στα 10min	Δειγματοληψία στα 15min	Δειγματοληψία στα 20min	Δειγματοληψία στα 30min
0	160.000	160.000	160.000	160.000	160.000
13	10.000	11.250	7.750	9.350	7.900
20	3.380	3.240	3.080	2.080	2.160
30	613	1.083	1.072	1.098	1.112

Πίνακας 5.12: Συγκεντρωτικός πίνακας μείωσης του πληθυσμού του Εντερόκοκκου μετά από απολύμανση με UV στο θερμοκήπιο της Βιράν Επισκοπής, στους διάφορους χρόνους ακτινοβολήσης.

Enterococcus (αποικίες/100ml)					
Χρόνος ακτινοβολήσης(s)	Δειγματοληψία στα 5min	Δειγματοληψία στα 10min	Δειγματοληψία στα 15min	Δειγματοληψία στα 20min	Δειγματοληψία στα 30min
0	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500
13	660	630	810	670	860
20	340	252	304	292	336
30	159	145	173	164	162

Επισκοπή

Πίνακας 5.13: Συγκεντρωτικός πίνακας μείωσης του πληθυσμού της *E.coli* μετά από απολύμανση με UV στο θερμοκήπιο της Επισκοπής, στους διάφορους χρόνους ακτινοβολήσης.

Escherichia coli (αποικίες/100ml)					
Χρόνος ακτινοβολήσης(s)	Δειγματοληψία στα 5min	Δειγματοληψία στα 10min	Δειγματοληψία στα 15min	Δειγματοληψία στα 20min	Δειγματοληψία στα 30min
0	5.500	5.500	5.500	5.500	5.500
20	285	300	255	385	200
30	500	180	0	0	0
45	1	0	0	0	0

Πίνακας 5.14: Συγκεντρωτικός πίνακας μείωσης του πληθυσμού των *T.coliforms* μετά από απολύμανση με UV στο θερμοκήπιο της Επισκοπής, στους διάφορους χρόνους ακτινοβολήσης.

Total coliforms (αποικίες/100ml)					
Χρόνος ακτινοβολήσης(s)	Δειγματοληψία στα 5min	Δειγματοληψία στα 10min	Δειγματοληψία στα 15min	Δειγματοληψία στα 20min	Δειγματοληψία στα 30min
0	700.000	700.000	700.000	700.000	700.000
20	6.300	5.750	6.900	8.600	4.300
30	4.260	2.420	20	20	21
45	15	3	3	0	0

Πίνακας 5.15: Συγκεντρωτικός πίνακας μείωσης του πληθυσμού του Εντερόκοκκου μετά από απολύμανση με UV στο θερμοκήπιο της Επισκοπής, στους διάφορους χρόνους ακτινοβολήσης.

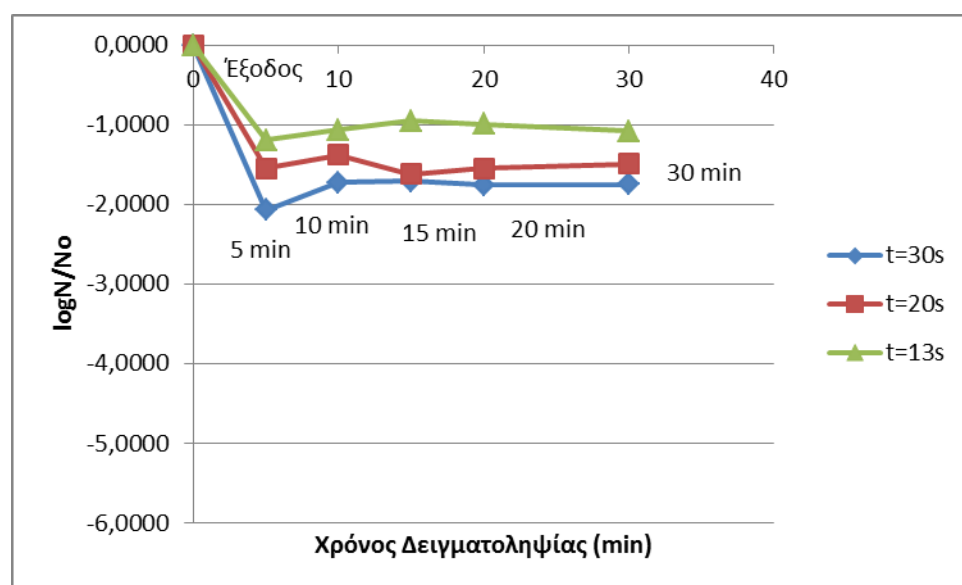
Enterococcus (αποικίες/100ml)					
Χρόνος ακτινοβολήσης(s)	Δειγματοληψία στα 5min	Δειγματοληψία στα 10min	Δειγματοληψία στα 15min	Δειγματοληψία στα 20min	Δειγματοληψία στα 30min
0	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500
20	510	610	650	600	720
30	262	144	0	0	0
45	7	1	0	0	0

5.2.1 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

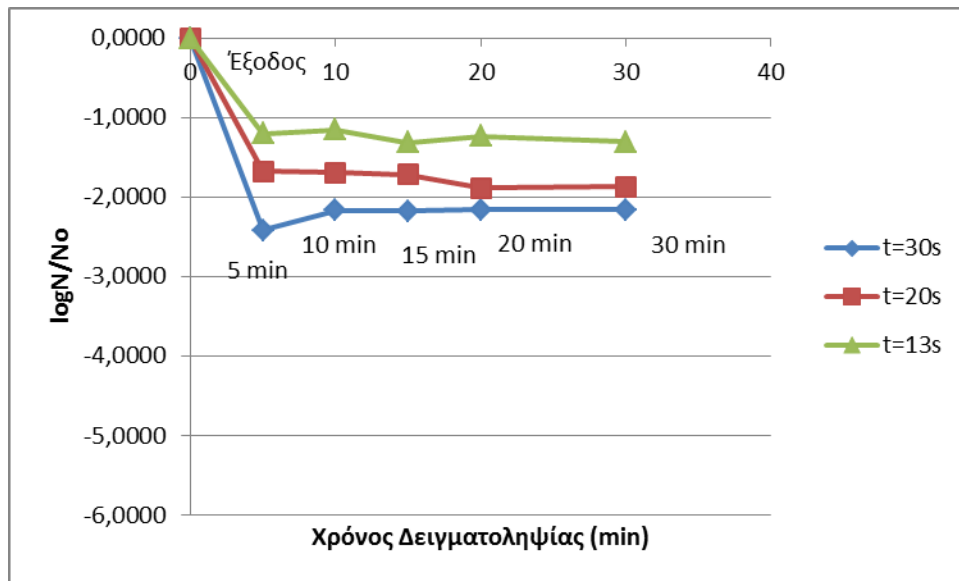
Από τους πίνακες 5.9 – 5.15 προέκυψαν τα διαγράμματα 5.12 - 5.23 και οι πίνακες 5.16 – 5.21, για την διευκόλυνση του σχολιασμού των αποτελεσμάτων.

Στα ημιλογαριθμικά διαγράμματα οι μηδενικές τιμές δεν μπορούν να απεικονιστούν, διότι όπως γνωρίζουμε ο λογάριθμος του μηδενός ($\log(0)$) τείνει στο άπειρο. Ως εκ τούτου, θεωρήσαμε όποτε το κλάσμα του αριθμού των αποικιών για χρόνο ακτινοβολήσης t (N) δια τον αρχικό αριθμό αποικιών (N_0) στο δείγμα ισούταν με μηδέν, τότε ο λογάριθμος του κλάσματος θα ήταν ίσος με -6. Δηλαδή, όποτε η τιμή $N/N_0=0$, τότε θα ίσχυε ότι $\log(N/N_0)=\log(10^{-6})=-6$, για να μπορέσουμε να απεικονίσουμε διαγραμματικά και τους χρόνους ακτινοβολήσης στους οποίους το κλάσμα N/N_0 είναι ίσο με μηδέν.

