



## ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος

Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος

### ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

<< Επαναχρησιμοποίηση απορροών υδροπονικής καλλιέργειας  
τομάτας σε σύστημα διαδοχικών καλλιεργειών >>



Κωνσταντινίδου Θωμαή

Επιβλέπων καθηγητής: Κατσούλας Νικόλαος

Βόλος 2021

Επαναχρησιμοποίηση απορροών υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας σε  
σύστημα διαδοχικών καλλιεργειών

Reuse the drainage solution of a hydroponic tomato crop in a different crop of  
a successive cropping system

**Τριμελής εξεταστική επιτροπή:**

Ν. Κατσούλας, Καθηγητής (Επιβλέπων)

Σ. Πετρόπουλος, Αναπλ. Καθηγητής (Μέλος)

Ε. Κίττα, ΕΔΙΠ (Μέλος)

## **Ευχαριστίες**

Αισθάνομαι την υποχρέωση να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν με κάθε τρόπο στην υλοποίηση της παρούσας εργασίας.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Νικόλαο Κατσούλα για τις πολύτιμες γνώσεις και την καθοδήγηση του κατά τη διάρκεια του πειράματος.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Αν. Καθηγητή κ. Σ. Πετρόπουλο και το Μέλος Ε.ΔΙ.Π. κυρία Ε. Κίττα, του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για τη συμμετοχή τους στην τριμελή επιτροπή.

Ακόμα, αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω θερμά την Δρ. Αγγελική Ελβανίδα, με τις υποδείξεις και τις διορθώσεις της οποίας πραγματοποιήθηκε η συγγραφή της παρούσας εργασίας.

Θα ήταν παράληψή μου να μην ευχαριστήσω τον μεταπτυχιακό φοιτητή Alexander Kunze για την καθοδήγηση και την πολύτιμη βοήθειά του καθ' όλη τη πορεία του πειράματος.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένεια και τις φίλες μου για την υποστήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου.

## Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή.....	7
1.1	Θερμοκήπια.....	7
1.2	Υδροπονία .....	8
1.2.1	Τι είναι η υδροπονία .....	8
1.2.2	Υποστρώματα .....	9
1.2.2.1	Τύρφη .....	10
1.2.2.2	Πετροβάμβακας .....	11
1.2.3	Θρεπτικό διάλυμα .....	12
1.2.3.1	Παρασκευή θρεπτικού διαλύματος .....	12
1.2.3.2	Ανακύκλωση θρεπτικού διαλύματος .....	12
1.2.3.4	Αλατότητα θρεπτικού διαλύματος.....	14
1.2.3.5	pH θρεπτικού διαλύματος.....	16
1.2.4	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της υδροπονίας .....	18
1.2.4.1	Πλεονεκτήματα .....	18
1.2.4.2	Μειονεκτήματα .....	19
1.3	Πολυκαλλιέργεια.....	20
1.3.1	Τι είναι πολυκαλλιέργεια .....	20
1.3.2	Πρωτεύουσα καλλιέργεια (τομάτα).....	21
1.3.3	Δευτερεύουσα καλλιέργεια (άνηθος).....	22
1.4	Σκοπός της εργασίας .....	23
2	Υλικά και Μέθοδοι .....	24
2.1	Εγκαταστάσεις και καλλιέργειες.....	24
2.2	Στάδια εργασιών .....	25
2.3	Μεταχειρίσεις.....	28
2.4	Μετρήσεις και υπολογισμοί.....	30
2.5	Πρώτη και δεύτερη καταστροφική .....	32
2.6	Στατιστική ανάλυση.....	33
3.	Αποτελέσματα .....	34
3.1	pH και EC διαλυμάτων άρδευσης και απορροής.....	34
3.2	Υδατική κατανάλωση .....	38
3.3	Ύψος άνηθου ανά υπόστρωμα και μεταχείριση.....	40
3.4	Συγκέντρωση χλωροφύλλης.....	42
3.5	Νωπό και ξηρό βάρος φυτών.....	43
3.5.1	Λόγος βιομάζας .....	45
3.5.2	Ποσοστό υγρασίας και ξηράς ουσίας .....	47
3.6	Αποδοτικότητα χρήσης νερού.....	48
4.	Συζήτηση.....	51
5.	Συμπεράσματα .....	55
6.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	56

## Περίληψη

Η βελτίωση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των φυτικών προϊόντων απασχολεί όλο και περισσότερο τους παραγωγούς, οδηγώντας τους στην υιοθέτηση των υδροπονικών συστημάτων. Σε τέτοια συστήματα, όπου τα φυτά αναπτύσσονται σε αδρανή υποστρώματα, η παροχή ενός θρεπτικού διαλύματος είναι απαραίτητη. Για περιβαλλοντικούς και οικονομικούς λόγους είναι προτιμότερη η χρήση κλειστών συστημάτων, όπου το θρεπτικό διάλυμα που απορρέει από το ριζικό περιβάλλον ανακυκλώνεται. Ωστόσο, κατά την επαναχρησιμοποίηση των απορροών μπορεί να προκύψουν προβλήματα μετάδοσης ασθενειών και συσσώρευσης ή ανεπάρκειας θρεπτικών στοιχείων. Έτσι, η απόρριψη του ανακυκλωμένου διαλύματος είναι αναπόφευκτη όταν εντοπιστεί πρόβλημα θρέψης, επιβαρύνοντας το περιβάλλον. Λύση σε αυτό μπορεί να αποτελέσει ένα σύστημα πολυκαλλιέργειας, όπου οι απορροές μιας πρωτεύουσας καλλιέργειας θα συλλέγονται και θα επαναχρησιμοποιούνται σε μια δευτερεύουσα περισσότερο ανθεκτική στην αλατότητα.

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη της επίδρασης διαφορετικών θρεπτικών διαλυμάτων σε ένα ημίκλειστο υδροπονικό σύστημα, για δυο καλλιέργειες με διαφορετικές ανάγκες η κάθε μία και η επίδραση διαφορετικών υποστρωμάτων. Ως πρωτεύουσα καλλιέργεια χρησιμοποιήθηκε η τομάτα (*Solanum lycopersicum* cv. Elpida) και ως δευτερεύουσα ο άνηθος (*Anethum graveolens*) για τον οποίο μελετήθηκαν τα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά. Συνολικά καλλιεργήθηκαν 108 φυτά άνηθου σε διάρκεια 57 ημερών, τα μισά από τα οποία αναπτύχθηκαν σε υπόστρωμα τύρφης και τα άλλα μισά σε πετροβάμβακα. Οι μεταχειρίσεις αποτελούνταν από το μάρτυρα, όπου τα φυτά αρδεύονταν με φρέσκο θρεπτικό διάλυμα, από τις απορροές της τομάτας αναμειγμένες με φρέσκο θρεπτικό διάλυμα και από τις απορροές της τομάτας αραιωμένες με νερό. Για τις τρεις μεταχειρίσεις πραγματοποιήθηκαν από δυο επαναλήψεις, ενώ κατά τη διάρκεια του πειράματος λήφθηκαν μετρήσεις για το ύψος των φυτών, για το pH και την EC του διαλύματος τροφοδοσίας και απορροής από τους συλλέκτες και ο όγκος του νερού. Κατά τις δυο καταστροφικές μετρήθηκε το νωπό και ξηρό βάρος των φυτών καθώς και η χλωροφύλλη. Σκοπός των μετρήσεων ήταν να μελετηθεί η αποδοτικότητα

χρήσης νερού και οι ανάγκες του άνηθου για νερό συγκριτικά με τις τρεις μεταχειρίσεις και τα δυο υποστρώματα.

Τα αποτελέσματα του πειράματος έδειξαν ότι η αποδοτικότερη επαναχρησιμοποίηση του διαλύματος απορροής της τομάτας στον άνηθο, επιτεύχθηκε έπειτα από αραίωση με νερό, ενώ η χρήση διαφορετικών υποστρωμάτων (τύρφη και πετροβάμβακα) δεν επηρέασε το αποτέλεσμα. Έτσι, ο άνηθος μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα σύστημα πολυκαλλιέργειας, με ικανοποιητική παραγωγή, αποδοτική χρήση νερού και μειωμένη απορρόφηση νερού και λιπασμάτων, εφόσον αρδευτεί με το αραιωμένο διάλυμα απορροής μιας πρωτεύουσας καλλιέργειας.

## 1 Εισαγωγή

### 1.1 Θερμοκήπια

Από τα πολύ παλιά χρόνια οι καλλιέργειες υπό κάλυψη ικανοποιούσαν οικονομικούς και προσωπικούς σκοπούς των ανθρώπων λόγω των διάφορων προβλημάτων που αντιμετώπιζαν στους ανοιχτούς αγρούς. Ο ολοένα αυξανόμενος πληθυσμός οδήγησε στη ζήτηση περισσότερων και ποιοτικότερων αγροτικών προϊόντων, ενώ η αστικοποίηση δημιούργησε το αίσθημα αντικατάστασης του φυσικού περιβάλλοντος με ποικιλόμορφα καλλωπιστικά φυτά στους χώρους κατοικίας. Έτσι, οι παραγωγοί αγροτικών προϊόντων συνειδητοποίησαν ότι η κατασκευή σύγχρονων και βελτιωμένων θερμοκηπίων θα τους εξασφάλιζε παραγωγή καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου, καθώς η ρύθμιση και ο συνεχής έλεγχος των περιβαλλοντικών συνθηκών αλλά και η προστασία από δυσμενή καιρικά φαινόμενα δημιουργούν ένα κατάλληλα προσαρμοσμένο περιβάλλον για την ανάπτυξη των φυτών. Για να επιτευχθεί αυτό, χρειάστηκαν αρκετές μελέτες ώστε να σχεδιαστούν θερμοκήπια τα οποία εσωτερικά και εξωτερικά θα πληρούσαν τις προϋποθέσεις και τις ανάγκες περιοχών με διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες (Μαυρογιαννόπουλος 2017).

Λόγω το ότι τα θερμοκήπια κατασκευάζονται από διαφανή υλικά κάλυψης, όπως είναι το γυαλί, το πλαστικό κ.α., επιτρέπουν τη διέλευση της ηλιακής ακτινοβολίας η οποία απορροφάτε από τα φυτά για τη φωτοσύνθεση, αλλά και από τα υλικά εντός του θερμοκηπίου. Έπειτα, τα αντικείμενα που έχουν θερμανθεί θα εκπέμπουν νέα μεγαλύτερα κύματα ως υπέρυθρη ακτινοβολία η οποία παγιδεύεται στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, δημιουργώντας το κατάλληλο μικροκλίμα για την ανάπτυξη των φυτών (Vadiee and Martin 2014, Choab et al. 2019).

Άλλοι περιβαλλοντικοί παράγοντες που δρουν στο υπέργειο μέρος του φυτού, εκτός της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμότητας, και μπορούν να ρυθμιστούν μέσα σε ένα θερμοκήπιο, ανάλογα και με τον τεχνολογικό εξοπλισμό που διαθέτει, είναι η σχετική υγρασία και το διοξείδιο του άνθρακα. Η δυνατότητα ρύθμισης και του περιβάλλοντος της ρίζας του φυτού (νερό, θρεπτικά στοιχεία, οξυγόνο, θερμότητα και pH) χρησιμοποιώντας εδαφικά

υποστρώματα που καλύπτουν τις ανάγκες της εκάστοτε καλλιέργειας ή τη μέθοδο της υδροπονίας, βοηθούν τα φυτά να αποδώσουν το μέγιστο δυνατό (Μαυρογιαννόπουλος 2017).

Όλοι οι παραπάνω παράγοντες που είναι εφικτό να ρυθμιστούν κατάλληλα στο χώρο του θερμοκηπίου, στοχεύουν στην καλλιέργεια των φυτών καθ' όλη τη διάρκεια του έτους σε οποιοσδήποτε κλιματικές συνθήκες, γεγονός που βοηθάει τους παραγωγούς να προγραμματίσουν χρονικά την αποστολή των προϊόντων τους στην αγορά. Επιπλέον, η δυνατότητα μεγιστοποίησης της παραγωγής και της ποιότητας των προϊόντων μπορεί να καλύψει τις ολοένα αυξανόμενες απαιτήσεις των καταναλωτών (Μαυρογιαννόπουλος 2017).

Ωστόσο, ένας παραγωγός για να επιλέξει να καλλιεργήσει μέσα σε ένα θερμοκήπιο, αυτό θα πρέπει να πληροί κάποιες προδιαγραφές ώστε εκτός από τη δημιουργία κατάλληλων περιβαλλοντικών συνθηκών για την ανάπτυξη των φυτών, να επιτυγχάνεται και το χαμηλότερο δυνατό κόστος παραγωγής (Μαυρογιαννόπουλος 2017).

Ένας σημαντικός παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη πριν την κατασκευή ενός θερμοκηπίου, είναι η επιλογή της κατάλληλης τοποθεσίας ανάλογα με τις απαιτήσεις και το είδος της καλλιέργειας που πρόκειται να εγκατασταθεί. Έτσι, αν η καλλιέργεια προορίζεται για την παραγωγή καλλωπιστικών φυτών, το επιθυμητό περιβάλλον είναι αυτό που ευνοεί τη βελτιστοποίηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών και της εμφάνισης των φυτών, ενώ αν το τελικό προϊόν προορίζεται για βρώση, τότε επιδιώκεται η μέγιστη ποιοτικά και ποσοτικά απόδοση των καρπών (Μαυρογιαννόπουλος 2017). Τέλος, το θερμοκήπιο σχεδιάζεται και εξοπλίζεται με βάση όλα τα παραπάνω αλλά και τον τελικό προορισμό της παραγωγής στην αγορά (εγχώρια, εξαγωγική ή και τα δύο) (Castilla and Baeza 2013).

## **1.2 Υδροπονία**

### **1.2.1 Τι είναι η υδροπονία**

Οι σύγχρονες ανάγκες για ανταγωνιστική παραγωγή και τα αυξημένα έξοδα κατασκευής και συντήρησης ενός θερμοκηπίου, οδήγησαν σε μια νέα



τεχνολογικά καινοτόμα μέθοδο καλλιέργειας γνωστή ως υδροπονία. Στις υδροπονικές καλλιέργειες η ανάπτυξη των φυτών γίνεται εκτός εδάφους, χρησιμοποιώντας είτε αδρανή υποστρώματα είτε σκέτα θρεπτικά διαλύματα τα οποία λειτουργούν ως το περιβάλλον της ρίζας (Νεοκλέους 2014). Σύμφωνα με τους Savvas και Gruda (2018) τα υδροπονικά συστήματα που χρησιμοποιούν ως μέσο ανάπτυξης το υπόστρωμα, προτιμούνται από αυτά όπου τα φυτά αναπτύσσονται απλώς σε θρεπτικό διάλυμα, διότι γίνεται καλύτερος αερισμός της ρίζας χάρη στην πορώδη ιδιότητά τους, είναι απαλλαγμένα από ασθένειες και μπορούν να συγκρατήσουν νερό αν υπάρξει ανάγκη.

Με την υδροπονία δίνεται η δυνατότητα στους παραγωγούς να καλλιεργήσουν φυτά ακόμα και σε περιοχές με εδάφη κακής ποιότητας αλλά και να αυξήσουν την παραγωγή τους. Σε αυτό συμβάλει η μείωση των προβλημάτων που εμφανίζονταν στις καλλιέργειες εδάφους, όπως η ανάπτυξη των παθογόνων, η αρχική κατεργασία και απολύμανση, ενώ οι ρίζες των φυτών εκμεταλλεύονται αποτελεσματικότερα τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά τους (Savvas and Gruda 2018). Επιπλέον, το βελτιωμένο περιβάλλον της ρίζας που επιτυγχάνεται με τα συστήματα υδροπονίας βοηθάει στην καλύτερη ισορροπία μεταξύ νερού και οξυγόνου, ενώ παράλληλα πραγματοποιείται η επιθυμητή απόκτηση των θρεπτικών στοιχείων που είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών (Raviv et al. 2019).

### **1.2.2 Υποστρώματα**

Ως υπόστρωμα ή αλλιώς μέσο ανάπτυξης χαρακτηρίζεται κάθε πορώδες υλικό που μπορεί να αντικαταστήσει το έδαφος και να χρησιμοποιηθεί για την καλλιέργεια των φυτών. Σύμφωνα με τον Gruda (2012) τα υποστρώματα χωρίζονται σε οργανικά, τα οποία μπορούν να είναι συνθετικά όπως η πολυουρεθάνη ή να προέρχονται από τη φύση όπως η τύρφη, οι ίνες καρύδας κ.α. και σε ανόργανα, κάποια από τα οποία υφίστανται βιομηχανική επεξεργασία πριν τη χρήση τους, όπως ο πετροβάμβακας ή ο περλίτης και άλλα είναι φυσικής προέλευσης όπως η άμμος.

Μια σημαντική διαφορά ανάμεσα στην υδροπονία και στη συμβατική καλλιέργεια στο έδαφος, είναι ότι στην πρώτη περίπτωση το ριζικό σύστημα των φυτών μέσα στο υπόστρωμα έχει συγκριτικά μικρότερη ανάπτυξη από ότι στο έδαφος. Για αυτό το λόγο, κατά την παρασκευή των μέσων όπου θα φιλοξενηθούν οι ρίζες των φυτών, ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δίνεται στις χημικές και φυσικές τους ιδιότητες, ώστε να εξασφαλίζεται επαρκής αερισμός και ικανή αποθήκευση θρεπτικών στοιχείων και νερού (Carlile et al. 2019).

Εφόσον τα υποστρώματα αντικαθιστούν το έδαφος ως μέσο ανάπτυξης των φυτών, γίνεται κατανοητό ότι η δημιουργία αυτών στοχεύει σε χαρακτηριστικά που θα εξασφαλίσουν την ισορροπία μεταξύ των τριών βασικών παραγόντων (νερό, οξυγόνο, θρεπτικά συστατικά) για την καλή θρέψη των φυτών. Ωστόσο, η επιλογή του κατάλληλου υποστρώματος καθορίζεται και από άλλους παράγοντες όπως η καθαρότητά του από παθογόνους μικροοργανισμούς ή άλλα παράσιτα, η ύπαρξη ομοιογένειας και σταθερής δομής, το κόστος, η χημική του αδράνεια, αλλά και η ευχρηστία του για τον παραγωγό (Σάββας 2011).

### **1.2.2.1 Τύρφη**

Η τύρφη είναι ένα από τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα οργανικά υποστρώματα χάρη στην επιθυμητή χημικών και φυσικών χαρακτηριστικών που διαθέτει. Έχει όξινο pH, χαμηλή περιεκτικότητα θρεπτικών στοιχείων, καλή συγκράτηση νερού και αέρα, φυσική σταθερότητα, είναι απαλλαγμένη από μικρόβια και το ελαφρύ της βάρος καθιστά πιο οικονομική την μεταφορά της (Carlile et al. 2019).

Παρά τα θετικά στοιχεία της τύρφης ως υπόστρωμα στις υδροπονικές καλλιέργειες, γίνονται προσπάθειες περιορισμού της χρήσης και αντικατάστασή της με άλλα οργανικά υποστρώματα, λόγω περιβαλλοντικών ανησυχιών. Αρχικά, η τύρφη δεν αποτελεί εύκολα ανακυκλώσιμο υλικό καθώς η διαδικασία δημιουργίας και αποσύνθεσή της είναι πολύ αργή. Ακόμα, η διαδεδομένη χρήση της μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της διαθεσιμότητας των βρυόφυτων,

ενώ σημαντικές είναι και οι φθορές που προκαλούνται στα ενδαιτήματα όπου φύεται λόγω εκτεταμένων εξορύξεων (Gruda 2012).

### 1.2.2.2 Πετροβάμβακας

Ο πετροβάμβακας ανήκει στην κατηγορία των ανόργανων υποστρωμάτων, αποτελείται από ίνες και κατά την επεξεργασία του το τελικό σχήμα που μπορεί να πάρει είναι είτε ο κύβος είτε η ορθογώνια πλάκα. Ανάλογα το στάδιο και το είδος της καλλιέργειας που θα χρησιμοποιηθεί, επιλέγονται η κατάλληλη μορφή και οι διαστάσεις αντίστοιχα, ενώ παρασκευάζονται και μικρά τεμάχια, σαν κόκκοι, πετροβάμβακα κυρίως για την ανάμιξή τους με διάφορα υποστρώματα (Σάββας 2011).

