

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ
ΜΥΚΗΤΑ *T. HARZIANUM* ΣΤΑ ΠΟΙΟΤΙΚΑ
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΓΙΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΗ
ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Της φοιτήτριας

ΔΕΛΗΓΙΑΝΝΗ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑΣ

A.M: 2010050054

Επιβλέπων Καθηγητής: Ιωάννης Κ. Τσάνης

Χανιά, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2016

Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθ. Ι. Τσάνη για την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας. Ακόμη ευχαριστώ θερμά τον Δρ. Ι. Δαλιακόπουλο του Εργαστηρίου Διαχείρισης Υδάτινων Πόρων και Παράκτιας Μηχανικής, που με καθοδήγησε καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας και μου μετέφερε την εμπειρία του. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Αποστολάκη Αντώνη και την Παναγέα Ιωάννα του Εργαστηρίου Διαχείρισης Υδάτινων Πόρων και Παράκτιας Μηχανικής και τις Βουτσαδάκη Στέλλα και Maria-Liliana Saru από το Εργαστήριο Υδρογεωχημικής Μηχανικής και Αποκατάστασης Εδαφών για την άμεση ανταπόκριση και τη βοήθειά τους σε όλη την πορεία ολοκλήρωσης της διπλωματικής μου εργασίας. Τέλος, ευχαριστώ τους γονείς μου Γιώργο και Αντιγόνη, και την αδερφή μου Μυρσίνη για την υποστήριξή τους σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Περίληψη

Η αλάτωση των εδαφών αποτελεί μια σημαντική απειλή υποβάθμισης του εδάφους, ιδιαίτερα για τις παράκτιες περιοχές με ξηρό κλίμα, όπως αυτές της Μεσογείου. Η περιοχή μελέτης, Τυμπάκι, Νότιο Ηράκλειο, Κρήτη, αποτελεί μια γεωργική περιοχή υψηλής εκμετάλλευσης με αυξημένες ανάγκες σε νερό άρδευσης. Ωστόσο, λόγω της περιορισμένης παρουσίας επιφανειακών υδάτων στην περιοχή οι ανάγκες άρδευσης καλύπτονται από τα υπόγεια ύδατα με αποτέλεσμα την ταπείνωση του υδροφόρου ορίζοντα και την επακόλουθη υφαλμύριση του. Σήμερα, οι καλλιέργειες της περιοχής αρδεύονται με υφάλμυρο νερό, που οδηγεί σε μείωση της παραγωγής και ως εκ τούτου σε περεταίρω αύξηση των αναγκών άρδευσης για τη διατήρησή της. Με στόχο την προστασία και τη διατήρηση της γονιμότητας των εδαφών πραγματοποιήθηκε πείραμα για την διαπίστωση της επίδρασης της άρδευσης με υφάλμυρο νερό και τη χρήση του ωφέλιμου μύκητα *T. harzianum* στην καλλιέργεια φυτών ντομάτας (*Solanum lycopersicum* L.) υπό συνθήκες που προσομοιώνουν την περιοχή μελέτης. Εφαρμόστηκαν δύο ποιότητες αρδευτικού νερού με ηλεκτρική αγωγιμότητα (Electrical conductivity, EC) $EC_{low}=1,1$ dS/m και $EC_{high}=3,5$ dS/m σε δέκα φυτά ανά μεταχείριση, εκ των οποίων τα μισά εμβολιάστηκαν με το μύκητα *T. harzianum*. Η επίδραση της αλατότητας και της παρουσίας του μύκητα *T. harzianum* στις χημικές ιδιότητες του εδάφους, όπως ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC), συγκέντρωση κατιόντων ασβεστίου (Ca^{2+}), νατρίου (Na^{+}), μαγνησίου (Mg^{2+}) και καλίου (K^{+}) και pH διερευνήθηκε μέσα από την πραγματοποίηση τεσσάρων εδαφικών δειγματοληψιών. Παράλληλα, η πορεία των θρεπτικών ουσιών στο έδαφος παρακολουθούνταν για την εξασφάλιση βέλτιστων και συγκρίσιμων μεταξύ των μεταχειρίσεων συνθηκών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υποβιβάστηκαν περισσότερο τα εδάφη υπό άρδευση υψηλής EC, καθώς παρουσίασαν μεγαλύτερες τιμές δεικτών ποιότητας EC, SAR, pH, ενώ ο εμβολιασμός των φυτών οδήγησε σε βελτιωμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά.

Abstract

Soil salinization is a significant threat of land degradation, particularly in coastal areas with dry climate, such as the Mediterranean. The study area, Timbaki, southern Crete, Greece, is a high exploitation agricultural area with increased needs for irrigation water. However, due to the limited presence of surface waters in the area, the need of irrigation are covered by underground waters, which results in lowering of the water table and its subsequent salinization. Today, the cultivations of the area are irrigated with brackish water, which leads to reduced production and therefore a further increase in irrigation needs for its sustainability. To protect and conserve soil fertility this experiment was performed to determine the effects of irrigation with blackish water and the use of the beneficial fungus *T. harzianum* on tomato crop (*Solanum lycopersicum* L.) under conditions that stimulate the study area. We applied two qualities of irrigation water with electrical conductivity $EC_{low}=1,1$ dS/m and $EC_{high}=3,5$ dS/m in ten plants per treatment, of which half of them were inoculated with the fungus *T. harzianum*. The influence of both salinity and *T. harzianum* in soil chemical properties such as electrical conductivity (EC), concentration of calcium cations (Ca^{2+}), sodium (Na^{+}), magnesium (Mg^{2+}), potassium (K^{+}) and pH was investigated by four soil samplings. Meanwhile, the behavior of soil nutrients was monitored to ensure optimal and comparable conditions between treatments. The results showed that the soils that was irrigated with high EC was the most degraded, as it showed larger values on indicators of quality EC, SAR, pH and that the inoculation improved soil quality characteristics.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	iii
Περίληψη.....	iv
Περιεχόμενα.....	vi
1. Εισαγωγή.....	1
1.1. Αλατούχα και Αλκαλιωμένα εδάφη.....	1
1.2. Εδαφική γονιμότητα και όρια χημικών παραμέτρων.....	3
1.3. Τριχόδερμα	7
1.4. Το φυτό της τομάτας.....	8
1.4.1. Γενικά στοιχεία	8
1.4.2. Ανοχή της τομάτας στην αλατότητα.....	9
1.5. Καλλιέργεια σε θερμοκήπιο	10
1.6. Παλαιότερες μελέτες της επίδρασης της αλατότητας άρδευσης και του <i>T. harzianum</i> στη ποιότητα του εδάφους.....	11
Πίνακας 1.4: Παλαιότερα πειράματα σχετικά με τις επιδράσεις των συμβιωτικών παραγόντων στο έδαφος σε καλλιέργεια τομάτας.....	14
1.7. Σκοπός της διπλωματικής	15
2. Μεθοδολογία	16
2.1. Φυσικές ιδιότητες του εδάφους	16
2.1.1. Φαινόμενη πυκνότητα.....	16
2.1.2. Κοκκομετρία εδάφους	17
2.1.3. Ακόρεστη Υδραυλικής αγωγιμότητας εδάφους.....	18
2.1.4. Υγρασίας εδάφους	19
2.2. Χημικές ιδιότητες εδάφους.....	20
2.2.1. Ολικός Φωσφόρος	20
2.2.2. Διαθέσιμος φωσφόρος	20
2.2.3. Ολικός οργανικός άνθρακας και ολικό άζωτο	21
2.2.4. Ολικό άζωτο κατά Kjeldahl	22
2.2.5. Αμμωνιακό άζωτο και άζωτο υπό μορφή νιτρικών	22

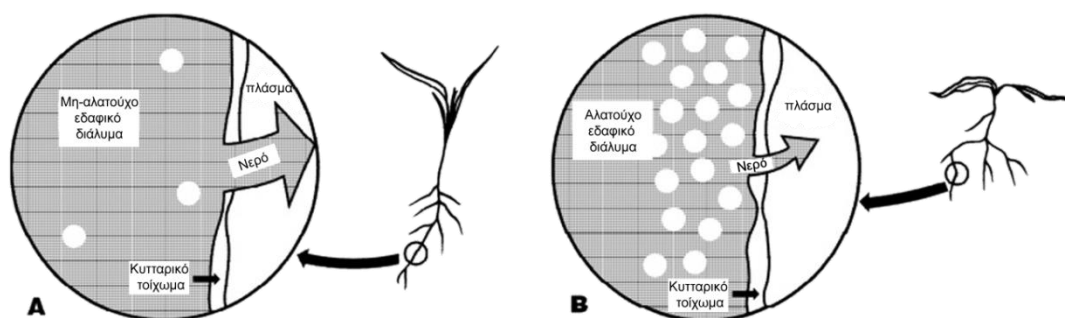
2.2.6.	Συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου (pH).....	23
2.2.7.	Ηλεκτρική αγωγιμότητα εδάφους.....	23
2.2.8.	Στοιχειακή ανάλυση εδάφους (προσδιορισμός μετάλλων: Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+)	24
2.2.9.	Λόγος προσρόφησης νατρίου	25
2.3.	Τυπικό σφάλμα μέσης τιμής.....	25
3.	Περιοχή μελέτης.....	27
3.1.	Γενικές πληροφορίες.....	27
3.1.1.	Γεωγραφική περιγραφή	27
3.1.2.	Απειλές του εδάφους	27
3.2.	Φυσικό Περιβάλλον.....	28
3.2.1.	Χρήσεις γης.....	28
3.2.2.	Κλίμα	29
3.2.3.	Υδρογεωλογία.....	29
3.3.	Πιέσεις στο φυσικό περιβάλλον	30
3.4.	Πειραματικό Μέρος.....	31
4.	Αποτελέσματα	37
4.1.	Φυσικές ιδιότητες εδάφους.....	37
4.2.	Εδαφική υγρασία	37
4.3.	Αλάτωση.....	38
4.4.	Θρεπτικά εδάφους	46
4.4.1.	Ολικό άζωτο (TN) και ολικό άζωτο κατά Kjeldhal (TKN)	46
4.4.2.	Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC)	49
4.4.3.	Φωσφόρος.....	50
5.	Συμπεράσματα και προτάσεις.....	53
5.1.	Ποιοτικά χαρακτηριστικά εδάφους	53
5.1.1.	Ηλεκτρική αγωγιμότητα	53
5.1.2.	SAR.....	53
5.1.3.	pH	54
5.1.4.	Θρεπτικά	54

5.2.	Αξιολόγηση εδάφους μετά την λήξη του πειράματος	55
5.3.	Προτεινόμενες γεωργικές πρακτικές καλλιέργειας	56
6.	Βιβλιογραφία	57

1. Εισαγωγή

1.1. Αλατούχα και Αλκαλιωμένα εδάφη

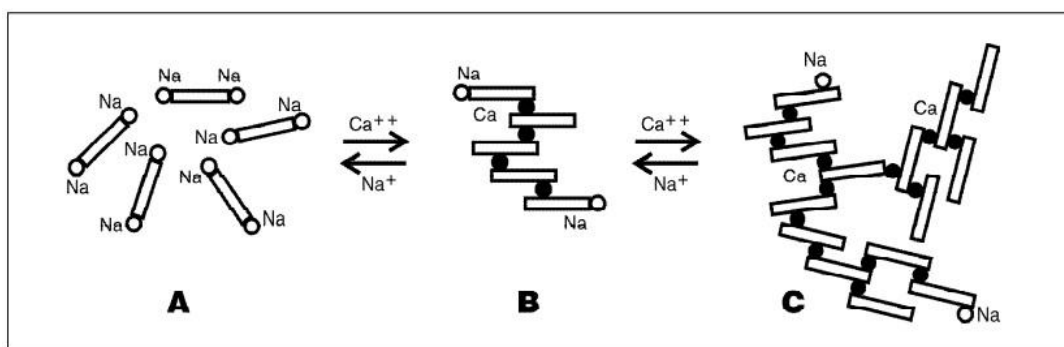
Το έδαφος είναι ένας από τους σημαντικότερους πόρους, καθώς παρέχει ζωτικά αγαθά και υπηρεσίες για τη διατήρηση της ζωής (Berendse et al., 2015; Brevik et al., 2015). Η αλάτωση του εδάφους αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές απειλές για τη γονιμότητα του εδάφους, ιδιαίτερα σε ξηρές και ημίξηρες περιοχές (Sumner et al., 1995). Η αλάτωση του εδάφους είναι ένας γενικός όρος που αναφέρεται σε τρεις κατηγορίες αλατότητας: (1) αλατούχο έδαφος, που χαρακτηρίζεται από αυξημένη συγκέντρωση αλάτων, (2) αλκαλιωμένο ή νατρίουχο έδαφος, που χαρακτηρίζεται από διαταραγμένη αναλογία κατιόντων νατρίου (Na^+) προς ασβεστίου και μαγνησίου (Ca^{2+} και Mg^{2+} , αντίστοιχα) και (3) αλκαλικό έδαφος, που εμφανίζει αυξημένο pH (Van Beek & Tóth, 2012). Οι επιπτώσεις της αλατότητας στις λειτουργίες του εδάφους ποικίλουν ανάλογα με τη μορφή αλατότητας που λαμβάνει χώρα. Στα αλατούχα εδάφη παρεμποδίζεται κυρίως η διαπνοή των φυτών εξαιτίας του χαμηλού ωσμωτικού δυναμικού (Εικόνα 1.1), με αποτέλεσμα τη μειωμένη πρόσληψη νερού από τα φυτά (Koorevaar et al., 1983), ενώ στα αλκαλιωμένα εδάφη η αυξημένη συγκέντρωση Na^+ οδηγεί σε διασπορά της αργίλου και υποβάθμιση της εδαφικής δομής (Richards, 1954) με επακόλουθη τη μείωση του ρυθμού διήθησης του εδάφους (Oster & Schroer, 1979), γεγονός που αυξάνει την απορροή και προκαλεί διάβρωση του εδάφους. Τέλος, στα αλκαλικά εδάφη προκαλείται διαταραχή της χημικής τους σύνθεσης και παρουσιάζουν υψηλό pH. Τα αλατούχα και αλκαλιωμένα εδάφη αποτελούν ένα παγκόσμιο φαινόμενο, καθώς καλύπτουν 932,2 Mha παγκοσμίως, από τα οποία τα 30,7 Mha βρίσκονται στην Ευρώπη (Rengasamy, 2006), ενώ τα 1,4 Mha στην Ελλάδα (Jones & Finley, 2003).



Εικόνα 1.1: (Α) Τα φυτά προσλαμβάνουν εύκολα νερό από υγιή εδάφη, (Β) Η αλάτωση του εδάφους υπό ξηρές συνθήκες μειώνει το ωσμωτικό φορτίο με αποτέλεσμα την δυσκολία πρόσληψης νερού από τα φυτά (Seelig, 2000)

Η αλάτωση του εδάφους μπορεί να οφείλεται είτε σε φυσικές είτε σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες (Daliakopoulos et al., 2016). Στη παρούσα εργασία εξετάζεται η ανθρωπογενής αλάτωση, η οποία προέρχεται κατά κύριο λόγο από το νερό άρδευσης, το οποίο έχει υψηλή συγκέντρωση άλατος (Dubois et al., 2011; Geeson et al., 2003; Mateo-Sagasta & Burke, 2011). Ο κίνδυνος αλάτωσης του αρδευτικού νερού προκύπτει εξαιτίας της υπεράντλησης (γλυκών) αρδευτικών υδάτων, λόγω της αυξημένης ζήτησης με αποτέλεσμα την διείσδυση του αλμυρού ύδατος στους υπόγειους παράκτιους υδροφορείς. Η ανάμειξη γλυκού και αλμυρού ύδατος υποβαθμίζει την ποιότητα των αρδευτικών υδάτων, καθώς τους προσδίδει υψηλή συγκέντρωση διαλυμένων αλάτων. Η αλατότητα και αλκαλίωση συναντάται κυρίως σε περιοχές με χαμηλά ποσοστά βροχόπτωσης και υψηλά ποσοστά εξατμισοδιαπνοής, τα οποία παρεμποδίζουν της έκπλυσης του εδάφους και οδηγούν στη συσσώρευση άλατος στα ανώτερα στρώματα του εδάφους (Maas et al., 1999; Mateo-Sagasta & Burke, 2011). Συγκεκριμένα η συσσώρευση άλατος στο έδαφος προκαλεί τις παρακάτω μεταβολές στις ιδιότητες του εδάφους:

- Αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (Electrical conductivity, EC) του εδάφους, η οποία μειώνει την δυνατότητα πρόσληψης νερού από τα φυτά και οδηγεί σε μαρασμό (Mass & Hoffman, 1977).
- Αύξηση της συγκέντρωσης των τοξικών ιόντων Na^+ στο έδαφος, τα οποία υπερισχύουν και εξαιτίας του φαινομένου της ιοντοανταλλαγής (CEC) αντικαθιστούν άλλα θρεπτικά ιόντα, όπως τα κατιόντα Ca^{2+} , Mg^{2+} και K^+ . Η διαταραχή της αναλογίας των ιόντων οδηγεί στην αποδυνάμωση της εδαφικής δομής λόγω της διασποράς της αργίλου και κατ' επέκταση στη μείωση της διηθητικότητας του εδάφους. Σε νατριούχα εδάφη έχει παρατηρηθεί ο σχηματισμός μιας λεπτής κρούστας στην επιφάνεια τους που δρα ως φραγμός στη διείσδυση του νερού (Minhas & Tyagi, 1998) (Εικόνα 1.2).



Εικόνα 1.2: (Α) Η αυξημένη συγκέντρωση των κατιόντων Na^+ στο έδαφος οδηγεί σε διασπορά των σωματιδίων της αργίλου λόγω της επικράτησης αποσπαστικών δυνάμεων, με αποτέλεσμα την καταστροφή της δομής του εδάφους. (Β) Όταν τα ιόντα ασβεστίου (Ca^{2+}) αντικαθιστούν ένα μέρος των ιόντων νατρίου (Na^+) η άργιλος κροκκιδώνεται και (C) σχηματίζονται σταθερά συσσωματώματα που εξασφαλίζουν την καλή δομή του εδάφους (Seelig, 2000).

- Αύξηση του εδαφικού pH, λόγω της επικράτησης βασικών κατιόντων, όπως Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , στο ανταλλάξιμο κλάσμα του στερεού σκελετού με αποτέλεσμα τη μείωση της διαθεσιμότητας θρεπτικών, όπως το άζωτο (N), ο ψευδάργυρος (Zn), ο σίδηρος (Fe), κ.ά. (Hamdy, 2005).

Για την αξιολόγηση της αλάτωσης του εδάφους χρησιμοποιούνται κυρίως τρεις δείκτες ποιότητας. Ο πρώτος δείκτης είναι η EC, η οποία αποτελεί μέτρο της ικανότητας ενός υλικού να άγει ηλεκτρικά φορτία και στα εδάφη εκφράζει την παρουσία των ολικών διαλυτών στερεών. Ο δεύτερος δείκτης είναι ο λόγος προσρόφησης νατρίου (Sodium Adsorption Ratio, SAR) που προσδιορίζει την αναλογία των κατιόντων Na^+ προς το άθροισμα των ωφέλιμων ιόντων Ca^{2+} και Mg^{2+} και καθορίζει τα αλκαλιωμένα εδάφη και τέλος το pH που αφορά και τα αλατούχα και τα αλκαλιωμένα εδάφη (Van Beek & Tóth, 2012).

Γενικά, η αλατότητα είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την υποβάθμιση του εδάφους. Η μειωμένη φυτοκάλυψη έχει σαν αποτέλεσμα τη διάβρωση εδαφών, τη μειωμένη διείσδυση του νερού στο υπέδαφος εξαιτίας της αποξήρανσης και της σφράγισης των πόρων του εδάφους (Prager et al., 2011); (Wong et al., 2010) καθώς και την περαιτέρω απώλεια της οργανικής ύλης και των θρεπτικών συστατικών του εδάφους, γεγονότα που οδηγούν στην ερημοποίηση.

Η αλάτωση και η αλκαλίωση του εδάφους έχουν σημαντική επίδραση και στην παραγωγή της καλλιέργειας (Sparks, 2003). Οι μηχανισμοί με τους οποίους η αλατότητα δρα στην ανάπτυξη των φυτών περιγράφονται από διάφορες θεωρίες όπως η ωσμωτική αναστολή (Koorevaar et al., 1983), οι διαταραχές στην ισορροπία θρεπτικών για τα φυτά (Verbruggen & Hermans, 2013) και η επίδραση του ιοντικού φορτίου (Munns, 2002; Munns, 2005). Η αυξημένη συγκέντρωση των ιόντων Na^+ καταστρέφει τη μορφολογία των φυτικών κυττάρων, περιορίζει τα ποσοστά φωτοσύνθεσης και μειώνει την παραγωγή χλωροφύλλης. Επιπρόσθετα, τα ιόντα του εδάφους δύναται να επηρεάσουν την διαδικασία μεταβολισμού του αζώτου, το οποίο είναι απαραίτητο θρεπτικό για την ανάπτυξη των φυτών.

1.2. Εδαφική γονιμότητα και όρια χημικών παραμέτρων

Για τη διασφάλιση της βιωσιμότητας της παραγωγής είναι απαραίτητο το έδαφος να βρίσκεται σε καλή κατάσταση, δηλαδή να είναι γόνιμο. Για τον έλεγχο της γονιμότητας του εδάφους εξετάζεται αρχικά το είδος της αλάτωσης που πλήττει το έδαφος στη συνέχεια οι επιδράσεις της αλάτωσης στην πρόσληψη θρεπτικών και νερού από το έδαφος. Για την εύρεση του είδους της αλάτωσης του εδάφους χρησιμοποιείται η κατηγοριοποίηση του Πίνακα 1.1, εφόσον έχει προηγηθεί ο προσδιορισμός της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του

κορεσμένου εκχυλίσματος (electrical conductivity of saturated paste extract, EC_e), του SAR και του pH των εδαφικών δειγμάτων.

Πίνακας 1.1: Κατηγοριοποίηση εδαφών με βάση τους δείκτες EC_e , SAR, και pH (Van Beek & Tóth, 2012).

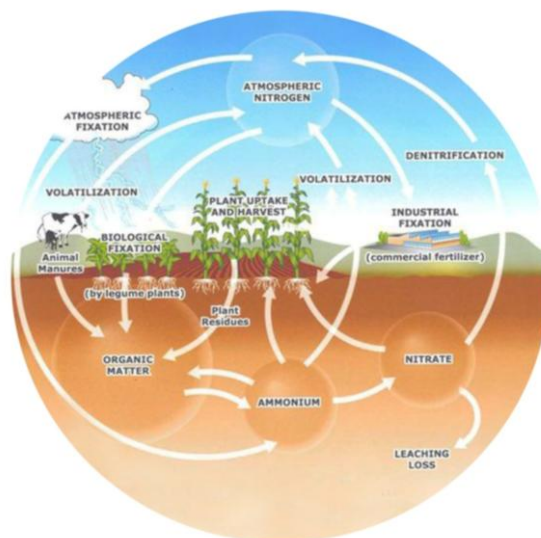
Soil type (Τύπος εδάφους)	EC_e (dS/m)	SAR	pH
Non saline, non alkaline (Μη αλατούχο, μη αλκαλιωμένο)	<4	<13	<8.5
Saline (Αλατούχο)	≥ 4	<13	<8.5
Alkaline (Αλκαλιωμένο)	<4	≥ 13	>8.5
Saline - Sodic (Αλατούχο – αλκαλιωμένο)	≥ 4	>13	>8.5

Για την εξασφάλιση της ορθής ανάπτυξης των φυτών είναι απαραίτητη η βιοδιαθεσιμότητα θρεπτικών και κυρίως αζώτου (N) και φωσφόρου (P) στο έδαφος. Το N ενισχύει την ανάπτυξη του φυτού ενώ παράλληλα μειώνει τον χρόνο παραγωγής καθώς επιταχύνει την ωριμότητα των καρπών. Ο P αποτελεί το σπουδαιότερο θρεπτικό για την καλλιέργεια καθώς προκαλεί έντονη ανάπτυξη των ριζών που οδηγεί στην καλύτερη αξιοποίηση των θρεπτικών συστατικών και επίσης ενισχύει την ανθεκτικότητα του φυτού καθώς συμβάλλει στην δημιουργία ανθεκτικού κορμού και υγιούς φυλλώματος (Gould, 1992).

Τα θρεπτικά θα πρέπει να βρίσκονται στο έδαφος σε συγκεκριμένες συγκεντρώσεις ώστε αφενός να είναι δυνατή η ανάπτυξη των φυτών και αφετέρου να μην προκαλούνται προβλήματα στο φυτό λόγω συσσώρευσής τους ή στο περιβάλλον λόγω έκπλυσης τους. Τα θρεπτικά μπορεί να βρίσκονται στο έδαφος σε διάφορες μορφές, αλλά για να είναι δυνατή η πρόσληψη τους από τα φυτά θα πρέπει να μετατραπούν σε αξιοποιήσιμες μορφές. Στις καλλιέργειες η εξασφάλιση των αποδεκτών συγκεντρώσεων θρεπτικών στο έδαφος, ώστε να ευνοείτε η ανάπτυξη των φυτών, γίνεται με την εφαρμογή λίπανσης. Τα λιπάσματα όμως έχουν χαμηλή απόδοση, που σημαίνει πως μόνο ένα μέρος των θρεπτικών ουσιών που περιέχουν μπορεί να προσληφθεί από τα φυτά (Gyaneshwar et al., 2002), καθώς έχει παρατηρηθεί ότι μετά την λίπανση ο P καθιζάνει στο έδαφος με αποτέλεσμα να μην είναι διαθέσιμος στα φυτά (Gyaneshwar et al., 2002), ενώ το N μπορεί να χαθεί μέσω έκπλυσης νιτρικών. Γενικά για να υπάρχει μια εικόνα της πορείας των θρεπτικών του εδάφους θα πρέπει να υπολογιστεί η ποσότητα του εκάστοτε θρεπτικού που περιέχεται στη λίπανση, η ποσότητα που προσλαμβάνεται από τα φυτά, η περιεκτικότητα του στο έδαφος και τέλος ποσότητα που χάνεται (leaching) (Ren et al., 2010).

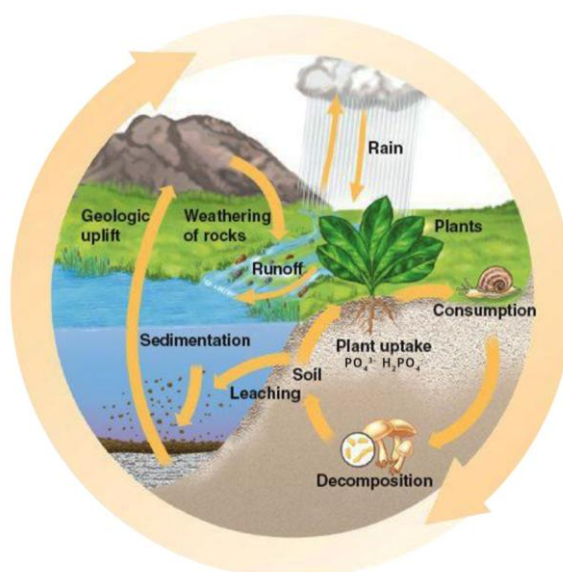
Το N βρίσκεται κυρίως στο έδαφος υπό τη μορφή οργανικής ύλης, όμως, σε αυτή τη μορφή δεν είναι εκμεταλλεύσιμο και πρέπει να διαλυτοποιηθεί προκειμένου να απορροφηθεί από τους φυτικούς οργανισμούς υπό τη μορφή αμμωνίου ($N-NH_4^+$) ή νιτρικών $N-(N-NO_3^-)$ (Εικόνα 1.3). Τα $N-NO_3^-$ μπορούν να υποστούν έκπλυση και να παρασυρθούν από το χόμα

σχετικά εύκολα ειδικά σε περιοχές με υψηλά ποσοστά βροχόπτωσης, λόγω του αρνητικού τους σθένους, γεγονός που οδηγεί στη ρύπανση των υπόγειων υδάτων (Biswas et al., 2000).



Εικόνα 1.3: Ο κύκλος του αζώτου [Πηγή: International Plant Nutrition Institute, IPNI]

Ο P βρίσκεται στο έδαφος σε δεσμευμένη μορφή και για να προσληφθεί από τα φυτά θα πρέπει να διαλυτοποιηθεί σε φωσφορικά (PO_4^{3-}) ή δισόξινα φωσφορικά (H_2PO_4^-) (Morard et al., 2000) (Εικόνα 1.4). Ο P είναι περιοριστικός παράγοντας ανάπτυξης του φυτού καθώς εμφανίζει μικρή συγκέντρωση και κινητικότητα στο έδαφος. Η διαθεσιμότητα του P στο έδαφος είναι πολύ μικρότερη σε σχέση με την περιεκτικότητά του και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τις περισσότερες φορές να παρεμποδίζεται η πρόσληψή του από τα φυτά (Md. Saghir Khan et al., 2014). Σε υψηλές συγκεντρώσεις ο P μπορεί να χαθεί από το έδαφος και να προκαλέσει προβλήματα ευτροφισμού αν καταλήξει υδάτινους αποδέκτες.



Εικόνα 1.4: Ο κύκλος του φωσφόρου (Dearborn, 2016)

Έχει παρατηρηθεί ότι η αλατότητα επηρεάζει την ισορροπία των N και P στο έδαφος, με διάφορους τρόπους καθώς μπορεί να προκαλέσει μείωση της διαθεσιμότητας τους, ανταγωνιστική πρόσληψή τους από τα φυτά ή και απενεργοποίηση τους (Grattan & Grieve, 1994). Είναι δυνατόν κάποιες από αυτές τις διεργασίες να συμβαίνουν ταυτόχρονα αλλά εάν τελικά επηρεάζουν την απόδοση ή την ποιότητα των καλλιεργειών εξαρτάται από το επίπεδο της αλατότητας, την σύνθεση των αλάτων, τα είδη των καλλιεργειών, καθώς και από περιβαλλοντικούς παράγοντες (Grattan & Grieve, 1998).

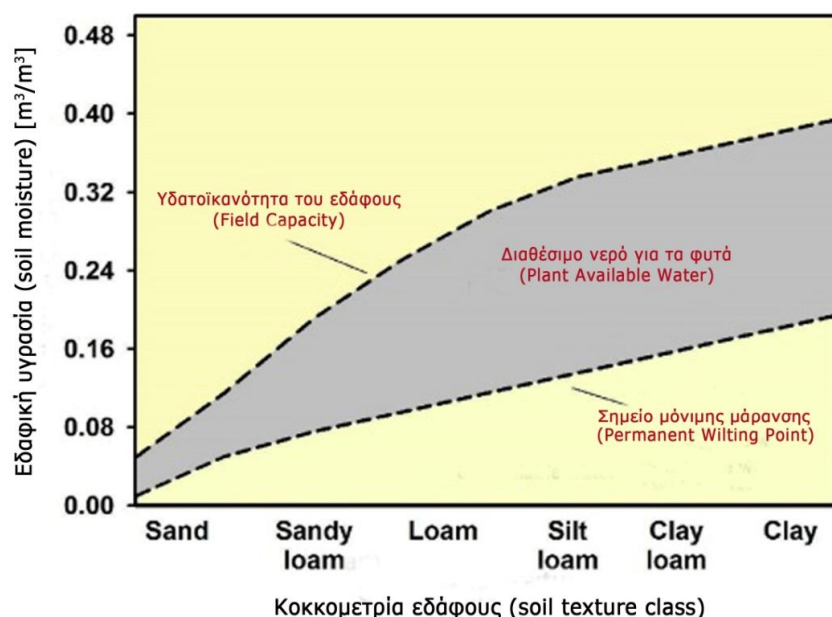
Η αυξημένη συγκέντρωση αλάτων στο έδαφος προκαλεί μείωση του ολικού οργανικού άνθρακα (Total organic carbon, TOC) καθώς μειώνεται η περιεκτικότητα του σε θρεπτικά καθώς και η μικροβιακή και ενζυμική δραστηριότητας του (Singh, 2015). Αυτό το γεγονός οδηγεί στη μειωμένη παραγωγή βιομάζας, η οποία επηρεάζει αρνητικά την διανομή και την σταθερότητα των συσσωματωμάτων του εδάφους (Six et al., 2000).

