

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

**ΕΠΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗ ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗ ΦΥΤΩΝ
ΤΟΜΑΤΑΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΜΕ ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Της φοιτήτριας

ΣΤΑΥΡΟΥ ΝΑΤΑΛΙΑ

A.M: 2013050004

Επιβλέπων Καθηγητής: Ιωάννης Κ. Τσάνης

Μέλη επιτροπής: Καθηγητής Κωνσταντίνος Β. Χρυσικόπουλος

Ιωάννης Ν. Δαλιακόπουλος

Χανιά, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2018

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ τον επιβλέποντα Καθ. Ι. Τσάνη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας.

Ευχαριστώ θερμά όλα τα μέλη του Εργαστηρίου Διαχείρισης Υδάτινων Πόρων και Παράκτιας Μηχανικής για τη βοήθεια τους. Ιδιαίτερα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ Ι. Δαλιακόπουλο για την καθοδήγηση του καθ' όλη τη διάρκεια της παρούσας εργασίας καθώς και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε.

Ευχαριστώ επίσης τις Βουτσαδάκη Στέλλα και Maria-Liliana Saru από το Εργαστήριο Υδρογεωχημικής Μηχανικής και Αποκατάστασης Εδαφών για την επίβλεψη των εδαφικών αναλύσεων.

Τέλος, ευχαριστώ τους γονείς μου Σωκράτη και Παρασκευή καθώς και τον αδερφό μου Ιάσονα για την υποστήριξη τους κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Περίληψη

Το φαινόμενο της αλάτωσης εδαφών αποτελεί σοβαρή απειλή για τη γεωργία παγκοσμίως και ειδικότερα στις ξηρές και ημίξηρες παράκτιες περιοχές όπου εντοπίζεται ανισορροπία μεταξύ των διαθέσιμων αποθεμάτων ύδατος και της ζήτησης τους. Η περιοχή μελέτης, το Τυμπάκι, το οποίο βρίσκεται στο Νότιό-κεντρικό τμήμα της Κρήτης στο νομό Ηρακλείου αποτελεί μία από τις σημαντικότερες αγροτικές περιοχές της Κρήτης με αυξημένη ανάγκη αρδευτικών υδάτων. Οι περιορισμένοι υδάτινοι πόροι οδηγούν στην υπέρμετρη άντληση των υπόγειων υδάτων με συνέπεια την υφαλμύριση του υπόγειου υδροφορέα. Για τη διερεύνηση των επιπτώσεων της άρδευσης με υφάλμυρο νερό στην καλλιέργεια τομάτας, πραγματοποιήθηκε πείραμα στο Πολυτεχνείο Κρήτης με συνθήκες που προσομοίωναν την περιοχή μελέτης. Το έδαφος προήλθε από το Τυμπάκι και αρδευόταν ελεγχόμενα με νερό μέσης ($EC=2 \text{ dS m}^{-1}$) και υψηλής αλατότητας ($EC=3,5 \text{ dS m}^{-1}$), ενώ χρησιμοποιήθηκε και υποβαθμισμένο έδαφος, έδαφος δηλαδή που είχε υποστεί παρόμοια μεταχείριση σε προηγούμενο πείραμα. Για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων της αλατότητας χρησιμοποιήθηκαν βιολογικές τεχνικές και συγκεκριμένα ο ωφέλιμος μύκητας *T. harzianum* και το χουμικό οξύ Black Earth. Το πείραμα αποτελείτο από συνολικά 40 γλάστρες, οι οποίες είχαν χωριστεί σε 8 σειρές των 5 γλαστρών και σε κάθε σειρά εξεταζόταν διαφορετική μεταχείριση. Συγκεκριμένα, (α) οι σειρές άκρου ήταν προστατευτικές και τα αποτελέσματά τους δεν λήφθηκαν υπόψη, (β) στις μισές από τις εναπομείναντες σειρές χρησιμοποιήθηκε το υποβαθμισμένο έδαφος και (γ) στις υπόλοιπες το φρέσκο έδαφος. Για τις δύο περιπτώσεις εδάφους έγινε χρήση διαφορετικής βιολογικής τεχνικής σε κάθε σειρά. Η συγκεκριμένη εργασία εστίασε περισσότερο στην επίδραση της αλατότητας στη χλωροφύλλη των φυτών η οποία αποτελεί σημαντικό δείκτη υγείας τους. Ύστερα από 4 εδαφικές δειγματοληψίες και συστηματική μέτρηση της χλωροφύλλης, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το φρέσκο έδαφος λειτούργησε καλύτερα από ότι το υποβαθμισμένο στη διατήρηση υψηλού επιπέδου χλωροφύλλης στα φυτά καθώς και στην παραγωγή μεγαλύτερου αριθμού καρπών. Παρ' όλα αυτά οι μεταχειρίσεις υποβαθμισμένου εδάφους σημείωσε καλύτερα αποτελέσματα στη απόδοση παραγωγής. Τα αποτελέσματα του πειράματος έδειξαν ακόμη ότι ο μύκητας *T.harzianum* ευνόησε περισσότερο τα φυτά από ότι το χουμικό οξύ. Δε βρέθηκε κάποια φανερή συσχέτιση της χλωροφύλλης με την απόδοση παραγωγής συνεπώς στο μέλλον θα πρέπει να δοθεί περαιτέρω έμφαση σε άλλες παραμέτρους.