Ως υπόστρωμα ο πετροβάμβακας χρησιμοποιείται ευρέως στην υδροπονία χάρη στις ευνοϊκές φυσικές και χημικές ιδιότητες που διαθέτει για την ανάπτυξη των φυτών. Είναι χημικά αδρανής και έχει υψηλό πορώδες το οποίο λειτουργεί θετικά στη σχέση μεταξύ νερού και αέρα. Η ικανότητά του να συγκρατεί υψηλές ποσότητες νερού, οι οποίες διατίθενται εύκολα στα φυτά, προέρχεται από τον τρόπο παρασκευής του και μειώνει σημαντικά τις απώλειες του θρεπτικού διαλύματος μέσω απορροών. Ακόμα, το ελαφρύ βάρος του πετροβάμβακα διευκολύνει τη μεταφορά του, ενώ χάρη στην θερμική του επεξεργασία σε υψηλές θερμοκρασίες καθίσταται πλήρως αποστειρωμένος και απαλλαγμένος από μικροοργανισμούς προστατεύοντας, έτσι, και την καλλιέργεια από ασθένειες (Σάββας 2011, Bar-Tal et al. 2019).

Σύμφωνα με έρευνες τα ανόργανα υποστρώματα, στην προκειμένη περίπτωση ο πετροβάμβακας, έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από ότι τα οργανικά (Asaduzzaman et al. 2015). Ωστόσο, ένα σημαντικό μειονέκτημα του πετροβάμβακα όταν τελειώσει ο καλλιεργητικός κύκλος ζωής του, είναι το περιβαλλοντικό βάρος που αφήνει ως μη βιοδιασπώμενο υλικό. Για αυτό το λόγο, έχουν γίνει προσπάθειες ώστε να αποφευχθεί η ενσωμάτωση και η συσσώρευση των χρησιμοποιούμενων πετροβάμβακων στο έδαφος υιοθετώντας αειφόρες πρακτικές, όπως είναι η ανακύκλωσή του ως υλικό για παραγωγή τούβλων, ανάμιξή του με άλλα υποστρώματα κλπ. Ένα ακόμα

μειονέκτημα είναι ότι η αγορά του κοστίζει ακριβά (Σάββας 2011, Bar-Tal et al. 2019).

### **1.2.3 Θρεπτικό διάλυμα**

#### **1.2.3.1 Παρασκευή θρεπτικού διαλύματος**

Σε όλες τις καλλιέργειες εκτός εδάφους η θρέψη των φυτών πραγματοποιείται μέσω της παροχής ενός θρεπτικού διαλύματος κατάλληλης σύστασης. Αρχικά, μέσα σε δυο ξεχωριστά δοχεία (Α και Β) με νερό προστίθενται υδατοδιαλυτά λιπάσματα υψηλών συγκεντρώσεων για την παρασκευή ενός πυκνού διαλύματος (μητρικό). Η χρήση δυο δοχείων αποσκοπεί στο διαχωρισμό των λιπασμάτων τα οποία αν αναμειχθούν μεταξύ τους προκύπτουν προβλήματα καθίζησης, όπως συμβαίνει στην περίπτωση ασβεστούχων λιπασμάτων με θειικά και φωσφορικά λιπάσματα, ενώ για τη ρύθμιση του pH του διαλύματος χρησιμοποιείται και ένα τρίτο δοχείο με κάποιο οξύ. Έπειτα, πραγματοποιείται υδρολίπανση των φυτών μέσω αντλίας, εφόσον το μητρικό διάλυμα έχει αραιωθεί με το νερό της άρδευσης και έχουν ελεγχθεί οι τιμές pH και EC (Σάββας 2011, Savvas et al. 2013).

#### **1.2.3.2 Ανακύκλωση θρεπτικού διαλύματος**

Η επιλογή υποστρωμάτων ως μέσο ανάπτυξης των φυτών είναι προτιμότερη, λόγω της πορώδους ιδιότητας που τους επιτρέπει να επιτυγχάνουν ικανοποιητικό αερισμό και συγκράτηση νερού και θρεπτικών. Τα υδροπονικά συστήματα που χρησιμοποιούν υποστρώματα χωρίζονται σε ανοιχτά και κλειστά, ανάλογα με το αν το πλεονάζον θρεπτικό διάλυμα που προκύπτει από το ριζόστρωμα ως απορροή απορρίπτεται ή ανακυκλώνεται αντίστοιχα (Savvas and Gruda 2018). Υπάρχει και μία τρίτη κατηγορία, τα ημίκλειστα συστήματα, όπου μετά από ένα χρονικό διάστημα ανακύκλωσης του θρεπτικού διαλύματος, αυτό απορρίπτεται κυρίως στο περιβάλλον (Katsoulas et al. 2015).

Η επαναχρησιμοποίηση του απορρέοντος θρεπτικού διαλύματος στοχεύει σε περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη. Ένα από τα κύρια προβλήματα που

προκύπτουν όταν το θρεπτικό διάλυμα, με τα περιεχόμενα λιπάσματα, απορρίπτεται στο περιβάλλον, είναι η μόλυνση του υδροφόρου ορίζοντα με νιτρικά και φωσφορικά ιόντα. Με τα κλειστά υδροπονικά συστήματα έχει σχεδόν ελαχιστοποιηθεί αυτό το πρόβλημα ενώ ταυτόχρονα εξοικονομούνται τα κόστη λιπάσματος και νερού (Bar-Yosef 2008).

Για να είναι εφικτό να ξανά χρησιμοποιηθεί το απορρέον θρεπτικό διάλυμα στην ίδια καλλιέργεια, είναι απαραίτητο να υπάρχει ένα δίκτυο μέσω του οποίου θα γίνεται η συλλογή και η μεταφορά του σε συστήματα ανάμειξης με νερό και θρεπτικά στοιχεία. Ωστόσο, χρειάζεται προσοχή ώστε να επιτευχθεί η σωστή αναλογία ανάμειξης των απορροών και του συμπληρωματικού θρεπτικού διαλύματος, διότι στα κλειστά υδροπονικά συστήματα υπάρχει ο κίνδυνος της συσσώρευσης ή ανεπάρκειας θρεπτικών στοιχείων. Ο κίνδυνος αυτός οφείλεται στο γεγονός ότι η σύσταση των επαναχρησιμοποιούμενων απορροών παίζει καθοριστικό ρόλο όσον αφορά στις ποσότητες των λιπασμάτων και του νερού που θα το συμπληρώσουν, ώστε να επιτευχθεί σωστή θρέψη της εκάστοτε καλλιέργειας στο ανακυκλούμενο σύστημα. Εφόσον η απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών και του νερού από τα φυτά επηρεάζεται από περιβαλλοντικούς και βιολογικούς παράγοντες, το πλεονάζον θρεπτικό διάλυμα που απορρέει δεν είναι σταθερό σε κάθε υδρολίπανση (Savvas 2002, Σάββας 2011).

Σήμερα, χρησιμοποιούνται αυτόματα συστήματα που είναι υπεύθυνα για μετρήσεις των χαρακτηριστικών των διαλυμάτων απορροής και για τον έλεγχο της αναλογίας ανάμειξης, με σκοπό η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) να έχει μια σταθερή τιμή-στόχο και να αποφεύγονται κυρίως προβλήματα αλατότητας. Για τη δημιουργία αυτών των συστημάτων είναι αναγκαίο ο παραγωγός να γνωρίζει τις ανάγκες της καλλιέργειάς του σε θρεπτικά στοιχεία και νερό. Ακόμα, κάποιες θερμοκηπιακές μονάδες χρησιμοποιούν και συστήματα αποστείρωσης του διαλύματος το οποίο πρόκειται να ανακυκλωθεί, ώστε να μειωθούν οι κίνδυνοι μετάδοσης τυχόν ασθενειών (Savvas 2002, Σάββας 2011).

Ωστόσο, ακόμα και αν το θρεπτικό διάλυμα εξυπηρετεί στο μέγιστο τις ανάγκες της καλλιέργειας, ένα κλειστό υδροπονικό σύστημα δεν μπορεί να είναι αποτελεσματικό για μεγάλο χρονικό διάστημα εάν το νερό της υδρολίπανσης

περιέχει πολλά άλατα. Αυτό το πρόβλημα συναντάται συχνά στις μεσογειακές περιοχές και αντιμετωπίζεται κυρίως με την εφαρμογή του ημίκλειστου συστήματος όπου γίνεται περιοδική απομάκρυνση του ανακυκλούμενου διαλύματος (Savvas et al. 2013).

#### **1.2.3.4 Αλατότητα θρεπτικού διαλύματος**

Τα φυτά στις καλλιέργειες εκτός εδάφους που αναπτύσσονται σε υποστρώματα, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, αντλούν τα θρεπτικά μακροστοιχεία και ιχνοστοιχεία που χρειάζονται μέσω του θρεπτικού διαλύματος που παρασκευάζεται από τον παραγωγό, με κάποιες εξαιρέσεις όπως αυτή της πρόσληψης του C από το CO<sub>2</sub>. Επειδή η πρόσληψη των θρεπτικών στοιχείων από τα φυτά είναι επιλεκτική, ανάλογα με τις ανάγκες που έχουν κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, οι αναλογίες των στοιχείων του θρεπτικού διαλύματος στο ριζόστρωμα μεταβάλλονται σε σχέση με τις αντίστοιχες του θρεπτικού διαλύματος τροφοδοσίας. Έτσι, για να έχει τα επιθυμητά αποτελέσματα το θρεπτικό διάλυμα που τροφοδοτείται σε μια συγκεκριμένη καλλιέργεια, χρησιμοποιούνται πειραματικά δεδομένα που έχουν αποδειχθεί οι άριστες τιμές θρέψης αυτών των καλλιεργειών καθώς και των άριστων τιμών των θρεπτικών στοιχείων στο χώρο των ριζών (Σάββας 2011, Savvas et al. 2013).

Για τη σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος χρειάζονται λιπάσματα που θα εξασφαλίζουν τις θρεπτικές ανάγκες της εκάστοτε καλλιέργειας και θα διαλύονται στο νερό ώστε να πραγματοποιείται υδρολίπανση. Για αυτό το λόγο, σύμφωνα με τον Σάββας (2011), χρησιμοποιούνται απλά υδατοδιαλυτά άλατα, κάποια οξέα και ο σίδηρος σε μορφή χηλικών ενώσεων. Οι επιθυμητές αναλογίες των θρεπτικών στοιχείων προκύπτουν με βάση τη σύσταση του νερού άρδευσης, το οποίο αποτελεί καθοριστικό παράγοντα ώστε να υπάρχει μια ισορροπία των ιόντων στο θρεπτικό διάλυμα. Για τον καθορισμό της συνολικής συγκέντρωσης των διαλυμένων αλάτων στο θρεπτικό διάλυμα, με εξαίρεση τα ιχνοστοιχεία, χρησιμοποιούνται απλά φορητά όργανα που μετράνε την ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) (Σάββας 2011). Αν οι τιμές της EC είναι χαμηλές τότε τα φυτά κινδυνεύουν από ελλείψεις θρεπτικών στοιχείων ενώ

υψηλές τιμές EC υποδεικνύουν προβλήματα αλατότητας (Savvas and Gruda 2018).

Από έρευνες έχουν προκύψει για διάφορες καλλιέργειες ορισμένες σταθερές τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας, στις οποίες το διάλυμα ριζοστρώματος ανταποκρίνεται στις θρεπτικές ανάγκες. Το ίδιο ισχύει και για το θρεπτικό διάλυμα που τροφοδοτείται στην καλλιέργεια, με τη διαφορά ότι οι τιμές-στόχοι καθορίζουν και διατηρούν τα συστατικά του διαλύματος του ριζοστρώματος επηρεάζοντας, έτσι, με έμμεσο τρόπο την καλλιέργεια ριζών (Σάββας 2011, Savvas et al. 2013).

Η αυξημένη ηλεκτρική αγωγιμότητα στο περιβάλλον των ριζών δεν είναι σπάνιο φαινόμενο στις υδροπονικές καλλιέργειες και συγκεκριμένα στα κλειστά συστήματα. Αυτό οφείλεται στη συσσώρευση κάποιων ιόντων που προέρχονται κυρίως από το νερό της άρδευσης, το οποίο εκτός από τα θρεπτικά μακροστοιχεία ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ), και ιχνοστοιχεία ( $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ , B and Cl) περιέχει και άλλα μη θρεπτικά, όπως το Na και το  $\text{HCO}_3$  (Savvas et al. 2013). Όταν το νερό δεν είναι καλής ποιότητας και αυτά τα ιόντα βρίσκονται σε υψηλές συγκεντρώσεις, τα φυτά απορροφούν μικρότερες συγκεντρώσεις από τις αναμενόμενες. Έτσι, και λόγω της μειωμένης ικανότητας απορρόφησης των δισθενών ιόντων από τα φυτά, τα ιόντα αυτά συσσωρεύονται στο ριζόστρωμα προκαλώντας αλατούχο καταπόνηση στην καλλιέργεια (Sonneveld and Voogt 2009).

Για τον περιορισμό της συσσώρευσης των αλάτων η ιδανικότερη λύση θα ήταν η χρήση νερού καλής ποιότητας. Όταν αυτό δεν είναι εφικτό ως εναλλακτική συνίσταται από τους Savvas et al. (2013) η εκτίμηση από τον παραγωγό των τιμών-στόχων της EC με βάση τη σύσταση του διαλύματος απορροής, τον σωστό προγραμματισμό της συχνότητας και ποσότητας της άρδευσης και την προσθήκη των κατάλληλων αναλογιών θρεπτικών στοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας. Εκτός από τη σωστή διαχείριση των παραπάνω, ο παραγωγός θα πρέπει να γνωρίζει ότι τα επίπεδα της αλατότητας επηρεάζονται και από το καλλιεργούμενο είδος και από τις καιρικές συνθήκες (Sonneveld and Voogt 2009).

Ο παραγωγός δεν πρέπει, ωστόσο, να αποθαρρύνεται αν προκύψει αλατούχο καταπόνηση στην καλλιέργειά του, γιατί στην υδροπονία η περιορισμένη ανάπτυξη των ριζών στα υποστρώματα συμβάλει στην ευκολότερη αντιμετώπιση του προβλήματος. Στα ανοιχτά συστήματα η έκπλυση των αλάτων πραγματοποιείται αυξάνοντας τη συχνότητα άρδευσης, ενώ στα κλειστά συστήματα η περιοδική απομάκρυνση του ανακυκλούμενου διαλύματος απομακρύνει τα συσσωρευμένα άλατα από το διάλυμα του ριζοστρώματος (Σάββας 2011, Savvas et al. 2013).

#### **1.2.3.5 pH θρεπτικού διαλύματος**

Όπως η ρύθμιση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε συγκεκριμένες τιμές στο θρεπτικό διάλυμα καθορίζει την εξέλιξη και την απόδοση των φυτών, έτσι και η ρύθμιση του pH είναι απαραίτητη. Ο ρόλος του pH στο θρεπτικό διάλυμα του ριζοστρώματος είναι να προειδοποιεί τον παραγωγό για τυχόν ελλείψεις ή υπερεπάρκεια ορισμένων θρεπτικών στοιχείων, και κυρίως των ιχνοστοιχείων, που μπορεί να οδηγήσουν σε τροφοπενίες ή τοξικότητες αντίστοιχα (Σάββας 2011).

Συγκεκριμένα, το pH είναι ένας δείκτης που δείχνει την ποσότητα των ιόντων υδρογόνου που είναι διαλυμένα μέσα στο θρεπτικό διάλυμα. Τιμές πάνω από 7 καθιστούν το διάλυμα αλκαλικό ενώ τιμές κάτω από 7 όξινο (Tsukagoshi and Shinohara 2020). Οι τιμές του καθορίζονται από το είδος του υποστρώματος που χρησιμοποιείται, από την ποιότητα του νερού άρδευσης και από τις μεταβολές των περιβαλλοντικών συνθηκών κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου (Savvas et al. 2013, Tsukagoshi and Shinohara 2020).

Δεδομένου ότι τα λιπάσματα που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος τροφοδοσίας είναι ουδέτερα άλατα, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι δεν επηρεάζουν το pH του διαλύματος. Καθοριστικό παράγοντα για τη ρύθμιση του pH στο διάλυμα ριζοστρώματος έχει το νερό της άρδευσης. Στις περιοχές της μεσογείου το νερό της άρδευσης αποτελείται, συνήθως, από υψηλές συγκεντρώσεις όξινων ανθρακικών αλάτων του μαγνησίου και του ασβεστίου, γεγονός που αυξάνει το pH του διαλύματος



κάνοντάς το αλκαλικό (De Pascale et al 2013). Αυτό, πρακτικά καθιστά ορισμένα ιχνοστοιχεία (όπως ο P, ο Fe, το Mn) λιγότερο διαλυτά με αποτέλεσμα τα φυτά να αδυνατούν να τα απορροφήσουν. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα, εφόσον η σύσταση του νερού άρδευσης δεν μπορεί να αλλάξει, όταν ο παραγωγός παρασκευάζει το θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας, προτείνεται η προσθήκη ενός οξέος (συνήθως το νιτρικό οξύ) για να μειωθεί το pH στα επιθυμητά επίπεδα (Silber and Bar-Tal 2019).

Τα φυτά κατά τη διάρκεια του βιολογικού τους κύκλου παρουσιάζουν μεταβολές όσον αφορά την απορρόφηση των ανιόντων και των κατιόντων από τις ρίζες τους. Έτσι, οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών στοιχείων στο διάλυμα ριζοστρώματος τείνουν να αλλάζουν σε σχέση με το διάλυμα τροφοδοσίας προκαλώντας μεταβολές και στο pH. Αύξηση του pH παρατηρείται όταν οι ρίζες των φυτών απορροφούν μεγαλύτερες ποσότητες ανιόντων σε σχέση με τα κατιόντα διότι υπάρχει μεγαλύτερη απορρόφηση νιτρικών και ταυτόχρονη απελευθέρωση  $\text{HCO}_3^-$  ή  $\text{OH}^-$ . Αυτό το γεγονός εμφανίζεται συχνότερα από μια αντίστοιχη μείωση pH και είναι πιο έντονο σε ευνοϊκές περιόδους για τα φυτά, όπως η έντονη ηλιοφάνεια, όπου αναπτύσσονται με ταχύτερους ρυθμούς (Savvas et al. 2013).

Είναι χρήσιμο το διάλυμα τροφοδοσίας να ελέγχεται τακτικά για τυχόν αλλαγές στις τιμές του pH, με τη χρήση ειδικών οργάνων. Ωστόσο, ένας βασικός παράγοντας που μπορεί να ρυθμίσει το pH του ριζοστρώματος στα επιθυμητά όρια (δηλαδή κάτω από 6,5) είναι οι κατάλληλες περιεκτικότητες σε άζωτο, το μοναδικό στοιχείο που τροφοδοτείται είτε ως ανιόν είτε ως κατιόν, στο διάλυμα τροφοδοσίας. Σκοπός είναι να υπάρχει μια ισορροπία στην πρόσληψη ανιόντων και κατιόντων αυξάνοντας την προσθήκη αμμωνιακών, σε επιτρεπτά όρια, ώστε η απορρόφηση των νιτρικών να μην υπερβαίνει τα όρια (Σάββας 2011).

## **1.2.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της υδροπονίας**

### **1.2.4.1 Πλεονεκτήματα**

Τα θετικά αποτελέσματα που προκύπτουν από την καλλιέργεια εκτός εδάφους στο θερμοκήπιο και η επίλυση των χρόνιων προβλημάτων του εδάφους, αυξάνει το ενδιαφέρον ολοένα και περισσότερων παραγωγών για την υιοθέτηση και την αλλαγή των συμβατικών καλλιεργειών στα θερμοκήπια σε υδροπονικές. Αρχικά, τα πορώδη υποστρώματα που χρησιμοποιούνται αντικαθιστώντας άγονα, μολυσμένα από ασθένειες ή ακατάλληλης σύστασης εδάφη προσφέρουν, χάρη στην φυσικοχημικών τους ιδιοτήτων, βελτιωμένες και αποτελεσματικότερες συνθήκες ανάπτυξης των φυτών. Παράλληλα, ο παραγωγός απαλλάσσεται από την αρχική προετοιμασία του εδάφους ενώ η δυνατότητα επίτευξης καλύτερης θέρμανσης στο ριζόστρωμα πρωιμίζει την παραγωγή αυξάνοντας τη συνολική απόδοση της καλλιέργειας (Σάββας 2011, Savvas et al. 2013, Raviv et al. 2019).