Στον Πίνακα 1.2 παρουσιάζονται οι αποδεκτές συγκεντρώσεις θρεπτικών στο έδαφος ώστε να ευνοείται η ανάπτυξη των φυτών σε καλλιεργήσιμα ελληνικά εδάφη και παράλληλα να αποτρέπεται ο κίνδυνος συσσώρευσης και έκπλυσης τους.

Πίνακας 1.2: Φυσιολογικές τιμές θρεπτικών του εδάφους που συνηθίζονται σε ελληνικά εδάφη.

Θρεπτικά	Τιμή	Μονάδα
Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC)	20-30	g/kg
Ολικό άζωτο (TN)	1,5-2,5	g/kg
Άζωτο σε μορφή νιτρικών (N-NO_3^-)	11-40	mg/kg
Άζωτο σε μορφή αμμωνίου (N-NH_4^+)	2-10	mg/kg
Διαθέσιμος φώσφορος (Olsen P)	< 230	mg/kg

Τέλος, για την εξασφάλιση της ορθής ανάπτυξης των φυτών πρέπει να ελεγχθεί η υγρασία του εδάφους η οποία θα πρέπει να είναι επαρκής για την κανονική ανάπτυξη των φυτών, αλλά όχι τόσο μεγάλη ώστε να εμποδίζει την πρόσληψη οξυγόνου από τις ρίζες (Brady & Weil, 2008). Σύμφωνα με τους Lincoln et al. (2010) τα εδάφη συγκρατούν διαφορετικό ποσοστό νερού ανάλογα με την κοκκομετρία και τη δομή τους. Το ανώτερο όριο της συγκράτησης νερού από το έδαφος ονομάζεται υδατοϊκανότητα του εδάφους (Field Capacity), ενώ το κατώτερο όριο ονομάζεται σημείο μόνιμης μάρανσης (Permanent Wilting Point). Η συνολική ποσότητα του διαθέσιμου νερού για τα φυτά (Plant Available Water) είναι η διαφορά αυτών των δύο ορίων και εκφράζεται σε ποσοστό επί τοις εκατό κατ' όγκο (Εικόνα 1.5). Επομένως, εάν το ποσοστό της υγρασίας του εδάφους βρίσκεται σε αυτό το εύρος είναι δυνατή η πρόσληψη νερού από τα φυτά.



Εικόνα 1.5: Γενική σχέση μεταξύ του διαθέσιμου νερού για τα φυτά, της χωρητικότητας του εδάφους σε νερό και του σημείου μάρανσης των φυτών λόγω της έλλειψης νερού για εδάφη με διαφορετική κοκκομετρία (Lincoln et al., 2010).

1.3. Τριχόδερμα

Η περιοχή του εδάφους γύρω από τη ρίζα του φυτού, καθώς είναι πλούσια σε θρεπτικά συστατικά φιλοξενεί μεγάλο μικροβιακό πληθυσμό, ικανό να ασκεί ευεργετική, ουδέτερη ή επιζήμια επίδραση στην ανάπτυξη του φυτού. Διάφορα στελέχη του μύκητα *Trichoderma* έχουν μελετηθεί ευρέως για την ευεργετική τους δράση στην ανάπτυξη των φυτών, στην παραγωγικότητα των καλλιεργειών και στη βελτίωση της λίπανσης του εδάφους (Harman et al., 2004). Πιο συγκεκριμένα τα πλεονεκτήματα της χρήσης του μύκητα τριχόδερμα είναι τα ακόλουθα:

- Αυξάνει την ανάπτυξη του φυτού και συγκεκριμένα του ριζικού συστήματος, ιδιαίτερα υπό περιβαλλοντικές πιέσεις (Harman, 2000; Shores et al., 2010).
- Αυξάνει η ανθεκτικότητα του φυτού υπό ακραίες συνθήκες όπως αυτής της ξηρασίας, της αλατότητας και της υψηλής θερμοκρασίας (Mastour et al., 2010; Shores et al., 2010).
- Αυξάνει την ανθεκτικότητα του φυτού στις ασθένειες, εξαιτίας της ικανότητας του να παράγει αντιβιοτικά και να ανταγωνίζεται τους παθογόνους μικροοργανισμούς (Lorito et al., 2010; Bae et al., 2011).
- Βελτιώνεται την πρόσληψη θρεπτικών, ιδιαίτερα N, P και νερού από τα φυτά (Mastour et al., 2010; Shores et al., 2010).

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η ικανότητα του μύκητα να μετατρέπει το δεσμευμένο P του εδάφους σε μορφές αξιοποιήσιμες από τα φυτά μέσω διάφορων μηχανισμών. Οι μηχανισμοί αυτοί περιλαμβάνουν οξίνιση του μέσου, παραγωγή χημικών μεταβολιτών και οξειδοαναγωγή (Altomare et al., 1999). Αν και υπάρχουν μελέτες που παρατηρήθηκε η αύξηση της διαλυτοποίησης του P στο έδαφος των εμβολιασμένων φυτών με τριχόδερμα, είναι περιορισμένες εκείνες που εξηγούν τους μηχανισμούς που εμπλέκονται. Οι García-López et al. (2016) παρατήρησαν ότι ο μύκητας τριχόδερμα και συγκεκριμένα το στελέχος T-13 διευκόλυνε την διαλυτοποίηση του P σε μορφή αξιοποιήσιμη από τα φυτά από ασβεστολιθικά εδάφη τα οποία είχαν λιπανθεί με υψηλό βαθμό P. Οι Li et al. (2015) για καλλιέργεια τομάτας, παρατήρησαν υψηλότερη διαθεσιμότητα του P στα εδάφη των φυτών που είχαν εμβολιαστεί με τριχόδερμα. Επίσης υπό συνθήκες αλατότητας, οι Halvorson et al. (1990) παρατήρησαν ότι η χρήση του μύκητα τριχόδερμα αυξάνει τη διαλυτότητα του P και άρα τη βιοδιαθεσιμότητα του στο έδαφος και υπό συνθήκες αλατότητας.

Επομένως το τριχόδερμα μπορεί να μειώσει την ανάγκη της λίπανσης, γεγονός που μειώνει το κόστος της καλλιέργειας καθώς αυξάνει τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών του εδάφους ώστε να είναι άμεσα αξιοποιήσιμα από τους φυτικούς οργανισμούς (Adesemoye et al., 2009).

Τα κυριότερα και πιο μελετημένα στελέχη του τριχοδέρματος είναι τα *T. asperellum*, *T. atroviride*, *T. virens*, *T. viride* και *T. harzianum*, με το τελευταίο να είναι και το αντικείμενο της παρούσας μελέτης. Η εφαρμογή του μύκητα λαμβάνει χώρα μία φορά ανά φυτό και μπορεί να πραγματοποιηθεί σε διάφορα στάδια της καλλιέργειας, ανάλογα με το εμπορικό σκεύασμα, π.χ. ως διάλυμα στο νερό άρδευσης, ως πρόσθετο βελτιωτικό του εδάφους στα πρώιμα στάδια ανάπτυξης ή βέλτιστα κατά τη διάρκεια της φύτευσης με διαβροχή (Panagea et al., 2016). Το τριχόδερμα αρχικά αποικεί στη ρίζα του φυτού ξενιστή και ανταγωνίζεται τους παθογόνους μικροοργανισμούς του εδάφους που απειλούν την ανάπτυξη του φυτού, ενώ στη συνέχεια πολλαπλασιάζεται και ευδοκιμεί όσο το φυτό ξενιστής αναπτύσσεται, παρέχοντας του προστασία.

1.4. Το φυτό της τομάτας

1.4.1. Γενικά στοιχεία

Η τομάτα είναι κατά κανόνα ένα ετήσιο οπωροκηπευτικό, αρκετά διαδεδομένο και καλλιεργείται για τον καρπό της, ο οποίος καταναλώνεται ώριμος, νωπός, αποξηραμένος, ακέραιος ή σε πολτό. Η τομάτα έχει ελκυστικό χρώμα, χαρακτηριστικό άρωμα και είναι ένα από τα πιο δημοφιλές οπωροκηπευτικά καθώς εφοδιάζει τον ανθρώπινο οργανισμό με βιταμίνες και ιδιαίτερα με ασκορβικό οξύ (Ascorbic acid, ASA) (Εικόνα 1.6).

Κατά κανόνα η καλλιέργεια τομάτας αυξάνει συνεχώς, ενώ πιο συνηθισμένη είναι η καλλιέργειά της εκτός εποχής σε θερμοκήπια (Sargent & Moretti, 2004). Στην Ελλάδα το μεγαλύτερο ποσοστό θερμοκηπίων που καλλιεργούν τομάτα βρίσκεται στην Κρήτη, δεύτερη έρχεται η Πελοπόννησος και η Δυτική Στερεά Ελλάδα και τρίτη η Μακεδονία (Κατσογιάννη, 2010). Το μεγαλύτερο μέρος της έκτασης της καλλιέργειας, περίπου 62,5% αφορά καλλιέργεια βιομηχανικής τομάτας που προορίζεται για μεταποίηση, ενώ το 34,3% αφορά καλλιέργεια τομάτας για επιτραπέζια χρήση (Κατσογιάννη, 2010).

Η τομάτα είναι ένα φυτό με υψηλές ανάγκες σε N, γεγονός που οδηγεί στην εφαρμογή υψηλής συγκέντρωσης N στο έδαφος μέσω λίπανσης με αποτέλεσμα να αυξάνεται και η ποσότητα N που χάνεται στο υπέδαφος (leaching) (Power & Schepers, 1989). Επιπρόσθετα στην καλλιέργεια τομάτας έχει παρατηρηθεί μικρό ποσοστό ανάκτησης του N στο έδαφος, γεγονός που ενισχύει την αύξηση του N που χάνεται και δύναται να προκαλέσει μόλυνση στα υπόγεια νερά (Creamer et al., 1996).



Εικόνα 1.6: Ο καρπός του φυτού της τομάτας (Φωτογραφία από θερμοκηπιακή καλλιέργεια τομάτας στο Τυμπάκι, Κρήτης)

1.4.2. Ανοχή της τομάτας στην αλατότητα

Η ντομάτα είναι φυτό μέσης ευαισθησίας στην αλατότητα. Η επίδραση της αλατότητας εξαρτάται από το είδος των αλάτων που περιέχονται στο νερό, από τη χρησιμοποιούμενη ποικιλία ή υβρίδιο και από το στάδιο ανάπτυξης του φυτού (Mass & Hoffman, 1977). Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα 2,5 dS/m, διότι η υψηλή αλατότητα μειώνει το ποσοστό βλάστησης του σπόρου, αυξάνει το χρόνο που απαιτείται για την πλήρη βλάστησή του και επιβραδύνει την ανάπτυξη του φυτού (Mass & Hoffman, 1975; Saranga et al., 1991). Στο στάδιο όμως της παραγωγής καρπών, η ανθεκτικότητα του φυτού στην αλατότητα αυξάνεται αρκετά (Bolarin et al., 1993) και φτάνει σε επίπεδα που τα νεαρά φυτά θα είχαν καταστραφεί. Η αλατότητα επηρεάζει τη μορφολογία και τη φυσιολογία του φύλλου, επειδή μειώνει τον αριθμό των στοματιδίων που είναι ανοικτά ανά μονάδα φυλλικής

επιφάνειας, την αγωγιμότητα των στοματιδίων και το ρυθμό φωτοσύνθεσης (λόγω κλεισίματος των στοματιδίων και μείωση του αριθμού τους). Η αντοχή της τομάτας στην αλατότητα σχετίζεται με την περιεκτικότητα των φύλλων σε Na^+ (Cuartero et al., 2002). Συγκεκριμένα, θα πρέπει τα νεαρά φύλλα να έχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε ιόντα Na^+ . Τέλος, η αλατότητα του νερού άρδευσης επηρεάζει σημαντικά και την ποιότητα των σχηματιζόμενων καρπών. Συγκεκριμένα, η αλατότητα βελτιώνει την ποιότητα του καρπού καθώς προκαλεί αύξηση της περιεκτικότητας του σε ολικά διαλυτά στερεά (Total Soluble Solids, TSS) (Li et al., 1999), ολική οξύτητα (Total acidity, TA) (Boari et al., 2016) και ασκορβικό οξύ (Ali & Ismail, 2014).

1.5. Καλλιέργεια σε θερμοκήπιο

Το θερμοκήπιο είναι μια γεωργική κατασκευή που καλύπτεται με διαφανές υλικό ώστε να επιτρέπεται η είσοδος του φυσικού φωτισμού. Γενικά με το θερμοκήπιο αποφεύγονται οι ζημιές στα φυτά από τις αντίξοες καιρικές συνθήκες, ρυθμίζονται οι συνθήκες του περιβάλλοντος για το υπέργειο και το υπόγειο τμήμα του φυτού και επιτυγχάνεται αποτελεσματικότερη φυτοπροστασία. Σε ευρωπαϊκό επίπεδο η θερμοκηπιακή καλλιέργεια ξεκίνησε από την Ιταλία το 1960, με την ένταξη των πλαστικών προστατευτικών καλυμμάτων στην γεωργία (Mugnozza et al., 1992). Σήμερα η καλλιέργεια σε θερμοκήπιο παρουσιάζει αύξηση σε όλο τον κόσμο με κατ' εκτίμηση 473.000 ha θερμοκηπίων σε όλες τις ηπείρους (International Greenhouse Vegetable Production - Statistics, 2016), ο βαθμός πολυπλοκότητας και τεχνολογίας των οποίων εξαρτάται από τις τοπικές κλιματικές συνθήκες και το κοινωνικό-οικονομικό περιβάλλον της εκάστοτε περιοχής.

Οι χώρες της Μεσογείου είναι σε αρκετά πλεονεκτική θέση όσον αφορά την θερμοκηπιακή καλλιέργεια, εξαιτίας της τοποθεσίας και του κλίματος τους, το οποίο παρουσιάζει υψηλή θερμοκρασία (Leonardi & De Pascale, 2010). Κατά την διάρκεια των 20 τελευταίων ετών, οι χώρες της Μεσογείου έχουν γίνει οι πιο ανταγωνιστικοί παραγωγοί στην καλλιέργεια οπωροκηπευτικών θερμοκηπίου, καθώς έχουν προκαλέσει επανάσταση στις τεχνολογίες που ρυθμίζουν την παραγωγή του θερμοκηπίου, όσον αφορά τον σχεδιασμό του, τον τύπο και την ποιότητα του υλικού επικάλυψης, την υδρολίπανση, την λίπανση, τη χρήση υβριδίων υψηλής απόδοσης, τις τεχνικές κλαδέματος, την ολοκληρωμένη διαχείριση επιβλαβών οργανισμών, τη ρύθμιση των απαιτούμενων συνθηκών για την καλλιέργεια και την ηλιοαπολύμανση του εδάφους (FAO, 2013).

Κατά την θερμοκηπιακή καλλιέργεια η πρώτη εργασία που πρέπει να γίνει είναι η προετοιμασία του εδάφους, που περιλαμβάνει την απομάκρυνση των υπολειμμάτων της προηγούμενης καλλιέργειας και καταστροφή τους με φωτιά, επαρκή άρδευση, εφαρμογή κομπόστ και βασική λίπανση στις γραμμές καλλιέργειας με οργανικά και ανόργανα

λιπάσματα. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται η μεταφύτευση των σπορόφυτων στα κύπελλα ή στα ομαδικά μέσα σποράς και μετά από 25-40 ημέρες πραγματοποιείται η φύτευση σε θερμοκήπιο. Οι αποστάσεις φύτευσης καθορίζονται από διάφορους παράγοντες όπως η εποχή φύτευσης, ο τύπος του θερμοκηπίου, το σύστημα άρδευσης, η καλλιεργούμενη ποικιλία, κ.α. Η φύτευση πρέπει να γίνεται απογευματινές ώρες και σε έδαφος που έχει κανονικά ποσοστά υγρασίας. Όσον αφορά το σύστημα άρδευσης ρυθμίζεται ανάλογα με τον τύπο του εδάφους, την θερμοκρασία, την υγρασία, την φυλλική επιφάνεια του φυτού, την ηλικία του, το στάδιο ωρίμανσης του και την ποιότητα του νερού. Για την επιτυχία της καλλιέργειας, πραγματοποιείται εφαρμογή λιπάνσεων κατά την διάρκεια της ανάπτυξης και καρποφορίας των φυτών, η οποία τις περισσότερες φορές γίνεται με διάλυση στερεών λιπασμάτων (σε μορφή σκόνης) στο νερό.

1.6. Παλαιότερες μελέτες της επίδρασης της αλατότητας άρδευσης και του *T. harzianum* στη ποιότητα του εδάφους

Στους Πίνακες 1.3 και 1.4 παρουσιάζονται μελέτες και πειράματα της βιβλιογραφίας ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση και η επαλήθευση των πειραματικών αποτελεσμάτων της παρούσας έρευνας. Στον Πίνακα 1.3 παρουσιάζονται μελέτες με θέμα τις επιπτώσεις της άρδευσης με αλμυρό νερό στις διεργασίες του εδάφους. Στις περισσότερες μελέτες η άρδευση με νερό υψηλής αλατότητας προκάλεσε συσσώρευση άλατος στο έδαφος, με αποτέλεσμα την αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους (Blanco & Folegatti, 2002; Maggio et al., 2004; Romero-Aranda et al., 2001; Bajwa et al., 1984; Vanessa N L Wong et al., 2008; Alva & Syvertsen, 1991). Ακόμη, η αύξηση των τοξικών ιόντων Na^+ στο έδαφος, τα οποία προέρχονται από τον ιοντισμό του άλατος, προκάλεσε μείωση της συγκέντρωσης άλλων απαραίτητων θρεπτικών ιόντων, ιδιαίτερα ιόντων ασβεστίου Ca^{2+} , μαγνησίου Mg^{2+} και καλίου K^+ (Fernández-garcía et al., 2004; Vanessa N L Wong et al., 2008; Alva & Syvertsen, 1991), με αποτέλεσμα την αύξηση του SAR (Bajwa et al., 1984; Vanessa N L Wong et al., 2008). Όσον αφορά το pH, παρατηρήθηκε ότι η αλάτωση έχει την τάση να αυξήσει το pH του εδάφους (Bajwa et al., 1984; Alva & Syvertsen, 1991) ή να μην το επηρεάσει (Maggio et al., 2004). Στον Πίνακα 1.4 παρουσιάζονται μελέτες της βιβλιογραφίας σχετικά με την επίδραση των συμβιωτικών παραγόντων και κυρίως του μύκητα *T. harzianum* στην ανάπτυξη των φυτών μέσω διάφορων μηχανισμών. Σε όλες τις μελέτες βρέθηκε ότι η χρήση συμβιωτικών παραγόντων στη καλλιέργεια ενισχύει την διαλυτοποίηση των θρεπτικών του εδάφους σε μορφές διαθέσιμες προς τα φυτά με αποτέλεσμα την βελτιωμένη πρόσληψη τους από τα φυτά, γεγονός που αύξησε την ανάπτυξη της φυτών. Ακόμη οι Fernández-garcía et al., (2004) και οι Zhao & Zhang, (2015) παρατήρησαν ότι η χρήση συμβιωτικών παραγόντων αύξησε την ανθεκτικότητα των φυτών στην αλατότητα.

Πίνακας 1.3: Παλαιότερα πειράματα με θέμα τις επιπτώσεις της άρδευσης με υφάλμυρο νερό στο έδαφος.

Περιοχή	Καλλιέργεια & Έδαφος	Αντικείμενο	Αποτελέσματα	Βιβλιογραφική αναφορά
Riverside, California	Αμμώδες έδαφος, καλλιέργεια σε θερμοκήπια, χωράφια και θαλάμους νερού	Επιπτώσεις της αλατότητας στην απόδοση της παραγωγής, στην ανάπτυξη του καρπού και στο έδαφος.	<ul style="list-style-type: none"> • Τομάτα φυτό μέσης ευαισθησίας στην αλατότητα (όριο $EC_{\text{εδάφους}}=2,5$ dS/m) • Η απόδοση της παραγωγής μειώνεται κατά 9,9% για κάθε dS/m, όταν η αλατότητα εδάφους ξεπεράσει το όριο των 2,5 dS/m 	Mass & Hoffman, 1977
Scottsville 3209, South Africa	Κάθετα εδάφη με περιεκτικότητα αργίλου 25-35% (έκταση=12ha)	Επιπτώσεις της αλατότητας και της νατρίωσης στην ποιότητα του εδάφους. Για τον προσδιορισμό της αλατότητας χρησιμοποιείται η EC, ενώ για τη μέτρηση της νατρίωσης, ο SAR.	<ul style="list-style-type: none"> • Μεταβολές στις φυσικοχημικές τους ιδιότητες • Μείωση της μικροβιακής κοινότητας • Μείωση TOC (μέση περιεκτικότητα TOC στο έδαφος 26-27 g/kg) • Μείωση διαλυτοποίησης των θρεπτικών του εδάφους (κυρίως N, P) 	Rietz & Haynes, 2003
Piracicaba, Brazil	Καλλιέργεια σε θερμοκήπιο που περιέχει πηλώδες-αμμώδες-λασπώδες έδαφος	Η αλατότητα του νερού άρδευσης και η διαχείριση της έκπλυσης επηρεάζουν την συσσώρευση και τη διανομή του άλατος στο έδαφος του θερμοκηπίου	<ul style="list-style-type: none"> • Αύξηση της αλατότητας του εδάφους (μέγιστη τιμή EC 4,5 dS/m) • Η συσσώρευση άλατος εμφανίστηκε κοντά στην επιφάνεια του εδάφους 	Blanco & Folegatti, 2002
Portici (NA), Italy	Αμμοπηλώδες έδαφος, καλλιέργεια σε χωράφι	Μελέτη της φυσιολογικής αντίδρασης της ντομάτας, ύστερα από μακροχρόνια άρδευση με αλμυρό νερό σε αλατούχα εδάφη.	<ul style="list-style-type: none"> • Συσσώρευσης άλατος στο έδαφος (μέγιστη τιμή EC 9,8dS/m) • Αύξηση της υγρασίας του εδάφους εξαιτίας της δυσκολίας πρόσληψης νερού από τα φυτά (ωσμωτικό φορτίο: 0,72-1,07 MPa) 	Maggio et al., 2004
Algarrobo-Costa, Malaga, Spain	Καλλιέργεια σε θερμοκήπιο	Η πρόσληψη νερού από το φυτό της τομάτας και η γενικότερη σχέση μεταξύ του φυτού και νερού, όταν αυτό αναπτύσσεται υπό συνθήκες αλατότητας.	<ul style="list-style-type: none"> • Το pH παρέμεινε σχετικά σταθερό και στις δύο γραμμές μεταχείρισης • Αύξηση της αλατότητας του εδάφους • Παρεμπόδιση πρόσληψης νερού από τα φυτά (κατά τη λήξη του πειράματος μέση πρόσληψη νερού 12,5-16,4 L νερού/φυτό) 	Romero-Aranda, et al., 2001
Ludhiana, India	Αμμοπηλώδες έδαφος, καλλιέργεια σε χωράφι	Οι επιδράσεις της παρατεταμένης άρδευσης με υφάλμυρο νερό στην αλατότητα του εδάφους και στην απόδοση της παραγωγής της καλλιέργειας.	<ul style="list-style-type: none"> • Αύξηση της συγκέντρωσης του άλατος στο έδαφος (μέση τιμή EC σε όλες τις μεταχειρίσεις στο τέλος του πειράματος 4,3 dS/m) • Αύξηση του δείκτη SAR (μέση τιμή SAR σε όλες τις μεταχειρίσεις στο τέλος του πειράματος 14,8) 	Bajwa et al., 1984

			<ul style="list-style-type: none"> • Αύξηση του pH του εδάφους (μέση τιμή pH σε όλες τις μεταχειρίσεις στο τέλος του πειράματος 8,76) 	
Bevendale, New South Wales, Australia	Καλλιέργεια σε θερμοκήπιο	Οι επιπτώσεις της αλατότητας και της αλκαλικότητας στην αναπνοή και στη μικροβιακή βιομάζα του εδάφους.	<ul style="list-style-type: none"> • Αύξηση της συγκέντρωσης άλατος στο έδαφος (υψηλότερη τιμή EC 15,94 dS/m)\ • Αύξηση του SAR, με αποτέλεσμα τη μείωση της διήθησης του νερού στο έδαφος (υψηλότερη τιμή SAR 4,22) • Συσσώρευσης των ιόντων Na^+ • Αύξηση της μικροβιακής βιομάζας του εδάφους (Soil microbial biomass, SMB) σε αλατούχα εδάφη ενώ μείωση σε αλκαλιωμένα εδάφη 	Vanessa N L Wong et al., 2008
Central Florida	Αμμώδες έδαφος. Καλλιέργεια σε χωράφι	Οι επιδράσεις της αλατότητας του νερού άρδευσης στην κατανομή των θρεπτικών συστατικών στο έδαφος και στα φύλλα του φυτού και στην πυκνότητα της ρίζας σε εσπεριδοειδή φρούτα υπό συνθήκες υδρολίπανσης.	<ul style="list-style-type: none"> • Αύξηση της EC του εδάφους (μέγιστη τιμή EC 0,2 στην περίπτωση άρδευσης με συγκέντρωση άλατος 2,5 dS/m) • Μικρή αύξηση του pH του εδάφους (μέγιστη τιμή pH 6,3 στην περίπτωση άρδευσης με συγκέντρωση άλατος 2,5 dS/m) • Αύξηση της συγκέντρωσης των ιόντων Na, Ca^{2+}, Cl^-, • μείωση της συγκέντρωσης των ιόντων μαγνησίου (Mg^{2+}) • καμία επιρροή στη συγκέντρωση του N 	Alva & Syvertsen, 1991
Monarto, South Australia	Αμμώδες και αμμοπηλώδες έδαφος	Η αλατότητα και η νατρίωση επηρεάζουν την αναπνοή του εδάφους και το διαλυμένο οργανικό δυναμικό του εδάφους, με διαφορετικό τρόπο σε εδάφη που ποικίλουν σε υφή.	<ul style="list-style-type: none"> • Αύξηση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οργανικού άνθρακα (Dissolved organic carbon, DOC) και του διαλυμένου οργανικού αζώτου (Dissolved organic nitrogen, DON) λόγω αλάτωσης (αρνητική επίδραση στη μικροβιακή κοινότητα) • Παρατηρήθηκε ότι ο τύπος του εδάφους (υφή εδάφους και περιεκτικότητα του σε νερό) παίζει σημαντικό ρόλο στην απόκριση των μικροοργανισμών στο αλάτι, εξαιτίας της επίδρασης τους με τη συγκέντρωση άλατος στο δ/μα του εδάφους και ως εκ τούτου το οσμωτικό δυναμικό του εδάφους μπορεί να αποτελέσει ένα καλό μέτρο για την αξιολόγηση του στρες των μικρόβιων στα αλατούχα εδάφη. 	Mavi et al., 2012

Πίνακας 1.4: Παλαιότερα πειράματα σχετικά με τις επιδράσεις των συμβιωτικών παραγόντων στο έδαφος σε καλλιέργεια τομάτας.

Περιοχή	Καλλιέργεια & Έδαφος	Αντικείμενο	Αποτελέσματα	Βιβλιογραφική αναφορά
Irbid, Jordan	Αμμόδες-λασπώδες-πηλώδες έδαφος, καλλιέργεια σε θερμοκήπιο	Η ανάπτυξη και η πρόσληψη μεταλλικών στοιχείων σε φυτά ντομάτας που έχουν εμβολιαστεί με τον ωφέλιμο μύκητα μυκόριζα	Βελτιωμένη πρόσληψη θρεπτικών όπως ο φώσφορος (P), ο ψευδάργυρος (Zn) και ο χαλκός (Cu), τα οποία έχουν χαμηλή κινητικότητα λόγω της επικράτησης των ιόντων Na^+ και Cl^- , που προέρχονται από την συσσώρευση άλατος στο έδαφος.	Al-Karaki, 2000
Murcia, Spain	Καλλιέργεια σε θερμοκήπιο	Οι επιδράσεις της αλατότητας στην ανάπτυξη, στην σύνθεση μεταλλικών στοιχείων και στην σχέση με το νερό εμβολιασμένων φυτών ντομάτας.	<ul style="list-style-type: none"> • Μεγαλύτερος ρυθμός ανάπτυξης • Ενίσχυση της πρόσληψης νερού από τα φυτά • Μεγαλύτερη ανοχή στην αλατότητα, (καθώς μπορούν να περιορίσουν την πρόσληψη Na^+) 	Fernández-garcía et al., 2004
Ji'nan, China	Υδροπονική καλλιέργεια σε θερμοκήπιο	Επιδράσεις του μύκητα <i>Trichoderma asperellum</i> Q1 στη διαλυτοποίηση του P υπό συνθήκες αλατότητας.	<ul style="list-style-type: none"> • Αύξηση της διαλυτοποίησης του P του εδάφους • Αύξηση της ανάπτυξης του φυτού • Αύξηση της ανθεκτικότητας του φυτού στη αλατότητα 	Zhao & Zhang, 2015
Nanjing, China	Καλλιέργεια σε θερμοκήπιο	Επίδραση του μύκητα <i>T. harzianum</i> στην ανάπτυξη του φυτού της τομάτας, στη διαθεσιμότητα θρεπτικών και στη μικροβιακή κοινότητα.	<ul style="list-style-type: none"> • Ενίσχυση της ανάπτυξης της ρίζας του φυτού • Αύξηση του ξηρού βάρους του φυτού • Αύξησης της βιοδιαθεσιμότητας θρεπτικών (κυρίως N, P, K) και της πρόσληψης τους από τα φυτά. • Αύξηση της μικροβιακής βιομάζας 	Cai et al., 2015

1.7. Σκοπός της διπλωματικής

Η περιοχή μελέτης (Τυμπάκι, Νότιο Ηράκλειο, Κρήτη) είναι μια κατά βάση γεωργική περιοχή, στην οποία κύρια πηγή αρδευτικού νερού αποτελούν τα υπόγεια ύδατα. Εξαιτίας της αυξημένης ζήτησης νερού για αρδευτική χρήση πραγματοποιείται υπεράντληση των υδάτινων πόρων, η οποία σε συνδυασμό με το ξηρό κλίμα της περιοχής έχει οδηγήσει σε υφαλμύριση του υδροφορέα. Η υφαλμύριση υποβαθμίζει την ποιότητα του νερού άρδευσης, καθώς εμφανίζει υψηλή συγκέντρωση άλατος. Επομένως μια από τις κυριότερες πηγές άρδευσης της περιοχής είναι χαμηλής ποιότητας.

