



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ**  
**ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**Μελέτη της επίδρασης της μεθόδου  
διαχείρισης των απορροών στην  
ανάπτυξη υδροπονικής καλλιέργειας  
τομάτας στο θερμοκήπιο.**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

**ΑΔΑΜΟΥ ΕΛΕΝΗ**

# ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

## ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος

«Μελέτη της επίδρασης της μεθόδου διαχείρισης των απορροών στην  
ανάπτυξη υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας στο θερμοκήπιο.»



**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

**ΑΔΑΜΟΥ ΕΛΕΝΗ**

Επιβλέπων

Καθηγητής Κίττας Κωνσταντίνος

**ΒΟΛΟΣ, 2015**



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ  
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»

Αριθ. Εισ.: 14797/1  
Ημερ. Εισ.: \_\_\_\_\_  
Δωρεά: Συγγραφέα  
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ-ΦΠΑΠ  
2015  
ΑΔΑ

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ  
ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

«Μελέτη της επίδρασης της μεθόδου διαχείρισης των απορροών στην  
ανάπτυξη υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας στο θερμοκήπιο.»

**ΑΔΑΜΟΥ ΕΛΕΝΗ**

**ΒΟΛΟΣ, 2015**

### **Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή**

Κ. Κίττας (Επιβλέπων)

Καθηγητής

Ν. Κατσούλας (Μέλος)

Επ. Καθηγητής

Χ. Λύκας (Μέλος)

Επ. Καθηγητής

ΑΔΑΜΟΥ ΕΛΕΝΗ

«Μελέτη της επίδρασης της μεθόδου διαχείρισης των απορροών στην  
ανάπτυξη υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας στο θερμοκήπιο.»

## Ευχαριστίες

Πριν προχωρήσω στην ανάλυση της πτυχιακής διατριβής μου θα ήθελα να αναφερθώ και να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που με βοήθησαν και με στήριξαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου αλλά και κατά τη διάρκεια της διεξαγωγής του πειράματος.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Κ. *Κίττα Κωνσταντίνο*, Καθηγητή του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με τη μελέτη των υδροπονικών καλλιεργειών.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον κ. *Κατσούλα Νικόλαο*, Επίκουρο Καθηγητή του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος για την αμέριστη βοήθειά και στήριξη που μου παρείχε κατά τη διεξαγωγή του πειράματος και τη συγγραφή του, καθώς και τον κ. *Λύκα Χρήστο* για τη συμμετοχή του στη συμβουλευτική επιτροπή.

Ευχαριστώ επίσης την κ. *Γκόλια Ευαγγελία*, μέλος ΕΔΠ του Τμήματος Γεωπονίας και Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, την *Ντούλα Ευλαμπία*, μεταπτυχιακή φοιτήτρια του τμήματος Γεωπονίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, τον *Γιαννακό Ηλία* υπεύθυνο διαχείρισης του θερμοκηπίου στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου στο Βελεστίνο, καθώς επίσης και τη συμφοιτήτρια και στενή μου φίλη, *Σπυριδάκη Μαρία*, για τη συμπαράσταση και την ηθική υποστήριξη που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου και τη διεξαγωγή του πειράματος.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την υπομονή τους και την ηθική και υλική στήριξη που μου προσέφεραν ώστε να μπορέσω να ολοκληρώσω με επιτυχία τις σπουδές μου.

*Αδάμου Ελένη*

**Βόλος, 2015**

## Περίληψη

Η Ελλάδα διαθέτει σημαντικούς παράγοντες που μπορούν να συντελέσουν στην αύξηση και ανάπτυξη των θερμοκηπιακών εκτάσεων, όπως οι εδαφοκλιματικές συνθήκες που επικρατούν και η γεωγραφική της θέση. Τελευταία όμως, παρατηρείται μια στασιμότητα στον θερμοκηπιακό κλάδο η οποία οφείλεται στον ανταγωνισμό της διεθνής αγοράς και στο υψηλό κόστος παραγωγής προϊόντων εκτός εποχής σε περιοχές όπου οι κλιματικές συνθήκες δεν είναι τόσο ευνοϊκές.

Η αύξηση της ανταγωνιστικότητας μπορεί να επιτευχθεί με την εφαρμογή της υδροπονικής καλλιέργειας, μιας διαρκώς επεκτεινόμενης δραστηριότητας, η οποία μπορεί να συμβάλει στην αύξηση των αποδόσεων των φυτών και στη βελτίωση των παραγόμενων προϊόντων. Εκτός αυτών παρέχει τη δυνατότητα να καλλιεργηθούν φυτά σε περιοχές με πολύ κακής ποιότητας εδάφη ή σε θέσεις χωρίς καθόλου φυσικό έδαφος.

Ένα επιπλέον πλεονέκτημα της υδροπονικής μεθόδου αποτελεί η δυνατότητα ανακύκλωσης του νερού και των θρεπτικών διαλυμάτων, μιας και τα φαινόμενα έλλειψης νερού και μείωσης των θρεπτικών συστατικών στο περιβάλλον εντείνονται συνεχώς. Παρόλα αυτά, η μακροπρόθεσμη ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος, καθώς και η αναπόφευκτη κάποιες φορές χρήση κακής ποιότητας νερού, προκαλεί τη συσσώρευση αλάτων και την αύξηση της συγκέντρωσης στοιχείων όπως το  $\text{Na}^+$  και το  $\text{Cl}^-$  με αποτέλεσμα την αύξηση της αλατότητας στο ριζικό περιβάλλον η οποία μπορεί να προκαλέσει δυσμενείς επιδράσεις σε διάφορα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας.

Με αυτή την εργασία επιχειρήσαμε να μελετήσουμε τις επιδράσεις που μπορούν να επιφέρουν, στη καλλιέργεια τομάτας σε υδροπονικό σύστημα, οι διάφορες μέθοδοι διαχείρισης του νερού απορροής. Για να το επιτύχουμε αυτό χρησιμοποιήσαμε τρεις μεθόδους διαχείρισης των απορροών, το ανοιχτό σύστημα και δύο ημίκλειστα συστήματα. Στο πρώτο ημίκλειστο σύστημα (SC-30%) απορρίπταμε το θρεπτικό διάλυμα όταν η συγκέντρωση  $\text{Na}^+$  έφτανε τα 15 mmol/L και στο δεύτερο σύστημα (SC-60%) το απορρίπταμε όταν η συγκέντρωση  $\text{Na}^+$  έφτανε τα 25 mmol/L.

Κατά τη διάρκεια του πειράματος μελετήσαμε την επίδραση του κάθε συστήματος στη φωτοσύνθεση, στην κατανάλωση του νερού, στη συγκέντρωση διαφόρων θρεπτικών στοιχείων καθώς επίσης τη μεταβολή του pH και της ηλεκτρική αγωγιμότητας στη κάθε μεταχείριση.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την συγκεκριμένη μελέτη, δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των παραπάνω παραγόντων γεγονός



που μας επιτρέπει να θεωρήσουμε ότι είναι δυνατή η καθιέρωση ενός ημίκλειστου συστήματος καλλιέργειας έτσι ώστε να εξασφαλίσουμε τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα στην παραγωγή αλλά και στην προστασία του περιβάλλοντος.

Θα χρειαστούν όμως αρκετές μελέτες ακόμη ώστε να επιτύχουμε τα επιθυμητά αποτελέσματα με την ταυτόχρονη μείωση τόσο του οικονομικού κόστους όσο και της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος.

## Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη.....	6
1 Κεφάλαιο 1, Γενική Εισαγωγή.....	10
1.1 Γενικά.....	11
1.1.1 Ο Κλάδος των Θερμοκηπίων.....	11
1.1.2 Είδη Θερμοκηπίων.....	12
1.2 Υδροπονικές Καλλιέργειες.....	13
1.2.1 Εισαγωγικές Έννοιες.....	13
1.2.2 Οφέλη και Προβλήματα Εφαρμογής της Υδροπονίας.....	14
1.2.3 Συστήματα Υδροπονικών Καλλιεργειών.....	15
1.2.4 Μέθοδοι Υδροπονικών Καλλιεργειών.....	16
1.3 Σκοπός της Εργασίας.....	20
2 Κεφάλαιο 2, Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....	21
2.1 Επίδραση της Αλατότητας στην Φωτοσύνθεση.....	22
2.2 Επίδραση της Αλατότητας στις συγκεντρώσεις στοιχείων.....	23
2.3 Μοντελοποίηση της Πρόσληψης $\text{Na}^+$ και $\text{Cl}^-$ στη Τομάτα σε Κλειστό Υδροπονικό Σύστημα.....	24
3 Κεφάλαιο 3, Υλικά και Μέθοδοι.....	26
3.1 Τόπος Διεξαγωγής Πειράματος.....	27
3.2 Το Πειραματικό Θερμοκήπιο.....	27
3.2.1 Αερισμός Θερμοκηπίου.....	27
3.2.2 Θέρμανση Θερμοκηπίου.....	28
3.3 Καλλιέργεια.....	28
3.4 Καλλιεργητικές Φροντίδες.....	29
3.5 Πειραματική εγκατάσταση.....	30

3.6	Το Θρεπτικό Διάλυμα .....	31
3.7	Μετρήσεις.....	32
3.7.1	Φωτοσύνθεση .....	32
3.7.2	Κατανάλωση Νερού και Όγκος Νερού Απορροής.....	33
3.8	Συλλογή και Επεξεργασία Μετρήσεων .....	34
4	Κεφάλαιο 4, Αποτελέσματα και Συζήτηση .....	35
4.1	Επίδραση της Αλατότητας στη Φωτοσυνθετική Λειτουργία των Φυτών στις 3 Μεταχειρίσεις του Υδροπονικού Συστήματος .....	36
4.2	Κατανάλωση Νερού και Συγκεντρώσεις Στοιχείων Θρεπτικού Διαλύματος στις 3 Μεταχειρίσεις του Διαλύματος .....	38
4.3	Μοντελοποίηση Συγκέντρωσης $\text{Na}^+$ .....	45
4.4	Ηλεκτρική αγωγιμότητα θρεπτικού διαλύματος .....	46
5	Κεφάλαιο 5, Συμπεράσματα.....	48
6	Κεφάλαιο 6, Βιβλιογραφία .....	51

## Κεφάλαιο 1, Γενική Εισαγωγή

## 1.1 Γενικά

### 1.1.1 Ο Κλάδος των Θερμοκηπίων

Η πρώτη εμφάνιση του θερμοκηπίου ως καλλιεργητικό εργαλείο τοποθετείται στις αρχές του 16<sup>ου</sup> αιώνα με την κατασκευή ‘χειμωνιάτικων κήπων’ στα σπίτια εύπορων, προορισμένων να εγκλιματίσουν τα φυτά που έρχονταν από τις τροπικές χώρες.

Τις τελευταίες δεκαετίες, η εξάπλωση και ανάπτυξη των θερμοκηπίων και καλλιεργειών υπό κάλυψη, κέρδισε και τις μεσογειακές χώρες (Ελλάδα, Ιταλία, Ισπανία, Νότια Γαλλία), στις οποίες εσφαλμένα πίστευαν πως οι ευνοϊκές συνθήκες ηλιοφάνειας και θερμοκρασίας δεν δικαιολογούσαν τέτοια παραγωγικά ‘εργαλεία’.

Παγκόσμια λοιπόν (πλην Κίνας) υπάρχουν 2.500.000 στρ. θερμοκηπίων, από τα οποία τα 650.000 στρ. είναι υαλόφρακτα και τα 1.850.000 στρ. είναι με κάλυψη πλαστικού. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση υπάρχουν 1.200.000 στρ. ή 8% των θερμοκηπιακών εκτάσεων παγκοσμίως, 300,000 από τα οποία είναι υαλόφρακτα. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση η Ολλανδία κατέχει την πρώτη θέση με 33% του συνόλου των υαλόφρακτων θερμοκηπίων και ακολουθούν η Ιταλία με 17%, η Ισπανία με 13%, η Γερμανία με 10% και άλλες χώρες με μικρότερα ποσοστά. Στα καλυμμένα με πλαστικό θερμοκήπια, η Ισπανία κατέχει την πρώτη θέση με 59% του συνόλου και ακολουθεί η Ιταλία με 26%, η Γαλλία με 6%, η Ελλάδα με 4,5% και οι άλλες χώρες με μικρότερα ποσοστά. Θα πρέπει να σημειώσουμε ότι η Ελλάδα στο γενικό σύνολο κατέχει μόλις την 7<sup>η</sup> θέση, ενώ έχει πολύ ευνοϊκές εδαφοκλιματικές συνθήκες για την παραγωγή θερμοκηπιακών προϊόντων. (Μαυρογιαννόπουλος, 2005)

Ο κλάδος των θερμοκηπίων στην Ελλάδα αποτελεί έναν από τους δυναμικότερους κλάδους της γεωργίας, παρόλο που ο μεγάλος όγκος των θερμοκηπιακών επιχειρήσεων τεχνολογικά δεν βρίσκεται ακόμα σε υψηλό επίπεδο. Οι πρώτες συστηματικές εγκαταστάσεις θερμοκηπίων ξεκίνησαν το 1955 και αποτελούνταν από υαλόφρακτα θερμοκήπια για παραγωγή καλλωπιστικών φυτών. Η σημαντική όμως εξάπλωση τους αρχίζει μετά το 1961, με την χρήση του πλαστικού φύλλου πολυαιθυλενίου ως υλικό κάλυψης των θερμοκηπίων. Η ευκολία προσαρμογής του υλικού αυτού σε οποιοδήποτε σχήμα σκελετού και η χαμηλή του τιμή επέτρεψαν τους καλλιεργητές να κατασκευάσουν μόνοι τους θερμοκήπια για παραγωγή πρώιμων κηπευτικών, χωρίς να χρειάζονται μεγάλα κεφάλαια.

Θα πρέπει να επισημανθεί ότι τα προϊόντα θερμοκηπίου που παράγονται στη χώρα μας, αποτελούν περισσότερο συμπλήρωμα των καλλιεργειών του ανοιχτού αγρού, παρά ανταγωνιστικά. Όμως ο μεγάλος όγκος των κηπευτικών προϊόντων θερμοκηπίου που παράγονται στις βορειο-ευρωπαϊκές χώρες, συμπίπτει χρονικά περισσότερο με τις αντίστοιχες καλλιέργειες ανοιχτού αγρού που παράγονται στη χώρα μας και λιγότερο με τις καλλιέργειες θερμοκηπίου. Επομένως, δεν υπάρχει στις

αγορές της Βόρεια Ευρώπης πρόβλημα ανταγωνισμού μεταξύ των δικών τους προϊόντων και των ελληνικών θερμοκηπιακών προϊόντων.