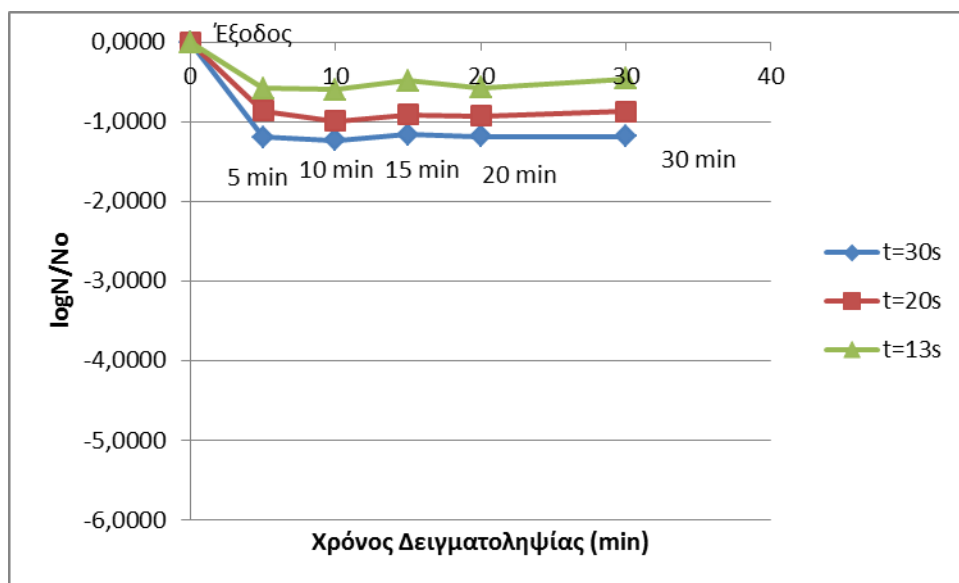
Βιράν Επισκοπή



Διάγραμμα 5.12: Διαγραμματική απεικόνιση του ρυθμού μείωσης της *E.coli*, για τους διάφορους χρόνους δειγματοληψίας, για κάθε χρόνο ακτινοβολήσης στο θερμοκήπιο της Βιράν Επισκοπής.

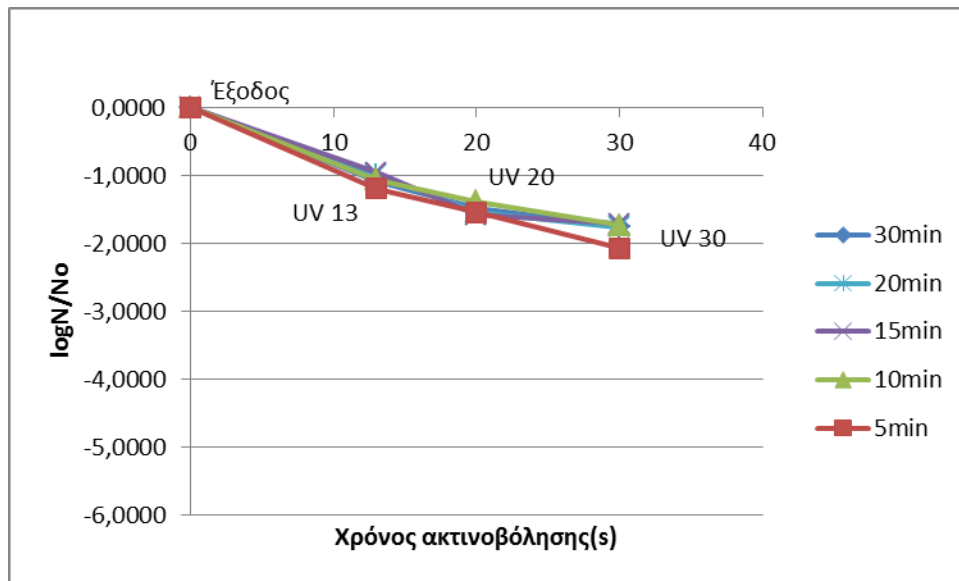


Διάγραμμα 5.13: Διαγραμματική απεικόνιση του ρυθμού μείωσης των *T.coliforms*, για τους διάφορους χρόνους δειγματοληψίας, για κάθε χρόνο ακτινοβόλησης στο θερμοκήπιο της Βιράν Επισκοπής.

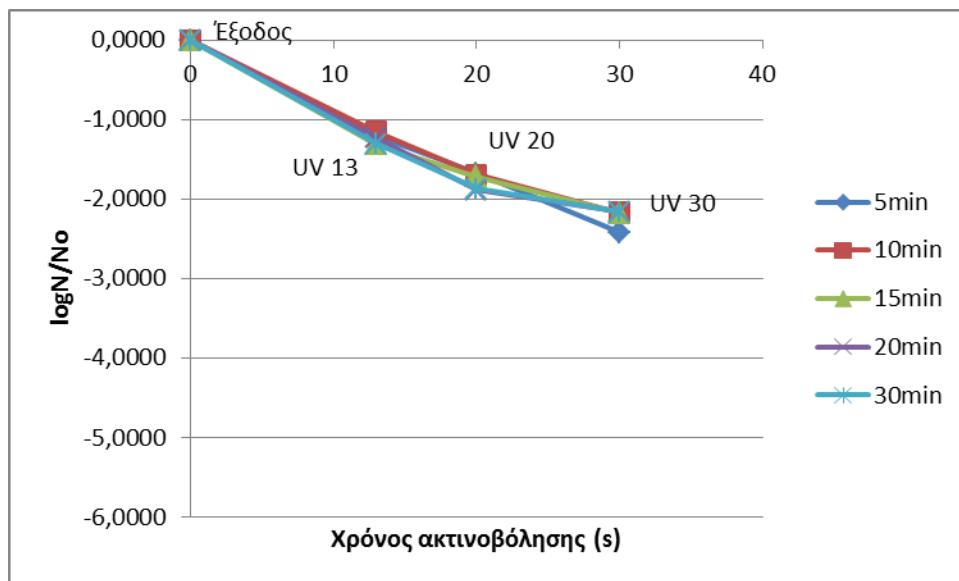


Διάγραμμα 5.14: Διαγραμματική απεικόνιση της μείωσης του Εντερόκοκκου, για τους διάφορους χρόνους δειγματοληψίας, για κάθε χρόνο ακτινοβόλησης στο θερμοκήπιο της Βιράν Επισκοπής.

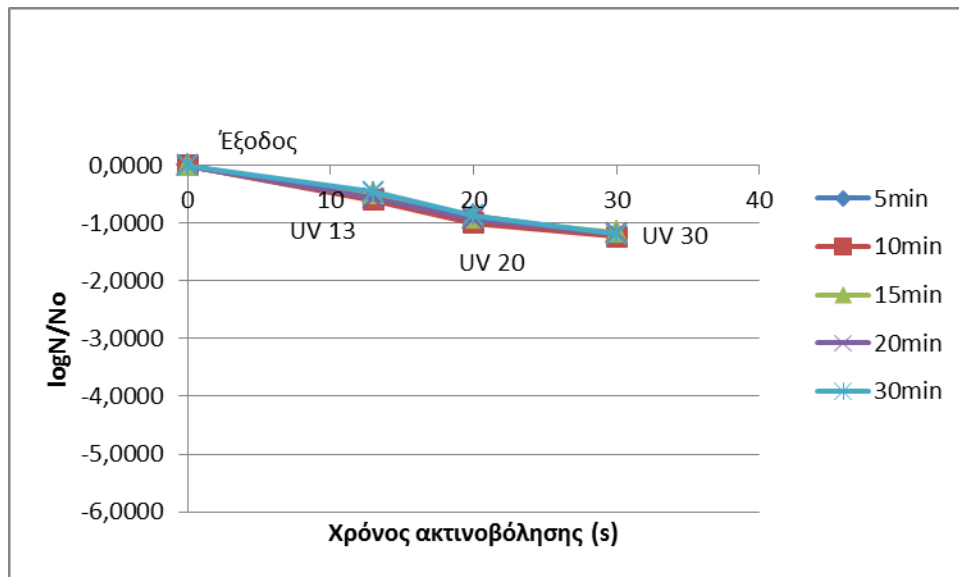
Από τα διαγράμματα 5.12, 5.13 και 5.14 παρατηρούμε ότι η απόδοση της απολύμανσης στα πρώτα κιάλας (5) λεπτά λειτουργίας της διάταξης UV-C, έχει φτάσει πολύ κοντά στην μέγιστη απόδοση απολύμανσης, σε κάθε χρόνο ακτινοβόλησης. Επίσης, παρατηρούμε ότι καθώς αυξάνουμε το χρόνο ακτινοβόλησης, από 13sec σε 30sec, αυξάνεται και η απόδοση της απολύμανσης.