Abstract

The phenomenon of salinization poses a serious threat to agriculture worldwide, especially in arid and semi-arid, coastal regions where the imbalance between the available water supply and its demand is detected. The region where this study took place is Timpaki, which is located in south central Crete, in the prefecture of Heraklion. It is one of the most important agricultural areas of Crete, where there is an increased need for irrigation water. The limited water resources lead to the excessive pumping of underground water which results in sea water intrusion of the aquifer. An experiment was carried out at the Technical University of Crete in order to examine the consequences of irrigation with brackish water on tomatoes, with conditions that simulate the region of this study. The soil came from Timpaki and was controllably irrigated with water of average ($EC=2 \text{ dS m}^{-1}$) and high electrical conductivity ($EC=3,5 \text{ dS m}^{-1}$). Soil from a previous study which had undergone the same conditions of salinization, was also used. Organic techniques, more specifically the beneficial fungus *T. harzianum* and the commercial humic acid Black Earth, were used to mitigate the effects of salinization. The experiment consisted of 40 pots which were divided in 8 rows, each row containing 5 pots, and a different treatment was tested in each row. Specifically, (a) the rows which were on the perimeter had a protective role (guard rows) and their results were not taken into account, (b) degraded soil was used in half of the remaining rows and fresh soil in the rest, (c) a different organic technique was used in every row on both types of soil. This thesis focused more on the effect of salinization on the chlorophyll of plants which is an important health indicator. After sampling the soil four times and after systematically measuring the levels of chlorophyll, the results indicated that fresh soil operated better than degraded soil on the sustenance of the concentration of chlorophyll in higher levels as well as on the production of a greater number of crops. The results of the experiment showed that the fungus *T.harzianum* favored plants more than humic acid. However, degraded soil treatments have had greater total yield production. No apparent association between chlorophyll and yield production was found, therefore in the future we must focus on other parameters.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	iii
Περίληψη.....	iv
Abstract.....	v
Περιεχόμενα.....	vi
1. Εισαγωγή	1
1.1. Έδαφος.....	1
1.2. Το πρόβλημα της αλατότητας.....	2
1.3. Το φυτό της τομάτας.....	4
1.4. Επίδραση της αλατότητας στο φυτό της τομάτας.....	6
1.5. Καλλιέργεια σε θερμοκήπιο	7
1.6. Χλωροφύλλη.....	8
1.7. Επίδραση της αλατότητας στη χλωροφύλλη	9
1.8. Ο ρόλος των εδαφοβελτιωτικών στην αποκατάσταση του εδάφους	16
1.8.1. Ο μύκητας Trichoderma	16
1.8.2. Χουμικό Οξύ.....	18
1.9. Σκοπός της διπλωματικής	19
2. Μεθοδολογία	20
2.1. Ηλεκτρική αγωγιμότητα	20
2.2. Λόγος προσρόφησης νατρίου	21
2.3. Χλωροφύλλη.....	22
2.4. Τυπικό σφάλμα μέσης τιμής	25
3. Περιοχή μελέτης	26
3.1. Γεωγραφική περιγραφή	26
3.2. Κλιματολογικά και υδρολογικά στοιχεία	27
3.3. Γεωλογία της περιοχής	28
3.4. Πιέσεις στο φυσικό Περιβάλλον.....	28
3.5. Πειραματικό Μέρος.....	29
4. Αποτελέσματα	34