Η Ελλάδα διαθέτει σημαντικούς παράγοντες που συντελούν στην αύξηση των θερμοκηπιακών εκτάσεων μερικοί από τους οποίους είναι:

- οι πολύ καλές εδαφοκλιματικές συνθήκες της χώρας
- η αύξηση της ζήτησης των θερμοκηπιακών προϊόντων στην εσωτερική αγορά
- η γεωργική πολιτική του κράτους που ενθάρρυνε την προώθηση των θερμοκηπιακών καλλιεργειών με τη θέσπιση οικονομικών κινήτρων
- οι διάφοροι τύποι ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που είναι διαθέσιμες στη χώρα και μπορούν να αντικαταστήσουν τα συμβατικά καύσιμα
- και η εύκολη πρόσβαση στις αγορές της Ευρώπης και της Ασίας λόγω της γεωγραφικής της θέσης.

Η αύξηση της ανταγωνιστικότητας επίσης μπορεί να επιτευχθεί με την εφαρμογή της υδροπονικής καλλιέργειας. Η υδροπονική καλλιέργεια είναι μια διαρκώς επεκτεινόμενη δραστηριότητα, διότι με τη βελτιστοποίηση του περιβάλλοντος της ρίζας που επιτυγχάνει αυξάνονται οι αποδόσεις των φυτών και βελτιώνεται η ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων. Εκτός αυτών παρέχει τη δυνατότητα να καλλιεργηθούν φυτά σε περιοχές με πολύ κακής ποιότητας εδάφη ή σε θέσεις χωρίς καθόλου φυσικό έδαφος.

### **1.1.2 Είδη Θερμοκηπίων**

Θερμοκήπιο είναι μια κατασκευή, η οποία καλύπτεται με διαφανές υλικό, ώστε να είναι δυνατή η είσοδος όσο το δυνατόν περισσότερου φυσικού φωτισμού, πού είναι απαραίτητος στην ανάπτυξη των φυτών.

Τα θερμοκήπια διαφέρουν μεταξύ τους, από κατασκευαστικής πλευράς, στο σχήμα και στις διαστάσεις της βασικής τους μονάδας καθώς και στα υλικά σκελετού και κάλυψης.

Ανάλογα με το σχήμα τους διακρίνονται στους ακόλουθους τύπους:

- Αμφικλινές απλό- πολλαπλό
- Τοξωτό
- Ετεροκλινές

- Τροποποιημένο τοξωτό

Μπορεί να είναι εξοπλισμένα με συμβατικό σύστημα θέρμανσης ή όχι. Διαφέρουν από άλλες παρόμοιες κατασκευές, όπως τα χαμηλά σκέπαστρα, τα σπορεία και τα θερμοσπορεία, στο ότι είναι αρκετά υψηλά και ευρύχωρα, έτσι ώστε να μπορεί ο άνθρωπος να εργάζεται μέσα σε αυτά.

Σε κάποια θερμοκήπια γίνεται μια απλή τροποποίηση του περιβάλλοντος των φυτών μόνο με την κατασκευή, χωρίς εξειδικευμένο εξοπλισμό. Σε άλλα θερμοκήπια γίνεται ακριβής ρύθμιση των παραγόντων του περιβάλλοντος των φυτών, με εξειδικευμένο εξοπλισμό για κάθε περίπτωση και μπορούν να επιτύχουν:

- Τον χρονικό προγραμματισμό της παραγωγής, ανεξάρτητα από τις εξωτερικές καιρικές συνθήκες,
- Την αύξηση της παραγωγής και την βελτίωση της ποιότητας, λόγω της βελτίωσης των συνθηκών του περιβάλλοντος και της προστασίας που προσφέρει το θερμοκήπιο από αντίξοα καιρικά φαινόμενα.

Επίσης, ένα σύγχρονο θερμοκήπιο θα πρέπει να παρέχει τη δυνατότητα για την παραγωγή φυτικών προϊόντων με το μικρότερο δυνατό κόστος.

## **1.2 Υδροπονικές Καλλιέργειες**

### **1.2.1 Εισαγωγικές Έννοιες**

Με την ευρεία έννοια του όρου, υδροπονία ή χωρίς έδαφος καλλιέργεια είναι η χρήση οποιασδήποτε μεθόδου καλλιέργειας φυτών που δεν έχει σχέση με το φυσικό έδαφος ή με ειδικά μείγματα εδάφους. Αναφέρεται μερικές φορές και ως τεχνητή καλλιέργεια και ανέδαφος γεωργία. Ο τελευταίος όρος χρησιμοποιείται ιδιαίτερα, όταν χρησιμοποιούνται οργανικά ή άλλα μη αδρανή υποστρώματα.

Με τη μέθοδο της υδροπονίας τα φυτά καλλιεργούνται είτε πάνω σε πορώδη αδρανή υποστρώματα στα οποία προστίθεται θρεπτικό διάλυμα ή σε σκέτο θρεπτικό διάλυμα.

Τα *υποστρώματα* είναι πορώδη υλικά τα οποία δημιουργούν το χώρο που αναπτύσσεται η ρίζα και επηρεάζουν άμεσα τους παράγοντες του περιβάλλοντος των ριζών. Θα πρέπει να επιτρέπουν την άφθονη ροή:

- του νερού,
- των ανόργανων θρεπτικών στοιχείων,
- του οξυγόνου στο ριζικό σύστημα και

- την απομάκρυνση του CO<sub>2</sub> και άλλων αερίων από το ριζικό σύστημα.

Επίσης ένα κατάλληλο υπόστρωμα θα πρέπει να είναι απαλλαγμένο από παθογόνους μικροοργανισμούς, να έχει χαμηλό κόστος και μεγάλο χρόνο ωφέλιμης χρήσης.

Τα υποστρώματα διακρίνονται σε:

- ανόργανα πορώδη υποστρώματα και
- οργανικά πορώδη υποστρώματα.

Το *θρεπτικό διάλυμα* είναι ένα αραιό υδατικό διάλυμα όλων των θρεπτικών στοιχείων που είναι απαραίτητα για τα φυτά στη σωστή τους συγκέντρωση και τη σωστή τους αναλογία. Τα θρεπτικά στοιχεία βρίσκονται διαλυμένα στο νερό και μπορούν να οδηγηθούν κατευθείαν στη ρίζα των φυτών.

### 1.2.2 Οφέλη και Προβλήματα Εφαρμογής της Υδροπονίας

Η υδροπονική καλλιέργεια είναι μια διαρκώς επεκτεινόμενη δραστηριότητα διότι:

- Επιτυγχάνει βελτιστοποίηση του περιβάλλοντος της ρίζας με αποτέλεσμα την αύξηση της απόδοσης των φυτών και την βελτίωση της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων,
- Παρέχει τη δυνατότητα να καλλιεργηθούν φυτά σε περιοχές με πού κακής ποιότητας εδάφη ή σε θέσεις χωρίς καθόλου φυσικό έδαφος,
- Επιτυγχάνει την απαλλαγή των φυτών από ασθένειες εδάφους και επομένως αποφυγή του κόστους απολύμανσης,
- Έχουμε εξοικονόμηση νερού και θρεπτικών στοιχείων, διότι περιορίζονται οι απώλειες από επιφανειακές διαρροές και βαθιά διείσδυση του νερού στο έδαφος,
- Αποφεύγεται η ρύπανση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα με λιπαντικά στοιχεία,
- Η ρύθμιση του περιβάλλοντος της ρίζας είναι ευκολότερη,
- Δημιουργείται πιο ευχάριστο περιβάλλον για τους εργαζόμενους (απουσία οσμών και σκόνης με την απομόνωση του εδάφους),
- Περιορίζεται η σκληρή χειρονακτική εργασία, όπως η κατεργασία εδάφους,
- Απλοποιείται το πρόγραμμα εργασιών της παραγωγικής επιχείρησης.



Παρόλα αυτά οι υδροπονικές καλλιέργειες παρουσιάζουν και μειονεκτήματα. Τα σημαντικότερα από αυτά είναι τα εξής:

- Είναι σχετικά ευαίσθητα συστήματα καλλιέργειας και δεν έχουν μεγάλες ανοχές λαθών,
- Απαιτούν εξειδικευμένες γνώσεις από τον καλλιεργητή,
- Απαιτούν μεγάλο βαθμό τεχνικής επιδεξιότητας και καλή γνώση των επιπτώσεων των παραγόντων του περιβάλλοντος στην ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών.

### 1.2.3 Συστήματα Υδροπονικών Καλλιεργειών

Στις υδροπονικές καλλιέργειες χρησιμοποιούνται δυο συστήματα τα οποία αφορούν τη διάθεση του θρεπτικού διαλύματος στα φυτά. Υπάρχουν:

1. Τα ανοιχτά συστήματα και
2. Τα κλειστά συστήματα.

Στα ανοιχτά συστήματα το θρεπτικό διάλυμα που στραγγίζει μετά την τροφοδοσία των φυτών απορρίπτεται. Τα συστήματα αυτά είναι εύκολο να τα διαχειριστεί κανείς, γιατί το περιβάλλον της ρίζας επηρεάζεται περισσότερο από τη σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος με το οποίο τροφοδοτούνται. Οποιαδήποτε υπερβολική συγκέντρωση κάποιου ιόντος υπάρξει στην περιοχή της ρίζας, λόγω μειωμένης απορρόφησης, θα παρασυρθεί με το νερό της στράγγισης και θα απομακρυνθεί από το περιβάλλον της ρίζας.

Σχεδόν σε όλα τα ανοιχτά συστήματα χρησιμοποιείται πορώδες υπόστρωμα για την καλλιέργεια και η ροή του θρεπτικού διαλύματος στη ρίζα είναι ασυνεχής. Στην περιοχή της ρίζας συνήθως επικρατεί υψηλότερη συγκέντρωση ιόντων από ότι στο διάλυμα τροφοδοσίας, γιατί συνήθως ο ρυθμός απορρόφησης νερού είναι μεγαλύτερος από το ρυθμό απορρόφησης ιόντων.

Στα κλειστά συστήματα το θρεπτικό διάλυμα οδηγείται με το σύστημα άρδευσης στα φυτά και αυτό που στραγγίζει από το περιβάλλον της ρίζας τους οδηγείται πίσω στη δεξαμενή, διορθώνεται ως προς το pH και την ηλεκτρική αγωγιμότητα και ξαναχρησιμοποιείται για την τροφοδοσία των φυτών. Ανά τακτά χρονικά διαστήματα το διάλυμα αυτό πρέπει να διορθώνεται ως προς τη σωστή αναλογία των ιόντων του.

Στα κλειστά συστήματα όλα τα ιόντα που προσφέρονται με το θρεπτικό διάλυμα ή απορροφώνται από το ριζικό σύστημα των φυτών ή παραμένουν στο διάλυμα και αυξάνουν συνεχώς την αλατότητα του. Γι' αυτό σε αυτά τα συστήματα απαιτείται

καλύτερης ποιότητας νερό από ότι στα ανοιχτά, γιατί τα άχρηστα ιόντα που πιθανόν περιέχει το νερό, όπως το Na, δεν απορρίπτονται αλλά συσσωρεύονται στο διάλυμα. Για τον ίδιο λόγο η καθαρότητα των λιπασμάτων και η παρασκευή των διαλυμάτων χρειάζεται μεγαλύτερη προσοχή. Λόγω της πιθανής συσσώρευσης ιόντων στο διάλυμα, στα κλειστά συστήματα απαιτείται να γίνονται συχνότερες χημικές αναλύσεις του θρεπτικού διαλύματος. Αν η συγκέντρωση μη χρήσιμων ιόντων είναι μεγάλη, ένα μέρος ή το σύνολο του θρεπτικού διαλύματος απορρίπτεται.

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί πορώδες υπόστρωμα ή όχι. Όταν χρησιμοποιείται πορώδες υπόστρωμα, η ροή του θρεπτικού διαλύματος είναι συνήθως ασυνεχής, γιατί το υπόστρωμα παίζει το ρόλο μικρής δεξαμενής θρεπτικού διαλύματος για τη ρίζα. Όταν δεν χρησιμοποιείται πορώδες υπόστρωμα, τότε η ροή του θρεπτικού διαλύματος στη ρίζα είναι συνήθως συνεχής.

Γενικά στα κλειστά συστήματα ο ρυθμός ροής του θρεπτικού διαλύματος είναι μεγάλος και έτσι δεν παρουσιάζεται συνήθως έλλειψη θρεπτικών στοιχείων στο ριζικό σύστημα.

#### **1.2.4 Μέθοδοι Υδροπονικών Καλλιιεργειών**

Η ανάπτυξη των φυτών έξω από το φυσικό έδαφος δημιουργεί την ανάγκη να δημιουργηθεί ένα τεχνητό ελεγχόμενο περιβάλλον στην περιοχή της ρίζας. Ανάλογα με την τεχνολογία και τα υλικά που χρησιμοποιούνται γι' αυτό το σκοπό οι υδροπονικές καλλιέργειες μπορούν να ταξινομηθούν σε διάφορες μεθόδους.

Ανάλογα με υλικά που χρησιμοποιούνται μπορούν να ταξινομηθούν στις εξής κατηγορίες:

**A. Καλλιέργειες σε ανόργανα πορώδη υποστρώματα**

**B. Καλλιέργειες σε οργανικά πορώδη υποστρώματα**

**Γ. Καλλιέργειες χωρίς πορώδη υποστρώματα**

**A. Καλλιέργειες σε ανόργανα πορώδη υποστρώματα.**

- Καλλιέργεια σε ορυκτοβάμβακα

Ο ορυκτοβάμβακας είναι διογκωμένο ανόργανο υλικό. Οι πρώτες ύλες από τις οποίες γίνεται είναι ο βασάλτης, ασβεστόλιθος και γαιάνθρακας. Στην αρχή της καλλιέργειας αντιδρά αλκαλικά. Το pH του είναι περίπου 7 και παρουσιάζει πολύ χαμηλή ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα.

Η καλλιέργεια σε ορυκτοβάμβακα μπορεί να γίνει με κλειστό ή ανοιχτό σύστημα. ο ορυκτοβάμβακας χρησιμοποιείται για 1 έως 3 χρόνια και μετά πρέπει να ανακυκλώνεται.

- Καλλιέργεια σε σάκους με περλίτη

ο περλίτης είναι ορυκτό, αργιλοπυριτικό, ηφαιστειογενούς προέλευσης με 3-4% κρυσταλλικό νερό. Έχει υψηλό πορώδες 65-82%, αλλά ένα μέρος του είναι κλειστό πορώδες. Το pH στην αρχή είναι 6,5-7,5, δεν έχει σημαντική ρυθμιστική ούτε και εναλλακτική ικανότητα ιόντων και δεν περιέχει άλατα.