Ένα ακόμα σημαντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζουν πολλές περιοχές του πλανήτη και μπορεί να αντιμετωπιστεί, εν μέρει, από τη χρήση καλλιεργειών εκτός εδάφους, είναι η ακατάλληλη σύσταση του νερού άρδευσης με υψηλές περιεκτικότητες σε άλατα. Στην υδροπονία η χρήση υποστρωμάτων ή σκέτων θρεπτικών διαλυμάτων, επιτρέπει την έκπλυση των αλάτων όταν το υδροπονικό σύστημα είναι ανοιχτό, όμως στα κλειστά συστήματα θέλει προσοχή ώστε να αποτρέπεται ή συσσωρευση των αλάτων. Παρόλα αυτά χάρη στη υδροπονία, περιοχές με ακατάλληλα εδάφη και νερό άρδευσης μπορούν πλέον να παράγουν προϊόντα ικανοποιώντας τις ανάγκες του ολοένα και αυξανόμενου πληθυσμού (Raviv et al. 2019).

Τελευταίο, αλλά εξίσου σημαντικό, πλεονέκτημα είναι η υπεράσπιση του περιβάλλοντος. Με τα κλειστά υδροπονικά συστήματα επιτυγχάνεται ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος μειώνοντας, έτσι, την μόλυνση του υπόγειου και επιφανειακού υδροφόρου ορίζοντα από τα απορρέοντα λιπάσματα. Ακόμα, δίνεται η δυνατότητα καλύτερου ελέγχου της θρέψης των φυτών με συνεχείς ελέγχους των θρεπτικών διαλυμάτων αυξάνοντας την ποιότητα και την παραγωγή, ενώ η εξέλιξη των αυτοματισμών διευκολύνει τις καλλιεργητικές εργασίες (Σάββας 2011, Savvas et al. 2013, Raviv et al. 2019).

#### 1.2.4.2 Μειονεκτήματα

Η αρχική σκέψη ενός παραγωγού για το αν τον συμφέρει να επιλέξει να καλλιεργήσει στο έδαφος ή υδροπονικά μέσα σε ένα θερμοκήπιο, επηρεάζεται από οικονομικούς παράγοντες. Το κόστος για την αρχική προετοιμασία και αγορά των εγκαταστάσεων (υποστρώματα, δοχεία παρασκευής θρεπτικών διαλυμάτων, συστήματα ανακύκλωσης και απολύμανσης των απορροών κλπ.) στην υδροπονία είναι υψηλό. Ωστόσο, μπορεί να συγκριθεί και να αντισταθμιστεί με αυτό του αρχικού κόστους προετοιμασίας για το έδαφος και των περαιτέρω χημικών ουσιών για την αντιμετώπιση ασθενειών που προκύπτουν στις συμβατικές καλλιέργειες στο έδαφος (στην υδροπονία ο κίνδυνος μόλυνσης των φυτών από ασθένειες δεν είναι συχνός). Επιπλέον, η υδροπονία είναι μια σχετικά καινούργια μέθοδος καλλιέργειας, οπότε η ανάγκη για περισσότερη έρευνα με στόχο την εξέλιξη και τη βελτίωση των ήδη γνωστών δεδομένων είναι απαραίτητη, όπως και η εξειδίκευση των παραγωγών (Σάββας 2011, Raviv et al. 2019).

Η ανάπτυξη των ριζών όταν χρησιμοποιούνται τα υποστρώματα ως υδροπονική μέθοδος, είναι περιορισμένη σε σχέση με το έδαφος. Αυτό μπορεί να επιφέρει μια σειρά από αρνητικές συνέπειες στην ανάπτυξη των φυτών, όπως ελλείψεις νερού και θρεπτικών στοιχείων επειδή οι μικρού όγκου ρίζες δεν μπορούν να συγκρατήσουν αποθέματα για ώρα ανάγκης. Οπότε, πολλοί παραγωγοί προτιμούν να χορηγούν μεγαλύτερες ποσότητες λιπασμάτων για να είναι σίγουροι ότι τα φυτά θα εξασφαλίσουν τα αναγκαία θρεπτικά στοιχεία. Η υπέρμετρη χρήση λιπασμάτων, κυρίως στα ανοιχτά συστήματα, οδηγεί και σε αρνητικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Για αυτό, κρίνεται απαραίτητο να εκτιμώνται οι σωστές αναλογίες θρεπτικών στοιχείων στο διάλυμα και ο προγραμματισμός της σωστής δόσης και συχνότητας υδρολίπανσης (Raviv et al. 2008, Σάββας 2011).

Ένα σημαντικό μειονέκτημα που αφορά τα κλειστά υδροπονικά συστήματα, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, είναι η εμφάνιση αλατότητας. Κύρια αιτία αυτού του προβλήματος είναι η χρήση κακής ποιότητας νερού, το οποίο περιέχει στοιχεία που αφομοιώνονται με δυσκολία από τα φυτά, όπως το  $\text{Na}^+$

και το Cl<sup>-</sup>, με αποτέλεσμα έπειτα από τη συνεχή επανακυκλοφορία να συσσωρεύονται στο ριζικό περιβάλλον (Voogt & Bar-Yosef, 2019). Ακόμα, η επαναχρησιμοποίηση του θρεπτικού διαλύματος απορροής πραγματοποιείται έπειτα από την προσθήκη φρέσκου νερού και θρεπτικών στις κατάλληλες ποσότητες, επιβαρύνοντας περαιτέρω τη συσσώρευση αλάτων. Ο συνεχής έλεγχος της σύστασης του διαλύματος απορροής με στόχο να ρυθμίζεται ανάλογα η ηλεκτρική αγωγιμότητα, αποτελεί μη οικονομικά συμφέρουσα επιλογή για τους παραγωγούς. Έτσι, η περιοδική απόρριψη του ανακυκλούμενου διαλύματος αποτελεί αναγκαία πρακτική στα κλειστά υδροπονικά συστήματα (Savvas et al. 2013). Το γεγονός αυτό αναιρεί το σημαντικό πλεονέκτημα των κλειστών συστημάτων, που είναι η εξοικονόμηση νερού και λιπασμάτων, αλλά και η μείωση του περιβαλλοντικού φορτίου. Μια εναλλακτική μέθοδος που θα μπορούσε να συμβάλει στην καλύτερη αξιοποίηση της ανακύκλωσης του θρεπτικού διαλύματος απορροής, αποφεύγοντας τα παραπάνω προβλήματα, είναι η πολυκαλλιέργεια όπου αναλύεται παρακάτω.

### **1.3 Πολυκαλλιέργεια**

#### **1.3.1 Τι είναι πολυκαλλιέργεια**

Τα μειονεκτήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω και κυρίως αυτό της σπατάλης των λιπασμάτων και του νερού που προκύπτουν από τα ανοιχτά συστήματα, ωθούν τους ερευνητές στην εύρεση μεθόδων που θα στοχεύουν σε μια πιο βιώσιμη παραγωγή. Τα κλειστά συστήματα και η ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος συμβάλουν εν μέρη στη μείωση της μόλυνσης του περιβάλλοντος, καθώς το πρόβλημα της αλατότητας εμφανίζεται συχνά και η απόρριψη των απορροών, περιοδικά, γίνεται απαραίτητη. Έτσι, κυρίως σε περιοχές της μεσόγειου όπου το νερό άρδευσης περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων, η πολυκαλλιέργεια σε ημίκλειστα συστήματα αποτελεί μια καινοτόμα και αρκετά υποσχόμενη μέθοδος (Incrocci and Pardossi 2001).

Ως πρωτεύουσα καλλιέργεια χρησιμοποιείται κάποια με μικρή αντοχή στην αλατότητα (πχ τομάτα, αγγούρι) της οποίας το διάλυμα απορροής μέσω ενός κλειστού συστήματος καταλήγει σε μια δευτερεύουσα ή και τριτεύουσα

καλλιέργεια, με μεγαλύτερη αντοχή στην αλατότητα. Έτσι, οι απορροές από τις δευτερεύουσες καλλιέργειες, οι οποίες συνήθως έχουν και λιγότερες απαιτήσεις σε θρεπτικά στοιχεία, περιέχουν μειωμένες συγκεντρώσεις νερού και λιπασμάτων αλλά κυρίως νιτρικών και φωσφορικών που προκαλούν τον ευτροφισμό (Incrocci et al. 2003). Εκτός από το θετικό αποτύπωμα που παρουσιάζει η χρήση απορροών σε διαδοχικές καλλιέργειες στο περιβάλλον, επιφέρει και αύξηση της απόδοσης της παραγωγής με αντίστοιχη αύξηση των εσόδων για τον παραγωγό.

### **1.3.2 Πρωτεύουσα καλλιέργεια (τομάτα)**

Η τομάτα (*Solanum lycopersicum*) ανήκει στην οικογένεια Solanaceae, είναι μονοετές (όταν καλλιεργείται στα θερμοκήπια) ή διετές φυτό και αποτελεί ένα από τα δημοφιλέστερα λαχανικά χάρη στην υψηλή διατροφική της αξία (περιεκτικότητα σε βιταμίνες και κυρίως τη C) αλλά και στην ιδιαίτερη εμφάνιση και άρωμα των καρπών της που προσελκύει τους καταναλωτές. Κατά κανόνα, προτιμάει θερμά κλίματα για αυτό και η παραγωγή της σε χώρες της νότιας Ευρώπης και της Μεσογείου είναι αυξημένη σε συνθήκες ανοιχτού αγρού, όπως και στην Ελλάδα. Ωστόσο, η ανάγκη για καλλιέργεια τομάτας όλο τον χρόνο, η βελτίωση των οργανολιπτικών της χαρακτηριστικών και η απαγόρευση της απολύμανσης του εδάφους με βρωμιούχο μεθύλιο, ώθησε τους παραγωγούς στη χρήση των θερμοκηπίων και ιδιαίτερα της υδροπονίας (Dorai et al. 2001, Σάββας 2011).

Η καλλιέργεια της τομάτας σε υδροπονικά θερμοκήπια πραγματοποιείται, συνήθως, σε υποστρώματα λόγω της μεγάλης αύξησης και παραγωγής του φυτού. Η παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος τροφοδοσίας είναι απαιτητική καθώς το φυτό έχει ανάγκη από σημαντικές ποσότητες θρεπτικών στοιχείων και σωστή ρύθμιση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, ώστε να αποδίδει στο μέγιστο τα επιθυμητά οργανολιπτικά χαρακτηριστικά. Διάφορες έρευνες έχουν γίνει για να καθοριστούν οι τιμές-στόχοι της EC του θρεπτικού διαλύματος, οι οποίες εξαρτώνται από την ποικιλία, το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας, τη σύσταση του νερού άρδευσης και τις διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες κάθε περιοχής. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι τιμές αυτές κυμαίνονται από 1,6

έως 5 dS m<sup>-1</sup>. Μικρότερες ή μεγαλύτερες από αυτές τις τιμές μπορεί να προκαλέσουν στην καλλιέργεια ανεπάρκεια θρεπτικών στοιχείων ή αλατότητα αντίστοιχα (Dorai et al. 2001, Σάββας 2011).

Η τομάτα είναι ένα φυτό που επιδέχεται ελεγχόμενη αύξηση της EC στο διάλυμα ριζοστρώματος με στόχο τη βελτίωση της ποιότητας των καρπών της. Ωστόσο, σε μια μέτρια αλατότητα παρατηρείται μείωση του βάρους των καρπών καθώς το φυτό απορροφάει λιγότερο νερό και συνεπώς λιγότερα θρεπτικά συστατικά (Dorai et al. 2001) Τέλος, σύμφωνα με τον Σάββας (2011) η τομάτα επιδέχεται τιμές pH για το διάλυμα ριζοστρώματος από 5,5 έως 6,5 ενώ λίγο μεγαλύτερες ή μικρότερες από αυτές είναι ανεκτικές.

### 1.3.3 Δευτερεύουσα καλλιέργεια (άνηθος)

Ο άνηθος (*Anethum graveolens*) ανήκει στην οικογένεια Apiaceae και είναι ένα αρωματικό βότανο. Από τα αρχαία χρόνια ήταν ιδιαίτερα γνωστό για τη χρήση του στη φαρμακευτική, στην κοσμητολογία αλλά κυρίως στη βιομηχανία τροφίμων. Ανάλογα με την ποικιλία, μπορεί να καλλιεργηθεί είτε ως ετήσιο είτε ως διετές και το ύψος του φτάνει τα 30 με 120cm. Οι κατάλληλες συνθήκες ανάπτυξής του είναι οι χαμηλές θερμοκρασίες και η υψηλή ηλιακή ακτινοβολία, όχι όμως υπερβολική γιατί μπορεί να προκληθεί άνθηση νωρίτερα και τα φύλλα να έχουν μικρότερο μέγεθος (Mohsin et al. 2020). Σύμφωνα με έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τους Currey et al. (2019) στον κολιάνδρο, τον άνηθο και τον μαϊντανό, βρέθηκε ότι η αύξηση του ηλιακού φωτός επιδρά θετικά στην ανάπτυξη των φυτών.

Η ανάγκη για παραγωγή φρέσκων λαχανικών και αρωματικών φυτών όλο το χρόνο για χρήση στη μαγειρική, οδήγησε στην ολοένα και περισσότερη αξιοποίηση των θερμοκηπίων και τα τελευταία χρόνια της υδροπονίας. Κατά την καλλιέργειά του ο άνηθος ανέχεται ένα pH μεταξύ 5,3 έως 7,8 (Jana and Shekhawat 2010) ενώ για τις τιμές EC δεν έχουν προσδιοριστεί απόλυτα όρια ώστε να προβλέπονται προβλήματα θρέψης. Παλαιότερη έρευνα από τον Udagawa (1992) έδειξε ότι η αύξηση της EC του διαλύματος αυξάνει και την απόδοση της καλλιέργειας με τη μέγιστη πειραματική τιμή στα 3.6 dS m<sup>-1</sup>, ενώ

με έρευνα από τους Ghassemi-Golezania και Nikpour-Rashidabad (2017) αποδείχθηκε ότι ο άνηθος είναι εφικτό να αναπτυχθεί ακόμα και σε συνθήκες αλατότητας με τιμές πάνω από  $8 \text{ dS m}^{-1}$ . Νεότερα στοιχεία από τους Currey et al. (2019) δείχνουν ότι ο άνηθος επιδέχεται ένα εύρος τιμών EC για το θρεπτικό διάλυμα, εφόσον ανανεώνονται και προστίθενται σε αυτό κάθε φορά τα θρεπτικά στοιχεία που χρειάζονται, χωρίς να επηρεάζεται αρνητικά η απόδοση της καλλιέργειας και των αιθέριων ελαίων.

#### **1.4 Σκοπός της εργασίας**

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια μιας προσπάθειας για διερεύνηση των γνώσεων της παραγωγής καλλιεργειών στα θερμοκήπια σε συνθήκες εκτός εδάφους, με γνώμονα την προάσπιση του περιβάλλοντος και την κατανόηση του προβλήματος της αλατότητας. Στόχος ήταν η μελέτη ενός συστήματος πολυκαλλιέργειας σε ένα ημίκλειστο υδροπονικό σύστημα, όπου η επαναχρησιμοποίηση των απορροών μιας πρωτεύουσας καλλιέργειας με λιγότερη αντοχή στην αλατότητα, θα χρησιμοποιούνταν για τη θρέψη μιας δευτερεύουσας με μεγαλύτερη αντοχή. Συνολικά στην πειραματική διαδικασία μελετήθηκαν ως κύρια καλλιέργεια η τομάτα και ως δευτερεύουσες ο μαϊντανός, ο άνηθος, ο δυόσμος και το σέλινο, ενώ η παρούσα εργασία επικεντρώθηκε μόνο στον άνηθο ο οποίος αναπτύχθηκε σε δυο διαφορετικά υποστρώματα (τύρφη και πετροβάμβακα). Για να εξεταστεί η καταλληλότητα των αρωματικών στη χρήση του ημίκλειστου συστήματος πολυκαλλιέργειας, χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικές τεχνικές εμπλουτισμού του διαλύματος απορροής της τομάτας πριν ξανά χρησιμοποιηθεί για την υδρολίπανση των αρωματικών φυτών.

## 2 Υλικά και Μέθοδοι

### 2.1 Εγκαταστάσεις και καλλιέργειες

Το παρόν πείραμα υλοποιήθηκε σε ένα από τα θερμοκήπια του τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και συγκεκριμένα υπό την επίβλεψη του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος. Τα θερμοκήπια βρίσκονται στην περιοχή του Βελεσίνου, κοντά στο Βόλο (γεωγραφικό πλάτος 39 ° 44 ', γεωγραφικό μήκος 22 ° 79 ', υψόμετρο 85 m). Το στήσιμο του ημίκλειστου συστήματος πολυκαλλιέργειας με σκοπό τη συγγραφή της παρούσας πτυχιακής, πραγματοποιήθηκε σε τοξωτό θερμοκήπιο, εκτάσεως 160 m<sup>2</sup> το οποίο ήταν καλυμμένο με πολυαιθυλένιο.

Ως κύρια καλλιέργεια χρησιμοποιήθηκε η τομάτα (*Solanum lycopersicum* cv. Elpida), ένα ιδιαίτερα δημοφιλές λαχανικό με αρκετές απαιτήσεις σε θρεπτικά συστατικά, ενώ ως δευτερεύουσες καλλιέργειες επιλέχθηκαν ο άνηθος (*Anethum graveolens*), ο μαϊντανός (*Petroselinum crispum*), ο δυόσμος (*Mentha spicata*) και το σέλινο (*Apium graveolens*), αρωματικά φυτά με μικρότερο βιολογικό κύκλο και μεγαλύτερη ανέχεια ως προς τις συγκεντρώσεις των θρεπτικών στοιχείων. Στην παρούσα πτυχιακή μελετήθηκε η αποτελεσματικότητα του διαλύματος απορροής της τομάτας στη θρέψη του άνηθου. Το πείραμα ξεκίνησε στις 1 Μαρτίου του 2018, την ημέρα μεταφύτευσης των φυτών και έναρξης των μεταχειρίσεων και τελείωσε κατά τη δεύτερη συγκομιδή της καλλιέργειας του άνηθου, στις 26 Απριλίου 2018. Κατά τη μεταφύτευση και ημέρα έναρξης του πειράματος, η τομάτα βρισκόταν στο στάδιο όπου είχε ήδη 10 φύλλα και ύψος 1 μέτρο, ενώ τα σπορόφυτα των αρωματικών ήταν ενός μηνών. Η συνολική διάρκεια, ξεκινώντας από την ημέρα της μεταφύτευσης, ήταν 57 μέρες κατά τις οποίες πραγματοποιήθηκαν εβδομαδιαίες μετρήσεις και 2 καταστροφικές.

Στο θερμοκήπιο υπήρχαν 8 σειρές καλλιεργούμενων φυτών. Οι 2 ακριανές εξοπλίστηκαν, η κάθε μία, με 13 πλαστικούς σάκους γεμισμένους με περλίτη, στους οποίους μεταφυτεύτηκαν από 2 φυτά τομάτας έκαστος (συνολικά 52 φυτά τομάτας). Στις υπόλοιπες 6 σειρές, δηλαδή από 2 έως 7, τοποθετήθηκαν τα αρωματικά φυτά βάση πλήρους τυχαιοποιημένου σχεδίου, ενώ χωρίστηκαν



με 4 τραπέζια η κάθε μια ώστε να παρεμβάλλονται ανάμεσά τους οι πλαστικές δεξαμενές συλλογής των απορροών. Συγκεκριμένα, για τον άνηθο που μελετάται στην παρούσα πτυχιακή, αναπτύχθηκαν συνολικά 108 φυτά όπου για τα μισά χρησιμοποιήθηκε ως υπόστρωμα ο πετροβάμβακας (7,5 cm x 7,5 cm x 6 cm) και για τα άλλα μισά η τύρφη. Για να μην υπάρξει αλληλεπίδραση μεταξύ των απορροών του θρεπτικού διαλύματος των υπόλοιπων αρωματικών, χρησιμοποιήθηκαν άσπρα πλαστικά κανάλια κάτω από τα υποστρώματα ενώ η ύπαρξη μαύρου πλαστικού καλύμματος βοήθησε την ομαλή μεταφορά του απορρέοντος θρεπτικού διαλύματος των αρωματικών στις δεξαμενές συλλογής και από εκεί στο περιβάλλον (Εικόνα 1).