Στα πλαίσια της εργασίας πραγματοποιήθηκε πείραμα που περιελάμβανε την θερμοκηπιακή καλλιέργεια τομάτας υπό άρδευση με υφάλμυρο νερό, το οποίο προσομοίασε την περιοχή μελέτης. Ακόμη κάποια φυτά εμβολιάστηκαν με τον μύκητα τριχόδερμα, ώστε να αποκτήσουν βελτιωμένα χαρακτηριστικά. Στην παρούσα εργασία πραγματοποιείται διερεύνηση των επιδράσεων της άρδευσης με αλμυρό νερό και του μύκητα *T. harzianum* στις διεργασίες του εδάφους που τελικά καθορίζουν την απόδοση και την ποιότητα των καλλιεργειών τομάτας θερμοκηπίου. Συγκεκριμένα προσδιορίστηκαν οι βασικότεροι ποιοτικοί δείκτες του εδάφους καθώς και η περιεκτικότητα του σε θρεπτικά για κάθε εδαφική μεταχείριση.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία υπάρχουν διάφορες λύσεις σχετικά με την αντιμετώπιση της αλάτωσης. Η παρούσα εργασία μελετά μια λύση με χαμηλό κόστος που αποβλέπει στην αποτελεσματικότερη πρόληψη και καταπολέμηση της αλάτωσης του εδάφους που πλήττει την περιοχή μελέτης, προκειμένου να δοθούν στους τοπικούς αγρότες οι κατάλληλες γεωργικές πρακτικές.

2. Μεθοδολογία

2.1. Φυσικές ιδιότητες του εδάφους

2.1.1. Φαινόμενη πυκνότητα

Η φαινόμενη πυκνότητα του εδάφους (bulk density) αντανακλά το μέγεθος, το σχήμα και τη διάταξη των σωματιδίων και των πόρων του εδάφους και αποτελεί μια ένδειξη της καταλληλότητας του εδάφους τόσο για την ανάπτυξη των ριζών όσο και για τη διαπερατότητα του και είναι ζωτικής σημασίας για το σύστημα έδαφος-φυτό-ατμόσφαιρα (Cresswell & Hamilton, 2002; McKenzie et al., 2004). Γενικά, είναι επιθυμητό το έδαφος να έχει χαμηλή φαινόμενη πυκνότητα $p_b < 1.5 \text{ g/cm}^3$ (Hunt & Gilkes, 1992), ώστε να επικρατεί βέλτιστη κυκλοφορία του νερού και του αέρα. Η φαινόμενη πυκνότητα στα πλαίσια του πειράματος δεν αναμένεται να μεταβληθεί εξαιτίας της αλατότητας, ενώ υπολογίζεται με σκοπό να αποκτηθούν περισσότερες πληροφορίες σχετικά με το είδος του εδάφους του πειράματος.

Για τη μέτρηση της πυκνότητας του εδάφους πραγματοποιήθηκε συλλογή εδάφους, με χρήση μεταλλικού δακτυλίου γνωστού όγκου, και καθορισμός του βάρους του δείγματος ύστερα από ξήρανση στους 104°C για 2-3 d (Mckenzie et al., 2004). Η σχέση που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της πυκνότητας του ξηρού δείγματος p_b [g/cm] είναι:

$$p_b = \frac{M_s}{V_t} \quad (1)$$

όπου M_s [g] η μάζα του δείγματος χώματος ύστερα από ξήρανση του δείγματος στους 104°C για 2-3 d και V_t [cm³] ο ολικός όγκος του δακτυλίου που χρησιμοποιήθηκε για την δειγματοληψία του χώματος ($V_t = \pi \times r^2 \times h$, όπου r : ακτίνα κυλίνδρου και h : ύψος κυλίνδρου)



Εικόνα 2.1: Δειγματοληψία χώματος για τον προσδιορισμό της φαινομενικής πυκνότητας του εδάφους.

2.1.2. Κοκκομετρία εδάφους

Η κοκκομετρία του εδάφους υπολογίστηκε ώστε να γίνει γνωστός ο τύπος του εδάφους που πραγματοποιήθηκε το πείραμα και αναμένεται να παραμείνει σταθερή κατά τη διάρκεια του πειράματος. Η κοκκομετρική ανάλυση του εδάφους πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο του Bouyoucos (1927), σύμφωνα με την οποία δείγμα γνωστού ξηρού βάρους διασπείρεται σε μια στήλη νερού και η πυκνότητα του αιωρήματος μετριέται σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα. Η αρχή της μεθόδου στηρίζεται στην ταχύτητα καθίζησης των εδαφικών συσσωματωμάτων, γι' αυτό και τα εδαφικά σωματίδια με το μεγαλύτερο μέγεθος (άμμος) καθιζάνουν ταχύτερα από αυτά που έχουν μικρότερο (αργίλος).

Από το αποξηραμένο και κοσκινισμένο εδαφικό δείγμα ζυγίστηκαν 100 g και τοποθετήθηκαν σε δοχείο, και στη συνέχεια προστέθηκαν 100 ml διαλύματος φωσφορικού νατρίου (Na_3PO_4) συγκέντρωσης 0,3 M και έπειτα το μίγμα αναδεύτηκε σε μηχανικό αναδευτήρα για 2 d. Η χρήση του χημικού Na_3PO_4 έγκειται στη διάσπαση των εδαφικών συσσωματωμάτων και εξασφαλίζει ότι οι μικρότερες εδαφικές δομές (ιλύς και αργίλος) δεν θα μπορούν να συσσωματωθούν και να καθιζάνουν μαζί με την άμμο.

Στη συνέχεια το μίγμα μεταφέρθηκε σε κύλινδρο 1.250 ml, ο οποίος συμπληρώθηκε με αποσταγμένο νερό μέχρι τα 1.140 ml. Έπειτα ο κύλινδρος ανακινήθηκε έντονα και αφέθηκε σε ηρεμία σε μέρος που δεν αναμενόταν να υπάρξουν έντονες θερμοκρασιακές μεταβολές, που θα μπορούσαν να επιφέρουν αλλαγή στην πυκνότητα του μίγματος. Στη συνέχεια τοποθετήθηκε μέσα το υδρόμετρο και μετά από 40 s μετρήθηκε η πυκνότητα, ενώ μετά αφαιρέθηκε το υδρόμετρο και μετρήθηκε η θερμοκρασία της διάλυσης, προκειμένου να διορθωθεί η επίδραση της θερμοκρασίας στο ιξώδες και στην πυκνότητα του νερού με αναφορά τους 20 °C. Η πυκνότητα και η θερμοκρασία διάλυσης μετράται ξανά μετά από 2 h. Υπολογίζεται ότι η άμμος καθιζάνει στα πρώτα 40 s και η ιλύς μετά από 2 h.

Η ένδειξη του υδρομέτρου διορθώνεται σε «Διορθωμένη Ένδειξη υδρομέτρου» (ΔEY) λόγω θερμοκρασίας σύμφωνα με τη σχέση:

$$\Delta EY \left[\frac{g}{L} \right] = \begin{cases} \text{Ένδ. υδρομ.} + [\text{Ένδ. υδρομ.} - 20] * 0,36, T > 20^\circ\text{C} \\ \text{Ένδ. υδρομ.} - [20 - \text{Ένδ. υδρομ.}] * 0,36, T < 20^\circ\text{C} \end{cases} \quad (2)$$

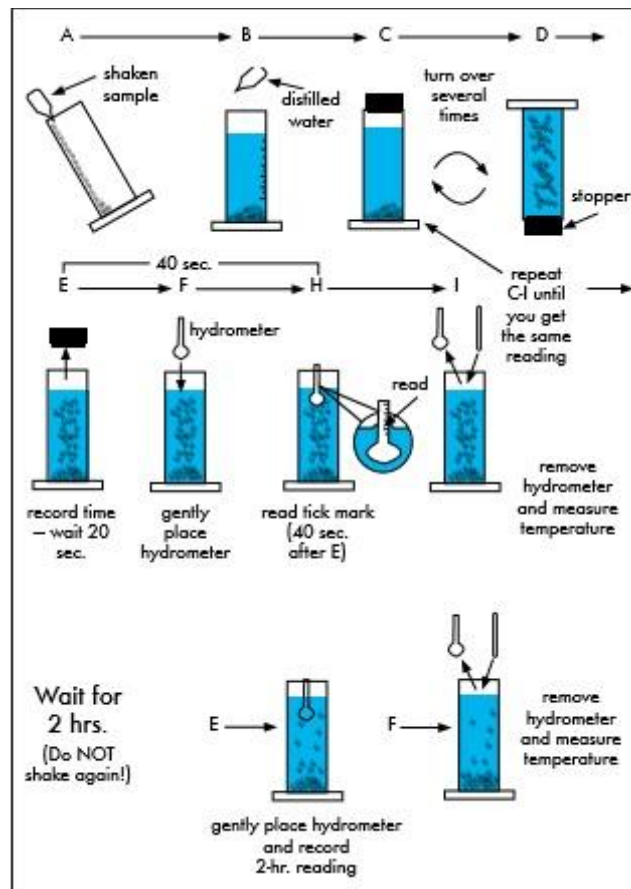
Ο προσδιορισμός της κοκκομετρίας του εδάφους πραγματοποιείται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$a(\%) = \frac{\Delta EY_{2hr}}{DW} * 100 \quad (3)$$

$$b(\%) = \frac{\Delta EY_{40sec}}{DW} * 100 \quad (4)$$

$$c (\%) = [100 - b(\%)] \quad (5)$$

όπου α: η άργιλος, b: η ιλύς και η άργιλος, c: η άμμος και DW: το ξηρό βάρος χόματος.



Εικόνα 2.2 : Σχηματική απεικόνιση της μεθόδου Bouyoucos για τον προσδιορισμό της κοκκομετρίας του εδάφους [Πηγή: Texas Cooperative Extension]

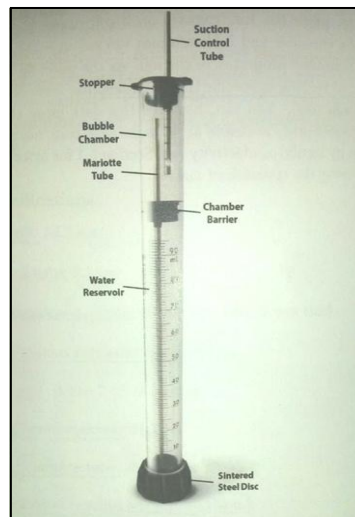
2.1.3. Ακόρεστη Υδραυλικής αγωγιμότητας εδάφους

Η υδραυλική αγωγιμότητα είναι ο ρυθμός με τον οποίο το νερό κινείται δια μέσω των εδαφικών σχηματισμών υπό συγκεκριμένες συνθήκες και υδραυλικές κλίσεις. Γενικά, η υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους εξαρτάται από τη γεωμετρία των πόρων του εδάφους, την περιεκτικότητά τους σε νερό και το δυναμικό κατακράτησης του εδάφους (Rose et al, 1965; Brady & Weil, 2008). Στα πλαίσια του πειράματος πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις πεδίου με το όργανο Mini Disc Infiltrometer, το οποίο δίνει αποτελέσματα σχετικά με την ακόρεστη υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους. Η ακόρεστη υδραυλική αγωγιμότητα αναμένεται να παραμείνει σταθερή κατά τη διάρκεια του πειράματος καθώς δεν μεταβάλλεται από την αλατότητα ενώ η μέτρηση της πραγματοποιείται ώστε να γίνουν γνωστές περισσότερες πληροφορίες για τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους του πειράματος.

Για την προετοιμασία του οργάνου αρχικά πληρώθηκαν τα $\frac{3}{4}$ του θαλάμου φυσαλίδων (bubble chamber) με τρεχούμενο νερό και στη συνέχεια πιέστηκε ο σωλήνας ελέγχου (suction

control) προς τα κάτω, αναποδογυρίστηκε το όργανο και αφού αφαιρέθηκε το ελαστικό κάτω μέρος του (sintered steel disc) πληρώθηκε με νερό η δεξαμενή νερού (water reservoir). Έπειτα, ρυθμίστηκε η θέση του σωλήνα Mariotte (mariotte tube), έτσι ώστε να εξασφαλιστεί μηδενική αναρρόφηση στον θάλαμο φυσαλίδων, επανατοποθετήθηκε το ελαστικό κάτω μέρος του οργάνου και επιλέχθηκε ρυθμός αναρρόφησης 2 cm.

Για τη λήψη των μετρήσεων, τοποθετήθηκε το όργανο σε έδαφος μηδενική κλίσης και καταγράφηκε ο αρχικός όγκος νερού στη δεξαμενή νερού (water reservoir) σε χρόνο μηδέν και στη συνέχεια καταγράφηκε ο όγκος ανά συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα, καθώς το νερό διηθούνταν στο έδαφος. Τέλος, με τη βοήθεια ενός υπολογιστικού φύλλου που χορηγήθηκε από την κατασκευάστρια εταιρία, υπολογίστηκε η ακόρεστη υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους για κάθε εδαφικό δείγμα.



Εικόνα 2.3: Όργανο Mini Disk Infiltrometer για τον προσδιορισμό της ακόρεστης υδραυλικής αγωγιμότητας του εδάφους [Decagon Devices Inc.]

2.1.4. Υγρασίας εδάφους

Η διατήρηση της υγρασίας του εδάφους σε ενδεδειγμένα επίπεδα είναι ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες για την επιτυχία μίας καλλιέργειας. Η υγρασία πρέπει να είναι επαρκής για την κανονική ανάπτυξη των φυτών, αλλά όχι τόσο μεγάλη ώστε να εμποδίζει την πρόσληψη οξυγόνου από τις ρίζες (Brady & Weil, 2008). Τα αποδεκτά όρια υγρασίας που εξασφαλίζουν την ορθή ανάπτυξη του φυτού εξαρτώνται από την κοκκομετρία του εδάφους και παρουσιάζονται στην Εικόνα 1.4.

Για τον προσδιορισμό της υγρασίας του εδάφους χρησιμοποιήθηκαν οι αισθητήρες EC5 ECH20 της εταιρίας Decagon, οι οποίοι καθορίζουν την ογκομετρική περιεκτικότητα σε νερό (VWC) με τη μέτρηση της διηλεκτρικής σταθεράς του μέσου. Οι αισθητήρες τοποθετήθηκαν στις πλάγιες πλευρές της γλάστρας, ακτινικά ως προς το κέντρο της με άμεση επαφή με το

χώμα, παίρνανε μέτρηση σε δυο βάθη εδάφους, 5 cm και 20 cm, ενώ το χρονικό βήμα μέτρησης ήταν 15 min.



Εικόνα 2.4: Αισθητήρες υγρασίας.

2.2. Χημικές ιδιότητες εδάφους

2.2.1. Ολικός Φωσφόρος

Ο ολικός φωσφόρος (Total Phosphorus, TP) του εδάφους είναι από τα σημαντικότερα μακροθρεπτικά του εδάφους. Για τον προσδιορισμό του TP τα εδαφικά δείγματα στεγνώθηκαν στους 40 °C και έπειτα κοσκινιστήκαν σε κόσκινο διαμέτρου πόρων 2 mm και λειοτριβήθηκαν σε γουδί από αχάτη. Στη συνέχεια, πάρθηκε συγκεκριμένης ποσότητα δείγμα (0,2 g) και υποβλήθηκε σε χημική χώνευση με πυκνό θειικό οξύ (4 ml) και διάλυμα 50% H₂O₂ (10 ml) στους 450 °C. Στη συνέχεια το χωνεμένο δείγμα διαλύθηκε με αποσταγμένο νερό σε τελικό όγκο 100 ml και τοποθετήθηκε σε συλλέκτες, όπου και παρέμεινε έως ότου κατακαθίσουν τα στερεά. Τέλος, μετά από διόρθωση του pH με υδροξείδιο του καλίου (KOH) για να προκύψει αλκαλικό διάλυμα, προσδιορίστηκε ο ολικός φωσφόρος με το φασματοφωτόμετρο HACH DR2800 στα 880 nm, ύστερα από αντίδραση του με μολυβδαινικό αμμώνιο ((NH₄)₂MO₄), χρησιμοποιώντας ασκορβικό οξύ ως αναγωγικό μέσο. Τα αποτελέσματα αναφέρονται ως μέρη ανά εκατομμύριο (ppm) του φωσφόρου στο έδαφος ή σε mg φωσφόρου ανά kg εδάφους.

2.2.2. Διαθέσιμος φωσφόρος

Ο διαθέσιμος φωσφόρος αναφέρεται στη μορφή του ολικού φωσφόρου που μπορεί να αξιοποιηθεί από τα φυτά και επομένως επηρεάζει την ανάπτυξη τους. Ο διαθέσιμος P επηρεάζει την συνολική ανάπτυξη του φυτού (Wang e al., 2009), καθώς επηρεάζει διάφορες μεταβολικές διαδικασίες του όπως η κυτταρική διαίρεση και ανάπτυξη, η μεταφορά ενέργειας, η μακρομοριακή βιοσύνθεση, η φωτοσύνθεση και η αναπνοή (Saghir Khan et al., 2009).

Για τον προσδιορισμό του διαθέσιμου φωσφόρου στο έδαφος χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Olsen Phosphorus (Olsen, 1954). Αυτή η μέθοδος υπολογίζει τη σχετική βιοδιαθεσιμότητα του φωσφόρου (P-PO₄) σε εδάφη με εκχύλιση, χρησιμοποιώντας διάλυμα αλκαλικού

διτανθρακικού νατρίου ($\text{pH}=8,5$) και προσδιορίζει τη συγκέντρωση του φωσφόρου στο εκχύλισμα χρωματομετρικά. Έχει εφαρμογή κυρίως σε ασβεστολιθικά εδάφη ($>2\% \text{ CaCO}_3$) που έχουν ήπιο όξινο προς αλκαλικό pH , αλλά διάφορες μελέτες δείχνουν ότι χρησιμοποιείται και για μη ασβεστολιθικά εδάφη (Frank et al., 1998).

Αρχικά σε φιάλη ανακίνησης τοποθετήθηκαν 2,5 g χώματος (το οποίο είχε στεγνωθεί στους 40°C και κοσκινιστεί σε κόσκινο με διάμετρο πόρων 2 mm) και 50 ml διαλύματος διτανθρακικού νατρίου συγκέντρωσης 0,5 M ($\text{pH}=8,5$) και έπειτα το μείγμα ανακινήθηκε με μηχανικό αναδευτήρα στα 180 rpm για 30 min. Στη συνέχεια το μείγμα αφέθηκε σε ηρεμία για 10 min και κατόπιν διηθήθηκε με διηθητικό χαρτί Whatman ME 25/21 ST με διάμετρο πόρων 0,45 μm . Τέλος προσδιορίστηκε ο φωσφόρος στο διηθημένο εκχύλισμα χρωματομετρικά με το φασματοφωτόμετρο HACH DR2800 στα 880 nm, ύστερα από αντίδραση του με μολυβδαινικό αμμώνιο, χρησιμοποιώντας ασκορβικό οξύ ως αναγωγικό μέσο. Τα αποτελέσματα αναφέρονται ως μέρη ανά εκατομμύριο (ppm) του φωσφόρου στο έδαφος ή σε mg φωσφόρου ανά kg εδάφους.

2.2.3. Ολικός οργανικός άνθρακας και ολικό άζωτο

Ο ολικός οργανικός άνθρακας (TOC) που περιέχεται στο έδαφος αποτελείται από υπολείμματα μικροοργανισμών, φυτών και ζώων σε διάφορα στάδια αποσύνθεσης και αποτελεί πηγή τροφής για τους μικροοργανισμούς του εδάφους, οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για τη μετατροπή των θρεπτικών του εδάφους σε μορφή αξιοποιήσιμη από τα φυτά. Το ολικό άζωτο (Total nitrogen, TN) είναι τα πιο σημαντικά συστατικά του εδάφους που επηρεάζουν την γονιμότητα του και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτες λίπανσης και ποιότητας του εδάφους, (Wang et al., 2009; Doran & Parkin, 1994). Είναι απαραίτητο για τη διατήρηση της εδαφικής δομής του εδάφους, τη συγκράτηση της υγρασίας, τη μείωση της διάβρωσης, τη διήθηση του νερού και του αέρα και τέλος για τον έλεγχο της αποτελεσματικότητας των γεωργικών λιπάνσεων στο έδαφος (Wang et al., 2009). Η ανάλυση έγινε με τη χρήση του αντιδραστήρα Multi N/C 2100S (Analytik Jena), ο οποίος μετατρέπει τον περιεχόμενο άνθρακα των δειγμάτων σε διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και το περιεχόμενο άζωτο σε μονοξείδιο του αζώτου (NO) με καύση στους 650°C , παρουσία καταλύτη και οξυγόνου. Η ανίχνευση του CO_2 πραγματοποιήθηκε από αισθητήρα μη διαχεόμενης υπέρυθρης ακτινοβολίας (Nondispersive infrared sensor, NDIR), ενώ η ανίχνευση του NO με τον ανιχνευτή χημικού φωσφορισμού (Chemiluminescence detector, CLD).

Η βαθμονόμηση του άνθρακα έγινε με τη χρήση όξινου φθαλικού καλίου (KHP) και γλυκόζης, ενώ η βαθμονόμηση του αζώτου έγινε με χρήση νιτρικού καλίου (KNO_3) και θειικού αμμωνίου ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$). Αρχικά, τα δείγματα ξεράθηκαν στους 40°C για περίπου 48 h, ώστε να αφαιρεθεί η υγρασία και έπειτα κοσκινίστηκαν σε κόσκινο με διάμετρο πόρων 2

mm για να απαλλαχθεί το δείγμα από πέτρες και φύλλα. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε λειοτριβήση των δειγμάτων σε γουδί από αχάτη προκειμένου να κονιορτοποιηθούν και από κάθε δείγμα ζυγίστηκαν 10-15 mg χρησιμοποιώντας ζυγαριά ακριβείας τεσσάρων δεκαδικών ψηφίων KERN ABJ και τοποθετήθηκαν στο κλίβανο. Κάθε δείγμα αναλύθηκε δύο φορές, ενώ για κάθε 5 δείγματα αναλύθηκε και ένα τυφλό για αποφυγή σφαλμάτων. Τα αποτελέσματα εκφράστηκαν ως g/kg TOC και TN.

2.2.4. Ολικό άζωτο κατά Kjeldahl

Το ολικό άζωτο κατά Kjeldahl (1883) (Total Kjeldahl Nitrogen, TKN) αναφέρεται στο άζωτο, το οποίο μπορεί να βρίσκεται είτε σε οργανική, είτε σε αμμωνιακή μορφή ($N - NH_4^+$). Η συγκέντρωση του οργανικού και του αμμωνιακού αζώτου στο έδαφος εξαρτάται από τη βιολογική δραστηριότητα και παρουσιάζει διακυμάνσεις με τις μεταβολές των συνθηκών, όπως θερμοκρασία και υγρασία.

Για την μέτρηση του TKN αρχικά τα εδαφικά δείγματα ξηράνθηκαν σε κλίβανο στους 40 °C για περίπου 48 h, κοσκινίστηκαν με κόσκινο διαμέτρου πόρων 2 mm και λειοτριβήθηκαν. Στη συνέχεια πάρθηκαν δείγματα συγκεκριμένης ποσότητας (0,2 g) εδάφους, τα οποία υποβλήθηκαν σε χημική χώνευση με πυκνόθειικό οξύ (4 ml) και με διάλυμα 50% H_2O_2 (10 ml) στους 450 °C. Έπειτα, το χωνεμένο δείγμα διαλύθηκε με αποσταγμένο νερό σε τελικό όγκο 100 ml και τοποθετήθηκε σε δοχεία, όπου και παρέμεινε έως ότου κατακαθίσουν τα στερεά (το δείγμα παρέμεινε σταθερό για λίγες ώρες). Όταν το υπερκείμενο υγρό είναι πλέον διαυγές, το άζωτο προσδιορίζεται φασματομετρικά στα 460 nm με την μέθοδο Nessler.

2.2.5. Αμμωνιακό άζωτο και άζωτο υπό μορφή νιτρικών

Το άζωτο (N) αποτελεί βασικό θρεπτικό συστατικό με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση στα φυτά, απαραίτητο για τη σωστή τους ανάπτυξη με αποτέλεσμα να παίζει σημαντικό ρόλο στην παραγωγή βιομάζας των ίδιων των φυτών και των καρπών τους. Το N βρίσκεται κυρίως στο έδαφος υπό τη μορφή οργανικής ύλης, όμως, σε αυτή τη μορφή δεν είναι εκμεταλλεύσιμο καθώς πρέπει να διαλυτοποιηθεί προκειμένου να απορροφηθεί υπό τη μορφή Αμμώνιου ($N - NH_4^+$) το οποίο στη συνέχεια μετατρέπεται σε Νιτρικά ($N - NO_3^-$) μέσω της διαδικασίας της νιτροποίησης. Τα νιτρικά μπορούν να υποστούν έκπλυση και να παρασυρθούν από το χώμα σχετικά εύκολα, ειδικά σε περιοχές με υψηλά ποσοστά βροχόπτωσης, λόγω του αρνητικού τους σθένους. Αξίζει να σημειωθεί πως το N σε μορφή νιτρικών ιόντων είναι απαραίτητο για την ανάπτυξη των φυτών, αλλά από κάποιο σημείο και μετά αποτελεί ρυπογόνο στοιχείο.

Το αμμωνιακό άζωτο ($N - NH_4^+$) στα εδάφη βρίσκεται σε ανταλλάξιμη μορφή και μπορεί να εκχυλίστεί σε θερμοκρασία δωματίου με ένα ουδέτερο διάλυμα άλατος καλίου (KCl). Έπειτα

από ξήρανση του δείγματος σε κλίβανο στους 40 °C για περίπου 48 h και κοσκίνιση του με κόσκινο διαμέτρου πόρων 2 mm, σε 5 g εδαφικού δείγματος προστέθηκαν 25 ml απιονισμένου νερού (αναλογία χρώματος : διαλύματος ίση με 1:5), ενώ στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε ανάδευση για 45 min και ακολούθησε η διήθηση του εκχυλίσματος σε Whatman™ FILTER PAPERS 42. Τέλος, η συγκέντρωση του $N - NH_4^+$ προσδιορίστηκε φωτομετρικά με τη μέθοδο Nessler σε μήκος κύματος 425 nm.

Το άζωτο υπό μορφή νιτρικών ($N - NO_3^-$) είναι υδροδιαλυτό και για την εκχύλισή του χρησιμοποιήθηκε διάλυμα KCl. Έπειτα από ξήρανση του δείγματος σε κλίβανο στους 40 °C για περίπου 48 h και κοσκίνιση του με κόσκινο διαμέτρου πόρων 2 mm, σε 5 g εδαφικού δείγματος προστέθηκαν 25 ml απιονισμένου νερού (αναλογία χρώματος : διαλύματος ίση με 1:5), ενώ στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε ανάδευση για 45 min. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε διήθηση του εκχυλίσματος σε φίλτρα Whatman™ FILTER PAPERS 42. Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης του $N - NO_3^-$ πραγματοποιήθηκε φασματοφωτομετρικά, σε μήκος κύματος 345 nm με χρήση του εμπορικού αντιδραστηρίου LCK 339 της εταιρείας HACH με εύρος προσδιορισμού τα 0,23-13,5 mg/L N-NO₃.

2.2.6. Συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου (pH)

Το pH είναι μια μονάδα μέτρησης οξύτητας ή αλκαλικότητας του χρώματος. Η κλίμακα μέτρησης του pH είναι από το 0-14 με ουδέτερη την τιμή 7, ενώ τιμές κάτω από 7 είναι όξινες και πάνω από 7 αλκαλικές. Το pH αποτελεί μια σημαντική παράμετρο του εδάφους καθώς επηρεάζει τις φυσικές και χημικές διεργασίες του καθώς και την διαθεσιμότητα των θρεπτικών σε αυτό. Για τον προσδιορισμό του pH χρησιμοποιήθηκε το όργανο HQ40d multi, της εταιρείας HACH. Έπειτα από ξήρανση του εδαφικού δείγματος στους 40 °C για 48 h και κοσκίνιση του σε κόσκινο διαμέτρου πόρων 2 mm, 10 g εδάφους τοποθετήθηκαν σε πλαστικά σωληνάρια των 50 mL και αφού αναμείχθηκαν με 20 mL απιονισμένο νερό (αναλογία χρώματος : διαλύματος ίση με 1:2) για 2 d, διηθήθηκαν και τέλος πραγματοποιήθηκε η μέτρηση του pH στο διηθημένο διάλυμα.

Η τιμή του pH για βέλτιστη απόδοση παραγωγής είναι 5,5-6,5 (Islam et al., 1980), καθώς σε αυτήν την περιοχή επιτυγχάνεται υψηλότερη διαθεσιμότητα θρεπτικών όπως N και P. Συγκεκριμένα για τον φωσφόρο έχει παρατηρηθεί ότι σε pH<6 και pH>7 ο P του εδάφους τείνει να μετατρέπεται σε μορφές μη διαθέσιμες από τα φυτά (Spectrum, 2016).

2.2.7. Ηλεκτρική αγωγιμότητα εδάφους

Ο πιο διαδεδομένος και άμεσος δείκτης της αλατότητας είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα, EC του διαλύματος. Με τη συγκεκριμένη μέτρηση μετρούνται άμεσα και εύκολα με τη χρήση αγωγιμόμετρου, όλα τα διαλυτά άλατα του δείγματος, είτε αυτό πρόκειται για αρδευτικό νερό

είτε για νερό που προέρχεται ύστερα από εκχύλιση του χώματος. Ως μονάδες αναφοράς της αλατότητας χρησιμοποιούνται τα dS/m στους 25 °C προκειμένου οι μετρήσεις να μην επηρεάζονται από τη θερμοκρασία.

Για τον προσδιορισμό της αλατότητας του εδάφους η πιο αξιόπιστη μέτρηση από την άποψη του ορισμού της αλατότητας είναι η EC_f (field capacity) καθώς υπολογίζεται η πραγματική συγκέντρωση αλάτων στο έδαφος. Ωστόσο για πρακτικούς λόγους ευκολίας η αλατότητα προσδιορίζεται και ύστερα από εκχύλιση του ξηρού χώματος με απεσταγμένο νερό. Η συγκεκριμένη μέθοδος ονομάζεται EC_e (saturation extract). Με βάση την EC_e μπορούμε να συγκρίνουμε και να κατηγοριοποιήσουμε το χώμα με βάση την αλάτωση του σύμφωνα με τον Πίνακα 2.1.

Στα πλαίσια του πειράματος για τον προσδιορισμό της EC_e , αρχικά πραγματοποιήθηκε ξήρανση του εδαφικού δείγματος στους 40 °C για 48 h και κοσκίνιση του σε κόσκινο διαμέτρου πόρων 2 mm. Στη συνέχεια 10 g εδάφους τοποθετήθηκαν σε πλαστικά σωληνάρια των 50 mL και αφού αναμείχθηκαν με 20 ml απιονισμένο νερό (αναλογία χώματος : διαλύματος ίση με 1:2) για 2 d, διηθήθηκαν και τέλος πραγματοποιήθηκε η μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας με το όργανο HQ40D Multi της εταιρίας HACH, στο διηθημένο διάλυμα.