Διάγραμμα 5.15: Διαγραμματοτική απεικόνιση του ρυθμού μείωσης της *E.coli* για τους διάφορους χρόνους ακτινοβόλησης στην στήλη UV, για κάθε χρόνο δειγματοληψίας στο θερμοκήπιο της Βιράν Επισκοπής.



Διάγραμμα 5.16: Διαγραμματοτική απεικόνιση του ρυθμού μείωσης των *T. coliforms* για τους διάφορους χρόνους ακτινοβόλησης στην στήλη UV, για κάθε χρόνο δειγματοληψίας στο θερμοκήπιο της Βιράν Επισκοπής.



Διάγραμμα 5.17: Διαγραμματική απεικόνιση του ρυθμού μείωσης του Εντερόκοκκου για τους διάφορους χρόνους ακτινοβόλησης στην στήλη UV, για κάθε χρόνο δειγματοληψίας στο θερμοκήπιο της Βιράν Επισκοπής.

Από τα διαγράμματα 5.15, 5.16 και 5.17 παρατηρούμε ότι η απόδοση της απολύμανσης παραμένει σχετικά σταθερή όσο περνάει ο χρόνος λειτουργίας της διάταξης UV-C, για κάθε χρόνο ακτινοβόλησης και ότι η απόδοση της απολύμανσης βελτιώνεται καθώς αυξάνουμε το χρόνο ακτινοβόλησης (από 13sec σε 30sec) σε κάθε χρόνο δειγματοληψίας (χρόνος λειτουργίας).

Πίνακας 5.16: Ποσοστιαία θανάτωση της *E.coli* στα δείγματα που λήφθηκαν από το θερμοκήπιο της Βιράν Επισκοπής.

Ποσοστιαία θανάτωση <i>Escherichia coli</i> (%)						
Χρόνος ακτινοβόλησης(s)	Δειγματοληψία στα 5min	Δειγματοληψία στα 10min	Δειγματοληψία στα 15min	Δειγματοληψία στα 20min	Δειγματοληψία στα 30min	M.O
13	93,56	91,33	88,89	89,78	91,78	91,07
20	97,16	95,82	97,38	97,16	96,76	96,85
30	99,16	98,13	98,04	98,27	98,22	98,36

Πίνακας 5.17: Ποσοστιαία θανάτωση των *T.coliforms* στα δείγματα που λήφθηκαν από το θερμοκήπιο της Βιράν Επισκοπής.

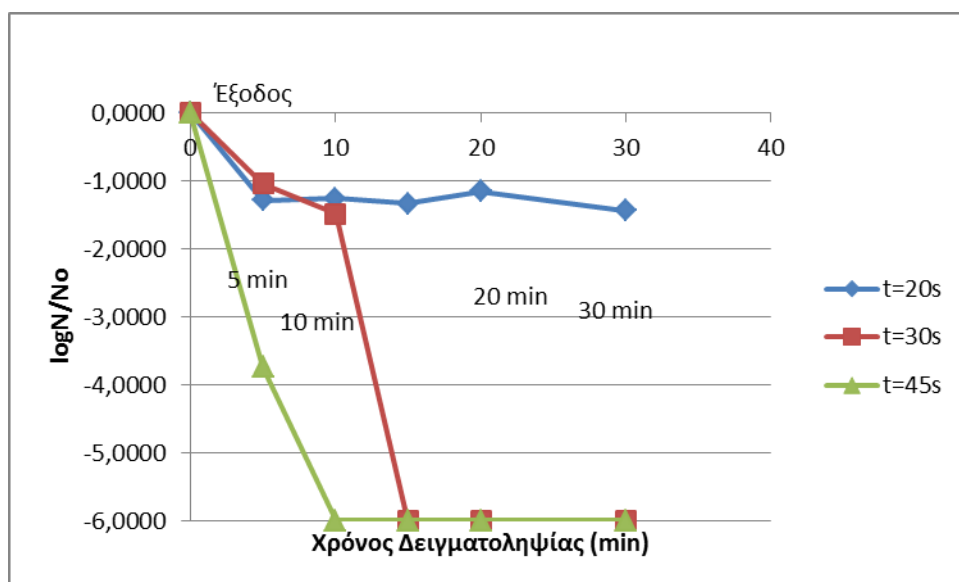
Ποσοστιαία θανάτωση <i>Total coliforms</i> (%)						
Χρόνος ακτινοβόλησης(s)	Δειγματοληψία στα 5min	Δειγματοληψία στα 10min	Δειγματοληψία στα 15min	Δειγματοληψία στα 20min	Δειγματοληψία στα 30min	M.O
13	93,56	91,33	88,89	89,78	91,78	94,22
20	97,16	95,82	97,38	97,16	96,76	98,26
30	99,16	98,13	98,04	98,27	98,22	99,38

Πίνακας 5.18: Ποσοστιαία θανάτωση του Εντερόκοκκου στα δείγματα που λήφθηκαν από το θερμοκήπιο της Βιράν Επισκοπής.

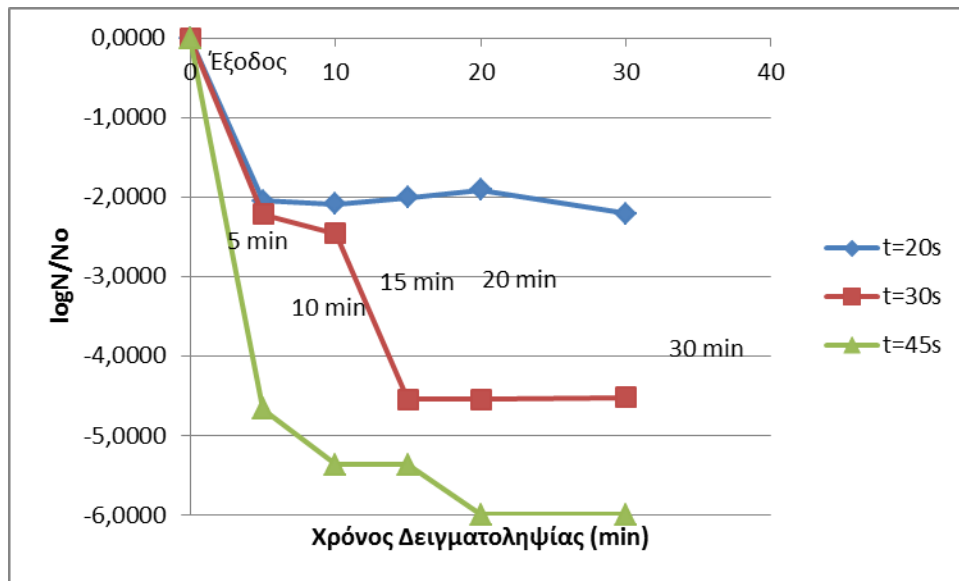
Ποσοστιαία θανάτωση Enterococcus(%)						
Χρόνος ακτινοβόλησης(s)	Δειγματοληψία στα 5min	Δειγματοληψία στα 10min	Δειγματοληψία στα 15min	Δειγματοληψία στα 20min	Δειγματοληψία στα 30min	Μ.Ο
13	73,60	74,80	67,60	73,20	65,60	70,96
20	86,40	89,92	87,84	88,32	86,56	87,81
30	93,64	94,20	93,08	93,44	93,52	93,58

Συγκρίνοντας του πίνακες 5.16 – 5.18 με τους πίνακες 5.5 – 5.8, παρατηρούμε ότι εργαστηριακά πετύχαμε μεγαλύτερο ποσοστό θανάτωσης των υπό εξέταση μικροοργανισμών. Αυτό πολύ πιθανόν να οφείλεται στο γεγονός ότι ακόμα και με την χρήση φίλτρου στην διάταξη απολύμανσης με UV δεν καταφέραμε να ρίξουμε την θολερότητα κάτω από 10 NTU.