Η διαμόρφωση της καλλιέργειας μπορεί να γίνει όπως στον ορυκτοβάμβακα. Και με αυτή τη μέθοδο η καλλιέργεια μπορεί να γίνει με ανοιχτό ή κλειστό σύστημα.

- Καλλιέργεια φυτών σε κατακόρυφη στήλη

Το σύστημα κατακόρυφης καλλιέργειας δημιουργείται με κρεμάμενους σάκους ή με υποστηριζόμενους πλαστικούς σωλήνες είτε με κιβώτια που τοποθετούνται κατακόρυφα. Ως πορώδες υπόστρωμα χρησιμοποιείται συνήθως περλίτης ή κάποιο μείγμα περλίτη και οργανικού υλικού.

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται συνήθως για μικρού ύψους φυτά όπως η φράουλα.

- Καλλιέργεια σε σάκους με ελαφρόπετρα

Η ελαφρόπετρα χαρακτηρίζεται από πορώδη δομή, έχει pH σχεδόν ουδέτερο και χαμηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα.

Η καλλιέργεια γίνεται όπως και στον περλίτη, σε σάκους, δοχεία και σε υπερυψωμένα κανάλια καλλιέργειας.

Άλλες μέθοδοι με ανόργανα πορώδη υποστρώματα είναι οι:

- Καλλιέργεια σε άμμο
- Καλλιέργεια σε λεκάνες με χαλίκια
- Καλλιέργεια σε βερμικουλίτη

## **B. Καλλιέργειες σε οργανικά πορώδη υποστρώματα.**

Το σύστημα που χρησιμοποιείται συνήθως στα οργανικά υποστρώματα είναι το ανοιχτό σύστημα.

- Καλλιέργεια σε σάκους τύρφης

Η τύρφη είναι οργανικό υλικό που αποτελείται από μερικώς αποδομημένα υπολείμματα φυτών. Οι φυσικές και χημικές ιδιότητες της τύρφης την κάνουν ένα πολύ κατάλληλο υπόστρωμα για την ανάπτυξη των φυτών.

Η καλλιέργεια γίνεται σε σάκους γεμάτους τύρφη που έχουν εμπλουτισθεί με βραδείας λιπάσματα. Απαιτείται όμως και πρόσθετη χρήση διαλυτών λιπασμάτων, καθώς και ιχνοστοιχείων κατά το πότισμα.

Η μέθοδος αυτή σήμερα εγκαταλείπεται, γιατί παρουσιάζει συχνά προβλήματα στην άρδευση.

- Καλλιέργεια σε ίνες καρύδας

Είναι οργανικό υλικό που προέρχεται από τους καρπούς της καρύδας. Το υπόστρωμα παρουσιάζει σταθερότητα και πολύ ευνοϊκό περιβάλλον για την ανάπτυξη της ρίζας. Έχει υψηλό πορώδες και pH που κυμαίνεται από 5 έως 6.

Σήμερα χρησιμοποιείται ευρύτατα για την αντικατάσταση της τύρφης. Η καλλιέργεια γίνεται σε σάκους ή σε δοχεία.

Άλλες μέθοδοι με οργανικά πορώδη υποστρώματα είναι:

- Καλλιέργεια σε λέπυρα ρυζιού
- Καλλιέργεια σε δεμάτια άχυρου
- Καλλιέργεια σε ζυμωμένο φλοιό κωνοφόρων

## **Γ. Μέθοδοι καλλιέργειας χωρίς πορώδη υποστρώματα.**

Συνήθως αυτές οι μέθοδοι δεν προτιμούνται για καλλιέργειες μεγάλης διάρκειας, όπως η τριανταφυλλιά, αλλά για καλλιέργειες μικρότερης διάρκειας όπως το μαρούλι και το χρυσάνθεμο.

- Καλλιέργεια σε μεμβράνη θρεπτικού διαλύματος (NFT)

Με τη μέθοδο αυτή τα φυτά αναπτύσσονται σε μακριά αδιάβροχα κανάλια όπου ρέει ένα πολύ ρηχό ρεύμα ανακυκλούμενου θρεπτικού διαλύματος. Η ρίζα αναπτύσσεται επάνω στο θρεπτικό διάλυμα, χωρίς να υπάρχει κανένα πορώδες υπόστρωμα.

- Καλλιέργεια σε πολλαπλά κανάλια (NGS)

Με τη μέθοδο αυτή τα φυτά αναπτύσσονται σε μακριά αδιάβροχα κανάλια κατασκευασμένα από πλαστικό φύλλο. Το κάθε κανάλι αποτελείται από τρία τουλάχιστον διαμερίσματα τα οποία επικοινωνούν μεταξύ τους με μεγάλες οπές. Το θρεπτικό διάλυμα ψεκάζεται στη ρίζα με μικρούς ψεκαστές, στο επάνω διαμέρισμα όπου είναι τοποθετημένο το φυτό.

- Καλλιέργεια σε λεκάνες θρεπτικού διαλύματος

Τα φυτά αναπτύσσονται σε λεκάνες συνεχώς γεμάτες με θρεπτικό διάλυμα, με τη ρίζα τους συνεχώς εμβαπτισμένη στο διάλυμα. Τα φυτά συνήθως τοποθετούνται σε πλάκες πολυστερίνης στις οποίες έχουν διανοιχτεί οπές για να περάσουν οι ρίζες.

- Καλλιέργεια με τη μέθοδο της αεροπονίας

Είναι ένα κλειστό σύστημα, όπου τα φυτά αναπτύσσονται σε μακριά αδιάβροχα κανάλια σταθερού σχήματος. Το ριζικό σύστημα των φυτών δε βρίσκεται συνεχώς μέσα στο θρεπτικό διάλυμα, αλλά κρέμεται μέσα στο κανάλι και ψεκάζεται συνεχώς με θρεπτικό διάλυμα. Με το σύστημα αυτό γίνεται άριστη στράγγιση του πλεονάζοντος διαλύματος και επομένως πολύ καλή οξυγόνωση της ρίζας.

### **1.3 Σκοπός της Εργασίας**

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη μιας μεθόδου που αναπτύχθηκε, για τη διαχείριση των απορροών σε ημίκλειστα υδροπονικά συστήματα, βασιζόμενη στο ισοζύγιο μάζας  $\text{Na}^+$  και στη κατανάλωση νερού των φυτών. Για να δοκιμαστεί το σύστημα σε διαφορετικές περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκαν τρία υδροπονικά συστήματα, το ανοιχτό, το ημίκλειστο με όριο αποστράγγισης 30% και το ημίκλειστο με όριο αποστράγγισης 60%.

Απαραίτητο στοιχείο αυτής της μελέτης βεβαίως αποτελεί η σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ των παραπάνω υδροπονικών συστημάτων.

Το Κεφάλαιο 1 απαρτίζεται από μια γενική εισαγωγή για τον κλάδο των θερμοκηπίων τόσο στην Ελλάδα όσο και στον υπόλοιπο κόσμο, τους τύπους των θερμοκηπίων καθώς επίσης και τα προβλήματα των θερμοκηπιακών καλλιέργειών στην Ελλάδα. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στην υδροπονική καλλιέργεια, στα συστήματα και στις μεθόδους της που εφαρμόζονται σήμερα αλλά και στα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αυτού του τρόπου καλλιέργειας.

Στο Κεφάλαιο 2 γίνεται μια βιβλιογραφική ανασκόπηση σύμφωνα με διεθνείς έρευνες σχετικά με την επίδραση της αλατότητας στη φωτοσύνθεση και στις συγκεντρώσεις φυτών όπως επίσης και στη μοντελοποίηση της πρόσληψης  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$  στη τομάτα σε κλειστό υδροπονικό σύστημα.

Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται όλα τα υλικά και οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για τη διεξαγωγή του πειράματος.

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται όλα τα αποτελέσματα του πειράματος, η ανάλυση και ο σχολιασμός τους.

Και τέλος, το Κεφάλαιο 5 αποτελείται από τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τα αποτελέσματα του πειράματος.

## **Κεφάλαιο 2, Βιβλιογραφική Ανασκόπηση**

## **2.1 Επίδραση της Αλατότητας στην Φωτοσύνθεση.**

Σύμφωνα με μελέτες, η αλατότητα επηρεάζει αρνητικά την διαδικασία της φωτοσύνθεσης καθώς και παράγοντες που συνδέονται με αυτή.

Συγκεκριμένα η αυξημένη αλατότητα οδηγεί σε περιορισμό της φωτοσύνθεσης που προκύπτει από το μερικό κλείσιμο των στομάτων (Yeo *et al.*, 1985; Pasternak, 1987).

Οι Lycoskoufis *et al.* (2005) πραγματοποίησαν ένα πείραμα για την μελέτη της επίδρασης της αλατότητας σε φυτά πιπεριάς σύμφωνα με 3 διαφορετικές μεταχειρίσεις. Συγκεκριμένα στην πρώτη μεταχείριση χρησιμοποιήθηκε ένα πρότυπο θρεπτικό διάλυμα ( $EC=1.9 \text{ dS m}^{-1}$ ), στην δεύτερη προστέθηκαν 60 mM Cl στο πρότυπο θρεπτικό διάλυμα ( $EC=8 \text{ dS m}^{-1}$ ) και εφαρμόστηκε σε ολόκληρο το ριζικό σύστημα ενώ στην τρίτη ( $EC=8 \text{ dS m}^{-1}$ ) εφαρμόστηκε μόνο στο μισό κομμάτι.

Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι η χλωροφύλλη ανά μονάδα νωπού βάρους φύλλων μειώθηκε με την αύξηση της αλατότητας και κυρίως όταν εφαρμόστηκε σε ολόκληρο το ριζικό σύστημα. Επίσης παρατηρήθηκε ότι με την αυξημένη αλατότητα μειώνεται η δυνατότητα του φυτού να παρέχει  $CO_2$  στην φωτοσυνθετική διεργασία.

Επιπλέον μειώθηκε η στοματική αγωγιμότητα αλλά και η διαπνοή των φύλλων με συνέπεια τον περιορισμό της καθαρής φωτοσύνθεσης.

Η μακρόχρονη έκθεση στην αλατότητα μπορεί να περιορίσει την ανάπτυξη των φυτών εξαιτίας της αναστολής της φωτοσύνθεσης σε χλωροπλαστικό επίπεδο (Bethke and Drew, 1992).

Η αλατότητα μπορεί να περιορίσει την καθαρή φωτοσύνθεση είτε εξαιτίας των περιορισμών στην παροχή  $CO_2$  λόγω του μερικού κλεισίματος των στομάτων είτε αποδυναμώνοντας τον βιοχημικό μηχανισμό δέσμευσης  $CO_2$  είτε εξαιτίας και των δύο διαδικασιών (Greenway and Munns, 1980; Seemann and Critchley, 1985).



## **2.2 Επίδραση της Αλατότητας στις συγκεντρώσεις στοιχείων.**

Η συσσώρευση αλάτων στο θρεπτικό διάλυμα μπορεί σύμφωνα με μελέτες να επηρεάσει δυσμενώς τις συγκεντρώσεις διάφορων στοιχείων στα φυτικά όργανα.

Η υψηλή συγκέντρωση NaCl επηρεάζει την μεταφορά ιόντων κατά μήκος της πλασμόκαψας των κυττάρων της ρίζας μέσω της διάρρηξης των κυτταρικών μεμβρανών (Alleva *et al.*, 2006). Επίσης αυξάνει την συσσώρευση των ιόντων Na<sup>+</sup> και Cl<sup>-</sup> ενώ ταυτόχρονα μειώνει την συσσώρευση K<sup>+</sup> (όπως μελετήθηκε σε βλαστικούς σπόρους σιταριού) (Al Karaki, 2000).

Η υψηλή αλατότητα επηρεάζει αρνητικά και τα μικροθρεπτικά στοιχεία των ιστών, Fe, B, Zn, Mn, Cu, όπου παρατηρείται μείωση τους κυρίως στην συγκέντρωση 100 mM NaCl ή και παραπάνω (Shibli *et al.*, 2007).

Σύμφωνα με πείραμα των S.M. Shiyab *et al.* μελετήθηκαν σπορόφυτα τομάτας τα οποία ήρθαν σε επαφή με διαφορετικά επίπεδα αλατότητας τα οποία προκλήθηκαν από τις διαφορετικές περιεκτικότητες NaCl (0.0, 50, 100, 150, 200 mM) στο θρεπτικό διάλυμα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα στοιχεία K, Ca και Fe του βλαστού μειώθηκαν με το αυξανόμενο επίπεδο NaCl.

Επιπλέον στην προαναφερθείσα έρευνα των Lycoskoufis *et al.* (2005) βρέθηκε ότι η συγκέντρωση του Na και Cl στα φύλλα αυξήθηκε όταν εφαρμόστηκε η αλατότητα στο μισό αλλά και στο ολόκληρο ριζικό σύστημα. Επίσης οι συγκεντρώσεις των K και Mg στα φύλλα μειώθηκαν εξαιτίας της έκθεσης στην αλατότητα ενώ η συγκέντρωση του P δεν επηρεάστηκε από αυτή. Τέλος η συγκέντρωση του Ca στα φύλλα μειώθηκε μόνο όταν η αλατότητα εφαρμόστηκε σε ολόκληρο το ριζικό σύστημα ενώ η συγκέντρωση του N μειώθηκε λίγο όταν εφαρμόστηκε σε ένα τμήμα της ρίζας.

### **2.3 Μοντελοποίηση της Πρόσληψης Na<sup>+</sup> και Cl<sup>-</sup> στη Τομάτα σε Κλειστό Υδροπονικό Σύστημα.**

Η μακρόχρονη ανακύκλωση του νερού απορροής στο κλειστό υδροπονικό σύστημα μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τη συσσώρευση ιόντων όπως το Na<sup>+</sup> και το Cl<sup>-</sup> στο ανακυκλωμένο θρεπτικό διάλυμα τα οποία προέρχονται από το νερό άρδευσης (Stanghellini *et al.*, 2005).

Για να αποφευχθεί η ανεπιθύμητη αύξηση αυτών των ιόντων στο περιβάλλον της ριζόσφαιρας, οι καλλιεργητές θα πρέπει να ανοίγουν περιοδικά το σύστημα (Carnassi *et al.*, 2007), έχοντας ως αποτέλεσμα τη μείωση της αποτελεσματικότητας της ανακύκλωσης όσον αφορά τη χρήση νερού και λιπασμάτων.

Για αυτόν τον λόγο αναπτύχθηκαν μοντέλα με στόχο την ορθή αυτοματοποιημένη διαχείριση της διαδικασίας ανακύκλωσης τα οποία βασίζονται στο συσχετισμό μεταξύ των συγκεντρώσεων των συσσωρευμένων ιόντων στο περιβάλλον της ρίζας και των αναλογιών πρόσληψης των αντίστοιχων ιόντων που υπάρχουν στο νερό άρδευσης (Savvas *et al.*, 2008).

