

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

**ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΕΛΑΦΟΥΣ ΜΕ
ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Του φοιτητή

ΜΑΚΑΡΟΓΛΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

A.M: 2013050084

Επιβλέπων Καθηγητής: Ιωάννης Κ. Τσάνης

Μέλη επιτροπής: Καθηγητής Κωνσταντίνος Β. Χρυσικόπουλος

Ιωάννης Ν. Δαλιακόπουλος

Χανιά, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2018

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή, Δρ. Ιωάννη Τσάνη για την καθοδήγηση και την υποστήριξη, καθώς και για την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Ιωάννη Δαλιακόπουλο του Εργαστήριου Διαχείρισης Υδάτινων Πόρων και Παράκτιας Μηχανικής για τη βοήθεια που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια της διπλωματικής εργασίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη του Εργαστήριου Διαχείρισης Υδάτινων Πόρων και Παράκτιας Μηχανικής, Αντώνιο Αποστολάκη, Δρ. Εμμανουήλ Γρυλλάκη, Δρ. Αριστείδη Κουτρούλη.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη του Εργαστήριου Υδρογεωχημικής Μηχανικής και Αποκατάστασης Εδαφών, Στέλλα Βουτσαδάκη και Maria-Liliana Saru για τη συμβολή τους στην ανάλυση των δειγμάτων.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω του γονείς μου και τον αδελφό μου για την αγάπη και την υποστήριξη τους κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Περίληψη

Η περιοχή στο Τυμπάκι του Ηρακλείου Κρήτης υπόκειται σε υφαλμύρωση του υπόγειου υδροφορέα, λόγω της αυξημένης άντλησης νερού άρδευσης. Ως αποτέλεσμα, τα θαλάσσια ύδατα εισχωρούν στον υπόγειο υδροφορέα και με την άρδευση μειώνουν σημαντικά την ποιότητα των εδαφών. Έτσι, προκύπτουν αρνητικές επιπτώσεις στις φυτικές καλλιέργειες, οι οποίες έχουν υψηλό οικονομικό κόστος στους αγρότες. Γι' αυτό το λόγο, διεξάχθηκε ένα θερμοκηπιακό πείραμα στην περιοχή του Πολυτεχνείου Κρήτης, με σκοπό τον εντοπισμό βέλτιστων καλλιεργητικών τεχνικών. Κατά τη διάρκεια του πειράματος, έλαβε μέρος ανάλυση του νατρίου στα φύλλα, στο έδαφος και στα στραγγίσματα φυτών τομάτας, καθώς επίσης και στις χημικές ιδιότητες του εδάφους, όπως ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους (EC_e), λόγος προσρόφησης νατρίου (SAR), pH, ολικό άζωτο (TN), αμμωνιακό και νιτρικό άζωτο ($N-NH_4^+$, $N-NO_3^-$), ολικός φωσφόρος (TP) και ολικός οργανικός άνθρακας (TOC). Πραγματοποιήθηκαν οκτώ μεταχειρίσεις, με πέντε φυτά ανά μεταχείριση του φυτού τομάτας *Solanum lycopersicum* L. (εμπορική ονομασία: Ελπίδα F1), με νερό άρδευσης ηλεκτρικής αγωγιμότητας $EC_{Low}=0.45 \pm 0.05 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, $EC_{Medium}=2.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, και $EC_{High}=3.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Οι μεταχειρίσεις μέτριας αλατότητας περιείχαν υποβαθμισμένο έδαφος, ενώ οι υψηλής αλατότητας φρέσκο. Για την αντιμετώπιση της αλατότητας χρησιμοποιήθηκαν ως βιολογικές μέθοδοι, ο ωφέλιμος μύκητας *T. harzianum* και ένα εμπορικό σκεύασμα χουμικού οξέος. Από τις οκτώ μεταχειρίσεις, οι δύο λειτουργούσαν ως πρότυπα, ενώ τόσο στο φρέσκο όσο και στο υποβαθμισμένο έδαφος, η πρώτη μεταχείριση είχε επιπλέον το μύκητα *T. harzianum* και η δεύτερη το χουμικό οξύ. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα συμπεραίνεται ότι στις χημικές ιδιότητες του εδάφους, καμία από τις βιολογικές τεχνικές δεν ξεχώρισε, σε σχέση με τις μεταχειρίσεις που δεν εφαρμόστηκε ο *T. harzianum* ή το χουμικό οξύ. Όμως, όσον αφορά το νάτριο στον ιστό του φυτού, το *T. harzianum* συνέβαλε στην καλύτερη παρεμπόδιση του από τα φύλλα του φυτού, τόσο στην περίπτωση του υποβαθμισμένου, όσο και στο φρέσκου εδάφους.

Abstract

The area in Tympaki, Heraklion, Crete, is subject to salinization of the aquifer due to the increased groundwater pumping for irrigation. As a result, there is seawater intrusion and the resulting salinity of the irrigation water reduces soil quality. The subsequent negative impact on crops has a high financial cost to local farmers. For this reason, a greenhouse experiment was conducted in the area of the Technical University of Crete, in order to find optimal cultivation methods that could alleviate salt stress from crops. During the experiment, analyses of sodium in leaves, in soil and leachate from the tomato plants substrate took place. Also, analyses of chemical soil properties such as electrical conductivity of soil (EC_e), Sodium Absorption Ratio (SAR), pH, total nitrogen (TN), ammonium and nitrate nitrogen ($N-NH_4^+$, $N-NO_3^-$), total phosphorus (TP) and total organic carbon (TOC) took place. Eight treatments were applied, with five plants per treatment of the tomato plant *Solanum lycopersicum* L. (tradename: Elpida F1). The plants were watered with water of electrical conductivity $EC_{Low} = 0.45 \pm 0.05 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$, $EC_{Medium} = 2.0 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$, and $EC_{High} = 3.5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$. Treatments of medium salinity contained degraded soil, while treatments with high salinity, contained fresh soil. For the treatment of salinity, the beneficial fungus *T. Harzianum* and a commercial humic acid amendment were used as biological methods to alleviate salt stress. From the eight treatments, the two worked as guard rows, while in both fresh and degraded soil, the one was treated with *T. harzianum* and a second with the humic acid amendment. According to the results, we conclude that regarding soil chemical properties, none of the biological techniques were better than the treatments without biological methods. However, with respect to sodium in the tissue of the plant, *T. harzianum* contributed to better inhibition of sodium in plant leaves, both in the case of degraded and fresh soil.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	iii
Περίληψη.....	iv
Abstract.....	v
Περιεχόμενα.....	vi
1 Εισαγωγή	1
1.1 Αλατότητα εδάφους.....	1
1.2 Εδαφική γονιμότητα και όρια αλατότητας	2
1.3 Εδαφοβελτιωτικά και αλάτωση	3
1.3.1 Τριχόδερμα	4
1.3.2 Χουμικό οξύ.....	5
1.4 Το φυτό της τομάτας.....	5
1.4.1 Φυτό τομάτας και αλατότητα.....	7
1.5 Καλλιέργεια σε θερμοκήπιο	8
1.6 Νάτριο στον Ιστό του Φυτού της Τομάτας.....	9
1.7 Σκοπός της διπλωματικής	13
2 Μεθοδολογία	14
2.1 Χημικές ιδιότητες εδάφους.....	14
2.1.1 Ολικός Φωσφόρος (Total Phosphorus).....	14
2.1.2 Διαθέσιμος φωσφόρος (Available Phosphorus)	14
2.1.3 Ολικός οργανικός άνθρακας (Total Organic Carbon)	15
2.1.4 Ολικό άζωτο (Total Nitrogen)	15
2.1.5 Ολικό άζωτο κατά Kjeldahl (Total Kjeldahl Nitrogen)	15
2.1.6 Αμμωνιακό άζωτο και άζωτο υπό μορφή νιτρικών	16
2.1.7 Συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου (pH).....	17
2.1.8 Ηλεκτρική αγωγιμότητα εδάφους.....	17
2.1.9 Στοιχειακή ανάλυση μετάλλων εδάφους	18
2.1.10 Λόγος Προσρόφησης Νατρίου (SAR).....	18
2.2 Μέση τιμή και τυπικό σφάλμα	19

3	Περιοχή μελέτης	21
3.1	Γεωγραφική περιγραφή	21
3.2	Μετεωρολογικά δεδομένα	21
3.3	Υδρογεωλογικά στοιχεία της περιοχής.....	23
3.4	Χρήσεις γης	24
3.5	Πειραματικό Μέρος.....	26
3.5.1	Εργασίες συντήρησης των φυτών.....	29
3.5.2	Δειγματοληψία.....	30
3.5.3	Συλλογή καρπών.....	31
3.5.4	Εργαστηριακός Εξοπλισμός	31
4	Αποτελέσματα	33
4.1	Ολικός φωσφόρος (TP).....	33
4.2	Διαθέσιμος φωσφόρος (Olsen-P).....	33
4.3	Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC)	35
4.4	Ολικό άζωτο (TN) και ολικό άζωτο κατά Kjeldhal (TKN)	35
4.5	Άζωτο υπό μορφή αμμωνιακών (N-NH_4^+) και άζωτο υπό μορφή νιτρικών (N-NO_3^-)	37
4.6	Συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου (pH).....	39
4.7	Ηλεκτρική Αγωγιμότητα Εδάφους	40
4.8	Λόγος Προσρόφησης Νατρίου (SAR).....	41
4.9	Ισοζύγιο Na στο έδαφος, στα φύλλα και στα στραγγίσματα	42
5	Συμπεράσματα	45
6	Βιβλιογραφία	47

1 Εισαγωγή

1.1 Αλατότητα εδάφους

Το έδαφος είναι ένα από τους πιο σημαντικούς φυσικούς πόρους, διότι ελέγχει τους βιογεωχημικούς και υδρολογικούς κύκλους της γης και παρέχει αγαθά και υπηρεσίες σημαντικά για τη διατήρηση της ζωής και της ευημερίας (Berendse et al., 2015; Brevik et al., 2015; Keesstra et al., 2012). Τα αλατωμένα, αλκαλιωμένα και αλκαλικά εδάφη, που γενικώς αναφέρονται ως αλατωμένα εδάφη (Van Beek and Tóth, 2012) είναι μια σοβαρή απειλή υποβάθμισης που θέτει σε κίνδυνο την αγροτική παραγωγή, την περιβαλλοντική υγεία και την οικονομική ευημερία (Rengasamy, 2006). Η αλατότητα είναι ένα από τα πιο σημαντικά είδη περιβαλλοντικού στρες. Πάνω από το 20% της αρδευόμενης γης επηρεάζεται από την αλατότητα (Rozema and Flowers, 2008) και παρότι οι άνυδρες και ημιάνυδρες ζώνες υπόκεινται περισσότερο σε αυτό το φαινόμενο, η αλατότητα επηρεάζει όλο και περισσότερο τα λιγότερο ακραία περιβάλλοντα, όπου εφαρμόζεται άρδευση (Tanji, 2002).

Οι επιπτώσεις της αλατότητας στις καλλιέργειες συνδέονται κυρίως με το ωσμωτικό στρες που προκαλείται από τις υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων στο ριζικό σύστημα, αλλά και για άλλους λόγους, όπως η τοξικότητα των ιόντων (π.χ. Na^+ και Cl^-) και η έλλειψη ισορροπίας ιόντων, όπως K^+ , Ca^{2+} , SO_4^{2-} και NO_3^- στα κύτταρα των φυτών (Giuffrida et al., 2009). Οι παραπάνω επιπτώσεις οδηγούν σε αρκετές φυσιολογικές και βιοχημικές αλλαγές που εμποδίζουν την ανάπτυξη των φυτών και την παραγωγή καρπών (Bolarín et al., 1991). Ακόμα και αν το χώμα περιέχει επαρκή ποσότητα ύδατος, το ριζικό σύστημα των φυτών δε μπορεί να το προσλάβει, λόγω της δυσμενούς ωσμωτικής πίεσης. Τα φυτά είναι πιο επιρρεπή στην αλατότητα κατά τα πρώιμα στάδια της ανάπτυξης (Sonon et al., 2015). Επίσης, κάτω από συνθήκες υψηλής αλατότητας, η ανάπτυξη των φυτών μειώνεται σημαντικά, εξαιτίας του περιορισμού της ανάπτυξης των φύλλων και της μείωσης της φωτοσύνθεσης, λόγω του κλεισίματος των στομάτων στα φύλλα (Khelil et al., 2007).

Η αλατότητα του εδάφους μπορεί να προκύψει διαμέσου φυσικών διεργασιών, όπως η αυξημένη εξατμισοδιαπνοή (κύρια αλάτωση) και/ή που προκαλείται από ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως η αυξημένη άντληση από τους υδροφορείς (δευτερεύουσα αλάτωση) (Pereira et al., 2015). Σε παγκόσμιο επίπεδο, η αλάτωση επηρεάζει περίπου 20 – 30 εκατομμύρια εκτάρια στο σύνολο των 260 εκατομμυρίων εκταρίων που αρδεύονται (FAO, 2000). Επιπρόσθετα, οι αλατωμένες περιοχές αυξάνονται με ρυθμό 10% ετησίως για ποικίλους λόγους, που περιλαμβάνουν τη χαμηλή βροχόπτωση, την υψηλή εξάτμιση από την επιφάνεια του εδάφους, τη διάβρωση των μητρικών πετρωμάτων, την άρδευση με υφάλμυρο νερό και κακές εφαρμογές καλλιέργειας (Schiattone et al., 2017). Εκτιμάται ότι περισσότερο από 50%

καλλιεργήσιμης γης θα υποστεί αλάτωση μέχρι το 2050 (Jamil et al., 2011). Στην περιοχή της Μεσογείου, το 25% της αρδευόμενης γεωργικής γης επηρεάζεται από ένα σημαντικό επίπεδο αλάτωσης που οδηγεί σε υποβάθμιση του εδάφους (Geeson et al., 2003; Mateo-Sagasta and Burke, 2011; Panagea et al., 2016). Η παροχή νερού στην Ελλάδα προέρχεται σε μεγάλο βαθμό από πηγές υπόγειων υδάτων και περίπου το 9% των 1.4 Mha αρδευόμενης γης επηρεάζεται από την αλάτωση του εδάφους, λόγω της διείσδυσης θαλασσινού νερού (Diaz et al., 2003; OECD, 2009; Panagea et al., 2016). Στην Εικόνα 1 παρατηρείται η εισχώρηση του θαλασσινού νερού στις παραθαλάσσιες περιοχές της Ελλάδας.



Εικόνα 1: Χάρτης παράκτιων περιοχών που έχουν υποστεί εισχώρηση του θαλασσινού νερού (<http://www.geo.auth.gr/>, 2017).

1.2 Εδαφική γονιμότητα και όρια αλατότητας

Οι εκτενείς γεωργικές καλλιέργειες έχουν αυξήσει την παραγωγή καρπών, αλλά επίσης προκαλούν σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα. Για να αναπτυχθούν τα φυτά, πρέπει να λάβουν από το έδαφος κατάλληλες συνθήκες για την ανάπτυξη των ριζών και επαρκή παροχή νερού και θρεπτικών συστατικών για την πρόσληψή τους από τις ρίζες (IFOAM, 2018). Ιδανικά, μια αειφορική καλλιέργεια θα παράγει καλή ποιότητα καρπών με ελάχιστο αντίκτυπο σε οικολογικούς παράγοντες, όπως η γονιμότητα του εδάφους. Όταν το έδαφος είναι γόνιμο, παρέχει ουσιώδεις θρεπτικά συστατικά για την ανάπτυξη των φυτών και ενισχύεται η δομή του (Mäder et al., 2002). Τα γόνιμα εδάφη περιέχουν όλα τα κύρια συστατικά για τη βασική διατροφή των φυτών, όπως ο άνθρακας, το υδρογόνο, το οξυγόνο, το άζωτο, ο φωσφόρος, το κάλιο, το θείο, το ασβέστιο, το μαγνήσιο, ο σίδηρος, το βόριο, το μαγγάνιο, ο χαλκός, ο ψευδάργυρος, το μολυβδαίνιο, το νικέλιο και το χλώριο (Brady and Weil, 2008; USDA, 1957). Με την εξαίρεση του άνθρακα, του υδρογόνου και του οξυγόνου, τα οποία λαμβάνονται από

το διοξείδιο του άνθρακα, το νερό και το άζωτο που παρέχεται από τη δέσμευση του αζώτου, τα θρεπτικά συστατικά προκύπτουν από τα ανόργανα συστατικά του εδάφους (Brady and Weil, 2008).

Λόγω της αλατότητας, η γονιμότητα του εδάφους επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες. Σε όξινο pH, τα πλεονάζοντα ιόντα υδρογόνου παρεμβαίνουν με τη μεταφορά των ιόντων και προκαλούν τη διαρροή ύδατος από τις μεμβράνες των ριζών. Κατά συνέπεια, οι ρίζες χάνουν τα κατιόντα που έχουν απορροφήσει, καθώς και οργανικές ουσίες (σάκχαρα, αμινοξέα) και η παρατεταμένη έκθεση σε χαμηλό pH μπορεί να μειώσει τις ικανότητές τους για την πρόσληψη των θρεπτικών (Foy, 1992). Τα όρια αλατότητας καθορίζονται, σύμφωνα με την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους (EC_e). Στις καλλιέργειες ινωδών και σιτηρών, η EC_e έχει τιμές από 0.4 έως 11.4 $dS \cdot m^{-1}$, ενώ στα λαχανικά και στα οπωροφόρα, στα οποία συμπεριλαμβάνεται και το φυτό της τομάτας, το εύρος είναι από 1.0 έως και 6.3 $dS \cdot m^{-1}$. Στα ξυλώδη φυτά, είναι από 1.2 έως 8.7 $dS \cdot m^{-1}$ (FAO, 1999). Επίσης, τα όρια αλατότητας καθορίζονται ανάλογα με τον τύπο του εδάφους, για τις διάφορες τιμές των EC_e , SAR και pH (Πίνακας 1). Τα αλατούχα εδάφη περιέχουν υψηλή συγκέντρωση ελεύθερων διαλυτών αλάτων, μειώνοντας έτσι τη διαθεσιμότητα του νερού στα φυτά, και προκαλώντας συμπτώματα παρόμοια με αυτά της ξηρασίας. Αντιθέτως, τα αλκαλιωμένα (ή νατριωμένα) εδάφη έχουν περίσσια σε ιόντα Na^+ , με αποτέλεσμα την υποβάθμιση των φυσικών και χημικών χαρακτηριστικών του εδάφους και την τοξική επίδραση στην ανάπτυξη των φυτών (Franzen et al., 2014).

Πίνακας 1: Τιμές των EC_e , SAR, και pH ανά τύπο εδάφους (Richards, 1954; Van Beek and Tóth, 2012).

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 – Νατριωμένο)	≥ 4	≥ 13	>8.5

1.3 Εδαφοβελτιωτικά και αλάτωση

Οι προσπάθειες για τη μείωση της αλατότητας με μηχανικά μέσα, όπως άρδευση, αποστράγγιση και αποκατάσταση δεν είναι εύκολα πρακτικές ή οικονομικές. Έτσι, συχνά χρησιμοποιούνται εδαφοβελτιωτικά, τα οποία βελτιώνουν τη δομή και τη γονιμότητα του εδάφους. Για τη μείωση της αλάτωσης και την αποφυγή καταστροφών στις καλλιέργειες έχουν υιοθετηθεί ορισμένες τεχνικές καλλιέργειας, προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί το οικονομικό κόστος των ζημιών. Σε παλαιότερες μελέτες, για την καταπολέμηση της αλατότητας είχαν χρησιμοποιηθεί διάφορες μέθοδοι, όπως χημικό λίπασμα (γύψος, θειικό οξύ, κιτρικό οξύ, πολυβυνυλική αλκοόλη) (Adnan et al., 2014; Ahmad et al., 2013; Mahdy, 2011; Qadir et al.,

1996; Shahid et al., 2013), οργανικό λίπασμα (ποικίλα είδη άχυρων) (Shahid et al., 2013) και βιολογικό βελτιωτικό εδάφους (κομπόστ, σκόνη ανθρακίτη, υπολείμματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, ιλύς υπονόμων, επικάρπιο και μεσοκάρπιο αμυγδάλων, κοπριά σε συνδυασμό με χουμικό οξύ, συνδυασμός γύψου με κοπριά και χουμικό οξύ και συνδυασμός κομπόστ και $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (Mahdy, 2011; Pedreño et al., 1996; Shaaban et al., 2013). Στη συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν δύο είδη εδαφοβελτιωτικών, ο μύκητας *Trichoderma harzianum* και το χουμικό οξύ ACTIV80GG. Στις υποενότητες 1.3.1 και 1.3.2 γίνεται περιγραφή των εδαφοβελτιωτικών αυτών.

1.3.1 Τριχόδερμα

Το *Trichoderma harzianum* (Εικόνα 2) είναι ένας ενδοφυτικός μύκητας, ο οποίος έχει συμβιωτικές σχέσεις με τις ρίζες των φυτών, στις άνυδρες περιοχές του κόσμου (Hashem et al., 2014; Shukla et al., 2012; Yasmeen and Siddiqui, 2018). Πειραματικά αποτελέσματα έχουν δείξει το *T. harzianum* μπορεί να μειώσει τις δυσμενείς επιπτώσεις της αλατότητας στην ανάπτυξη του φυτού, καθώς και ορισμένων μυκητιακών ασθενειών που επιδεινώνονται υπό συνθήκες αλατότητας (Rawat et al., 2013).



Εικόνα 2: *Trichoderma harzianum* (Indiamart.com, 2018).

Επίσης, το *T. harzianum* παράγει μια ποικιλία ενώσεων, οι οποίες προκαλούν αντιδράσεις ανοχής στους παράγοντες βιοτικού και αβιοτικού στρες (Khomari et al., 2017). Συμβάλει στην καλύτερη πρόσληψη του φωσφόρου, ο οποίος είναι θρεπτικός για την ανάπτυξη των φυτών και παρεμποδίζεται από την αλατότητα (De Jaeger et al., 2011). Σε αλατούχο περιβάλλον, τα υψηλότερα επίπεδα φωσφόρου μπορούν να βοηθήσουν στην ανοχή των φυτών στην αλατότητα (Fixen, 1992).

1.3.2 Χουμικό οξύ

Το χουμικό οξύ (Εικόνα 3) είναι ένα από τα κύρια συστατικά των οργανικών λιπασμάτων, το οποίο παράγεται από τη χημική και βιολογική αποσύνθεση οργανικού υλικού. Το χουμικό οξύ ενισχύει την ανάπτυξη και τη παραγωγή των φυτών και βελτιώνει τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του εδάφους, όπως τον αερισμό, τη διηθητικότητα, την ικανότητα συγκράτησης νερού, τη συσσωμάτωση, τη διαθεσιμότητα και τη μεταφορά των ιόντων μέσω της ρυθμιστικότητας του pH. Το χουμικό οξύ συμβάλει στην καταπολέμηση της αλατότητας με τη μείωση της υψηλής συγκέντρωσης του εδάφους σε αλάτι και ως εκ τούτου τις επακόλουθες συνέπειες. Η τοξικότητα της αμμωνίας στα λιπάσματα μειώνεται σημαντικά, το οποίο είναι σημαντικό, ιδιαίτερα στα νέα φυτά. Επίσης, συμβάλει στη μείωση της φθοράς των ριζών, το οποίο προκύπτει από την υψηλή αλατότητα του εδάφους. Επιπλέον, όταν αναμιγνύεται με υγρά λιπάσματα μειώνονται τυχόν ανεπιθύμητες οσμές (Verde et al. 2010). Το ACTIV80GG αποτελείται από κόκκους οργανικού χουμικού οξέος, με πάνω από 80% χουμικές ουσίες. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, την επίτευξη καλύτερης ανάπτυξης του ριζικού συστήματος των φυτών, την ανάπτυξη βιομάζας, την ενίσχυση της βιοδιαθεσιμότητας και της πρόσληψης των θρεπτικών ουσιών, τα οποία συμβάλλουν στην υψηλότερη παραγωγή και ποιότητα καρπών.