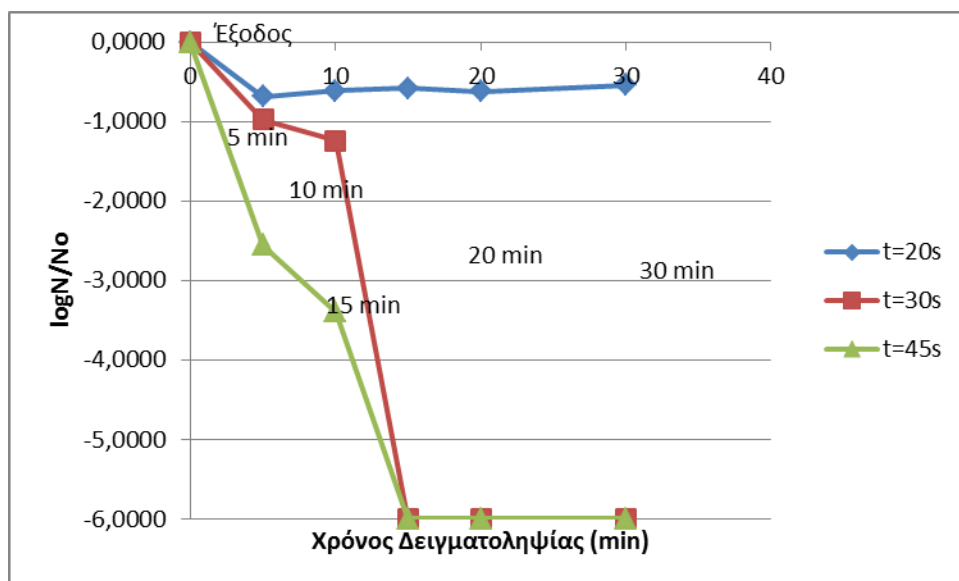
Επισκοπή



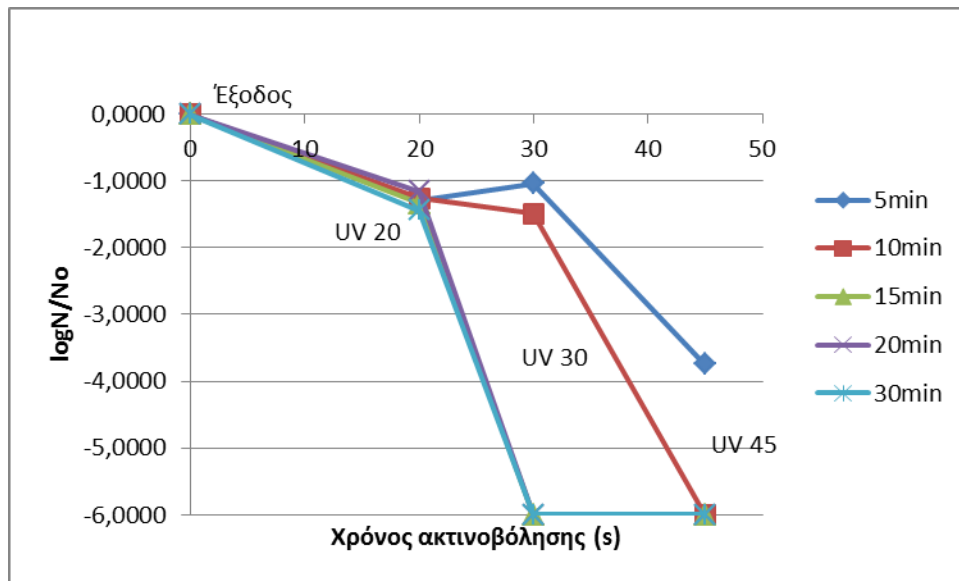
Διάγραμμα 5.18: Διαγραμματική απεικόνιση του ρυθμού μείωσης της *E.coli*, για τους διάφορους χρόνους δειγματοληψίας, για κάθε χρόνο ακτινοβόλησης στο θερμοκήπιο της Επισκοπής.



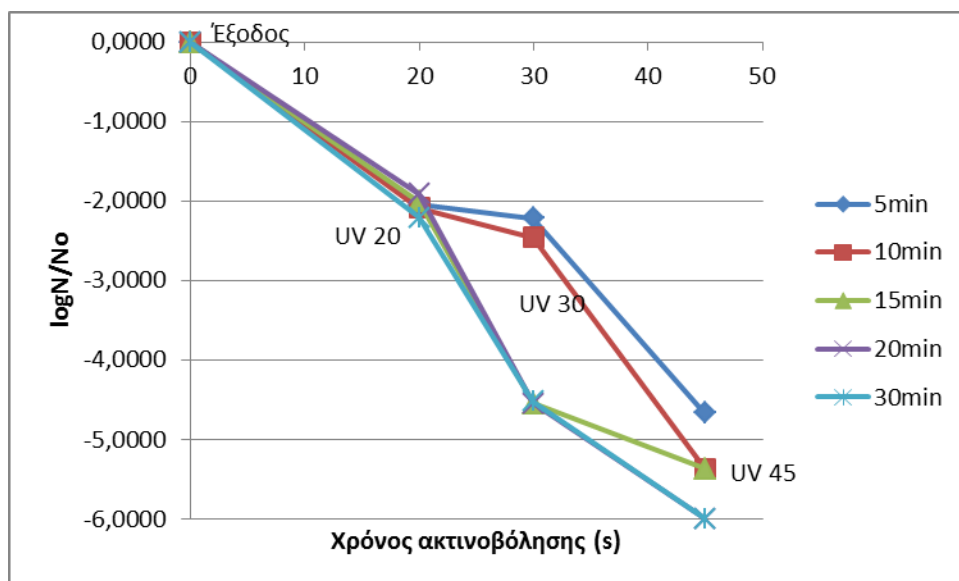
Διάγραμμα 5.19: Διαγραμματική απεικόνιση του ρυθμού μείωσης των *T.coliforms*, για τους διάφορους χρόνους δειγματοληψίας, για κάθε χρόνο ακτινοβολήσης στο θερμοκήπιο της Επισκοπής.



Διάγραμμα 5.20: Διαγραμματική απεικόνιση του ρυθμού μείωσης του Εντερόκοκκου, για τους διάφορους χρόνους δειγματοληψίας, για κάθε χρόνο ακτινοβολήσης στο θερμοκήπιο της Επισκοπής.



Διάγραμμα 5.21: Διαγραμματική απεικόνιση του ρυθμού μείωσης της *E.coli* για τους διάφορους χρόνους ακτινοβόλησης στην στήλη UV, για κάθε χρόνο δειγματοληψίας στο θερμοκήπιο της Επισκοπής.



Διάγραμμα 5.22: Διαγραμματική απεικόνιση του ρυθμού μείωσης των *T.coliforms* για τους διάφορους χρόνους ακτινοβόλησης στην στήλη UV, για κάθε χρόνο δειγματοληψίας στο θερμοκήπιο της Επισκοπής.

Πίνακας 5.21: Ποσοστιαία θανάτωση του Εντερόκοκκου στα δείγματα που λήφθηκαν από το θερμοκήπιο της Επισκοπής.