Το πρόβλημα της αλατότητας στα κλειστά υδροπονικά συστήματα προέρχεται κυρίως από τη συσσώρευση του Na και Cl και επομένως οι έρευνες έχουν επικεντρωθεί στις αναλογίες πρόσληψης τους (Massa *et al.*, 2008).

Οι Sonneveld *et al.* (2009) εγκατέστησαν ένα μοντέλο συσχετισμού μεταξύ των συγκεντρώσεων του Na και Cl στο περιβάλλον της ρίζας και των αντίστοιχων ιόντων στο νερό άρδευσης που προσλαμβάνουν τα φυτά. Οι Massa *et al.* (2008) έδειξαν ότι για τα τριαντάφυλλα αυτοί οι συσχετισμοί επηρεάζονται από το στάδιο ανάπτυξης του φυτού.

Οι Savvas *et al.* (2005, 2007, 2008) εγκατέστησαν παρόμοια μοντέλα συσχετισμού για το αγγούρι, το φασόλι και την πιπεριά αλλά αυτά βασίστηκαν μόνο σε δεδομένα που προήλθαν από το τελευταίο στάδιο ανάπτυξης των φυτών, όταν οι καλλιέργειες βρίσκονταν στο στάδιο παραγωγής.

Οι Carnassi *et al.* (2005) χρησιμοποίησαν μια γραμμική σχέση για να περιγράψουν τη συγκέντρωση πρόσληψης Na<sup>+</sup> ως συνάρτηση της συγκέντρωσης Na<sup>+</sup> στο περιβάλλον της ρίζας σε υδροπονική καλλιέργεια τομάτας. Αντιθέτως οι Sonneveld *et al.* (1999) και οι Savvas *et al.* (2007) έδειξαν ότι για αρκετές καλλιέργειες αυτή η σχέση μπορεί να περιγραφεί με περισσότερη ακρίβεια μέσω εκθετικών συναρτήσεων. Επίσης οι Massa *et al.* (2008) βρήκαν μια εκθετική σχέση μεταξύ της συγκέντρωσης πρόσληψης Na<sup>+</sup> και της συγκέντρωσης Na<sup>+</sup> στο ριζικό περιβάλλον φυτών τριανταφυλλιάς.

Όσον αφορά τη τομάτα, οι *H. Varlagas et al.* (2007) πραγματοποίησαν 3 πειράματα με στόχο την εγκατάσταση ενός αξιόπιστου μοντέλου συσχετισμού μεταξύ των αναλογιών πρόσληψης του Na και Cl (που υπάρχουν στο νερό άρδευσης) από τα φυτά και των αντίστοιχων συγκεντρώσεων τους στο περιβάλλον της ρίζας.

Το πρώτο πείραμα έγινε από τον Μάρτιο ως τον Ιούλιο 2007 και στόχος του ήταν η εμπειρική εκτίμηση των παραμέτρων του μοντέλου για τα φυτά τομάτας που καλλιεργήθηκαν σε κλειστό υδροπονικό σύστημα. Το δεύτερο πείραμα έγινε από τον Οκτώβριο του 2007 ως το Μάρτιο του 2008 με σκοπό να αξιολογηθεί αν οι παράμετροι του μοντέλου που εγκαταστάθηκαν στο 1ο πείραμα ίσχυαν για χαμηλό επίπεδο συγκέντρωσης NaCl και για φυτά που καλλιεργήθηκαν σε διαφορετική περίοδο του χρόνου. Το 3ο πείραμα έγινε από τον Απρίλιο ως τον Ιούλιο του 2008 με σκοπό την αξιολόγηση του μοντέλου σε υψηλότερα επίπεδα συγκέντρωσης NaCl.

Αξιολογήθηκαν 2 μοντέλα, το ένα γραμμικό και το άλλο εκθετικό. Το γραμμικό μοντέλο βρέθηκε ακατάλληλο για το Cl<sup>-</sup> ενώ προέβλεψε το Na<sup>+</sup> μόνο σε υψηλές συγκεντρώσεις. Το εκθετικό μοντέλο μπορούσε να προσομοιώσει αποτελεσματικά τη συγκέντρωση πρόσληψης Na<sup>+</sup> για τα επίπεδα του στο ριζικό περιβάλλον κυμαίνοντας από 0,3 ως 170 mol m<sup>-3</sup>. Η εγκυρότητα του εκθετικού μοντέλου ήταν επαρκής για συγκεντρώσεις Cl<sup>-</sup> από 10 ως 150 mol m<sup>-3</sup> στις ρίζες αλλά σε χαμηλότερα επίπεδα απέτυχε να προσομοιώσει αποτελεσματικά τη συγκέντρωση πρόσληψης Cl<sup>-</sup>.

Η αύξηση της συγκέντρωσης του NaCl μέχρι και 19 mol m<sup>-3</sup> στο ανακυκλωμένο θρεπτικό διάλυμα σε κλειστό υδροπονικό σύστημα τομάτας, η οποία θεωρείται η μέγιστη αποδεκτή, θα επιβάλλει συγκεντρώσεις πρόσληψης τόσο υψηλές όσο 0,53 mol m<sup>-3</sup> για το Na και 0,71 mol m<sup>-3</sup> για το Cl.

Αυτά τα νούμερα δείχνουν ότι για μια ολοκληρωμένη ανακύκλωση του νερού απορροής κατά τη διάρκεια καλλιεργητικής περιόδου υδροπονικής τομάτας, η συγκέντρωση NaCl στο νερό άρδευσης δεν πρέπει να ξεπερνά τα 0,53 mol m<sup>-3</sup>.

## **Κεφάλαιο 3, Υλικά και Μέθοδοι**

### **3.1 Τόπος Διεξαγωγής Πειράματος**

Το πείραμα διεξάχθηκε σε ένα από τα θερμοκήπια του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου στο Βελεστίνο, την περίοδο Μάρτιο- Αύγουστο 2012. Απέχει 17 km από τον Βόλο, με υψόμετρο 85 m, γεωγραφικό μήκος 22° 44' και γεωγραφικό πλάτος 39° 22'.

### **3.2 Το Πειραματικό Θερμοκήπιο**

Το πειραματικό θερμοκήπιο είναι κατασκευασμένο από γαλβανισμένο χάλυβα και το υλικό κάλυψής του είναι πλαστικό φύλλο πολυαιθυλενίου. Ο τύπος του θερμοκηπίου είναι τροποποιημένο τοξωτό. Οι διαστάσεις του θερμοκηπίου είναι οι εξής:

- ύψος κορφιά 4.1 m,
- ύψος ορθοστάτη 2.4 m,
- ολικό πλάτος 8 m και
- ολικό μήκος 20 m.

Η καλυμμένη επιφάνεια εδάφους (εμβαδόν) είναι 160 m<sup>2</sup> (20 m \* 8 m) και καταλαμβάνει όγκο 572 m<sup>3</sup>.



Εικόνα 3.1: Το πειραματικό θερμοκήπιο

#### **3.2.1 Αερισμός Θερμοκηπίου**

Ο αερισμός του θερμοκηπίου πραγματοποιείται από πλευρικά παράθυρα κατά μήκος των δύο μεγάλων πλευρών του, σε απόσταση 0.6 m πάνω από το έδαφος με μέγιστη ανοιχτή επιφάνεια των δύο παραθύρων 27m<sup>2</sup> (0,9m \* 15m). Επιπλέον υπάρχει ένα παράθυρο οροφής με μέγιστη ανοιχτή επιφάνεια 18m<sup>2</sup>. Όλα τα παράθυρα του θερμοκηπίου ελέγχονται αυτόματα μέσω αισθητήρων που συνδέονται με ηλεκτρονικό

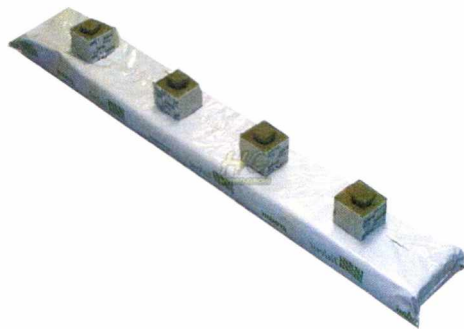
υπολογιστή και ανοίγουν αυτόματα αν η θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου ξεπεράσει τους 21ο C. Επίσης στο εσωτερικό του θερμοκηπίου υπάρχει ένας ανεμιστήρας για τη δημιουργία ομοιόμορφης υγρασίας.

### 3.2.2 Θέρμανση Θερμοκηπίου

Το σύστημα θέρμανσης του θερμοκηπίου αποτελείται από πλαστικούς σωλήνες θέρμανσης (PVC) οι οποίοι είναι τοποθετημένοι πάνω από το έδαφος και δίπλα στο υπόστρωμα των φυτών. Επίσης υπάρχει και ένα αερόθερμο που είναι τοποθετημένο στη βόρεια πλευρά του θερμοκηπίου, 2.6 m πάνω από το έδαφος.

### 3.3 Καλλιέργεια

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε καλλιέργεια τομάτας (*Lycopersicon esculentum*). Τα φυτά αναπτύχθηκαν με τη χρήση υδροπονικής μεθόδου και ως υπόστρωμα χρησιμοποιήθηκαν σάκοι πετροβάμβακα από την εταιρεία Grodan.



Εικόνα 3.2 : Σάκος Πετροβάμβακα

Ο κάθε σάκος του υποστρώματος είχε 1m μήκος, 0.2m πλάτος και 0.075m ύψος. Οι σάκοι του υποστρώματος ήταν τοποθετημένοι 40cm από το έδαφος, πάνω σε μεταλλικά κανάλια.

Η καλλιέργεια αποτελούνταν από τέσσερις διπλές σειρές από τις οποίες οι δύο εξωτερικές γραμμές χρησιμοποιήθηκαν ως μάρτυρες ενώ οι υπόλοιπες έξι για τη μελέτη των διάφορων μεταχειρίσεων.

Η άρδευση των φυτών γινόταν με σταλακτήρες οι οποίοι ελέγχονταν από ηλεκτρονικό υπολογιστή. Για την διαμόρφωση των φυτών εφαρμόστηκε το μονοστέλεχο σύστημα που θεωρείται πιο διαδεδομένο στον κλάδο των θερμοκηπιακών καλλιεργειών.



Εικόνα 3.3 : Διάταξη Πειραματικής Καλλιέργειας

### **3.4 Καλλιεργητικές Φροντίδες**

Για την υποστύλωση των φυτών χρησιμοποιήσαμε σπάγκο και μεταλλικά σύρματα. Τα μεταλλικά σύρματα τοποθετήθηκαν το καθένα οριζοντίως πάνω από κάθε γραμμή. Κάθε φυτό δενόταν με ένα σπάγκο στη βάση του χωρίς να σφίγγει τον κορμό ώστε να αποφεύγονται οι τραυματισμοί. Ο σπάγκος τυλιγόταν γύρω γύρω από το φυτό και το μήκος που περίσσευε τυλιγόταν σε ένα ειδικό κλιπ τύπου «Α» και στερεωνόταν στο μεταλλικό σύρμα. Όταν τα φυτά έφταναν στο ύψος του μεταλλικού σύρματος, τότε ξετυλιγόταν σπάγκος από το ειδικό κλιπ, ώστε το ύψος των φυτών να κατέβει σε χαμηλότερο επίπεδο με σκοπό να διευκολύνονται οι απαραίτητες μετρήσεις και περιποιήσεις.

Επειδή εφαρμόστηκε το μονοστέλεχο σύστημα, ήταν απαραίτητο να γίνεται βλαστολόγημα έτσι ώστε να αφαιρούνται οι πλάγιοι βλαστοί οι οποίοι εκπτύσσονταν από τους οφθαλμούς που βρίσκονται στις μασχάλες των φύλλων. Επίσης εφαρμόστηκε αποφύλλωση στο στάδιο της ωρίμανσης της 1ης ταξικαρπίας. Η αποφύλλωση γινόταν για να επιτραπεί ο καλύτερος φωτισμός των καρπών που βρίσκονται κοντά στο στάδιο της ωρίμανσης. Η διαδικασία επαναλαμβανόταν όταν άρχιζε να ωριμάζει η αμέσως επόμενη ταξικαρπία. Και οι δύο εργασίες γίνονταν χειρωνακτικά. Τέλος λήφθηκαν και κάποια μέτρα φυτοπροστασίας για μυκητολογικές και εντομολογικές ασθένειες.

### 3.5 Πειραματική εγκατάσταση

Το υδροπονικό σύστημα που εγκαταστάθηκε στο πειραματικό θερμοκήπιο αποτελούνταν από:

- τις δεξαμενές άρδευσης που βρισκόταν στη νότια πλευρά,
- τα οχτώ κανάλια με τα φυτά και
- τις δεξαμενές απορροής που βρισκόταν στη βόρεια πλευρά του.

Το κάθε κανάλι αρδευόταν από την δική του δεξαμενή και είχε και τη δική του δεξαμενή απορροής. Οι δύο γραμμές που βρίσκονταν στα δύο άκρα του θερμοκηπίου χρησιμοποιήθηκαν ως μάρτυρες.



Εικόνα 3.4 : Δεξαμενές άρδευσης (αριστερά) και δεξαμενές απορροής (δεξιά)

Δεν εφαρμόστηκε το ίδιο σύστημα για όλα τα κανάλια αλλά εφαρμόστηκαν τρεις διαφορετικές μεταχειρίσεις. Αυτές οι μεταχειρίσεις ήταν οι εξής:

- το ανοιχτό σύστημα, όπου δεν εφαρμόστηκε καθόλου ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος,
- το ημίκλειστο σύστημα, στο οποίο γινόταν ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος μέχρι η συγκέντρωση του  $\text{Na}^+$  να φτάσει τα 15 mmol/L (SC-30%),
- το ημίκλειστο σύστημα, στο οποίο γινόταν ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος μέχρι η συγκέντρωση του  $\text{Na}^+$  να φτάσει τα 25 mmol/L (SC-60%).