Εικόνα 3: Χουμικό οξύ (Beckerlandfarms.com, 2018).

1.4 Το φυτό της τομάτας

Η τομάτα (Εικόνα 4) ταξινομείται 1^η στον κόσμο, στην κατηγορία των λαχανικών, καθώς αντιστοιχεί στο 14% της παγκόσμιας παραγωγής λαχανικών (πάνω από 100 εκατομμύρια τόνους/έτος ή 1.6 δισεκατομμύρια \$ σε πωλήσεις) (Bauchet and Causse, 2012; FAO, 2010). Προέρχεται από τη δυτική Νότια Αμερική και η εξημέρωσή της πιστεύεται ότι προέκυψε στην

Κεντρική Αμερική. Εξαιτίας της σημασίας της ως φαγητό, η τομάτα έχει καλλιεργηθεί με σκοπό τη βελτίωση της παραγωγικότητας, της ποιότητας των καρπών και της αντίστασής της στους παράγοντες βιοτικού και αβιοτικού στρες (Kimura and Sinha, 2008).



Εικόνα 4: Το φυτό της τομάτας σε θερμοκηπιακή καλλιέργεια και ο καρπός του (Clark, 2017; Virvidaki, 2016).

Η τομάτα (*Solanum lycopersicum*) είναι φυτό της οικογένειας Solanaceae, η οποία καλλιεργείται εκτενώς για τους φάγσιμους καρπούς της. Χαρακτηρίζεται ως λαχανικό για διατροφικούς σκοπούς και οι τομάτες είναι καλή πηγή βιταμίνης C και του φωτοχημικού λυκοπενίου. Ο καρπός καταναλώνεται συνήθως ωμός, σε σαλάτες, σερβίρονται ως ψητά λαχανικά, χρησιμοποιούνται ως συστατικό σε διάφορα φαγητά και σε μορφή πίκλας. Επιπρόσθετα, ένα μεγάλο ποσοστό της παγκόσμιας παραγωγής χρησιμοποιείται για την κονσερβοποίηση τοματών, για την παραγωγή τοματοχυμών και αποξηραμένων τοματών.

Τα φυτά της τομάτας είναι γενικώς διακλαδισμένα, εκτείνοντας 60-180 cm. Τα φύλλα επικαλύπτονται με τρίχωμα, το οποίο αποδίδει τη χαρακτηριστική μυρωδιά του φυτού της τομάτας, έχουν πτυχώσεις και εκτείνονται έως 45 cm κατά μήκος. Τα άνθη αποτελούνται από πέντε πέταλα, είναι κίτρινα, 2 cm κατά μήκος, κρέμονται προς τα κάτω και σε ταξιανθίες. Τα φρούτα ποικίλουν σε διάμετρο από 1.5 έως 7.5 cm ή περισσότερο. Είναι συνήθως κόκκινα, κόκκινα ή κίτρινα, αν και υπάρχουν πράσινες και ποφυρές ποικιλίες και ποικίλουν σε σχήμα από σχεδόν σφαιρικό, σε οβάλ και επιμήκη σε σχήμα αχλαδιού. Κάθε καρπός περιέχει τουλάχιστον δύο κελιά μικρών σπόρων που περιβάλλονται από σάρκα. Το φυτό απαιτεί σχετικά ζεστό κλίμα και πολύ ηλιακό φως, αναπτύσσεται κυρίως σε θερμοκήπια, σε ψυχρότερα κλίματα. Οι ντομάτες συνήθως στοιβάζονται, δένονται ή τοποθετούνται σε κλουβιά για να κρατηθούν οι μίσχοι και τα φρούτα από το έδαφος και είναι απαραίτητο το συνεχές πότισμα για να αποφευχθεί η σήψη και η ρωγμή των καρπών. Τα φυτά είναι ευαίσθητα σε διάφορα παράσιτα και ασθένειες. Πολλά από αυτά τα προβλήματα μπορούν να ελεγχθούν με την εναλλαγή καλλιεργειών, τη χρήση μυκητοκτόνων και φυτοφαρμάκων και τη φύτευση ανθεκτικών ποικιλιών. Η μικροσκοπική τομάτα (*S. pimpinellifolium*) είναι ένα στενά

συνδεδεμένο είδος και έχει χρησιμοποιηθεί για να υβριδοποιηθούν αρκετές ποικιλίες τομάτας, με σκοπό την ανθεκτικότητα σε παρασιτοκτόνα και ασθένειες (Britannica, 2015).

1.4.1 Φυτό τομάτας και αλατότητα

Εκτός από τις αρνητικές επιδράσεις στο έδαφος, η αλατότητα έχει συνέπειες και στο φυτό της τομάτας. Η αλατότητα μειώνει τη βλάστηση των σπόρων και επιμηκύνει το χρόνο που χρειάζεται για τη βλάστηση (Ayers, 1952; Cuartero and Fernández-Muñoz, 1998). Η έκθεση των φυτών στο στρες του άλατος αρχίζει συνήθως με την έκθεση των ριζών σε αυτό το στρες. Το στρες οδηγεί σε αλλαγές στην ανάπτυξη, τη μορφολογία και τη φυσιολογία των ριζών που με τη σειρά του θα αλλάξει την πρόσληψη νερού και ιόντων και την παραγωγή σημάτων (ορμονών) που μπορούν να μεταδώσουν πληροφορίες στο βλαστό. Ολόκληρο το φυτό επηρεάζεται στη συνέχεια, όταν οι ρίζες αναπτύσσονται σε αλατωμένο περιβάλλον (Ayers, 1952).

Η αλατότητα επηρεάζει αρνητικά τη ριζική βιομάζα. Το ανώτατο όριο ανοχής, έπειτα από το οποίο μειώνεται το βάρος των ριζών της τομάτας, καθώς αυξάνεται η αλατότητα εκτιμήθηκε ότι είναι μεταξύ $4 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ έως $6 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ (Papadopoulos and Rendig, 1983). Η αλατότητα μπορεί να προκαλέσει ανεπάρκεια νερού στη ριζική ζώνη παρόμοια με αυτήν που προκαλείται από την ξηρασία. Έχει προταθεί ότι η ανάπτυξη των ριζών της τομάτας μπορεί να συνεχιστεί κατά τη διάρκεια περιόδων υδατικού στρες, επειδή οι επιδράσεις της υδατικής πίεσης εξουδετερώνονται με ωσμωτικές ρυθμίσεις, με σάκχαρα και αμινοξέα, όπως προλίνη και επίσης, με ανόργανα ιόντα όπως νιτρικό, φωσφορικό, νάτριο και κάλιο (Taylor, A.G., Motes, J.E., Kirkham, 1982).

Οι περισσότερες εμπορικές ποικιλίες τομάτας είναι ευαίσθητες σε μέτρια επίπεδα αλατότητας μέχρι $2.5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$, χωρίς σημαντική μείωση της παραγωγής (Singh et al., 2012). Η αύξηση της αλατότητας στο μέσο ανάπτυξης του φυτού οδήγησε τόσο σε φυσιολογικές αλλαγές, όπως φωτοσύνθεση, διαπνοή και κατάσταση νερού στο φυτό, συμπεριλαμβανομένης της ωσμωτικής προσαρμογής, όσο και σε μορφολογικές (Najla et al., 2008). Μείωσε την επιμήκυνση και την πάχυνση των στελεχών (Bartolini et al., 1991; Borochoy-Neori and Borochoy, 1991; Franco et al., 1993), μείωσε τη συνολική επιφάνεια των φύλλων (Εικόνα 5), το μέγεθος του φύλλου και το μέγιστο μήκος φύλλων (Maggio et al., 2004; Neves-Piestun and Bernstein, 2001; Romero-Aranda et al., 2006) και αύξησε το πάχος του φύλλου (Sanchez-Blanco et al., 1991). Οι ρυθμοί ανάπτυξης των φύλλων (Akinci et al., 2004; MUNNS, 1993), καθώς και ο απόλυτος και σχετικός ρυθμός ανάπτυξης των φυτών μειώνονται από την αλατότητα (Carneiro et al., 2004). Τα ξηρά βάρη των στελεχών και των φύλλων μειώνονται σε αλατώδεις συνθήκες (Cruz and Cuartero, 1990). Παρά τη μείωση του ξηρού βάρους των φυτών, οι (Ehret and Ho, 1986)

σημείωσαν ότι η αλατότητα δεν επηρεάζει την κανονική κατανομή της ξηράς ύλης μεταξύ φρούτων, βλαστών και ριζών.



Εικόνα 5: Τα συμπτώματα της αλατότητας που ανιχνεύονται στα φύλλα και στα άνθη του φυτού τομάτας (Sáenz et al., 2013).

1.5 Καλλιέργεια σε θερμοκήπιο

Η καλλιέργεια σε θερμοκήπια είναι ένας σταθερά αναπτυσσόμενος αγροτικός τομέας σε όλο τον κόσμο (Briassoulis et al., 1997; Stanhill and Enoch, 1999). Τα περισσότερα θερμοκήπια βρίσκονταν αρχικά στην κεντρική και βόρεια Ευρώπη, αποτελούνταν από κατασκευές υψηλού κόστους, καλυμμένες με γυαλί και με συστήματα κλιματισμού. Αυτή η κατάσταση έχει αλλάξει δραματικά τις τελευταίες δεκαετίες και σήμερα υπάρχουν εκτεταμένες περιοχές θερμοκηπίου στις παράκτιες περιοχές της Βόρειας και Νότιας Μεσογείου (Briassoulis et al., 1997). Ο τύπος δομής που χρησιμοποιείται κυρίως στις περιοχές αυτές είναι το λεγόμενο θερμοκήπιο της Μεσογείου (Wittwer and Castilla, 1995), το οποίο είναι χαμηλού κόστους, μη θερμαινόμενων πλαστικών καλυμμένων κατασκευών και καλλιιεργειών που καλλιεργούνται στο έδαφος. Αυτές οι κατασκευές χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο για να αυξάνουν την εσωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος κατά τους χειμερινούς μήνες. Το καλοκαίρι, στις περιοχές, όπου συνεχίζει η καλλιέργεια κατά τη διάρκεια της περιόδου υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας, η χρήση τους προσφέρει σκίαση στα φυτά. Αυτό επιτυγχάνεται με την επικάλυψη των πλαστικών φιλμ με οξείδιο του ασβεστίου (άσβεστο) (Castilla, 1994). Τα θερμοκήπια παρέχουν ένα μηχανισμό ανεμοφράκτη, τόσο με μηχανική προστασία, όσο και μειώνοντας την εξατμισοδιαπνοή (Bausoin, 1990; Stanghellini, 1993). Η χρήση διχτύων σκίασης, αντί για πλαστικά φιλμ, τα οποία αποτρέπουν τις υψηλές θερμοκρασίες και ακραίες υγρασίες μέσα στο θερμοκήπιο έχει γίνει δημοφιλής στις κατώτερες γεωγραφικού μήκους περιοχές και το όφελος είναι τόσο για φαινόμενο ανεμοφράκτη, όσο και για σκίαση (El-Aidy, 1984).

1.6 Νάτριο στον Ιστό του Φυτού της Τομάτας

Ο Πίνακας 2 καταγράφει τα αποτελέσματα ερευνητικών δημοσιεύσεων που σχετίζονται με την ποσότητα νατρίου που δεσμεύουν τα φυτά τομάτας από το νερό άρδευσης, καθώς και την ποσότητα του νατρίου που συγκεντρώθηκε στο έδαφος και στα στραγγίσματα. Συγκεκριμένα, καταγράφονται η περιοχή μελέτης ή το πανεπιστήμιο, στο οποίο διεξάχθηκε το εργαστηριακό πείραμα, το είδος του εδάφους και της καλλιέργειας (υπαίθρια ή θερμοκηπιακή), το αντικείμενο της μελέτης, τα αποτελέσματα του πειράματος και η βιβλιογραφία. Πραγματοποιείται η καταγραφή των ερευνών, προκειμένου να μπορεί να γίνει μετέπειτα συσχέτιση των επιμέρους αποτελεσμάτων με τα αντίστοιχα αποτελέσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Επίσης, γίνεται επιπλέον διερεύνηση των διπλωματικών ερευνών (Deligianni and Tsanis, 2016; Koutskoudis and Tsanis, 2016; Wagner and Tsanis, 2016) ως προς την ποσότητα του νατρίου που κατανέμεται μεταξύ του φυτού, του εδάφους και των στραγγισμάτων.

Πίνακας 2: Παλαιότερα πειράματα σχετικά με την κατανομή του νατρίου στο φυτό της τομάτας.

Περιοχή	Καλλιέργεια & Έδαφος	Αντικείμενο	Αποτελέσματα	Βιβλιογραφία
Mejerda Low Valley, North of Tunis	Αμμώδες, πηλώδες έδαφος, σε υπαίθρια καλλιέργεια	Επίδραση της άρδευσης και υπόγειας άρδευσης με σταγόνα, με αλμυρό νερό σε φυτά τομάτας του γένους <i>Lycopersicon esculentum</i> Mill	<ul style="list-style-type: none"> Υπόγεια άρδευση: Για $EC=3.5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ ανιχνευθήκαν 0.6 g/kg Na στα φύλλα, 5.3 g/kg Na στις ρίζες και 1.8 g/kg Na στον ιστό. Για $EC=6 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ ανιχνευθήκαν 1.2 g/kg Na στα φύλλα, 7.6 g/kg Na στις ρίζες και 2.5 g/kg Na στον ιστό. Για $EC=9 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ ανιχνευθήκαν 1.8 g/kg Na στα φύλλα, 8.5 g/kg Na στις ρίζες και 3.2 g/kg Na στον ιστό. Επιφανειακή άρδευση: Για $EC=3.5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ ανιχνευθήκαν 0.6 g/kg Na στα φύλλα, 5.1 g/kg Na στις ρίζες και 1.8 g/kg Na στον ιστό. Για $EC=6 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ ανιχνευθήκαν 1.2 g/kg Na στα φύλλα, 7.8 g/kg Na στις ρίζες και 2.5 g/kg Na στον ιστό. Για $EC=9 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ ανιχνευθήκαν 1.8 g/kg Na στα φύλλα, 8.5 g/kg Na στις ρίζες και 3.2 g/kg Na στον ιστό. 	(Kahlaoui et al., 2012)
Institute of Genetics and Cytology of Northeast Normal University, China	Αμμώδες έδαφος, Υπαίθρια καλλιέργεια	Ανάπτυξη, φωτοσύνθεση, συσσώρευση διαλυμένων ουσιών και ιοντικό ισοζύγιο τομάτας <i>Lycopersicon esculentum</i> Mill υπό πίεση αλατιού λόγω Νατρίου ή Καλίου και αλκαλική πίεση	<ul style="list-style-type: none"> Έγινε προσθήκη 3.5 g/L NaCl σε κάθε μεταχείριση και η ηλεκτρική αγωγιμότητα ήταν $5.6 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$. Βρέθηκαν 37.7 g/kg Na στα φύλλα για τη μεταχείριση με 3.5 g/L NaCl. Αντίθετα, το πρότυπο δείγμα περιείχε 3.6 g/kg Na. Το Na ήταν σε ποσοστό 37% στα φύλλα για τη μεταχείριση και 27% για το πρότυπο. 	(Wang et al., 2015)
Orleans Cedex, France.	Αμμώδες έδαφος, Υπαίθρια καλλιέργεια	Ροές των Na^+ , K^+ και Cl^- και οσμωτική προσαρμογή των <i>Lycopersicon pimpinelUfolium</i> και <i>L. esculentum</i> κατά τη διάρκεια	<ul style="list-style-type: none"> Πραγματοποιήθηκαν μεταχειρίσεις 0 (πρότυπο) και 140 mM NaCl των καλλιεργειών <i>L. pimpinelUfolium</i> και <i>L. Esculentum</i>, με ηλεκτρικές αγωγιμότητες 0.6 και $12.3 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$. 	(Guerrier, 1996)

		βραχύ- και μακροπρόθεσμης έκθεσης σε NaCl	<ul style="list-style-type: none"> Σα φύλλα του <i>L. Esculentum</i> ανιχνεύθηκαν 6.9 g/kg Na, ενώ στο <i>L. pimpinellifolium</i> 25.3 g/kg Na, για τη συγκέντρωση NaCl 140 mM ή 8.2 g/L Στα πρότυπα δείγματα ανιχνεύθηκαν 0.5 και 1.4 g/kg για τα <i>L. Esculentum</i> και <i>L. pimpinellifolium</i>, αντίστοιχα. 	
Israel	Θερμοκηπιακή καλλιέργεια	Η αντίδραση στο NaCl αποκομμένων, πλήρως διαφοροποιημένων και διαφοροποιήσιμων ιστών της καλλιεργήσιμης τομάτας <i>Lycopersicon esculentum</i> (LE) και των άγριων συγγενών, <i>L. Peruvianum</i> (LP) και <i>Solanum pennellii</i> (SP)	<ul style="list-style-type: none"> Στα 171 mM NaCl (14.9 dS·m⁻¹), βρέθηκαν 50.6, 69.4 και 76.3 g/kg Na για τα LE, LP, και SP αντίστοιχα. Στα πρότυπα τους βρέθηκαν 3.9, 8.5 και 4.1 g/kg Na. Στα 265 mM NaCl (22.7 dS·m⁻¹), βρέθηκαν 81.6, 89.2 και 109.7 g/kg Na για τα LE, LP, και SP αντίστοιχα. Στα πρότυπα τους βρέθηκαν 5.3, 8.5 και 6.7 g/kg Na. 	(Taleisnik-Gertel et al., 1983)
University of California, Davis, USA	Εργαστηριακό πείραμα stock fertilizer and 1 g per liter of CaNO ₃	Τα διαγονιδιακά ανεκτικά στο αλάτι φυτά τομάτας <i>Lycopersicon esculentum</i> (cv. Moneymaker) συσσωρεύουν το αλάτι στο φύλλωμα και όχι στο καρπό	<ul style="list-style-type: none"> Ποτίζονταν με νερό 5 mM NaCl και 200 mM NaCl, τα οποία έχουν ηλεκτρικές αγωγιμότητες 1.0 και 17.3 dS·m⁻¹. Στα φύλλα του άγριο τύπου ανιχνεύθηκαν 8.3 g/kg Na, ενώ στις ρίζες 0.38 g/kg. Στο διαγονιδιακό είδος ανιχνεύθηκαν 8.7 g/kg Na στα φύλλα, ενώ στις ρίζες 0.38 g/kg. Τόσο στο άγριο, όσο και στο διαγονιδιακό δεν πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στο κορμό των φυτών. 	(Zhang and Blumwald, 2001)
Department of Agricultural Plants Biology, University of Pisa, Italy	Υδροπονική καλλιέργεια	Το κάλιο επηρεάζει το περιεχόμενο νατρίου στα φυτά τομάτας που καλλιεργούνται σε υδροπονική καλλιέργεια υπό αλατούχο-νατριούχο στρες	<ul style="list-style-type: none"> Καλλιεργήθηκαν φυτά τομάτας του γένους Edkawi και UC 82B, τα οποία υποβλήθηκαν σε αλατότητα 0 mM (πρότυπο) και 150 mM. Οι ηλεκτρικές αγωγιμότητες που προκύπτουν είναι 0.6 και 13.1 dS·m⁻¹. Στα φυτά Edkawi ανιχνεύθηκαν 34.5 g/kg Na στα φύλλα, 25.1 g/kg Na στις ρίζες και 6.7 g/kg στον ιστό. Στα φυτά UC 82B ανιχνεύθηκαν 42.8 g/kg Na στα φύλλα, 27.0 g/kg Na στις ρίζες και 10.2 g/kg στον ιστό. 	(Botrini et al., 2000)

Department of Biology, Ben Gurion University of the Negev, Beer Sheva, Israel	Θερμοκηπιακή καλλιέργεια, Hoagland solution	Ανεκτικότητα στο αλάτι στους άγριους συγγενείς της καλλιεργημένης ντομάτας: <i>Lycopersicon esculentum</i> και <i>Solanum pennellii</i> .	<ul style="list-style-type: none"> • Με άρδευση 9 dS·m⁻¹, στην τομάτα <i>Lycopersicon esculentum</i> ανιχνεύθηκαν 14.7 g/kg στα φύλλα και 8.3 g/kg στις ρίζες. Στη <i>Solanum pennellii</i> ανιχνεύθηκαν 3.3 g/kg στα φύλλα και 14.1 g/kg στις ρίζες. • Με άρδευση 17 dS·m⁻¹, στην τομάτα <i>Lycopersicon esculentum</i> ανιχνεύθηκαν 18.7 g/kg στα φύλλα και 12.1 g/kg στις ρίζες. Στη <i>Solanum pennellii</i> ανιχνεύθηκαν 2.5 g/kg στα φύλλα και 8.9 g/kg στις ρίζες. 	(Dehan and Tal, 1978)
---	---	---	---	-----------------------

1.7 Σκοπός της διπλωματικής

Η περιοχή μελέτης (Τυμπάκι Ηρακλείου Κρήτης) χαρακτηρίζεται από εκτενείς καλλιέργειες. Μια από τις καλλιέργειες που λαμβάνουν χώρα στην περιοχή είναι η θερμοκηπιακή καλλιέργεια τομάτας. Λόγω της μεγάλης ζήτησης σε νερό, το οποίο αντλείται από τον υπόγειο υδροφόρα, μειώνονται συνεχώς οι υδατικοί πόροι, προκαλώντας την υφαλμύρωση του εδάφους. Το γεγονός αυτό, έχει ως αποτέλεσμα την άντληση νερού που περιέχει ποσότητες αλατιού και προκαλεί δυσχέρειες στην ανάπτυξη των φυτών. Σκοπός της παρούσας πειραματικής μελέτης, είναι η εύρεση των προβλημάτων που προκαλεί το υφάλμυρο νερό στο φυτό της τομάτας *Solanum lycopersicum* και την αντιμετώπιση τους με βιολογικές τεχνικές. Οι βιολογικές τεχνικές που εφαρμόστηκαν αποτελούνται από το χουμικό οξύ και τον ωφέλιμο μύκητα *Trichoderma harzianum*. Οι συνθήκες αλατότητας στις οποίες υποβλήθηκαν τα φυτά ήταν άρδευση με νερό ηλεκτρικής αγωγιμότητας $2.0 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ και $3.5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$. Επίσης, υπήρχαν και μεταχειρίσεις, οι οποίες αρδεύονταν με φρέσκο νερό, δηλαδή χωρίς την προσθήκη θαλασσινού αλατιού. Κατά τη διάρκεια του πειράματος πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες στο έδαφος, στα φυτά και στα στραγγίσματα, προκειμένου να αναλυθούν εργαστηριακά οι χημικές τους ιδιότητες. Από την εξαγωγή των αποτελεσμάτων προκύπτουν συμπεράσματα, τα οποία συγκρίνονται με παλαιότερες μελέτες για τη διαπίστωση της ορθότητας του πειράματος και σύμφωνα με τα αποτελέσματα προτείνονται οι βέλτιστοι μέθοδοι καλλιέργειας των φυτών προκειμένου να γίνεται σωστή ενημέρωση των αγροτών.