Πίνακας 2.1: Κατηγοριοποίηση αλατότητας στο έδαφος με βάση την επίδραση στις καλλιέργειες (H. Ali, 2011).

EC_e (dS/m)	Χαρακτηρισμός	Επίδραση
0-2	Μη αλατούχο	Αμελητέα
2-4	Ελαφρώς αλατούχο	Μείωση παραγωγής των ευαίσθητων καλλιεργειών
4-8	Μετρίως αλατούχο	Μείωση παραγωγής των περισσότερων καλλιεργειών
8-15	Ισχυρά αλατούχο	Μέσες παραγωγές για φυτά ανεκτικά στην αλατότητα
>15	Πολύ ισχυρά αλατούχο	Πιθανές παραγωγές μόνο για φυτά με υψηλή ανθεκτικότητα έναντι στην αλατότητα.

2.2.8. Στοιχειακή ανάλυση εδάφους (προσδιορισμός μετάλλων: Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+)

Η ανάλυση για μέταλλα έγινε με φασματομετρία μάζας (Mass Spectrometry, MS) συνδυασμένη με το επαγωγικά συζευγμένο πλάσμα (Inductively Coupled Plasma, ICP) ως πηγή ατμοποίησης των στοιχείων (μέταλλα). Η ανάλυση ICP-MS πλεονεκτεί των άλλων τεχνικών, καθώς έχει χαμηλότερα όρια ανίχνευσης, μεγαλύτερο εύρος γραμμικότητας, ταυτόχρονη πολυστοιχειακή ανάλυση και ανάλυση μεγάλου αριθμού δειγμάτων σε σειρά σε σύντομο χρονικό διάστημα. Κατά την ανάλυση των μετάλλων με το ICP-MS αξιοποιήθηκε η δυνατότητα του οργάνου να λειτουργεί σε collision (He) mode, με στόχο την παραγωγή ακόμα πιο αξιόπιστων αποτελεσμάτων λόγω του περιορισμού των ισοβαρών παρεμποδίσεων.

Αρχικά τα εδαφικά δείγματα τοποθετήθηκαν σε κλίβανο στους 40 °C για 48 h, για μείωση της περιεχόμενης υγρασίας τους και κοσκινίστικαν σε κόσκινο διαμέτρου πόρων 2 mm. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε εκχύλιση των δειγμάτων με αποσταγμένο νερό (έδαφος:νερό=1:2) και έπειτα διήθηση με απορροφητικό χαρτί Whatman με διάμετρο πόρων 0,45 μm και κατάλληλη αραιώση μέσα στο εύρος της καμπύλης βαθμονόμησης (1:10) και τέλος οξίνιση με χρήση νιτρικού οξέως (HNO₃) σε επίπεδο 2% v/v (pH<2).

2.2.9. Λόγος προσρόφησης νατρίου

Ο λόγος προσρόφησης νατρίου από το έδαφος (SAR) είναι ένας δείκτης της καταλληλότητας του εδάφους για γεωργική χρήση και προσδιορίζεται από τις συγκεντρώσεις των κατιόντων Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ σε ($\frac{m\ mol}{L}$), σύμφωνα με την παρακάτω σχέση :

$$SAR = \frac{[Na^+]}{\sqrt{0.5([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}])}} \quad (6)$$

Η οριακή τιμή του λόγου προσρόφησης νατρίου στο έδαφος είναι 13 (Sumner et al., 1995; Van Beek & Tóth, 2012), καθώς τα εδάφη που παρουσιάζουν δείκτη SAR ≥ 13 κρίνονται αλκαλιωμένα. Η μακροχρόνια άρδευση με αλμυρό νερό αυξάνει τη συγκέντρωση των κατιόντων Na⁺ στο έδαφος, τα οποία καθώς αποτελούν την πιο ισχυρή μορφή κατιόντων στο έδαφος εκτοπίζουν τα κατιόντα ασβεστίου (Ca²⁺) και μαγνησίου (Mg²⁺) (Brady & Weil, 2008). Αυτό η διαταραχή οδηγεί στη μείωση της ικανότητας του εδάφους να σχηματίζει σταθερά συσσωματώματα και γενικότερα την απώλεια της δομής του εδάφους, γεγονός που καθιστά σχεδόν αδύνατη την καλλιέργεια του.

2.3. Τυπικό σφάλμα μέσης τιμής

Για την σύγκριση των εδαφικών μεταχειρίσεων που εφαρμόστηκαν στα πλαίσια του πειράματος υπολογίστηκε η μέση τιμή για κάθε μεταχείρισης (5 φυτά ανά μεταχείριση). Η μέση τιμή (\bar{x}) ενός συνόλου n παρατηρήσεων ορίζεται ως το άθροισμα των παρατηρήσεων δια του πλήθους αυτών και η εξίσωση υπολογισμού της είναι :

$$(\bar{x}) = \sum_{i=1}^n t_i = \frac{1}{n} (t_1 + \dots + t_n) \quad (7)$$

Όπου t_i : η i παρατήρηση και n : το πλήθος των παρατηρήσεων.

Για την επαλήθευση της ορθής επαναληψιμότητας του πειράματος υπολογίστηκε και το τυπικό σφάλμα της μέσης τιμής (Standard Error, $SE_{\bar{x}}$), το οποίο αποτελεί μια ένδειξη της αβεβαιότητας γύρω από την εκτίμηση της μέσης τιμής. Το $SE_{\bar{x}}$ υπολογίζεται από το πηλίκο της τυπικής απόκλισης του δείγματος προς την τετραγωνική ρίζα του πλήθους των

παρατηρήσεων στο δείγμα, όπου η τυπική απόκλιση (σ) αποτελεί ένα μέτρο της μεταβολής ή της διασποράς ενός συνόλου δεδομένων. Το τυπικό σφάλμα της μέσης τιμής υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση:

$$SE_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (8)$$

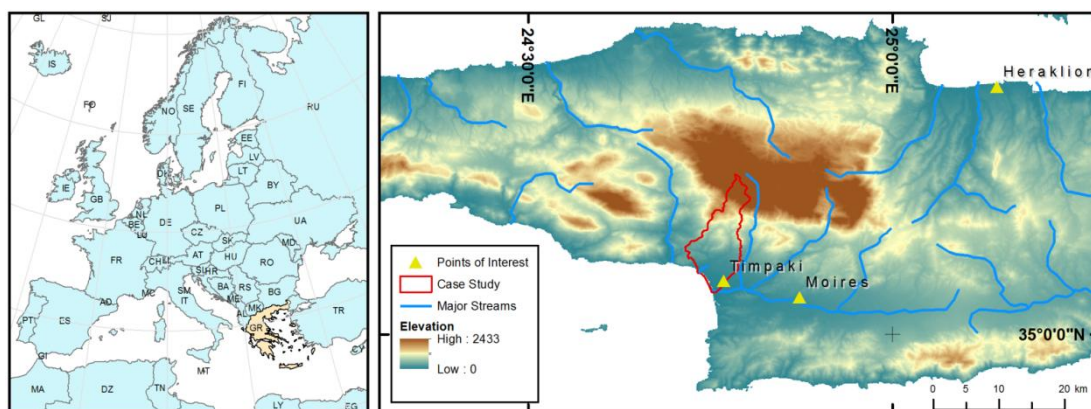
Όπου s : η τυπική απόκλιση και n : το πλήθος των παρατηρήσεων στο δείγμα. Στη παρούσα εργασία το $SE_{\bar{x}}$ εκφράζεται με το σύμβολο \pm σε μία παρατηρούμενη μέση τιμή (π.χ. $13,45 \pm 2,5$), ενώ στις γραφικές παραστάσεις απεικονίζεται με μυστάκια, τα οποία δείχνουν το εύρος που διασκορπίζονται οι επιμέρους τιμές γύρω από τη μέση τιμή (όσο μεγαλύτερο είναι το μυστάκι τόσο μεγαλύτερη η αβεβαιότητα).

3. Περιοχή μελέτης

3.1. Γενικές πληροφορίες

3.1.1. Γεωγραφική περιγραφή

Το Τυμπάκι βρίσκεται στη κεντρική και νότια Κρήτη και συνδέεται από τα δυτικά με την πεδιάδα της Μεσσαρά και τον ποταμό Γεροπόταμο, δια μέσου του ρήγματος της Φαιστού, κοντά στο αρχαίο Μινωικό παλάτι της Φαιστού (Εικόνα 3.1). Ο υδροκρίτης της λεκάνης απορροής του Τυμπακίου περικλείει μια περιοχή 50 km² με μέσο υψόμετρο 200 m, ενώ το υψόμετρο ποικίλει από 2.440 m έως τη στάθμη της θάλασσας, από το βορρά προς το νότο. Η τοπογραφία της λεκάνης είναι γενικά επίπεδη με απότομες κλίσεις στα βορειοανατολικά και με υψηλότερο σημείο ένα μέρος του όρους Ψηλορείτης (Tsanis & Daliakopoulos, 2015).



Εικόνα 3.1: Μοντελοποίηση τοποθεσίας και ψηφιακής ανύψωσης της λεκάνης του Τυμπακίου (DEM) (Tsanis & Daliakopoulos, 2015)

3.1.2. Απειλές του εδάφους

Οι δύο βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν τους διαθέσιμους υδάτινους πόρους της Κρήτης είναι η εντατική γεωργία και η υψηλή τουριστική δραστηριότητα. Η γεωργία αποτελεί την βασικότερη απειλή του εδάφους, καθώς η ποσότητα του νερού που προορίζεται για άρδευση αποτελεί το 82% της συνολικής κατανάλωσης, ενώ γενικά η κατανάλωση νερού αυξάνεται κατά 4% το χρόνο (LEDDRA Project, 2013). Το πρόβλημα αυτό οξύνεται λόγω της αθέμιτης άντλησης των υπογείων υδάτων, της υπερβολικής άρδευσης, των εσφαλμένων συστημάτων άντλησης και των παρατεταμένων ξηρών κλιματολογικών συνθηκών. Άρα το βασικό θέμα ανησυχίας έγκειται στην διείσδυση του θαλασσινού νερού στους παράκτιους υδροφορείς, όπως η παράκτια περιοχή Τυπακίου. Από προσομοίωση της υφαλμύρινσης, έχει διαπιστωθεί ότι ο πόδας της σφήνας του υφάλμυρου νερού έχει φτάσει στα 500 έως 1,500 m από την ακτή (Tsanis & Daliakopoulos, 2015). Η κοιλάδα της Μεσσαράς απειλείται από ερημοποίηση, λόγω της κακής διαχείρισης των υπόγειων υδάτων για άρδευση, η οποία έχει προκαλέσει

πτώση της στάθμης των υπόγειων υδάτων κατά 20 m την τελευταία δεκαετία (Tsanis & Daliakopoulos, 2015).

3.2. Φυσικό Περιβάλλον

3.2.1. Χρήσεις γης

Στην περιοχή υπάρχουν δύο αγρο-οικολογικές ζώνες: η λοφώδης ζώνη γύρω από τα πεδινά και τα πεδινά, κάθε ζώνη έχει διαφορετικά αγρο-οικολογικά χαρακτηριστικά (Kabourakis, 1996), αλλά αλληλεπιδρά η μια με την άλλη, σε βαθμό που επηρεάζονται κάποιες περιβαλλοντικές μεταβλητές, όπως η διαθεσιμότητα σε νερό και τροφή για τα ζώα, η συντήρηση του εδάφους, ο κίνδυνος πυρκαγιάς και άλλα. Οι πιο σημαντικές κινητήριες δυνάμεις για τις χρήσεις γης, υπήρξαν η αυξανόμενη σημασία του τουρισμού καθώς και η επιρροή από την Κοινή Αγροτική Πολιτική (Kassa et al., 2002), οι οποίες συνεισέφεραν στην μετατροπή των τοπικών ελών σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις κατά την περίοδο του 1980 (Stobbelaar et al., 2000).



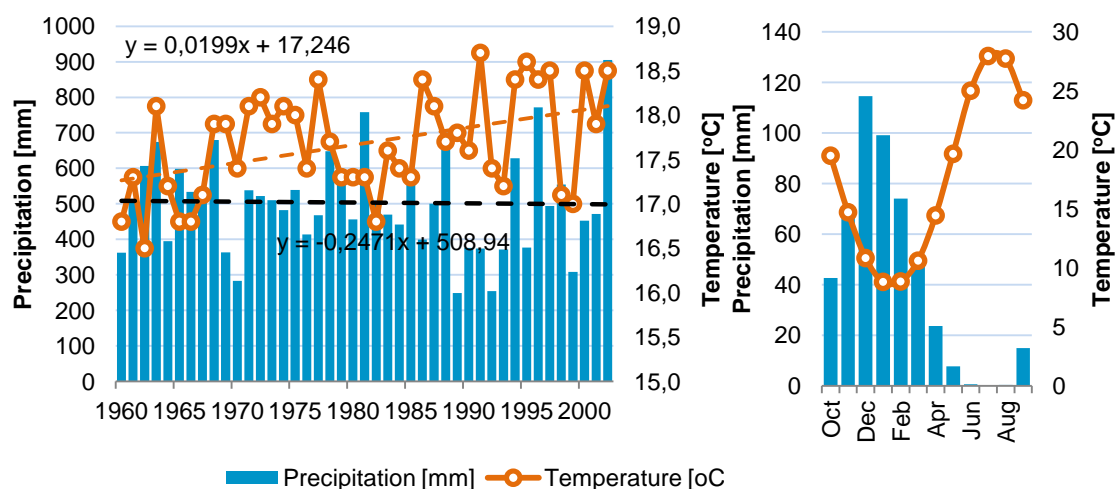
Εικόνα 3.2: Θερμοκήπια στο Τυμπάκι (Φωτογραφία: Ι. Δαλιακόπουλος).

Το Τυμπάκι είναι μια άκρως εκμεταλλεύσιμη περιοχή όσον αφορά τις καλλιέργειες θερμοκηπίου, εξαιτίας των ευνοϊκών κλιματολογικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Τα ελαιόδεντρα (43%), οι αρόσιμες καλλιέργειες (39%) και η κηπουρική (16%) αποτελούν τις βασικές χρήσεις γης που απαντώνται στη περιοχή, με τα θερμοκήπια να παίζουν βασικό ρόλο όσον αφορά την κηπουρική. Η Εθνική Στατιστική Υπηρεσία (HSA, 2008) έχει ταυτοποιήσει μια συνολική έκταση περίπου 2.500 ha καλλιεργήσιμης γης στο Τυμπάκι, ενώ από άλλους εκτιμάται στα 7.800 ha, από τα οποία τα 4,000 αρδεύονται σχεδόν αποκλειστικά από την εξαγωγή υπόγειων υδάτων. Η πλειοψηφία των 1.694 θερμοκηπίων που ανήκουν στο νομό Ηρακλείου (Tsakiridi, 2010), βρίσκονται στο Τυμπάκι και η έκταση που καλύπτουν είναι 3,580 ha (Spyridaki, 2008). Οι συγκομιδές συνήθως πραγματοποιούνται δύο φορές το χρόνο και περιέχουν μη εγχώρια είδη, κυρίως

ντομάτα (*Solanum lycopersicum*), αγγούρι (*Cucumis annuum*), κολοκύθι (*Cucurbita pepo*), μελιτζάνα (*Solanum melanongena*), πιπεριά (*Capsicum annuum*) και πράσινα φασόλια (*Phaseolus vulgaris*) (Thanopoulos et al., 2008).

3.2.2. Κλίμα

Στην κοιλάδα της Μεσσαράς το κλίμα έχει ταξινομηθεί ως ξηρό-ύφυγρο, σύμφωνα με τον ορισμό του UNCED (United Nations Conference on Environment and Development) (Paris Convention on Desertification, 1994) και ο υδρολογικός της κύκλος μπορεί να χωριστεί σε υγρή και ξηρή περίοδο (Tsanis & Apostolaki, 2008). Η Κρήτη έχει ένα τυπικό μεσογειακό νησιώτικο κλίμα, με περίπου το 53% των ετήσιων κατακρημνίσεων να συμβαίνουν το χειμώνα, 23% κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου και 20% κατά τη διάρκεια της άνοιξης, ενώ το καλοκαίρι θεωρούνται αμελητέες (Koutroulis et al., 2010). Στην Εικόνα 3.3 παρουσιάζονται οι μέσες μηνιαίες κατακρημνίσεις που εκτιμώνται για το Τυμπάκι. Το κλίμα ποικίλει μεταξύ ύφυγρου μεσογειακού και ημίξηρου, με ήπιο υγρό χειμώνα (μέση θερμοκρασία: 12 °C) και ξηρό ζεστό καλοκαίρι (μέση θερμοκρασία: 23 °C), ενώ η μέση ετήσια κατακρήμνιση εκτιμάται στα 500 mm.



Εικόνα 3.3: Μέση ετήσια (δεξιά) και μέση μηνιαία (δεξιά) βροχόπτωση και θερμοκρασία στο Τυμπάκι (I. Tsanis & Daliakopoulos, 2015).

3.2.3. Υδρογεωλογία

Εξαιτίας της γεωλογικής κατάστασης, η υδρογεωλογία της λεκάνης απορροής του Τυμπακίου είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την πεδιάδα του Μεσσαρά, αν και το σχεδόν αδιαπέραστο ρήγμα της Φαιστού περιορίζει τις υπόγειες ροές προς το ποταμό του Γεροπόταμου. Τα επίπεδα άντλησης των υπόγειων υδάτων κυμαίνονται μεταξύ 3 και 7 m, ενώ στο κεντρικό σημείο της πεδιάδας ανάμεσα στο Τυμπάκι και τον χείμαρρο του Κλεματιανού η απόδοση της άντλησης ανέρχεται στα 100 m³/h. Οι κλιματολογικές συνθήκες (Εικόνα 3.2)

απεικονίζουν τις έντονες εποχιακές διακυμάνσεις μεταξύ του ζεστού και ξηρού καλοκαιριού και του υγρού χειμώνα. Κατά μέσο όρο 65% των κατακρημνίσεων χάνεται λόγω εξατμισοδιαπνοής, το 25% εισχωρεί στο έδαφος και επαναφορτίζει τα υπόγεια ύδατα και τέλος το 10% απορρέει προς τη θάλασσα (Paritsis, 2005).

3.3. Πιέσεις στο φυσικό περιβάλλον

Η κύρια πηγή αρδευτικού νερού στη Μεσσαρά είναι τα υπόγεια ύδατα, αν και υπάρχει μικρή ροή επιφανειακού ύδατος κατά τους χειμερινούς μήνες (Vardavas et al., 1997). Τα υπόγεια ύδατα είναι ο βασικός πόρος που ελέγχει την οικονομική ανάπτυξη της περιοχής και αποτελεί ένα στοιχείο του περιβάλλοντος υπό κυριαρχία, καθώς η ζήτηση του νερού αυξάνεται με το χρόνο. Η αύξηση της ζήτησης νερού, είτε για οικιακή, είτε για αγροτική χρήση, δεν μπορεί πάντα να ικανοποιηθεί παρά την επαρκή κατά μέσο όρο βροχόπτωση, καθώς δεν υπάρχει ισορροπία νερού. Αυτή η ανισορροπία του νερού είναι συχνό φαινόμενο στην περιοχή εξαιτίας των χρονικών και χωρικών διακυμάνσεων της βροχόπτωσης, της αυξημένης ζήτησης νερού κατά τους θερινούς μήνες καθώς και της δυσκολίας της μεταφοράς νερού λόγω των ορεινών περιοχών. Λόγω της εμφάνιση των διαδοχικών ξηρών ετών την δεκαετία του 1990, για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών πραγματοποιήθηκε πιο εντατική άντληση, με αποτέλεσμα το 2000 η στάθμη των υπόγειων υδάτων να φτάσει τα 45 m κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας (Tsanis & Apostolaki, 2008).

Επιπλέον τα τρία τελευταία χρόνια η απορροή του ποταμού Γεροπόταμου είναι σχεδόν μηδενική. Λόγω των παραπάνω, το τελευταίο καιρό έχουν υπάρξει αυξανόμενες ανησυχίες για την πιθανή εξάντληση ή υποβάθμιση της ποιότητας των υπόγειων υδάτων στην λεκάνη Τυμπακίου (Tsanis & Apostolaki, 2008).

Η ελληνική γεωργία με την ένταξη της στην Ευρωπαϊκή Οικονομική Κοινότητα το 1981, αποτέλεσε αντικείμενο της Κοινής Αγροτικής Πολιτικής (Common Agricultural Policy, CAP). Ο στόχος της CAP μέχρι το 1992 ήταν να αυξήσει την παραγωγή και να παρέχει φθηνά αγροτικά προϊόντα που να συνοδεύονται από λογικά αγροτικά εισοδήματα. Συνέπεια αυτού ήταν η εντατικοποίηση και η εκμηχάνιση της γεωργικής παραγωγής, η αντικατάσταση ορισμένων γηγενών ποικιλιών από υβρίδια σύμφωνα με τις ανάγκες της παγκόσμιας αγοράς και η υιοθέτηση μονοκαλλιεργειών, τα οποία οδήγησαν ως ένα βαθμό στην απώλεια της αυτάρκειας. Επιπλέον, η περιφερειακή ανάπτυξη, τα έργα υποδομής, οι πολιτικές χωροταξίας και η εφαρμογή των Ολοκληρωμένων Μεσογειακών Προγραμμάτων (Integrated Mediterranean Programmes, IMPs) έχουν επηρεάσει σημαντικά την εκμετάλλευση των φυσικών πόρων (Tsanis & Daliakopoulos, 2015).

Σύμφωνα με το πρόγραμμα CLEARWATER (Vafidis et al., 2013), κατά το οποίο χρησιμοποιήθηκαν ηλεκτρικές και ηλεκτρομαγνητικές γεωφυσικές μέθοδοι για την χαρτογράφηση της αλάτωσης των υδάτων, παρατηρήθηκε ότι η αλάτωση πραγματοποιείται σε βάθος 30 m, με το μεγαλύτερο πρόβλημα να εμφανίζεται βόρεια του χειμάρρου Κλεματιανός. Κατά τη διάρκεια του προγράμματος MEDIS (Paritsis, 2005), ύστερα από προσομοίωση και μοντελοποίηση της περιοχής, χρησιμοποιώντας το μοντέλο SEAWAT με την παραδοχή της μεταβλητής πυκνότητας, παρατηρήθηκε ότι η βάση του μετώπου του αλμυρού νερού στο νότιο άκρο βρίσκεται στα 550 έως 600 m από την ακτογραμμή, ενώ ομοίως στο βόρειο τμήμα βρίσκεται στα 1.500 m από την ακτογραμμή. Αυτό το νερό χρησιμοποιείται συχνά για άρδευση, αλλά εφόσον είναι υφάλμυρο προκαλεί επιζήμια αποτελέσματα τόσο για την παραγωγή όσο και για το έδαφος. Ο Πίνακας 3.1 συνοψίζει και ταξινομεί τις επιπτώσεις της αλατότητας του εδάφους για τις διάφορες λειτουργίες του εδάφους του Τυμπακίου. Οι επιπτώσεις χαρακτηρίζονται ως Υ: Υψηλή, Μ: Μεσαία, Χ: Χαμηλή, Α: Άγνωστη, Κ: Καμία.

Πίνακας 3.1: Επιπτώσεις της αλατότητας του εδάφους για τις διάφορες λειτουργίες του εδάφους του Τυμπακίου. Χαρακτηρισμός επιπτώσεων Υ: Υψηλή, Μ: Μεσαία, Χ: Χαμηλή, Α: Άγνωστη, Κ: Καμία (RECARE Project, 2016)

Λειτουργίες του εδάφους	Επιπτώσεις	Εξήγηση
Παραγωγή Βιομάζας	Υ	Η γεωργική παραγωγή μειώνεται ή χάνεται εντελώς, ανάλογα με την έκταση της αλάτωσης του εδάφους.
Περιβαλλοντικές αλληλεπιδράσεις	Μ	Η ποιότητα των υπόγειων υδάτων στην παράκτια ζώνη υποβαθμίζεται μόνιμα
Βιοποικιλότητα	Υ	Η βιοποικιλότητα του εδάφους στην παράκτια ζώνη μειώνεται ή χάνεται εντελώς
Φυσικό μέσο/πηγή πρώτων υλών	Κ	Οι πρώτες ύλες δεν επηρεάζονται από την αλάτωση
Απόθεμα άνθρακα	Α	Οι επιπτώσεις είναι άγνωστες
Πολιτιστική κληρονομιά	Χ	Η γεωργία αποτελεί αναπόσπαστο στοιχείο της κρητικής παράδοσης και οποιαδήποτε απώλεια μπορεί να επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό το τοπίο και τους ανθρώπους, αλλά παρ' όλα αυτά η επίδραση της αλάτωσης ανιχνεύεται μόνο στην παράκτια ζώνη.

3.4. Πειραματικό Μέρος

Το πειραματικό μέρος της εργασίας πραγματοποιήθηκε σε θερμοκήπιο (Εικόνα 3.4) της πολυτεχνειούπολης (γεωγραφική θέση 35°32'00.2"N 24°04'12.4"E με νοτιοδυτικό προσανατολισμό στην περιοχή του Ακρωτηρίου). Το θερμοκήπιο αυτό αποτέλεσε μια προσομοίωση του πεδίου (Τυμπάκι) σε μικρότερη κλίμακα, ώστε να εξασφαλιστεί ορθότερος

έλεγχος των συνθηκών ανάπτυξης των φυτών καθώς και για τη διευκόλυνση της λειτουργίας του όσον αφορά την επίβλεψη της καλλιέργειας, την μέτρηση παραμέτρων και τις εργαστηριακές αναλύσεις σε δείγματα καρπών και εδάφους.



Εικόνα 3.4: Θερμοκήπιο Πολυτεχνείου Κρήτης όπου πραγματοποιήθηκε η διεξαγωγή του πειράματος.

Η καλλιέργεια τομάτας στο θερμοκήπιο διήρκεσε για περίπου 7 μήνες (22 Οκτωβρίου-14 Απριλίου). Το χώμα που χρησιμοποιήθηκε για την φύτευση των φυτών (τομάτες) ήταν τυπικό χώμα της περιοχής μελέτης ‘terra rossa’ που χρησιμοποιείται στις θερμοκηπιακές μονάδες. Συγκεκριμένα πρόκειται για αργιλοπηλώδες έδαφος, φτωχό σε TOC (0,804 %) και N-NO₃- (17,84 mg/kg) (Πίνακας 3.3).

Όσον αφορά τη καλλιέργεια των φυτών, επιλέχθηκαν 20 φυτά *S. Lycopersicum* (εμπορική ονομασία: Ελπίδα F1) από μια παρτίδα 50 φυτών. Τα μισά από αυτά ποτίστηκαν με σκόνη σπορίων TRIANUM-PTM, που περιείχε το πατενταρισμένο υβριδικό στέλεχος T-22 του ωφέλιμου μύκητα *T. harzianum*. Το σύστημα άρδευσης ρυθμίστηκε στα 1,5 L ανά μέρα ανά φυτό. Εφαρμόστηκε υδρολίπανση δύο φορές την εβδομάδα με υδατοδιαλυτό μείγμα από 10 g KNO₃, 5 g Ca(NO₃)₂ και 5 g KH₂PO₄ μέχρι την καρποφορία, ενώ μετά τον σχηματισμό των καρπών (ημέρα 60^η) η υδρολίπανση ενισχύθηκε στα 20g KNO₃, 10 g Ca(NO₃)₂ και 5 g KH₂PO₄ και 2,5 g Mg(NO₃)₂. Η προστασία του φυτού από μύκητες και έντομα περιορίστηκε στη χρήση σκόνης ενεργού θείου μια φορά στις δύο εβδομάδες.

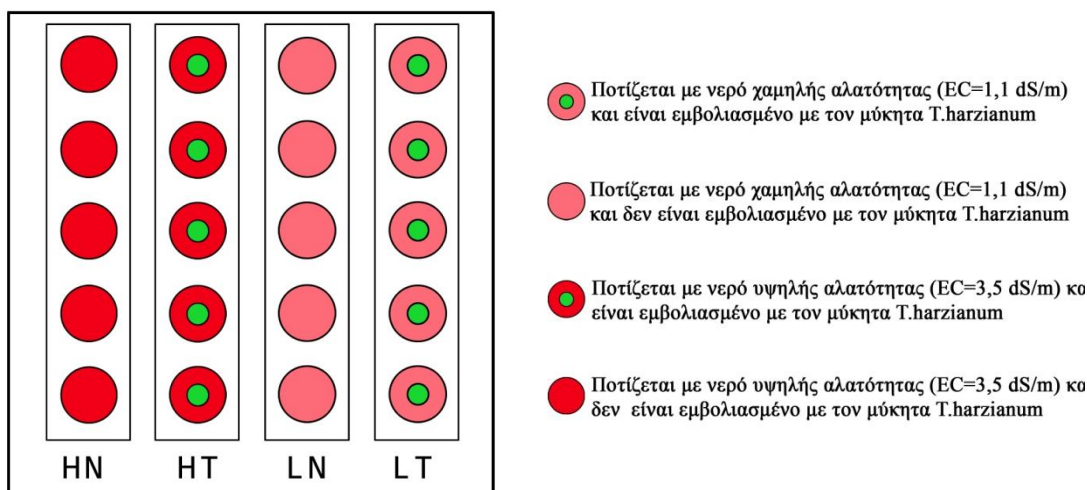
Όσον αφορά την διάταξη των φυτών στο θερμοκήπιο, παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.5, καθώς υπάρχουν 4 σειρές (5 φυτών), στις οποίες έχουν εφαρμοστεί διαφορετικές πρακτικές μεταχείρισης:

LT : Ποτίζεται με νερό χαμηλής αλατότητας (EC=1,1 dS/m) και είναι εμβολιασμένο με τον μύκητα *T. harzianum*.

LN : Ποτίζεται με νερό χαμηλής αλατότητας ($EC=1,1 \text{ dS/m}$) και δεν είναι εμβολιασμένο με τον μύκητα *T. harzianum*.

HT : Ποτίζεται με νερό υψηλής αλατότητας ($EC=3,5 \text{ dS/m}$) και είναι εμβολιασμένο με τον μύκητα *T. harzianum*.

HN: Ποτίζεται με νερό υψηλής αλατότητας ($EC=3,5 \text{ dS/m}$) και δεν είναι εμβολιασμένο με τον μύκητα *T. harzianum*.



Εικόνα 3.5: Διάταξη θερμοκηπίου

Ο έλεγχος των παραμέτρων που λήφθηκαν υπόψη, κατά τη διάρκεια του πειράματος, μπορούν να χωριστούν σε 3 κατηγορίες :

- Νερό άρδευσης

Κάθε φυτό προσλάμβανε ημερησίως 1,5 L νερό, μέσω αυτόματου ποτίσματος, αλλά η συγκέντρωση του άλατος στο νερό δεν ήταν ίδια για όλα τα φυτά. Τα φυτά που αντιστοιχούσαν στις σειρές LT, LN (L: Low EC) ποτιζόταν με νερό χαμηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας ($EC= 1,1 \text{ dS/m}$), άρα και συγκέντρωσης άλατος, ενώ αντίθετα τα φυτά που αντιστοιχούσαν στις σειρές HT, HN (H: High) ποτιζόταν με νερό υψηλότερης ηλεκτρικής αγωγιμότητας ($EC= 3,5 \text{ dS/m}$). Αυτό πραγματοποιήθηκε με προσθήκη συγκεκριμένης ποσότητας άλατος στο νερό άρδευσης.