**Εικόνα 1.** Φυτά άνηθου σε τύρφη πάνω σε άσπρα κανάλια και μαύροι σωλήνες άρδευσης με σταλάκτες. Διακρίνεται επίσης, το μαύρο πλαστικό κάλυμμα.

## 2.2 Στάδια εργασιών

Κατά την προετοιμασία του θερμοκηπίου ώστε να είναι έτοιμο να δεχτεί τις καλλιέργειες πραγματοποιήθηκαν εργασίες όπως καθαρισμός των τραπέζιων και αντικατάσταση των παλαιών μαύρων πλαστικών καλυμμάτων, τοποθέτηση

των άσπρων πλαστικών καναλιών και έλεγχος του υπάρχοντος συστήματος άρδευσης με σταγόνες. Έτσι, χρειάστηκε η αλλαγή ορισμένων σταλακτών που είχαν φράξει από τα άλατα ενώ ανοίχθηκαν κάποιες επιπλέον τρύπες στους σωλήνες άρδευσης και τοποθετήθηκαν νέοι σταλάκτες (74 σταλάκτες ανά σωλήνα) με παροχή 2 L h<sup>-1</sup> έκαστος. Η τοποθέτηση των σταλακτών στα υποστρώματα έγινε την ημέρα μεταφύτευσης των καλλιεργειών (1 Μαρτίου) και σε κάθε φυτό του άνηθου αντιστοιχούσε από ένας (Εικόνα 2), με σκοπό την παροχή θρεπτικού διαλύματος με σταγόνες, ενώ γινόταν συχνός έλεγχος για τη σωστή λειτουργία τους.



**Εικόνα 2.** Σταλάκτης σε φυτό άνηθου καλλιεργούμενο σε γλαστράκι με τύρφη.

Στη συνέχεια τοποθετήθηκαν οι κύβοι πετροβάμβακα και τα γλαστράκια με την τύρφη, αφού πρώτα αριθμήθηκαν για διευκόλυνση των μετρήσεων (Εικόνα 3). Την 8<sup>η</sup> μέρα από τη μεταφύτευση τοποθετήθηκαν και από 2 άσπροι πλαστικοί κουβάδες διαμέτρου 27 cm για κάθε μεταχείριση, πάνω στους οποίους υπήρχε 1 φυτό άνηθου (Εικόνα 4) σε πετροβάμβακα και 1 φυτό σε

τύρφη (συνολικά 6 κουβάδες) ώστε να καταγράφονται μετρήσεις για το απορρέων θρεπτικό διάλυμα.



**Εικόνα 3.** Εικόνα του θερμοκηπίου έπειτα από την τοποθέτηση των υποστρωμάτων (σάκοι περλίτη για την πρωτεύουσα καλλιέργεια, κύβοι πετροβάμβακα και γλαστράκια με τύρφη για τα αρωματικά φυτά).



**Εικόνα 4.** Ασπρος κουβάς με φυτό άνθηου σε πετροβάμβακα για τη συλλογή των απορροών.

Η άρδευση πραγματοποιούνταν ταυτόχρονα με τη λίπανση (υδρολίπανση), όπως σε όλα τα υδροπονικά συστήματα, μέσω ενός αυτόματου συστήματος. Η κεφαλή υδρολίπανσης αραίωνε το μητρικό διάλυμα, το οποίο είχε παραχθεί και αποθηκευτεί σε πλαστικές δεξαμενές, και έπειτα ένα δίκτυο αγωγών που κατέληγαν στους σταλάκτες, μετέφερε το θρεπτικό διάλυμα στις ρίζες των καλλιεργειών. Η άρδευση για την τομάτα πραγματοποιούνταν κάθε 1 ώρα με διάρκεια 150 δευτερόλεπτα, ενώ για τον άνηθο κάθε 45 λεπτά για 60 δευτερόλεπτα. Κατά τη διάρκεια του πειράματος η συχνότητα και η διάρκεια της άρδευσης σταδιακά αυξανόταν ώστε να καλύπτονται οι ανάγκες των φυτών λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας. Το νερό που χρησιμοποιήθηκε για την υδρολίπανση ήταν ρυθμισμένο σε EC 0.7 dS m<sup>-1</sup> και pH 7 με την ακόλουθη σύσταση θρεπτικών συστατικών: 1.15 mM Ca<sup>2+</sup>, 1.25 mM Mg<sup>2+</sup>, 1.10 mM Na<sup>+</sup>, 0.40 mM NO<sup>3-</sup>, 0.36 mM SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, 3.20 mM HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> και 1.50 mM Cl<sup>-</sup>. Τέλος, η αυτόματη καταγραφή των τιμών pH και EC του διαλύματος τροφοδοσίας προσέφερε μια γενική εικόνα για την πορεία των φυτών και αργότερα για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις των απορροεόντων διαλυμάτων.

### 2.3 Μεταχειρίσεις

Για την παρασκευή των θρεπτικών διαλυμάτων αφού ζυγίστηκαν οι απαραίτητες ποσότητες λιπασμάτων ακολούθησε αραίωσή τους με νερό και αποθήκευση σε μαύρες πλαστικές δεξαμενές. Για να αποφευχθεί η δημιουργία ιζήματος χρησιμοποιήθηκαν 2 δεξαμενές πυκνού διαλύματος για την τομάτα όπου στη μια περιέχονταν λιπάσματα με Ca<sup>2+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> και χηλικό σίδηρο ενώ στην άλλη θειικά και φωσφορικά άλατα. Η ίδια διαδικασία πραγματοποιήθηκε και για τον άνηθο, ενώ υπήρχε και μια τρίτη δεξαμενή με οξύ για τη ρύθμιση του pH. Για να παραχθεί το τελικό θρεπτικό διάλυμα που θα κατέληγε στις καλλιέργειες, γινόταν ανάμιξη ίσων ποσοτήτων των πυκνών διαλυμάτων με οξύ και νερό στην κύρια δεξαμενή. Έτσι, παρασκευάστηκαν τρία διαφορετικά θρεπτικά διαλύματα

Οι μεταχειρίσεις για τη μελέτη της αποτελεσματικότητας χρήσης των απορροών της τομάτας στον αναπτυσσόμενο άνηθο σε τύρφη (Peat, P) και πετροβάμβακα (Rockwool, RC) ξεκίνησαν την ημέρα της μεταφύτευσης.

Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν τρεις μεταχειρίσεις υδρολίπανσης με τις οποίες αρδεύτηκε ο άνηθος, με δύο επαναλήψεις έκαστη:

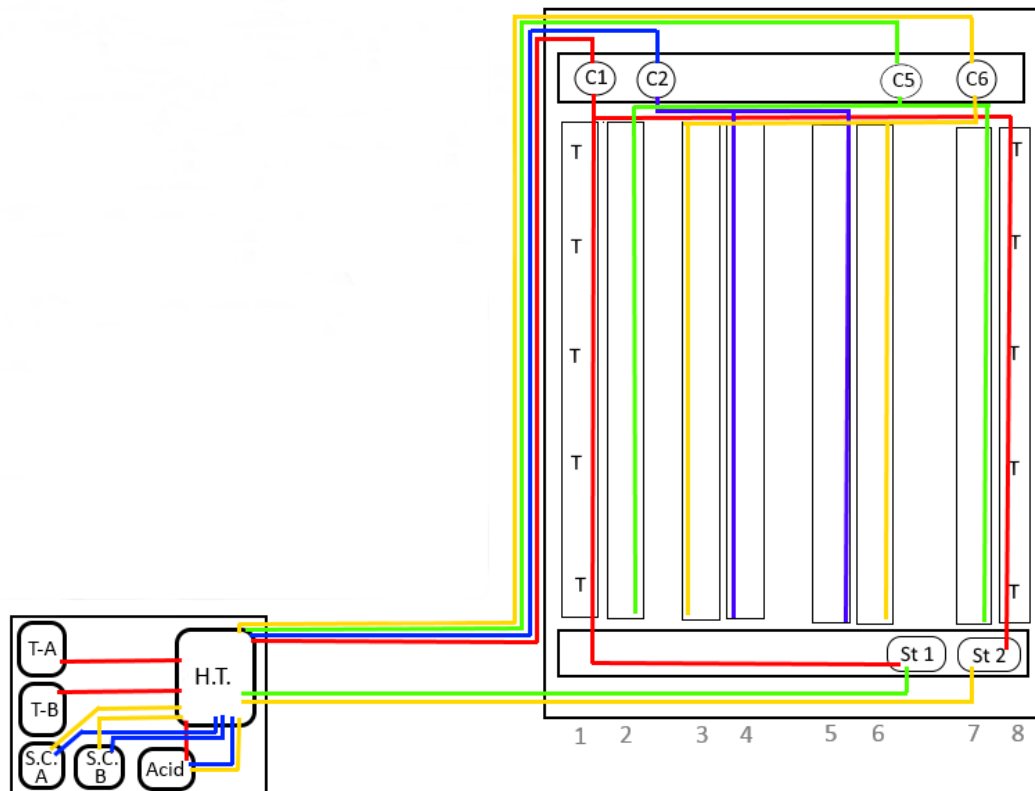
- φρέσκο θρεπτικό διάλυμα το οποίο λειτουργεί ως μάρτυρας (0%D+NS)
- θρεπτικό διάλυμα που προκύπτει μετά από ανάμειξη του διαλύματος απορροής της πρωτεύουσας καλλιέργειας και του NS σε αναλογία 10/90 (10% D + NS)
- θρεπτικό διάλυμα που προκύπτει μετά από αραίωση του διαλύματος απορροής της πρωτεύουσας καλλιέργειας με νερό σε αναλογία 15/85 (15% D + W)

Όπως φαίνεται και στο σχεδιάγραμμα (Εικόνα 5) η 1<sup>η</sup> και η 8<sup>η</sup> σειρά στις οποίες καλλιεργούνταν οι τομάτες, αρδεύονταν με θρεπτικό διάλυμα σύμφωνα με την συνταγή του Σάββας (2011) (Πίνακας 1) και με αρχική τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) ρυθμισμένη στα 2,4 dS m<sup>-1</sup> και του pH στα 5,8. Εφόσον το σύστημα για την κύρια καλλιέργεια λειτουργούσε ως κλειστό, οι απορροές συλλέγονταν σε 2 δεξαμενές ώστε να ξανά χρησιμοποιηθούν στον άνηθο. Έτσι, η 2<sup>η</sup> και 7<sup>η</sup> σειρά αρδεύονταν με το διάλυμα 10% D + NS ενώ η 3<sup>η</sup> και 6<sup>η</sup> σειρά με το 15% D + W. Η μεταχείριση στην 4<sup>η</sup> και 5<sup>η</sup> σειρά αποτελούσε τον μάρτυρα με το φρέσκο θρεπτικό διάλυμα του οποίου η σύσταση παρουσιάζεται στον Πίνακα 1 και με τιμή EC στα 2,1 dS m<sup>-1</sup> και pH 5,8.

**Πίνακας 1.** Σύσταση του θρεπτικού διαλύματος τροφοδοσίας σε μακροστοιχεία και ιχνοστοιχεία στο λίτρο, για την πρωτεύουσα (τομάτα) και δευτερεύουσα (άνηθος) καλλιέργεια.

Θρεπτικά συστατικά-μακροστοιχεία	Πρωτεύουσα καλλιέργεια (mM L <sup>-1</sup> )	Δευτερεύουσα καλλιέργεια (mM L <sup>-1</sup> )
K <sup>+</sup>	7,5	5
Ca <sup>2+</sup>	4,7	4
Mg <sup>2+</sup>	2,2	2
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1,2	1
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	4,1	2,44
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	12,3	11
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	1,5	1
Θρεπτικά συστατικά-ιχνοστοιχεία	Πρωτεύουσα καλλιέργεια (μM L <sup>-1</sup> )	Δευτερεύουσα καλλιέργεια (μM L <sup>-1</sup> )

Fe	15	40
Mn	10	5
Zn	5	5
Cu	0,8	1
Mo	0,5	1
B	30	



**Εικόνα 5.** Σχεδιάγραμμα λειτουργίας κλειστού συστήματος πολυκαλλιέργειας. Οι T-A και T-B αποτελούν τις δεξαμενές παρασκευής πυκνών διαλυμάτων της τομάτας, το οποίο αφού περάσει από την H.T. (δεξαμενή ανάδευσης) και αραιωθεί με νερό, καταλήγει μέσω σωλήνων (κόκκινες γραμμές, C1) στις σειρές 1 και 2 με τις τομάτες. Οι S.C.A και S.C.B αποτελούν τις δεξαμενές παρασκευής πυκνών διαλυμάτων των αρωματικών φυτών, το οποίο αφού περάσει από την H.T. και αραιωθεί με νερό, καταλήγει μέσω σωλήνων (μπλε γραμμές, C2) στις σειρές 4 και 5. Οι απορροές από τις τομάτες συλλέγονται στις δεξαμενές St1 και St2, επιστρέφουν στην H.T. και αφού συμπληρωθούν με φρέσκο θρεπτικό διάλυμα καταλήγουν στις σειρές 2 και 7 (πράσινη γραμμή, C5), ενώ η κίτρινη γραμμή (C6) καταλήγει στις σειρές 3 και 6 έπειτα από αραίωση με νερό. Επίσης, υπάρχει και η δεξαμενή acid με ένα οξύ για τη ρύθμιση του pH.

## 2.4 Μετρήσεις και υπολογισμοί

Καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος και μέχρι την τελευταία μέρα, πριν τη 2<sup>η</sup> καταστροφική επέμβαση, πραγματοποιούνταν δυο φορές την εβδομάδα

μετρήσεις για το ύψος όλων των φυτών του άνηθου χρησιμοποιώντας έναν χάρακα. Ως ύψος του φυτού θεωρήθηκε η απόσταση του κορυφαίου φύλλου από την επιφάνεια του υποστρώματος. Στόχος ήταν η παρατήρηση της επίδρασης των τριών μεταχειρίσεων, αλλά και των διαφορετικών υποστρωμάτων στην ανάπτυξη του άνηθου. Ακόμα, δυο φορές την εβδομάδα καταγράφονταν οι τιμές EC και pH του διαλύματος απορροής του άνηθου από τους 24 άσπρους κουβάδες, με τη χρήση ενός φορητού και αδιάβροχου οργάνου (Combo, Hanna Instruments, Woonsocket, RI, USA). Από τους ίδιους κουβάδες με τη βοήθεια ενός χάρακα σημειώνονταν το ύψος που είχε φτάσει το διάλυμα απορροής, το οποίο αργότερα χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του όγκου του σύμφωνα με τον τύπο  $3,14 \cdot 27^2 \cdot H / 1000$  όπου:

3,14= αριθμός π

27= διάμετρος του πλαστικού κουβά (cm)

H= ύψος (cm)

Οι ανάγκες της δευτερεύουσας καλλιέργειας σε νερό ( $L \cdot m^{-2}$ ) εκφράστηκαν ως τον λόγο του γινόμενου του συνολικού όγκου απορρόφησης (L) όλων των φυτών του άνηθου και του αριθμού των φυτών ανά τετραγωνικό μέτρο του θερμοκηπίου, προς τον αριθμό των φυτών ανά μεταχείριση. Ο όγκος του θρεπτικού διαλύματος απορρόφησης των μεταχειρίσεων προέκυψε αφαιρώντας τον όγκο του διαλύματος που χρησιμοποιήθηκε για την άρδευση της καλλιέργειας, από τον συνολικό όγκο των απορροών της καλλιέργειας του άνηθου. Οι υπολογισμοί έγιναν ξεχωριστά για τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε τύρφη και αντίστοιχα σε πετροβάμβακα.

Ο υπολογισμός της αποδοτικότητας της χρήσης νερού (Water Use Efficiency, WUE  $kg \cdot m^{-3}$ ) για την άρδευση της δευτερεύουσας καλλιέργειας, πραγματοποιήθηκε βάσει των μετρήσεων του νωπού και ξηρού βάρους της δεύτερης καταστροφικής και τις ανάγκες τις καλλιέργειας σε νερό. Συγκεκριμένα, το WUE ορίζεται ως ο λόγος του μέσου νωπού, αντίστοιχα και του ξηρού, βάρους των φυτών άνηθου ( $kg \cdot m^{-2}$ ) προς τις ανάγκες της καλλιέργειας σε νερό ( $L \cdot m^{-2}$ ). Οι υπολογισμοί έγιναν ξεχωριστά για τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε τύρφη και αντίστοιχα σε πετροβάμβακα.

## 2.5 Πρώτη και δεύτερη καταστροφική

Οι δύο καταστροφικές επεμβάσεις, δηλαδή η συγκομιδή των φυτών του άνηθου, πραγματοποιήθηκαν με σκοπό τη μέτρηση του νωπού και ξηρού βάρους αλλά και της χλωροφύλλης. Τα δεδομένα περάστηκαν στο πρόγραμμα excel ώστε να γίνουν διαγράμματα και να υπολογιστεί το ποσοστό της υγρασίας και του ξηρού βάρους. Κατά την πρώτη καταστροφική, η οποία έγινε 29 μέρες μετά τη μεταφύτευση (Days After Transplantation, DAT), αφού πρώτα λήφθηκαν οι καθιερωμένες εβδομαδιαίες μετρήσεις του ύψους, ακολούθησε η μέτρηση της χλωροφύλλης και των 108 φυτών του άνηθου. Για αυτό το σκοπό χρησιμοποιήθηκε ένα φορητό όργανο (KONICA MINOLTA, SPAD-502 PLUS) με το οποίο έγιναν από δύο μετρήσεις για κάθε φυτό ώστε να υπολογιστεί ο μέσος όρος, καθώς τα φύλλα του άνηθου είναι πολύ λεπτά και διακλαδισμένα και δεν ήταν δυνατό να μετρηθεί η ίδια επιφάνεια κάθε φορά.

Στη συνέχεια, αφού αφαιρέθηκαν από τη βάση των υποστρωμάτων τα μισά φυτά (9 φυτά σε τύρφη και 9 φυτά σε πετροβάμβακα και για τις 3 μεταχειρίσεις), ζυγίστηκε το χλωρό τους βάρος σε ζυγαριά ακριβείας (Kern PCB) και τοποθετήθηκαν σε χάρτινες σακούλες. Ακολούθησε η μεταφορά τους στο Εργαστήριο των Γεωργικών Κατασκευών του Πανεπιστημίου όπου και τοποθετήθηκαν μαζί με τις χάρτινες σακούλες σε φούρνο ξήρανσης (Raypa®) στους 65 °C για δύο μέρες. Μετά το πέρας των δύο ημερών, ζυγίστηκε το ξηρό πλέον βάρος των φυτών στη ζυγαριά το οποίο αφαιρέθηκε από το βάρος της χάρτινης σακούλας (6,6 g).

Η δεύτερη καταστροφική επέμβαση πραγματοποιήθηκε την τελευταία μέρα του πειράματος (DAT 57) με τα μισά φυτά του άνηθου που είχαν απομείνει στο θερμοκήπιο. Η διαδικασία, από τη μέτρηση τους ύψους, της χλωροφύλλης, το ζύγισμα και το κόψιμο των φυτών μέχρι και την αποξήρανση τους, ήταν ίδια με την πρώτη καταστροφική. Τέλος, σημειώνεται ότι για την πρωτεύουσα καλλιέργεια δε λήφθηκαν μετρήσεις.