2 Μεθοδολογία

2.1 Χημικές ιδιότητες εδάφους

2.1.1 Ολικός φωσφόρος (Total Phosphorus)

Ο Ολικός Φωσφόρος είναι αρκετά σημαντικός για την ανάπτυξη των φυτών. Αποτελείται από το άθροισμα όλων των μορφών του φωσφόρου που προκύπτουν σε διάφορες μορφές. Κυρίως, υπάρχει στη μορφή των ορθοφωσφορικών (PO_4^{3-}) ή σε οργανικές συνθέσεις. Για τη μέτρηση της συγκέντρωσης, αρχικά τα δείγματα ξηραίνονται στους 40 °C για 48 h. Μετά το πέρας της ξήρανσης, τα δείγματα κοσκινίζονται με κόσκινο διαμέτρου πόρων 2 mm και τα κοσκινισμένα χρώματα λειοτριβούνται σε γουδί από αχάτη. Από κάθε λειοτρίβηση συλλέγεται ποσότητα 0.2 g, η οποία είναι απαραίτητη για την εύρεση του ολικού φωσφόρου. Έπειτα, πραγματοποιείται χημική χώνευση με 4 mL πυκνού θεικού οξέος και με 10 mL διαλύματος 50% H_2O_2 σε θερμαντική πλάκα 450 °C. Στη συνέχεια, τα χωνευμένα δείγματα αραιώνονται με αποσταγμένο νερό, μέχρι ο όγκος να φθάσει τα 100 mL και αφήνονται να κατακαθίσουν τα στερεά. Επειδή, η μέθοδος ποσοτικοποίησης του P δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όξινα διαλύματα, το pH του διαλύματος διορθώνεται με KOH. Ο ολικός φωσφόρος υπολογίζεται με φασματοφωτόμετρο HACH DR2800 στα 880 nm, το οποίο δίνει αποτελέσματα σε ppm φωσφόρου στο διάλυμα, τα οποία μετατρέπονται σε mg/kg στο έδαφος. Στο φασματοφωτόμετρο γίνεται αντίδραση του διαλύματος με μολυβδαινικό αμμώνιο ($(\text{NH}_4)_2\text{MO}_4$), με τη χρήση ασκορβικού οξέος ως αναγωγικό μέσο.

2.1.2 Διαθέσιμος φωσφόρος (Available Phosphorus)

Ο Διαθέσιμος Φωσφόρος συνδέεται άμεσα με την ανάπτυξη των φυτών. Όσος περισσότερος φωσφόρος είναι διαθέσιμος, τόσο μεγαλύτερη είναι η ανάπτυξη των φυτών. Ο διαθέσιμος φωσφόρος υπολογίζεται με τη μέθοδο Olsen-P (Olsen, 1954). Η μέθοδος αυτή είναι γνωστή παγκοσμίως, διότι είναι αποτελεσματική στην εύρεση του φωσφόρου τόσο για όξινα, όσο και για ασβεστολιθικά εδάφη. Τα δείγματα κοσκινίζονται με κόσκινο διαμέτρου πόρων 2 mm και ξηραίνονται στους 40 °C. Έπειτα από την ξήρανση τοποθετούνται σε κενή φιάλη 2.5 g δείγματος και 50 ml ρυθμιστικού διαλύματος διτανθρακικού νατρίου 0.5 M, με pH=8.5, τα οποία ανακινούνται για 30 min, με μηχανικό αναδευτήρα ρυθμισμένο στα 180 rpm. Μετά το πέρας της ανάδευσης τα δείγματα αφήνονται για χρονικό διάστημα 10 min και πραγματοποιείται διήθηση με διηθητικό χαρτί διαμέτρου πόρων 0.45 μm . Στο διήθημα μετρίεται ο διαθέσιμος φωσφόρος, με τη χρήση του φασματοφωτόμετρου HACH DR2800 στα 880 nm και τα αποτελέσματα εξάγονται σε ppm φωσφόρου στο διάλυμα και μετατρέπονται σε mg/kg. Για τη μέτρηση γίνεται αντίδραση του διηθήματος με μολυβδαινικό αμμώνιο, με τη χρήση ασκορβικού οξέος ως αναγωγικό μέσο.

2.1.3 Ολικός οργανικός άνθρακας (Total Organic Carbon)

Ο Ολικός Οργανικός Άνθρακας είναι το άθροισμα του Οργανικού και του Ανόργανου Άνθρακα. Ο περισσότερος οργανικός άνθρακας βρίσκεται στο κλάσμα οργανικής ύλης του εδάφους, ενώ ο ανόργανος άνθρακας βρίσκεται κυρίως στα ανθρακικά άλατα. Δεν περιέχουν όλα τα εδάφη ανόργανο άνθρακα, εξαιτίας της διάλυσης κατά τη διάρκεια του σχηματισμού των ανθρακικών αλάτων στο χώμα που βρίσκεται αρχικά στο μητρικό υλικό. Όμως, ο οργανικός άνθρακας βρίσκεται σε όλα τα αγροβιομηχανικά απόβλητα. Σε εδάφη που έχουν σχηματιστεί από ασβεστολιθικό μητρικό υλικό, υπό άνυδρες συνθήκες, δεν είναι ασυνήθιστο για τη συγκέντρωση του ανόργανου άνθρακα να ξεπεράσει αυτήν του οργανικού. Ο οργανικός άνθρακας περιέχεται στους μικροοργανισμούς, στα υπολείμματα φυτών και ζώων, στο σταθερό χούμους από υπολείμματα και υψηλές οργανικές ενώσεις, όπως κάρβουνο και γραφίτης. (Norman and Fine, 1965)

Για τον υπολογισμό του Ολικού άνθρακα στο έδαφος, τα δείγματα τοποθετούνται σε κλίβανο στους 40°C και έπειτα πραγματοποιείται λειοτρίβηση σε γουδί από αχάτη. Η ανάλυση του Ολικού άνθρακα γίνεται με τη χρήση του αντιδραστήρα Multi N/C 2100S, του οίκου Analytik Jena και τα αποτελέσματα εξάγονται σε g/kg TOC. Ο αντιδραστήρας μετατρέπει τον περιεχόμενο άνθρακα των δειγμάτων σε διοξείδιο του άνθρακα, μετά από καύση στους 650 °C, παρουσία καταλύτη και οξυγόνου. Η ανίχνευση του CO₂ πραγματοποιείται από αισθητήρα μη διαχεόμενης υπέρυθρης ακτινοβολίας (Nondispersive infrared sensor, NDIR). Για τη βαθμονόμηση του οργάνου χρησιμοποιείται όξινο φθαλικό κάλιο (KHP) και γλυκόζη.

2.1.4 Ολικό άζωτο (Total Nitrogen)

Το Ολικό Άζωτο είναι ένα σημαντικό θρεπτικό συστατικό για τα φυτά και τα ζώα. Ωστόσο, ένα πλεόνασμα αζώτου στα ύδατα μπορεί να οδηγήσει σε χαμηλά επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου και να αλλάξει τη ζωή ποικίλων οργανισμών και φυτών (Epa, 2013). Οι μορφές του Ολικού Αζώτου είναι τα Νιτρώδη, τα Νιτρικά, η Αμμωνία και το Οργανικό Άζωτο (Walker et al., 2010). Η μέτρηση του Ολικού Αζώτου πραγματοποιείται με τον ίδιο αντιδραστήρα Multi N/C 2100S, όπως και στον Ολικό Άνθρακα και τα αποτελέσματα δίνονται σε g/kg TN. Η διαφορά είναι ότι μετατρέπεται το περιεχόμενο άζωτο σε μονοξείδιο του αζώτου με καύση στους 650 °C, παρουσία καταλύτη και οξυγόνου. Το μονοξείδιο του αζώτου ανιχνεύεται με ανιχνευτή χημικού φωσφορισμού (Chemiluminescence detector, CLD). Για τη βαθμονόμηση του αζώτου χρησιμοποιείται νιτρικό κάλιο (KNO₃) και θειικό αμμώνιο ((NH₄)₂SO₄).

2.1.5 Ολικό άζωτο κατά Kjeldahl (Total Kjeldahl Nitrogen)

Το Ολικό Άζωτο κατά Kjeldahl είναι το άθροισμα του οργανικού αζώτου, της αμμωνίας και του αμμωνίου. Το οργανικό άζωτο στο δείγμα μετατρέπεται σε $N - NH_4^+$ υπό χώνευση με

συμπυκνωμένο H_2SO_4 και το $N - NH_4^+$ ποσοτικοποιείται με τη φασματοφωτομετρική μέθοδο Nessler. Για τον υπολογισμό του Ολικού Αζώτου κατά Kjeldahl, τα δείγματα ξηραίνονται στους 40 °C για 48 h. Μετά το πέρας της ξήρανσης, τα δείγματα κοσκινίζονται με κόσκινο διαμέτρου πόρων 2 mm και τα κοσκινισμένα χρώματα λειοτριβούνται σε γουδί από αχάτη. Από κάθε λειοτρίβηση συλλέγεται ποσότητα 0.2 g. Έπειτα, πραγματοποιείται χημική χώνευση με 4 mL πυκνού θεικού οξέος και με 10 mL διαλύματος 50% H_2O_2 σε θερμαντική πλάκα θερμοκρασίας 450 °C. Στη συνέχεια, τα χωνευμένα δείγματα αραιώνονται με αποσταγμένο νερό μέχρι ο όγκος να φθάσει τα 100 mL και αφήνονται να κατακαθίσουν τα στερεά. Από το υπερκείμενο υγρό μετريέται το Ολικό Άζωτο κατά Kjeldahl με τη μέθοδο Nessler στα 460 nm και τα αποτελέσματα μετατρέπονται σε g/kg.

2.1.6 Αμμωνιακό άζωτο και άζωτο υπό μορφή νιτρικών

Το Άζωτο είναι ένα ελλειμματικό θρεπτικό για τις καλλιέργειες και η χρήση του αποφέρει οικονομικά κέρδη για τους αγρότες. Όμως, όταν οι εισροές Αζώτου στο έδαφος ξεπεράσουν τις ανάγκες των φυτών, τότε υπάρχει περίπτωση πλεονάζουσες ποσότητες Νιτρικών ($N-NO_3^-$) να εισέλθουν, είτε στα υπόγεια, είτε στα επιφανειακά ύδατα. Το οργανικό N που βρίσκεται στο έδαφος μετατρέπεται σε ανόργανο N, μέσω της διαδικασίας ανοργανοποίησης. Κατά τη διεργασία αυτήν, τα βακτήρια χωνεύουν το οργανικό υλικό και απελευθερώνουν $N-NH_4^+$ και ο σχηματισμός του $N-NH_4^+$ αυξάνεται, με την αύξηση της μικροβιακής δραστηριότητας. Επίσης, το Αμμωνιακό N έχει θετικό φορτίο και κατά συνέπεια έλκεται από το αρνητικά φορτισμένο χώμα, οπότε δεν οδηγείται προς τα κάτω. Το Άζωτο υπό μορφή νιτρικών ($N-NO_3^-$) μετατρέπεται σε νιτρώδη κατά τη διάρκεια της Νιτροποίησης, η οποία είναι μια αερόβια βιολογική διεργασία. Τα Νιτρικά είναι αρνητικά φορτισμένα, οπότε απωθούνται από το αρνητικά φορτισμένο χώμα, με αποτέλεσμα να μετακινούνται κάτω από τη ζώνη ριζών των φυτών (John A. Lamb, Fabian G. Fernandez, 2014).

Για τον υπολογισμό του αμμωνιακού αζώτου ($N - NH_4^+$), τα εδαφικά δείγματα ξηραίνονται σε κλίβανο στους 40 °C για 48 h και έπειτα κοσκινίζονται με κόσκινο διαμέτρου πόρων 2 mm. Στη συνέχεια, προστίθεται σε κάθε 5 g κοσκινισμένου χρώματος 25 ml διαλύματος KCl 2 M, με στόχο την εκχύλιση των NH_4^+ και NO_3^- . Το εκχύλισμα διηθείται σε διηθητικό χαρτί πορώδους 0.45 μm και η συγκέντρωση του Αμμωνιακού Αζώτου μετρίεται στα 425 nm με τη μέθοδο Nessler. Για τον υπολογισμό του Αζώτου υπό μορφή νιτρικών ($N - NO_3^-$), πραγματοποιείται η παραπάνω διαδικασία, με τη διαφορά ότι το μήκος κύματος για τη μέτρηση είναι στα 345 nm και γίνεται χρήση του εμπορικού αντιδραστηρίου LCK 339 του οίκου HACH, το οποίο έχει εύρος μέτρησης 0.23-13.5 mg/L $N-NO_3$ (HACH, 2018).

2.1.7 Συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου (pH)

Το pH είναι μια αριθμητική κλίμακα που χρησιμοποιείται για να καθοριστεί η οξύτητα ή η αλκαλικότητα ενός υδατικού διαλύματος. Είναι ο αρνητικός δεκαδικός λογάριθμος της συγκέντρωσης των ιόντων υδροξονίου (κατιόντα υδρογόνου) στο διάλυμα. Συγκεκριμένα, είναι ο αρνητικός δεκαδικός λογάριθμος της ενεργότητας των ιόντων υδρογόνου. (Bates, 1973). Η κλίμακα pH κυμαίνεται από 0 έως 14. Για τιμή του $pH=7$, το διάλυμα θεωρείται ουδέτερο. Για τιμές του $pH<7$, το διάλυμα είναι όξινο και για τιμές $pH>7$, το διάλυμα είναι αλκαλικό. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η τιμή του pH μπορεί να είναι μικρότερη από το 0 και μεγαλύτερη από το 14 για ισχυρά οξέα ή βάσεις, αντίστοιχα (Lim, 2006). Προκειμένου να υπολογιστεί η τιμή του pH στο έδαφος, τα εδαφικά δείγματα ξηραίνονται για 48 h. και κοσκινίζονται με κόσκινο διαμέτρου πόρων 2 mm. Από κάθε δείγμα τοποθετείται ποσότητα 10 g σε πλαστικούς σωλήνες των 50 mL, μαζί με 20 mL απιονισμένο νερό, ούτως ώστε να προκύψει αναλογία χώματος προς διαλύματος ίση με 1:2. Έπειτα από χρονικό διάστημα 2 ημερών, τα δείγματα διηθούνται και πραγματοποιείται μέτρηση του pH με το όργανο HQ40d multi, του οίκου HACH.

2.1.8 Ηλεκτρική αγωγιμότητα εδάφους

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους (EC) είναι μια μέτρηση που συσχετίζεται με τις ιδιότητες του εδάφους, οι οποίες επηρεάζουν την παραγωγικότητα των καλλιεργειών. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα των εδαφών ποικίλει ανάλογα με την ποσότητα της υγρασίας που συγκρατείται στα σωματίδια του εδάφους. Τα αμμώδη εδάφη έχουν χαμηλή αγωγιμότητα, τα αργιλώδη εδάφη έχουν μέτρια αγωγιμότητα και τα πηλώδη εδάφη έχουν υψηλή. Η EC εκφράζεται σε μονάδες $dS \cdot m^{-1}$ στους 25 °C, για την αποφυγή της επιρροής από τη θερμοκρασία και καθορίζει τη συγκέντρωση όλων των διαλυμένων αλάτων στο χώμα ή στο νερό (Daliakopoulos et al., 2016). Η EC συνήθως μετρείται με 2 τρόπους, τη field capacity (EC_f) και τη saturation extract (EC_e). Η EC_f μετρείται από τα εδαφικά δείγματα, διότι με αυτόν τον τρόπο παρέχεται η πραγματική συγκέντρωση του αλατιού. Αντίθετα, η EC_e μπορεί να αποκτηθεί από τον τύπο του εδάφους χρησιμοποιώντας πίνακες (Whitney et al., 1966) ή από εξισώσεις παλινδρόμησης (Sonmez et al., 2008). Ο Πίνακας 3 αφορά τις κλάσεις αλατότητας για διαφορετικές EC_e . Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους μετρείται με την ίδια μέθοδο μέτρησης του pH, κάνοντας χρήση του οργάνου HQ40d multi, του οίκου HACH.

Πίνακας 3: Κατηγοριοποίηση αλατότητας στο έδαφος με βάση την επίδραση στις καλλιέργειες (Richards, 1954).

EC _e (dS·m ⁻¹)	Κλάση	Επίδραση
0-2	Μη αλατούχο	Αμελητέα
2-4	Ελαφρώς αλατούχο	Μείωση της παραγωγής των ευαίσθητων καλλιεργειών
4-8	Μετρίως αλατούχο	Μείωση της παραγωγής των περισσότερων καλλιεργειών
8-16	Ισχυρά αλατούχο	Συνήθεις παραγωγές μόνο για φυτά ανεκτικά στην αλατότητα
>16	Πολύ ισχυρά αλατούχο	Ικανοποιητική παραγωγή για πολύ ανεκτικές καλλιέργειες στην αλατότητα

2.1.9 Στοιχειακή ανάλυση μετάλλων εδάφους

Η στοιχειακή ανάλυση του εδάφους πραγματοποιείται με τη μέθοδο ICP-MS (Inductively coupled plasma mass spectrometry), μετά από εκχύλιση σε απιονισμένο νερό. Η ICP-MS είναι μια μέθοδος, η οποία είναι ικανή στην ανίχνευση ορισμένων μετάλλων και αμέταλλων σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις. Ο αναλυτής ICP-MS συνδυάζει μια πηγή υψηλής θερμοκρασίας ICP με ένα φασματογράφο μάζας. Η πηγή ICP μετατρέπει τα άτομα των στοιχείων του δείγματος σε ιόντα. Τα ιόντα αυτά διαχωρίζονται και ανιχνεύονται από το φασματογράφο μάζας. Για την ανίχνευση των στοιχείων, τα δείγματα ξηραίνονται στους 40 °C για 48 h. Έπειτα, κοσκινίζονται με κόσκινο διαμέτρου πόρων 2 mm και γίνεται εκχύλιση με αποσταγμένο νερό, έτσι ώστε να προκύψει ο λόγος εδάφους προς νερό 1:2. Στη συνέχεια, γίνεται διήθηση με διηθητικό χαρτί διαμέτρου πόρων 0.45 μm και οξίνιση με χρήση νιτρικού οξέος (HNO₃) σε επίπεδο 2% v/v, με pH<2.

2.1.10 Λόγος Προσρόφησης Νατρίου (SAR)

Ο Λόγος Προσρόφησης Νατρίου (SAR) είναι μια παράμετρος ποιότητας του νερού άρδευσης που χρησιμοποιείται για τη διαχείριση των επηρεασμένων σε νάτριο εδαφών. Είναι ένας δείκτης καταλληλότητας του νερού για χρήση σε καλλιέργειες και καθορίζεται από τις συγκεντρώσεις των Na⁺, Ca²⁺ και Mg²⁺. Επίσης, είναι μια διαγνωστική παράμετρος του κινδύνου νατρίωσης του εδάφους, το οποίο καθορίζεται από το νερό των πόρων που συλλέγεται από το έδαφος (Reeve et al., 1954). Τα εδάφη που έχουν τιμές του SAR μεγαλύτερο του 13, χαρακτηρίζονται από μια αυξημένη διασπορά της οργανικής μάζας και των σωματιδίων πηλού, μειωμένη υδραυλική αγωγιμότητα και αερισμός και γενικά υποβάθμιση του εδάφους (USDA, 2017). Τα ιόντα καλίου και νατρίου διευκολύνουν τη διασπορά των σωματιδίων πηλού, ενώ το ασβέστιο και το μαγνήσιο προάγουν τη συσσωμάτωσή τους. Η συμπεριφορά των συσσωματωμάτων πηλού επηρεάζει τη δομή του εδάφους και τη διαπερατότητα, η οποία εξαρτάται από το ρυθμό διείσδυσης του νερού. Γι' αυτό το λόγο, το νάτριο μπορεί να εκτοπίσει το ασβέστιο και το μαγνήσιο στο έδαφος, προκαλώντας προβλήματα στις καλλιέργειες.

Σύμφωνα με τον (Turner, 2004), για τιμή του SAR μεγαλύτερη του 13, οι ιδιότητες του εδάφους όπως η διασπορά, η δομή και η υδραυλική αγωγιμότητα μπορούν να επηρεαστούν.

Πίνακας 4: Κίνδυνος διαφόρων τιμών επικινδυνότητας του SAR για το νερό άρδευσης (Lenntech, 2018).

Κίνδυνος του SAR στο νερό άρδευσης	Τιμές SAR	Παρατηρήσεις
Κανένας	< 3.0	Κανένας περιορισμός για τη χρήση του νερού
	3.0-6.0	Πρέπει να λαμβάνεται προσοχή σε ευαίσθητες καλλιέργειες
	6.0-8.0	Πρέπει να προστίθεται γύψος. Μη ευαίσθητες καλλιέργειες.
Μικρός προς Μέτριος	8.0-9.0	Τα εδάφη θα πρέπει να ελέγχονται κάθε 1 με 2 χρόνια για τη διαπίστωση αύξησης του νατρίου
	> 9.0	Σοβαρή ζημιά, ακατάλληλο το έδαφος για καλλιέργεια
Οξύς		

Η τιμή του δείκτη SAR υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση σύμφωνα με τους (Sposito and Mattigod, 1977; USDA, 1954):

$$SAR = \frac{[Na^+]}{\sqrt{0.5([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}])}} \quad (1)$$

Όπου Na^+ , Ca^{2+} και Mg^{2+} αφορούν τις συγκεντρώσεις σε meq/L. Αν οι συγκεντρώσεις των ιόντων εκφράζονται σε mmol/L, τότε η σχέση (1) γίνεται:

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

Στον Πίνακα 1 της ενότητας 1.2 αποτυπώνεται η συσχέτιση του SAR, μαζί με το pH και την ηλεκτρική αγωγιμότητα, τα οποία αναπτύχθηκαν στις ενότητες 2.1.7 και 2.1.8 αντίστοιχα.

2.2 Μέση τιμή και τυπικό σφάλμα

Η μέση τιμή μια σειράς δειγμάτων χρησιμοποιείται, έτσι ώστε να αναφέρει την κεντρική τιμή των τιμών των δειγμάτων. Συγκεκριμένα, αποτελείται από το άθροισμα των τιμών, διαιρούμενο με το πλήθος των τιμών, όπως περιγράφεται από τη σχέση (3).