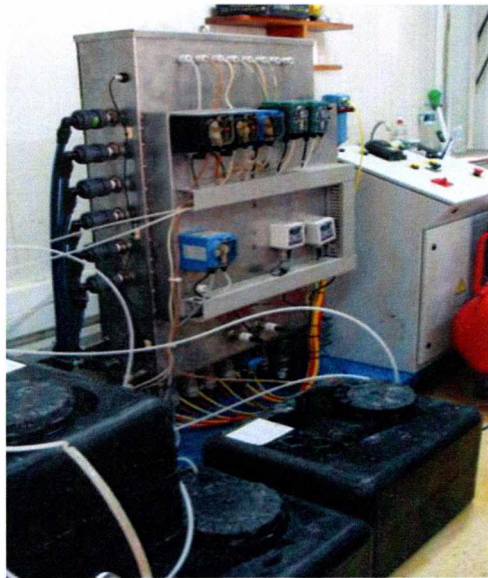


Οι μεταχειρίσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω, είχαν από 2 επαναλήψεις η κάθε μία. Η κάθε γραμμή φυτών ήταν χωρισμένη σε δύο μπλοκ και περιείχε 13 σάκους υποστρώματος πετροβάμβακα οπότε το μήκος της κάθε γραμμής ήταν 13 m. Ο αριθμός των φυτών επί της κάθε γραμμής ήταν 33 και η πυκνότητα φύτευσης 2,5 φυτά/m<sup>2</sup>.

### **3.6 Το Θρεπτικό Διάλυμα**

Για την άρδευση της καλλιέργειας χρησιμοποιήθηκαν σωλήνες Φ20, ένας για κάθε διπλή γραμμή φύτευσης. Οι σωλήνες είχαν ενσωματωμένους σταλακτήρες όπου αντιστοιχούσε ένας σταλακτήρας για κάθε φυτό.

Για τις δύο εξωτερικές γραμμές (μάρτυρες), η παρασκευή και η τροφοδότηση του θρεπτικού διαλύματος στα φυτά γινόταν με μια κεντρική κεφαλή MACQU, ενώ για τις 6 εσωτερικές γραμμές γινόταν με έναν άλλο αυτόματο σύστημα ελέγχου της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) και των στοιχείων που απορροφήθηκαν από τα φυτά. Η άρδευση της καλλιέργειας γινόταν σε διαφορετικούς χρόνους για κάθε γραμμή φύτευσης, ανάλογα με τις ανάγκες της καλλιέργειας.



Εικόνα 3.5 : Σύστημα Παρασκευής και Τροφοδότησης Θρεπτικού Διαλύματος

Composition of water		Quantity	Target value
$E_w$	0.55 dS/m	$E_t$ (total)	2.40 dS/m
Ion	$C_w$	$pH_t$	5.6
$Ca^{2+}$	1.40 mmol/L	[K]	7.30 mmol/L
$Mg^{++}$	1.60 mmol/L	[Ca]	4.30 mmol/L
$K^+$	0.00 mmol/L	[Mg]	2.10 mmol/L
$NH_4^+$	0.00 mmol/L	[NO3]	13.00 mmol/L
$Na^+$	1.10 mmol/L	[NH4]	1.50 mmol/L
$SO_4^{2-}$	0.15 mmol/L	[ $H_2PO_4^-$ ]	1.30 mmol/L
$NO_3^-$	0.10 mmol/L	$C_{NaCl}$	2.00 mmol/L
$H_2PO_4^-$	0.00 mmol/L	$C_{Fe}$	15.00 $\mu$ mol/L
$HCO_3^-$	5.70 mmol/L	$C_{Mn}$	10.00 $\mu$ mol/L
$Cl^-$	1.00 mmol/L	$C_{Zn}$	6.00 $\mu$ mol/L
Fe	0.00 $\mu$ mol/L	$C_{Cu}$	1.20 $\mu$ mol/L
Mn	1.30 $\mu$ mol/L	$C_B$	30.00 $\mu$ mol/L
Zn	1.20 $\mu$ mol/L	$C_{Mo}$	0.50 $\mu$ mol/L
Cu	0.00 $\mu$ mol/L	HNO <sub>2</sub> content	68 (% w/w)
B	0.00 $\mu$ mol/L	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> content	85 (% w/w)
Mo	0.00 $\mu$ mol/L	Fe in Fe chelate	6 (% w/w)

Εικόνα 3.6 Δεξιά: Συγκέντρωση Θρεπτικών στοιχείων στο Νερό, Αριστερά: Συγκέντρωση Θρεπτικών στοιχείων στο Διάλυμα.

### 3.7 Μετρήσεις

#### 3.7.1 Φωτοσύνθεση

Η μέτρηση της φωτοσύνθεσης, της διαπνοής, της στοματικής αγωγιμότητας και της θερμοκρασίας φύλλου έγινε με τη βοήθεια του ενός μηχανήματος με την ονομασία ADC BioScientific LC pro<sup>+</sup>.



Εικόνα 3.7: Συσκευή Μέτρησης Φωτοσύνθεσης

Οι μετρήσεις πραγματοποιούνταν περίπου κάθε 15 ημέρες και επιλέγονταν ημέρες με αρκετή ηλιοφάνεια για να διευκολυνθεί η διαδικασία της μέτρησης. Από κάθε γραμμή επιλέγονταν 10 τυχαία φυτά, δηλαδή 20 σε κάθε μεταχείριση, όπου από το καθένα επιλεγόταν τυχαία ένα πλήρως ανεπτυγμένο φύλλο και τοποθετούνταν μέσα στις σιαγόνες του βραχίονα μέτρησης του μηχανήματος όπου γινόταν η μέτρηση των παραπάνω χαρακτηριστικών. Όταν η τιμή άρχιζε να σταθεροποιείται, τότε γινόταν καταγραφή της στην κάρτα μνήμης μέσω ενός συγκεκριμένου κουμπιού της συσκευής.



Εικόνα 3.8 : Ο Βραχίονας Μέτρησης του Μηχανήματος

### 3.7.2 Κατανάλωση Νερού και Όγκος Νερού Απορροής

Στο συγκεκριμένο πείραμα έπρεπε να γνωρίζουμε τον όγκο του νερού που καταναλωνόταν από τα φυτά, τον όγκο νερού της απορροής και τη σύσταση αυτών των διαλυμάτων. Για να το πετύχουμε αυτό κάθε 15 ημέρες λαμβάναμε τέσσερα δείγματα διαλύματος (100mL το καθένα) από κάθε κανάλι, εκτός των μαρτύρων. Πιο συγκεκριμένα από κάθε κανάλι παίρναμε:

- ένα δείγμα από την δεξαμενή άρδευσης
- δύο δείγματα από τους σάκους πετροβάμβακα, ένα δείγμα από κάθε μπλοκ,
- ένα δείγμα από την δεξαμενή απορροής.

Επιπλέον μετρούσαμε το ύψος του νερού σε κάθε δεξαμενή τη στιγμή που παίρναμε το δείγμα.

Στη συνέχεια αναλύσαμε τα παραπάνω δείγματα στο εργαστήριο με τη βοήθεια χρωματογράφου (HPLC) για τον προσδιορισμό συγκέντρωσης των εξής στοιχείων: F, Cl, Br, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>, SO<sub>4</sub> και με το φλογοφωτόμετρο για τη μέτρηση Na και K.

Επίσης μετρήθηκε το pH και η EC για κάθε δείγμα.

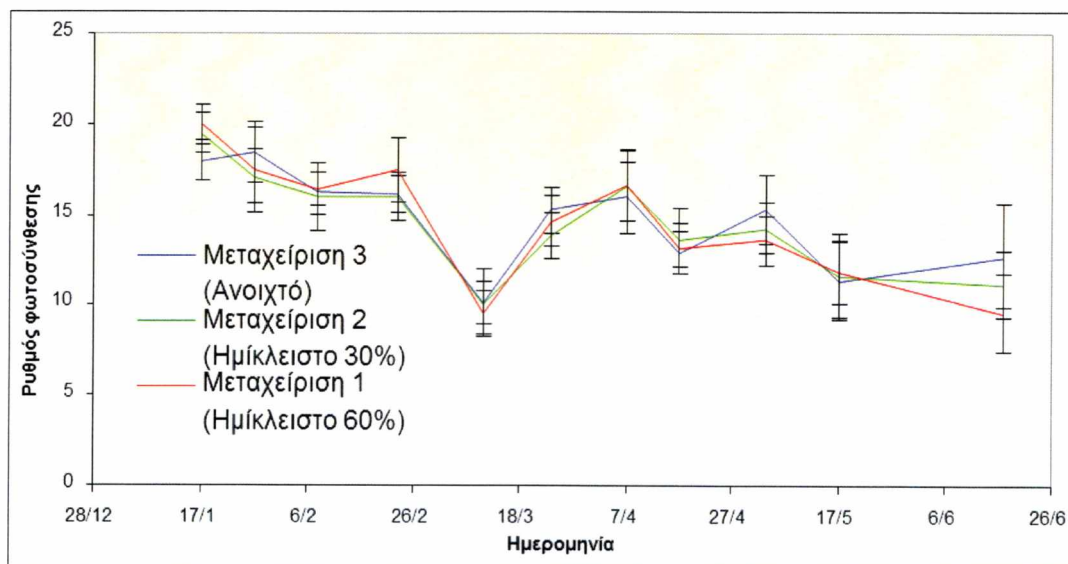
### **3.8 Συλλογή και Επεξεργασία Μετρήσεων**

Όλες οι μετρήσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω αποθηκεύονταν και υπολογίζονταν σε φύλλα του MSExcel.

Η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων που προέκυπταν από το excel έγινε με το στατιστικό πακέτο SPSS αλλά και από το excel. Στο SPSS χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της two-way ANOVA (Analysis of Variance) ώστε να μπορούμε να συγκρίνουμε και να βγάλουμε συμπεράσματα για την επίδραση της κάθε μεταχείρισης στην ανάπτυξη των φυτών.

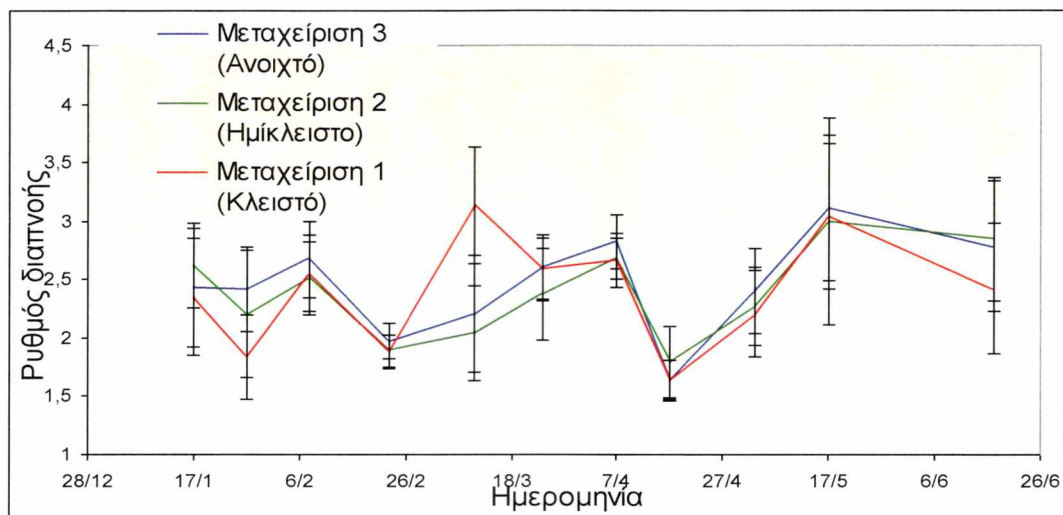
## **Κεφάλαιο 4, Αποτελέσματα και Συζήτηση**

#### 4.1 Επίδραση της Αλατότητας στη Φωτοσυνθετική Λειτουργία των Φυτών στις 3 Μεταχειρίσεις του Υδροπονικού Συστήματος



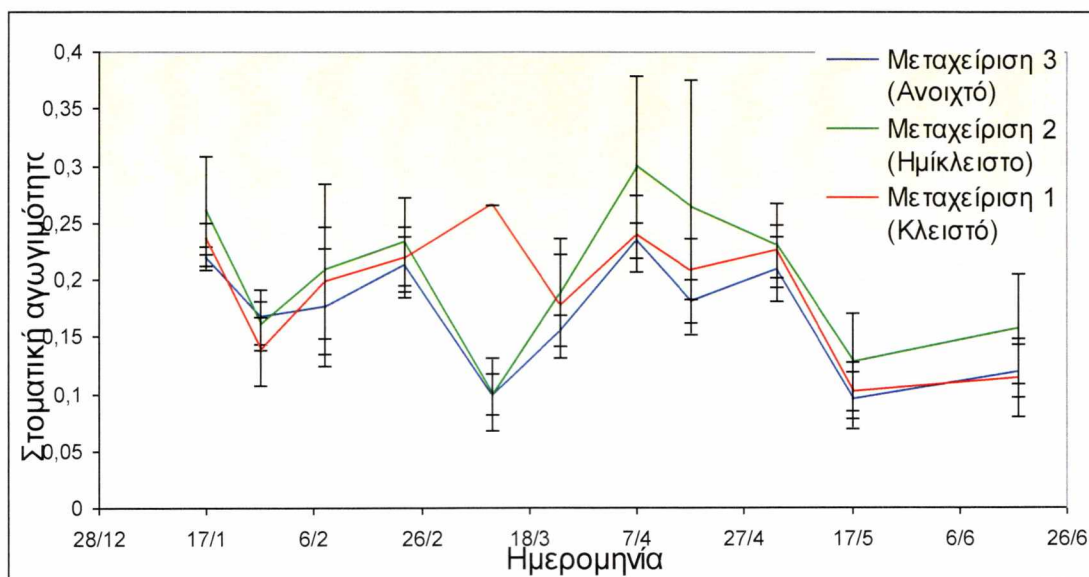
Σχήμα 4.1 Ρυθμός φωτοσύνθεσης για τις τρεις μεταχειρίσεις του υδροπονικού συστήματος

Όπως φαίνεται στο σχήμα 4.1 ο ρυθμός φωτοσύνθεσης ήταν παρόμοιος και για τις τρεις μεταχειρίσεις με εξαίρεση τη τελευταία μέτρηση όπου παρουσιάστηκε χαμηλότερος για τη μεταχείριση 1 σε σχέση με τη μεταχείριση 2 και 3. Ο μέσος όρος του ρυθμού φωτοσύνθεσης ήταν για τη μεταχείριση 1 (SC-60%)  $9,571 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , για τη μεταχείριση 2 (SC-30%)  $11,164 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  και για τη μεταχείριση 3 (ανοιχτό)  $12,707 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Η στατιστική ανάλυση των μετρήσεων έδειξε ότι δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων.