## 2.6 Στατιστική ανάλυση

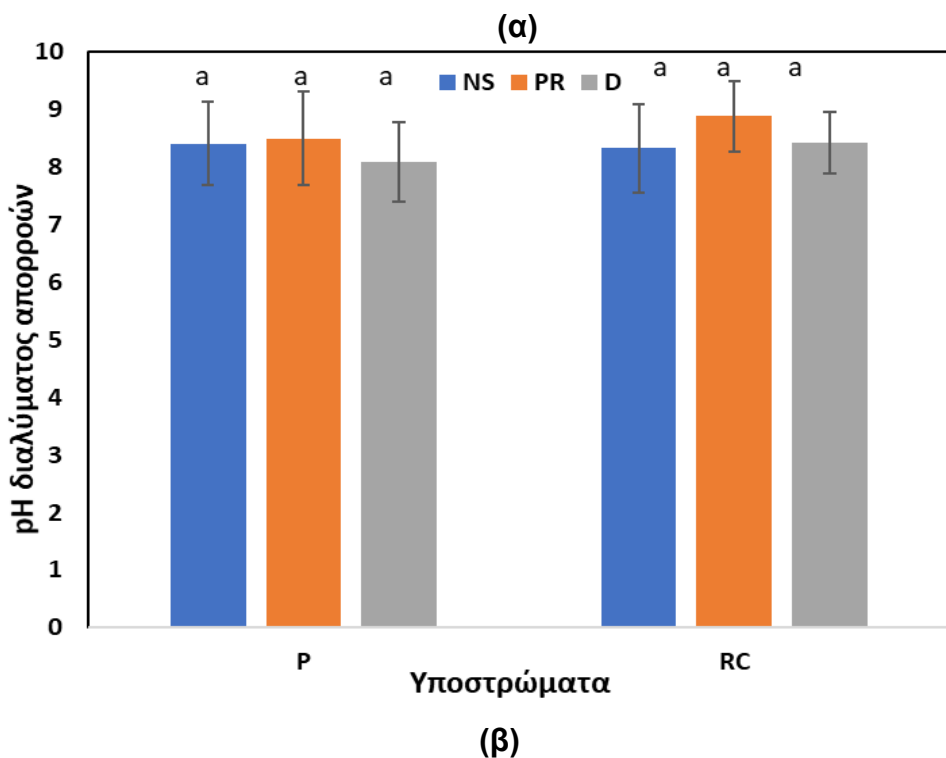
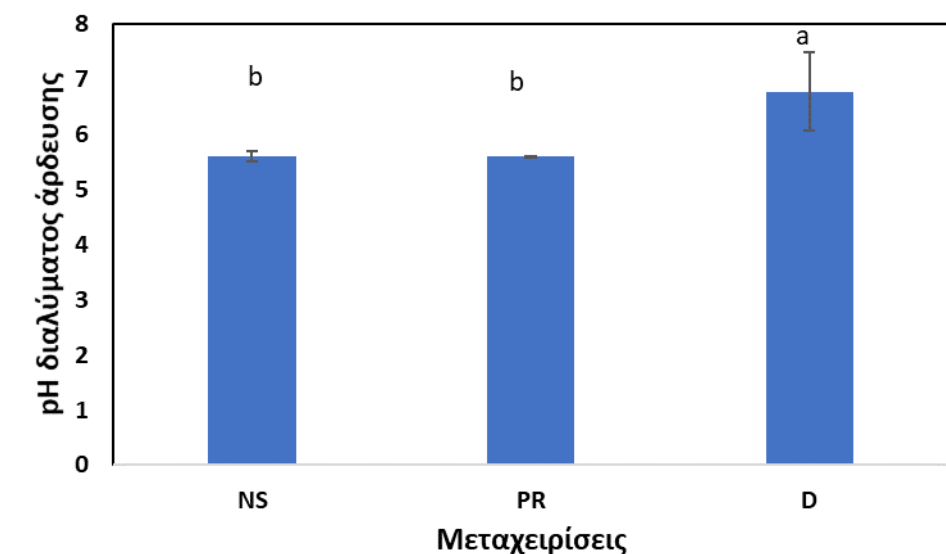
Για τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων που προέκυψαν από το συγκεκριμένο πείραμα, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα SPSS (Statistical Package for the Social Sciences, IBM, Armonk, NY, USA). Αφού υπολογίστηκαν οι μέσες τιμές για κάθε πίνακα δεδομένων και το τυπικό σφάλμα (τυπική απόκλιση) των τιμών, επιλέχθηκε η μέθοδος one-way ANOVA σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95% ( $p \leq 0,05$ ), σύμφωνα με τη δοκιμή πολλαπλού εύρους Duncan, για να γίνει η σύγκριση.

### 3. Αποτελέσματα

Παρακάτω αναλύονται τα αποτελέσματα του πειράματος για τον άνηθο που αναπτύχθηκε σε υπόστρωμα τύρφης (P, Peat) και πετροβάμβακα (RC, Rockwool) και αρδεύονταν με φρέσκο θρεπτικό διάλυμα (Nutrient Solution, NS), με τις απορροές της τομάτας αναμειγμένες με NS σε αναλογία 10/90 (Pure, PR) και με τις απορροές της τομάτας αραιωμένες με νερό σε αναλογία 15/85 (Diluted, D). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε μορφή διαγραμμάτων, ξεκινώντας με τις μετρήσεις που αφορούσαν τις απορροές των φυτών και την υδατική κατανάλωση και συνεχίζοντας με την πορεία της φυτικής ανάπτυξης. Όσον αφορά τη θερμοκρασία του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο κατά τη διάρκεια του πειράματος, οι μέσες τιμές της κυμαίνονταν στους  $17 \pm 1,1$  °C την ημέρα και στους  $11 \pm 1,9$  °C τη νύχτα. Ακόμα, οι μέσες τιμές σχετικής υγρασίας αέρα ήταν  $48 \pm 5,9\%$  κατά τη διάρκεια της ημέρας και  $56 \pm 4,8\%$  κατά τη διάρκεια της νύχτας.

#### 3.1 pH και EC διαλυμάτων άρδευσης και απορροής

Στο Διάγραμμα 1α παρουσιάζεται η μεταβολή του pH του διαλύματος με το οποίο αρδεύονταν ο άνηθος. Ο μέσος όρος για τις μεταχειρίσεις NS και PR ήταν στο 5,6 τιμή που πλησιάζει το 5,8 που είχε οριστεί εξ αρχής ως στόχος. Ωστόσο, παρατηρείται ότι το αραιωμένο θρεπτικό διάλυμα (D) είχε μια αύξηση κατά 20,91% σε σχέση με το μάρτυρα και κατά 21,14% σε σχέση με το PR διάλυμα. Αντίθετα, η μέση μεταβολή του pH του διαλύματος απορροών για τις τρεις μεταχειρίσεις και τα δύο διαφορετικά υποστρώματα (Διάγραμμα 1β), κυμάνθηκε στα ίδια επίπεδα με τιμές πάνω από 8, ενώ δε διαπιστώθηκαν στατιστικά σημαντικές μεταβολές ( $p > 0.05$ ).

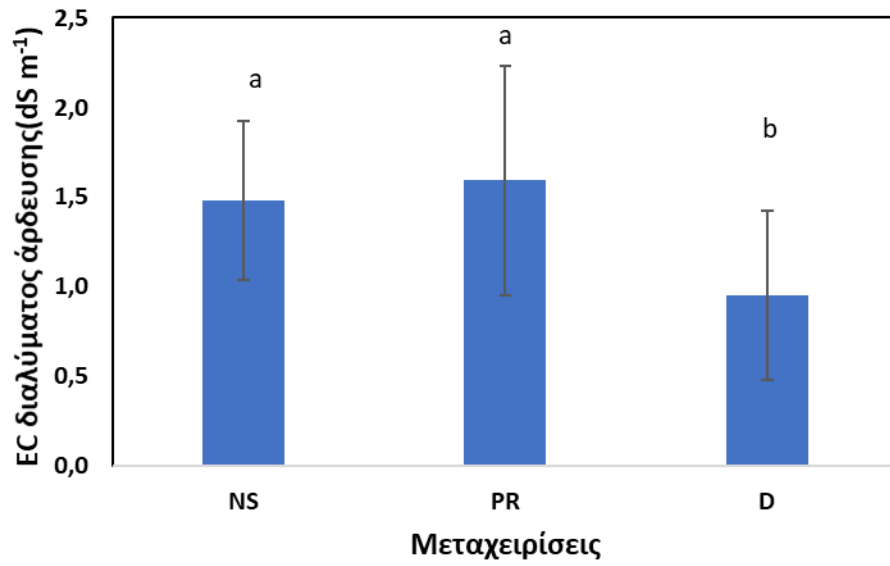


**Διάγραμμα 1.** Μεταβολή του μέσου όρου του pH του διαλύματος άρδευσης (α) του άνηθου και για τα δυο υποστρώματα (P, RC) στο φρέσκο θρεπτικό διάλυμα (NS), στις απορροές της τομάτας αναμειγμένες με NS σε αναλογία 10/90 (PR) και στις απορροές της τομάτας αραιωμένες με νερό σε αναλογία 15/85 (D) και του διαλύματος απορροών (β) αντίστοιχα σε τύρφη (P) και πετροβάμβακα (RC).

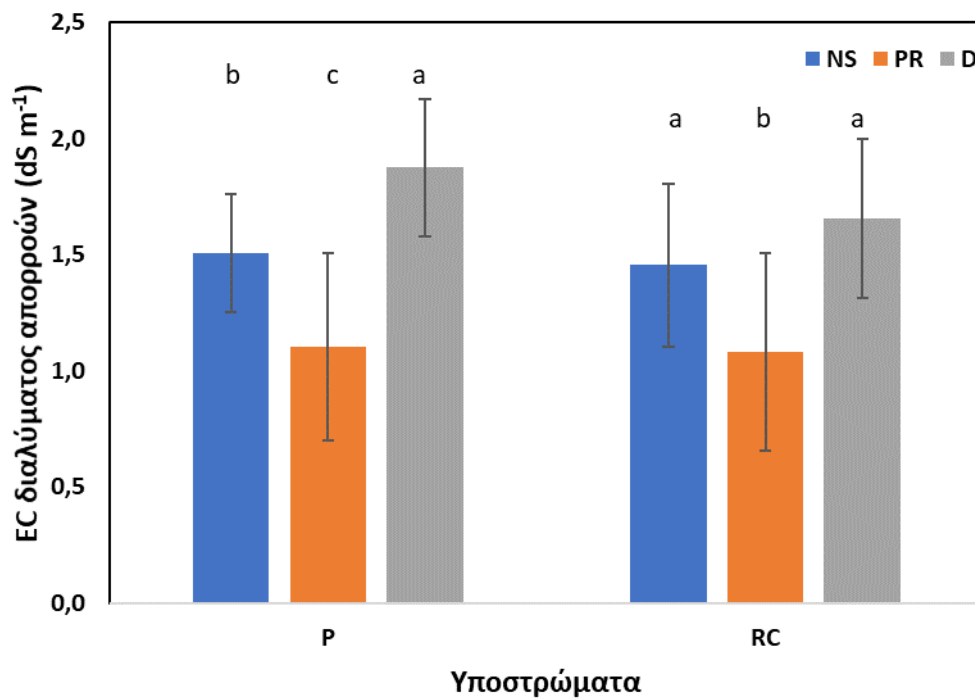
Σε αντίθεση με το pH, η ηλεκτρική αγωγιμότητα του διαλύματος άρδευσης στη μεταχείριση D είχε τη μικρότερη μέση τιμή η οποία ήταν στατιστικά σημαντική (Διάγραμμα 2α). Συγκεκριμένα ήταν μικρότερη κατά 7,84% σε σχέση με το μάρτυρα και κατά 40,16% μικρότερη σε σχέση με το PR διάλυμα, ενώ ο

μέσος όρος και για τις τρεις μεταχειρίσεις ήταν  $1,34 \text{ dS m}^{-1}$ , τιμή με σημαντική απόκλιση από την  $2,1 \text{ dS m}^{-1}$  που είχε οριστεί ως στόχος.

Η EC του διαλύματος των απορροών (Διάγραμμα 2β) παρουσιάζει μια εμφανώς υψηλότερη τιμή στη μεταχείριση D και για τα δυο υποστρώματα, η οποία υπερτερεί στην τύρφη από ότι στον πετροβάμβακα με τιμές  $1,87 \text{ dS m}^{-1}$  και  $1,65 \text{ dS m}^{-1}$  αντίστοιχα. Επίσης, το διάλυμα PR παρουσιάζει τη μικρότερη EC και για τα δυο υποστρώματα με στατιστικά σημαντική διαφορά ( $p < 0.05$ ) κατά 26,74% για την τύρφη και 25,64% για τον πετροβάμβακα σε σχέση με το μάρτυρα.



(α)

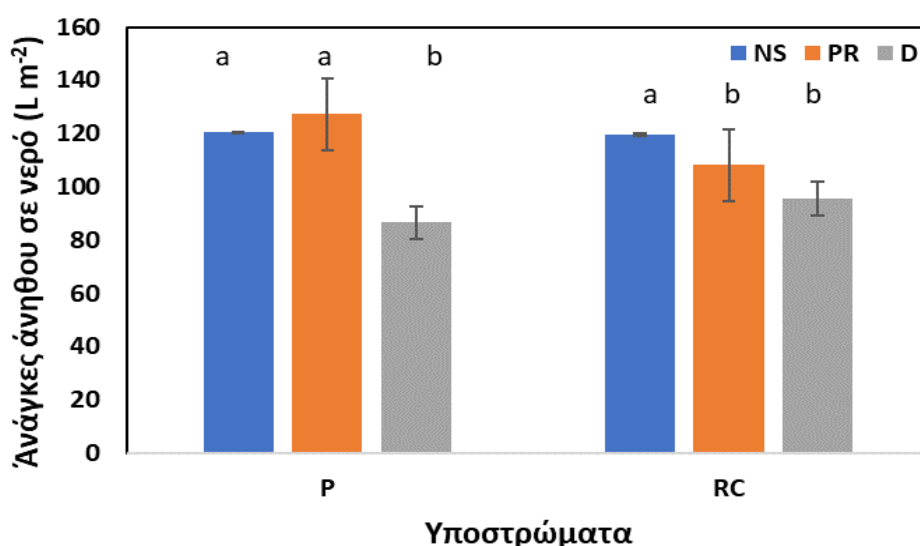


(β)

**Διάγραμμα 2.** Μεταβολή του μέσου όρου της EC του διαλύματος άρδευσης (α) του άνηθου και για τα δυο υποστρώματα στο φρέσκο θρεπτικό διάλυμα (NS), στις απορροές της τομάτας αναμειγμένες με NS σε αναλογία 10/90 (PR) και στις απορροές της τομάτας αραιωμένες με νερό σε αναλογία 15/85 (D) και του διαλύματος απορροών (β) αντίστοιχα σε τύρφη (P) και πετροβάμβακα (RC).

### 3.2 Υδατική κατανάλωση

Οι ανάγκες της καλλιέργειας του άνηθου σε νερό για τις τρεις μεταχειρίσεις παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 3, ξεχωριστά για τα δυο υποστρώματα (τύρφη και πετροβάμβακα). Όσον αφορά τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε τύρφη παρατηρείται ότι ο μάρτυρας και το PR διάλυμα είχαν παρόμοιες ανάγκες σε νερό, ενώ το αραιωμένο διάλυμα είχε τις λιγότερες ανάγκες με στατιστική σημαντικότητα 28,11% σε σχέση με το μάρτυρα. Τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε πετροβάμβακα και αρδεύονταν με φρέσκο θρεπτικό διάλυμα, δηλαδή με τον μάρτυρα, είχαν τις υψηλότερες ανάγκες σε νερό και συγκεκριμένα 120 L m<sup>-2</sup>. Σε σειρά απαίτησης για νερό ακολουθεί το PR και D διάλυμα με διαφορά 9,64% και 20,23% αντίστοιχα σε σχέση με το μάρτυρα.



**Διάγραμμα 3.** Μεταβολή της τιμής των αναγκών του άνηθου σε θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας (L m<sup>-2</sup>) ανάλογα με το υπόστρωμα (P, RC) και το θρεπτικό διάλυμα άρδευσης (NS, PR, D).

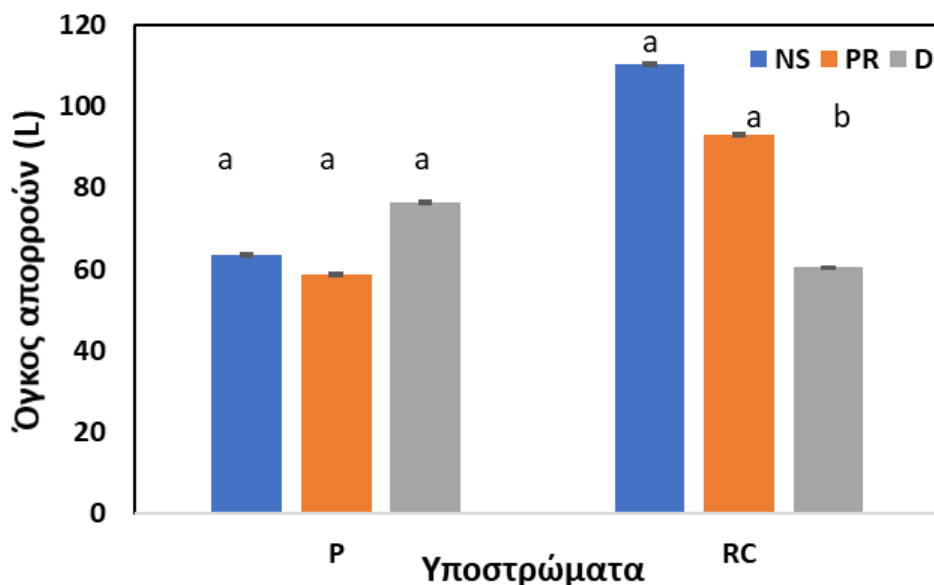
Στον Πίνακα 2 παρουσιάζεται η συνολική ποσότητα του θρεπτικού διαλύματος με το οποίο αρδεύτηκαν όλα τα φυτά του άνηθου, καθώς και η συνολική ποσότητα απορρόφησης από τα φυτά της εκάστοτε μεταχείρισης, ανάλογα με το υπόστρωμα στο οποίο αναπτύχθηκαν (τύρφη ή πετροβάμβακας). Παρατηρείται ότι τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε τύρφη και αρδεύονταν με τον μάρτυρα και τις απορροές της τομάτας αναμειγμένες με φρέσκο θρεπτικό διάλυμα, απορρόφησαν μεγαλύτερες ποσότητες νερού και

θρεπτικών στοιχείων, σε σχέση με τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε πετροβάμβακα με τις αντίστοιχες αρδεύσεις. Συγκεκριμένα, για τις μεταχειρίσεις NS και PR τα φυτά σε τύρφη απορρόφησαν κατά 0,56% και 15,02% αντίστοιχα περισσότερο θρεπτικό διάλυμα από ότι τα φυτά σε πετροβάμβακα. Αντίθετα, τα φυτά της D μεταχείρισης απορρόφησαν τη μικρότερη ποσότητα νερού, ενώ αυτά που αναπτύχθηκαν σε τύρφη παρουσίασαν 9,37% μικρότερη απορρόφηση από αυτά που αναπτύχθηκαν στον πετροβάμβακα.

**Πίνακας 2.** Συνολική ποσότητα των διαλυμάτων τροφοδοσίας και απορρόφησης βάση του υποστρώματος ανάπτυξης και της μεταχείρισης.

Μεταχείριση	Άρδευση (L)	Απορρόφηση (L)	
		Υπόστρωμα: τύρφη	Υπόστρωμα: πετροβάμβακας
NS	311,14	240,60	239,24
PR	319,46	254,41	216,19
D	257,91	172,96	190,85

Στο Διάγραμμα 4 παρουσιάζεται ο συνολικός όγκος των απορροών για την καλλιέργεια του άνηθου καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος. Για τα φυτά που αναπτύχθηκαν στην τύρφη μεγαλύτερο όγκο απορροών έδωσε το αραιωμένο διάλυμα (D) με τιμή 76,5 L. Ακολούθησε ο μάρτυρας με μέση τιμή 63,5 L και τέλος η μεταχείριση PR με τιμή 58,7 L. Τα φυτά που αναπτύχθηκαν στον πετροβάμβακα έδωσαν υψηλότερες τιμές όγκου απορροών για τις μεταχειρίσεις NS και PR σε σχέση με αυτές των φυτών σε τύρφη, εκτός από τη μεταχείριση D της οποίας η τιμή έπεσε στα 60,4 L και διέφερε στατιστικά σημαντικά κατά 45,26% σε σχέση με το μάρτυρα.