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{n} (x_1 + x_2 + \dots + x_n) \quad (3)$$

Το τυπικό σφάλμα μέσης τιμής απεικονίζει τη σχέση μεταξύ της διασποράς ξεχωριστών παρατηρήσεων, γύρω από τη μέση τιμή ενός πλήθους τιμών.

$$SE_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

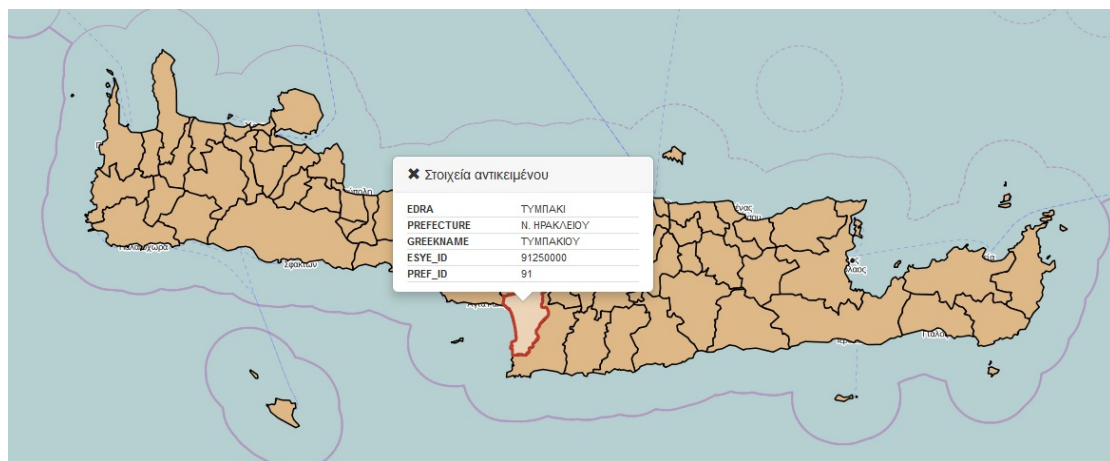
Όπου:

- σ : η τυπική απόκλιση, η οποία προκύπτει από τη σχέση $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N-1}}$
- n : ο αριθμός των δειγμάτων

3 Περιοχή μελέτης

3.1 Γεωγραφική περιγραφή

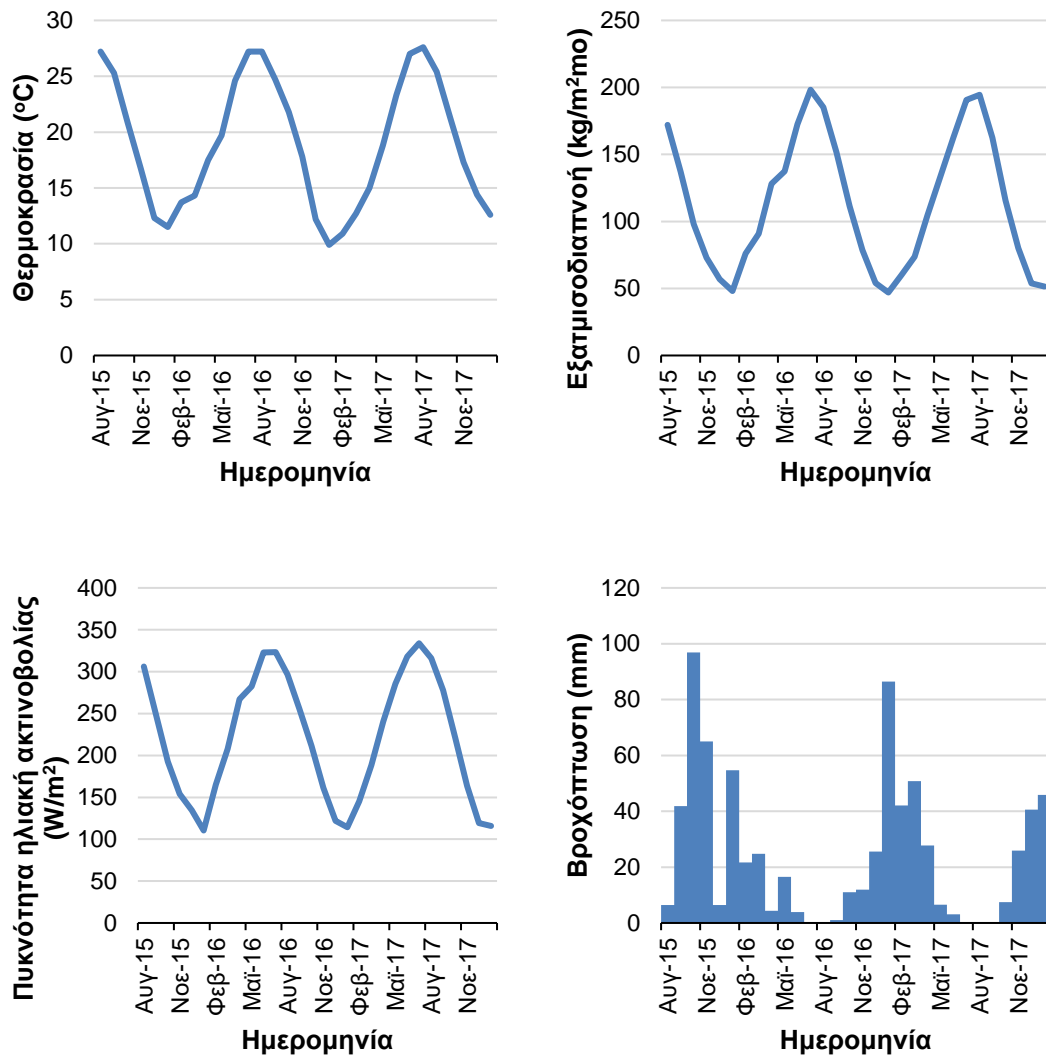
Το Τυμπάκι (Εικόνα 6), με γεωγραφικές συντεταγμένες (24,769058, 35,071917 μοίρες) εγκαθίσταται 65 km νότια του νομού Ηρακλείου και συγκεκριμένα στην πεδιάδα της Μεσσαράς. Το υψόμετρο της λεκάνης απορροής ποικίλει από τα 2440 m, έως το επίπεδο της θάλασσας, από το βορρά προς το νότο. Η τοπογραφία της λεκάνης απορροής είναι επίπεδη, με απότομες κλίσεις στα νοτιοανατολικά και με υψηλότερο σημείο, το βουνό Ψηλορείτης (Alexakis et al., 2016). Το Τυμπάκι βρέχεται από το Λιβυκό πέλαγος και σύμφωνα με την απογραφή του 2001 απαριθμεί 5367 κατοίκους (ΕΛΣΤΑΤ, 2001). Η περιοχή είναι γνωστή για τις θερμοκηπιακές καλλιέργειες και για την ελαιοκομία, διότι έχει ήπιους χειμώνες. Επίσης, στο Τυμπάκι εκβάλει ο Γεροπόταμος, ο οποίος είναι ο μεγαλύτερος ποταμός της Μεσσαράς και στο Δήμο Τυμπακίου ανήκουν οι αρχαιολογικοί χώροι της Φαιστού και της Αγίας Τριάδας.



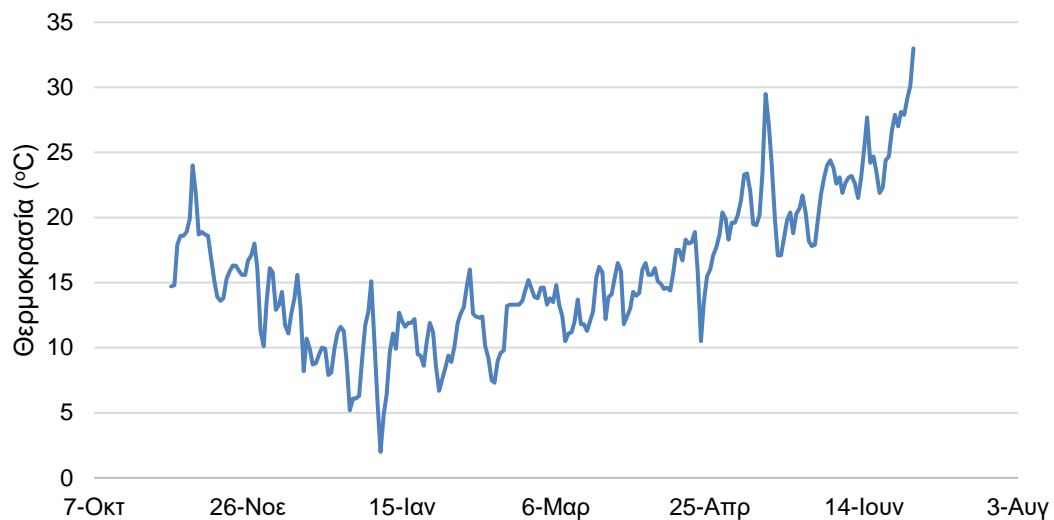
Εικόνα 6: Όρια Δήμου Τυμπακίου, κλίμακα 1:20000 (geodata.gov.gr, 2017).

3.2 Μετεωρολογικά δεδομένα

Το κλίμα της Κρήτης χαρακτηρίζεται ως εύκρατο, διότι αποτελείται από ήπιους και υγρούς χειμώνες και δροσερά καλοκαίρια, με μέση θερμοκρασία 25 έως 30 °C. Η πεδιάδα της Μεσσαράς, στην οποία ανήκει το Τυμπάκι έχει περισσότερες ηλιόλουστες μέρες και υψηλότερες θερμοκρασίες, γεγονός που την καθιστά ιδανική για καλλιέργειες. Παρακάτω παρουσιάζονται μετρήσεις θερμοκρασίας και εξατμισοδιαπνοής, πυκνότητας ηλιακής ακτινοβολίας και βροχόπτωσης (Εικόνα 7) από το μετεωρολογικό σταθμό του Τυμπακίου (ΑΠΔ Κρήτης, 2018). Στην Εικόνα 8 φαίνονται οι τιμές της θερμοκρασίας στην περιοχή του Πολυτεχνείου Κρήτης, κατά τη διάρκεια διεξαγωγής του παρόντος πειράματος.



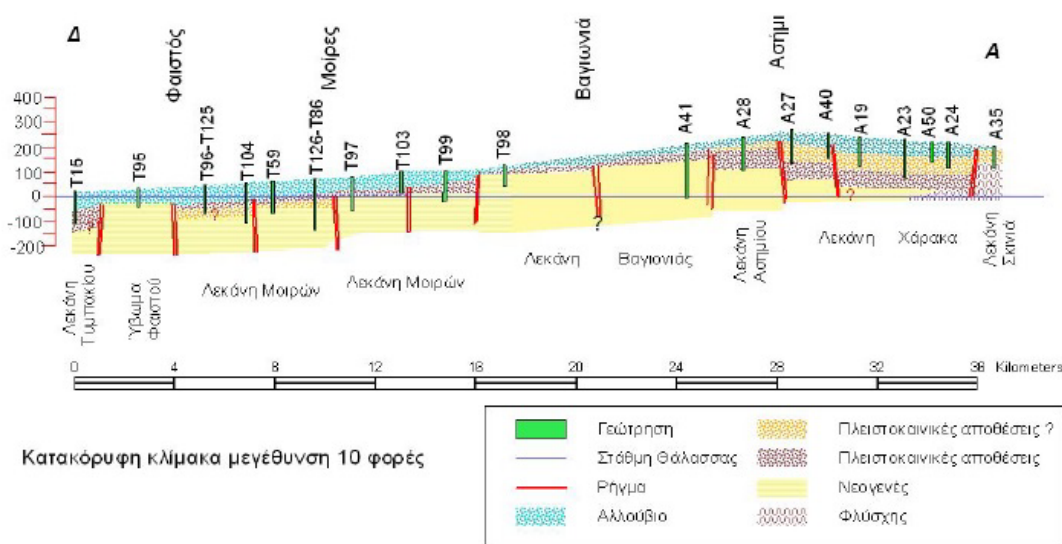
Εικόνα 7: Μετρήσεις θερμοκρασίας και εξατμισοδιαπνοής, πυκνότητας ηλιακή ακτινοβολίας και βροχόπτωσης από το μετεωρολογικό σταθμό του Τυμπακίου.



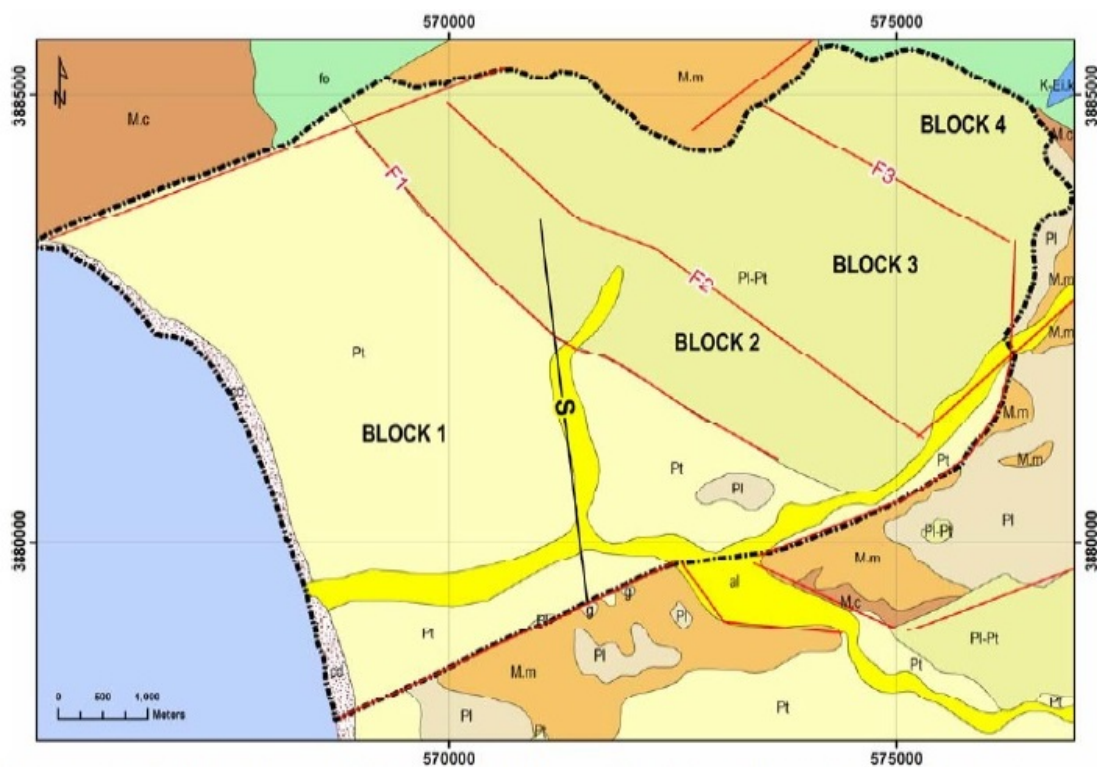
Εικόνα 8: Μετρήσεις θερμοκρασίας στην περιοχή του Πολυτεχνείου Κρήτης, κατά τη διάρκεια του πειράματος.

3.3 Υδρογεωλογικά στοιχεία της περιοχής

Η πεδιάδα του Τυμπακίου αποτελείται από αποθέσεις Πλειστόκαινου, έως αλλουβιακού Ολόκαινου και το ρήγμα συνδέεται από το βορρά έως το νότο από Νεογενή κλαστικά ιζήματα και ανατολικά από Μεσοζωικό αδιαπέρατο στεγανό φλύσχη (Εικόνα 10). Τα αλουβιακά πετρώματα βρίσκονται κάτω από τα Νεογενή πετρώματα και στα ανατολικά της πεδιάδας από Μεσοζωικό φλύσχη (Paritsis, 2005). Η υφαλμύρωση προκαλείται από την ανυπαρξία γεωλογικών φραγμών στις εκτεταμένες ανθρακικές εμφανίσεις προς τη θάλασσα, σε συνδυασμό με παλαιογεωγραφικά αίτια. Επίσης, λόγω της γεωλογίας του εδάφους, το υφάλμυρο νερό παρεμποδίζεται και δεν εισέρχεται στο ύψωμα Φαιστού (Εικόνα 9), το οποίο θεωρείται αδιαπέρατος σχηματισμός και εμποδίζει την υπόγεια διαφυγή των υδάτων, εκτός της λεκάνης των Μοιρών (Kritsotakis, 2009). Επομένως, λόγω της γεωλογίας, το υφάλμυρο νερό εισέρχεται μέχρι το BLOCK 1 (Εικόνα 10), εμποδίζοντας το πρόβλημα της υφαλμύρωσης να επεκταθεί σε μεγαλύτερες εκτάσεις γης.



Εικόνα 9: Γεωλογική τομή Φαιστός - Χάρακας (Ανατολή – Δύση) (Kritsotakis, 2009).



Εικόνα 10: Γεωλογικός χάρτης της λεκάνης απορροής του Τυπακίου. Αλλουβιακές (al), Ολόκαινες έως Άνω Πλειστόκαινες αποθέσεις (Pt). Πλειστόκαινες έως Άνω Πλειόκαινες αποθέσεις (PI-Pt). Οι υπόλοιποι σχηματισμοί είναι Νεογενή κλαστικά ιζήματα ή Μεσοζωικοί αδιαπέρατοι στεγανοί σχηματισμοί. Η μαύρη διακεκομμένη γραμμή συμβολίζει τα όρια της λεκάνης απορροής. Τα F1, F2, F3 και F4 είναι τα κανονικά ρήγματα που χωρίζουν τον υδροφόρα (Paritsis, 2005).

3.4 Χρήσεις γης

Το Τυπάκι έχει μεγάλη συνεισφορά στο εισόδημα και στην εργασία της γύρω περιοχής και αποτελεί μια από τις σημαντικότερες αγροτικές περιοχές της Κρήτης. Τα πιο σημαντικά προϊόντα είναι το ελαιόλαδο, τα φρούτα και τα λαχανικά. Σύμφωνα με έρευνα της (ΕΛΣΤΑΤ, 2000), το σύνολο των εκτάσεων στο Δήμο Τυπακίου είναι 157.000 στρέμματα, οι καλλιεργούμενες εκτάσεις και αγραναπαύσεις είναι 100.300 στρέμματα, οι βοσκότοποι είναι 13.500 στρέμματα, τα δάση είναι 31.600 στρέμματα, οι εκτάσεις των οικισμών είναι 4.200 στρέμματα και λοιπές εκτάσεις είναι 7.300 στρέμματα. Στα φυτά που καλλιεργούνται στην περιοχή μελέτης, η συγκομιδή τους συνήθως πραγματοποιείται δύο φορές το χρόνο και περιλαμβάνει μη-εγχώρια είδη, κυρίως τομάτα (*Solanum lycopersicum*), αγγούρι (*Cucumis sativus*), κολοκύθι (*Cucurbita pepo*), μελιτζάνα (*Solanum melongena*), πιπεριά (*Capsicum annuum*) και φασολάκια (*Phaseolus vulgaris*) (Thanopoulos et al., 2008).

Πίνακας 5: Χρήσεις γης πεδιάδας Μεσσαράς Κρήτης (Π Παπαδοπούλου Επικ Καθ ΕΜΠ Βασιλική Τσουκαλά Επικ Καθ ΕΜΠ, 2018).

Είδος καλλιέργειας	Έκταση (στρεμ.)	Μέση απόδοση (kg/στρεμ.)
Σιτηρά	1.000	200

Κριθάρι	1.000	220
Κοφτολιβάδα	1.500	550
Ελιές Ελ (Ξηρ.)	500	40
Ελιές Ελ (Αρδ.)	12.000	75
Αμπέλια Οιν (Ξηρ.)	300	480
Αμπέλια Οιν (Αρδ.)	800	1.500
Όσπρια	120	160
Μηδική	130	800
Μποστανικά	1.500	5.000
Πατάτες	1.400	3.500
Λαχανικά	1.500	1.250
Ντομάτες	3.600	3.700
Εσπεριδοειδή	950	2.000
Οπωροφόρα	280	2.200
Ελιές ελαιοποήσιμες	15.000	90
Μποστανικά	2.650	6.000
Λαχανικά	3.110	2.000
Ντομάτες	4.110	6.500
Οπωροφόρα	1.710	2.500



Εικόνα 11: Τυμπάκι Ηρακλείου Κρήτης.



Εικόνα 12: Δορυφορική φωτογραφία Τυμπακίου Ηρακλείου Κρήτης (“Google maps,” 2018).

3.5 Πειραματικό Μέρος

Το πειραματικό μέρος έλαβε χώρα σε θερμοκήπιο 6 m x 6 m (Εικόνα 13), στο Πολυτεχνείο Κρήτης, με γεωγραφική θέση 35°32'00.2"N 24°04'12.4"E. Επιλέχθηκε αυτή η θέση, προκειμένου να είναι εύκολη η πρόσβαση στο θερμοκήπιο και να πραγματοποιούνται όλες οι απαραίτητες εργασίες για τη σωστή ανάπτυξη των φυτών και τη λήψη των πειραματικών μετρήσεων.



Εικόνα 13: Εσωτερικό του πειραματικού θερμοκηπίου.

Το πείραμα απαρτιζόταν από 8 μεταχειρίσεις, με 5 επαναλήψεις η κάθε μία. Συνεπώς, τοποθετήθηκαν 40 γλάστρες των 30 L, οι οποίες πληρώθηκαν με χώμα 'terra rossa' από την περιοχή μελέτης (Τυμπάκι). Σε κάθε γλάστρα φυτεύτηκαν τομάτες του είδους *S. Lycopersicum*, με εμπορική ονομασία Ελπίδα F1. Για την υποστήριξη των φυτών χρησιμοποιήθηκε σπάγγος, ο οποίος ήταν δεμένος στην οροφή του θερμοκηπίου.

Για την άρδευση των φυτών επιλέχθηκε η μέθοδος της στάγδην άρδευσης, όπου είχαν τοποθετηθεί 3 βαρέλια των 60 L, τα οποία περιείχαν νερό διαφορετικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Το πρώτο βαρέλι περιείχε νερό βρύσης, ηλεκτρικής αγωγιμότητας $0.45 \pm 0.05 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$, το δεύτερο νερό βρύσης μαζί με 1 g/L NaCl και το τρίτο νερό βρύσης μαζί με 2 g/L NaCl, με ηλεκτρικές αγωγιμότητες $2.0 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$, και $3.5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$, αντίστοιχα. Στην Εικόνα 14 απεικονίζεται η διάταξη των γλαστρών για κάθε μεταχείριση, καθώς και ο τρόπος με τον οποίο γινόταν η άρδευση των φυτών από τα 3 διαφορετικά βαρέλια.

Σημειώνεται ότι, οι μεταχειρίσεις FTL και FNL λειτουργούσαν ως πρότυπα δείγματα, γι' αυτό το λόγο αρδεύονταν με νερό βρύσης. Επίσης, ο λόγος για τον οποίο ήταν τοποθετημένα στα πλάγια του θερμοκηπίου είναι ότι παρείχαν προστασία από την ηλιακή ακτινοβολία για τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις.

Η άρδευση με νερό, για την κάλυψη των αναγκών των φυτών ορίστηκε στην αρχή του πειράματος στα 0.15 L/d και μέχρι το τέλος του πειράματος είχε αυξηθεί στο 1 L/d. Συγκεκριμένα, στον Πίνακα 6 απεικονίζονται οι ημερομηνίες των χρονικών διαστημάτων που αρδεύονταν τα φυτά.

Πίνακας 6: Χρονικά διαστήματα και όγκος νερού άρδευσης.