Σχήμα 4.2 Ρυθμός διαπνοής των φυτών για τις τρεις μεταχειρίσεις

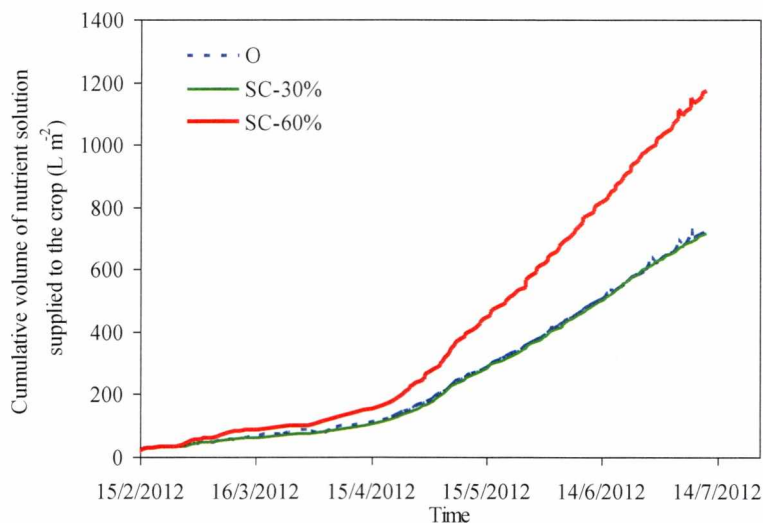
Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα η πορεία του ρυθμού διαπνοής των φυτών είναι παρόμοια και για τις τρεις μεταχειρίσεις. Ο μέσος όρος του ρυθμού διαπνοής ήταν για τη μεταχείριση 1 (SC-60%) 2,39 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, για τη μεταχείριση 2 (SC-30%) 2,38 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> και για τη μεταχείριση 3 (ανοιχτό) 2,46 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. Η στατιστική ανάλυση έδειξε ότι δεν υπήρξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές.



Σχήμα 4.3 Στοματική αγωγιμότητα των φυτών των τριών μεταχειρίσεων

Στο σχήμα 4.3 παρατηρούμε ότι η στοματική αγωγιμότητα των φύλλων είναι παρόμοια και στις τρεις μεταχειρίσεις με εξαίρεση την πέμπτη μέτρηση στην οποία εμφανίστηκε αισθητή διαφορά λόγω πειραματικού σφάλματος.

#### 4.2 Κατανάλωση Νερού και Συγκεντρώσεις Στοιχείων Θρεπτικού Διαλύματος στις 3 Μεταχειρίσεις του Διαλύματος



Σχήμα 4.4 Συνολικός όγκος θρεπτικού διαλύματος που εφαρμόστηκε στη καλλιέργεια για τις τρεις μεταχειρίσεις.

Ο τρόπος άρδευσης ήταν ίδιος και για τις τρεις μεταχειρίσεις. Το νερό που εφαρμόστηκε στο ανοιχτό και στο ημίκλειστο 30% σύστημα ήταν 0,286 mL ανά φυτό και για το ημίκλειστο 60% σύστημα ήταν 500 mL ανά φυτό. Εκ' τούτου, ο συνολικός όγκος του νερού άρδευσης ήταν  $0,720 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$  για το ανοιχτό σύστημα,  $0,715 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$  για το ημίκλειστο 30% σύστημα και  $1,172 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$  για το ημίκλειστο 60% σύστημα.

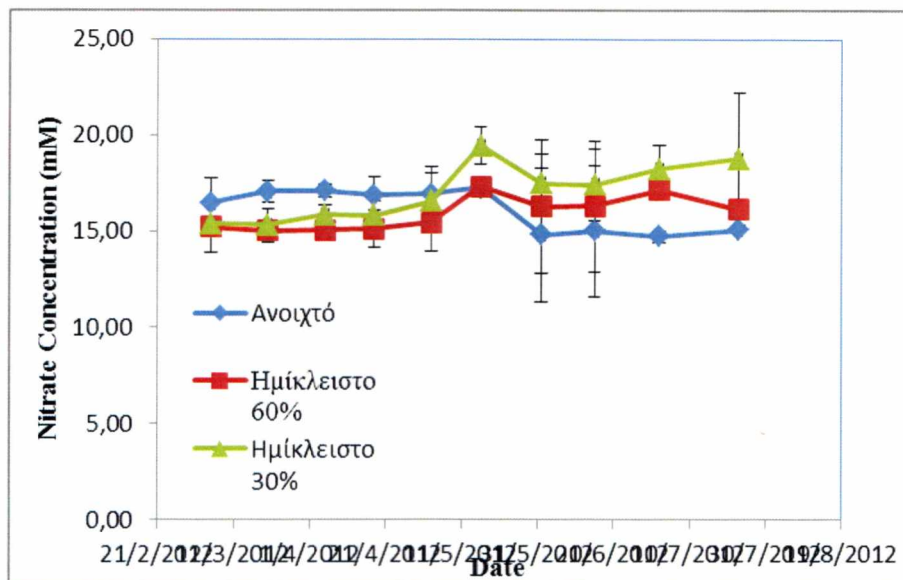
Το νερό απορροής που συλλέχθηκε και απορρίφθηκε από το ανοιχτό σύστημα ήταν  $0,233 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ . Η μέση τιμή της αναλογίας του νερού άρδευσης με το νερό απορροής για το ανοιχτό σύστημα ήταν περίπου 0,33. Για το ημίκλειστο 30% σύστημα και το ημίκλειστο 60% το νερό απορροής που συλλέχθηκε ήταν  $0,235 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$  και  $0,625 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$  αντίστοιχα. Σε αυτά τα συστήματα το νερό απορρίπτονταν όταν η συγκέντρωση του  $\text{Na}^+$  ξεπερνούσε τα  $15 \text{ mmol L}^{-1}$ .



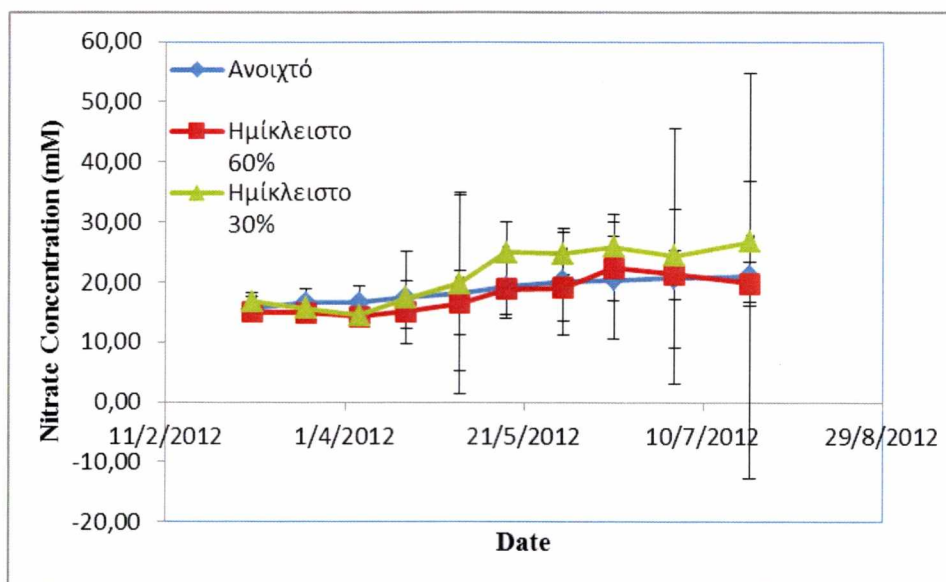
Έτσι ενώ στο ανοιχτό σύστημα όλο το νερό απορροής που συλλέχθηκε απορρίφθηκε, στα ημίκλειστα 30% και 60% συστήματα το νερό απορροής που απορρίφθηκε ήταν  $0,050 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$  και  $0,064 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$  αντίστοιχα.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, μπορεί να υπολογισθεί ότι ο συνολικός όγκος καθαρού νερού που καταναλώθηκε από τα συστήματα SC-30% και SC-60% ήταν  $0,530 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$  και  $0,611 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$  αντίστοιχα, ενώ για το ανοιχτό σύστημα ήταν  $0,720 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ .

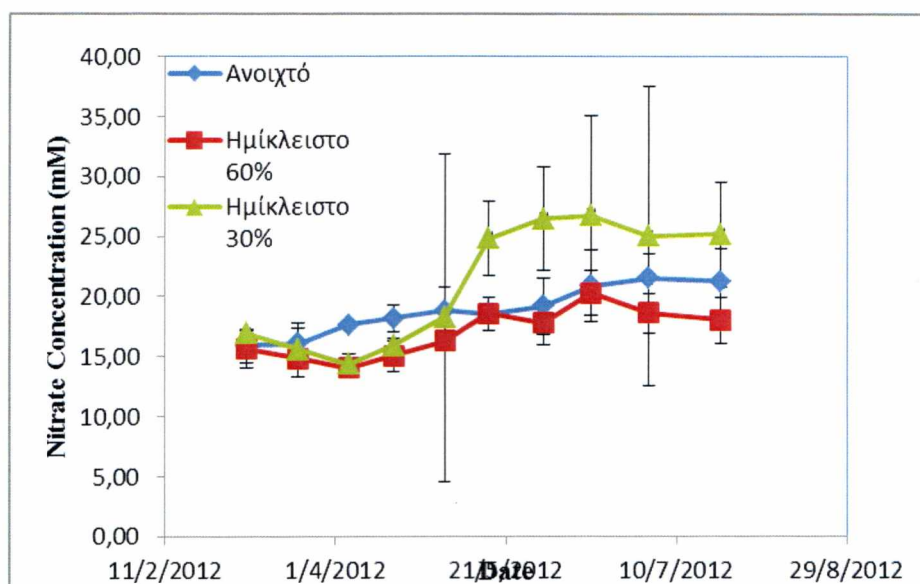
Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις στοιχείων όπως μετρήθηκαν στο εργαστήριο.



Σχήμα 4.5 Συγκέντρωση  $\text{NO}_3^-$  στο νερό άρδευσης για τις τρεις μεταχειρίσεις

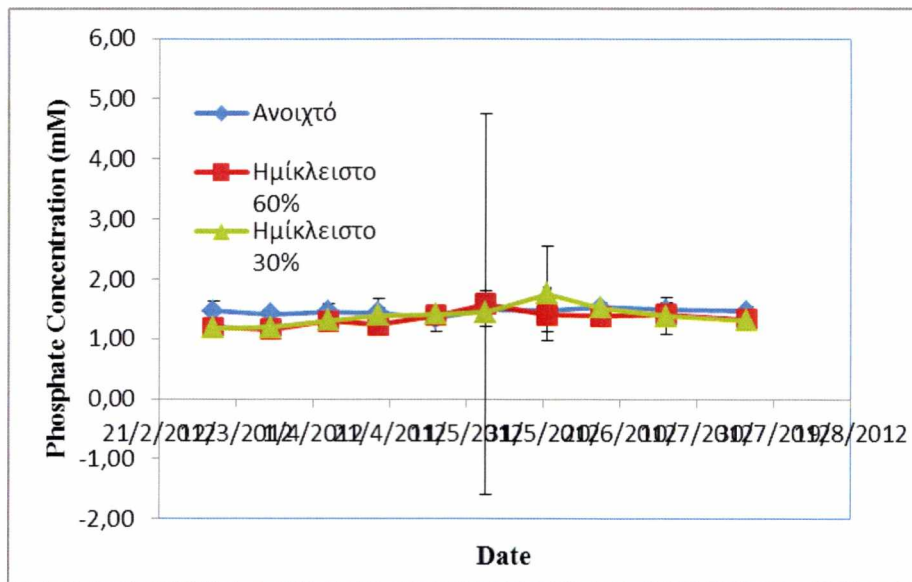


Σχήμα 4.6 Συγκέντρωση  $\text{NO}_3^-$  στο ριζικό περιβάλλον για τις τρεις μεταχειρίσεις

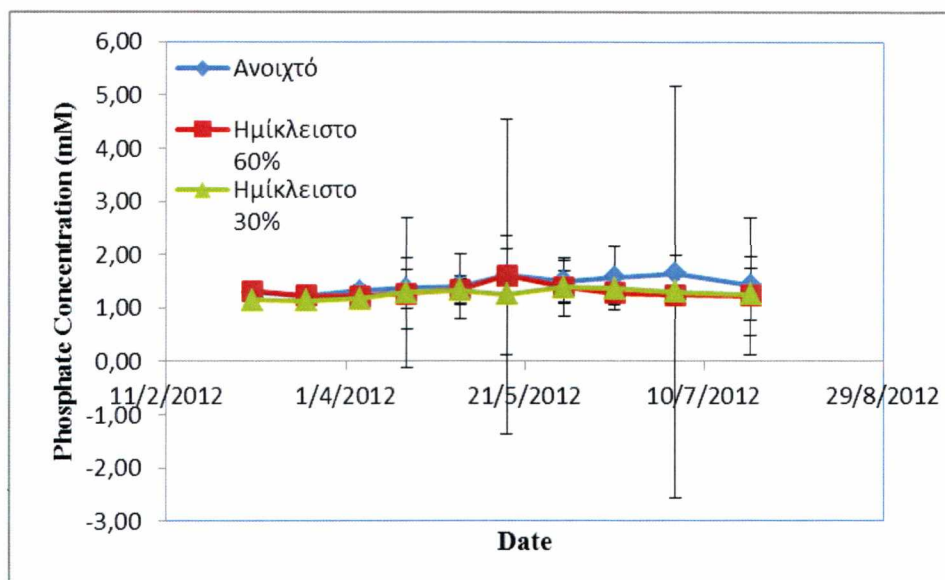


Σχήμα 4.7 Συγκέντρωση  $\text{NO}_3^-$  στο νερό απορροής για τις τρεις μεταχειρίσεις

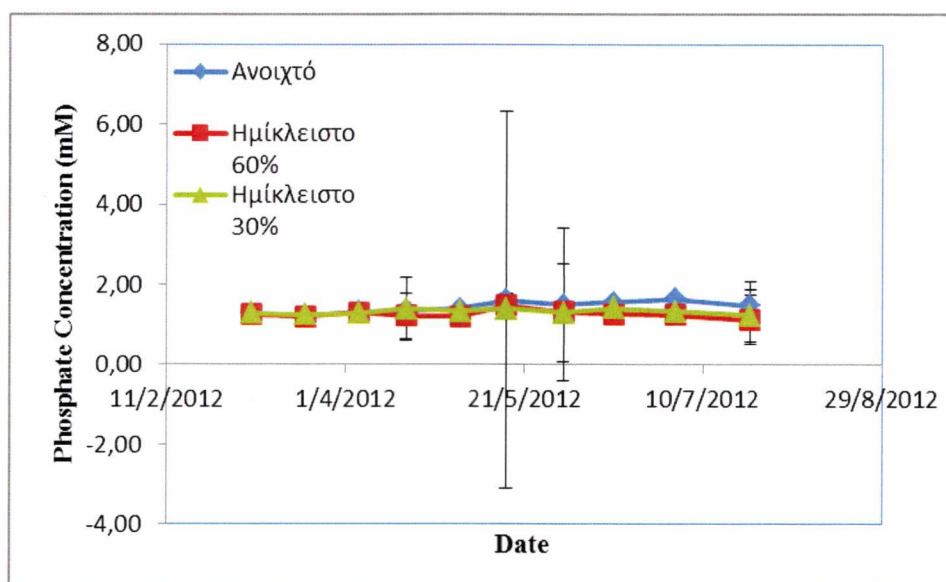
Στα σχήματα 4.5 και 4.6 φαίνεται ότι η πορεία της συγκέντρωσης του  $\text{NO}_3^-$  στο νερό άρδευσης και στο ριζικό περιβάλλον των φυτών είναι παρόμοια και για τις τρεις μεταχειρίσεις, ενώ στο σχήμα 4.7 παρουσιάζονται διαφορές μεταξύ της μεταχείρισης SC-30% με τις άλλες δύο όσο αφορά τη συγκέντρωση  $\text{NO}_3^-$  στο νερό απορροής.