Ποσοστιαία θανάτωση Enterococcus(%)						
Χρόνος ακτινοβόλησης(s)	Δειγματοληψία στα 5min	Δειγματοληψία στα 10min	Δειγματοληψία στα 15min	Δειγματοληψία στα 20min	Δειγματοληψία στα 30min	Μ.Ο
20	79,60	75,60	74,00	76,00	71,20	75,28
30	89,52	94,24	100	100	100	96,75
45	99,72	99,96	100	100	100	99,94

Συγκρίνοντας του πινάκες 5.19 – 5.21 με τους πίνακες 5.5 – 5.8, παρατηρούμε ότι αν και τα ποσοστά απολύμανσης είναι πιο ικανοποιητικά από αυτά του θερμοκηπίου της Βιράν Επισκοπής, παρ’ όλα αυτά για τους χρόνους ακτινοβόλησης 30s και 20s δεν αγγίζουν τα ποσοστά θανάτωσης που επετεύχθησαν εργαστηριακά, παρ’ ότι η θολερότητα ήταν κάτω των 2 NTU. Επίσης παρατηρούμε ότι τα διαγράμματα 5.21 - 5.23 δεν ταυτίζονται όπως τα διαγράμματα 5.15 - 5.17, διότι στα πρώτα 10 λεπτά των δειγματοληψιών για χρόνο ακτινοβόλησης 30s βλέπουμε μια αυξημένη ποσότητα των υπό εξέταση μικροοργανισμών η οποία σχεδόν εξαλείφεται μετά τα 15 λεπτά λειτουργίας της διάταξης. Αυτή η διακύμανση πολύ πιθανών να οφείλεται στο φίλτρο, το οποίο μπορεί να είχε φράξει και να εμπλούτιζε το δείγμα με τους μικροοργανισμούς που είχαν προσροφηθεί στο χώμα και τα αιρούμενα στερεά. Το ίδιο συμβάν δεν παρουσιάστηκε ή δεν ήταν εμφανές για χρόνο ακτινοβόλησης 45s και 20s, διότι τα 45s είναι ένας αρκετά μεγάλος χρόνος ακτινοβόλησης για να γίνει επαρκής απολύμανση και τα 20s είναι ένας σχετικά μικρός χρόνος, που μπορεί να μην ήταν επαρκής για να καταστήσει εμφανή την διακύμανση.

5.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗΣ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ ΜΕ ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ

Από τα υποκεφάλαια 5.1 και 5.2 διαπιστώνουμε ότι υπάρχουν διαφορές μεταξύ της απολύμανσης στο εργαστήριο και της απολύμανσης στο πεδίο. Σύμφωνα με το θεσμικό πλαίσιο για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων τα ανώτατα επιτρεπτά μικροβιολογικά όρια για απεριόριστη άρδευση καθορίζονται στις 5 αποικίες *E.Coli*/100ml για το 80% των δειγμάτων και στις 50 αποικίες *E.Coli* /100ml για το 95% των δειγμάτων (Υ.Α οικ. 145116/2011, Παράρτημα Ι, Πίνακας 2). Στο εργαστήριο τα ποσοστά θανάτωσης, σχεδόν σε όλα τα δείγματα αφιλτράριστα και μη, κυμαίνονταν μεταξύ 99,90 – 100%. Ένας επαρκής χρόνος ακτινοβόλησης, που εμπίπτει στα νομοθετικά θεσπισμένα όρια για επαναχρησιμοποίηση νερού για άρδευση , από αυτούς που μελετήθηκαν για τα δείγματα που δεν υπέστησαν φίλτρανση, θεωρούνταν τα 15 sec και για τα φιλτραρισμένα δείγματα τα 13 sec. Αντίθετα, στο πεδίο τα ποσοστά θανάτωσης για την *E.coli* κυμαίνονταν μεταξύ 91 – 100%, για τα *T.coliforms* μεταξύ 94 – 100% και για τον Εντερόκοκκο μεταξύ 70 – 100%. Ένας επαρκής χρόνος ακτινοβόλησης, για το θερμοκήπιο της Επισκοπής που

έφτανε πολύ κοντά στα ποσοστά θανάτωσης που επετεύχθησαν εργαστηριακά και ήταν εντός νομοθετικών ορίων, ήταν τα 45 sec με ποσοστό θανάτωσης που άγγιζε το 99,94 – 100%. Στο θερμοκήπιο της Βίραν Επισκοπής δεν καταφέραμε να φτάσουμε τα ποσοστά που επετεύχθησαν εργαστηριακά για τους χρόνους ακτινοβόλησης που μελετήσαμε, λόγω της θολερότητας που διατηρήθηκε σε υψηλά επίπεδα (γύρω στα 10 NTU). Τα μέγιστα ποσοστά που μπορέσαμε να επιτύχουμε ήταν για χρόνο ακτινοβόλησης 30 sec και κυμαίνονταν από 93,58 – 99,38%. Ωστόσο, για χρόνο ακτινοβόλησης 30 sec το 95% των δειγμάτων εμπίπτει στα νομοθετικά θεσπισμένα όρια. Τέλος, οι υπό εξέταση μικροοργανισμοί εργαστηριακά δεν φάνηκαν να παρουσιάζουν κάποια ιδιαίτερη ανθεκτικότητα στην υπεριώδη ακτινοβολία, ωστόσο στο πεδίο και για σχετικά μικρούς χρόνους ακτινοβόλησης 13 sec και 20 sec έδειξαν να είναι περισσότερο ανθεκτικοί και ιδιαίτερα τα στελέχη του εντερόκοκκου με το ποσοστό θνησιμότητας τους να κυμαίνεται από 70,96 – 87,81%, σε αυτού τους χρόνους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ-ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΆΛΛΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ

Διάφορες έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί σχετικά με την αποτελεσματικότητα της υπεριώδους ακτινοβολίας, ως απολυμαντικό μέσο στα διαλύματα της απορροής των υδροπονικών συστημάτων, μερικές από αυτές παρατίθενται παρακάτω. Ο Pantanella το 2015 μελέτησε την αποτελεσματικότητα της υπεριώδους ακτινοβολίας για την εξάλειψη των *Total coliforms* στο διάλυμα της απορροής μιας υδροπονικής καλλιέργειας μαρουλιού. Για την ερευνά του χρησιμοποίησε μια διάταξη απολύμανσης UV, η οποία αποτελούνταν από δυο λαμπτήρες υδραργύρου χαμηλής πίεσης, ισχύος 25w ο καθένας, τοποθετημένες σε σειρά μέσα σε ένα κυλινδρικό δοχείο χαλαζία όγκου 17,65 L. Ο χρόνος ακτινοβολήσης καθορίστηκε στα 10sec και πριν την απολύμανση πραγματοποιούνταν φίλτρανση του διαλύματος για την διατήρηση των αιωρούμενων στερεών στα χαμηλότερα δυνατά επίπεδα. Τα αποτελέσματα της έρευνας του έδειξαν ότι στο διάλυμα που υπέστη απολύμανση τα *Total coliforms* ήταν πολύ κάτω από 100 αποικίες/100ml σε όλα τα δείγματα και το μικροβιακό φορτίο μειώθηκε κατά 99%. Τα δείγματα του διαλύματος που δεν υπέστη απολύμανση έδειξαν ότι τα *Total coliforms* κυμαίνονταν γύρω στις 40.000 αποικίες/100ml. Αναγκαίο είναι να επισημανθεί ότι σε κανένα δείγμα δεν βρέθηκαν αποικίες της *Escherichia coli* (Pantanella, 2015). Παρατηρώντας τα αποτελέσματα του πίνακα 5.3 και συγκρίνοντας τα με τα αποτελέσματα του Pantanella παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα της ερευνάς μας στο εργαστήριο βρίσκονται πολύ κοντά με τα δικά του. Ωστόσο, παρατηρώντας τα αποτελέσματα του πίνακα 5.11 και 5.14 διαπιστώνουμε ότι τα αποτελέσματα στο πεδίο διαφέρουν πολύ με αυτά του Pantanella. Το γεγονός αυτό πολύ πιθανόν να οφείλεται στους εξής δύο λόγους, πρώτον ο Pantanella χρησιμοποίησε δυο λαμπτήρες υπεριώδους ακτινοβολίας σε σειρά, ισχύος 25w ο καθένας, ενώ εμείς ένα λαμπτήρα ισχύος 10w, ενισχύοντας έτσι την απολυμαντική δράση της διάταξης του και δεύτερον τα δείγματα που επεξεργάστηκε είχαν λιγότερο μικροβιακό φορτίο σε σχέση με αυτά που επεξεργαστήκαμε εμείς στο πεδίο.