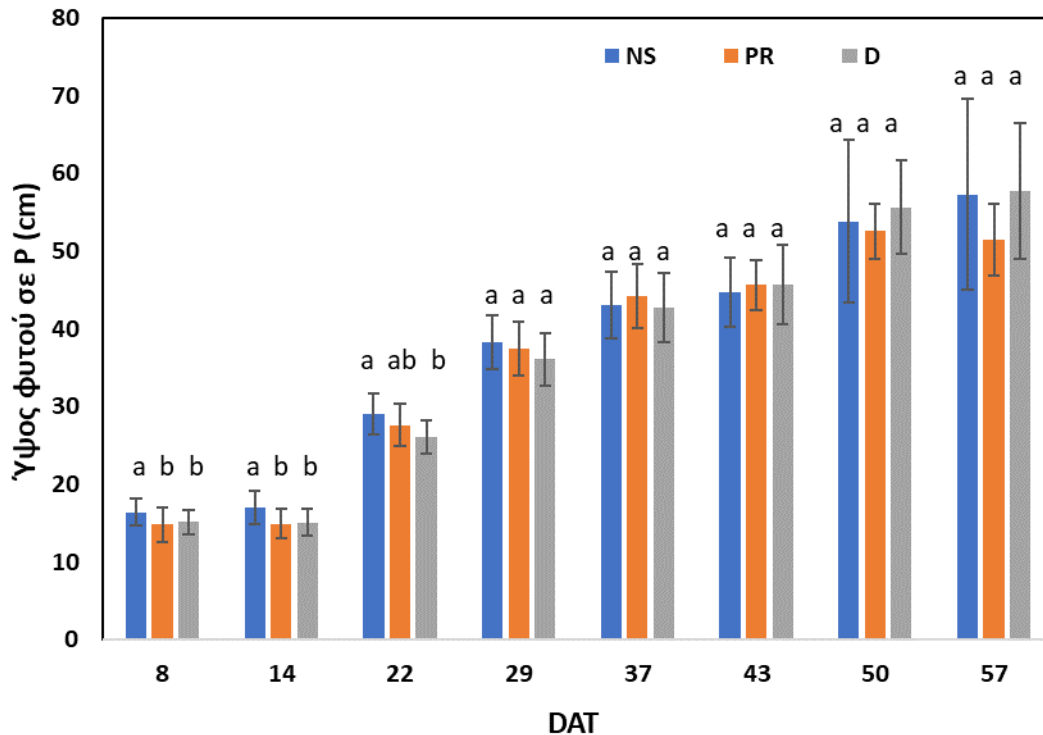


**Διάγραμμα 4.** Μεταβολή του όγκου των απορροών του άνηθου σε (L) που αναπτύχθηκε σε τύρφη (P) και πετροβάμβακα (RC), και αρδεύονταν με φρέσκο θρεπτικό διάλυμα (NS), με τις απορροές της τομάτας αναμειγμένες με NS σε αναλογία 10/90 (PR) και με τις απορροές της τομάτας αραιωμένες με νερό σε αναλογία 15/85 (D).

### 3.3 Ύψος άνηθου ανά υπόστρωμα και μεταχείριση

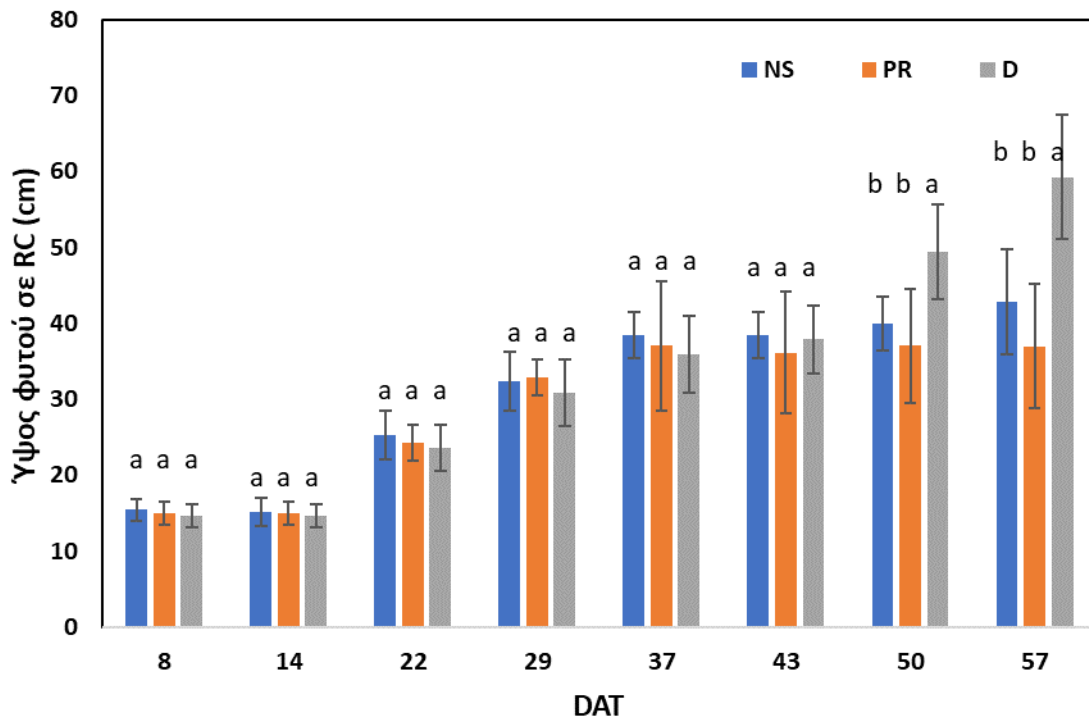
Στο Διάγραμμα 5 παρουσιάζεται ο μέσος όρος για τη μεταβολή του ύψους και των 108 φυτών του άνηθου που αναπτύχθηκαν σε υπόστρωμα τύρφης, καθ' όλη τη διάρκεια τους πειράματος. Παρατηρείται ότι και για τις τρεις μεταχειρίσεις η πορεία ανάπτυξης των φυτών κυμάνθηκε σε παρόμοια ανοδικά επίπεδα, ενώ την ημέρα 50 και 57 μετά τη μεταφύτευση οι τιμές του μάρτυρα και του αραιωμένου διαλύματος με τις απορροές της τομάτας είχαν μεγαλύτερη αύξηση. Συγκεκριμένα, την τελευταία μέρα του πειράματος ο μέσος όρος του μάρτυρα έφτασε στα 57,30 cm, του D στα 57,68 cm ενώ του PR μόλις στα 51,50 cm. Στατιστικά σημαντικές διαφορές υπήρχαν τις DAT 8,14 και 22 χωρίς όμως να επηρεαστεί το τελικό αποτέλεσμα.





**Διάγραμμα 5.** Μεταβολή του μέσου όρου του ύψους των φυτών άνηθου σε (cm) που αναπτύχθηκαν σε υπόστρωμα τύρφης (P) και αρδεύονταν με φρέσκο θρεπτικό διάλυμα (NS), με τις απορροές της τομάτας αναμειγμένες με NS σε αναλογία 10/90 (PR) και με τις απορροές της τομάτας αραιωμένες με νερό σε αναλογία 15/85 (D), από την 8<sup>η</sup> έως την 57<sup>η</sup> μέρα μετά τη μεταφύτευση (Days After Transplantation, DAT).

Παρόμοια πορεία με αυτή των φυτών σε τύρφη κατά τη διάρκεια του πειράματος και για τις τρεις μεταχειρίσεις, είχαν και τα φυτά του άνηθου που αναπτύχθηκαν σε πετροβάμβακα (Διάγραμμα 6). Ωστόσο, το είδος του υποστρώματος φαίνεται να επηρέασε την ανάπτυξη των φυτών που αρδευόταν με τις αραιωμένες απορροές της τομάτας κατά τις δυο τελευταίες μετρήσεις, οι τιμές των οποίων παρουσίασαν σημαντική αύξηση σε σχέση με τις άλλες δυο μεταχειρίσεις. Συγκεκριμένα, ο μέσος όρος την DAT 50 έφτασε στα 49,42 cm, την DAT 57 στα 59,21 cm ξεπερνώντας έτσι κατά 23,66% και 38,38% το μάρτυρα αντίστοιχα. Αντίθετα, τα φυτά που αρδευόταν με τις βελτιωμένες απορροές της τομάτας (10% D+NS) είχαν την μικρότερη ανάπτυξη, ενώ το ύψος τους δεν ξεπέρασε τα 37 cm.

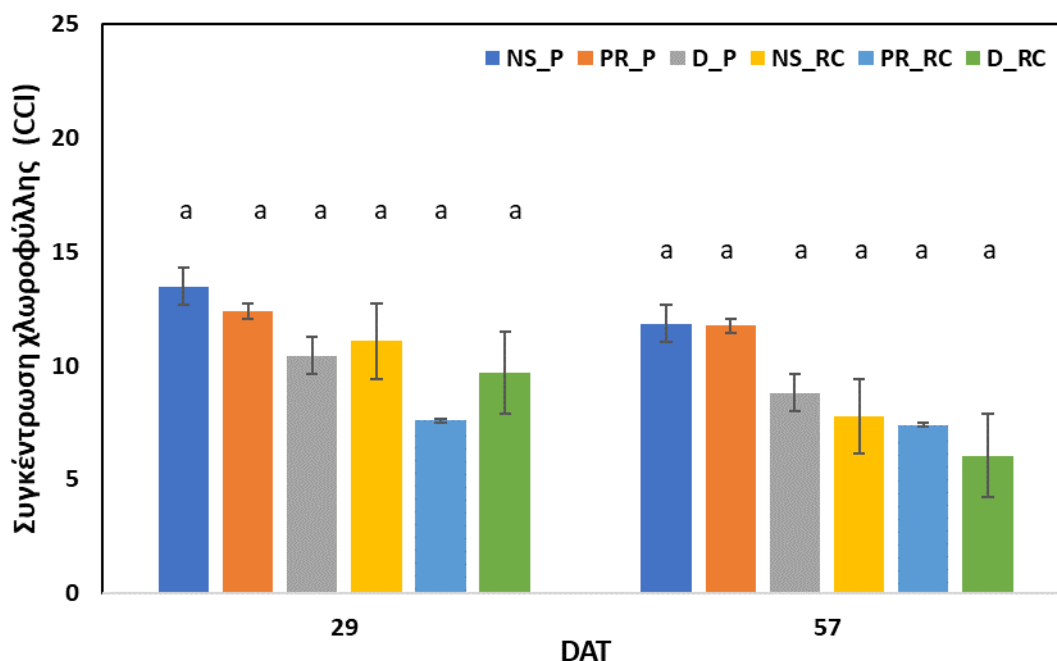


**Διάγραμμα 6.** Μεταβολή του μέσου όρου του ύψους των φυτών άνηθου σε (cm) που αναπτύχθηκαν σε υποστρώμα πετροβάμβακα (RC) και αρδεύονταν με φρέσκο θρεπτικό διάλυμα (NS), με τις απορροές της τομάτας αναμειγμένες με NS σε αναλογία 10/90 (PR) και με τις απορροές της τομάτας αραιωμένες με νερό σε αναλογία 15/85 (D), από την 8<sup>η</sup> έως την 57<sup>η</sup> μέρα μετά τη μεταφύτευση (Days After Transplantation, DAT).

### 3.4 Συγκέντρωση χλωροφύλλης

Στο Διάγραμμα 7 παρουσιάζεται η μέση συγκέντρωση της χλωροφύλλης των φυτών (CCI) κατά την πρώτη (DAT 29) και δεύτερη καταστροφική (DAT 57), συγκριτικά με τις τρεις μεταχειρίσεις που αναπτύχθηκαν στην τύρφη και αντίστοιχα στον πετροβάμβακα. Στα μέσα της καλλιεργητικής περιόδου μεγαλύτερη συγκέντρωση χλωροφύλλης παρατηρήθηκε στο μάρτυρα και για τα δυο υποστρώματα. Αντίθετα, μικρότερη συγκέντρωση για τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε τύρφη παρουσίασε το αραιωμένο διάλυμα (15% D+W) με μέσο όρο 10,44 CCI ενώ για τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε πετροβάμβακα το διάλυμα PR με μέσο όρο 7,59 CCI. Στο τέλος του πειράματος τα φυτά που αρδεύονταν με το μάρτυρα και το PR διάλυμα (0% D+NS) έδωσαν τις υψηλότερες συγκεντρώσεις χλωροφύλλης με παρόμοιες τιμές και για τα δυο υποστρώματα. Για το αραιωμένο διάλυμα παρατηρήθηκαν οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις με τιμές 8,81 CCI για τα φυτά που αναπτύχθηκαν στην τύρφη

και 6,06 CCI για αυτά που αναπτύχθηκαν στον πετροβάμβακα. Επιπλέον, δε διαπιστώθηκαν στατιστικά σημαντικές μεταβολές ( $p>0.05$ ).

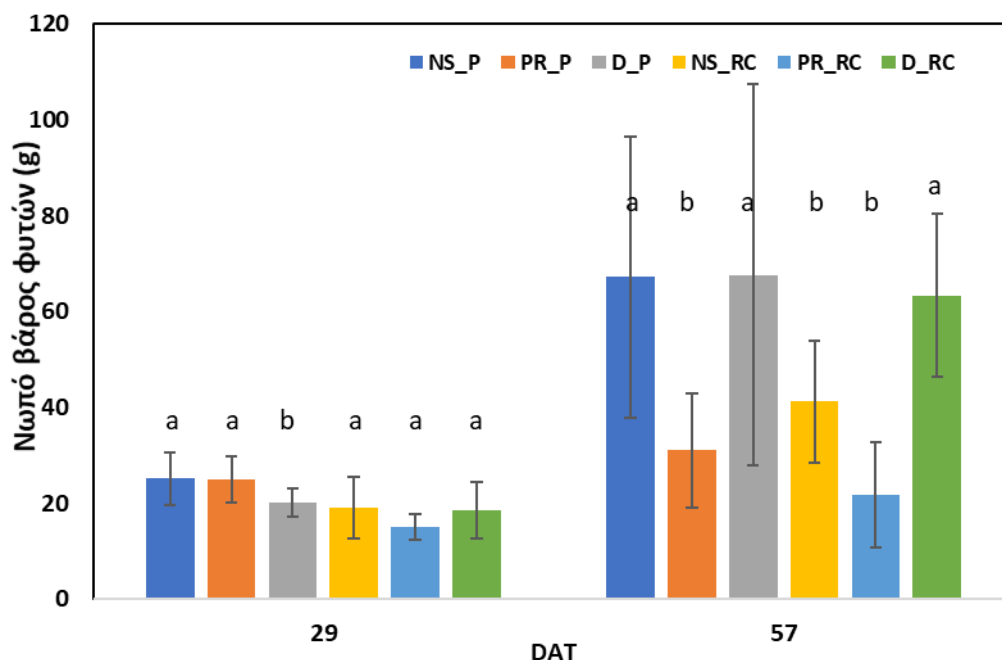


**Διάγραμμα 7.** Μεταβολή μέσου όρου συγκέντρωσης χλωροφύλλης (CCI) του άνηθου σε υπόστρωμα τύρφης (P) που αρδεύονταν με φρέσκο θρεπτικό διάλυμα (NS), με τις απορροές της τομάτας αναμειγμένες με NS σε αναλογία 10/90 (PR) και με τις απορροές της τομάτας αραιωμένες με νερό σε αναλογία 15/85 (D), συγκριτικά με τη συγκέντρωση χλωροφύλλης των φυτών που αναπτύχθηκαν σε υπόστρωμα πετροβάμβακα (RC) και αρδεύονταν με τα ίδια διαλύματα, κατά την πρώτη (DAT 29) και δεύτερη (DAT 57) συγκομιδή.

### 3.5 Νωπό και ξηρό βάρος φυτών

Στο Διάγραμμα 8 παρατηρείται ο μέσος όρος του νωπού βάρους του άνηθου. Στα μέσα της καλλιεργητικής περιόδου τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε τύρφη παρουσίασαν υψηλότερο μέσο όρο νωπού βάρους για τα διαλύματα NS και PR με τιμές 25,15 g και 24,92 g αντίστοιχα. Για το αραιωμένο διάλυμα (D) παρουσιάστηκε μικρότερο νωπό βάρος με στατιστικά σημαντική διαφορά κατά 19,89% σε σχέση με το μάρτυρα. Για τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε πετροβάμβακα, ο μάρτυρας ξεπέρασε τον μέσο όρο του νωπού βάρους του αραιωμένου διαλύματος για μόλις 0,46 g ενώ το PR διάλυμα είχε τον μικρότερο μέσο όρο με τιμή 15,07 g. Την τελευταία μέρα του πειράματος (DAT 57) τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε τύρφη αύξησαν σημαντικά το μέσο όρο του βάρους τους,

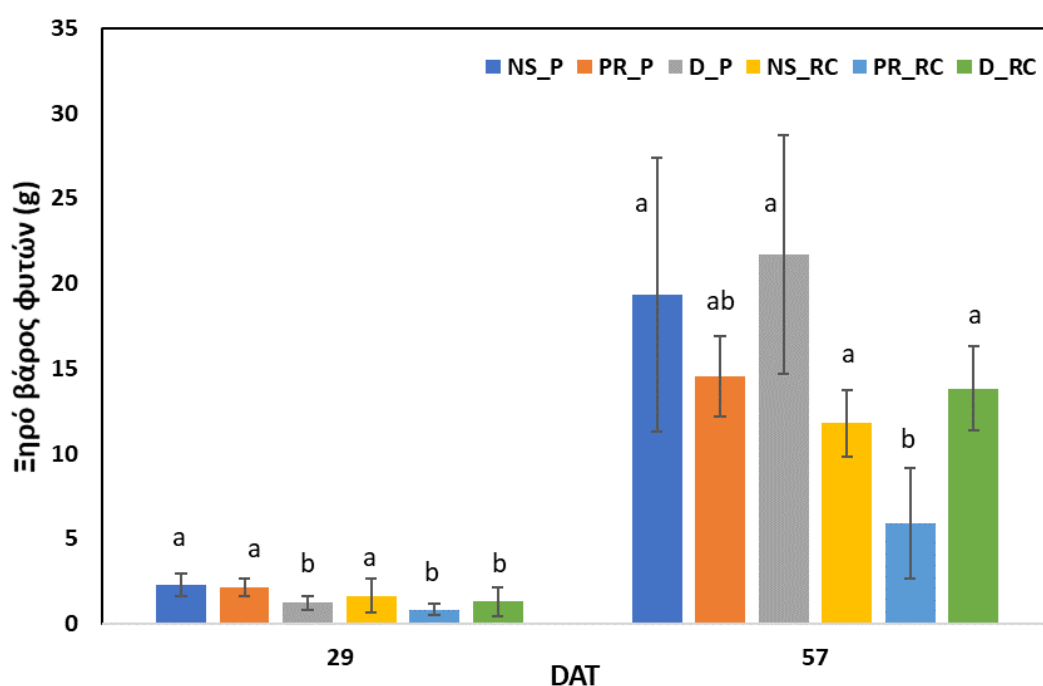
εκτός από τη μεταχείριση PR της οποίας η τιμή δεν ξεπέρασε τα 31 g με στατιστική σπουδαιότητα ( $p < 0.05$ ) 53,84% σε σχέση με το μάρτυρα. Αντίθετα, οι μεταχειρίσεις NS και D κυμάνθηκαν σε παρόμοια επίπεδα με τιμές 67,20 g και 67,69 g αντίστοιχα. Όσον αφορά τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε πετροβάμβακα, υψηλότερο μέσο όρο νωπού βάρους παρουσίασαν αυτά που αρδεύονταν με το αραιωμένο διάλυμα, το οποίο διέφερε στατιστικά κατά 34,93% σε σχέση με το μάρτυρα. Η μεταχείριση PR έφτασε μόλις τα 21,77 g ενώ αναλογικά και με την τιμή στα φυτά σε τύρφη παρουσίασε το χαμηλότερο νωπό βάρος και για τις τρεις μεταχειρίσεις.



**Διάγραμμα 8.** Μεταβολή μέσου όρου νωπού βάρους φυτών άνηθου σε υπόστρωμα τύρφης (P) που αρδεύονταν με φρέσκο θρεπτικό διάλυμα (NS), με τις απορροές της τομάτας αναμειγμένες με NS σε αναλογία 10/90 (PR) και με τις απορροές της τομάτας αραιωμένες με νερό σε αναλογία 15/85 (D), συγκριτικά με το νωπό βάρος φυτών άνηθου που αναπτύχθηκαν σε υπόστρωμα πετροβάμβακα (RC) και αρδεύονταν με τα ίδια διαλύματα, κατά την πρώτη (DAT 29) και δεύτερη (DAT 57) συγκομιδή.