Σχήμα 4.8 Συγκέντρωση  $PO_4^{3-}$  στο νερό άρδευσης για τις τρεις μεταχειρίσεις

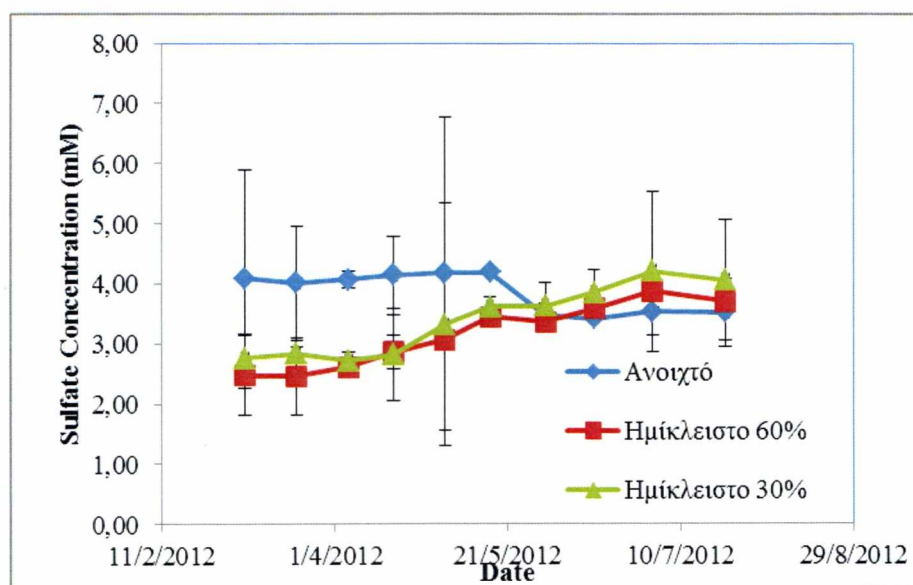


Σχήμα 4.9 Συγκέντρωση  $PO_4^{3-}$  στο ριζικό περιβάλλον για τις τρεις μεταχειρίσεις

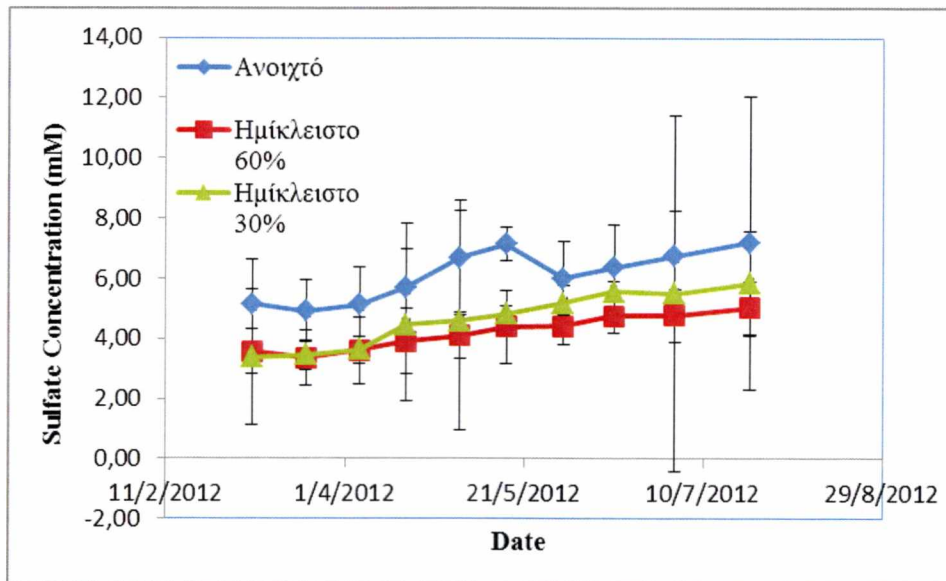


Σχήμα 4.10 Συγκέντρωση  $PO_4^{3-}$  στο νερό απορροής για τις τρεις μεταχειρίσεις

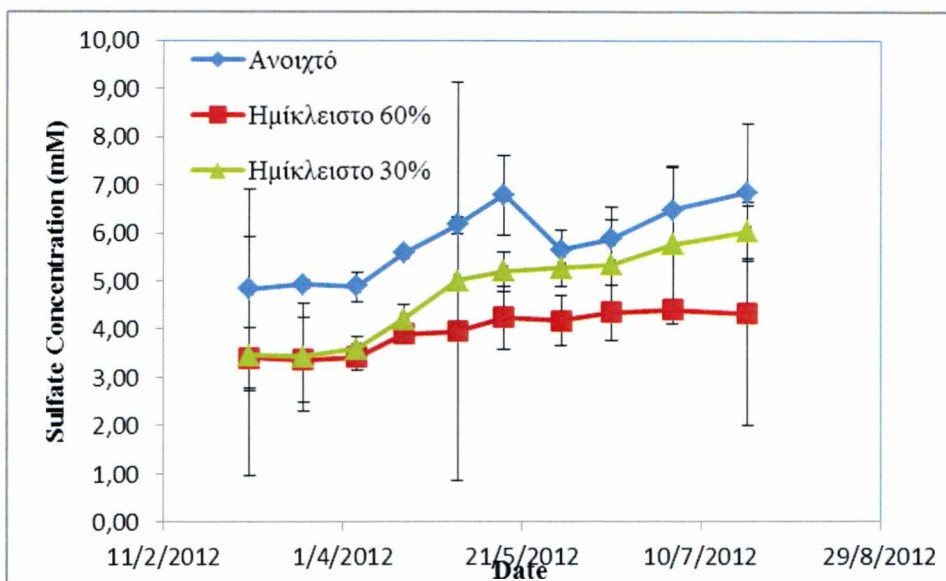
Όπως φαίνεται στα σχήματα 4.8, 4.9 και 4.10 η πορεία της συγκέντρωσης  $PO_4^{3-}$  στο νερό άρδευσης, στο ριζικό περιβάλλον και στο νερό απορροής είναι παρόμοια και για τις τρεις μεταχειρίσεις.



Σχήμα 4.11 Συγκέντρωση  $SO_4^{2-}$  στο νερό άρδευσης για τις τρεις μεταχειρίσεις

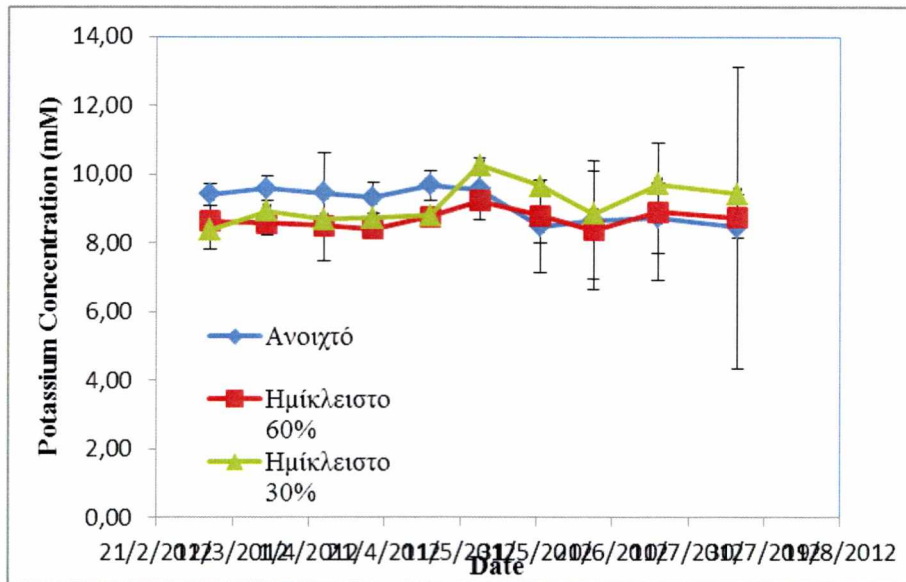


Σχήμα 4.12 Συγκέντρωση  $\text{SO}_4^{3-}$  στο ριζικό περιβάλλον και για τις τρεις μεταχειρίσεις

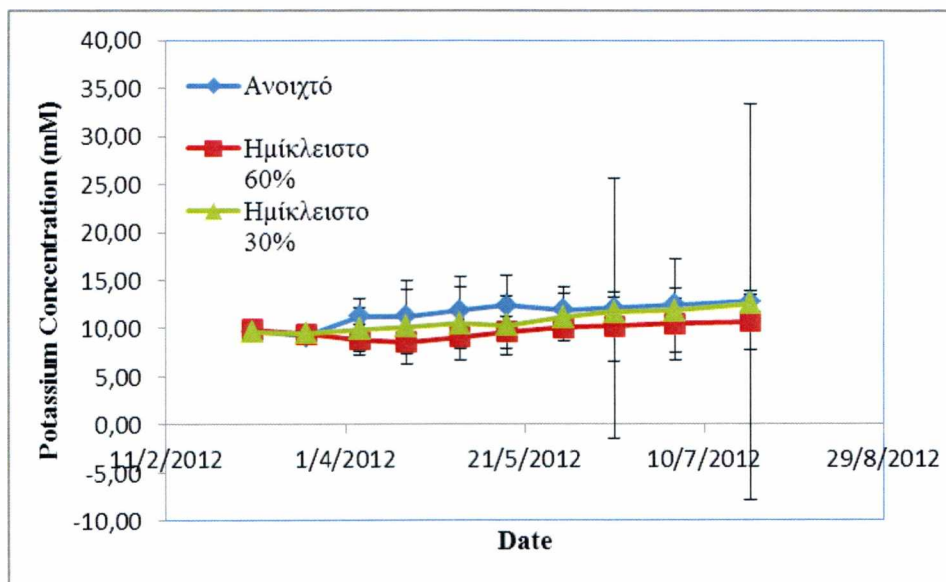


Σχήμα 4.13 Συγκέντρωση  $\text{SO}_4^{2-}$  στο νερό απορροής για τις τρεις μεταχειρίσεις

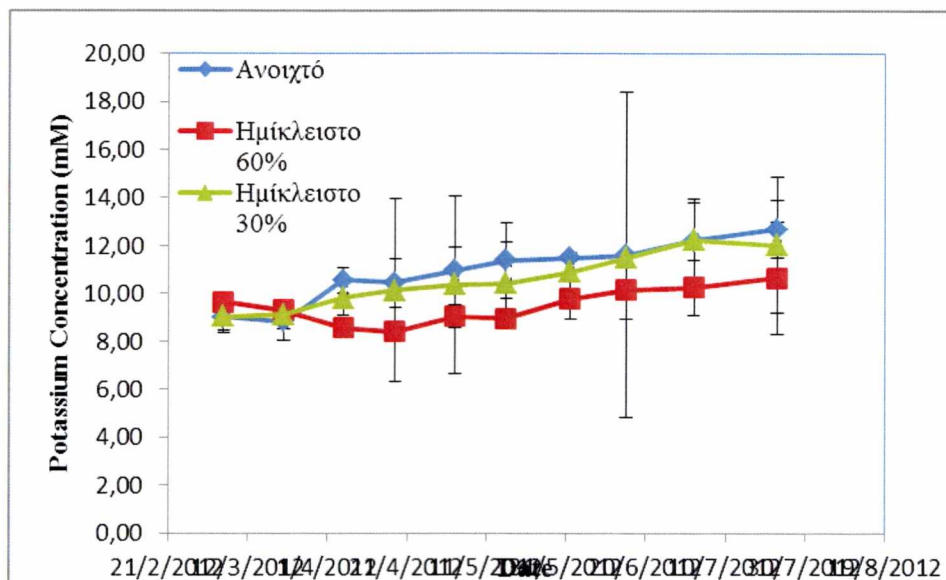
Όπως παρατηρούμε στα σχήματα 4.11 και 4.12 η συγκέντρωση του  $\text{SO}_4^{2-}$  στις μεταχειρίσεις SC-30% και SC-60% είναι παρόμοια για όλες τις μετρήσεις, αντιθέτως στο ανοιχτό σύστημα παρουσιάζει διαφορά σε σχέση με τα άλλα δύο συστήματα. Στο σχήμα 4.13 φαίνεται ότι και οι τρεις μεταχειρίσεις εμφανίζουν διαφορές μεταξύ τους με εξαίρεση τις τέσσερις πρώτες μετρήσεις όπου τα δύο ημίκλειστα συστήματα ακολουθούν παρόμοια πορεία.



Σχήμα 4.14 Συγκέντρωση Κ στο νερό άρδευσης για τις τρεις μεταχειρίσεις



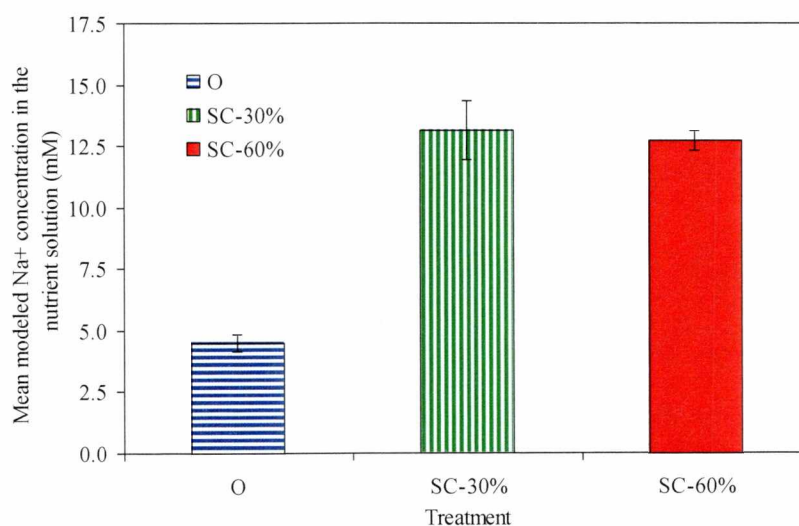
Σχήμα 4.15 Συγκέντρωση Κ στο ριζικό περιβάλλον για τις τρεις μεταχειρίσεις



Σχήμα 4.16 Συγκέντρωση Κ στο νερό απορροής για τις τρεις μεταχειρίσεις

Όσον αφορά τη συγκέντρωση Κ στο νερό άρδευσης, στο ριζικό περιβάλλον και στο νερό απορροής, σύμφωνα με τα σχήματα 4.14, 4.15 και 4.16, οι τρεις μεταχειρίσεις παρουσιάζουν παρόμοια πορεία χωρίς ιδιαίτερες διαφορές.