Επιπλέον, σε μια άλλη έρευνα που πραγματοποίησαν οι Choi et al. (2011) μελέτησαν την δυνατότητα επαναχρησιμοποίησις των αστικών λυμάτων και των απορροών υδροπονικών συστημάτων, στην παραγωγή γεωργικών προϊόντων στην Κορέα. Στην παρούσα έρευνα διαλύματα απορροής τεσσάρων διαφορετικών ανοικτών υδροπονικών συστημάτων χρησιμοποιήθηκαν ως δείγματα. Συγκεκριμένα, τα δυο θερμοκήπια καλλιεργούσαν πάπρικα χρησιμοποιώντας (α) περλίτη και (β) περτοβάμβακα ως υπόστρωμα και τα άλλα δυο καλλιεργούσαν ντομάτα χρησιμοποιώντας υπόστρωμα (γ) περτοβάμβακα και (δ) κοκκοφοίνικα. Οι συγκέντρωση των *Total coliforms* στα δείγματα πριν την απολύμανση ήταν στο (α) θερμοκήπιο 282 αποικίες/ 100ml, στο (β) 1.200 αποικίες/ 100ml, στο (γ) 1.033

αποικίες/ 100ml και στο (δ) 20 αποικίες/ 100ml. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η εφαρμογή της υπεριώδους ακτινοβολίας σε συνδυασμό με την διήθηση μέσω άμμου μπορούσε να μειώσει σχεδόν 100% την συγκέντρωση των *Total coliforms* στα δείγματα και των τεσσάρων θερμοκηπίων. Παρατηρώντας τα αποτελέσματα του πίνακα 5.15-5.18 και συγκρίνοντας τα με τα αποτελέσματα των Choi και λοιπών παρατηρούμε ότι παρόλο που στην έρευνα τους δεν αναφέρουν χρόνους ακτινοβόλησης τα αποτελέσματα της ερευνάς μας που επιτευχθήκαν στο εργαστήριο είναι πολύ κοντά στα δικά τους και για σχετικά μικρούς χρόνους ακτινοβόλησης (13sec και 15sec). Εντούτοις, παρατηρώντας τα αποτελέσματα του πίνακα 5.27 και 5.30 διαπιστώνουμε ότι στο πεδίο χρειάστηκαν μεγαλύτεροι χρόνοι ακτινοβόλησης (30sec και 45sec) για να επιτευχθούν αποτελέσματα αντίστοιχα με την έρευνα των Choi και λοιπών. Το γεγονός αυτό πολύ πιθανόν να οφείλεται στο ότι στα δείγματα μας στο πεδίο αντιμετωπίσαμε πολύ μεγαλύτερο μικροβιακό φορτίο που κυμαίνονταν μεταξύ 160.000 με 700.000 αποικίες *T.coliforms*/ 100ml, ενώ σε αυτούς οι συγκέντρωση των *T.coliforms* δεν ξεπερνούσε τις 1.200 αποικίες/ 100ml.

Τελος, σε μια πρόσφατη έρευνα μελετώντας τις δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης των διαλυμάτων απορροής υδροπονικών καλλιεργειών, παρατηρήθηκε ότι η χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας σε συνδυασμό με την χρήση φίλτρου μπορεί να ελέγξει επαρκώς την ποσότητα των *T.coliforms* στο διάλυμα της απορροής, διότι η προεπεξεργασία με φίλτρο μπορεί να μειώσει αισθητά την θολότητα του διαλύματος, βελτιώνοντας την απόδοση της ακτινοβολίας UV (Kumar and Cho, 2014). Την αναφορά αυτή επιβεβαιώνει και ο Stewart-Wade επισημαίνοντας ότι η συνιστώμενη θολρότητα ενός διαλύματος για την βέλτιστη αποτελεσματικότητα της υπεριώδους ακτινοβολίας θα πρέπει να βρίσκεται κάτω από 2 NTU (Stewart-Wade, 2011). Στο ίδιο συμπέρασμα μπορούμε εύκολα να καταλήξουμε και εμείς παρατηρώντας τα αποτελέσματα των δειγμάτων από το θερμοκήπιο της Βίραν στο πεδίο, στο οποίο δεν καταφέραμε να φτάσουν τα ποσοστά που επετεύχθησαν εργαστηριακά για τους χρόνους ακτινοβόλησης που μελετήσαμε, λόγω της θολρότητας που διατηρήθηκε σε υψηλά επίπεδα, γύρω στα 10 NTU, ακόμα και μετά την φίλτρωση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Με βάση τα αποτελέσματα του κεφαλαίου 5 θα ήταν λογικό να συμπεράνουμε ότι η απολύμανση των απορροών, μια υδροπονικής καλλιέργειας, με υπεριώδη ακτινοβολία, αν και διαφέρει εργαστηριακά από το πεδίο, μπορεί να θεωρηθεί αποτελεσματική, αφού εργαστηριακά το ποσοστό μείωσης των μικροοργανισμών, στην πλειοψηφία των δειγμάτων, δεν πέφτει κάτω από 99,90% και στο πεδίο κάτω από 91%. Επίσης, στους χρόνους ακτινοβόλησης που μελετήσαμε πετύχαμε, επί το πλείστον αποτελέσματα εντός των νομοθετικών ορίων και στο εργαστήριο και στο πεδίο.

Επιπλέον, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι σημαντικό ρόλο έχει και η φίλτρηση του διαλύματος στη διαφορά της απόδοσης απολύμανσης στις εργαστηριακές μετρήσεις σε σχέση με αυτές στο πεδίο. Εκτός από τη θολερότητα που παρεμποδίζει σε μεγάλο βαθμό την απόδοση της UVC απολύμανσης, το φίλτρο ύδρευσης που χρησιμοποιήθηκε μπορεί και αυτό να μεταβάλλει την ποιότητα του διαλύματος σε σχέση με τον όγκο επεξεργασίας. Στο εργαστήριο γενικά οι όγκοι φίλτρησης ήταν μικροί, της τάξης των λίγων δεκάδων λίτρων, ενώ στο πεδίο οι όγκοι που περνούσαν από το φίλτρο ήταν πολύ μεγαλύτεροι. Επίσης, το φίλτρο που χρησιμοποιήθηκε ήταν ένα απλό οικιακό φίλτρο για τη συγκράτηση των στερεών, του χώματος, της σκουριάς και άλλων συστατικών που επηρεάζουν την θολερότητα του υγρού, αλλά δεν συγκρατούσε μικροοργανισμούς. Αυτό σημαίνει ότι καθώς διερχόταν το νερό από το φίλτρο και τα στερεά συσσωρεύονταν στην επιφάνειά του, και με την αυξημένη διέλευση του όγκου του διαλύματος, έρεαν και οι μικροοργανισμοί που είχαν προσροφηθεί στα στερεά, στο χώμα κτλ με αποτέλεσμα τα μικροβιολογικά χαρακτηριστικά του υγρού που βγαίνει από το φίλτρο να μην έχουν μεγάλη σταθερότητα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να χρειαζόμαστε μεγαλύτερους χρόνους ακτινοβόλησης στο πεδίο, για να επιτύχουμε αποτελέσματα εντός των νομοθετικών ορίων. Αυτές οι διακυμάνσεις μεταξύ των χρόνων ακτινοβόλησης στο εργαστήριο και στο πεδίο θα μπορούσαν να είχαν αποφευχθεί αν αντί για ένα απλό οικιακό φίλτρο χρησιμοποιούσαμε φίλτρο μεμβράνης σχεδιασμένο να δέχεται μεγάλους όγκους διαλύματος, που να εξασφαλίζει καλύτερη μετάδοση της υπεριώδους ακτινοβολίας στο διάλυμα απορροής και να διατηρεί το κατάλληλο ρυθμό ροής του διαλύματος στην στήλη UV, ούτε σε πολύ χαμηλά επίπεδα, ούτε σε πολύ υψηλά, γεγονός που θα μείωνε την αποτελεσματικότητα της απολύμανσης.