Η μεταβολή του μέσου όρου του ξηρού βάρους του άνηθου που παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 9, έδωσε παρόμοια αποτελέσματα με αυτά του νωπού βάρους. Συγκεκριμένα, κατά την πρώτη καταστροφική (DAT 29) η ξηρή βιομάζα του μάρτυρα ήταν σε παρόμοιο επίπεδο με αυτήν της μεταχείρισης PR για τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε τύρφη. Τα φυτά της μεταχείρισης D

παρουσίασαν τη μικρότερη ξηρή βιομάζα με στατιστική σημαντικότητα 46,28% σε σχέση με το μάρτυρα. Αντίθετα, για αυτά στον πετροβάμβακα ο μάρτυρας υπερετεύσε κατά 49,32% σε σχέση με την PR, η οποία παρουσίασε και την μικρότερη μέση τιμή ξηρής βιομάζας. Κατά τη δεύτερη καταστροφική (DAT 57) ο μέσος όρος του ξηρού βάρους αυξήθηκε για όλες τις μεταχειρίσεις και στα δυο υποστρώματα, ενώ τον μικρότερο μέσο όρο παρουσίασε η PR στον πετροβάμβακα με τιμή μόλις 5,89 g. Ακόμα παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ( $p < 0,05$ ).

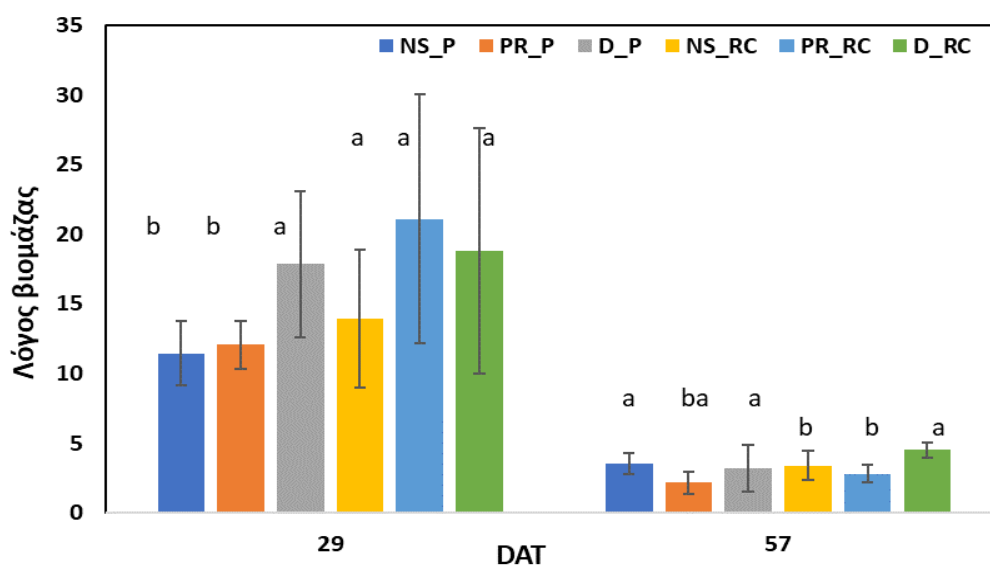


**Διάγραμμα 9.** Μεταβολή μέσου όρου ξηρού βάρους φυτών άνηθου σε υπόστρωμα τύρφης (P) που αρδευόταν με φρέσκο θρεπτικό διάλυμα (NS), με τις απορροές της τομάτας αναμειγμένες με NS σε αναλογία 10/90 (PR) και με τις απορροές της τομάτας αραιωμένες με νερό σε αναλογία 15/85 (D), συγκριτικά με το ξηρό βάρος φυτών άνηθου που αναπτύχθηκαν σε υπόστρωμα πετροβάμβακα (RC) και αρδευόταν με τα ίδια διαλύματα, κατά την πρώτη (DAT 29) και δεύτερη (DAT 57) συγκομιδή.

### 3.5.1 Λόγος βιομάζας

Στο Διάγραμμα 10 παρουσιάζεται ο λόγος της βιομάζας, δηλαδή ο λόγος του ωπτού προς το ξηρό βάρος, για τα φυτά του άνηθου κατά την πρώτη και δεύτερη καταστροφική. Παρατηρείται ότι στα μέσα της καλλιεργητικής περιόδου

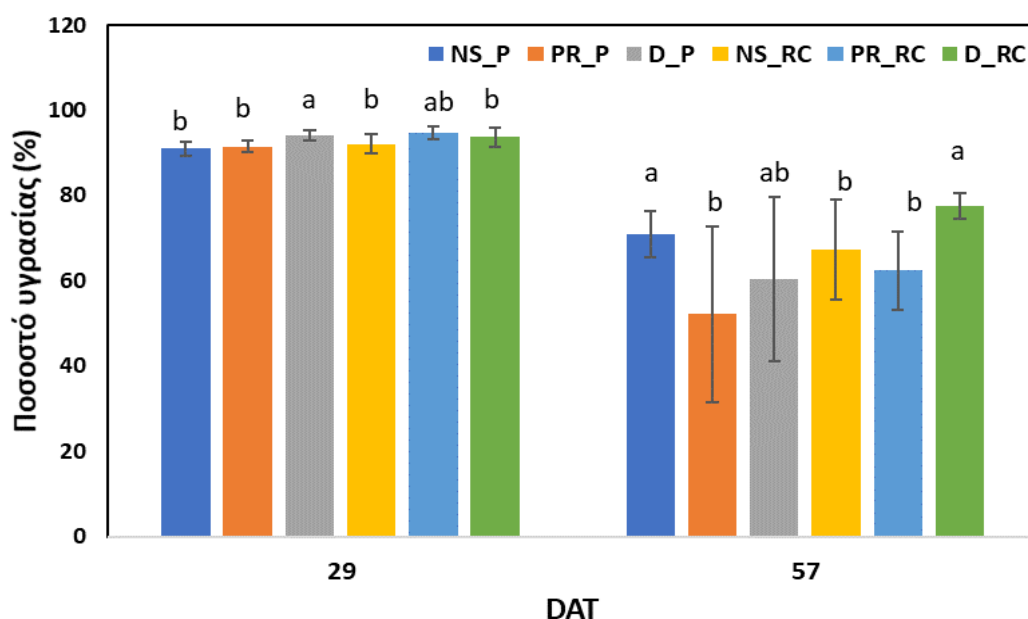
(DAT 29) οι αραιωμένες απορροές έδωσαν τον υψηλότερο λόγο βιομάζας με τιμή 17,86 για τα φυτά που αναπτύχθηκαν στην τύρφη. Ο μάρτυρας και το PR διάλυμα κυμάνθηκαν σε παρόμοια επίπεδα. Αντίθετα, για τα φυτά που αναπτύχθηκαν στον πετροβάμβακα το PR διάλυμα έδωσε τον υψηλότερο λόγο βιομάζας με τιμή 21,10. Ακολούθησαν το D διάλυμα με τιμή 18,77 και ο μάρτυρας με τιμή 13,93 χωρίς να παρατηρηθούν στατιστικά σημαντικές μεταβολές ( $p>0,05$ ). Στο τέλος του πειράματος για τα φυτά στην τύρφη παρατηρείται ότι ο μάρτυρας και το αραιωμένο διάλυμα έδωσαν παρόμοιες τιμές, ενώ το PR διάλυμα είχε το μικρότερο λόγο βιομάζας με στατιστική σημαντικότητα 39,01% σε σχέση με το μάρτυρα. Ο λόγος βιομάζας για τον μάρτυρα και το PR διάλυμα για τα φυτά στον πετροβάμβακα υπολογίστηκε στα 3,40 και 2,79 αντίστοιχα, ενώ το αραιωμένο διάλυμα έδωσε τον υψηλότερο λόγο με στατιστική σημαντικότητα 32,67% σε σχέση με το μάρτυρα.



**Διάγραμμα 10.** Μεταβολή μέσου όρου του λόγου βιομάζας των φυτών άνηθου σε υπόστρωμα τύρφης (P) που αρδεύονταν με φρέσκο θρεπτικό διάλυμα (NS), με τις απορροές της τομάτας αναμειγμένες με NS σε αναλογία 10/90 (PR) και με τις απορροές της τομάτας αραιωμένες με νερό σε αναλογία 15/85 (D), συγκριτικά με το λόγο βιομάζας φυτών άνηθου που αναπτύχθηκαν σε υπόστρωμα πετροβάμβακα (RC) και αρδεύονταν με τα ίδια διαλύματα, κατά την πρώτη (DAT 29) και δεύτερη (DAT 57) συγκομιδή.

### 3.5.2 Ποσοστό υγρασίας και ξηράς ουσίας

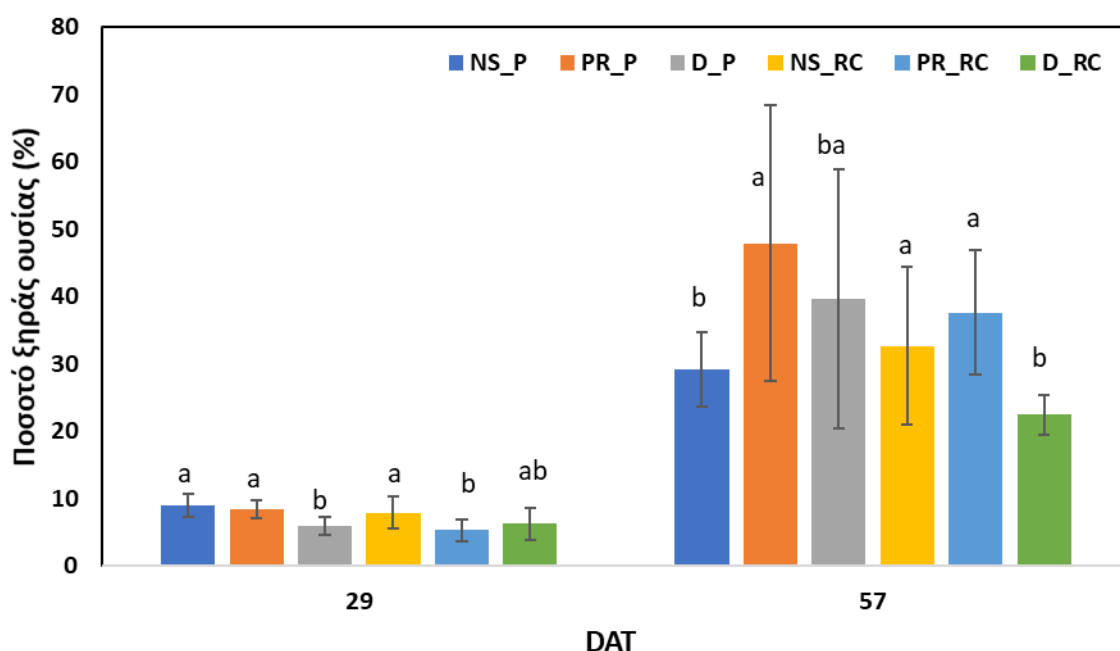
Το ποσοστό υγρασίας, βάση του οποίου υπολογίστηκε το ποσοστό ξηράς ουσίας (Διάγραμμα 12), των φυτών του άνηθου υπολογίστηκε με βάση το νωπό και το ξηρό βάρος και παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 11. Παρατηρείται ότι κατά την πρώτη καταστροφική (DAT 29) οι τιμές των ποσοστών είχαν πολύ μικρές διαφορές μεταξύ τους. Συγκεκριμένα για τα φυτά που αναπτύχθηκαν στην τύρφη υψηλότερο ποσοστό είχε η D μεταχείριση ξεπερνώντας κατά 3,27% το μάρτυρα, ενώ αυτά που αναπτύχθηκαν στον πετροβάμβακα η PR ξεπέρασε κατά 2,73% την D μεταχείριση. Αντίθετα, στο τέλος του πειράματος (DAT 57) τα φυτά παρουσίασαν μεγαλύτερες μεταβολές στα ποσοστά υγρασίας. Ο μάρτυρας για τα φυτά στην τύρφη έδωσε το υψηλότερο ποσοστό υγρασίας με τιμή 70,88%, ενώ για τα φυτά στον πετροβάμβακα η μεταχείριση D έδωσε το υψηλότερο ποσοστό υγρασίας με τιμή 77,51%.



**Διάγραμμα 11.** Μεταβολή ποσοστού υγρασίας (%) του άνηθου σε υπόστρωμα τύρφης (P) που αρδευόταν με φρέσκο θρεπτικό διάλυμα (NS), με τις απορροές της τομάτας αναμειγμένες με NS σε αναλογία 10/90 (PR) και με τις απορροές της τομάτας αραιωμένες με νερό σε αναλογία 15/85 (D), συγκριτικά με το ποσοστό υγρασίας των φυτών σε υπόστρωμα πετροβάμβακα (RC) που αρδευόταν με τα ίδια διαλύματα, κατά την πρώτη (DAT 29) και δεύτερη (DAT 57) συγκομιδή.

Για τα ποσοστά ξηράς ουσίας που παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 11, παρατηρείται κατά την πρώτη καταστροφική (DAT 29) για τα φυτά σε τύρφη ότι υψηλότερες τιμές είχαν οι μεταχειρίσεις NS και PR, ενώ η D με την μικρότερη

τιμή, διέφερε κατά 34,10% σε σχέση με το μάρτυρα. Για τον πετροβάμβακα υψηλότερο ποσοστό ξηράς ουσίας παρατηρείται για το μάρτυρα με τιμή 7,90% και ακολούθως η D μεταχείριση με 6,25% και τέλος η PR με τιμή 5,31%. Κατά τη δεύτερη καταστροφική (DAT 57), υψηλότερα ποσοστά ξηράς ουσίας και στην τύρφη και στον πετροβάμβακα είχε το PR διάλυμα με τιμές 47,88% και 37,63% αντίστοιχα. Ακόμα, για τα φυτά που αναπτύχθηκαν στην τύρφη μικρότερο ποσοστό παρουσίασε ο μάρτυρας με τιμή 29,12%, ενώ για αυτά που αναπτύχθηκαν στον πετροβάμβακα μικρότερη τιμή παρουσίασε το D διάλυμα με στατιστική σημαντικότητα 31,06% σε σχέση με το μάρτυρα.



**Διάγραμμα 12.** Μεταβολή ποσοστού ξηράς ουσίας (%) του άνθηου σε υπόστρωμα τύρφης (P) που αρδεύονταν με φρέσκο θρεπτικό διάλυμα (NS), με τις απορροές της τομάτας αναμειγμένες με NS σε αναλογία 10/90 (PR) και με τις απορροές της τομάτας αραιωμένες με νερό σε αναλογία 15/85 (D), συγκριτικά με το ποσοστό υγρασίας των φυτών σε υπόστρωμα πετροβάμβακα (RC) που αρδεύονταν με τα ίδια διαλύματα, κατά την πρώτη (DAT 29) και δεύτερη (DAT 57) συγκομιδή.

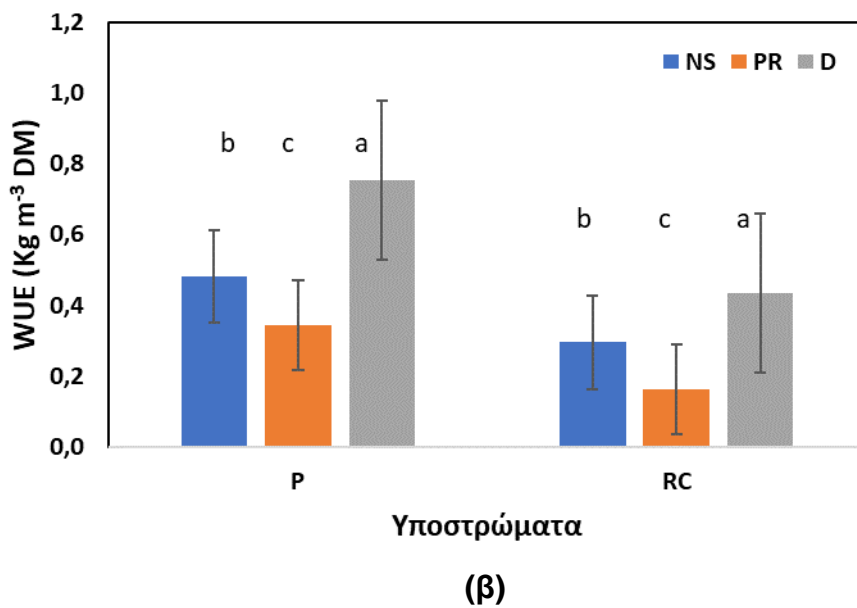
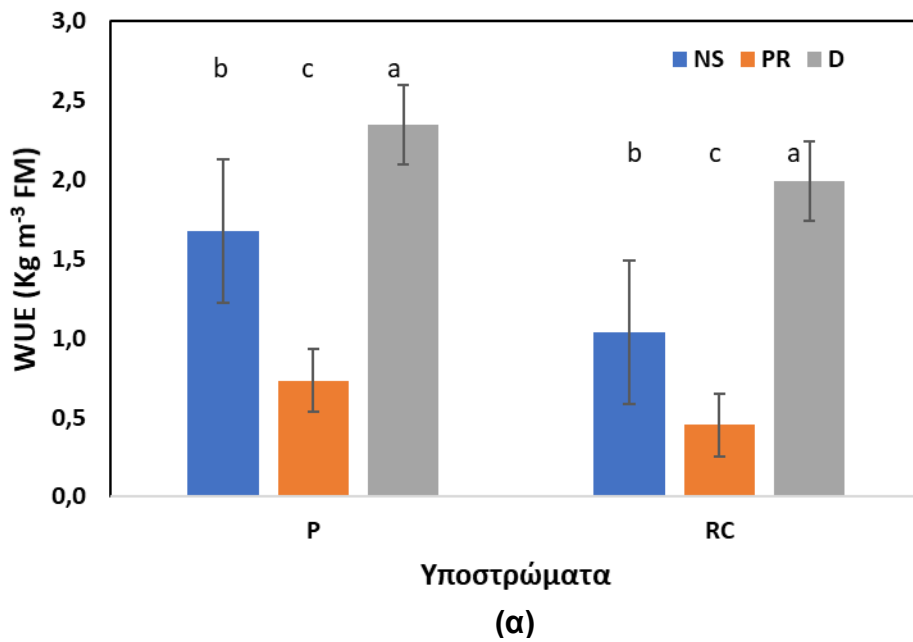
### 3.6 Αποδοτικότητα χρήσης νερού

Ο υπολογισμός της αποδοτικότητας της χρήσης νερού για τον άνθηο που παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 13α για το νωπό βάρος (WUE, kg FW m<sup>-3</sup>) και



στο Διάγραμμα 13β για το ξηρό βάρος (WUE, kg DW m<sup>-3</sup>), πραγματοποιήθηκε βάση των τιμών του νωπού και ξηρού βάρους αντίστοιχα. Για το νωπό βάρος παρατηρείται ότι την υψηλότερη τιμή WUE και για τα δυο υποστρώματα έδωσε το διάλυμα που είχε υποστεί αραίωση με τις απορροές της τομάτας, σε αναλογία 15/85. Συγκεκριμένα, υπερτερεί κατά 18,5% και 80,8% σε σχέση με το μάρτυρα για την τύρφη και τον πετροβάμβακα αντίστοιχα. Αντίθετα, την μικρότερη αποτελεσματικότητα χρήσης του νερού παρουσίασε το διάλυμα των απορροών της τομάτας αναμιγμένο με φρέσκο θρεπτικό διάλυμα (10/90) και για τα δυο υποστρώματα. Τα ποσοστά διαφοράς σε σχέση με το μάρτυρα είναι 48,7% και 56,1% για την τύρφη και τον πετροβάμβακα αντίστοιχα. Τα παραπάνω αποτελέσματα διαφέρουν μεταξύ τους στατιστικά σημαντικά ( $p < 0.05$ ).