- Έδαφος

Από τις τέσσερις δειγματοληψίες εδάφους που πραγματοποιήθηκαν στις (Εικόνα 3.5) συλλέχθηκαν δείγματα εδάφους, τα οποία υποβλήθηκαν σε αναλύσεις για να μετρηθεί η EC του εδάφους, το pH του εδάφους, το ποσοστό των μετάλλων στο έδαφος για το υπολογισμό του SAR, η φαινόμενη πυκνότητα του εδάφους. Επιπλέον, μετρήθηκε το περιεχόμενο του

εδάφους σε TOC, TKN, TN, TP, N-NO_3^- , N-NH_4^+ , P_{olsen} και ώστε να ελεγχθεί η απορρόφηση της λίπανσης από τα φυτά. Η υγρασία του εδάφους παρακολουθήθηκε με τη βοήθεια ειδικών αισθητήρων, οι οποίοι έπαιρναν μέτρηση σε δύο ύψη εδάφους (5 και 20 cm), κάθε 15 min. Τέλος υπολογίστηκε η κοκκομετρία και η ακόρεστη υδραυλική αγωγιμότητα (Infiltration) του εδάφους.

- Βιομάζα και απόδοση παραγωγής

Πραγματοποιήθηκε εβδομαδιαία παρακολούθηση της ανάπτυξης των βλαστών σε βιομάζα. Ακόμη πραγματοποιήθηκε κλάδεμα και υποστύλωση των φυτών καθ' όλη τη διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος. Καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος παρακολουθήθηκε η συνολική παραγωγή, η εμπορεύσιμη παραγωγή, η κατάλληλη στιγμή συγκομιδής, μέσω του χρώματος και της αντίστασης σάρκας (firmness) των καρπών, καθώς και η ποιότητα τους μέσω ποιοτικών χαρακτηριστικών όπως τα ολικά διαλυτά στερεά (Total soluble solids, TSS), η ολική οξύτητα (Total acidity, TA) και το περιεχόμενο ασκορβικού οξέος (Ascorbic acid, ASA).

Το χρονοδιάγραμμα του πειράματος (Εικόνα 3.6) περιλαμβάνει τις ημερομηνίες διεξαγωγής των σημαντικότερων εργασιών που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας μελετούνται κατά κύριο λόγο τα αποτελέσματα των εδαφικών αναλύσεων, που προέκυψαν από τις τέσσερις δειγματοληψίες εδάφους για ανάλυση (Νοέμβριος, Δεκέμβριος, Φεβρουάριος, Απρίλιος). Αρχικά ελέγχονται τα φυσικά χαρακτηριστικά του εδάφους, ώστε να βρεθεί ο τύπος του εδάφους του πειράματος και έπειτα τα χημικά χαρακτηριστικά του εδάφους, τα οποία καθορίζουν την ποιότητα και την γονιμότητα του.

Από τα αποτελέσματα της πρώτης δειγματοληψίας εδάφους για ανάλυση που πραγματοποιήθηκε τον Νοέμβριο (2/11/15) παρουσιάζεται ο Πίνακας 3.3 που περιλαμβάνει τις μέσες τιμές των εδαφικών παραμέτρων όλων των γραμμών μεταχείρισης. Αυτά τα αποτελέσματα εκφράζουν την αρχική κατάσταση του εδάφους, καθώς η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε μόλις 20 d μετά την φύτευση των φυτών και αποτελούν σημείο αναφοράς ως προς την υποβάθμιση του λόγω των εφαρμοζόμενων μεταχειρίσεων.

Από τα αποτελέσματα των εννιά συγκομιδών του πειράματος υπολογίστηκε η απόδοση της εμπορεύσιμης παραγωγής (Εικόνα 3.7) για κάθε γραμμή μεταχείρισης. Η Εικόνα 3.6 αντλήθηκε από τις εργασίες των (Koutskoudis & Tsanis, 2016; Wagner & Tsanis, 2016) στις οποίες μελετάται αναλυτικά η απόδοση της παραγωγής του πειράματος. Είναι γνωστό ότι η αλατότητα επιδρά σημαντικά στην ανάπτυξη των φυτών και κατ' επέκταση στην απόδοση της παραγωγής της καλλιέργειας, καθώς η μεγάλη περιεκτικότητα αλάτων στο νερό

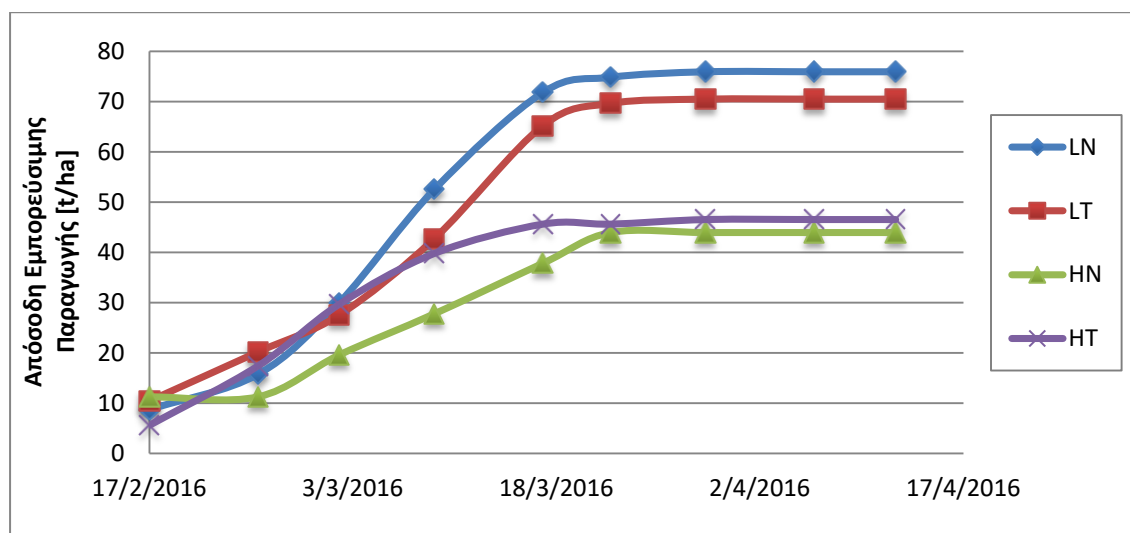
άρδευσης μπορεί να μειώσει ή ακόμα και να αναστείλει την παραγωγή (Katerji et al., 2000). Στα πλαίσια του πειράματος φαίνεται ότι η αλατότητα μείωσε την απόδοση της παραγωγής, ενώ η χρήση τριχοδέρματος την ενίσχυσε ιδιαίτερα στην περίπτωση της υψηλής αλατότητας (Koutsoudis & Tsanis, 2016; Wagner & Tsanis, 2016). Στη παρούσα εργασία μελετάται η ποιοτική κατάσταση του εδάφους υπό την επίδραση της αλατότητας και του μύκητα *T. Harzianum*, ενώ η απόδοση της παραγωγής χρησιμοποιείται για την ερμηνεία των εδαφικών αναλύσεων.



Εικόνα 3.6: Χρονοδιάγραμμα εργασιών.

Πίνακας 3.3: Μέσες τιμές εδαφικών παραμέτρων όλων των γραμμών μεταχείρισης στις 2/11/15

Δομή Εδάφους	
clay loam (αργιλοπηλώδες)	23,8% sand
	45,3% silt
	30,9% clay
Χημικές παράμετροι	
TOC (g/kg)	11,72
TN (g/kg)	1,14
TP (g/kg)	1,89
EC _e (dS/m)	15,8
pH	7,6
Na (mmol/L)	24,88
Ca (mmol/L)	312,81
Mg (mmol/L)	36,79
K (mmol/L)	69,23



Εικόνα 3.7: Απόδοση εμπορεύσιμης παραγωγής [t/ha], συναρτήσει του χρόνου για κάθε γραμμή μεταχείρισης

4. Αποτελέσματα

4.1. Φυσικές ιδιότητες εδάφους

Στον Πίνακες 4.1 φαίνονται οι ιδιότητες του εδάφους όπως υπολογίστηκαν από τις μετρήσεις της φαινόμενης πυκνότητας και της ακόρεστης υδραυλικής αγωγιμότητας του εδάφους. Οι ιδιότητες αυτές δεν μεταβλήθηκαν καθ' όλη τη διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος και αποτελούν την φυσική κατάσταση του εδάφους, στο οποίο πραγματοποιήθηκε το πείραμα.

Πίνακας 4.1: Μέση τιμή και τυπικό σφάλμα (όπου φάνηκε) της φαινομενικής πυκνότητας και της ακόρεστης υδραυλικής αγωγιμότητας του εδάφους για κάθε γραμμή μεταχείρισης.

Μεταχείριση	Φαινομενική πυκνότητα (g/cm ³)	Ακόρεστη υδραυλική αγωγιμότητα (cm/s)
LT	1,431 ± 0,012	5,65·10 ⁻⁴ ± 3,95·10 ⁻⁴
LN	1,261 ± 0,174	4,30·10 ⁻⁴
HT	1,077 ± 0,081	5,95·10 ⁻⁵ ± 4,05·10 ⁻⁵
HN	1,246 ± 0,063	2,80·10 ⁻⁴

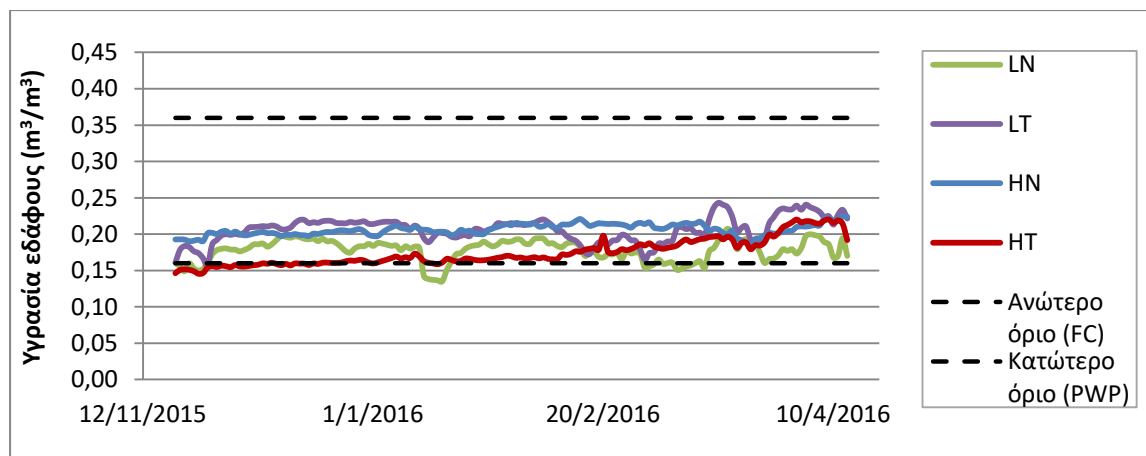
Αυτά τα αποτελέσματα αποτελούν ένα σημείο αναφοράς σχετικά με το είδος του εδάφους που χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια του πειράματος. Είναι φανερό ότι τα εδάφη και των τεσσάρων γραμμών μεταχείρισης (LN, LT, HN, HT) παρουσιάζουν σχετικά παρόμοια φυσικά χαρακτηριστικά ώστε να είναι τελικά συγκρίσιμα. Συγκεκριμένα πρόκειται για αργιλοπηλώδη (clay loam) εδάφη με χαμηλή φαινομενική πυκνότητα <1.5 g/cm³.

4.2. Εδαφική υγρασία

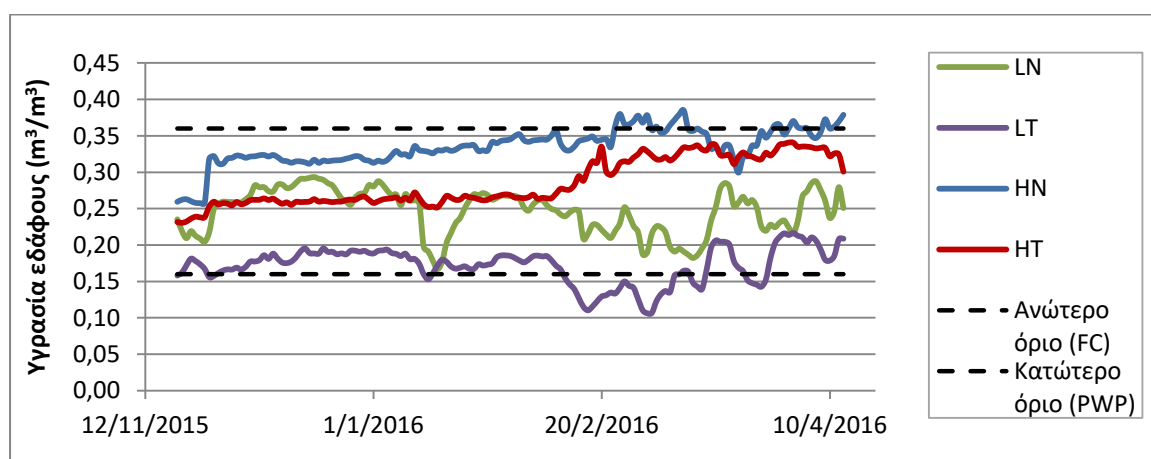
Το έδαφος που χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια του πειράματος ήταν αργιλοπηλώδες (clay loam), άρα σύμφωνα με την Εικόνα 1.4 το ποσοστό της υγρασίας θα πρέπει να είναι μεταξύ 0,16 m³/m³ (Κατώτερο όριο [PWP]) και 0,36 m³/m³ (Ανώτατο όριο [FC]). Στις Εικόνες 4.1 και 4.2 παρουσιάζεται το προφίλ της υγρασίας του εδάφους κατά την διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος για κάθε γραμμή μεταχείρισης σε δύο βάθη εδάφους 5 cm και 20 cm αντίστοιχα. Από τις Εικόνες 4.1 και 4.2 φαίνεται ότι τα ποσοστά υγρασίας του εδάφους σε όλες τις γραμμές μεταχείρισης και στα δύο βάθη εδάφους βρίσκονται σε γενικές γραμμές εντός των ορίων. Αυτό το γεγονός οφείλεται στην καθημερινή άρδευση και σε συνδυασμό με τις παρόμοιες φυσικές τους ιδιότητες καθιστά δυνατή τη σύγκριση των επιμέρους εδαφικών μεταχειρίσεων.

Πιο συγκεκριμένα, από τις Εικόνες 4.1, 4.2 σε όλες τις γραμμές μεταχείρισης παρουσιάζονται μεγαλύτερα ποσοστά υγρασίας σε βάθος εδάφους 5 m, γεγονός που οφείλεται στην αφαίρεση κάποιου ποσοστού υγρασίας λόγω εξατμισοδιαπνοής κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Ακόμα, παρατηρείται ότι το ποσοστό υγρασίας και στα δύο βάθη είναι σχετικά υψηλότερο

στην περίπτωση άρδευσης με νερό μέτριας αλατότητας, καθώς η άρδευση με υφάλμυρο νερό έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της υγρασίας του εδάφους, γεγονός που δεν έγινε απόλυτα ορατό εξαιτίας των καθημερινών αρδεύσεων. Όσον αφορά τη χρήση τριχοδέρματος φαίνεται να ενισχύει την πρόσληψη του νερού στα φυτά, καθώς το έδαφος των γραμμών HT και LT παρουσιάζει μικρότερο ποσοστό υγρασίας καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος, σε σχέση με τις γραμμές μεταχείρισης HN και LN αντίστοιχα.



Εικόνα 4.1: Μεταβολή ποσοστού υγρασίας εδάφους συναρτήσει του χρόνου σε βάθος 5 cm για όλες τις μεταχειρίσεις. Με διακεκομμένες γραμμές απεικονίζονται το ανώτερο (FC) και το κατώτερο (PWP) όριο υγρασίας του εδάφους (Lincoln et al., 2010), ώστε να είναι δυνατή η ανάπτυξη των φυτών.



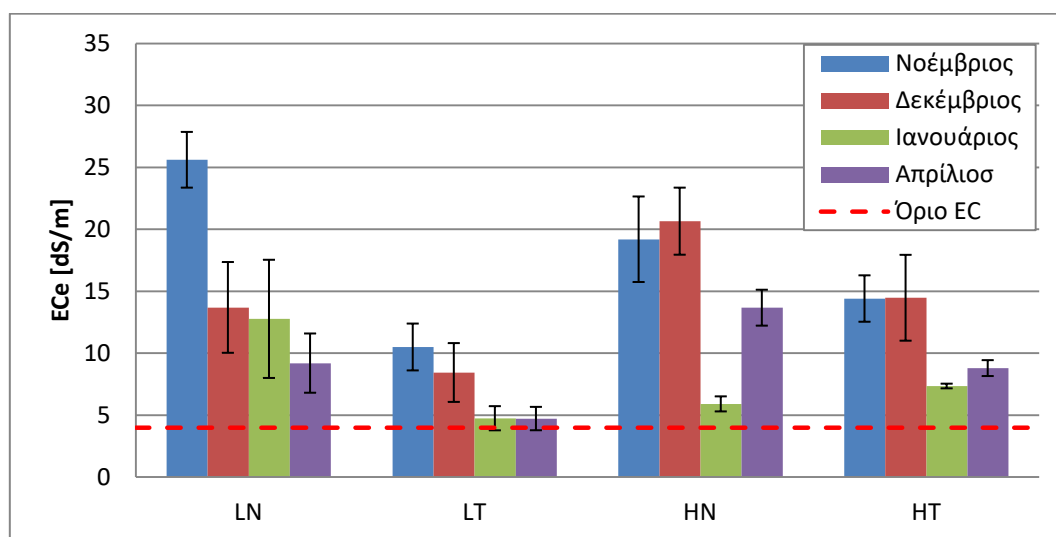
Εικόνα 4.2: Μεταβολή ποσοστού υγρασίας εδάφους συναρτήσει του χρόνου σε βάθος 20 cm για όλες τις μεταχειρίσεις. Με διακεκομμένες γραμμές απεικονίζονται το ανώτερο (FC) και το κατώτερο (PWP) όριο υγρασίας του εδάφους (Lincoln et al., 2010), ώστε να είναι δυνατή η ανάπτυξη των φυτών.

4.3. Αλάτωση

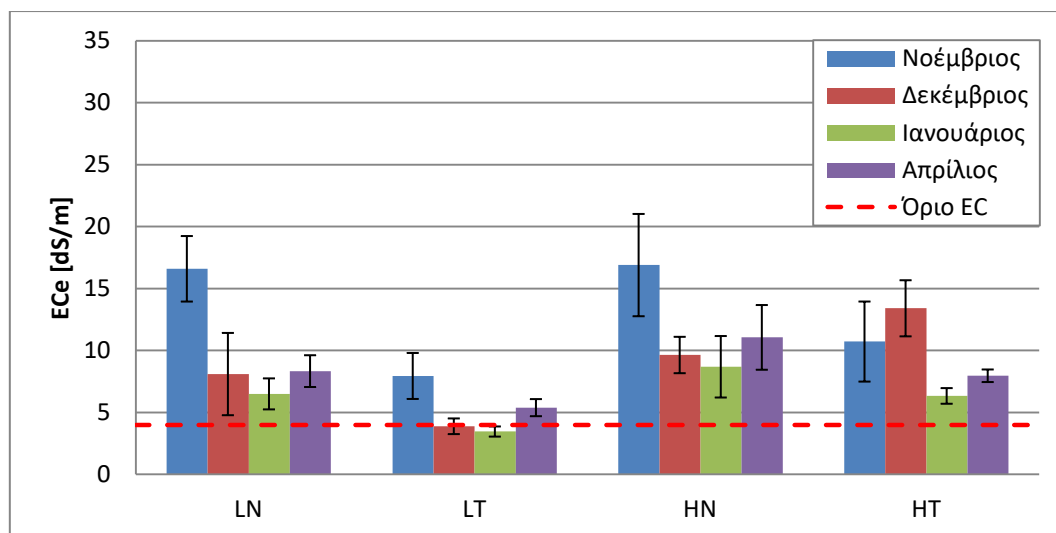
Οι Εικόνες 4.5 και 4.6 απεικονίζουν την χρονική εξέλιξη της EC για κάθε γραμμή μεταχείρισης σε δύο βάθη εδάφους 0-5 και 5-10 cm, αντίστοιχα. Η άρδευση με νερό υψηλής EC δύναται να οδηγήσει στη συσσώρευση αλάτων στην ριζόσφαιρα και συνεπακόλουθα στην υποβάθμιση της γονιμότητας του εδάφους και σε απώλεια παραγωγής. Στην παρούσα

εργασία, η EC παρουσιάζει σημαντική μείωση κατά την εξέλιξη του πειράματος. Πιο συγκεκριμένα, κατά τη δειγματοληψία του Νοεμβρίου 2015 μετρήθηκαν τιμές EC στο εύρος των 10,5-25,6 και 7,9-16,9 dS/m στο βάθος 0-5 και 5-10 cm, αντίστοιχα, ενώ τον Απρίλιο 2016 η EC παίρνει τιμές στο εύρος 4,7-13,7 και 5,4-11,1 dS/m για τα δυο βάθη αντίστοιχα (Εικ. 4.3-4). Αιτία αυτής της σημαντικής πτώσης της EC είναι στράγγιση των αλάτων, και πιο συγκεκριμένα του Ca, Mg και K (Εικ. 4.5-8), κατά την άρδευση των φυτών.

Κατά τη δειγματοληψία του Νοεμβρίου η αυξημένη EC σε όλες τις μεταχειρίσεις οφείλεται στην ήδη βεβαρυσμένη (από αλατότητα) κατάσταση του εδάφους, ενώ οι διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων οφείλονται στην ετερογένεια του εδάφους, καθώς δεν ήταν επεξεργασμένο. Σε όλη τη διάρκεια του πειράματος η EC παρουσιάζει αισθητά μεγαλύτερες τιμές σε βάθος εδάφους 0-5 cm, γεγονός που πιθανόν να οφείλεται στην εξάτμιση, καθώς κοντά στην επιφάνεια του εδάφους εξατμίζεται το νερό και παραμένουν στο έδαφος τα αδιάλυτα άλατα. Κατά τη δειγματοληψία του Απριλίου, η μέγιστη τιμή EC, ίση με 13,7 και 11,1 dS/m για τα δυο βάθη, παρουσιάστηκε στη μεταχείριση HN, ενώ η μικρότερη τιμή EC ίση με 4,7 και 5,4 dS/m αντίστοιχα στην LT. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η σύγκριση των EC που προσδιορίστηκαν κατά τη δειγματοληψία του Απριλίου για τις μεταχειρίσεις LN και HT, όπου η δεύτερη παρουσιάζει αν όχι μικρότερες, τότε συγκρίσιμες τιμές με την πρώτη και για τα δύο βάθη, παρά το γεγονός ότι η HT αρδεύονταν με 3,5 ενώ η LN με 1,1 dS/m. Αυτή η συμπεριφορά του HT οφείλεται στην παρουσία του ωφέλιμου μύκητα *T. Harzianum*. Ακόμη αξίζει να σημειωθεί πως σε όλες τις γραμμές μεταχείρισης και στα δύο βάθη η EC ξεπερνά το κατώφλι των 4 dS/m, που προϋποθέτει τις βέλτιστες συνθήκες για καλλιέργειας.



Εικόνα 4.3:Χρονική εξέλιξη EC σε βάθος 0-5cm από την επιφάνεια του εδάφους για κάθε γραμμή μεταχείρισης. Με κόκκινες διακεκομμένες γραμμές παρουσιάζεται η μέγιστη οριακή τιμή της EC σύμφωνα με Van Beek & Tóth, (2012).



Εικόνα 4.4: Χρονική εξέλιξη EC σε βάθος 5-10cm από την επιφάνεια του εδάφους για κάθε γραμμή μεταχείριση. Με κόκκινες διακεκομμένες γραμμές παρουσιάζεται η μέγιστη οριακή τιμή της EC σύμφωνα με Van Beek & Tóth, (2012).

Η άρδευση με υφάλμυρο νερό, αύξησε την συγκέντρωση των Na^+ στο έδαφος, τα οποία προκαλούν τοξικότητα στα φυτά και μπορούν να οδηγήσουν σε καταστροφή της δομής του εδάφους. Καθώς η παρουσία του Na^+ στην εδαφική διάλυση αυξάνει, τείνει να αντικαταστήσει τα ωφέλιμα θρεπτικά, κυρίως Ca^{2+} , Mg^{2+} και K^+ , που συγκρατούνται στην εδαφική μήτρα μέσω του φαινομένου της ιοντοανταλλαγής. Συνέπεια του μηχανισμού αυτού είναι η επακόλουθη στράγγιση των ωφέλιμων κατιόντων με αποτέλεσμα τη έλλειψή τους από τη ριζόσφαιρα όπου θα προσλαμβάνονταν από τα φυτά, γεγονός που επηρεάζει την ποιότητα της φυτικής παραγωγής (Grattan & Grieve, 1998). Τα πειραματικά αποτελέσματα ενισχύουν τον παραπάνω συλλογισμό (Εικόνες 4.5-4.8), καθώς η μέση συγκέντρωση των Na^+ όλων των μεταχειρίσεων και στα δύο βάθη αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου, ενώ η μέσες συγκεντρώσεις των Ca^{2+} , Mg^{2+} και K^+ μειώνονται. Αυτή η διαταραχή των ιόντων είναι εντονότερη στις μεταχειρίσεις HN και HT, όπου σε βάθος 0-10 cm παρουσιάζεται αύξηση των Na^+ κατά 968,57% και μείωση των Ca^{2+} , Mg^{2+} και K^+ κατά 95,75%, 90,66% και 88,95% αντίστοιχα, συγκριτικά με τις μεταχειρίσεις L, που παρουσιάζουν αύξηση των Na^+ κατά 388,83% και μείωση των Ca^{2+} , Mg^{2+} και K^+ κατά 91,78%, 81,25% και 75,76% αντίστοιχα. Η αντίθετη μεταβολή του Na^+ με τα ωφέλιμα κατιόντα δικαιολογεί την πτωτική πορεία που παρουσιάζει η EC.

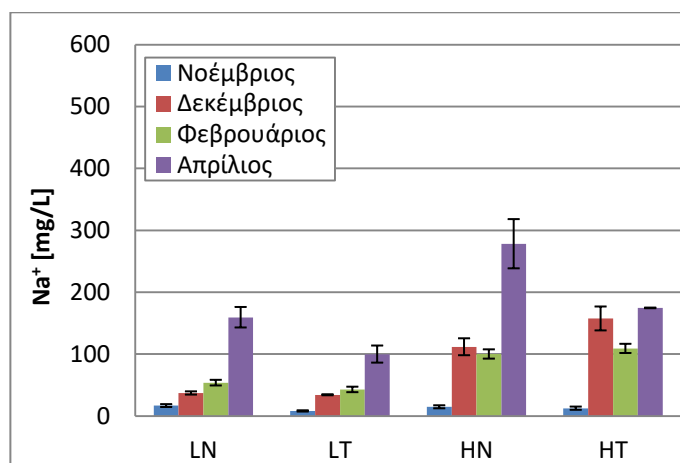
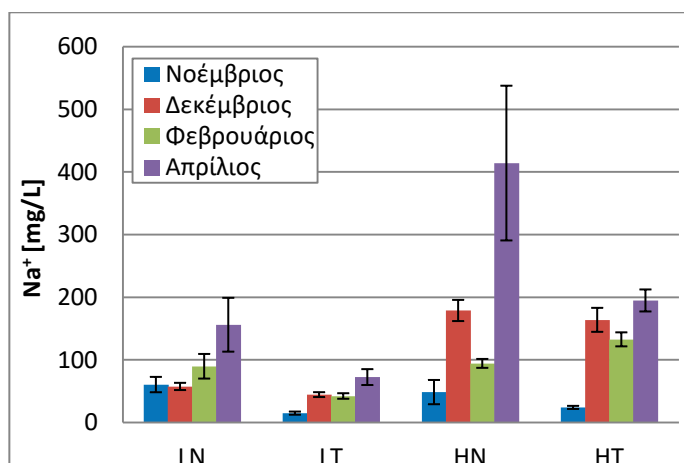
Η μεγαλύτερη συγκέντρωση Na κατά τη δειγματοληψία του Απριλίου σημειώνεται στη μεταχείριση HN με τιμές 413,98 και 278,12 mg/L στα βάθη 0-5 και 5-10 cm αντίστοιχα, ενώ η μικρότερη στην μεταχείριση LT με τιμές 72,36 και 99,78 mg/L αντίστοιχα (Εικόνα 4.5). Ακόμα, από την Εικόνα 4.5 εντύπωση προκαλεί το γεγονός ότι τον Απρίλιο οι μεταχειρίσεις LN και HT παρουσιάζουν συγκρίσιμες τιμές, 157,61 mg/L και 184,53 mg/L αντίστοιχα σε

βάθος εδάφους 0-10 cm, παρόλο που η HT αρδεύεται με νερό υψηλής αλατότητας. Επομένως, δίνονται σημαντικές ενδείξεις ότι η προσθήκη τριχοδέρματος μειώνει την συσσώρευση του Na^+ στο έδαφος και στις δύο περιπτώσεις αλατότητας.

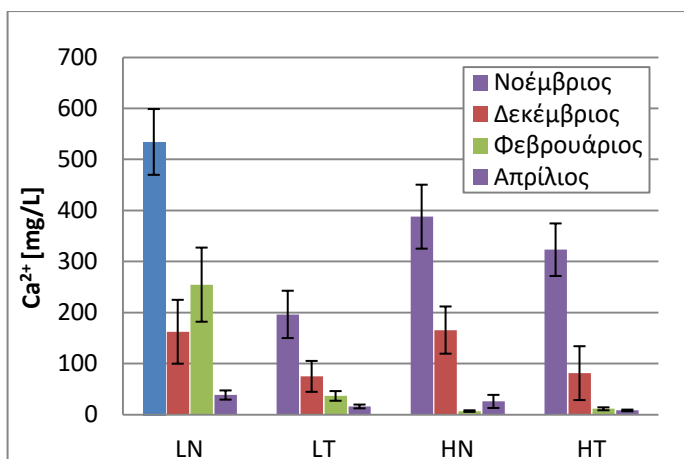
Σύμφωνα με τους Bear (1945) και Toth (1948) για να θεωρηθεί ένα έδαφος ιδανικό για καλλιέργεια, πρέπει να έχει και τις κατάλληλες αναλογίες Ca^{2+} , Mg^{2+} και K^+ , οι οποίες προκύπτουν από τους λόγους $\text{Ca:Mg} = 6,5:1$, $\text{Ca:K} = 13:1$ και $\text{Mg:K} = 2:1$. Στον Πίνακα 4.3 φαίνονται οι μέσες τιμές των παραπάνω λόγων για κάθε μεταχείριση στα δύο βάθη εδάφους κατά την αρχική (Νοέμβριος) και την τελική (Απρίλιος) κατάσταση του εδάφους. Και οι τρεις λόγοι έχουν αρκετά μικρότερη τιμή από την ιδανική στην αρχή του πειράματος, λόγω ότι το έδαφος ήταν ήδη υποβαθμισμένο από αλατότητα, ενώ μειώνονται ακόμη περισσότερο στο τέλος του πειράματος, παρά τη λίπανση που εφαρμόστηκε. Τον Απρίλιο μεγαλύτερη απόκλιση παρουσιάζει η μεταχείριση HT με τιμές 1,96, 0,84 και 0,43 για τους λόγους Ca:Mg , Ca:K και Mg:K αντίστοιχα.