Ωστόσο, σε καμία περίπτωση δεν θα μπορούσαμε να θεωρήσουμε ότι η διάταξη UV-C δεν θα μπορούσε να εφαρμοστεί σε κλειστά συστήματα επανακυκλοφορίας θρεπτικού διαλύματος υδροπονικών καλλιεργειών. Όπως αναφέραμε παραπάνω με ένα κατάλληλο φίλτρο το οποίο να είναι σχεδιασμένο να δέχεται μεγάλους όγκους διαλύματος θα μπορούσαμε να εξομαλύνουμε τις διαφορές μεταξύ των

εργαστηριακών αποτελεσμάτων και των αποτελεσμάτων στο πεδίο, μειώνοντας έτσι αισθητά τον απαιτούμενο χρόνο ακτινοβολήσης στο πεδίο και πετυχαίνοντας τα ανώτατα επιτρεπτά μικροβιολογικά όρια που καθορίζονται από το νόμο, για απεριόριστη άρδευση, χρησιμοποιώντας λιγότερη ενέργεια. Επομένως, η εφαρμογή της διάταξης σε υδροπονικές καλλιέργειες θα εξοικονομούσε νερό και λίπασμα στους παραγωγούς, μειώνοντας τα νερά αποστράγγισης των υδροπονικών καλλιεργειών, για την αποφυγή ρύπανσης του υπόγειου υδροφορέα και του εδάφους και το πιο βασικό θα εξασφάλιζε την αποφυγή μολύνσεων του ριζικού συστήματος από παθογόνους μικροοργανισμούς, που μπορούν να εξαπλωθούν εύκολα μέσω των θρεπτικών διαλυμάτων και θα απέτρεπε φαινομένων φυτοτοξικότητας, αφού είναι μια χημικά ελεύθερη μέθοδος απολύμανσης, επιτυγχάνοντας έτσι αύξηση στην απόδοση και βελτίωση στην ποιότητα του εμπορικού προϊόντος.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΠΡΟΕΚΥΨΑΝ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ.

Για να εξάγουμε ενδεικτικές τιμές για τους μικροβιολογικούς δείκτες που μελετάμε, αλλά και να καταλήξουμε σε κάποια συμπεράσματα, ομαδοποιήσαμε τα δείγματα με βάση το θερμοκήπιο που έγινε η δειγματοληψία και με βάση αν πραγματοποιήθηκε φίλτρανση στο δείγμα. Επομένως, σύμφωνα με τα παραπάνω τα αποτελέσματα που προέκυψαν έχουν ως εξής:

Βιράν Επισκοπή

Στα δείγματα που λήφθηκαν από το θερμοκήπιο της Βιράν Επισκοπής δεν πραγματοποιήθηκε φίλτρανση.

Πίνακας Ι.1: Ενδεικτικές τιμές για τις αποικίες της *E.coli*, στην απορροή του θερμοκηπίου της Βιράν Επισκοπής, πριν και μετά την απολύμανση.

Escherichia coli (αποικίες/100ml)				
Χρόνος ακτινοβόλησης (s)	1 ^ο δείγμα	9 ^ο δείγμα	10 ^ο δείγμα	Μ.Ο
0	900	2.500	3.000	2.134
15	0	0	0	0
30	0	0	0	0

Πίνακας Ι.2: Ενδεικτικές τιμές για τις αποικίες των *T.coliforms*, στην απορροή του θερμοκηπίου της Βιράν Επισκοπής, πριν και μετά την απολύμανση.

Total coliforms (αποικίες/100ml)				
Χρόνος ακτινοβόλησης (s)	1 ^ο δείγμα	9 ^ο δείγμα	10 ^ο δείγμα	Μ.Ο
0	94.000	280.000	308.000	227.334
15	98	18	40	52
30	10	12	15	13

Πίνακας Ι.3: Ενδεικτικές τιμές για τις αποικίες του Εντερόκοκκου, στην απορροή του θερμοκηπίου της Βιράν Επισκοπής, πριν και μετά την απολύμανση.

Enterococcus (αποικίες/100ml)				
Χρόνος ακτινοβόλησης (s)	1 ^ο δείγμα	9 ^ο δείγμα	10 ^ο δείγμα	Μ.Ο
0	-	1.000	1.500	1.250
15	-	1	0	1
30	-	1	0	1

ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε ΧΑΝΙΩΝ

Στα δείγματα που λήφθηκαν από το θερμοκήπιο του ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε ΧΑΝΙΩΝ πραγματοποιήθηκε φίλτρανση.

Πίνακας Ι.4: Ενδεικτικές τιμές για τις αποικίες της *E.coli*, στην απορροή του θερμοκηπίου του ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε, πριν και μετά την απολύμανση.

Escherichia coli (αποικίες/100ml)			
Χρόνος ακτινοβόλησης (s)	3 ^ο δείγμα	4 ^ο δείγμα	Μ.Ο
0	0	0	0
13	0	0	0
30	0	0	0

Πίνακας Ι.5: Ενδεικτικές τιμές για τις αποικίες της *T.coliforms*, στην απορροή του θερμοκηπίου του ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε, πριν και μετά την απολύμανση.

Total coliforms (αποικίες/100ml)			
Χρόνος ακτινοβόλησης (s)	3 ^ο δείγμα	4 ^ο δείγμα	Μ.Ο
0	6.300	5.000	5.650
13	6	2	4
30	0	0	0

Πίνακας Ι.6: Ενδεικτικές τιμές για τις αποικίες του Εντερόκοκκου, στην απορροή του θερμοκηπίου του ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε, πριν και μετά την απολύμανση.

Enterococcus (αποικίες/100ml)			
Χρόνος ακτινοβόλησης (s)	3 ^ο δείγμα	4 ^ο δείγμα	Μ.Ο
0	6.300	5.000	5.650
13	6	2	4
30	0	0	0

Επισκοπή

Τα δείγματα 5,6,7 και 8 παρουσιάζονται σε διαφορετικούς πίνακες από το δείγμα 2, επειδή δεν έχει υποστεί φίλτρανση.

Πίνακας Ι.7: Ενδεικτικές τιμές για τις αποικίες της *E.coli*, στην απορροή του θερμοκηπίου της Επισκοπής, πριν και μετά την απολύμανση.

Escherichia coli (αποικίες/100ml)					
Χρόνος ακτινοβόλησης (s)	5° δείγμα	6° δείγμα	7° δείγμα	8° δείγμα	M.O
0	40.000	2.000	3.000	4.000	12.250
13	-	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0

Πίνακας Ι.8: Ενδεικτικές τιμές για τις αποικίες των *T.coliforms*, στην απορροή του θερμοκηπίου της Επισκοπής, πριν και μετά την απολύμανση.

Total coliforms (αποικίες/100ml)					
Χρόνος ακτινοβόλησης (s)	5° δείγμα	6° δείγμα	7° δείγμα	8° δείγμα	M.O
0	2.350.000	40.000	55.000	80.000	631.250
13	-	20	56	220	99
20	40	10	40	120	53
30	0	0	10	30	10

Πίνακας Ι.9: Ενδεικτικές τιμές για τις αποικίες του Εντερόκοκκου, στην απορροή του θερμοκηπίου της Επισκοπής, πριν και μετά την απολύμανση.