Ημερομηνία	Όγκος νερού
11/11/16 έως 19/11/16	0.15 L
20/11/16 έως 12/12/16	0.20 L
13/12/16 έως 22/01/17	0.30 L
23/01/17 έως 28/02/17	0.60 L
01/03/17 έως 1/6/17	1.00 L

Για τη λίπανση των φυτών, στη σειρά F το χώμα αναμίχθηκε σε αναλογία 10% κατ' όγκο με οργανικό λίπασμα σύνθεσης N:P:K 3:3:1 και οργανική ουσία 10-12%. Στη σειρά D, αντίθετα δεν έγινε προσθήκη επιπλέον οργανικού πέραν αυτού που είχε παραμείνει από την προηγούμενη καλλιεργητική περίοδο. Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκε ένα σχήμα λίπανσης αποτελούμενο από νιτρικό κάλιο (K) σε αναλογία 2.0 g/φυτό, συνδυασμό νιτρικού ασβεστίου και νιτρικού μαγνησίου σε αναλογία 2 g/φυτό και 0.5 g/φυτό αντίστοιχα (AM), ισορροπημένο λίπασμα (αναλογία N:P:K 20:20:20) σε αναλογία 2.0 g/φυτό (I) και φωσφορικό λίπασμα (αναλογία N:P:K 10:52:10) σε αναλογία 1.0 g/φυτό (P). Στις 3 διαφορετικές λιπάνσεις (K, AM, I) έγινε ταυτόχρονη εφαρμογή διαλύματος ιχνοστοιχείων (Σίδηρος (Fe): 4%, Μαγνήσιο (Mg): 5.4%, Μαγγάνιο (Mn): 4%, Ψευδάργυρος (Zn): 1.5%, Χαλκός (Cu): 1.5%, Κοβάλτιο (Co): 0.05%, Βόριο (B): 0.5%, Μολυβδαίνιο (Mo): 0.1%) σε αναλογία 0.5, 0.5 και 1 g/φυτό, αντίστοιχα. Οι λιπάνσεις έγιναν ανά 5 μέρες ακολουθώντας το σχήμα AM-K-K-I-I-AM-K-K-P-I-I.

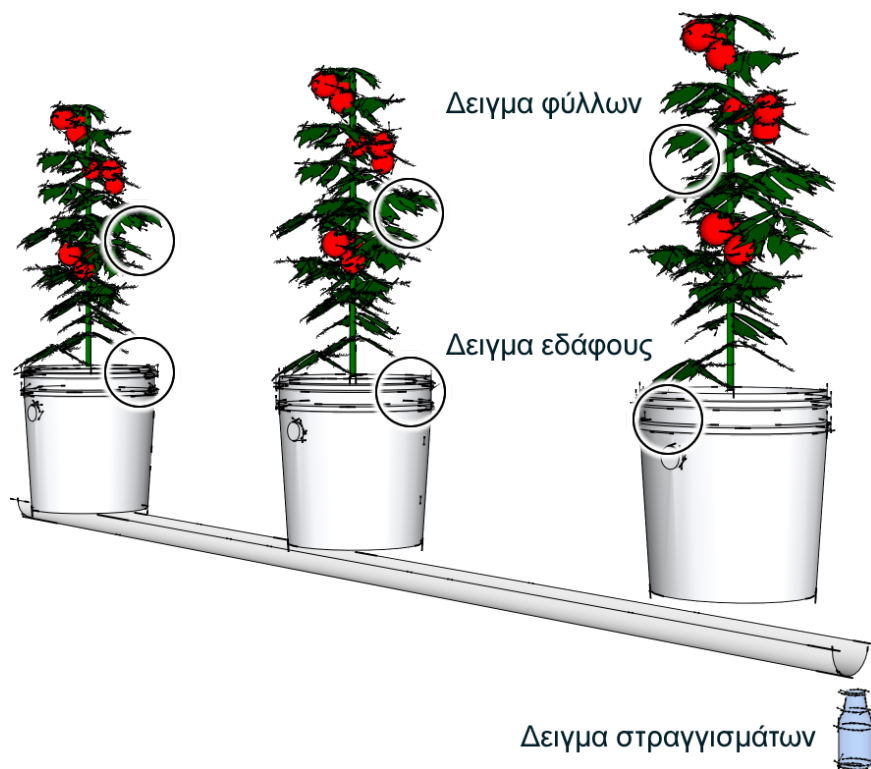
3.5.1 Εργασίες συντήρησης των φυτών

Ανά τακτά χρονικά διαστήματα ορισμένων ημερών πραγματοποιούνταν κλάδεμα των «λαίμαργων», ούτως ώστε να μην παρεμποδίζεται η ομαλή ανάπτυξη του φυτού. Επίσης,

γινόταν τέντωμα του σπάγκου που υποστήριζε τα φυτά, προκειμένου ο κορμός τους να μην λυγίζει. Κατά την ανάπτυξη των φυτών παρατηρήθηκε ξήρανση των κατώτερων φύλλων, το οποίο είναι φυσιολογικό, διότι οι χυμοί του φυτού τροφοδοτούνται προς τα ανώτερα και νεαρά κλαδιά. Γι' αυτό το λόγο, γινόταν κλάδεμα των ξηρών κλαδιών, όποτε κρινόταν απαραίτητο. Όταν τα φυτά είχαν πάρει το επιθυμητό ύψος, κλαδεύτηκαν, με σκοπό να σταματήσει η ανάπτυξη τους και να επικεντρωθούν οι χυμοί του φυτού στο δέσιμο των καρπών.

3.5.2 Δειγματοληψία

Για τους σκοπούς του πειράματος χρειάστηκε να πραγματοποιηθούν δειγματοληψίες στο έδαφος, στα στραγγίσματα και στα φύλλα των φυτών, για τον προσδιορισμό της πρόσληψης νατρίου. Για τις δειγματοληψίες του εδάφους έγινε χρήση ενός πυρηνολήπτη (corer), με τον οποίο συλλέχθηκε εδαφικό δείγμα κοντά στα τοιχώματα της γλάστρας, έτσι ώστε να μην προκληθεί ζημιά στο ριζικό σύστημα των φυτών. Η επεξεργασία των δειγμάτων για την εύρεση του νατρίου περιγράφεται στο Κεφ. 2.1.9. Η συλλογή των στραγγισμάτων πραγματοποιήθηκε προς το τέλος του πειράματος, δηλαδή όταν τα φυτά παρήγαγαν την τελευταία σοδειά τους, με τη βοήθεια σωλήνων, οι οποίοι οδηγούσαν τα στραγγίσματα σε δοχεία συλλογής δειγμάτων. Η εύρεση του νατρίου γίνεται με τον ίδιο τρόπο, όπως και στο έδαφος, τα οποία περιγράφονται στο Κεφ. 2.1.9. Στο τέλος της ζωής των φυτών συλλέχθηκαν τα φύλλα από κάθε σταυρό, τα οποία ξηράθηκαν και θρυμματίστηκαν, έτσι ώστε να απομακρυνθεί η περιεχόμενη υγρασία και να μπορεί να γίνει εφικτή η μέτρηση του νατρίου, το οποίο περιγράφεται στο Κεφ. 2.1.9.



Εικόνα 15: Δειγματοληψία στα φύλλα, στο έδαφος και στα στραγγίσματα.

3.5.3 Συλλογή καρπών

Για τη συλλογή των καρπών γινόταν αντιληπτό το χρώμα τους και η αντίσταση στη σάρκα τους. Όσοι καρποί είχαν ομοιόμορφο κόκκινο χρώμα, σύμφωνα με την Εικόνα 16 και ήταν σχετικά τρυφεροί, τότε κρίνονταν κατάλληλοι για συγκομιδή.

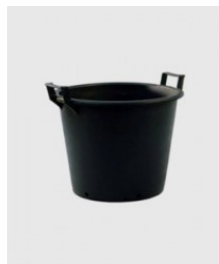


Εικόνα 16: Κατάταξη καρπών με βάση το χρώμα (Fred Hoffman, 2010).

3.5.4 Εργαστηριακός Εξοπλισμός

Προκειμένου να είναι εφικτή η λειτουργία του πειράματος χρησιμοποιήθηκε εξοπλισμός, ο οποίος αποτέλεσε βασικό παράγοντα στη διαπεραίωση του πειράματος (Πίνακας 7).

Πίνακας 7: Εργαστηριακός εξοπλισμός.



Γλάστρα φύτευσης 30 L



Σταλάκτης της εταιρίας Gardena για
στάγδην πότισμα παροχής 1-8 L/h



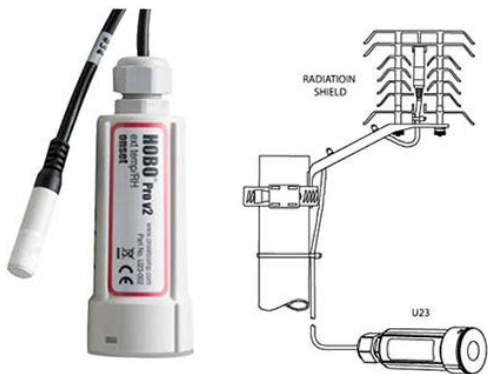
Αντλία ακαθάρτων 400 W της εταιρίας
Raider



Πλαστικό βαρέλι χωρητικότητας 60 L



Σπάγγος για την υποστήριξη των φυτών



Αισθητήρας υγρασίας/θερμοκρασίας HOBO
U23 Pro v2 με προστατευτικό ηλιακής
ακτινοβολίας

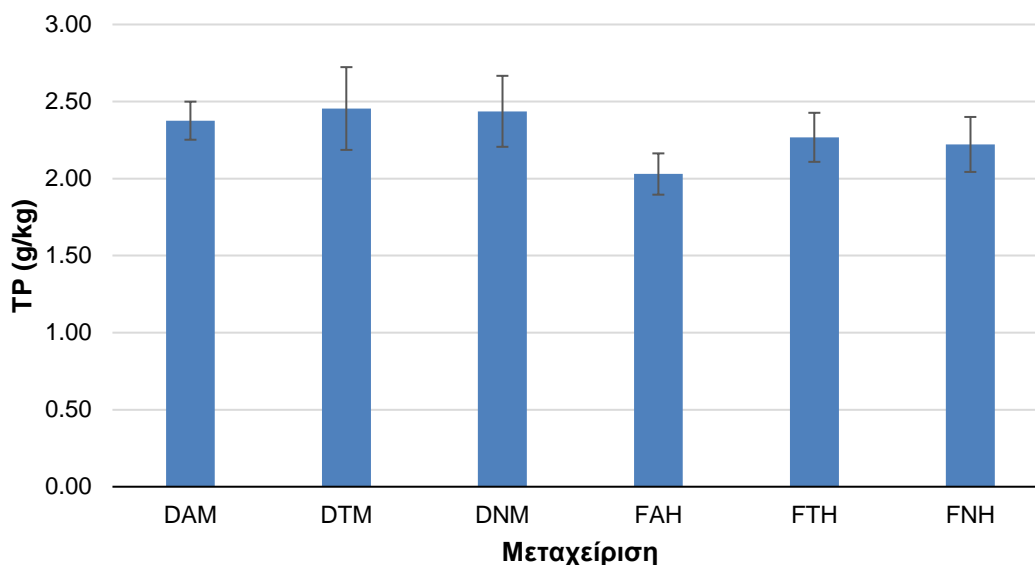


Αγωγιμόμετρο COM-100 της εταιρίας HM
Digital, με δυνατότητα μέτρησης EC και
TDS

4 Αποτελέσματα

4.1 Ολικός φωσφόρος (TP)

Στην Εικόνα 17 απεικονίζεται η συσχέτιση του Ολικού Φωσφόρου (Total Phosphorus), για κάθε μεταχείριση. Πραγματοποιήθηκε μία δειγματοληψία, διότι σύμφωνα με προηγούμενα πειράματα (Deligianni and Tsanis, 2016; Koutskoudis and Tsanis, 2016; Wagner and Tsanis, 2016), οι μεταβολές του Ολικού Φωσφόρου καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος ήταν μικρές. Οι μεταχειρίσεις με το υποβαθμισμένο έδαφος παρουσιάζουν ελαφρώς υψηλότερες τιμές, σε σχέση με τις μεταχειρίσεις φρέσκου χώματος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το υποβαθμισμένο έδαφος έχει χρησιμοποιηθεί ξανά για καλλιέργεια φυτών τομάτας, με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγαλύτερη συγκέντρωση του φωσφόρου, λόγω των λιπασμάτων. Υψηλότερη είναι η μεταχείριση DTM, με τιμή 2.45 g/kg και αμέσως επόμενες οι DNM και DAM, με τιμές 2.44 g/kg και 2.38 g/kg αντίστοιχα. Αντίθετα, στις μεταχειρίσεις με το φρέσκο έδαφος και την υψηλότερη αλατότητα ($3.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$), μεγαλύτερη τιμή παρουσίασε η μεταχείριση FTH ίση με 2.27 g/kg, ενώ η FNH και η FAH είναι 2.22 g/kg και 2.03 g/kg αντίστοιχα.



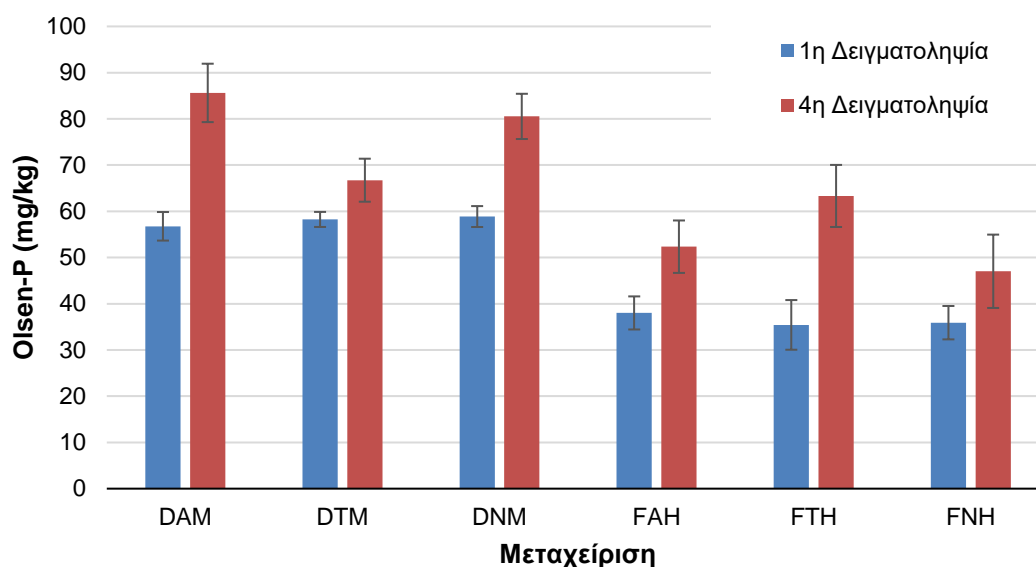
Εικόνα 17: Ολικός φωσφόρος σε σχέση με την κάθε μεταχείριση για την 1η δειγματοληψία.

4.2 Διαθέσιμος φωσφόρος (Olsen-P)

Στην Εικόνα 18 απεικονίζεται η συσχέτιση του Olsen Phosphorous για την κάθε μεταχείριση. Οι μπλε στήλες αφορούν την 1^η δειγματοληψία, δηλαδή στην αρχή της καλλιέργειας των φυτών και η κόκκινη στήλη την 4^η δειγματοληψία, η οποία πραγματοποιήθηκε στο τέλος της καλλιέργειας των φυτών. Στην 1^η δειγματοληψία του υποβαθμισμένου και του φρέσκου

εδάφους οι μετρήσεις είναι παραπλήσιες, γεγονός που δείχνει ότι στην αρχή του πειράματος η κατάσταση του εδάφους ήταν σχεδόν ίδια σε κάθε γλάστρα της ίδιας σειράς (D ή F). Διαπιστώνεται ότι όλες οι τιμές της 4^{ης} δειγματοληψίας είναι υψηλότερες από αυτές της 1^{ης}, το οποίο είναι λογικό, διότι καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος γινόταν προσθήκη λιπασμάτων. Στην τελευταία δειγματοληψία, μεγαλύτερη τιμή παρουσίασε η μεταχείριση DAM με τιμή 85.61 mg/kg. Σε αντίθεση, στο φρέσκο έδαφος μεγαλύτερη τιμή (63.32 mg/kg) παρουσίασε η μεταχείριση με το μύκητα *T. harzianum*.

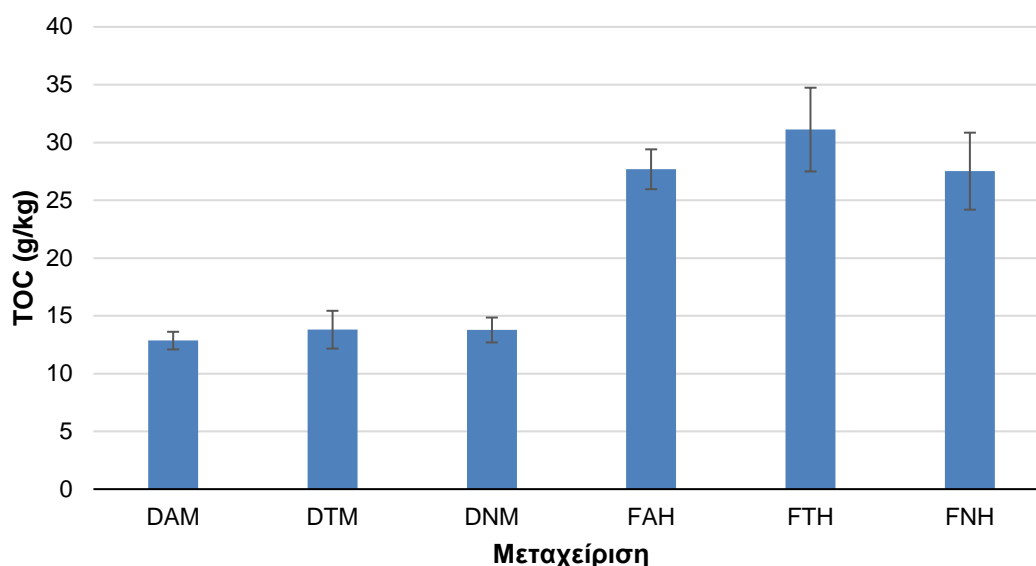
Στην περίπτωση του φρέσκου εδάφους (F), τα αποτελέσματα των μεταχειρίσεων FTH και FNH συμφωνούν με τους Deligianni and Tsanis (2016) που παρατήρησαν ότι κατά το τέλος της καλλιέργειας η μεταχείριση με το μύκητα *T. harzianum* σημείωσε υψηλότερη τιμή Olsen-P σε σχέση με τη μεταχείριση χωρίς το μύκητα. Στην περίπτωση του υποβαθμισμένου εδάφους (D), συγκρίνοντας τις μεταχειρίσεις DTM και DNM, παρατηρείται ότι στο τέλος της καλλιέργειας, ο μύκητας *T. harzianum* παρουσίασε μικρότερη τιμή Olsen-P (66.73 mg/kg), έναντι της μεταχείρισης DNM, με τιμή 80.53 mg/kg. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι ο μύκητας *T. harzianum* επηρεάζεται από το περιβάλλον στο οποίο εφαρμόζεται, το οποίο ήταν εξ αρχής επηρεασμένο από την αλατότητα. Επομένως, δεν ήταν ευνοϊκό για την ανάπτυξή του και τη συμβολή του στην αντιμετώπιση της αλατότητας. Όσον αφορά τις μεταχειρίσεις με το χουμικό οξύ (DAM και FAH), οι τιμές τους είναι εντός του τυπικού σφάλματος των μεταχειρίσεων DNM και FNH, οπότε το χουμικό οξύ δε σημειώνει σημαντική διαφορά για την καταπολέμηση της αλατότητας.



Εικόνα 18: Διαθέσιμος φωσφόρος σε σχέση με την κάθε μεταχείριση της 1ης και 4ης δειγματοληψίας.

4.3 Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC)

Ο Ολικός Οργανικός Άνθρακας (TOC) μετρήθηκε στην αρχή της καλλιέργειας των φυτών, διότι δε μεταβάλλεται σημαντικά κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας (Deligianni and Tsanis, 2016; Koutskoudis and Tsanis, 2016; Wagner and Tsanis, 2016) και τα αποτελέσματα αποτυπώνονται στην Εικόνα 19. Οι μεταχειρίσεις με το υποβαθμισμένο έδαφος έχουν σημαντική διαφορά, σε σχέση με το φρέσκο, γιατί το φρέσκο έδαφος αποτελείται από ανόργανο της περιοχής μελέτης, με την προσθήκη οργανικού λιπάσματος (κοπριά). Αντίθετα, στο υποβαθμισμένο έδαφος έχει απομείνει η ποσότητα του οργανικού υλικού της προηγούμενης καλλιέργειας. Στο υποβαθμισμένο έδαφος οι τιμές είναι παραπλήσιες, με μεγαλύτερη την DTM 13.80 g/kg και μικρότερη την DAM 12.85 g/kg. Ενώ, το χουμικό αποτελείται από οργανικά συστατικά, παρουσίασε τη μικρότερη τιμή, η οποία αντιστοιχεί σε 12.85 g/kg. Στο φρέσκο έδαφος, υψηλότερη τιμή σημείωσε η μεταχείριση FTH, με τιμή 31.12 g/kg, ενώ τη χαμηλότερη η μεταχείριση FNH, με τιμή 27.52 g/kg.

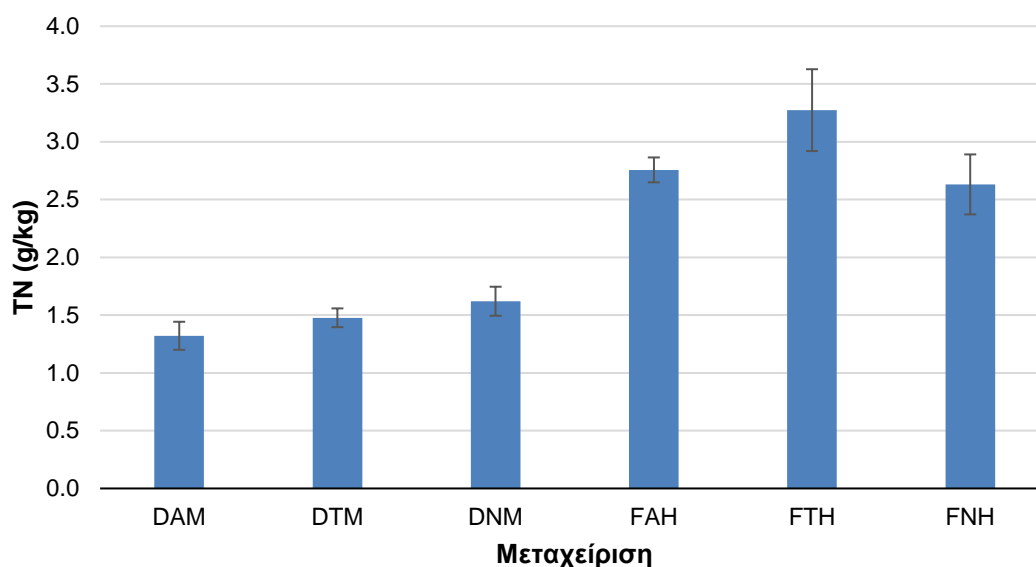


Εικόνα 19: Ολικός οργανικός άνθρακας σε σχέση με την κάθε μεταχείριση της 1ης δειγματοληψίας.