Πίνακας 4.3: Λόγοι Ca:Mg , Ca:K και Mg:K για κάθε γραμμή μεταχείρισης σε βάθος εδάφους 0-10 cm στην πρώτη (Νοέμβριο) και στην τελευταία (Απρίλιο) δειγματοληψία εδάφους.

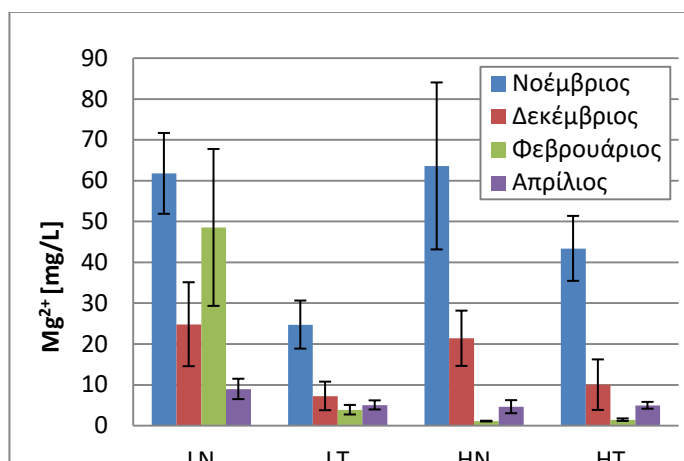
Μεταχείριση	1 ^η Δειγματοληψία (Νοέμβριος)			4 ^η Δειγματοληψία (Απρίλιος)		
	Ca:Mg	Ca:K	Mg:K	Ca:Mg	Ca:K	Mg:K
LN	9,34	4,82	0,52	4,62	1,92	0,45
LT	8,98	5,42	0,60	3,65	1,33	0,37
HN	7,80	4,02	0,52	5,67	2,63	0,46
HT	7,98	4,32	0,54	1,96	0,84	0,43



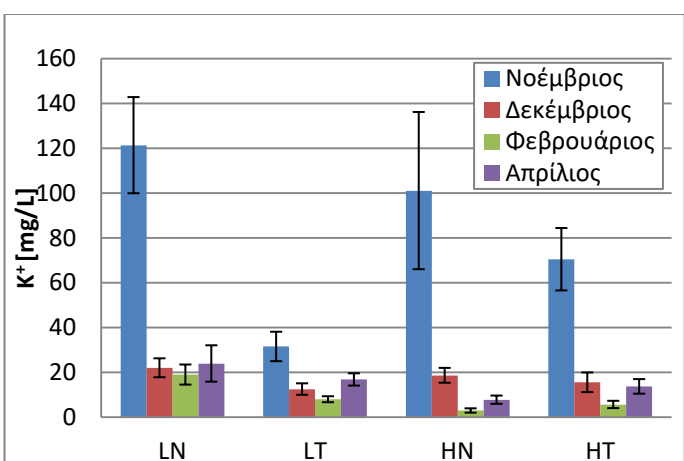
Εικόνα 4.5: Συγκέντρωση ιόντων νατρίου (Na^+), συναρτήσει του χρόνου για κάθε γραμμή μεταχείρισης σε βάθος εδάφους 0-5 cm (αριστερά) και 5-10 cm (δεξιά).



Εικόνα 4.6: Συγκέντρωση ιόντων ασβεστίου (Ca^{2+}), συναρτήσει του χρόνου για κάθε γραμμή μεταχείρισης σε βάθος εδάφους 0-5 cm (αριστερά) και 5-10 cm (δεξιά). (αριστερά).

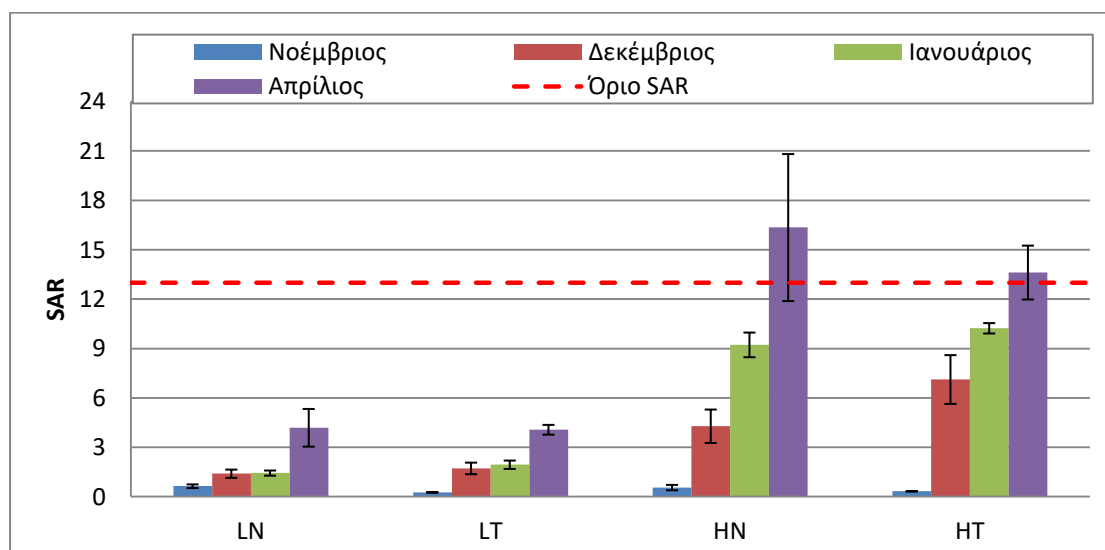


Εικόνα 4.7: Συγκέντρωση ιόντων μαγνησίου (Mg^{2+}), συναρτήσει του χρόνου για κάθε γραμμή μεταχείρισης σε βάθος εδάφους 0-5 cm (αριστερά) και 5-10 cm (δεξιά). (αριστερά).

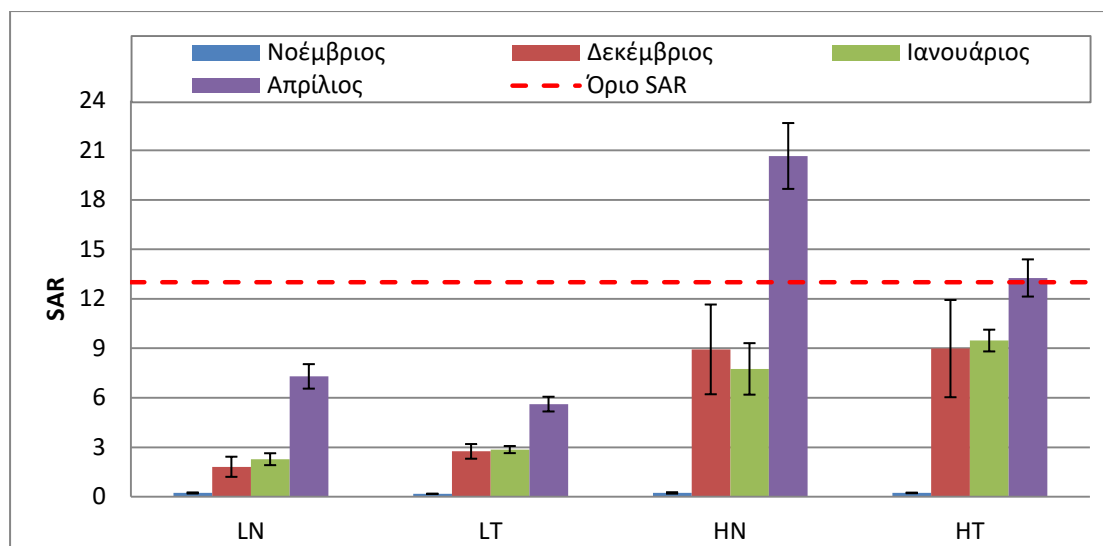


Εικόνα 4.8: Συγκέντρωση ιόντων καλίου (K^+), συναρτήσει του χρόνου για κάθε γραμμή μεταχείρισης σε βάθος εδάφους 0-5 cm (αριστερά) και 5-10 cm (δεξιά). (αριστερά).

Από τις Εικόνες 4.9-10, είναι εμφανής η αυξητική πορεία του SAR, ιδιαίτερα σε βάθος εδάφους 5-10 cm συναρτήσει του χρόνου, λόγω της υπερίσχυσης των ιόντων Na^+ , σύμφωνα με την εξίσωση υπολογισμού του (Εξίσωση 6). Ο δείκτης SAR σε όλες τις εδαφικές μεταχειρίσεις στην πρώτη δειγματοληψία εδάφους (Νοέμβριος) έχει τιμές κοντά στο μηδέν και στη συνέχεια αυξάνεται εξαιτίας της προσθήκης Na^+ μέσω της άρδευσης, με τις μεγαλύτερες τιμές να παρουσιάζονται κατά τον Απρίλιο. Ο SAR παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές στις μεταχειρίσεις HN και HT, με τιμές 16,4 και 13,6 σε βάθος εδάφους 0-5 cm και 20,7 και 13,3 σε βάθος 5-10 cm, αντίστοιχα. Επιπλέον, κατά την τελική δειγματοληψία του Απριλίου οι μεταχειρίσεις LT και HT παρουσιάζουν χαμηλότερες τιμές του δείκτη SAR και στα δύο βάθη εδάφους σε σύγκριση με τις LN και HN αντίστοιχα, γεγονός που υποδηλώνει ότι η χρήση του μύκητα *T. harzianum* προκαλεί μείωση του SAR και στις δύο περιπτώσεις άρδευσης με νερό μέτριας και υψηλής αλατότητας. Στις τελευταίες αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν τον Απρίλιο φαίνεται ότι η τιμή του SAR έχει ξεπεράσει την μέγιστη οριακή τιμή 13 στις γραμμές HN και HT, πράγμα που κατηγοριοποιεί τα εδάφη ως αλκαλιωμένα (sodic soils).



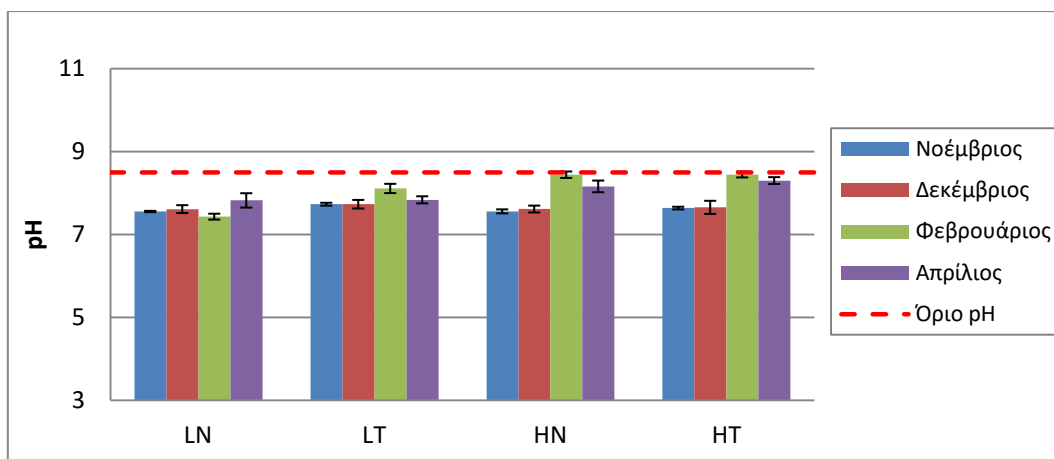
Εικόνα 4.9: Μεταβολή δείκτη SAR σε βάθος εδάφους 0-5 cm, συναρτήσει του χρόνου για κάθε γραμμή μεταχείρισης. Με κόκκινες διακεκομμένες γραμμές παρουσιάζεται η μέγιστη οριακή τιμή του SAR σύμφωνα με Van Beek & Tóth, (2012).



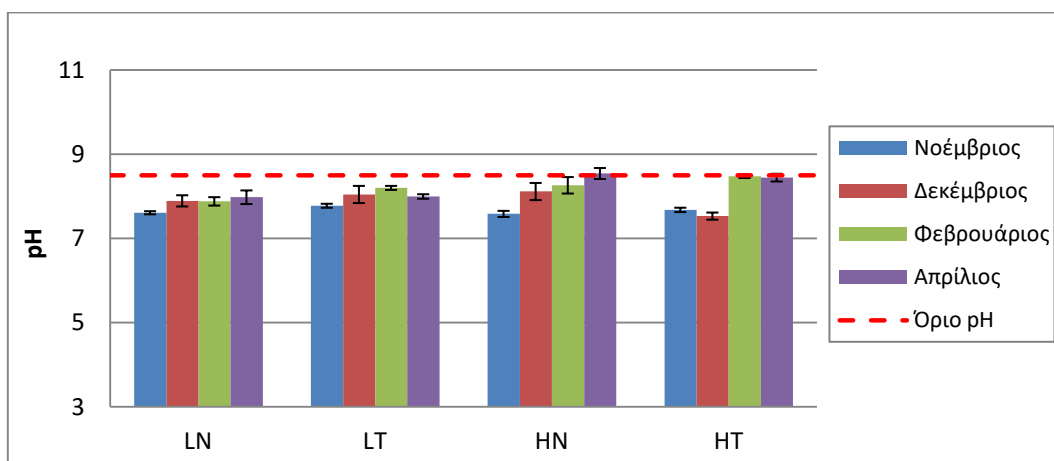
Εικόνα 4.10: Μεταβολή δείκτη SAR σε βάθος εδάφους 5-10cm, συναρτήσει του χρόνου για κάθε γραμμή μεταχείρισης. Με διακεκομμένες γραμμές παρουσιάζεται η μέγιστη οριακή τιμή του SAR σύμφωνα με Van Beek & Tóth, (2012).

Στις Εικόνες 4.11 και 4.12 παρουσιάζεται το προφίλ του pH του εδάφους, όπως υπολογίστηκε στις τέσσερις δειγματοληψίες του πειράματος για κάθε γραμμή μεταχείρισης σε δύο διαφορετικά ύψη εδάφους 0-5 cm και 0-10 cm αντίστοιχα. Γενικά, η άρδευση με υφάλμυρο νερό προκαλεί αύξηση του pH του εδάφους, γεγονός που είναι εμφανές στην προκειμένη περίπτωση (Εικόνα 4.11-12). Στην πρώτη δειγματοληψία εδάφους τον Νοέμβριο παρατηρείται υψηλό pH με μέση τιμή 7,6 για όλες τις μεταχειρίσεις σε βάθος 0-10 cm, σε σχέση με την βέλτιστο εύρος pH για καλλιέργεια τομάτας που έχει υπολογιστεί 5,5-6,5 (Islam et al., 1980). Μεγαλύτερη τιμή pH, σημειώνεται κατά την δειγματοληψία του Απριλίου στην μεταχείριση HN, ίση με 8,5 σε βάθος εδάφους 5-10 cm. Όσον αφορά τη χρήση τριχοδέρματος, φαίνεται να μην επηρεάζει το pH του εδάφους, καθώς δεν παρατηρείται κάποια ξεκάθαρη τάση μεταξύ των μεταχειρίσεων στα δύο βάθη εδάφους. Τα αποτελέσματα της τελευταίας δειγματοληψίας εδάφους (Απρίλιος) δείχνουν ότι το pH του εδάφους αγγίζει την οριακή τιμή 8,5 μόνο για την μεταχείριση HN, ενώ στις υπόλοιπες μεταχειρίσεις βρίσκεται στα αποδεκτά όρια ($pH < 8,5$).

Στον Πίνακα 4.4 παρουσιάζονται οι τιμές της EC, του SAR και του pH για κάθε εδαφική μεταχείριση σε δύο βάθη εδάφους 0-5 και 5-10 cm. Ο πίνακας κατασκευάστηκε με σκοπό αφενός τη διευκόλυνση της σύγκρισης των επιμέρους μεταχειρίσεων και αφετέρου την αξιολόγηση της αλάτωσης που πλήττει κάθε μεταχείριση.



Εικόνα 4.11: pH καθ' όλη τη διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος σε βάθος εδάφους 0-5 cm για κάθε γραμμή μεταχείρισης. Με κόκκινη διακεκομμένη γραμμή παρουσιάζεται η μέγιστη οριακή τιμή του pH σύμφωνα με Van Beek & Tóth, (2012).



Εικόνα 4.12: pH καθ' όλη τη διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος σε βάθος εδάφους 5-10 cm για κάθε γραμμή μεταχείρισης. Με κόκκινη διακεκομμένη γραμμή παρουσιάζεται η μέγιστη οριακή τιμή του SAR σύμφωνα με Van Beek & Tóth, (2012).

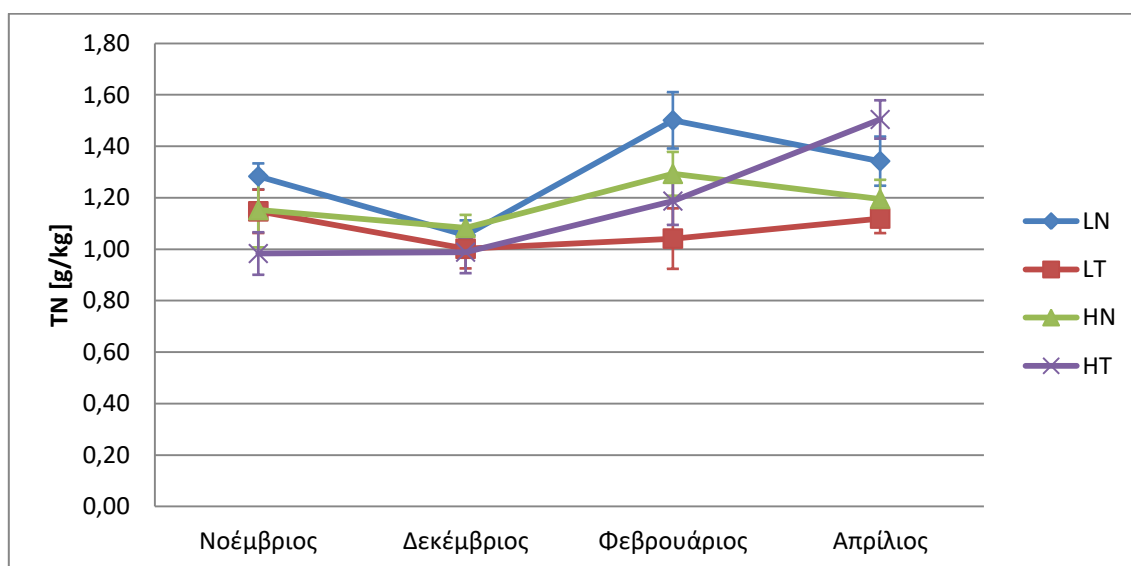
Πίνακας 4.4: Μέση τιμή και τυπικό σφάλμα για τους δείκτες ποιότητας EC, SAR και pH, για κάθε μεταχείριση σε βάθος εδάφους 0-5 και 5-10 cm κατά την δειγματοληψία του Απριλίου.

Μεταχείριση	EC (dS/m)	SAR	pH
LN_(0-5 cm)	9,2 ± 2,39	4,2 ± 1,14	7,8 ± 0,17
LT_(0-5 cm)	4,7 ± 0,94	4,1 ± 0,3	7,8 ± 0,09
HN_(0-5 cm)	13,7 ± 1,45	16,4 ± 4,47	8,2 ± 0,14
HT_(0-5 cm)	8,8 ± 0,64	13,6 ± 1,64	8,3 ± 0,08
LN_(5-10cm)	8,3 ± 1,28	7,3 ± 0,74	8 ± 0,16
LT_(5-10 cm)	5,4 ± 0,69	5,6 ± 0,45	8 ± 0,05
HN_(5-10 cm)	11,1 ± 2,61	20,7 ± 2	8,5 ± 0,13
HT_(5-10 cm)	8 ± 0,51	13,3 ± 1,13	8,4 ± 0,0

4.4. Θρεπτικά εδάφους

4.4.1. Ολικό άζωτο (TN) και ολικό άζωτο κατά Kjeldhal (TKN)

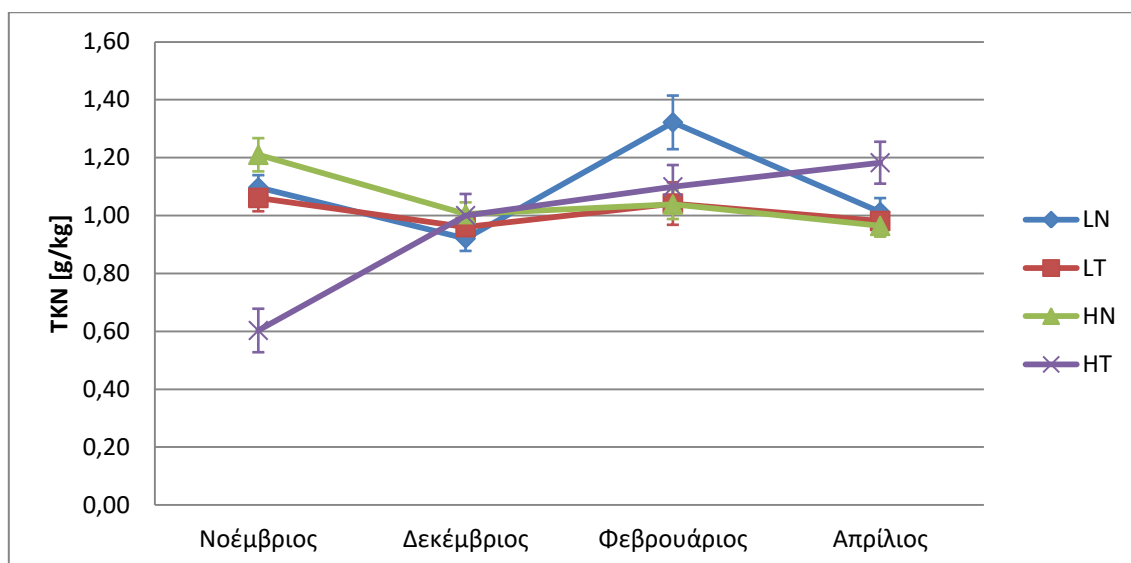
Στις Εικόνες 4.13-14 παρουσιάζεται το περιεχόμενο του εδάφους σε TN και TKN αντίστοιχα, συναρτήσει του χρόνου για κάθε εδαφική μεταχείριση σε βάθος εδάφους 0-10 cm. Η επίδραση της ισορροπίας του N υπό συνθήκες αλατότητας είναι περίπλοκη. Στις περισσότερες μελέτες έχει παρατηρηθεί ότι η αλατότητα μειώνει την πρόσληψη του N από τα φυτά και κατ' επέκταση τη συσσώρευση του στους ιστούς τους, αλλά υπάρχουν και μελέτες που παρατήρησαν το αντίθετο ή και καμία επίδραση (Feigin, 1985). Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα (Εικόνα 4.13-14) σε όλες τις μεταχειρίσεις τον Νοέμβριο παρατηρείται ικανοποιητικό περιεχόμενο σε TN και TKN στο έδαφος, το Δεκέμβριο παρατηρείται μείωση, τον Φεβρουάριο μικρή αύξηση, ενώ τον Απρίλιο παρατηρήθηκαν διαφορετικές μεταβολές μεταξύ των μεταχειρίσεων. Συμπερασματικά σημειώνεται ότι τα TN και TKN δεν παρουσίασαν διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων για κάθε δειγματοληψία που να θεωρούνται ικανές να επηρεάσουν την ανάπτυξη των φυτών και να αλλοιώσουν τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης.



Εικόνα 4.13: Μεταβολή του περιεχομένου του εδάφους σε ολικό αζώτου (TN), σε βάθος εδάφους 0-10 cm, συναρτήσει του χρόνου για κάθε γραμμή μεταχείρισης.

Σημειώνεται ότι το περιεχόμενο του εδάφους σε TN και TKN κατά τη δειγματοληψία του Απριλίου παρουσίασε τη μεγαλύτερη τιμή στη μεταχείριση HT, ίση με 1,5 g/kg και 1,2 g/kg αντίστοιχα (Εικόνα 4.13), παρόλο που ήταν εμβολιασμένη με τον ωφέλιμο μύκητα *T. harzianum*, γεγονός που θα μπορούσε να σημαίνει ότι παρεμποδίστηκε η πρόσληψη του αζώτου από τα φυτά. Οι τιμές του TN βρίσκονται οριακά κάτω από το βιβλιογραφικό εύρος

των 1,5-2,5 g/kg (Πίνακας 1.2), γεγονός που οφείλεται στην αρχική κατάσταση του εδάφους, το οποίο ήταν φτωχό σε νιτρικά καθώς και στην ελαφριά λίπανση που επιλέχθηκε στα πλαίσια του πειράματος.



Εικόνα 4.14: Μεταβολή του ολικού αζώτου κατά Kjeldahl (TKN) συναρτήσει του χρόνου σε βάθος εδάφους 0-10cm για κάθε γραμμή μεταχείρισης

4.4.1.1. Αζωτο υπό μορφή νιτρικών (N-NO_3^-) και άζωτο υπό μορφή αμμωνιακών (N-NH_4^+)

Στις Εικόνες 4.15-16 παρουσιάζεται το περιεχόμενο του εδάφους σε άζωτο υπό μορφή νιτρικών (N-NO_3^-) και αμμωνιακών (N-NH_4^+) αντίστοιχα σε βάθος εδάφους 0-10 cm για κάθε μεταχείριση, συναρτήσει του χρόνου. Το άζωτο μπορεί να αξιοποιηθεί από τα φυτά υπό αυτές τις δύο μορφές. Τα N-NO_3^- αποτελούν την πιο αξιοποιήσιμη μορφή N από τα φυτά και εξαιτίας αυτού τις περισσότερες φορές τα N-NH_4^+ του εδάφους μετατρέπονται μέσω της διαδικασίας της νιτροποίησης σε N-NO_3^- , ώστε να μπορούν να απορροφηθούν ευκολότερα από τα φυτά, με αποτέλεσμα να παρουσιάζεται σταδιακή μείωση της περιεκτικότητας τους στο έδαφος κατά την διάρκεια της καλλιέργειας (Liu et al., 2001). Έχει παρατηρηθεί ότι υπό συνθήκες αλατότητας η ποσότητα των NO_3^- και NH_4^+ δύναται να προκαλέσει μείωση (Searle, 1984) ή αύξηση (Watanabe & Olsen, 1965) της ανάπτυξης του φυτού αντίστοιχα, ενώ προτείνεται η βέλτιστη αναλογία $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ 6:1 (Ben-Oliel et al., 2005), η οποία θα πρέπει να παραμένει σταθερή κατά τη καλλιέργεια. Οι πειραματικές τιμές του παραπάνω λόγου για κάθε εδαφική μεταχείριση παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.4. Αξίζει να τονιστεί ότι το N-NO_3^- μπορεί να χαθεί μέσω έκπλυσης ιδιαίτερα σε όξινο pH εδάφους, ενώ το N-NH_4^+ δεν μπορεί να χαθεί (leaching) (S.J. Langan, 1999).

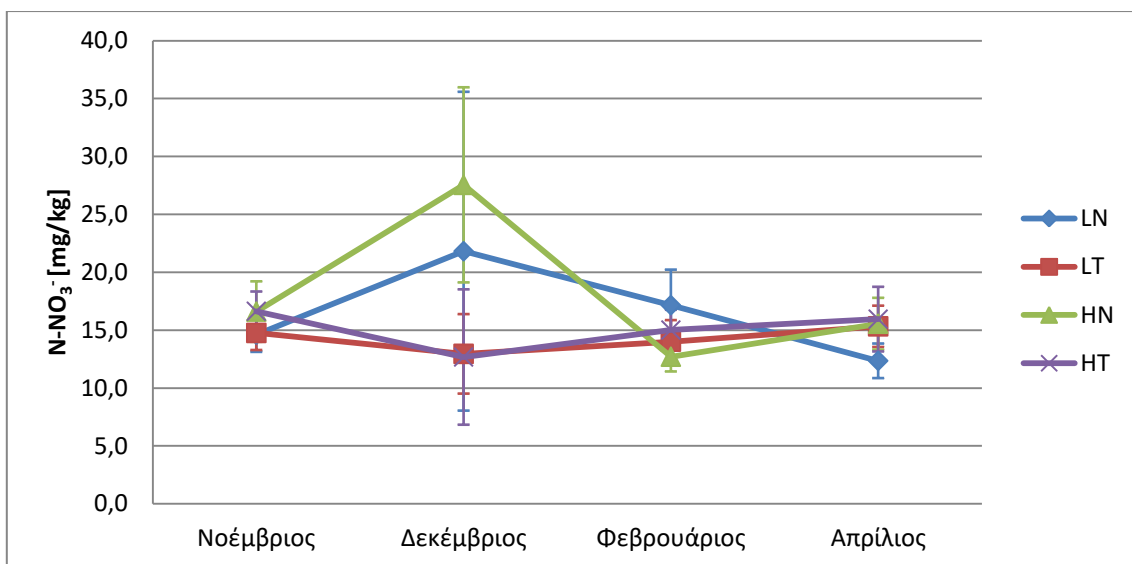
Πίνακας 4.4: Μέση τιμή του λόγου $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ για κάθε εδαφική μεταχείριση κατά τη διάρκεια του πειράματος.

Δειγματοληψία	LN	LT	HN	HT
Νοέμβριος	1,6	3	1,4	2,2
Δεκέμβριος	1,4	2,1	3,7	1,2
Φεβρουάριος	3,2	2,7	2,4	2,9
Απρίλιος	5,7	8,6	6,5	6,5

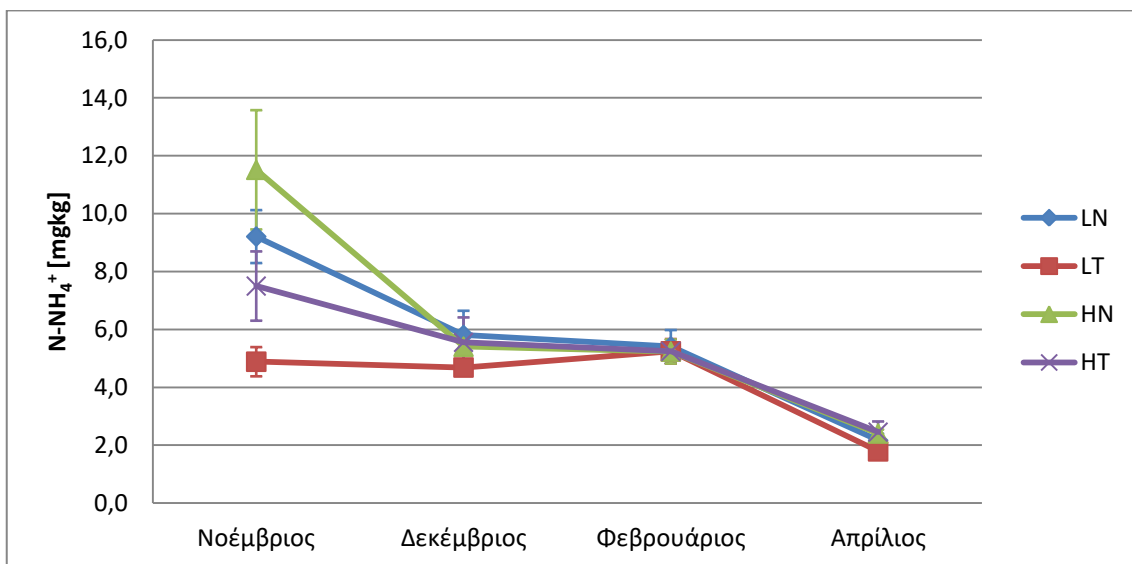
Από τις τιμές του Πίνακα 4.4 παρατηρείται ότι στην δειγματοληψία του Νοεμβρίου η αναλογία δεν ήταν ιδανική, γεγονός που πιθανόν να οφείλεται στην αρχικά υψηλή συγκέντρωση NH_4^+ που προσθέσαμε στο έδαφος κατά την αρχή του πειράματος μέσω οργανικής λίπανσης. Κατά την τελευταία δειγματοληψία η αναλογία σταθεροποιείται και τείνει προς την ιδανική τιμή.