### 4.3 Μοντελοποίηση Συγκέντρωσης $\text{Na}^+$



Σχήμα 4.17 Μέσος όρος τιμών συγκέντρωσης  $\text{Na}^+$  για τις τρεις μεταχειρίσεις του υδροπονικού συστήματος

Στο Σχήμα 4.17 φαίνεται ότι η συγκέντρωση  $\text{Na}^+$  στο ημίκλειστο 60% ήταν λίγο χαμηλότερη σε σχέση με το ημίκλειστο 30%. Η συγκέντρωση του  $\text{Na}^+$  στο ανοιχτό υδροπονικό σύστημα ήταν πάντα χαμηλότερη από 5 mM και παρέμεινε ανάμεσα στα όρια των 3 mM ως 5 mM καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου. Οι αντίστοιχες τιμές της συγκέντρωσης  $\text{Na}^+$  για τα ημίκλειστα συστήματα αυξάνονταν προοδευτικά σε όλη τη διάρκεια του πειράματος.

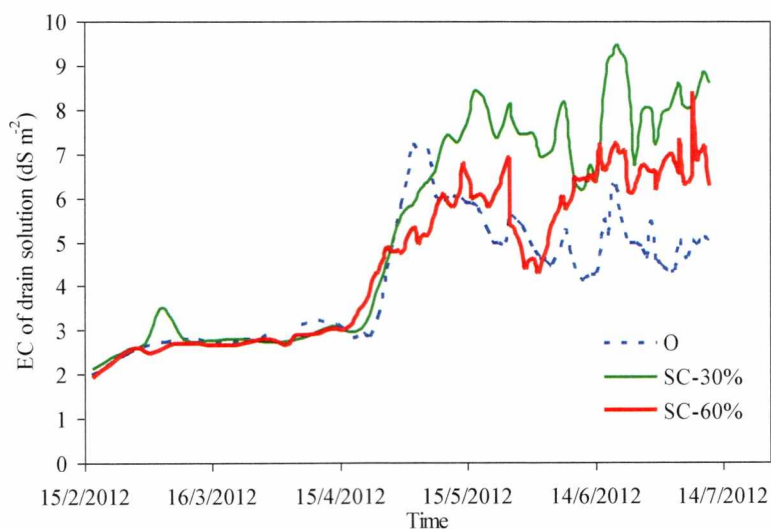
Όποτε η συγκέντρωση του  $\text{Na}^+$  στα ημίκλειστα συστήματα ξεπερνούσε το όριο των 15 mM, το νερό απορροής απορριπτόταν με σκοπό να μειωθεί η συγκέντρωση του κάτω από αυτό το όριο.

Παρόλα αυτά, οι πρότυπες τιμές  $\text{Na}^+$  ήταν πάντα υψηλότερες από τις μετρήσιμες τιμές και η συσχέτιση που βρέθηκε μεταξύ τους ήταν:

$$\text{Πρότυπο } \text{Na}^+ = 0,72 * \text{Μετρήσιμο } \text{Na}^+ + 5,45$$

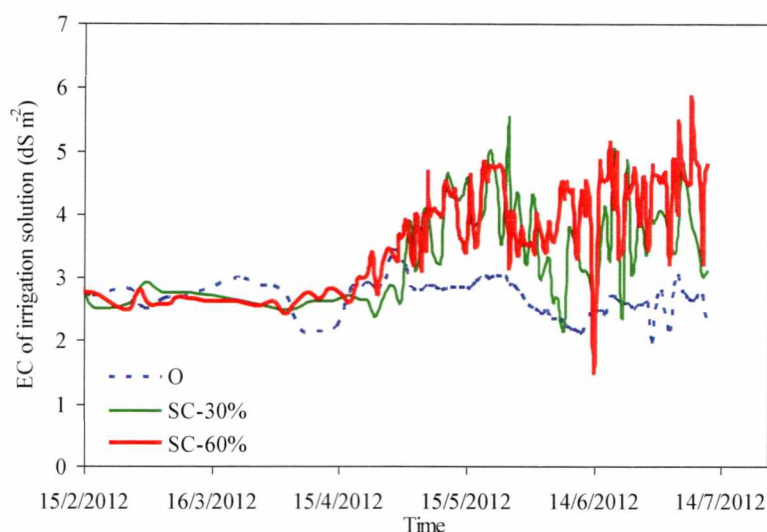
με συντελεστή προσδιορισμού 0,80.

#### 4.4 Ηλεκτρική αγωγιμότητα θρεπτικού διαλύματος



Σχήμα 4.18 Πορεία των τιμών EC στο νερό απορροής για τις τρεις μεταχειρίσεις





Σχήμα 4.19 Πορεία των τιμών EC στο νερό άρδευσης για τις τρεις μεταχειρίσεις

Στο σχήμα 4.18 φαίνεται ότι μετά το τέλος του Απριλίου η ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού απορροής στο SC-30% ήταν περίπου  $8 \text{ dS m}^{-1}$  ενώ η αντίστοιχη τιμή στο SC-60% ήταν περίπου  $2 \text{ dS m}^{-1}$  χαμηλότερη. Η πορεία των τιμών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού απορροής στο ανοιχτό σύστημα ήταν παρόμοια με τις τιμές στο SC-60%, με εξαίρεση τους δύο τελευταίους μήνες της πειραματικής περιόδου όπου παρουσιάστηκαν χαμηλότερες από το ημίκλειστο σύστημα.

Σύμφωνα με το σχήμα 4.19, οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού άρδευσης ήταν παρόμοιες στα ημίκλειστα συστήματα, με τις υψηλότερες τιμές να παρατηρούνται για το SC-60% τους δύο τελευταίους μήνες της πειραματικής περιόδου. Οι αντίστοιχες τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας για το ανοιχτό σύστημα ήταν συνεχώς κοντά στη τιμή  $2,8 \text{ dS m}^{-1}$ .

## **Κεφάλαιο 5, Συμπεράσματα**

Αντικείμενο αυτού του πειράματος ήταν η μελέτη της διαχείρισης των απορροών ως ένα σύστημα λήψης αποφάσεων για την καλλιέργεια τομάτας σε ημίκλειστα υδροπονικά συστήματα με βάση τη μοντελοποίηση του  $\text{Na}^+$  και την κατανάλωση του νερού.

Πιο συγκεκριμένα, τα συστήματα που εφαρμόστηκαν ήταν το ανοιχτό σύστημα, το ημίκλειστο 30% και το ημίκλειστο 60%. Σε κάθε ένα από αυτά μετρήθηκε η φωτοσύνθεση, η κατανάλωση νερού και οι συγκεντρώσεις των στοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα και ηλεκτρική αγωγιμότητα.

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων παρατηρήθηκε ότι:

- ο ρυθμός φωτοσύνθεσης, ο ρυθμός διαπνοής και η στοματική αγωγιμότητα δεν παρουσίασαν διαφορές μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων γεγονός που επιβεβαιώθηκε και από τη στατιστική ανάλυση που έγινε,
- ο μεγαλύτερος όγκος νερού καταναλώθηκε από το ανοιχτό σύστημα, όπως άλλωστε ήταν αναμενόμενο, επίσης καλύτερη αποτελεσματικότητα χρήσης νερού υπήρξε στη μεταχείριση SC-30%,
- οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο νερό απορροής παρουσίασαν κάποιες διαφορές μεταξύ των δύο ημίκλειστων συστημάτων γεγονός που οδήγησε σε καλύτερες συνθήκες στο περιβάλλον της ρίζας στο SC-60% σε σχέση με το SC-30%,
- όσον αφορά τις συγκεντρώσεις των στοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα, η συγκέντρωση του  $\text{NO}_3^-$  είχε παρόμοια πορεία και στις τρεις μεταχειρίσεις στο νερό άρδευσης και στο ριζικό περιβάλλον αλλά στο νερό απορροής παρουσιάστηκε αυξημένη στη μεταχείριση SC-30%, οι συγκεντρώσεις του  $\text{PO}_4^{3-}$  ήταν παρόμοιες και για τις τρεις μεταχειρίσεις στο σύνολο των μετρήσεων, οι συγκεντρώσεις του  $\text{SO}_4^{2-}$  ήταν παρόμοιες για τα ημίκλειστα συστήματα αλλά διέφεραν από το ανοιχτό σύστημα καθώς σε αυτή τη μεταχείριση οι συγκεντρώσεις του ήταν ελαφρώς αυξημένες και τέλος, οι συγκεντρώσεις του  $\text{K}^+$  στις τρεις μεταχειρίσεις παρουσίαζαν παρόμοια πορεία χωρίς ιδιαίτερες διαφορές,
- Τέλος, η συγκέντρωση του  $\text{Na}^+$  στο ανοιχτό σύστημα διατηρήθηκε σε χαμηλά επίπεδα ενώ οι αντίστοιχες τιμές για τα ημίκλειστα συστήματα αυξάνονταν προοδευτικά σε όλη τη διάρκεια του πειράματος.

Συνοψίζοντας, σύμφωνα με την ανάλυση των παραπάνω αποτελεσμάτων, δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων. Φαίνεται ότι οι μέθοδοι διαχείρισης που χρησιμοποιήσαμε δεν επηρέασαν σημαντικά τους

παραπάνω παράγοντες αν και σημειώθηκαν κάποιες αλλαγές, όπως στην κατανάλωση του νερού και στην ηλεκτρική αγωγιμότητα.

Η κατανάλωση του νερού πράγματι είναι μειωμένη στα ημίκλειστα συστήματα σε σχέση με το ανοιχτό γεγονός που οφείλεται στην συνεχόμενη ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος και στην ελάχιστη απόρριψη του. Αντιθέτως το ανοιχτό σύστημα έχει υψηλό κόστος λειτουργίας και αποτελεί μολυσματικό παράγοντα του περιβάλλοντος αφού το απορρέον θρεπτικό διάλυμα απορρίπτεται.

Θα πρέπει όμως να τονιστεί, ότι χρειάζονται περισσότερες μελέτες για την εγκατάσταση ενός συστήματος το οποίο θα βασίζεται στις αρχές λειτουργίας των ημίκλειστων συστημάτων έτσι ώστε να έχουμε εξοικονόμηση νερού και θρεπτικών αλλά ταυτόχρονα να αποφεύγονται προβλήματα συσσώρευσης αλάτων στο περιβάλλον της ρίζας.

## **Κεφάλαιο 6, Βιβλιογραφία**

1. Γ. Μαυρογιαννόπουλος, 2006. Υδροπονικές εγκαταστάσεις. Β' Έκδοση, Εκδόσεις Σταμούλης, Αθήνα (σελ. 15-17, 21-22, 43-44, 123-145)
2. Γ. Μαυρογιαννόπουλος, 2005. Θερμοκήπια. Δ' Έκδοση, Εκδόσεις Σταμούλης, Αθήνα (σελ. 22-24, 34-38, 41)
3. I.H. Lycoskoufis, D. Savvas, G. Mavrogianopoulos, 2004. Growth, gas exchange, and nutrient status in pepper (*Capsicum annuum* L.) grown in recirculating nutrient solution as affected by salinity imposed to half of the root system, *Elsevier Scientia Horticulturae* 106, 147-161
4. Safwan M. Shiyab , Mohamad A. Shatnawi , Rida A. Shibli ,Nihad G. Al Smeirat , Jamal Ayad & Muhanad W. Akash, 2013. Growth, nutrient acquisition, and physiological responses of hydroponic grown tomato to sodium chloride salt induced stress, *Journal of Plant Nutrition* 36:4, 665-676
5. D. Savvas, E. Chatzieustratiou, G. Pervolaraki, G. Gizas, N. Sigrimis, 2007. Modelling Na and Cl concentrations in the recycling nutrient solution of a closed-cycle pepper cultivation, *Elsevier Biosystems Engineering* 99, 282 – 291
6. H. Varlagas, D. Savvas, G. Mouzakis, C. Liotsos, I. Karapanos, N. Sigrimis, 2010. Modelling uptake of Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> by tomato in closed-cycle cultivation systems as influenced by irrigation water salinity, *Elsevier Agricultural Water Management* 97, 1242–1250
7. D. Savvas, N. Mantzos, P.E. Barouchas, I.L. Tsirogiannis, C. Olympios, H.C. Passam, 2006. Modelling salt accumulation by a bean crop grown in a closed hydroponic system in relation to water uptake, *Elsevier Scientia Horticulturae* 111, 311–318
8. J. Cuartero, R. Fernández-Munoz, 1999. Tomato and salinity, *Elsevier Scientia Horticulturae* 78, 83-125
9. D. Savvas, E. Stamati, I.L. Tsirogiannis, N. Mantzos, P.E. Barouchas, N. Katsoulas, C. Kittas, 2007. Interactions between salinity and irrigation frequency in greenhouse pepper grown in closed-cycle hydroponic systems, *Elsevier Agricultural Water Management* 91, 102 – 111
10. N. Katsoulas, C. Kittas, T. Bartzanas, D. Savvas, 2013. Use of a Decision Support System for Management of the Drainage Solution in Semi-Closed Hydroponic Systems under different Drainage Fractions, *Acta Horticulturae* 1037, 141

11. E. Mateos-Naranjo, S. Redondo-Gómez, R. Álvarez, J. Cambrollé, J. Gandullo, M. Enrique Figueroa, 2010. Synergic effect of salinity and CO<sub>2</sub> enrichment on growth and photosynthetic responses of the invasive cordgrass *Spartina densiflora*, *Journal of Experimental Botany*, Vol. 61, No. 6, pp. 1643-1654
12. Mizuki Takagi, Hany A. El-Shemy, Sachiko Sasaki, Shinichiro Toyama, Syunsuke Kanai, Hirofumi Saneoka, Kounosuke Fujita, 2009. Elevated CO<sub>2</sub> concentration alleviates salinity stress in tomato plant, *Acta Agriculturae Scandinavica Section B - Soil and Plant Science*, 59: 87-96
13. E. Gorbe, Á. Calatayud, 2010. Optimization of Nutrition in Soilless Systems: A Review, *Elsevier Advances in Botanical Research*, Vol. 53.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000134265