4.1.	Ηλεκτρική αγωγιμότητα	34
4.2.	Σύγκριση αποτελεσμάτων χλωροφύλλης με τη βιβλιογραφία.....	35
4.3.	Επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στην περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη	37
4.4.	Λόγος προσρόφησης νατρίου (SAR).....	38
4.5.	Επίδραση του SAR στην περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη.....	39
4.6.	Παραγωγή βιομάζας	41
4.6.1.	Αριθμός καρπών	41
4.6.2.	Παραγωγή καρπών.....	43
4.6.3.	Βιομάζα κορμών	45
5.	Συμπεράσματα και προτάσεις.....	47
6.	Βιβλιογραφία	49

1. Εισαγωγή

1.1. Έδαφος

Το έδαφος είναι ένας από τους σημαντικότερους φυσικούς πόρους καθώς αποτελεί παράγοντα ελέγχου του βιογεωχημικού και υδρολογικού κύκλου του γήινου συστήματος ενώ ταυτόχρονα παρέχει αγαθά και υπηρεσίες ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση της ζωής και την ευεξία (Alexakis et al., 2016). Αποτελεί πολύπλοκο μείγμα ορυκτών, ύδατος, αέρα, οργανικής ύλης και πολυάριθμων οργανικών υπολειμμάτων. Αποτελεί την επιφάνεια τη Γης και είναι ανεκτίμητης αξίας καθώς εκτελεί πολλές κρίσιμες λειτουργίες για την πλειονηφία των οικοσυστημάτων.

Τα εδάφη υποστηρίζουν την ανάπτυξη των φυτών και έτσι είναι ζωτικής σημασίας για την ανθρωπότητα. Παρέχουν θρεπτικά συστατικά όπως το άζωτο (N), ο φωσφόρος (P), το κάλιο (K), το ασβέστιο (Ca), το μαγνήσιο (Mg), το θείο (S) και πολλά ιχνοστοιχεία που υποστηρίζουν την παραγωγής βιομάζας. Το έδαφος αποτελεί αποθήκη άνθρακα (C), λειτουργία με μεγάλη σημασία για τα οικοσυστήματα των εδαφών που κερδίζει όλο και μεγαλύτερη προσοχή τα τελευταία χρόνια λόγω των αλληλεπιδράσεών της με το κλιματικό σύστημα της γης (ITPS, 2015).

Σύμφωνα με τους Freitag and Morton (2010), το έδαφος επιτελεί έξι γενικούς ρόλους:

1. Χρησιμοποιείται ως μέσο για την ανάπτυξη των φυτών
2. Τροποποιεί την ατμόσφαιρα εκλύοντας και απορροφώντας αέρια
3. Παρέχει οικοτόπους για τα ζώα και τους μικροοργανισμούς που ζούνε σε αυτό
4. Απορροφά, συγκρατεί, απελευθερώνει, αλλάζει και καθορίζει το μεγαλύτερο μέρος του ύδατος στα επίγεια συστήματα
5. Χρησιμοποιείται ως μέσο για την κατασκευή θεμελίων, οδοστρωμάτων, φραγμάτων και κτιρίων και ανάλογα μπορεί να συντηρήσει ή να καταστρέψει ανθρώπινες κατασκευές
6. Δρα ως φίλτρο του ύδατος που πρόκειται να μετακινηθεί στον υπόγειο υδροφόρο.