Παρόμοια αποτελέσματα παρατηρήθηκαν και για το WUE του ξηρού βάρους του άνηθου. Συγκεκριμένα, για την τύρφη η μεταχείριση D παρουσίασε μεγαλύτερη αύξηση κατά 32,3% σε σχέση με το μάρτυρα και 58,3% σε σχέση με την μεταχείριση PR. Ανάλογα και για τον πετροβάμβακα η μεταχείριση D παρουσίασε μεγαλύτερη αύξηση κατά 38% σε σχέση με το μάρτυρα και 148,7% σε σχέση με τη μεταχείριση PR.



**Διάγραμμα 13.** Μεταβολή της τιμής του WUE (kg m<sup>-3</sup>) για (α) το νωπό (FM) και (β) το ξηρό βάρος (DM) του άνηθου που αναπτύχθηκε σε τύρφη (P) και πετροβάμβακα (RC), και αρδευόταν με φρέσκο θρεπτικό διάλυμα (NS), με τις απορροές της τομάτας αναμειγμένες με NS σε αναλογία 10/90 (PR) και με τις απορροές της τομάτας αραιωμένες με νερό σε αναλογία 15/85 (D).

#### 4. Συζήτηση

Η επιτακτική ανάγκη για μείωση των εισροών στις καλλιέργειες με στόχο την προώθηση βιώσιμων εναλλακτικών μέσων, οδήγησε στην εξέλιξη των υδροπονικών συστημάτων με την ενσωμάτωση της τεχνικής της πολυκαλλιέργειας. Η επαναχρησιμοποίηση των απορροών μιας πρωτεύουσας καλλιέργειας σε μια δευτερεύουσα, σε ένα υδροπονικό σύστημα με τη χρήση υποστρωμάτων, απαιτεί καλό σχεδιασμό και γνώση ώστε να επιτευχθεί η πλήρης αυτοματοποίηση (Munoz et al. 2012). Ωστόσο, συχνά εμφανίζονται προβλήματα αλατότητας ή άνισης κατανομής νερού και θρεπτικών στο ριζικό περιβάλλον των φυτών που δυσκολεύουν τη μελέτη του διαλύματος απορροών, καθώς μπορεί να υπάρχουν αποκλίσεις από τις πραγματικές ανάγκες των φυτών σε θρεπτικά στοιχεία (Klaring 2001). Έτσι, η επιλογή του κατάλληλου υποστρώματος για την εκάστοτε καλλιέργεια και ο προγραμματισμός ενός συστήματος υδρολίπανσης ανάλογα και με τις κλιματικές συνθήκες, μπορούν να εξασφαλίσουν την επιτυχία ενός υδροπονικού συστήματος πολυκαλλιέργειας.

Στην παρούσα εργασία ο άνηθος ως δευτερεύουσα καλλιέργεια αναπτύχθηκε σε υπόστρωμα τύρφης και πετροβάμβακα. Για τη μελέτη της αποδοτικότητας χρήσης των απορροών της πρωτεύουσας καλλιέργειας της τομάτας, έγινε χρήση τριών διαφορετικών μεταχειρίσεων με τις οποίες αρδεύονταν ο άνηθος. Για το pH του διαλύματος απορροών παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση σε σχέση με αυτό του διαλύματος άρδευσης, χωρίς το αποτέλεσμα να επηρεαστεί από τα διαφορετικά υποστρώματα και τις μεταχειρίσεις. Αυτή η διαφορά ανάμεσα στα δυο διαλύματα μπορεί να οφείλεται στις διαφορετικές αναλογίες θρεπτικού διαλύματος που απορροφούν τα φυτά, σε σχέση με αυτές που δέχονται, σε συνδυασμό με την κατάσταση των ριζών και τη δραστηριότητα των ριζικών μικροοργανισμών (Voogt and Bar-Yosef 2019). Η αύξηση του pH μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη απορρόφηση ορισμένων θρεπτικών συστατικών από τις ρίζες των φυτών, αλλά όχι και σε καταπόνηση ή μείωση της ανάπτυξης (Bugbee 2004). Συγκεκριμένα, το pH του διαλύματος απορροών έφτασε σε τιμή 8 χωρίς να παρατηρηθεί κάποιο πρόβλημα, καθώς σύμφωνα

με τους Jana και Shekhawat (2010) ο άνηθος επιδέχεται τιμές pH από 5,3 έως 7,8.

Οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος απορροών παρουσίασαν αύξηση σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές του διαλύματος άρδευσης, με εξαίρεση το διάλυμα που προέκυψε από τη μίξη των απορροών της τομάτας με φρέσκο θρεπτικό διάλυμα. Συγκεκριμένα, και για τα δυο υποστρώματα μεγαλύτερη αύξηση παρατηρήθηκε στο αραιωμένο διάλυμα κατά 24,44% και 13,73% για την τύρφη και τον πετροβάμβακα αντίστοιχα, σε σχέση με το μάρτυρα. Κατά το πείραμα διαδοχικών καλλιεργειών που υλοποιήθηκε από τους García-Carrós et al. (2018) ερμηνεύτηκαν παρόμοια αποτελέσματα, καθώς παρατηρήθηκε αύξηση της EC, σε σχέση με το μάρτυρα, του διαλύματος απορροής μιας καλλιέργειας δενδρολίβανου, που αρδευόταν με τις απορροές μιας κύριας καλλιέργειας αραιωμένες με νερό. Στο παρόν πείραμα μετρήθηκαν χαμηλότερες τιμές EC από την αρχική τιμή στόχο που είχε οριστεί στα 2,1 dS m<sup>-1</sup>. Σύμφωνα με τον Udagawa (1992), καλλιέργεια άνηθου που αναπτύχθηκε σε θρεπτικό διάλυμα με EC 1,2 dS m<sup>-1</sup> αν και παρουσίασε τη χαμηλότερη ανάπτυξη σε σχέση με τα διαλύματα με EC 2,4 dS m<sup>-1</sup> και 3,6 dS m<sup>-1</sup>, η συνολική συγκέντρωση αιθέριων ελαίων στα φύλλα ήταν υψηλότερη.

Για τον άνηθο ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα αποτελέσματα που αφορούν το νωπό βάρος σύμφωνα με το οποίο καθορίζεται και η απόδοση της καλλιέργειας. Από τις μετρήσεις παρατηρήθηκε ότι το είδος του υποστρώματος δεν επηρέασε το νωπό βάρος της καλλιέργειας του άνηθου, σε αντίθεση με την καλλιεργητική περίοδο. Κατά την πρώτη καταστροφική (DAT 29) για τα φυτά που αναπτύχθηκαν στην τύρφη και στον πετροβάμβακα υψηλότερες τιμές νωπού βάρους παρουσίασε ο μάρτυρας. Παρόμοια αποτελέσματα βρέθηκαν και από τους García-Carrós et al. (2018), σύμφωνα με τους οποίους παρατηρήθηκε μείωση της απόδοσης μια καλλιέργειας δενδρολίβανου που αρδευόταν απευθείας με τις απορροές ή με ανάμιξη με νερό μιας κύριας καλλιέργειας, σε σχέση με το μάρτυρα. Αντίθετα, στο τέλος του πειράματος (DAT 57) το αραιωμένο διάλυμα έδωσε υψηλότερες τιμές νωπού βάρους κατά 0,73% και 53,68% για την τύρφη και τον πετροβάμβακα αντίστοιχα, σε σχέση με το μάρτυρα. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο ότι η ανάπτυξη και η απόδοση της καλλιέργειας του άνηθου επηρεάζεται από την περίοδο σποράς και

συγκομιδής αλλά και από τον έλεγχο των κατάλληλων κλιματικών συνθηκών (Karkleliene et al. 2014). Επιπροσθέτως, οι υψηλές τιμές νωπού βάρους του αραιωμένου διαλύματος οδήγησαν στην αποτελεσματικότερη χρήση νερού και για τα δυο υποστρώματα σε σχέση με το μάρτυρα, ενώ για το διάλυμα που προέκυψε έπειτα από μίξη των απορροών της τομάτας με φρέσκο θρεπτικό διάλυμα παρατηρήθηκε η χαμηλότερη WUE. Έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τους Massa et al. (2010) σε ημίκλειστο σύστημα καλλιέργειας τομάτας, αποδείχθηκε ότι η μίξη ανακυκλωμένου διαλύματος με νερό συμβάλει στην καλύτερη αποδοτικότητα χρήσης νερού σε σχέση με τις άλλες στρατηγικές υδρολίπανσης.

Ως ένα μέγεθος ελέγχου της διαθεσιμότητας των θρεπτικών στοιχείων μιας καλλιέργειας, η ηλεκτρική αγωγιμότητα του διαλύματος απορροής σχετίζεται άμεσα με το νωπό και ξηρό βάρος. Στο παρόν πείραμα αν και παρατηρήθηκαν χαμηλές τιμές EC του διαλύματος απορροής για την καλλιέργεια του άνηθου, ικανοποιητική ήταν η ανάπτυξη του ύψους και η παραγωγή βιομάζας, κυρίως για τη μεταχείριση που προέκυψε μετά από αραιώση του διαλύματος απορροής της πρωτεύουσας καλλιέργειας με νερό. Συγκεκριμένα, τα φυτά που αναπτύχθηκαν στην τύρφη, στο τέλος του πειράματος έφτασαν σε ύψος τα 57,68 cm (ο μάρτυρας έφτασε στα 57,30 cm), ενώ αυτά που αναπτύχθηκαν στον πετροβάμβακα ξεπέρασαν κατά 38,38% το μάρτυρα. Επιπλέον, τα ποσοστά ξηράς ουσίας για τις τρεις μεταχειρίσεις και στα δυο υποστρώματα, 57 μέρες μετά τη μεταφύτευση, ξεπέρασαν τα αντίστοιχα ποσοστά σε συνθήκες αγρού. Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε στον αγρό από τους Karkleliene et al. (2014) σε τέσσερις διαφορετικές ποικιλίες άνηθου, ο μέσος όρος του ποσοστού ξηράς ουσίας έφτασε στα 13,55%, 50-60 μέρες μετά τη σπορά.

Η ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος σε ένα σύστημα πολυκαλλιέργειας σε συνθήκες υπό κάλυψη, μπορεί να αποτελέσει μια βιώσιμη πρακτική για την εξοικονόμηση νερού και λιπασμάτων. Στην παρούσα μελέτη βρέθηκε ότι τα φυτά του άνηθου που αρδεύτηκαν με τις απορροές της τομάτας αραιωμένες με νερό, αποτέλεσαν την αποτελεσματικότερη μεταχείριση καθώς απορρόφησαν το λιγότερο νερό. Παρόμοια αποτελέσματα βρέθηκαν και από τους García-Carrarós et al. (2018), σύμφωνα με τους οποίους επιτεύχθηκε 18%

εξοικονόμηση νερού σε μια καλλιέργεια δενδρόλιβανου, η οποία αρδεύτηκε με τις απορροές μιας κύριας καλλιέργειας πεπτονιού αναμιγμένες με νερό.

## 5. Συμπεράσματα

Οι ολοένα αυξανόμενες ανάγκες για παραγωγή φρέσκων λαχανικών και αρωματικών φυτών οδηγεί στην εύρεση εναλλακτικών μεθόδων καλλιέργειας, με στόχο την εξοικονόμηση νερού και λιπασμάτων. Μια τέτοια μέθοδος αποτελεί και ένα ημίκλειστο υδροπονικό σύστημα πολυκαλλιέργειας, όπου γίνεται ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος απορροής ανάμεσα σε δυο καλλιέργειες. Στο συγκεκριμένο πείραμα αποδείχθηκε ότι το θρεπτικό διάλυμα που προέκυψε μετά από αραίωση του διαλύματος απορροής της τομάτας με νερό και η επαναχρησιμοποίησή του στον άνηθο, αποτέλεσε την αποτελεσματικότερη μεταχείριση, καθώς επιτεύχθηκε λιγότερη κατανάλωση και αποδοτικότερη χρήση νερού.

Αξιοσημείωτα ήταν και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη χρήση δυο διαφορετικών υποστρωμάτων. Συγκεκριμένα, η ανάπτυξη του άνηθου σε τύρφη και πετροβάμβακα δε φάνηκε να επηρεάζει την αποτελεσματικότητα του αραιωμένου διαλύματος, καθώς υψηλότερες τιμές συγκριτικά με τις άλλες δυο μεταχειρίσεις παρουσιάστηκαν και στις δυο περιπτώσεις. Έτσι, η επιλογή του υποστρώματος εξαρτάται από την εκάστοτε καλλιέργεια σε συνδυασμό με τις θρεπτικές ανάγκες και τις ανάγκες για νερό.

## 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Ελληνική

- Μαυρογιαννόπουλος Γ.Ν., 2017. Τεχνολογία Θερμοκηπίων: Μικροκλίμα-Υλικά-Κατασκευή-Εξοπλισμός. Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε., Αθήνα
- Νεοκλέους, Δ. Δ. (Ινστιτούτο Γ. Ε. (2014). *Εγχειρίδιο Υδροπονίας Εκπαιδευτικό Κέντρο Υδροπονίας Ιγε.*
- Σάββας Δ., 2011. Καλλιέργειες εκτός Εδάφους: Υδροπονία, Υποστρώματα. Εκδόσεις Αγροτύπος, Αθήνα.

### Αγγλική

- Asaduzzaman, M., Saifullah, M., Mollick, A. K. M. S. R., Hossain, M. M., Halim, G. M. A., & Asao, T. (2015). Influence of Soilless Culture Substrate on Improvement of Yield and Produce Quality of Horticultural Crops. *Soilless Culture - Use of Substrates for the Production of Quality Horticultural Crops*, 1–32. <https://doi.org/10.5772/59708>
- Bar-Tal, A., Saha, U. K., Raviv, M., & Tuller, M. (2019). Inorganic and synthetic organic components of soilless culture and potting mixtures. In *Soilless Culture: Theory and Practice Theory and Practice* (Second Edi). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63696-6.00007-4>
- Bar-Yosef, B. (2008). Fertigation management and crops response to solution recycling in semi-closed greenhouses. *Soilless Culture: Theory and Practice*, 341–424. <https://doi.org/10.1016/B978-044452975-6.50011-3>
- Bugbee, B. (2004). Nutrient management in recirculating hydroponic culture. *Acta Horticulturae*, 648, 99–112. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.648.12>
- Carlile, W. R., Raviv, M., & Prasad, M. (2019). Organic soilless media components. In *Soilless Culture: Theory and Practice Theory and Practice* (Second Edi). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63696-6.00008-6>
- Castilla, N., & Baeza, E. (2013). Greenhouse site selection. In: *Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable crops: Principles for mediterranean climate areas*. FAO plant production and protection paper (FAO), 21
- Choab, N., Allouhi, A., El Maakoul, A., Kousksou, T., Saadeddine, S., & Jamil, A. (2019). Review on greenhouse microclimate and application: Design parameters, thermal modeling and simulation, climate controlling technologies. In *Solar Energy* (Vol. 191, pp. 109–137). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.08.042>
- Currey, C. J., Walters, K. J., & Flax, N. J. (2019). Nutrient solution strength does not interact with the daily light integral to affect hydroponic cilantro, dill, and parsley growth and tissue mineral nutrient concentrations. *Agronomy*, 9(7), 389.



- De Pascale, S., Orsini, F., & Pardossi, A. (2013). Irrigation water quality for greenhouse horticulture. *Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable crops Principles for mediterranean climate areas*. FAO plant production and protection paper (FAO), 169.
- Dorai, M., Papadopoulos, A., & Gosselin, A. (2001). Influence of electric conductivity management on greenhouse tomato yield and fruit quality.
- García-Caparrós, P., Llanderal, A., Maksimovic, I., & Lao, M. T. (2018). Cascade cropping system with horticultural and ornamental plants under greenhouse conditions. *Water (Switzerland)*, 10(2), 1–10. <https://doi.org/10.3390/w10020125>
- Ghassemi-Golezani, K., & Nikpour-Rashidabad, N. (2017). Seed pretreatment and salt tolerance of dill: Osmolyte accumulation, antioxidant enzymes activities and essence production. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 12, 30–35. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2017.08.014>
- Gruda, N. (2012). Sustainable peat alternative growing media. *Acta Horticulturae*, 927, 973–980. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2012.927.120>
- Incrocci, L. and Pardossi, A. 2001. Cascade cropping systems as a tool for increasing water use efficiency in protected horticulture. Hortimed project, Deliverable no 9.
- Incrocci, L., Pardossi, A., Malorgio, F., Maggini, R., & Campiotti, C. A. (2003). Cascade cropping system for greenhouse soilless culture. *Acta Horticulturae*, 609, 297–301. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2003.609.44>
- Jana, S., & Shekhawat, G. (2010). Anethum graveolens: An Indian traditional medicinal herb and spice. *Pharmacognosy Reviews*, 4(8), 179–184. <https://doi.org/10.4103/0973-7847.70915>
- Karkleliene, R., Dambrauskiene, E., Juškevičiene, D., Radzevičius, A., Rubinskiene, M., & Viškelis, P. (2014). Productivity and nutritional value of dill and parsley. *Horticultural Science*, 41(3), 131–137. <https://doi.org/10.17221/240/2013-hortsci>
- Katsoulas, N., Savvas, D., Kitta, E., Bartzanas, T., & Kittas, C. (2015). Extension and evaluation of a model for automatic drainage solution management in tomato crops grown in semi-closed hydroponic systems. *Computers and Electronics in Agriculture*, 113, 61–71. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.01.014>
- Klaring, H. P. (2001). Strategies to control water and nutrient supplies to greenhouse crops. A review. *Agronomie*, 21(4), 311–321. <https://doi.org/10.1051/agro:2001126>
- Massa, D., Incrocci, L., Maggini, R., Carmassi, G., Campiotti, C. A., & Pardossi, A. (2010). Strategies to decrease water drainage and nitrate emission from soilless cultures of greenhouse tomato. *Agricultural Water Management*, 97(7), 971–980. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.01.029>

- Mohsin, M. M., Hanif, M. A., Ayub, M. A., Bhatti, I. A., & Jilani, M. I. (2020). Dill. *Medicinal Plants of South Asia*, 231–239. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102659-5.00018-5>
- Munoz, P., Paranjpe, A., Montero, J. I., & Antón, A. (2012). Cascade crops: An alternative solution for increasing sustainability of greenhouse tomato crops in mediterranean zone. *Acta Horticulturae*, 927, 801–805.
- Raviv, M., Lieth, J. H., Bar-Tal, A., & Silber, A. (2008). Growing plants in soilless culture. Operational conclusions. *Soilless Culture Theory and Practice*. Elsevier Publications, 545-571.
- Raviv, M., Lieth, J. H., & Bar-Tal, A. (2019). Significance of soilless culture in agriculture. In *Soilless Culture: Theory and Practice Theory and Practice* (Second Edi). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63696-6.00001-3>
- Savvas, D. (2002). SW—Soil and Water: automated replenishment of recycled greenhouse effluents with individual nutrients in hydroponics by means of two alternative models. *Biosystems engineering*, 83(2), 225-236.
- Savvas, D., Gianquinto, G., Tuzel, Y., & Gruda, N. (2013). Soilless culture. *Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable crops Principles for mediterranean climate areas*. FAO plant production and protection paper, 303-354.
- Savvas, D., & Gruda, N. (2018). Application of soilless culture technologies in the modern greenhouse industry - A review. *European Journal of Horticultural Science*, 83(5), 280–293. <https://doi.org/10.17660/eJHS.2018/83.5.2>
- Silber, A., & Bar-Tal, A. (2019). Nutrition of substrate-grown plants. In *Soilless Culture: Theory and Practice Theory and Practice* (Second Edi, Issue 6). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63696-6.00006-2>
- Sonneveld, C., & Voogt, W. (2009). Water Uptake and Water Supply, Salinity and Water Quality. In *Plant nutrition of greenhouse crops* (pp. 103-123, 127-152). Springer, Dordrecht.
- Tsukagoshi, S., & Shinohara, Y. (2020). Nutrition and nutrient uptake in soilless culture systems. In *Plant Factory* (Vol. 14, Issue CI). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-816691-8.00014-5>
- Udagawa, Y. (1992). *Some responses of dill and thyme grown in hydroponic to the concentration of nutrient solution.pdf*.
- Vadiee, A., & Martin, V. (2014). Energy management strategies for commercial greenhouses. *Applied Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.08.089>
- Voogt, W., & Bar-Yosef, B. (2019). Water and nutrient management and crops response to nutrient solution recycling in soilless growing systems in greenhouses. In *Soilless Culture: Theory and Practice Theory and Practice* (Second Edi). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63696-6.00010-4>