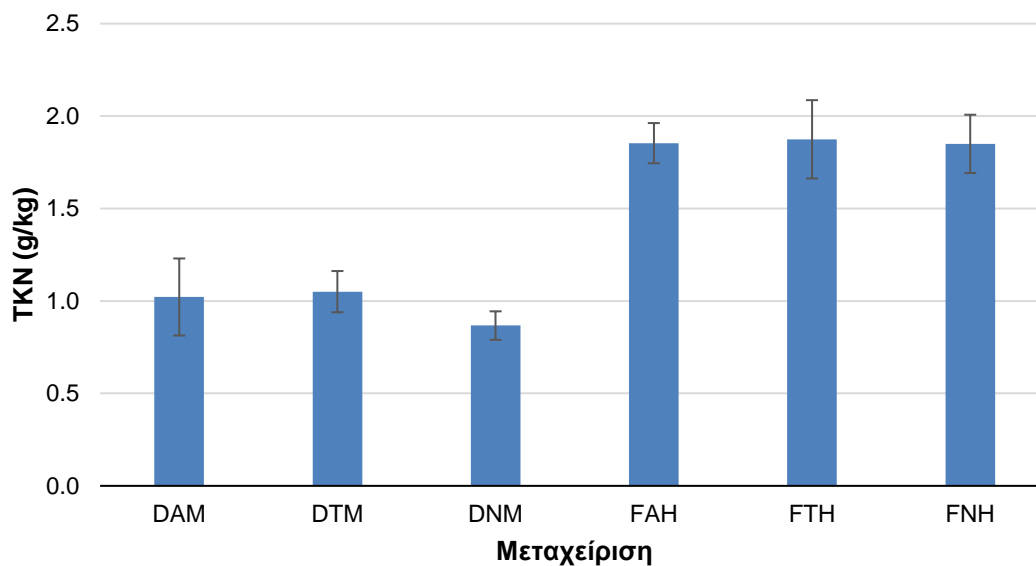
4.4 Ολικό άζωτο (TN) και ολικό άζωτο κατά Kjeldhal (TKN)

Στην Εικόνα 20 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων ολικού αζώτου της 1^{ης} δειγματοληψίας. Το Ολικό Άζωτο δε μεταβάλλεται αρκετά κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας (Deligianni and Tsanis, 2016; Koutskoudis and Tsanis, 2016; Wagner and Tsanis, 2016), γι' αυτό πραγματοποιήθηκε μια δειγματοληψία. Τα υποβαθμισμένα δείγματα, λόγω της προηγούμενης καλλιέργειας παρουσιάζουν μικρότερες τιμές Ολικού Αζώτου, διότι ένα μέρος του είχε δεσμευθεί από τα φυτά. Όσον αφορά το υποβαθμισμένο έδαφος, τα αποτελέσματα έχουν εύρος από 1.32 g/kg έως 1.62 g/kg. Παρατηρείται ότι στα δείγματα του υποβαθμισμένου

εδάφους, το χουμικό οξύ και ο μύκητας *T. harzianum* έχουν μικρότερες τιμές ολικού αζώτου, σε σχέση με το έδαφος χωρίς εδαφοβελτιωτικό, ενώ στο φρέσκο έδαφος, το χουμικό οξύ και το *T. harzianum* είναι υψηλότερα. Οι τιμές τους αντιστοιχούν σε 2.76 g/kg (FAH) και 3.27 g/kg (FTH).



Εικόνα 20: Ολικό άζωτο σε σχέση με την κάθε μεταχείριση της 1ης δειγματοληψίας.



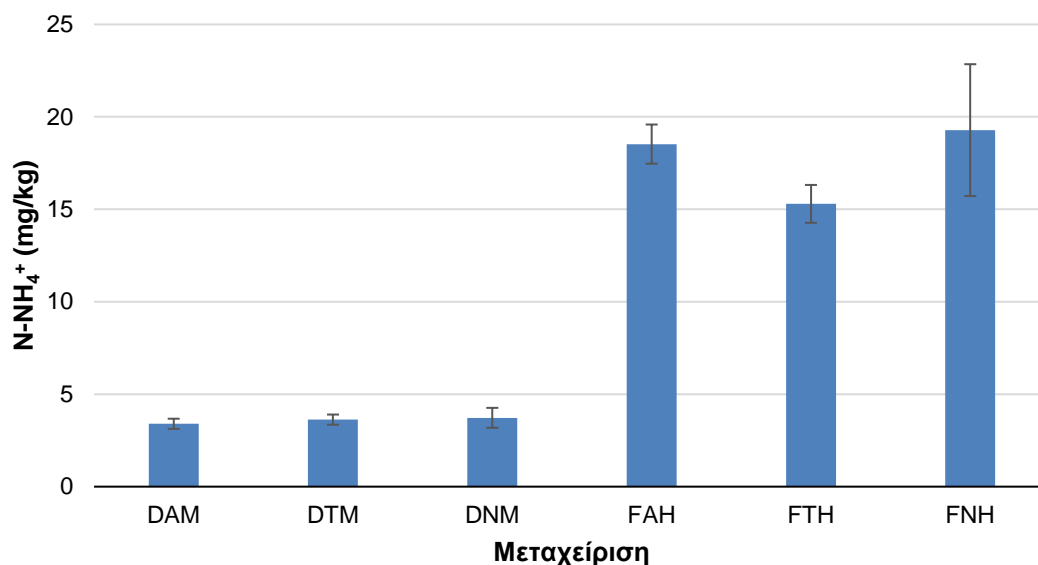
Εικόνα 21: Ολικό άζωτο κατά Kjeldhal σε σχέση με την κάθε μεταχείριση της 1ης δειγματοληψίας.

Όσον αφορά το ολικό άζωτο κατά Kjeldhal (Εικόνα 21), τόσο στο υποβαθμισμένο, όσο και στο φρέσκο έδαφος, οι τιμές είναι πολύ κοντά. Όπως στις μετρήσεις του TN, έτσι και στις μετρήσεις του TKN, δεν παρατηρείται σημαντική μεταβολή κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας (Deligianni and Tsanis, 2016; Koutskoudis and Tsanis, 2016; Wagner and Tsanis, 2016) και το υποβαθμισμένο έδαφος είναι φτωχότερο, σε σχέση με το φρέσκο στην αρχή της καλλιέργειας.

Στο υποβαθμισμένο έδαφος μεγαλύτερη τιμή (1.05 g/kg) σημείωσε η μεταχείριση DTM, ενώ τη μικρότερη (0.87 g/kg) η μεταχείριση DNM. Στο φρέσκο έδαφος οι μεταχειρίσεις FAH και FNH σημειώνουν ίσες τιμές (1.85 g/kg), ενώ η μεταχείριση FTH αντιστοιχεί σε 1.87 g/kg. Συγκρίνοντας τις Εικόνες 20 και 21, παρατηρείται ότι οι τιμές του αζώτου στο φρέσκο έδαφος (F), είναι υψηλότερες από τις τιμές του υποβαθμισμένου εδάφους (D), διότι το φρέσκο έδαφος, στην αρχή του πειράματος αναμίχθηκε με οργανικό λίπασμα, το οποίο είναι πλούσιο σε άζωτο.

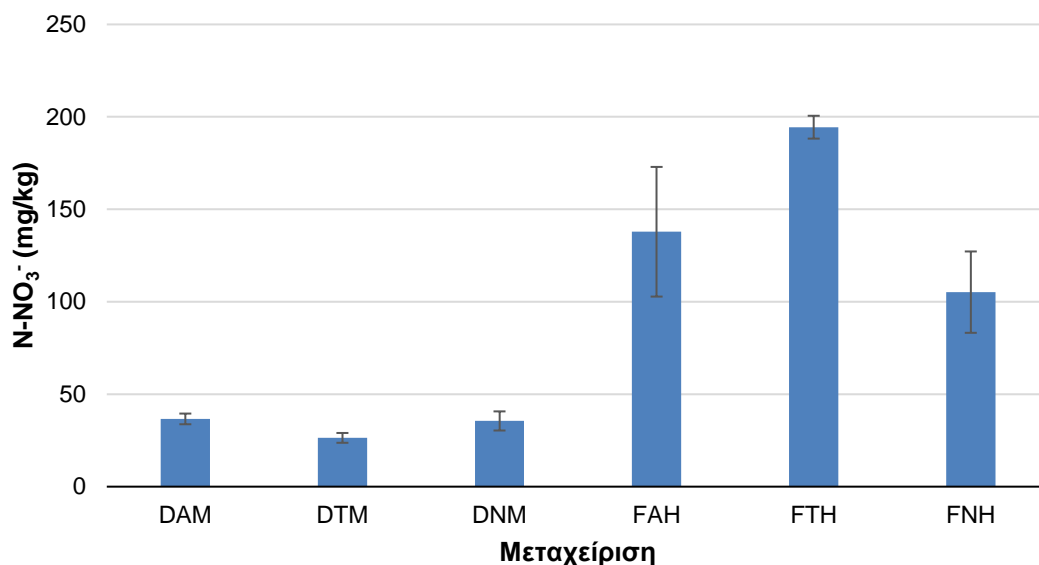
4.5 Άζωτο υπό μορφή αμμωνιακών (N-NH_4^+) και άζωτο υπό μορφή νιτρικών (N-NO_3^-)

Το άζωτο (N) είναι ένα μοναδικό θρεπτικό συστατικό επειδή, αντίθετα με τα άλλα βασικά θρεπτικά συστατικά, τα φυτά μπορούν να το χρησιμοποιήσουν είτε στη μορφή κατιόντων, του αμμωνίου (NH_4^+), είτε στη μορφή ανιόντων του νιτρικού (NO_3^-) (Miller and Donahue, 1990; Wang et al., 2009). Επειδή, το άζωτο δε μεταβάλλεται σημαντικά κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας, πραγματοποιήθηκε μέτρηση μόνο στην αρχή της καλλιέργειας (Deligianni and Tsanis, 2016; Koutskoudis and Tsanis, 2016; Wagner and Tsanis, 2016). Στην Εικόνα 22 αποτυπώνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων για το αμμωνιακό άζωτο. Συγκρίνοντας τις μεταχειρίσεις μέτριας και υψηλής αλατότητας παρατηρείται μεγάλη διαφορά, η οποία οφείλεται στο γεγονός ότι στο υποβαθμισμένο έδαφος έχει καταναλωθεί ένα μέρος του αζώτου από τα φυτά της προηγούμενης καλλιέργειας, όπως και στην περίπτωση του ολικού αζώτου και του ολικού αζώτου κατά Kjeldhal (Ενότητα 4.4). Στις μεταχειρίσεις μέτριας αλατότητας δεν υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ των τιμών. Τα αποτελέσματα κυμαίνονται από 3.40 mg/kg (DAM) έως 3.72 mg/kg (DNM). Όσον αφορά τις μεταχειρίσεις υψηλής αλατότητας, τη μεγαλύτερη τιμή σημείωσε η μεταχείριση FNH, που αντιστοιχεί σε 19.28 mg/kg, ενώ οι μεταχειρίσεις FAH και FTH είναι 18.53 mg/kg και 15.29 mg/kg αντίστοιχα.



Εικόνα 22: Άζωτο υπό μορφή αμμωνιακών σε σχέση με την κάθε μεταχείριση της 1ης δειγματοληψίας.

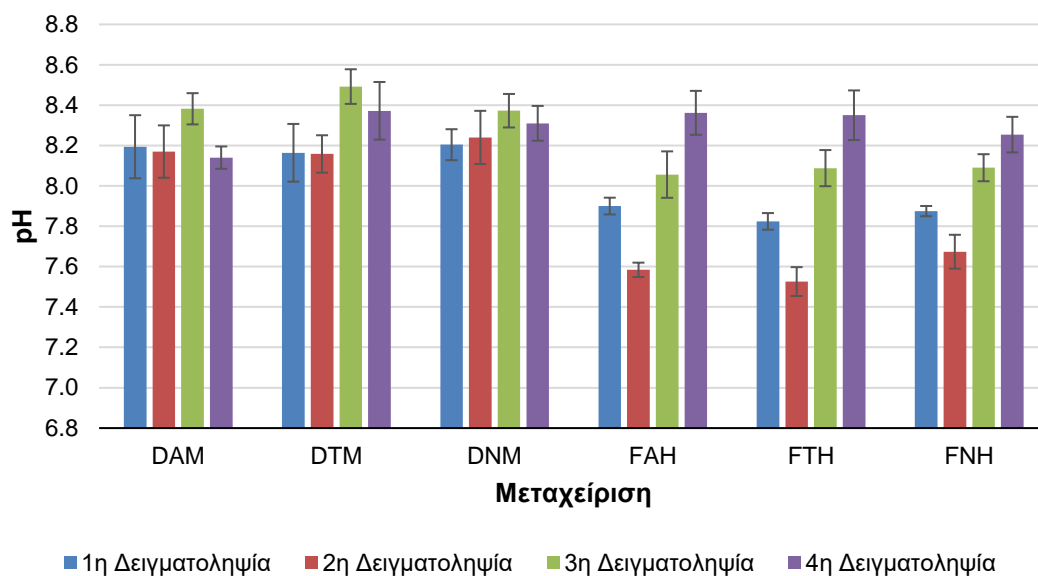
Το NO_3^- είναι μια σημαντική πηγή N για τα φυτά. Σε σύγκριση με το NH_4^+ , το NO_3^- έχει το πλεονέκτημα ότι είναι μια μορφή αποθήκευσης στα φυτά, χωρίς καμία ανάγκη να αφομοιωθεί στις ρίζες. Επιπλέον, η θρέψη με NO_3^- προκαλεί αύξηση, παρά μείωση του pH της ριζόσφαιρας και δεν υπάρχει κίνδυνος τοξικότητας σε αλκαλικό pH (Marschner, 1995; Wang et al., 2009). Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις του αζώτου υπό μορφή νιτρικών (Εικόνα 23). Οι μετρήσεις του υποβαθμισμένου εδάφους είναι μικρότερες του φρέσκου, διότι όπως προαναφέρθηκε παραπάνω, έχει γίνει δέσμευση του αζώτου από τα φυτά της προηγούμενης καλλιέργειας, σε σχέση με τις μεταχειρίσεις υψηλής αλατότητας και το φρέσκο έδαφος είναι πλούσιο σε ανόργανα συστατικά.. Οι μετρήσεις μέτριας αλατότητας έχουν εύρος από 26.38 mg/kg έως 36.64 mg/kg, ενώ στο φρέσκο έδαφος οι μετρήσεις υψηλής αλατότητας έχουν εύρος από 105.20 mg/kg έως 194.41 mg/kg. Τόσο στο υποβαθμισμένο, όσο και στο φρέσκο οι μεταχειρίσεις DAM και FAH είναι μεγαλύτερες των DNM και FNN. Αντίθετα, στην περίπτωση του μύκητα *T. harzianum* υπάρχουν διαφορές μεταξύ υποβαθμισμένου και φρέσκου εδάφους. Στο υποβαθμισμένο έδαφος, η DTM σημειώνει τη μικρότερη τιμή, ενώ στο φρέσκο, η FTH τη μεγαλύτερη, που σημαίνει ότι μεγάλη ποσότητα του αμμωνιακού αζώτου (Εικόνα 22) μετατράπηκε σε νιτρικά (Εικόνα 23), αλλά παρέμεινε στο έδαφος.



Εικόνα 23: Άζωτο υπό μορφή νιτρικών σε σχέση με την κάθε μεταχείριση της 1ης δειγματοληψίας.

4.6 Συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου (pH)

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για το pH στο έδαφος, τόσο για το υποβαθμισμένο, όσο και για το φρέσκο έδαφος (Εικόνα 24). Σύμφωνα με τους (Van Beek and Tóth, 2012), το όριο της τιμής του pH, προκειμένου να θεωρηθεί ένα έδαφος αλκαλικό ή αλατώδες είναι το 8.5. Παρατηρείται ότι σε όλες τις μεταχειρίσεις και τις δειγματοληψίες, η τιμή του pH δεν έχει υπερβεί το 8.5. Το pH αυξάνεται με την αύξηση της αλατότητας (Gurta et al., 1989). Συνεπώς, το υποβαθμισμένο έδαφος, σε σχέση με το φρέσκο παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές pH σε όλες τις δειγματοληψίες και μεταχειρίσεις, λόγω του ότι το έδαφος αυτό υπόκειται σε υφάλμυρο νερό άρδευσης από την προηγούμενη καλλιέργεια τοματών. Οι διακυμάνσεις στην τιμή του pH ανάμεσα στις δειγματοληψίες, τόσο για το υποβαθμισμένο, όσο και για το φρέσκο έδαφος, μπορεί να οφείλεται στο διαφορετικό χρόνο άρδευσης των φυτών. Στην 1^η και 2^η δειγματοληψία του υποβαθμισμένου εδάφους μέτριας αλατότητας, τα αποτελέσματα του pH δεν παρουσιάζουν σημαντική διαφορά, ενώ από την 3^η δειγματοληψία έως την 4^η παρατηρούνται διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων, με μεγαλύτερη τη μεταχείριση DTM, η οποία σημειώνει pH=8.49. Στο φρέσκο έδαφος υψηλής αλατότητας υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δειγματοληψιών, ενώ οι τιμές μεταξύ των μεταχειρίσεων είναι πολύ κοντά. Κυρίως υπάρχει αύξηση του pH λόγω της αλατότητας, με εξαίρεση τη 2^η δειγματοληψία, κατά την οποία εκείνο το χρονικό διάστημα είχε μειωθεί ο χρόνος άρδευσης.



Εικόνα 24: Μετρήσεις pH τεσσάρων δειγματοληψιών σε σχέση με την κάθε μεταχείριση.

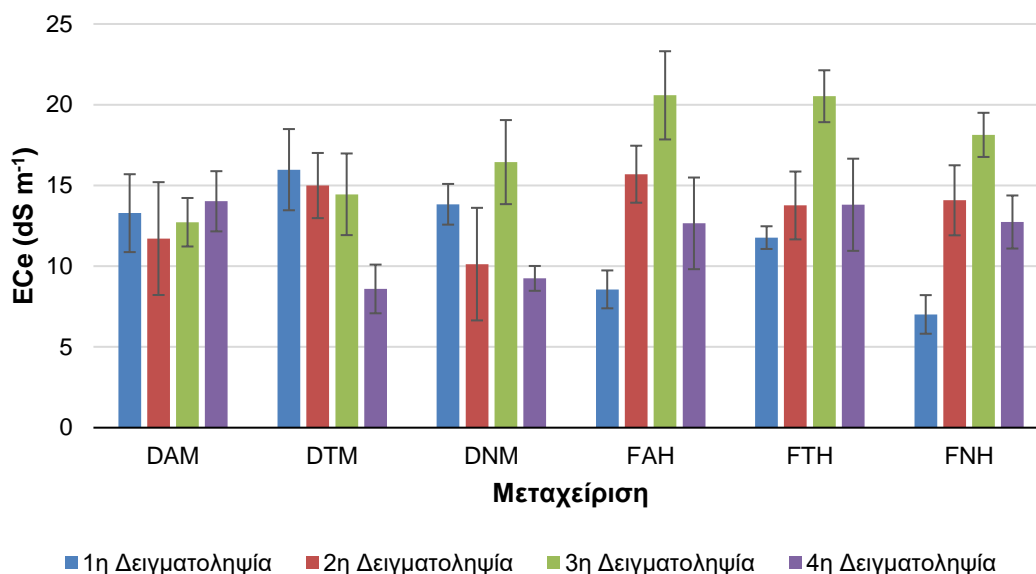
4.7 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα Εδάφους

Η Εικόνα 25 απεικονίζει τη σχέση της EC_e με την κάθε δειγματοληψία που διεξάχθηκε. Λόγω του ότι υπήρχαν διαφορές στο χρόνο ποτίσματος και στον όγκο του νερού, παρατηρείται αυξομείωση σχεδόν σε όλες τις μεταχειρίσεις. Όσον αφορά τις μεταχειρίσεις υψηλής αλατότητας, κατά τη χρονική περίοδο της 3^{ης} δειγματοληψίας σημειώνονται υψηλότερες τιμές, λόγω αυξημένης άρδευσης, όπως και στις τιμές του pH που αναφέρθηκαν στην ενότητα 4.6. Τα αποτελέσματα αυτά, συμφωνούν και με τη διπλωματική Deligianni and Tsanis (2016).

Κατά την τελευταία δειγματοληψία, παρατηρείται ότι οι τιμές του EC_e , πλην της μεταχείρισης DAM είναι μικρότερες από την 3^η δειγματοληψία. Τα φυτά έχουν σταματήσει την παραγωγή τους, όμως συνεχιζόταν η άρδευση με υφάλμυρο ύδωρ, με αποτέλεσμα να προκαλείται έκπλυση των αλάτων από το έδαφος και συνεπώς μικρότερη τιμή της EC_e . Τη μεγαλύτερη μείωση στο υποβαθμισμένο έδαφος σημείωσε η μεταχείριση DNM, της τάξης του 43.8%, με αρχική τιμή $16.45 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ και τελική $9.25 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$. Η μεταχείριση DAM σημείωσε αύξηση από την 3^η δειγματοληψία, στην 4^η, διότι πιθανόν τα φυτά δεν είχαν φθάσει ακόμα στο τέλος της ζωής τους και απορροφούσαν το ύδωρ, αφήνοντας το NaCl στο έδαφος. Στο φρέσκο έδαφος, τη μεγαλύτερη μείωση σημείωσε η μεταχείριση FAH, της τάξης του 38.5%, με αρχική τιμή $20.58 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ και τελική $12.65 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$.

Στο υποβαθμισμένο έδαφος (D), οι τιμές του EC_e κυμαίνονται από $8.59 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ έως $16.45 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$. Μεγαλύτερη μεταβολή από την αρχή της καλλιέργειας έως και το τέλος, παρουσίασε η μεταχείριση DTM, με ποσοστό 46.2%. Στο φρέσκο έδαφος (F), την υψηλότερη μεταβολή παρουσίασε η μεταχείριση FNH, με ποσοστό 81.6%. Τόσο στις μεταχειρίσεις φρέσκου, όσο

και υποβαθμισμένου εδάφους, παρατηρείται ότι οι βιολογικές τεχνικές (*T. harzianum* και χουμικό οξύ) δε βοηθούν σημαντικά στον έλεγχο της ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

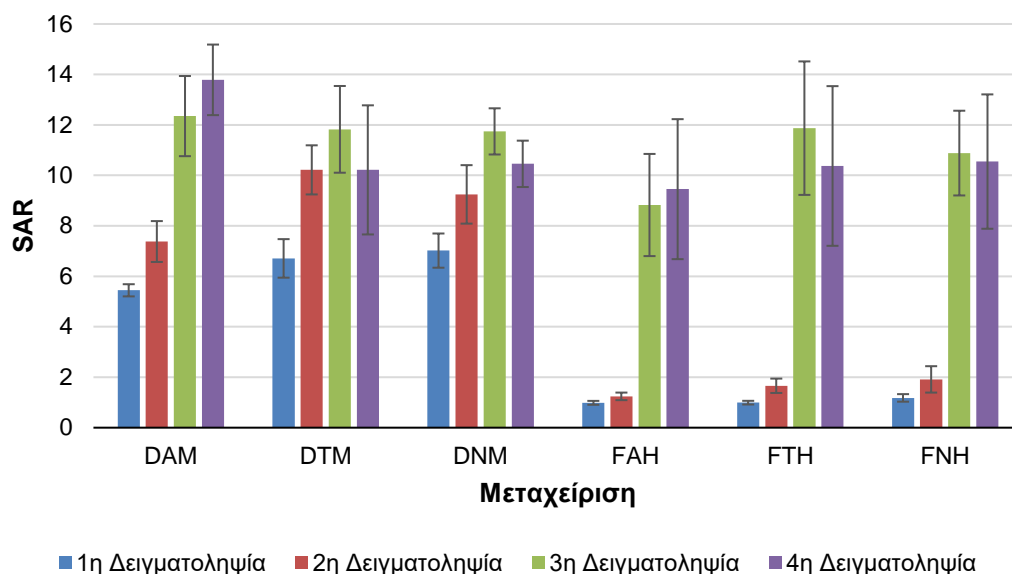


Εικόνα 25: Μετρήσεις ECe τεσσάρων δειγματοληψιών σε σχέση με την κάθε μεταχείριση.