Όσον αφορά τη περιεκτικότητα του εδάφους σε N-NO_3^- παρατηρείται παρόμοια εξέλιξη μεταξύ των μεταχειρίσεων σε κάθε δειγματοληψία εδάφους εξαιτίας της συχνής λίπανσης (μορφή αζώτου λίπανσης: N-NO_3^-). Εξάιρεση αποτελεί η δειγματοληψία του Δεκεμβρίου, όπου οι μεταχειρίσεις LN και HN παρουσιάζουν υψηλή διαθεσιμότητα N-NO_3^- με τιμές 21,82 και 27,55 mg/kg αντίστοιχα (Εικόνα 4.15), γεγονός που υποδηλώνει την χαμηλή απορρόφηση από τα φυτά. Αυτή η διαφορά πιθανόν να οφείλεται στον μύκητα *T. harzianum*, ο οποίος έχει διαπιστωθεί από παλαιότερες μελέτες (Mastour et al., 2010) ότι ενισχύει την πρόσληψη θρεπτικών από τα φυτά, ιδιαίτερα υπό περιβαλλοντικές πιέσεις όπως η είναι αλατότητα στην προκειμένη περίπτωση. Η περιεκτικότητα του εδάφους σε N-NO_3^- σε όλες τις μεταχειρίσεις βρίσκεται μέσα στο εύρος 11-40 mg/kg, το οποίο εξασφαλίζει την ευνοϊκή ανάπτυξη των φυτών.

Σχετικά με την περιεκτικότητα του εδάφους σε N-NH_4^+ (Εικόνα 4.16) η μόνη έντονη διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων συναντάται τον Νοέμβριο για τις μεταχειρίσεις LN και HN, γεγονός που πιθανόν να οφείλεται στην αρχική κατάσταση του μη επεξεργασμένου εδάφους, καθώς η ανάλυση πραγματοποιήθηκε μόλις 20 d μετά την έναρξη του πειράματος. Ακόμη, είναι ορατή η μείωση της διαθεσιμότητας του εδάφους σε N-NH_4^+ συναρτήσει του χρόνου σε όλες τις μεταχειρίσεις, γεγονός που δεν προκαλεί ανησυχία καθώς όπως προαφαιρέθηκε αυτή η μορφή N δεν δύναται να χαθεί και να προκαλέσει προβλήματα στα υπόγεια ύδατα. Η μείωση τους πιθανόν να οφείλεται στην απορρόφηση τους από τα φυτά καθώς και στη μετατροπή τους σε NO_3^- , μέσω της νιτροποίησης, ώστε να αξιοποιηθούν ευκολότερα από τους φυτικούς οργανισμούς.



Εικόνα 4.15: Μεταβολή του περιεχομένου του εδάφους σε αζώτου υπό μορφή νιτρικών (N-NO_3^-), σε βάθος εδάφους 0-10 cm, συναρτήσει του χρόνου για κάθε γραμμή μεταχείρισης.

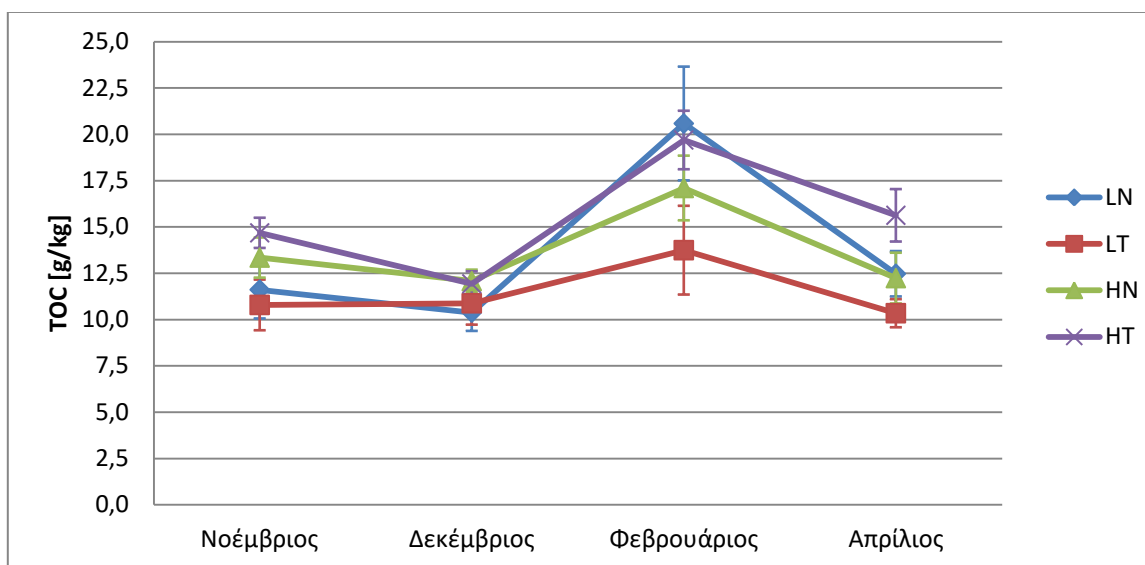


Εικόνα 4.16: Μεταβολή του περιεχομένου του εδάφους σε αζώτου υπό μορφή αμμωνιακών (N-NH_4^+), σε βάθος εδάφους 0-10 cm, συναρτήσει του χρόνου για κάθε γραμμή μεταχείρισης.

4.4.2. Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC)

Στην Εικόνα 4.17 παρουσιάζεται η χρονική εξέλιξη της περιεκτικότητας του εδάφους σε TOC σε βάθος εδάφους 0-10 cm, για κάθε μεταχείριση που εφαρμόστηκε. Η αυξημένη συγκέντρωση άλατος στο έδαφος μειώνει την περιεκτικότητα του εδάφους σε TOC, με αποτέλεσμα τη μείωση της παραγωγικότητας του εδάφους (Westerman & Tucker, 1974). Ακόμη η λίπανση οξειδώνει την οργανική ύλη του εδάφους, δηλαδή μειώνει την περιεκτικότητα του εδάφους σε TOC (Balesdent et al., 1990; Cambardella & Elliott, 1993) και επομένως καλό θα ήταν να τοποθετούνται εδαφοβελτιωτικά (π.χ. κοσμάστι) στο έδαφος ώστε να αντικατασταθεί το οργανικό φορτίο που χάνεται εξαιτίας της λίπανσης (Cambardella

& Elliott, 1993; Collins et al., 1992). Στα πλαίσια του πειράματος χρησιμοποιήθηκε εδαφοβελτιωτικό μόνο κατά την έναρξη της καλλιέργειας με αποτέλεσμα η περιεκτικότητα του εδάφους σε TOC να παραμένει χαμηλή καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιέργειας. Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα ο TOC παίρνει τιμές 10,34-20,58 g/kg σε όλες τις μεταχειρίσεις (Εικόνα 4.17), σε σχέση με την αποδεκτή τιμή των 30 g/kg ώστε να θεωρηθεί το έδαφος γόνιμο. Τέλος από την Εικόνα 4.17 φαίνεται ότι η χρονική εξέλιξη του TOC ήταν παρόμοια με εκείνης του TN, καθώς εμφανίζεται παρόμοια τάση μεταξύ των μεταχειρίσεων για κάθε δειγματοληψία εδάφους και επομένως δεν είναι ορατή κάποια έντονη επιρροή του TOC από την αλατότητα ή από το τριχόδερμα.



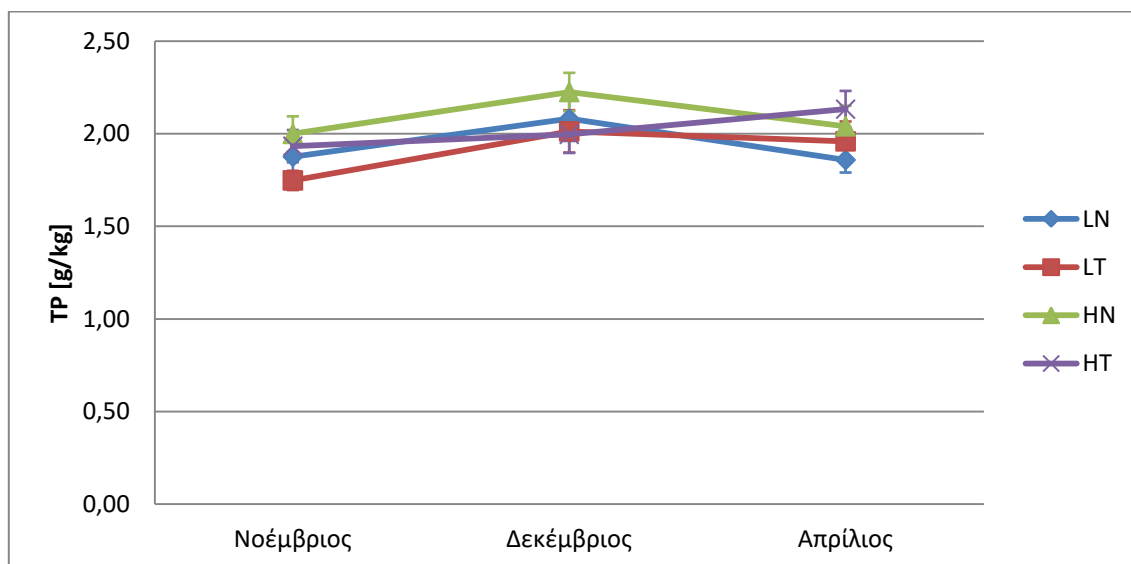
Εικόνα 4.17: Μεταβολή του περιεχομένου του εδάφους σε ολικού οργανικού άνθρακα (TOC) , σε βάθος εδάφους 0-10 cm, συναρτήσει του χρόνου για κάθε γραμμή μεταχείρισης.

4.4.3. Φώσφορος

4.4.3.1. Ολικός φώσφορος (TP)

Η Εικόνα 4.18 παρουσιάζει τη μεταβολή της συγκέντρωσης του TP κατά τις 3 δειγματοληψίες εδάφους (Νοέμβριος, Δεκέμβριος, Απρίλιος) σε βάθος εδάφους 0-10 cm. Η δειγματοληψία του Φεβρουαρίου παραλήφθηκε καθώς δεν αναμενόταν να μεταβληθεί η περιεκτικότητα του TP στο έδαφος, όπως και έγινε. Η αλατότητα επηρεάζει την ισορροπία των μορφών του P στο έδαφος, (του P που βρίσκεται στο εδαφικό διάλυμα, του διαθέσιμου P και του P που είναι δεσμευμένος). Από παλαιότερες μελέτες έχει παρατηρηθεί ότι η αλατότητα μειώνει τη συγκέντρωση του P στους ιστούς των φυτών (Sharpley et al., 1992), ενώ τα αποτελέσματα των ερευνών έδειξαν ότι η αλατότητα δύναται να μειώσει ή να μην επηρεάσει την πρόσληψη P από τα φυτά. Από τις τιμές του TP (Εικόνα 4.18) δεν παρατηρούνται σοβαρές μεταβολές μεταξύ των εδαφικών μεταχειρίσεων.

Κατά την τελευταία δειγματοληψία του πειράματος τον Απρίλιο οι τιμές του TP δεν ξεπερνάνε την οριακή τιμή κατωφλίου 4 g/kg, που προτείνεται από τους (Qian et al., 2004) και επομένως δεν υπάρχει κίνδυνος συσσώρευσης φωσφόρου στο έδαφος που δύναται να προκαλέσει μείωση της απόδοσης και της ποιότητας της παραγωγής, καθώς και υποβάθμιση των υπόγειων υδάτων (Howard, 2006).



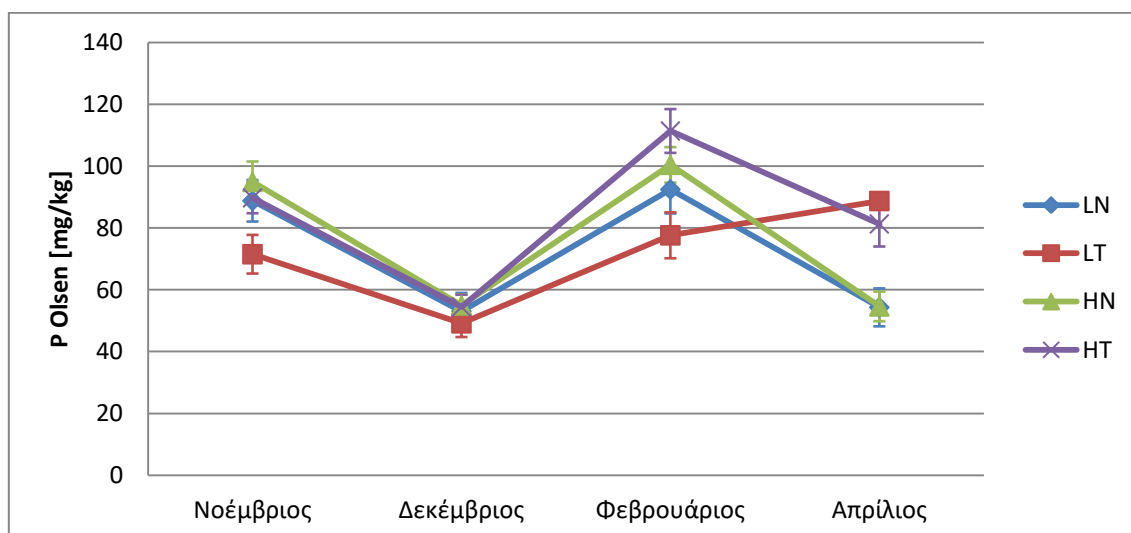
Εικόνα 4.18: Μεταβολή του ολικού φωσφόρου (TP), συναρτήσει του χρόνου σε βάθος εδάφους 0-10 cm για κάθε γραμμή μεταχείρισης.

4.4.3.2. Διαθέσιμος φωσφόρος (P Olsen)

Στην Εικόνα 4.19 φαίνεται η μεταβολή του διαθέσιμου φωσφόρου στο έδαφος συναρτήσει του χρόνου για κάθε γραμμή μεταχείρισης σε βάθος εδάφους 0-10 cm. Διαθέσιμος φωσφόρος θεωρείται η μορφή του φωσφόρου που μπορεί να αξιοποιηθεί από τους φυτικούς οργανισμούς. Η απορρόφηση του φωσφόρου από τα φυτά εξαρτάται γενικά από τον τύπο του εδάφους, το στάδιο ανάπτυξης του φυτού, τις συνθήκες άρδευσης και έμμεσα από την θερμοκρασία περιβάλλοντος. Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα (Εικόνα 4.19) τον Νοέμβριο παρατηρείται μεγάλη διαθεσιμότητα του P στο έδαφος που υποδηλώνει χαμηλή απορρόφηση από τα φυτά, που πιθανόν οφείλεται στη πρώιμη ακόμα ανάπτυξη του φυτού και στην ταυτόχρονη συμπληρωματική λίπανση. Το Δεκέμβριο παρατηρείται μείωση της διαθεσιμότητας του P στο έδαφος, πιθανόν εξαιτίας της υψηλής πρόσληψης από τα φυτά, που οφείλεται στην έντονη ανάπτυξη του φυτού καθώς και στην κατάσταση του εδάφους το οποίο ακόμα δεν είχε υψηλή συσσώρευση άλατος ώστε να παρεμποδιστεί η απορρόφηση. Αντίθετα, τον Φεβρουάριο εμφανίζεται υψηλή περιεκτικότητα σε διαθέσιμο P στο έδαφος, γεγονός που προκύπτει από την αύξηση της συγκέντρωσης του άλατος στο έδαφος, η οποία δρα ανασταλτικά στην πρόσληψη των θρεπτικών και στην πιθανή μείωση των θερμοκρασιών περιβάλλοντος που μειώνουν με τη σειρά τους τον ρυθμό ανάπτυξης του φυτού άρα και τις

ανάγκες του σε φωσφόρο. Τέλος, τον Απρίλιο παρατηρείται ενδιαμέση συμπεριφορά του φωσφόρου συγκριτικά με τις προηγούμενες δειγματοληψίες, από τη μια εξαιτίας της αυξημένης ανάγκης του φυτού (στάδιο καρποφορίας) και από την άλλη εξαιτίας της συσσώρευσης άλατος τους.

Σύμφωνα με παλαιότερες μελέτες η αλατότητα μειώνει την διαθεσιμότητα του φωσφόρου στο έδαφος, με αποτέλεσμα την μείωση της πρόσληψης του από τα φυτά (Grattan & Grieve, 1998). Από την Εικόνα 4.19 είναι ορατό ότι στα πλαίσια του πειράματος οι μεταχειρίσεις LN και HN παρόλο που αρδεύονται με διαφορετικές συγκεντρώσεις άλατος φαίνεται να απορροφούν παρόμοιες ποσότητες P από το έδαφος. Αντίθετα οι μεταχειρίσεις LT και HT δεν παρουσιάζουν παρόμοια πορεία, καθώς τον Φεβρουάριο η LT σημειώνει την μικρότερη διαθεσιμότητα P και η HT την μεγαλύτερη ενώ στη συνέχεια τον Απρίλιο φαίνεται οι τιμές τους να συμπίπτουν. Στη τελευταία δειγματοληψία (Απρίλιος) η μεγαλύτερη διαθεσιμότητα P, εμφανίζεται στις μεταχειρίσεις LT, HT, γεγονός που πιθανόν οφείλεται στον μύκητα *T. harzianum*, ο οποίος ενισχύει την διαλυτοποίηση του P. Εφόσον όμως δεν έχουν πραγματοποιηθεί αναλύσεις απορρόφησης, δεν υπάρχει καθαρή εικόνα της πρόσληψης του P από τα φυτά. Τέλος επισημάνεται ότι σε όλες τις γραμμές μεταχείρισης, η τιμή του P Olsen βρίσκεται αρκετά χαμηλότερα από το βιβλιογραφικό άνω όριο των 230 mg/kg, που προτείνουν οι Zhang et al. (2010).



Εικόνα 4.19: Μεταβολή του διαθέσιμου φώσφορου (Olsen P) στο έδαφος σε βάθος 0-10 cm, για κάθε γραμμή μεταχείρισης, συναρτήσει του χρόνου.

5. Συμπεράσματα και προτάσεις

5.1. Ποιοτικά χαρακτηριστικά εδάφους

5.1.1. Ηλεκτρική αγωγιμότητα

Από τα αποτελέσματα των εδαφικών αναλύσεων φαίνεται ότι η άρδευση με υφάλμυρο νερό δεν αύξησε σταδιακά την EC του εδάφους όπως είχε παρατηρηθεί σε παλαιότερες μελέτες (Bajwa et al., 1984; Maggio et al., 2004). Αντίθετα είναι φανερό από τις Εικόνες 4.3 και 4.4 ότι η EC του εδάφους μειώνεται συναρτήσει του χρόνου σε όλες τις γραμμές μεταχείρισης και για τα δύο βάθη εδάφους. Από το διάγραμμα 4.3 είναι φανερό ότι το έδαφος στην αρχική του κατάσταση είχε υψηλή συγκέντρωση ιόντων ασβεστίου (Ca^{2+}), γεγονός που προκάλεσε και την αρχική υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα. Άρα το έδαφος ενώ αρχικά παρουσίαζε υψηλή ECE, στη συνέχεια η άρδευση με υφάλμυρο νερό (μορφή άλατος : NaCl), προκάλεσε στράγγιση των αλάτων Ca, Mg και K καθώς τα ιόντα Na^+ , που προκύπτουν από τον ιοντισμό του άλατος, αντικατέστησαν τα ιόντα Ca^{2+} , Mg^{2+} και K^+ σύμφωνα με το φαινόμενο της ιοντοανταλλαγής.

Όσον αφορά τις δύο περιπτώσεις άρδευσης (EC_{Low} , EC_{High}), δεν παρατηρείται σημαντική διαφορά στην ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους, γεγονός που πιθανό να οφείλεται στη μικρή απόσταση των τιμών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού άρδευσης για τις δύο περιπτώσεις άρδευσης σε συνδυασμό με την αρχική κατάσταση του εδάφους, όπως προαναφέρθηκε.

Όσον αφορά τα δύο διαφορετικά βάθη εδάφους (0-5 cm, 5-10 cm), φαίνεται ότι η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους είναι ελάχιστα μεγαλύτερη στα πρώτα στρώματα του εδάφους. Αυτό συμβαίνει διότι στα πρώτα στρώματα του εδάφους (0-5 cm) ένα μέρος του νερού άρδευσης προσλαμβάνεται από το φυτό, ένα μέρος χάνεται λόγω της εξάτμισης με αποτέλεσμα να παραμένουν στο έδαφος τα αδιάλυτα άλατα.

Το τριχόδερμα και στις δύο περιπτώσεις αλατότητας φαίνεται να μειώνει τη συσσώρευση άλατος στο έδαφος καθώς το έδαφος των εμβολιασμένων φυτών έχει μικρότερη ηλεκτρική αγωγιμότητα σε σχέση με το έδαφος των μη εμβολιασμένων.

5.1.2. SAR

Η διαταραχή που συνέβη στην αναλογία των ιόντων αλλοίωσε την μέτρηση της EC και επομένως κρίθηκε απαραίτητη και η μέτρηση του δείκτη SAR, ο οποίος ενώ περιλαμβάνει τις συγκεντρώσεις των ιόντων του εδάφους όπως και η EC, τα διαχωρίζει σχετικά με την τοξικότητα ή την ωφέλειά τους στο έδαφος και κατ' επέκταση στην ανάπτυξη των φυτών.

Ο SAR παρουσιάζει αύξηση συναρτήσει του χρόνου για όλες τις γραμμές μεταχείρισης και για τα δύο βάθη εδάφους, όπως έχει δημοσιευτεί και σε παλαιότερες μελέτες (Bajwa et al., 1984; Vanessa N L Wong et al., 2008). Η άρδευση με υφάλμυρο νερό προκάλεσε συσσώρευση ιόντων νατρίου στο έδαφος, τα οποία όπως προαναφέρθηκε αντικατέστησαν τα ιόντα ασβεστίου με αποτέλεσμα την αύξηση του δείκτη SAR, σύμφωνα με την εξίσωση υπολογισμού του (εξίσωση 6). Είναι εμφανές από τις Εικόνες 4.7, 4.8, ότι ο δείκτης παρουσίασε μεγαλύτερη αύξηση στην περίπτωση της άρδευσης με νερό υψηλότερης αλατότητας, όπως ήταν αναμενόμενο. Όσον αφορά τα δύο βάθη εδάφους, παρατηρήθηκε μια μικρή αύξηση του δείκτη SAR με το βάθος. Η χρήση τριχοδέρματος μείωσε αισθητά τον λόγο προσρόφησης νατρίου του εδάφους, διότι το τριχοδέρμα ενισχύει τη πρόσληψη θρεπτικών από τα φυτά, τα οποία έχουν χαμηλή κινητικότητα λόγω της επικράτησης των ιόντων Na^+ και Cl^- , που προέρχονται από την συσσώρευση άλατος στο έδαφος.

5.1.3. pH

Γενικά η άρδευση με αλμυρό νερό έχει την τάση να αυξήσει το pH του εδάφους (Alva & Syvertsen, 1991; Bajwa et al., 1984) ή να μην το επηρεάσει λόγω διάφορων διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στο έδαφος (Maggio et al., 2004). Στην περίπτωση του πειράματος παρατηρήθηκε μικρή αύξηση στο pH του εδάφους, ιδιαίτερα στην περίπτωση άρδευσης με νερό υψηλής αλατότητας, ενώ η προσθήκη τριχοδέρματος δεν επηρέασε το pH.

5.1.4. Θρεπτικά

Η αλάτωση επηρεάζει την ισορροπία των θρεπτικών στο εδαφικό διάλυμα, μέσω μείωσης της διαθεσιμότητας τους ή μέσω ανταγωνιστικής πρόσληψης τους από τα φυτά (Grattan & Grieve, 1994). Στα πλαίσια του πειράματος εφαρμόστηκε τακτική λίπανση του εδάφους και επομένως δεν παρατηρήθηκε κάποια έντονη διαφορά στη συγκέντρωση θρεπτικών μεταξύ των μεταχειρίσεων που αρδεύονταν με νερό χαμηλής ή υψηλής αλατότητας. Για τον έλεγχο της ορθής απορρόφησης της λίπανσης από τα φυτά θα πρέπει να υπάρχει μια εικόνα της πορείας των θρεπτικών του εδάφους, η οποία περιλαμβάνει την ποσότητα του εκάστοτε θρεπτικού που περιέχεται στη λίπανση, την ποσότητα που προσλαμβάνεται από τα φυτά, την περιεκτικότητα του στο έδαφος και τέλος την ποσότητα που χάνεται (leaching) (Ren et al., 2010). Για τη βιωσιμότητα τόσο της καλλιέργειας όσο και της γονιμότητας του εδάφους θα πρέπει η ποσότητα των θρεπτικών που προστίθενται στο έδαφος να είναι συγκεκριμένη ώστε να ευνοείται η πρόσληψη τους από τα φυτά αλλά παράλληλα να παρεμποδίζεται η συσσώρευση τους στο έδαφος με κίνδυνο να χαθούν (leaching). Στα πλαίσια του πειράματος δεν μετρήθηκε η ποσότητα θρεπτικών που χάνεται με τα στραγγίσματα ούτε και η περιεκτικότητα των φυτικών ιστών σε θρεπτικά με αποτέλεσμα να μην υπάρχει ξεκάθαρη εικόνα της τύχης της λίπανσης. Οι παράμετροι αυτοί θα μπορούσαν να μετρηθούν σε επόμενο

πείραμα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των εδαφικών αναλύσεων η διαθεσιμότητα του N στο έδαφος δεν παρουσίασε διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων, ενώ η διαθεσιμότητα του P αυξήθηκε κατά την τελευταία δειγματοληψία στα εδάφη των εμβολιασμένων φυτών. Αυτό το γεγονός υποδηλώνει την αυξημένη διαλυτοποίηση του P εξαιτίας του μύκητα *T. harzianum* αλλά παράλληλα και την παρεμπόδιση της πρόσληψης του από τα φυτά πιθανόν λόγω οσμωτικού στρες ή τοξικότητας που οφείλεται στην αλατότητα. Τέλος επισημαίνεται ότι η περιεκτικότητα του εδάφους σε N ήταν σχετικά χαμηλή και επομένως σε επόμενο πείραμα θα πρέπει να ενισχυθεί, ενώ η περιεκτικότητα σε P φαίνεται να ήταν επαρκής.

5.2. Αξιολόγηση εδάφους μετά την λήξη του πειράματος

Μετά την λήξη της καλλιέργειας είναι απαραίτητος ο ποιοτικός έλεγχος του εδάφους, έτσι ώστε να κριθεί η καταλληλότητα του για επόμενες καλλιέργειες. Οι σημαντικότερες παράμετροι του εδάφους, βάση των οποίων αξιολογείται η ποιότητα του είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC_e), ο λόγος προσρόφησης νατρίου (SAR) και το pH (Van Beek & Τόθ, 2012). Για την αξιολόγηση της αλάτωσης και της αλκαλίωσης του εδάφους χρησιμοποιήθηκε η κατηγοριοποίηση του Πίνακα 1.1.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της τελευταίας δειγματοληψίας εδάφους που πραγματοποιήθηκε τον Απρίλιο, δημιουργήθηκε ο Πίνακας 4.3 που περιέχει την μέση τιμή και το τυπικό σφάλμα των ποιοτικών δεικτών EC , SAR και pH για όλες τις γραμμές μεταχείρισης και για τα δύο βάθη εδάφους, ώστε να διευκολυνθεί η σύγκριση των αποτελεσμάτων.

Επομένως σύμφωνα με τους Πίνακες 1.1 και 4.3, μετά τη λήξη της καλλιέργειας το έδαφος όλων των γραμμών μεταχείρισης LN, LT, HN και HT κρίνεται αλατούχο και στα δύο βάθη εδάφους, με το έδαφος της γραμμής LT να παρουσιάζει το μικρότερο ποσοστό αλάτωσης, καθώς ο δείκτης EC με τιμή $4,7 \pm 0,94$ dS/m και $5,4 \pm 0,69$ dS/m, σε βάθη εδάφους 0-5 και 5-10 cm αντίστοιχα, βρίσκεται πολύ κοντά στο όριο αλάτωσης (4 dS/m). Αλατούχο - αλκαλιωμένο κρίνεται το έδαφος των γραμμών HN και HT, με το έδαφος HN να είναι το πιο υποβιβασμένο στα πλαίσια του πειράματος, καθώς παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές για τους δείκτες EC , SAR, pH (Πίνακας 4.3).

Από τις τιμές του Πίνακα 4.3 είναι φανερό ότι στην περίπτωση άρδευσης με νερό χαμηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας ($EC=1,1$ dS/m) προκλήθηκε χαμηλότερη αλάτωση και αλκαλίωση στο έδαφος, συγκριτικά με την περίπτωση άρδευσης με νερό υψηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας ($EC=3,5$ dS/m). Σχετικά με την απόδοση της παραγωγής της καλλιέργειας από Εικόνα 3.6 είναι φανερό ότι η απόδοση μειώθηκε με την αύξηση της συγκέντρωσης άλατος στο νερό άρδευσης. Τέλος παρατηρήθηκε ότι η χρήση τριχοδέρματος ενίσχυσε την ποιοτική

κατάσταση του εδάφους και στις δύο περιπτώσεις άρδευσης με νερό χαμηλής και υψηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας και στα δύο βάθη εδάφους, καθώς τα εμβολιασμένα φυτά παρουσίασαν χαμηλότερες τιμές όσον αφορά τους δείκτες EC και SAR.

5.3. Προτεινόμενες γεωργικές πρακτικές καλλιέργειας

Η αλάτωση και η αλκαλίωση του εδάφους επιφέρουν σοβαρά προβλήματα τόσο στην απόδοση της γεωργικής παραγωγής όσο και στην ποιότητα του εδάφους. Για την βιωσιμότητα της παραγωγής, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η καλή κατάσταση του εδάφους καθ' όλη τη διάρκεια και έπειτα από τη λήξη της κάθε καλλιέργειας. Αυτό επιτυγχάνεται με τη σωστή αποκατάσταση του εδάφους και πραγματοποιείται με διάφορες πρακτικές, ανάλογα με την έκταση του προβλήματος, τη διαθεσιμότητα νερού, τις κλιματικές συνθήκες και το διαθέσιμο κεφάλαιο.