Enterococcus (αποικίες/100ml)					
Χρόνος ακτινοβόλησης (s)	5° δείγμα	6° δείγμα	7° δείγμα	8° δείγμα	M.O
0	25.000	3.000	2.500	3.800	8.575
13	-	0	0	0	0
20	30	0	0	0	8
30	0	0	0	0	0

Πίνακας Ι.10: Ενδεικτικές τιμές για τις αποικίες του δείγματος 2 (το οποίο δεν έχει υποστεί φίλτρανση), πριν και μετά την απολύμανση.

2 ^ο ΔΕΙΓΜΑ			
Χρόνος ακτινοβόλησης (s)	E.coli (αποικίες/100ml)	T.coliforms (αποικίες/100ml)	Enterococcus (αποικίες/100ml)
0	20.150	3.000.000	140
30	2	48	14

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΞΕΝΗ BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bolton J., Cotton C., “Ultraviolet Disinfection Handbook”, The American Waterworks Association, 1st edition, 2009, pp.6-8.
- Brissaud F., “Criteria for water recycling and reuse in the Mediterranean countries”, Desalination 218, 2008.
- Choi B., Lee S.S., Awad Y.M., Ok Y.S., “Feasibility of reclaimed wastewater and waste nutrient solution for crop production in Korea”, Department of Biological Environment, College of Agriculture and Life Sciences, Kangwon National University, The Korean Society of Environmental Agriculture, Korea, 2011, pp. 118-124.
- DECRETO MINISTERIALE n. 185 (D.M. n. 185/2003).Repubblica Italiana. Norme tecniche per il riutilizzo delle acque reflue domestiche, urbane ed industriali. GU n. 169, 23-7-2003.
- Ehret D., Alsanius B.,Wohanka W.,Menzies J.,Utkhede R., “Disinfestation of recirculating nutrient solutions in greenhouse horticulture”, Agronomie, EDP Sciences, 21 (4), 2001, pp.323-339.
- EPA, “Water reuse outside the U.S. In: Guidelines for Water Reuse. U.S.”, Environmental Protection Agency, Washington, DC, 2004, pp. 155.
- Jeong A.L., Dong H.L. and Sunggi H., “The Interaction of Human Enteric Pathogens with Plants”, The Plant Pathology Journal, v.30(2), 2014, pp. 109-116.
- Kumar R.R. & Cho J.Y., “Reuse of hydroponic waste solution”, Environmental Science and Pollution Research, 2014.
- Lelliott R. A. , “The Plant Pathogenic Coryneform Bacteria”, Journal of Applied Bacteriology, 29(1), 1966, pp. 114–118.
- Newman S.E., “Greenhouse & Nursery Sanitation” , Colorado State University Cooperative Extension, 2004.
- Pantanella E., “Nutrition and Quality of Aquaponic Systems”, Dipartimento di Scienze e Tecnologie per l'Agricoltura, le Foreste, la Natura e l'Energia (DAFNE), Università degli Studi della Toscana, 2015, pp. 46-55.
- Resh H.M., “Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower”, CRC press, 7th edition, 2012, pp. 6, 32-33.Stewart-Wade, S.M., “Plant pathogens in recycled

irrigation water in commercial plant nurseries and greenhouses: their detection and management”, Irrigation Science 29, 2011, pp. 267-297

Vallance, Deniel, Floch, Guerin-Dubrana, Blancard, et al., “Pathogenic and beneficial microorganisms in soilless cultures”, Agronomy for Sustainable Development, Springer Verlag/EDP Sciences/INRA, 31 (1), 2011, pp.191-203.

World Health Organization (WHO), “Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture”, Tech. Bull. Ser. 77, Geneva, Switzerland, 1989, pp. 39.

Dr. Zheng Y., Siobhan Dunets and Diane Cayanan, “Greenhouse and nursery water treatment information system”, School of Environmental Sciences, University of Guelph, 2012.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αγγλογάλλος Ε.Π., “Βελτιστοποίηση ενός νέου συστήματος υδροπονικής εγκατάστασης NDT(Nutrient Drip Technique) και συγκριτική αξιολόγηση με το κλασικό σύστημα NFT (Nutrient Film Technique)”, Πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 2010.

Ανδρεαδάκης Α., Μαμάης Δ., Γαβαλάκη Ε., “Απολύμανση Λυμάτων”, Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π., 2005.

Έργο HYDROFLIES, “Εκπαιδευτικό υλικό χρηστών: ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΒΙΟΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΒΙΟΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΕ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΜΑΤΑΣ ΚΑΙ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ”, Πρόγραμμα Διασυνοριακής Συνεργασίας Ελλάδα- Κύπρου, 2012.

Έργο HYDROFLIES, “3.2.3-3.2.4 Σημειωματάριο Υδροπονίας: ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΒΙΟΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΒΙΟΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΕ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΜΑΤΑΣ ΚΑΙ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ”, Πρόγραμμα Διασυνοριακής Συνεργασίας Ελλάδα- Κύπρου, Χανιά, 2014.

Ινστιτούτο Γεωργικών Ερευνών (ΙΓΕ), “Εγχειρίδιο Υδροπονίας”, Εκπαιδευτικό Κέντρο Υδροπονίας ΙΓΕ, Λευκωσία 2014.

Κοινή Υπουργική Απόφαση 145116/2011 (Υ.Α οικ. 145116/2011), “Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις”, Άρθρο 4, Παράρτημα Ι, Πίνακας 2, Ελληνική Δημοκρατία, 8-3-2011.

Κουϊμτζής Θ., Σαμαρά-Κωνσταντίνου Κ., “Έλεγχος Ρύπανσης Περιβάλλοντος”, Εκδόσεις Ζήτη, 1^η έκδοση, Θεσσαλονίκη, 1994.Κωτίδης Θ., Πτυχιακή εργασία:

“ΠΑΡΑΣΙΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΜΗ ΠΑΡΑΣΙΤΙΚΕΣ ΑΣΘΕΝΕΙΕΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΟΥ ΚΥΚΛΑΜΙΝΟΥ”, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας, Α.Τ.Ε.Ι. Μεσολογγίου, 2010.

Μάρακας Χ., Μεταπτυχιακή διατριβή: “Απολύμανση Επεξεργασμένων Αστικών Λυμάτων με χρήση Εξελιγμένων Διεργασιών Οξειδωσης και Χλωρίωσης με Συνδυασμό και Σύγκριση των μεθόδων”, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, 2006.

Παούρης Β., Πτυχιακή εργασία: “Η βιολογική καλλιέργεια της υπαίθριας τομάτας στη νήσο Κέα”, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας, Αλεξάνδρειο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Θεσσαλονίκης, 2012

Πεπονάκης Κ., “Εισαγωγή στην Υδροπονία”, Ηράκλειο, 2012.

Πρωτούλης Γ. , Πτυχιακή εργασία: “Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας σε σχέση με την καλλιέργεια τομάτας στο έδαφος”, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας, Α.Τ.Ε.Ι. Μεσολογγίου, 2007.

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

<https://ydroponia.com/hydroponics/soillessculture/>

<http://www.alagro.gr/anoixta-systhmata/>

<http://www.alagro.gr/kleista-systhmata/>

https://en.wikipedia.org/wiki/Verticillium_wilt

<http://www.klinex.gr/protection/disinfection/>

<http://hydroponicsfarm.weebly.com/deep-floating-technique-dft.html>

<https://gr.pinterest.com/donnagracethomp/aeroponics/>

<http://www.geoanthos.gr>

<https://www.hydroponics.eu/rockwool-cube-7-5x7-5cm~1108.html>

<https://www.hydroculture.co.uk/coco-coir>

<http://www.ekk.aua.gr/seminar/seminar01.pdf>