4.8 Λόγος Προσρόφησης Νατρίου (SAR)

Ο δείκτης SAR προκύπτει από την ανάλυση των μετάλλων του εδάφους (Na^+ , Ca^{2+} και Mg^{2+}) και τα αποτελέσματα αποτυπώνονται στην Εικόνα 26. Σύμφωνα με το (USDA, 2017), για τιμή του SAR πάνω από 13 αρχίζουν να υπάρχουν προβλήματα με την ποιότητα του εδάφους. Τιμή μεγαλύτερη του 13 σημείωσε μόνο η 4^η δειγματοληψία της μεταχείρισης DAM, με τιμή που αντιστοιχεί σε 13.79. Στην εργασία των Deligianni and Tsanis (2016), η μέγιστη τιμή του SAR που σημειώθηκε ήταν 16.4. Συνεπώς, στην παρούσα έρευνα, ο SAR είναι μικρότερος, όμως δεν παρουσιάζει σημαντική διαφορά. Όσον αφορά το υποβαθμισμένο έδαφος, υπάρχει αύξηση μέχρι την 3^η δειγματοληψία, το οποίο είναι λογικό, γιατί γίνεται συσσώρευση του άλατος στο έδαφος, με αποτέλεσμα την αύξηση του δείκτη SAR. Στην 4^η δειγματοληψία των μεταχειρίσεων DTM και DNM γίνεται μείωση κατά 13.6% και 11.0%, αντίστοιχα, διότι σημειώθηκε έκπλυση του εδάφους, λόγω του ότι τα φυτά δεν απορροφούσαν θρεπτικά συστατικά. Στο φρέσκο έδαφος, οι πρώτες δύο δειγματοληψίες έχουν πολύ μικρές τιμές, από 0.98, έως 1.18 για την 1^η δειγματοληψία και από 1.24 έως 1.91 για τη 2^η δειγματοληψία. Αυτό οφείλεται στο ότι μέχρι και τη χρονική περίοδο της 2^{ης} δειγματοληψίας, η κατάσταση του εδάφους ήταν πολύ καλή, σε σχέση με την αρχική κατάσταση του υποβαθμισμένου εδάφους, ενώ από την 3^η δειγματοληψία παρατηρείται ραγδαία αύξηση του SAR, λόγω της αυξημένης άρδευσης. Σε όλες τις μεταχειρίσεις δεν παρατηρείται σημαντική βελτίωση της αλατότητας, σε σχέση με τις μεταχειρίσεις χωρίς βιολογικές τεχνικές, το οποίο ίσως να οφείλεται στο γεγονός

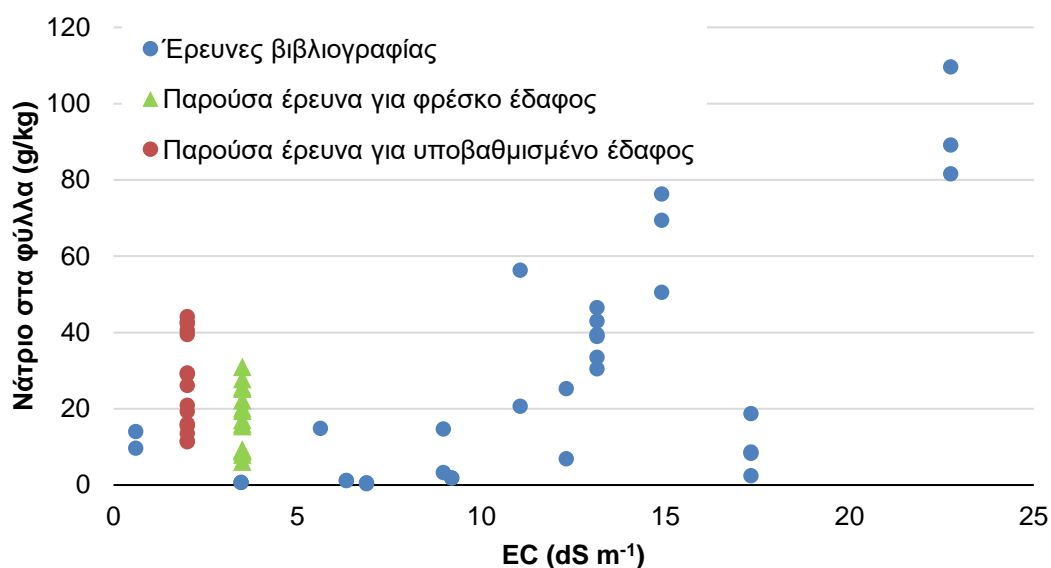
ότι το *T. harzianum* και το χουμικό οξύ συμβάλουν στην καταπολέμηση της αλατότητας σε μεγαλύτερες τιμές του δείκτη SAR.



Εικόνα 26: Μετρήσεις SAR τεσσάρων δειγματοληψιών σε σχέση με την κάθε μεταχείριση.

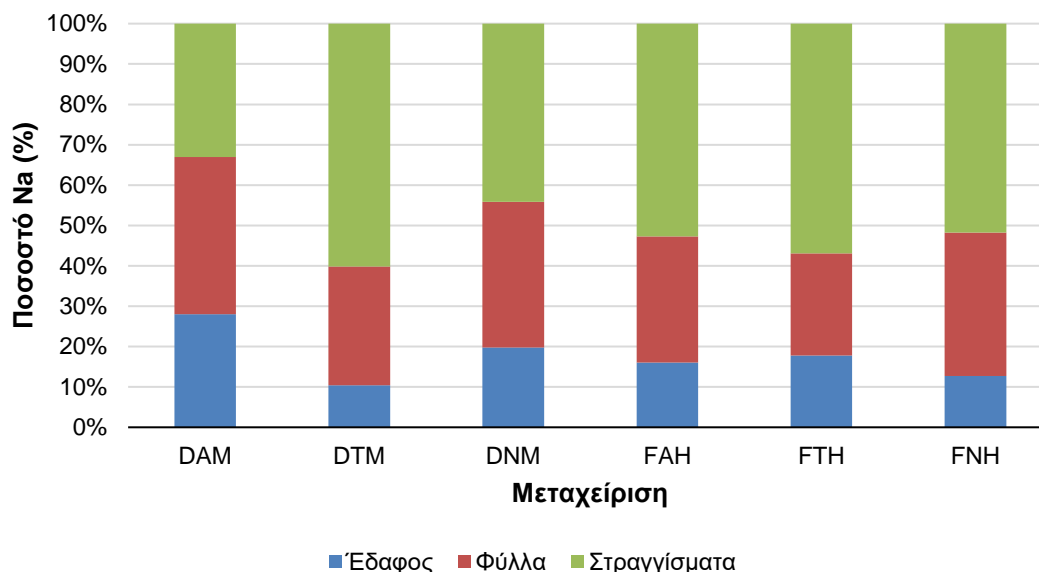
4.9 Ισοζύγιο Na στο έδαφος, στα φύλλα και στα στραγγίσματα

Μια ακόμη παράμετρος που εξετάστηκε είναι η κατανομή του Νατρίου στους φυτικούς ιστούς, στο έδαφος και στα στραγγίσματα, για τις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με νερό μέτριας ($2.0 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$) και υψηλής αγωγιμότητας ($3.5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$). Με τη βοήθεια των αποτελεσμάτων της βιβλιογραφίας, πραγματοποιείται σύγκριση με τα αποτελέσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Στην Εικόνα 27 αποτυπώνονται οι συγκεντρώσεις του νατρίου των παλαιών ερευνών, όπως και της παρούσας, σε σχέση με την ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC). Παρατηρείται ότι στην παρούσα έρευνα, οι συγκεντρώσεις του νατρίου στα φύλλα είναι υψηλότερες, σε σχέση με τις παλαιότερες έρευνες για παρόμοιες τιμές αγωγιμότητας άρδευσης. Επίσης, παρατηρείται ότι η μεταχείριση με το υποβαθμισμένο έδαφος παρουσιάζει μεγαλύτερες συγκεντρώσεις Na στα φύλλα των φυτών, σε σχέση με αυτήν του φρέσκου εδάφους, παρόλη τη διαφορά της ποιότητας άρδευσης. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι, η κατάσταση του εδάφους αποτελεί σημαντικότερο παράγοντα ρύθμισης της τελικής συγκέντρωσης Na στα φύλλα. Άλλωστε, τα φυτά της σειράς μεταχειρίσεων D βρέθηκαν εκτεθειμένα στην αλάτωση για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα από αυτά της σειράς F, όπου το φαινόμενο εδραιώθηκε σταδιακά.



Εικόνα 27: Το νάτριο στα φύλλα του φυτού τομάτας της παρούσας έρευνας σε σχέση με παλαιότερες.

Τα φυτά με νερό άρδευσης μέτριας αγωγιμότητας δέχονταν 1g/L NaCl και της υψηλής 2g/L NaCl. Οι συγκεντρώσεις αυτές μεταφράζονται ως 0.4g/L Na και 0.8g/L Na, αντίστοιχα. Στην Εικόνα 28 παρουσιάζονται τα ποσοστά σε Νάτριο που έχουν προσληφθεί από το έδαφος, τα φύλλα και τα στραγγίσματα.



Εικόνα 28: Ποσοστά Νατρίου στο έδαφος, στα φύλλα και στα στραγγίσματα σε σχέση με την κάθε μεταχείριση.

Όσον αφορά το έδαφος, το μεγαλύτερο ποσοστό σημείωσε η μεταχείριση με το υποβαθμισμένο έδαφος και την προσθήκη χουμικού (DAM), με τιμή 28%. Αντίθετα, τη μικρότερη τιμή παρουσίασε η μεταχείριση με το υποβαθμισμένο έδαφος και την προσθήκη *T. harzianum* (DTM), με τιμή 11%. Όμως, στα φυτά με νερό υψηλής αγωγιμότητας παρουσιάστηκε το

αντίθετο, δηλαδή το *T. harzianum* παρουσίασε το υψηλότερο ποσοστό Νατρίου (18%), σε σχέση με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις. Όσον αφορά τα φύλλα, το *T. harzianum* βοήθησε στη μείωση της πρόσληψης Νατρίου, τόσο στην περίπτωση της μέτριας αγωγιμότητας, όσο και της υψηλής. Στην περίπτωση των φύλλων, το υψηλότερο ποσοστό παρουσίασε η μεταχείριση DAM (39%), ενώ το χαμηλότερο, η FTH (25%). Στα στραγγίσματα, οι μεταχειρίσεις με το *T. harzianum* (DTM και FTH) είχαν τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε νάτριο, σε ποσοστό 61% και 56%, αντίστοιχα. Σε όλες τις μεταχειρίσεις, με εξαίρεση την DAM, η περιεκτικότητα σε νάτριο των στραγγισμάτων είναι μεγαλύτερη από το έδαφος και τα φύλλα. Το ίδιο επιβεβαιώνεται στις Εικόνες 25 και 26, όπου στο τέλος της καλλιέργειας των φυτών παρατηρήθηκε έκπλυση του νατρίου από το έδαφος.

5 Συμπεράσματα

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, εξάγονται ορισμένα συμπεράσματα τα οποία θα βοηθήσουν στην εύρεση της βέλτιστης μεθόδου για την αντιμετώπιση της αλατότητας κάτω από τις συνθήκες τους πειράματος. Η αλατότητα αποτελεί σοβαρό φαινόμενο υποβάθμισης των εδαφών, γι' αυτό το λόγο κρίνεται απαραίτητο να βρεθούν τρόποι, προκειμένου να καλλιεργούνται φυτικές καλλιέργειες με τη μικρότερη επίδραση από την αλατότητα.

Όσον αφορά τον ολικό φωσφόρο, δεν προκύπτει σημαντική αλλαγή κατά τη διάρκεια του πειράματος, το οποίο επαληθεύεται από τη διπλωματική εργασία Deligianni and Tsanis (2016). Επίσης, σε όλες τις μεταχειρίσεις ο φωσφόρος δεν υπερβαίνει το όριο των 4 g/kg σύμφωνα με τους Qian et al. (2004). Συνεπώς, καμία από τις δύο τεχνικές δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές.

Το pH καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιέργειας δεν υπερβαίνει το 8.5, παρόλο που η αλατότητα αυξάνεται με την προσθήκη NaCl (Gupta et al., 1989). Η τιμή του pH μεταβάλλεται σημαντικά με το χρόνο άρδευσης, το οποίο επιβεβαιώνεται στο φρέσκο έδαφος, όπου μεταξύ των δειγματοληψιών υπήρχε αλλαγή στο χρόνο άρδευσης. Αντίθετα, στο υποβαθμισμένο έδαφος οι διαφορές είναι ελάχιστες μεταξύ των δειγματοληψιών, το οποίο επιβεβαιώνεται και στη διπλωματική εργασία Deligianni and Tsanis (2016).

Όσον αφορά την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους (EC_e), δεν ξεχώρισε κάποια από τις εφαρμοσμένες βιολογικές τεχνικές, ίσως, επειδή για να συμβάλουν στην καταπολέμηση της αλατότητας έπρεπε η κατάσταση του εδάφους να ήταν περισσότερο υποβαθμισμένη και τα επίπεδα αλατότητας πιο υψηλά. Όπως το pH, έτσι και η EC_e μεταβάλλεται ανάλογα με το χρόνο άρδευσης και το στάδιο ανάπτυξης των φυτών. Στο τελευταίο στάδιο, στο οποίο είχε τερματιστεί η ανάπτυξη τους, η EC_e μειώθηκε σε όλες τις μεταχειρίσεις, διότι τα ιόντα άλατος είχαν επλυθεί από το έδαφος, με εξαίρεση την DAM, στην οποία πιθανόν να μην είχε σταματήσει η ανάπτυξη των φυτών.

Στην περίπτωση του λόγου προσρόφησης νατρίου (SAR), ούτε το *T. harzianum*, ούτε το χουμικό οξύ ξεχώρισαν. Οι τιμές του SAR είχαν αντίστοιχη συμπεριφορά, όπως περιεγράφηκε για το pH και για την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους. Οπότε, για να παρατηρηθεί σημαντική βελτίωση ανάμεσα σε κάποια από τις βιολογικές μεθόδους, ίσως χρειάζεται να εφαρμόζονται υψηλότερα επίπεδα αλατότητας. Σημειώνεται ότι, όλες οι μεταχειρίσεις, εκτός την DAM ήταν εντός του ορίου για τιμή SAR 13 (USDA, 2017).

Σε συσχέτιση που πραγματοποιήθηκε ανάμεσα στη συγκέντρωση του νατρίου στα φύλλα των φυτών της παρούσας έρευνας, με παλαιότερες συμπεραίνεται ότι οι συγκεντρώσεις της

παρούσας έρευνας ήταν μεγαλύτερες, για μικρότερες ηλεκτρικές αγωγιμότητες. Η διαφορά αυτή, ίσως να οφείλεται στο είδος της φυτικής καλλιέργειας, στην αρχική κατάσταση του εδάφους, στην ποσότητα του αρδευτικού νερού και στις καιρικές συνθήκες, οι οποίες επηρεάζουν την εξατμισοδιαπνοή. Όσον αφορά το νάτριο των φύλλων μεταξύ του υποβαθμισμένου (D) και του φρέσκου εδάφους (F) συμπεραίνεται ότι στις μεταχειρίσεις με το υποβαθμισμένο έδαφος, παρόλο που τα φυτά αρδεύονται με νερό μέτριας αλατότητας σημειώνουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις νατρίου στα φύλλα, λόγω του ότι τα φυτά υποβάλλονται για μεγαλύτερο διάστημα στην αλατότητα. Τέλος, εξετάστηκε η ποσοστιαία καταμέριση του νατρίου στα φύλλα, στο έδαφος και στα στραγγίσματα. Ο μύκητας *T. harzianum* βοήθησε στη μικρότερη πρόσληψη του νατρίου στα φύλλα, τόσο στο υποβαθμισμένο (DTM), όσο και στο φρέσκο έδαφος (FTH). Επίσης, οι μεταχειρίσεις αυτές περιείχαν τη μεγαλύτερη ποσότητα νατρίου στα στραγγίσματα, επομένως, δε συγκρατείται μεγάλη ποσότητα στο έδαφος, έτσι ώστε να το υποβαθμίζει.

Συμπερασματικά, αν και στις χημικές ιδιότητες του εδάφους δεν ξεχώρισε κάποια από τις δύο βιολογικές τεχνικές που εφαρμόστηκαν για την καταπολέμηση της αλατότητας, στην περίπτωση του νατρίου, το *T. harzianum* αποδεικνύεται καλύτερη μέθοδος, έναντι του χουμικού οξέος.

Η παρούσα μελέτη ασχολήθηκε μόνο με δύο υποσχόμενα βιολογικά συμπληρώματα για τη μείωση των συμπτωμάτων της αλατότητας στο έδαφος και στην παραγωγή τομάτας. Εκτός από τις τεχνικές που εφαρμόστηκαν στην παρούσα έρευνα, θα μπορούσαν μελλοντικά να εφαρμοστούν επιπλέον μέθοδοι για την αντιμετώπιση της αλατότητας και να εφαρμόζονται διαφορετικά επίπεδα αλατότητας, προκειμένου να βρεθεί μέθοδος, η οποία θα επιφέρει περισσότερα θετικά αποτελέσματα. Κύριο μέλημα για τη σωστή ανάπτυξη των φυτών είναι η άρδευση τους με καλής ποιότητας νερό, το οποίο δε θα περιέχει ποσότητες άλατος. Συνεπώς, θα πρέπει να γίνεται μια αρχική ανάλυση του εδάφους και του αρδευτικού ύδατος, στην αρχή της καλλιέργειας, έτσι ώστε να διαπιστωθεί η κατάστασή τους και να εκτιμηθεί αν υφίστανται γόνιμες συνθήκες για τη σωστή ανάπτυξη των φυτών.

6 Βιβλιογραφία

- Adnan, M., Zia-ur-Rehman, M., Yousaf, B., Murtaza, G., Yousaf, A., Latif, M.A., Khan, A.M., 2014. Journal of environment and earth sciences., Journal of Environment and Earth Science.
- Ahmad, S., Ghafoor, A., Akhtar, M.E., Khan, M.Z., 2013. IONIC DISPLACEMENT AND RECLAMATION OF SALINE-SODIC SOILS USING CHEMICAL AMENDMENTS AND CROP ROTATION. L. Degrad. Dev. 24, 170–178. <https://doi.org/10.1002/ldr.1117>
- Akinci, S., Yilmaz, K., Akinci, I.E., 2004. Response of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) to salinity in the early growth stages for agricultural cultivation in saline environments. J. Environ. Biol. 25, 351–7.
- Alexakis, D.D., Daliakopoulos, I.N., Panagea, I.S., Tsanis, I.K., 2016. Assessing soil salinity using WorldView-2 multispectral images in Timpaki, Crete, Greece. Geocarto Int. 1–18. <https://doi.org/10.1080/10106049.2016.1250826>
- Ayers, A.D., 1952. Seed Germination as Affected by Soil Moisture and Salinity1. Agron. J. 44, 82. <https://doi.org/10.2134/agronj1952.00021962004400020006x>
- Bartolini, G., Trincoso, A., Mazuelos, C., 1991. Influence of Na₂SO₄ and NaCl salts on survival, growth and mineral composition of young olive plants in inert sand culture. Adv. Hortic. Sci. [rivista dell'ortoflorootticoltura Ital. 5 (N.2), 1991 5 (N.2), 1000–1004. <https://doi.org/10.1400/14007>
- Bates, R.G. (Roger G., 1973. Determination of pH; theory and practice. Wiley.
- Bauchet, G., Causse, M., 2012. Genetic Diversity in Tomato (*Solanum lycopersicum*) and Its Wild Relatives.
- Bausoin, W.O.N.A.G.M.J.R.L.M.G.M.-G.P.F.M.A.V.H.V. o. Z.C.H.D.I.U., 1990. Protected cultivation in the mediterranean climate. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Beckerlandfarms.com, 2018. Beckerland Farms | Humic Acid [WWW Document]. URL <http://beckerlandfarms.com/humic-acid.html> (accessed 2.20.18).
- Berendse, F., van Ruijven, J., Jongejans, E., Keesstra, S., 2015. Loss of Plant Species Diversity Reduces Soil Erosion Resistance. Ecosystems 18, 881–888. <https://doi.org/10.1007/s10021-015-9869-6>
- Bolarín, M.C., Fernández, F.G., Cruz, V., Cuartero, J., 1991. Salinity Tolerance in Four Wild

- Tomato Species using Vegetative Yield-Salinity Response Curves 116, 286–290.
- Borochoy-Neori, H., Borochoy, A., 1991. Response of Melon Plants to Salt: 1. Growth, Morphology and Root Membrane Properties. *J. Plant Physiol.* 139, 100–105. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(11\)80173-2](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)80173-2)
- Botrini, L., Lipucci Di Paola, M., Graifenberg, A., 2000. Potassium Affects Sodium Content in Tomato Plants Grown in Hydroponic Cultivation under Saline-sodic Stress. *HORTSCIENCE* 35, 1220–1222.
- Brady, N.C., Weil, R.R., 2008. The nature and properties of soils. Prentice Hall, New Jersey.
- Brevik, E.C., Cerdà, A., Mataix-Solera, J., Pereg, L., Quinton, J.N., Six, J., Oost, K. Van, 2015. The interdisciplinary nature of SOIL 1, 117–129. <https://doi.org/10.5194/soil-1-117-2015>
- Briassoulis, D., Waaijenberg, D., Gratraud, J., von Eslnar, B., 1997. Mechanical Properties of Covering Materials for Greenhouses: Part 1, General Overview. *J. Agric. Eng. Res.* 67, 81–96. <https://doi.org/10.1006/JAER.1997.0154>
- Britannica, T.E. of E., 2015. Solanaceae | plant family | Britannica.com [WWW Document]. URL <https://www.britannica.com/plant/Solanaceae> (accessed 2.21.18).
- Carneiro, P.T., Fernandes, P.D., Gheyi, H.R., Soares, F.A.L., Viana, S.B.A., 2004. Salt tolerance of precocious-dwarf cashew rootstocks: physiological and growth indexes. *Sci. Agric.* 61, 9–16. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162004000100002>
- Castilla, N., 1994. GREENHOUSES IN THE MEDITERRANEAN AREA: TECHNOLOGICAL LEVEL AND STRATEGIC MANAGEMENT. *Acta Hortic.* 44–56. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1994.361.3>
- Clark, L.M., 2017. How Far To Space Tomato Plants Of Two Classifications [WWW Document]. URL <https://gardenambition.com/how-far-to-space-tomato-plants/> (accessed 4.28.18).
- Cruz, V., Cuartero, J., 1990. Effects of salinity at several developmental stages of six genotypes of tomato (*Lycopersicon* spp.). *Proc. XIth Eucarpia Meet. tomato Genet. breeding.* 81–86.
- Cuartero, J., Fernández-Muñoz, R., 1998. Tomato and salinity. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 78, 83–125. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(98\)00191-5](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(98)00191-5)
- 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 Editor. *Syst. Sci. Total Environ.*