Οι πρακτικές βελτίωσης εδάφους μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες, στις πρακτικές βελτίωσης των αλατούχων εδαφών έπειτα από επιβλαβή καλλιέργεια και στις πρακτικές που λαμβάνουν χώρα κατά την διάρκεια της καλλιέργειας. Όσον αφορά τις πρακτικές βελτίωσης έπειτα από την καλλιέργεια, η πιο συνηθισμένη πρακτική είναι η έκπλυση του εδάφους μέσω συνεχούς ή διαλείπουσας εφαρμογής νερού (αρδευτικού νερού, νερού βροχής κ.α.) με σκοπό την μετακίνηση της περίσσειας των διαλυτών αλάτων από τα υψηλότερα προς τα χαμηλότερα στρώματα του εδάφους (Qadir et al., 2000). Εξίσου διαδομένη πρακτική αποτελεί η προσθήκη ανόργανων χημικών εδαφοβελτιωτικών (Si , CaSO_4 , H_2SO_4), τα οποία διασπούν και απομακρύνουν τα άλατα από το έδαφος, βελτιώνοντας την δομή και την ποιότητα του (Ahmad, Ghafoor, Akhtar, & Khan, 2013; Matichenkov & Kosobrukhov, 2004).

Όσον αφορά τις πρακτικές αποκατάστασης κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας, η καλύτερη λύση θα ήταν η χρήση ενός βιώσιμου αρδευτικού πόρου όπως φράγμα ή συλλογή βρόχινου νερού. Αν δεν είναι δυνατή η εξολοκλήρου κάλυψη των αναγκών άρδευσης από ένα βιώσιμο πόρο θα μπορούσε να εφαρμοστεί ανάμειξη υφάλμυρου και γλυκού νερού, κυκλική άρδευση με γλυκό και υφάλμυρο νερό ή πότισμα με υφάλμυρο νερό στα ανθεκτικά στάδια ανάπτυξης του φυτού (Ali, 2011). Ακόμα μια εναλλακτική λύση είναι η χρήση ωφέλιμων συμβιωτικών μικροοργανισμών, όπως το τριχόδερμα που μελετήθηκε από την παρούσα εργασία, ως εδαφοβελτιωτικό, αλλά είναι δευτερεύουσα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας οι εδαφικές μεταχειρίσεις που ήταν εμβολιασμένες με τον μύκητα *T. harzianum* παρουσίασαν χαμηλότερη συγκέντρωση άλατος και επομένως για την αποκατάσταση τους θα χρειαστεί και μικρότερη ποσότητα νερού για έκπλυση. Επιπρόσθετα το τριχόδερμα μπορεί να μειώσει την ανάγκη της λίπανσης, γεγονός που μειώνει το κόστος της καλλιέργειας καθώς αυξάνει τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών του εδάφους ώστε να είναι άμεσα αξιοποιήσιμα από τους φυτικούς οργανισμούς.

6. Βιβλιογραφία

- Adesemoye, A. O., Torbert, H. A., & Kloepper, J. W. (2009). Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Allow Reduced Application Rates of Chemical Fertilizers. *Microbial Ecology*, 58(4), 921–929. <http://doi.org/10.1007/s00248-009-9531-y>
- Ahmad, S., Ghafoor, A., Akhtar, M., & Khan, M. (2013). Ionic displacement and reclamation of saline-sodic soils using chemical amendments and crop rotation. *Land Degradation & Development*, 24, 170–178.
- Ali, H. (2011). Practices of Irrigation & On-farm Water Management: Volume 2. *Springer Science & Business Media*.
- Ali, H. E. M., & Ismail, G. S. M. (2014). Tomato fruit quality as influenced by salinity and nitric oxide. *TURKISH JOURNAL OF BOTANY*, 38, 122–129. <http://doi.org/10.3906/bot-1210-44>
- Al-Karaki, G. N. (2000). Growth of mycorrhizal tomato and mineral acquisition under salt stress. *Mycorrhiza*, 10(2), 51–54. <http://doi.org/10.1007/s005720000055>
- Altomare, C., Norvell, W. A., Bjorkman, T., & Harman, G. E. (1999). Solubilization of Phosphates and Micronutrients by the Plant-Growth-Promoting and Biocontrol Fungus *Trichoderma harzianum* Rifai 1295-22. *APPLIED AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY*, 2926–2933.
- Alva, A. K., & Syvertsen, J. P. (1991). Irrigation water salinity affects soil nutrient distribution, root density, and leaf nutrient levels of citrus under drip fertigation 1. *Journal of Plant Nutrition*, 14(7), 715–727. <http://doi.org/10.1080/01904169109364237>
- Bae, H., Roberts, D., Lim, H.-S., Strem, M., Park, S.-C., Ryu, C.-M., ... Bailey, B. (2011). Endophytic *Trichoderma* isolates from tropical environments delay disease and induce resistance against *Phytophthora capsici* in hot pepper using multiple mechanisms. *Molecular Plant–Microbe Interactions*, in Press.
- Bajwa, M. S., Josan, A. S., Hira, G. S., & Singh, N. T. (1984). Effect of Sustained Saline Irrigation on Soil Salinity and Crop Yields. *Department of Soils, Punjab Agricultural University, Ludhiana, India*.
- Balesdent, J., Mariotti, A., & Boisgontier, D. (1990). Effect of tillage on soil organic carbon mineralization estimated from ¹³C abundance in maize fields. *Journal of Soil Science*, 41(4), 587–596. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1990.tb00228.x>
- Ben-Oliel, G., Kant, S., Naim, M., Rabinowitch, H. D., Takeoka, G. R., Buttery, R. G., & Kafkafi, U. (2005). Effects of Ammonium to Nitrate Ratio and Salinity on Yield and Fruit Quality of Large and Small Tomato Fruit Hybrids. *Journal of Plant Nutrition*, 27(10), 1795–1812. <http://doi.org/10.1081/PLN-200026430>
- Berendse, F., van, Ruijven, J., Jongejans, E., & Keesstra, S. . (2015). Loss of Plant Species

- Diversity Reduces Soil Erosion Resistance. *Ecosystems*, 18, 881–888.
- Biswas, J., Ladha, J., & Dazzo, F. (2000). Rhizobia inoculation improves nutrient uptake and growth of lowland rice. *Soil Sci Soc Am J*, (64), 1644–1650.
- Blanco, F. F., & Folegatti, M. V. (2002). Salt accumulation and distribution in a greenhouse soil as affected by salinity greenhouse by of irrigation water and leaching management, 414–419. <http://doi.org/10.1590/S1415-43662002000300006>
- Boari, F., Donadio, A., Pace, B., Schiattone, M. I., & Cantore, V. (2016). Kaolin improves salinity tolerance, water use efficiency and quality of tomato. *Agricultural Water Management*, 167, 29–37. <http://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.12.021>
- Bolarin, M., Perez-Alfocea, F., Cano, E., Estan, M., & Caro, M. (1993). Growth, fruit yield, and ion concentration in tomato epotypes after pre- and post-emergence salt treatments. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 118: 655–660.
- Bouyoucos, J. G. (1927). The Hydrometer as a new Method for Mechanical Analysis of Soils.
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2008). The nature and properties of soils. *Prentice Hall, New Jersey*.
- Brevik, E., Cerdà, A., Mataix-Solera, J., Pereg, L., Quinton, J., Six, J., & Van Oost, K. (2015). The Interdisciplinary Nature of Soil. *Soil*, 117–129.
- Cai, F., Chen, W., Wei, Z., Pang, G., Li, R., Ran, W., & Shen, Q. (2015). Colonization of *Trichoderma harzianum* strain SQR-T037 on tomato roots and its relationship to plant growth, nutrient availability and soil microflora. *Plant and Soil*, 388(1–2), 337–350. <http://doi.org/10.1007/s11104-014-2326-z>
- Cambardella, C. A., & Elliott, E. T. (1993). Carbon and Nitrogen Distribution in Aggregates from Cultivated and Native Grassland Soils. *Soil Science Society of America Journal*, 57(4), 1071. <http://doi.org/10.2136/sssaj1993.03615995005700040032x>
- Collins, H. P., Rasmussen, P. E., & Douglas, C. L. (1992). Crop Rotation and Residue Management Effects on Soil Carbon and Microbial Dynamics. *Soil Science Society of America Journal*, 56(3), 783. <http://doi.org/10.2136/sssaj1992.03615995005600030018x>
- Creamer, N. ., Bennett, M. A., Stinner, B. J., & Cardina, J. (1996). A comparison of four processing tomato production systems differing in cover crop and chemical inputs. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, (12), 559–568.
- Cresswell, H. ., & Hamilton. (2002). Soil Physical Measurement and Interpretation For Land Evaluation., 224–239. Retrieved from [https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=aF04-LgkOSgC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Cress+well,+H.P.,+Hamilton,+G.J.+2002.+Particle+size+analysis.+In:+McKenzie,+N.J.,+Cresswell,+H.P.,+Coughlan,+K.J.+\(Eds.\),+Soil+physical+measurement+and+interpretation+for+land+evalu](https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=aF04-LgkOSgC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Cress+well,+H.P.,+Hamilton,+G.J.+2002.+Particle+size+analysis.+In:+McKenzie,+N.J.,+Cresswell,+H.P.,+Coughlan,+K.J.+(Eds.),+Soil+physical+measurement+and+interpretation+for+land+evalu)

- Cuartero, J., Romero-Aranda, R., Yeo, A., & Flowers, T. (2002). Variability for some physiological characters affecting salt tolerance in tomato. *Acta Horticulturae*, 573, 435–441.
- Daliakopoulos, I., Tsanis, I., Koutroulis, A., Kourgialas, N., Varouhakis, E., Karatzas, G., & Ritsema J Coen. (2016). The Threat of Soil Salinity: a European Scale Review. *Elsevier Editorial System(tm) for Science of the Total Environment*.
- Dearborn. (2016). Retrieved November 16, 2016, from <http://moodleblogs.dearbornschools.org/WP3-QKZLJJ81/chapter/phosphorus-cycle/>
- Doran, J. W., & Parkin, T. B. (1994). Defining Soil Quality for a Sustainable Environment.
- Dubois, G., Cornford, D., Hristopulos, D., Pebesma, E., & Pilz, J. (2011). Editorial: Introduction to this special issue on geoinformatics for environmental surveillance. *Comput. Geosci*, 37, 277–279,.
- Feigin, A. (1985). Fertilization management of crops irrigated with saline water. In *Biosalinity in Action: Bioproduction with Saline Water* (pp. 285–299). Dordrecht: Springer Netherlands. http://doi.org/10.1007/978-94-009-5111-2_19
- Fernández-garcía, N., Martínez, V., Carvajal, M., Fernández-García, N., Martínez, V., & Carvajal, M. (2004). Effect of salinity on growth, mineral composition, and water relations of grafted tomato plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 167, 616–622. <http://doi.org/10.1002/jpln.200420416>
- Frank, K., Beegle, D., & Denning, J. (1998). Phosphorus. In: Brown J.R. (ed.): Recommended Chemical Soil Test Procedures for the North Central Region. Columbia, North Central Regional. *Research Publication 221, Missouri Agricultural Experiment Station*, 21–30.
- García-López, A. M., Avilés, M., & Delgado, A. (2016). Effect of various microorganisms on phosphorus uptake from insoluble Ca-phosphates by cucumber plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 179(4), 454–465. <http://doi.org/10.1002/jpln.201500024>
- Geeson, N. A., Brandt, C. J., & Thornes, J. B. (2003). Mediterranean desertification: a mosaic of processes and responses. *John Wiley & Sons*.
- Gould, W. A. (1992). *Tomato Production, Processing and Technology (third edition)*. Elsevier Science Limited.
- Grattan, S. R., & Grieve, C. M. (1994). Mineral nutrient acquisition and response by plants grown in saline environments. *Handbook of Plant and Crop Stress*, 203–226.
- Grattan, S. R., & Grieve, C. M. (1998). Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. *Scientia Horticulturae*, 78(1–4), 127–157. [http://doi.org/10.1016/S0304-4238\(98\)00192-7](http://doi.org/10.1016/S0304-4238(98)00192-7)
- Gyaneshwar, P., Kumar, G., Parekh, L., & Poole, P. (2002). Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants. *Plant Soil*, (245), 83–93.

- Halvorson, H. O., Keynan, A., & Kornberg, H. L. (1990). Utilization of calcium phosphates for microbial growth at alkaline pH. *Soil Biology and Biochemistry*, 22(7), 887–890. [http://doi.org/10.1016/0038-0717\(90\)90125-J](http://doi.org/10.1016/0038-0717(90)90125-J)
- Hamdy, A. (2005). Saline irrigation management for a sustainable use. *Non-Conventional Water Use: WASAMED Project. Bari : CIHEAM / EU DG Research*, 3–42.
- Harman, G. (2000). Myths and dogmas of biocontrol. Changes in perceptions derived from research on *Trichoderma harzianum* T-22. *Plant Disease*, 84: 377–393.
- Harman, G., Howell, C., Viterbo, A., Chet, I., & Lorito, M. (2004). *Trichoderma* species – opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nat. Rev. Microbiol*, 2:43–56.
- Howard, A. E. (2006). Agronomic Thresholds for Soil Phosphorus in Alberta: A Review. *Alberta Soils Phosphorus Limits Project. Volume 5: Background Information and Reviews.*, 42.
- Hunt, N., & Gilkes, R. (1992). Farm monitoring Handbook. Retrieved from [https://books.google.gr/books?id=t1JF_WskHusC&pg=PA141&dq=Hunt+N+and+Gilkes+R+\(1992\)+Farm+Monitoring+Handbook&hl=el&sa=X&ved=0ahUKEwiEg pz92ePOAhXJaRQKHTMMA8AQ6AEIGjAA#v=onepage&q=Hunt N and Gilkes R \(1992\) Farm Monitoring Handbook&f=false](https://books.google.gr/books?id=t1JF_WskHusC&pg=PA141&dq=Hunt+N+and+Gilkes+R+(1992)+Farm+Monitoring+Handbook&hl=el&sa=X&ved=0ahUKEwiEg pz92ePOAhXJaRQKHTMMA8AQ6AEIGjAA#v=onepage&q=Hunt N and Gilkes R (1992) Farm Monitoring Handbook&f=false)
- Islam, A. K. M. S., Edwards, D. G., & Asher, C. J. (1980). pH optima for crop growth. *Plant and Soil*, 54(3), 339–357. <http://doi.org/10.1007/BF02181830>
- IslamD, A. K. M. S., EdwardsC., D. G., & Asher, J. (1980). pH optima for crop growth. Results of a flowing solution culture experiment with six species.
- Jones, A. T., & Finley, W. (2003). Recent development in salinity gradient power. In *Oceans 2003. Celebrating the Past ... Teaming Toward the Future (IEEE Cat. No.03CH37492)* (p. 2284–2287 Vol.4). IEEE. <http://doi.org/10.1109/OCEANS.2003.178265>
- Kabourakis, E. (1996). Prototyping and dissemination of ecological olive production systems: a methodology for designing and a first step towards validation and dissemination of prototype ecological olive production systems(EOPS) in Crete. *Landbouwniversiteit Wageningen*.
- Kassa, H., Gibbon, D., Hult, E. A., Sodarak, H., Salih, M., & Ramasoota, J. (2002). The Evolution of Rural Livelihood Systems, Including Options on Organic Farming: A Case Study from the Messara Plain of Crete. *Agricultural Economics Review*.
- Katerji, N., Van Hoorn, J. W., Hamdy, A., & Mastrorilli, M. (2000). Salt tolerance classification of crops according to soil salinity and to water stress day index. *Agricultural Water Management*, 43(1), 99–109. [http://doi.org/10.1016/S0378-3774\(99\)00048-7](http://doi.org/10.1016/S0378-3774(99)00048-7)
- Khan, M. S., Zaidi, A., & Ahmad, E. (2014). Mechanism of Phosphate Solubilization and Physiological Functions of Phosphate-Solubilizing Microorganisms. In *Phosphate*

- Solubilizing Microorganisms* (pp. 31–62). Cham: Springer International Publishing.
http://doi.org/10.1007/978-3-319-08216-5_2
- Khan, M. S., Zaidi, A., Wani, P. A., Ahemad, M., & Oves, M. (2009). Functional Diversity Among Plant Growth-Promoting Rhizobacteria: Current Status. In *Microbial Strategies for Crop Improvement* (pp. 105–132). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
http://doi.org/10.1007/978-3-642-01979-1_6
- Kjeldahl, J. (1883). Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen. *Journal of Analytical Chemistry*, 366–382. <http://doi.org/10.1007/BF01338151>
- Koorevaar, P., Menelik, G., & Dirksen, C. (1983). Elements of Soil Physics. *Elsevier, Amsterdam, The Netherlands*.
- Koutroulis, A. G., Tsanis, I. K., & Daliakopoulos, I. N. (2010). Seasonality of floods and their hydrometeorologic characteristics in the island of Crete. *Journal of Hydrology*, 394(1–2), 90–100. <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.04.025>
- Koutskoudis, D., & Tsanis, I. K. (2016). Effect of saline irrigation and fungus T.Harzianum on crop yield and fruit quality of greenhouse tomatoes. *Technical University of Crete, Greece*.
- Langan, S. J. (1999). *The Impact of Nitrogen Deposition on Natural and Semi-Natural Ecosystems*. (S. J. Langan, Ed.) (Vol. 3). Dordrecht: Springer Netherlands.
<http://doi.org/10.1007/978-94-017-3356-4>
- LEDDRA Project. (2013). Land and ecosystem degradation and desertification. Land and ecosystem degradation and desertification.
- Leonardi, C., & De Pascale, S. (2010). Greenhouse production systems in Mediterranean area.
- Li, J.-H., Sagi, M., Gale, J., Volokita, M., & Novoplansky, A. (1999). Response of tomato plants to saline water as affected by carbon dioxide supplementation. I. Growth, yield and fruit quality. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 74(2), 232–237. <http://doi.org/10.1080/14620316.1999.11511100>
- Li, R.-X., Cai, F., Pang, G., Shen, Q.-R., Li, R., & Chen, W. (2015). Solubilisation of Phosphate and Micronutrients by Trichoderma harzianum and Its Relationship with the Promotion of Tomato Plant Growth. *PLOS ONE*, 10(6), e0130081. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0130081>
- Lincoln, Z., Dukes, M. D., & Barreto, T. P. (2010). Interpretation of Soil Moisture Content to Determine Soil Field Capacity and Avoid Over Irrigation in Sandy Soils Using Soil Moisture Measurements. *UF/IFAS Agricultural and Biological Engineering Department*.
- Liu, X. J., Ju, X. T., & Zhang, F. S. (2001). Effect of basal application of urea on inorganic nitrogen in soil profile. *Journal of China Agricultural University*, 6((5)), 63–68.
- Lorito, M., Woo, S., Harman, G., & Monte, E. (2010). Translational research on

- Trichoderma: from ‘omics to the field. *Annual Review of Phytopathology*, 48: 395–417.
- Maas, E. V., Grattan, S. R., Skaggs, R. W., & Schilfgaarde, V. J. (1999). Crop yields as affected by salinity, in: *Agricultural Drainage. American Society of Agronomy*, 55–108.
- Maggio, A., De Pascale, S., Angelino, G., Ruggiero, C., & Barbieri, G. (2004). Physiological response of tomato to saline irrigation in long-term salinized soils. *European Journal of Agronomy*, 21(2), 149–159. [http://doi.org/10.1016/S1161-0301\(03\)00092-3](http://doi.org/10.1016/S1161-0301(03)00092-3)
- Mass, E. ., & Hoffman, G. . (1977). Mass and Hoffman 1977.pdf, (Crop salt tolerance).
- Mastour, F., Bjorkman, T., & Harman, G. (2010). Seed treatments with *Trichoderma harzianum* alleviate biotic, abiotic and physiological stresses in germinating seeds and seedlings. *Phytopathology*, 100: 1213–1221.
- Mateo-Sagasta, J., & Burke, J. (2011). Agriculture and water quality interactions: a global overview. *SOLAW Background Thematic Report*.
- Matichenkov, V., & Kosobrukhov, A. (2004). Si effect on the plant resistance to salt toxicity. *ISCO 13*.
- Mavi, M. S., Marschner, P., Chittleborough, D. J., Cox, J. W., & Sanderman, J. (2012). Salinity and sodicity affect soil respiration and dissolved organic matter dynamics differentially in soils varying in texture. *Soil Biology and Biochemistry*, 45, 8–13. <http://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.10.003>
- McKenzie, N., Jacquier, D., Isbell, F., & Brown, K. (2004). Australian Soils and Landscapes An Illustrated Compendium. *CSIRO*.
- Minhas, P., & Tyagi, N. (1998). Guidelines for irrigation with saline and alkali waters. *CSSRI*, 36.
- Morard, P., Lacoste, L., & Silvestre, J. (2000). Effect of oxygen deficiency on uptake of water and mineral nutrients by tomato plants in soilless culture. *Journal of Plant Nutrition*, 23(8), 1063–1078. <http://doi.org/10.1080/01904160009382082>
- Mugnozza, G. S., Picuno, P., & Russo, G. (1992). The use of innovative plastic films for greenhouse coverings in Mediterranean countries. *Proceedings of the International Conference on Agricultural Engineering, AgEng, Uppsala (Svezia)*, (1–4), 553–554.
- Olsen, A. (1954). The Biology, Migration, and Growth Rate of the School Shark, *Galeorhinus australis* (Macleay) (Carcharhanidae) in the South-eastern Australian Waters. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 353–410.
- Oster, J., & Schroer, F. (1979). In filtration as influenced by irrigation water quality. *Soil Sci Soc Am J* 43, 444–447.
- Panagea, I. S., Daliakopoulos, I. N., Tsanis, I. K., & Schwilch, G. (2016). Evaluation of Promising Technologies for Soil Salinity Amelioration in Timpaki (Crete): a Participatory Approach.
- Paritsis, S. N. (2005). Simulation of seawater intrusion into the Tymbaki aquifer, South

central Crete, Greece.

- Power, J. F., & Schepers, J. S. (1989). Nitrate contamination of groundwater in North America. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 26(3–4), 165–187. [http://doi.org/10.1016/0167-8809\(89\)90012-1](http://doi.org/10.1016/0167-8809(89)90012-1)
- Prager, K., Schuler, J., Helming, K., Zander, P., Ratering, T., & Hagedorn, K. (2011). Soil degradation, farming practices, institutions and policy responses: An analytical framework. *Land Degradation and Development*, 22(1), 32–46. <http://doi.org/10.1002/ldr.979>
- Qadir, M., Ghafoor, A., & Murtaza, G. (2000). Amelioration strategies for saline soils: A review. *Land Degradation and Development*, 11(6), 501–521. [http://doi.org/10.1002/1099-145X\(200011/12\)11:6<501::AID-LDR405>3.0.CO;2-S](http://doi.org/10.1002/1099-145X(200011/12)11:6<501::AID-LDR405>3.0.CO;2-S)
- Qian, S. S., Pan, Y., & King, R. S. (2004). Soil total phosphorus threshold in the Everglades: A Bayesian changepoint analysis for multinomial response data. *Ecological Indicators*, 4(1), 29–37. <http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2003.11.005>
- Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.*, 239–250.
- Munns, R. (2005). Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytol.*, 645–663.
- Ren, T., Christie, P., Wang, J., Chen, Q., & Zhang, F. (2010). Root zone soil nitrogen management to maintain high tomato yields and minimum nitrogen losses to the environment. *Scientia Horticulturae*, 125(1), 25–33. <http://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.02.014>
- Rengasamy, P. (2006). World salinization with emphasis on Australia. *Journal of Experimental Botany*, 57(5), 1017–1023. <http://doi.org/10.1093/jxb/erj108>
- Richards, L. . (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *Soil Science* 78.
- Rietz, D. N., & Haynes, R. J. (2003). Effects of irrigation-induced salinity and sodicity on soil microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry*, 35(6), 845–854. [http://doi.org/10.1016/S0038-0717\(03\)00125-1](http://doi.org/10.1016/S0038-0717(03)00125-1)
- Romero-Aranda, R., Soria, T., & Cuartero, J. (2001). Tomato plant-water uptake and plant-water relationships under saline growth conditions. *Plant Science*, 160(2), 265–272. [http://doi.org/10.1016/S0168-9452\(00\)00388-5](http://doi.org/10.1016/S0168-9452(00)00388-5)
- Rose, C. W., Stern, W. R., & Drummond, J. E. (1965). Determination of hydraulic conductivity as a function of depth and water content for soil in-situ. *Aust. J. Soil Res.*, 3: 1-19.
- Saranga, Y., Zamir, D., Marani, A., & Rudich, J. . (1991). Breeding tomatoes for salt tolerance: field evaluation of Lycopersicon germplasm for yield and dry matter production. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 116: 1067–1071.
- Sargent, S. A., & Moretti, C. L. (2004). Tomato. In, USDA, ARS The Commercial Storage of

- Fruits, Vegetables, and Florist & Nursery Crops. Agriculture Handbook Number 66. *Beltsville Agricultural Research Center*.
- Searle, P. L. (1984). The berthelot or indophenol reaction and its use in the analytical chemistry of nitrogen. A review. *The Analyst*, 109(5), 549. <http://doi.org/10.1039/an9840900549>
- Seelig, B. D. (2000). Salinity and Sodicity IN NORTH DAKOTA SOILS. *North Dakota State University Extension*, (May), 1–16.
- Sharpley, A. N., Meisinger, J. J., Power, J. F., & Suarez, D. L. (1992). Root Extraction of Nutrients Associated with Long-Term Soil Management (pp. 151–217). http://doi.org/10.1007/978-1-4612-2894-3_6
- Shoresh, M., Mastouri, F., & Harman, G. (2010). Induced systemic resistance and plant responses to fungal biocontrol agents. *Annual Review of Phytopathology*, 48: 21–43.
- Singh, K. (2015). Microbial and Enzyme Activities of Saline and Sodic Soils. *Land Degradation & Development*, 27(3), 706–718. <http://doi.org/10.1002/ldr.2385>
- Six, J., Paustian, K., Elliott, E. T., & Combrink, C. (2000). Soil Structure and Organic Matter. *Soil Science Society of America Journal*, 64(2), 681. <http://doi.org/10.2136/sssaj2000.642681x>
- Sparks, D. L. (2003). Environmental soil chemistry. *Academic Press*.
- Spectrum. (2016). Retrieved November 16, 2016, from http://www.spectrumanalytic.com/support/library/ff/P_Basics.htm
- Spyridaki, E. (2008). Preliminary study on the causes of death in areas Timpaki Messara (P. Heraclion) and Anogia Mylopotamos (P.Rethimno) in the period 1980-2006. *Technical University of Crete, Greece*.
- Stobbelaar, D. J., Kuiper, J., Van Mansvelt, J. D., & Kabourakis, E. (2000). Landscape quality on organic farms in the Messara valley, Crete Organic farms as components in the landscape. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 77(1–2), 79–93. [http://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00094-8](http://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00094-8)
- Sumner, M. E., Naidu, R., & Rengasamy, P. (1995). Sodic soils: new perspectives. In: Naidu, R., Sumner, M.E., Rengasamy, P. (Eds.), *Australian Sodic Soils: Distribution, Properties and Management*. *CSIRO*.
- Thanopoulos, R., Samaras, S., Ganitis, K., Gatzelaki, C., Kotaki, E., Psara, E., ... Mpempeli, P. (2008). Local varieties of cultivated species in Crete emphasizing on vegetables, A potential for multiple use. *Agriculture - Livestock*.
- Tsakiridi, C. (2010). Environmental assessment of the pepper cultivation, cultivation techniques in comparison with the method of life cycle analysis. *Harokopio University*.
- Tsanis, I., & Daliakopoulos, I. (2015). WP 3: State of Degradation & Conservation in the RECARE Case Study Sites D3.1: Case Study descriptions. *RECARE Project*.

- Tsanis, I. K., & Apostolaki, M. G. (2008). Estimating groundwater withdrawal in poorly gauged agricultural basins. *Water Resources Management*, 23(6), 1097–1123. <http://doi.org/10.1007/s11269-008-9317-x>
- Vafidis, A., Andronikidis, N., Hamdan, H., Kritikakis, G., Economou, N., Panagopoulos, G., ... Steiakakis, E Manoutsoglou, E. (2013). The Clearwater Project: Preliminary Results from the Geophysical Survey in Tympaki, Crete, Greece. *Bulletin of the Geological Society of Greece* 47.
- Van Beek, C. L., & Tóth, G. (2012). Risk Assessment Methodologies of Soil Threats in Europe. JRC Scientific and Policy Reports EUR 24097.
- Vardavas, I. M., Papamastorakis, J., Fountoulakis, A., & Manousakis, M. (1997). Water resources in the desertification-threatened Messara Valley of Crete: Estimation of potential lake evaporation. *Ecological Modelling*, 102(2–3), 363–374. [http://doi.org/10.1016/S0304-3800\(97\)00070-7](http://doi.org/10.1016/S0304-3800(97)00070-7)
- Verbruggen, N., & Hermans, C. (2013). Physiological and molecular responses to magnesium nutritional imbalance in plants. *Plant Soil*, 87–99.
- Wagner, K., & Tsanis, I. . (2016). Installation of experimental greenhouse tomato crop and assessment of the effect of symbiotic fungus *T. harzianum* under salinity. *Technical University of Crete, Greece*.
- Wang, Y., Zhang, X., & Huang, C. (2009). Spatial variability of soil total nitrogen and soil total phosphorus under different land uses in a small watershed on the Loess Plateau, China. *Geoderma*, 150(1–2), 141–149. <http://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.01.021>
- Watanabe, F. S., & Olsen, S. R. (1965). Test of an Ascorbic Acid Method for Determining Phosphorus in Water and NaHCO₃ Extracts from Soil1. *Soil Science Society of America Journal*, 29(6), 677. <http://doi.org/10.2136/sssaj1965.03615995002900060025x>
- Westerman, R. L., & Tucker, T. C. (1974). Effect of salts and salts plus nitrogen-15-labelled ammonium chloride on mineralization of soil nitrogen, nitrification and immobilization. *Soil Science Society of America Proceedings*, 38, 602–605.
- Wong, V. N. L., Dalal, R. C., & Greene, R. S. B. (2008). Salinity and sodicity effects on respiration and microbial biomass of soil. *Biology and Fertility of Soils*, 44(7), 943–953. <http://doi.org/10.1007/s00374-008-0279-1>
- Wong, V. N. L., Greene, R. S. B., Dalal, R. C., & Murphy, B. W. (2010). Soil carbon dynamics in saline and sodic soils: A review. *Soil Use and Management*, 26(1), 2–11. <http://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2009.00251.x>
- Zhang, Y.-C., Li, R.-N., Wang, L.-Y., Zhai, C.-X., Chen, L.-L., Wu, X.-P., ... Li, Y.-K. (2010). Threshold of Soil Olsen-P in Greenhouses for Tomatoes and Cucumbers. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 41(20), 2383–2402. <http://doi.org/10.1080/00103624.2010.511371>

- Zhao, L., & Zhang, Y. (2015). Effects of phosphate solubilization and phytohormone production of *Trichoderma asperellum* Q1 on promoting cucumber growth under salt stress. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(8), 1588–1597.
- A.Κατσογιάννη. (2010). Μεταπτυχιακή Μελέτη «Μεταβολή φυσιολογικών, μηχανικών και λοιπών ποιοτικών χαρακτηριστικών συντηρούμενης τομάτας βιολογικής καλλιέργειας.