- De Jaeger, N., de la Providencia, I.E., Dupré de Boulois, H., Declerck, S., 2011. *Trichoderma harzianum* might impact phosphorus transport by arbuscular mycorrhizal fungi. FEMS Microbiol. Ecol. 77, 558–567. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2011.01135.x>
- Dehan, K., Tal, M., 1978. Salt tolerance in the wild relatives of the cultivated tomato: responses of *Solanum pennellii* to high salinity. Irrig. Sci. 1, 71–76. <https://doi.org/10.1007/BF00269009>
- Deligianni, A., Tsanis, I.K., 2016. Effect of irrigation salinity and the fungus *T. harzianum* on quality characteristics of greenhouse soil. Technical University of Crete, Greece.
- Diaz, J.S., Düwel, O., Øygarden, L., Bazzoffi, P., Prasuhn, V., Yordanov, Y., Strauss, P., Rydell, B., 2003. EU Soil Thematic Strategy: Technical Working Group on Erosion Work Package 2: Nature and extent of soil erosion in Europe.
- Ehret, D.L., Ho, L.C., 1986. The effects of salinity on dry matter partitioning and fruit growth in tomatoes grown in nutrient film culture. J. Hortic. Sci. 61, 361–367. <https://doi.org/10.1080/14620316.1986.11515714>
- El-Aidy, F., 1984. RESEARCH ON THE USE OF PLASTICS AND SHADE NETS ON THE PRODUCTION OF SOME VEGETABLE CROPS IN EGYPT.
- Epa, U., 2013. Total Nitrogen [WWW Document]. URL <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/totalnitrogen.pdf> (accessed 10.31.17).
- FAO, 2010. COMMISSION ON GENETIC RESOURCES FOR FOOD AND AGRICULTURE PLANT GENETIC RESOURCES FOR FOOD AND AGRICULTURE.
- FAO, 2000. Crops and Drops: Making the Best Use of Water for Agriculture.
- FAO, 1999. Annex 1. Crop salt tolerance data [WWW Document]. URL <http://www.fao.org/docrep/005/y4263e/y4263e0e.htm> (accessed 2.20.18).
- Fixen, P.E., 1992. Phosphorus Management Can Reduce the Effects of Soil Salinity.
- Foy, C.D., 1992. Soil Chemical Factors Limiting Plant Root Growth. pp. 97–149. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-2894-3_5
- Franco, J.A., Esteban, C., Rodriguez, C., 1993. Effects of salinity on various growth stages of muskmelon cv. Revigal. J. Hortic. Sci. 68, 899–904. <https://doi.org/10.1080/00221589.1993.11516429>

- Franzen, D., Wick, A., Augustin, C., Kalwar, N., 2014. Saline and Sodic Soils - NDSU.
- Fred Hoffman, 2010. The Farmer Fred® Rant: Saving Green Tomatoes [WWW Document]. URL <http://farmerfredrant.blogspot.gr/2010/08/saving-green-tomatoes.html> (accessed 11.26.17).
- Geeson, N.A., Brandt, C.J., Thornes, J.B., 2003. Mediterranean desertification: a mosaic of processes and responses. John Wiley Sons.
- geodata.gov.gr, 2017. geodata.gov.gr [WWW Document]. URL <http://geodata.gov.gr/> (accessed 11.7.17).
- Giuffrida, F., Martorana, M., Leonardi, C., 2009. How Sodium Chloride Concentration in the Nutrient Solution Influences the Mineral Composition of Tomato Leaves and Fruits. *HORTSCIENCE* 44, 707–711.
- Google maps [WWW Document], 2018. URL <https://www.google.gr/maps/place/Τυμπάκι+702+00/@35.0721191,24.7645874,16z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x149b1970c662f0a1:0x8a7b46864b1a9ead!8m2!3d35.0729318!4d24.7686207> (accessed 3.27.18).
- Guerrier, G., 1996. Fluxes of Na⁺, K⁺ and Cl⁻, and osmotic adjustment in *Lycopersicon pimpinellifolium* and *L. esculentum* during short- and long-term exposures to NaCl. *Physiol. Plant.* 97, 583–591. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1996.tb00519.x>
- Gupta, R.K., Singh, R.R., Abrol, I.P., 1989. INFLUENCE OF SIMULTANEOUS CHANGES IN SODICITY AND pH ON THE HYDRAULIC CONDUCTIVITY OF AN ALKALI SOIL UNDER RICE CULTURE. *Soil Sci.* 147, 28–33. <https://doi.org/10.1097/00010694-198901000-00005>
- HACH, 2018. Nitrate cuvette test 0.23-13.5 mg/L NO₃-N | Hach United Kingdom - Details | Hach [WWW Document]. URL <https://uk.hach.com/nitrate-cuvette-test-0-23-13-5-mg-l-no-sub-3-sub-n/product-details?id=26370291438> (accessed 2.28.18).
- Hashem, A., Abd_Allah, E.F., Alqarawi, A.A., Al Huqail, A.A., Egamberdieva, D., 2014. Alleviation of abiotic salt stress in *Ochradenus baccatus* (Del.) by *Trichoderma hamatum* (Bonord.) Bainier. *J. Plant Interact.* 9, 857–868. <https://doi.org/10.1080/17429145.2014.983568>
- <http://www.geo.auth.gr/>, 2017. ΕΕΜΗΥ-ΘΑΛΗΣ: Προβλήματα Περιβαλλοντικής Μηχανικής [WWW Document]. URL <http://www.amcl.tuc.gr/index.php?id=5211> (accessed 12.4.17).

- IFOAM, 2018. 3.2 What Makes a Soil Fertile? [WWW Document]. URL http://www.guamsustainableag.org/soilfoundation/ifoam_soilfertility_3-2.pdf (accessed 2.14.18).
- Indiamart.com, 2018. Culture Bank - Trichoderma Harzianum Manufacturer from Indore [WWW Document]. URL <https://www.indiamart.com/nature-agrocare-research/culture-bank.html> (accessed 2.20.18).
- Jamil, A., Riaz, S., Ashraf, M., Foolad, M.R., 2011. Gene Expression Profiling of Plants under Salt Stress. *CRC. Crit. Rev. Plant Sci.* 30, 435–458. <https://doi.org/10.1080/07352689.2011.605739>
- John A. Lamb, Fabian G. Fernandez, and D.E.K., 2014. Understanding nitrogen in soils : Nitrogen : Nutrient Management : Agriculture : University of Minnesota Extension [WWW Document]. URL <https://www.extension.umn.edu/agriculture/nutrient-management/nitrogen/understanding-nitrogen-in-soils/> (accessed 11.5.17).
- Kahlaoui, B., Hachicha, M., Rejeb, S., Rejeb, M.N., 2012. Effect of drip and subsurface drip irrigation with saline water on tomato crop. *Springer Netherlands*, pp. 705–719. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4116-4_27
- Keesstra, S., Geissen, V., Mosse, K., Piirainen, S., Scudiero, E., Leistra, M., van Schaik, L., 2012. Soil as a filter for groundwater quality. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 4, 507–516. <https://doi.org/10.1016/J.COSUST.2012.10.007>
- Khelil, A., Menu, T., Ricard, B., 2007. Adaptive response to salt involving carbohydrate metabolism in leaves of a salt-sensitive tomato cultivar. *Plant Physiol. Biochem.* 45, 551–559. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2007.05.003>
- Khomari, S., Golshan-Doust, S., Seyed-Sharifi, R., Davari, M., 2017. Improvement of soybean seedling growth under salinity stress by biopriming of high-vigour seeds with salt-tolerant isolate of *Trichoderma harzianum*. *New Zeal. J. Crop Hortic. Sci.* 1–16. <https://doi.org/10.1080/01140671.2017.1352520>
- Kimura, S., Sinha, N., 2008. Tomato (*Solanum lycopersicum*): A Model Fruit-Bearing Crop. *Cold Spring Harb. Protoc.* 2008, pdb.emo105-emo105. <https://doi.org/10.1101/pdb.emo105>
- Koutsoudis, D., Tsanis, I., 2016. Assessment of greenhouse tomato quality and yield under saline irrigation and treatment with the beneficial fungus *T. harzianum*. *Technical University of Crete*.

- Kritsotakis, M., 2009. Διαχείριση υδατικών πόρων Μεσαράς Κρήτης. Technical University of Crete.
- Lenntech, 2018. SAR hazard of irrigation water - Lenntech [WWW Document]. URL <https://www.lenntech.com/applications/irrigation/sar/sar-hazard-of-irrigation-water.htm> (accessed 11.8.17).
- Lim, K.F., 2006. Negative pH Does Exist. J. Chem. Educ. 83, 1465. <https://doi.org/10.1021/ed083p1465>
- Mäder, P., Fliessbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P., Niggli, U., 2002. Soil fertility and biodiversity in organic farming. Science 296, 1694–7. <https://doi.org/10.1126/science.1071148>
- Maggio, A., De Pascale, S., Angelino, G., Ruggiero, C., Barbieri, G., 2004. Physiological response of tomato to saline irrigation in long-term salinized soils. Eur. J. Agron. 21, 149–159. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(03\)00092-3](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(03)00092-3)
- Mahdy, A.M., 2011. Comparative Effects of Different Soil Amendments on Amelioration of Saline-Sodic Soils. Soil Water Res 6, 205–216.
- Marschner, H., 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press.
- Mateo-Sagasta, J., Burke, J., 2011. Agriculture and water quality interactions: a global overview. SOLAW Backgr. Themat. Rep.
- Miller, R.W., Donahue, R.L., 1990. Soils : an introduction to soils and plant growth. Prentice Hall.
- MUNNS, R., 1993. Physiological processes limiting plant growth in saline soils: some dogmas and hypotheses. Plant, Cell Environ. 16, 15–24. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1993.tb00840.x>
- Najla, S., Vercambre, G., Pagès, L., Grasselly, D., Gautier, H., Génard, M., 2008. EFFECT OF SALINITY ON TOMATO PLANT ARCHITECTURE. Acta Hort. 1183–1190. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.801.144>
- Neves-Piestun, B.G., Bernstein, N., 2001. Salinity-induced inhibition of leaf elongation in maize is not mediated by changes in cell wall acidification capacity. Plant Physiol. 125, 1419–28.
- Norman, A.G., Fine, L.O., 1965. Selenium, in: Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, pp. 539–579. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c29>

- OECD, 2009. OECD Environmental Performance Reviews: Greece 2009. Hellenic Ministry for the Environment, Physical Planning and Public Works. <https://doi.org/10.1787/9789607284235-el>
- Olsen, A., 1954. The Biology, Migration, and Growth Rate of the School Shark, *Galeorhinus australis* (Macleay) (Carcharhanidae) in the South-eastern Australian Waters. Aust. J. Mar. Freshw. Res. 353–410.
- 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. Solid Earth 7, 177–190. <https://doi.org/10.5194/se-7-177-2016>
- Papadopoulos, I., Rendig, V. V., 1983. Tomato Plant Response to Soil Salinity1. Agron. J. 75, 696. <https://doi.org/10.2134/agronj1983.00021962007500040028x>
- Paritsis, S.N., 2005. SIMULATION OF SEAWATER INTRUSION INTO THE TYMBAKI AQUIFER , SOUTH CENTRAL CRETE , GREECE.
- Pedreño, J.N., Gómez, I., Moral, R., Mataix, J., 1996. Improving the agricultural value of a semi-arid soil by addition of sewage sludge and almond residue. Agric. Ecosyst. Environ. 58, 115–119. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(95\)01005-X](https://doi.org/10.1016/0167-8809(95)01005-X)
- Pereira, C.S., Lopes, I., Sousa, J.P., Chelinho, S., 2015. Effects of NaCl and seawater induced salinity on survival and reproduction of three soil invertebrate species. Chemosphere 135, 116–122. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2015.03.094>
- Qadir, M., Qureshi, R.H., Ahmad, N., Ilyas, M., 1996. Salt-tolerant forage cultivation on a saline-sodic field for biomass production and soil reclamation. L. Degrad. Dev. 7, 11–18. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-145X\(199603\)7:1<11::AID-LDR211>3.0.CO;2-C](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-145X(199603)7:1<11::AID-LDR211>3.0.CO;2-C)
- Qian, S.S., Pan, Y., King, R.S., 2004. Soil total phosphorus threshold in the Everglades: a Bayesian changepoint analysis for multinomial response data. Ecol. Indic. 4, 29–37. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2003.11.005>
- Rawat, L., Singh, Y., Shukla, N., Kumar, J., 2013. Salinity tolerant *Trichoderma harzianum* reinforces NaCl tolerance and reduces population dynamics of *Fusarium oxysporum* f.sp. *ciceri* in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under salt stress conditions. Arch. Phytopathol. Plant Prot. 46, 1442–1467. <https://doi.org/10.1080/03235408.2013.769316>
- Reeve, R.C., Bower, C.A., Brooks, R.H., Gschwend, F.B., 1954. A Comparison of the Effects of Exchangeable Sodium and Potassium upon the Physical Condition of Soils1. Soil Sci. Soc. Am. J. 18, 130. <https://doi.org/10.2136/sssaj1954.03615995001800020004x>

- Rengasamy, P., 2006. World salinization with emphasis on Australia. *J. Exp. Bot.* 57, 1017–1023. <https://doi.org/10.1093/jxb/erj108>
- Richards, L., 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *Soil Sci.* 78.
- Romero-Aranda, M.R., Jurado, O., Cuartero, J., 2006. Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. *J. Plant Physiol.* 163, 847–855. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2005.05.010>
- Rozema, J., Flowers, T., 2008. Ecology. Crops for a salinized world. *Science* 322, 1478–80. <https://doi.org/10.1126/science.1168572>
- Sáenz, J.N.P., Closas, L.M., Fàbrega, A.G., Tura, J.C., 2013. Influence of the application of amino acids of synthesis in the development of plants of tomato cultivated under conditions of salinity - Horticulture. Dep. Hortofructicultura, Bot. Gard. Up. Tech. Sch. Agric. Eng. Univ. Lleida.
- Sanchez-Blanco, M.J., Bolarin, M.C., Alarcon, J.J., Torrecillas, A., 1991. Salinity effects on water relations in *Lycopersicon esculentum* and its wild salt-tolerant relative species *L. pennellii*. *Physiol. Plant.* 83, 269–274. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1991.tb02152.x>
- Schiattone, M.I., Candido, V., Cantore, V., Montesano, F.F., Boari, F., 2017. Water use and crop performance of two wild rocket genotypes under salinity conditions. *Agric. Water Manag.* 194, 214–221. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2017.09.009>
- Shaaban, M., Abid, M., Abou-Shanab, R.A.I., 2013. Amelioration of salt affected soils in rice paddy system by application of organic and inorganic amendments. *Plant, Soil Environ.*
- Shahid, S.A., Abdelfattah, M.A., Taha, F.K., International Conference on Soil Classification and Reclamation of Degraded Lands in Arid Environments (2010 : Abū Zaby, U.A.E., 2013. Developments in soil salinity assessment and reclamation : innovative thinking and use of marginal soil and water resources in irrigated agriculture. Springer.
- Shukla, N., Awasthi, R.P., Rawat, L., Kumar, J., 2012. Biochemical and physiological responses of rice (*Oryza sativa* L.) as influenced by *Trichoderma harzianum* under drought stress. *Plant Physiol. Biochem.* 54, 78–88. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2012.02.001>
- Singh, J., Sastry, E.V.D., Singh, V., 2012. Effect of salinity on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) during seed germination stage. *Physiol. Mol. Biol. Plants* 18, 45–50. <https://doi.org/10.1007/s12298-011-0097-z>

- Sonmez, S., Buyuktas, D., Okturen, F., Citak, S., 2008. Assessment of different soil to water ratios (1:1, 1:2.5, 1:5) in soil salinity studies. *Geoderma* 144, 361–369. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.12.005>
- Sonon, L.S., Saha, U., Kissel, D.E., 2015. Soil Salinity Testing, Data Interpretation and Recommendations Effects of Salinity on Plant Growth.
- Sposito, G., Mattigod, S. V., 1977. On the Chemical Foundation of the Sodium Adsorption Ratio1. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41, 323. <https://doi.org/10.2136/sssaj1977.03615995004100020030x>
- Stanghellini, C., 1993. EVAPOTRANSPIRATION IN GREENHOUSES WITH SPECIAL REFERENCE TO MEDITERRANEAN CONDITIONS. *Acta Hortic.* 295–304. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1993.335.36>
- Stanhill, G., Enoch, H.Z., 1999. Greenhouse ecosystems. Elsevier, Amsterdam ;;New York :
- Taleisnik-Gertel, E., Tal, M., Shannon, M.C., 1983. The response to NaCl of excised fully differentiated and differentiating tissues of the cultivated tomato, *Lycopersicon esculentum*, and its wild relatives, *L. peruvianum* and *Solanum pennellii*. *Physiol. Plant.* 59, 659–663. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1983.tb06296.x>
- Tanji, K.K., 2002. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas.
- Taylor, A.G., Motes, J.E., Kirkham, M.B., 1982. Osmotic regulation in germinating tomato seedlings. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 107, 387–390.
- Thanopoulos, R., Samaras, S., Ganitis, K., Gatzelaki, C., Kotaki, E., Psara, E., Kipriotakis, Z., Tzitzikas, E., Kalaitzis, P., Terzopoulos, R., Mpempeli, P., 2008. Local varieties of cultivated species in Crete emphasizing on vegetables, A potential for multiple use. *Agric. - Livest.*
- Turner, J.C., 2004. ELECTRICAL CONDUCTIVITY AND SODIUM ADSORPTION RATIO CHANGES FOLLOWING ANNUAL APPLICATIONS OF ANIMAL MANURE AMENDMENTS.
- USDA, 2017. Web Soil Survey - Home [WWW Document]. URL https://www.google.gr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&ved=0ahUKEwjUvtH0zqjXAhXQ66QKHTcfBuoQFghBMAU&url=https%3A%2F%2Fwww.nrcs.usda.gov%2Fwps%2FPA_NRCSConsumption%2Fdownload%3Fcid%3Dnrcseprd1326230%26ext%3Dpdf&usg=AOvVaw2_oT--bdhhY0l0HSgkWWDF (accessed 11.6.17).

- USDA, 1957. The Yearbook of Agriculture.
- USDA, 1954. Handbook No. 60: USDA ARS [WWW Document]. URL <https://www.ars.usda.gov/pacific-west-area/riverside-ca/us-salinity-laboratory/docs/handbook-no-60/> (accessed 11.6.17).
- Van Beek, C.L., Tóth, G., 2012. Risk Assessment Methodologies of Soil Threats in Europe. JRC Scientific and Policy Reports EUR 24097.
- Verde, M., Olivas, J., committee for V.M.P., Salts, H.A. and T.S., 2010. What Is Humic Acid? Where Does It Come From? [WWW Document]. URL <http://www.soil-biotics.com/files/7373-soilbiotics-humicacid.pdf> (accessed 2.12.18).
- Virvidaki, I., 2016. Την καλύτερη ντομάτα θα τη φάμε το φθινόπωρο! | ΓΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ | Η ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ [WWW Document]. URL <http://www.kathimerini.gr/877108/article/gastronomos/gastronomia/thn-kalyterh-ntomata-8a-th-fame-to-f8inopwro> (accessed 4.28.18).
- Wagner, K.-B., Tsanis, I.K., 2016. Installation of experimental greenhouse tomato crop and assessment of the effect of the symbiotic fungus *T. harzianum* under saline conditions. Technical University of Crete, Greece.
- Walker, K.R., Stojowski, L., Clifford, R.H., 2010. Total Nitrogen Analysis: A New Perspective on TOC.
- Wang, J., Zhou, Y., Dong, C., Shen, Q., Putheti, R., 2009. Effects of $\text{NH}_4^+ - \text{N} / \text{NO}_3^- - \text{N}$ ratios on growth, nitrate uptake and organic acid levels of spinach (*Spinacia oleracea* L.). African J. Biotechnol. 8, 3597–3602.
- Wang, X., Geng, S., Ma, Y., Shi, D., Yang, C., Wang, H., 2015. Growth, photosynthesis, solute accumulation, and ion balance of tomato plant under sodium- or potassium-salt stress and alkali stress 107, 651–661. <https://doi.org/10.2134/agronj14.0344>
- Whitney, D.A., Past, Advisors, N.-13, Russell, M.B., Lund, R.R.H.R., 1966. Recommended Chemical Soil Test Procedures for the North Central Region. Jim Brown.
- Wittwer, S.H., Castilla, N., 1995. Protected cultivation of horticultural crops worldwide. Horttechnology. <https://doi.org/http://horttech.ashspublications.org/content/5/1/6.full.pdf>
- Yasmeen, R., Siddiqui, Z.S., 2018. Ameliorative effects of *Trichoderma harzianum* on monocot crops under hydroponic saline environment. Acta Physiol. Plant. 40, 4. <https://doi.org/10.1007/s11738-017-2579-2>
- Zhang, H.-X., Blumwald, E., 2001. Transgenic salt-tolerant tomato plants accumulate salt in

foliage but not in fruit. Nat. Biotechnol. 19, 765–768. <https://doi.org/10.1038/90824>

ΑΠΔ Κρήτης, 2018. Μηνιαία Μετεωρολογικά Δεδομένα Σταθμού Τυμπακίου Α3 | Αποκεντρωμένη Διοίκηση Κρήτης [WWW Document]. URL <https://www.apdkritis.gov.gr/el/dataset/%25CE%25BC%25CE%25B5%25CF%2584%25CE%25B5%25CF%2589%25CF%2581%25CE%25BF%25CE%25BB%25CE%25BF%25CE%25B3%25CE%25B9%25CE%25BA%25CE%25B1-%25CE%25B4%25CE%25B5%25CE%25B4%25CE%25BF%25CE%25BC%25CE%25B5%25CE%25BD%25CE%25B1-%25CE%25BC%25CE%25B5%25CF%2584%25CE%25B5%25CF%2589%25CF%2581%25CE%25BF%25CE%25BB%25CE%25BF%25CE%25B3%25CE%25B9%25CE%25BA%25CE%25BF%25CF%2585-%25C> (accessed 2.28.18).

ΕΛΣΤΑΤ, 2001. Στατιστικές [WWW Document]. URL <http://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/SAM03/2001> (accessed 3.1.18).

ΕΛΣΤΑΤ, 2000. Χρήσεις Γης (1999-2000) - Δεδομένα - GEODATA.gov.gr [WWW Document]. URL <http://geodata.gov.gr/dataset/khreseis-ges-1999-2000> (accessed 3.1.18).

Π Παπαδοπούλου Επικ Καθ ΕΜΠ Βασιλική Τσουκαλά Επικ Καθ ΕΜΠ, Μ., 2018. Το υδατικό αποτύπωμα: ένα εργαλείο για την ορθολογική διαχείριση του νερού.