Η αξία του εδάφους αυξάνεται ή μειώνεται ανάλογα με τις επιλογές διαχείρισης της γης, οι οποίες επηρεάζουν τις λειτουργίες του. Στις αγροτικές περιοχές, η αξία του εδάφους μεταφράζεται πιο συχνά με οικονομικούς όρους που αφορούν σε μεγαλύτερο βαθμό τη γεωργία και σε μικρότερο τις εγκαταστάσεις αναψυχής. Η υποβάθμισή του εδάφους είναι μια από τις κύριες αιτίες μείωσης της αξίας του. Με τον όρο υποβάθμιση εννοούμε την εξασθένηση της κατάστασης του εδάφους λόγω της ακατάλληλης χρήσης ή της κακής διαχείρισης, συνήθως για γεωργικούς, βιομηχανικούς ή αστικούς σκοπούς. Μπορεί να προκληθεί και από φυσικά φαινόμενα αλλά να επιταχυνθεί από τις ανθρώπινες δραστηριότητες.

Σύμφωνα με το SFD (Schjønnning et al., 2009) στην Ευρώπη εντοπίζονται οι εξής απειλές κατά της διατήρησης της ποιότητας του εδάφους:

1. Διάβρωση του εδάφους λόγω του ύδατος και του ανέμου και της αγροτικής ανάπτυξης.
2. Μείωση του οργανικού κλάσματος
3. Συμπύεση
4. Αλάτωση (συσσώρευση αλάτων)
5. Κατολισθήσεις (μειωμένη, μετρίως ταχεία έως και ταχεία μετακίνηση μαζών εδάφους)
6. Οξίνιση με σημαντική μείωση του pH

1.2. Το πρόβλημα της αλατότητας

Εδαφική αλάτωση είναι το φαινόμενο κατά το οποίο συγκεντρώνονται άλατα στην επιφάνεια και στο επιφανειακό στρώμα του εδάφους. Η αλατότητα αποτελεί μία αυξανόμενη απειλή για τη γεωργία και γενικότερα για τη γονιμότητα του εδάφους παγκοσμίως, τη στιγμή που η ανάγκη για παραγωγή τροφίμων μεγαλώνει λόγω του συνεχώς αυξανόμενου πληθυσμού. Θεωρείται σημαντικός αβιοτικός παράγοντας που μειώνει την αξία της καλλιέργειας και της γεωργική βιωσιμότητα της πληγείσας γης.

Τα εδάφη που έχουν επηρεαστεί από την αλατότητα σύμφωνα με τον Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών, το 2000 έφτασαν παγκοσμίως την έκταση των 932,2 Mha και αποτελούν το 6% της συνολικής παγκόσμιας έκτασης (Fao, 2000; Schofield and Kirkby, 2003). Στον Πίνακα 1-1 γίνεται διάκριση του τύπου του εδάφους με βάση τη τιμή της ηλεκτρικής του αγωγιμότητας E_{Ce} και του λόγου προσρόφησης Νατρίου (SAR). Πιο συγκεκριμένα, στην Ευρώπη έχουν επηρεαστεί 3,8-7,0 Mha και στην Ελλάδα περίπου 1,4 Mha που αντιστοιχεί στο 9% του αρδευόμενου εδάφους (Daliakopoulos et al., 2016; Oyiga et al., 2016). Στην Εικόνα 1-1 απεικονίζεται έδαφος επηρεασμένο από την αλατότητα.

Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι αλατότητας, η πρωτογενής (primary) που εμφανίζεται σε φυσικά εδάφη, και η δευτερογενής (secondary) η οποία προκύπτει από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Η δευτερογενής αλάτωση εμφανίζεται κυρίως στις αρδευόμενες περιοχές είτε λόγω της υπερβολικής άντλησης υπόγειων νερών με αποτέλεσμα τη διείσδυση του αλμυρού ύδατος στους υπόγειους παράκτιους υδροφορείς, είτε λόγω της χρήσης κακής ποιότητα ύδατος. Η αλάτωση συντελεί επίσης στο φαινόμενο της ερημοποίησης σε ξηρά μη αρδευόμενα εδάφη λόγω της εκκαθάρισης της βλάστησης και της αλλαγής της χρήσης γης. Επίσης, λόγω των αυξημένων επιπέδων αλάτων στα λύματα εξαιτίας της εντατικής γεωργίας και των βιομηχανικών αποβλήτων συντελεί και ως σημειακή πηγή αλατότητας. Στη Μεσόγειο, αιτίες για την ενίσχυση του φαινομένου της αλατότητας αποτελούν και η αύξηση της θερμοκρασίας

καθώς και οι μεταβολές στα χαρακτηριστικά της βροχόπτωσης (Daliakopoulos et al., 2016; Montesano and van Iersel, 2007)

Σε παγκόσμιο επίπεδο, τα υπόγεια ύδατα αποτελούν το 1/3 του συνόλου των γλυκών υδάτων τα οποία παρέχουν το 36, 42 και 27% του ύδατος που χρησιμοποιείται για οικιακή, γεωργική και βιομηχανική χρήση αντίστοιχα (Taylor et al., 2012). Συγκεκριμένα, στην Ελλάδα καταναλώνονται ετησίως περίπου 9.000 Mm³ ύδατος (OECD, 2017). Το μεγαλύτερο μέρος της ζήτησης καλύπτεται από την άντληση υπογείων υδάτων, μέσω 300.000 γεωτρήσεων (EASAC, 2005), και το 86% χρησιμοποιείται για την άρδευση των καλλιεργειών. Σε παράκτιες ζώνες, η υπέρμετρη άντληση έχει συχνά ως αποτέλεσμα τη διείσδυση θαλασσινού ύδατος στον υπόγειο υδροφόρο. Η ανάμιξη γλυκού και θαλασσινού ύδατος έχει ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση της ποιότητας του ύδατος και τη μεταβολή των χαρακτηριστικών του. Στον Πίνακα 1-1 πραγματοποιείται κατηγοριοποίηση των εδαφών με βάση τους δείκτες EC_e και SAR.

Η αλάτωση του εδάφους χαρακτηρίζεται μέσω τριών δεικτών ποιότητας:

(α) την ηλεκτρική αγωγιμότητα (Electrical Conductivity, EC) η οποία στα εδάφη εκφράζει την παρουσία ολικών διαλυτών στερεών,

(β) το λόγο προσρόφησης νατρίου (Sodium Adsorption Ratio, SAR) που εκφράζει την αναλογία των κατιόντων Na⁺ προς το άθροισμα των ωφέλιμων ιόντων Ca²⁺ και Mg²⁺

(γ) το pH που εκφράζει το σχηματισμό αδιάλυτων αλάτων μέσω χημικών αλληλεπιδράσεων. (Malet and Maquaire, 2012).



Εικόνα 1-1: Αριστερά: Δείγμα εδάφους και Δεξιά: Έκταση που έχει προσβληθεί από την αλατότητα (Πηγή: USDA NRCS Montana).

Υπάρχουν τρεις σημαντικές επιπτώσεις όταν το έδαφος έχει υποστεί αλάτωση. Αρχικά, τα σωματίδια του εδάφους διασκορπίζονται με αποτέλεσμα να καταστρέφονται τα συσσωματώματα και το έδαφος να υποβαθμίζεται. Παρατηρείται η απώλεια της δομής του εδάφους και της δομή των πόρων, η μειωμένη κίνηση του αέρα και του νερού, η μείωση της βιοδραστησιότητας και της μεταφοράς θρεπτικών καθώς και η αύξηση της απορρόφης του νερού και της διάβρωσης του εδάφους. Η δεύτερη επίδραση είναι η μειωμένη πρόσληψη νερού από

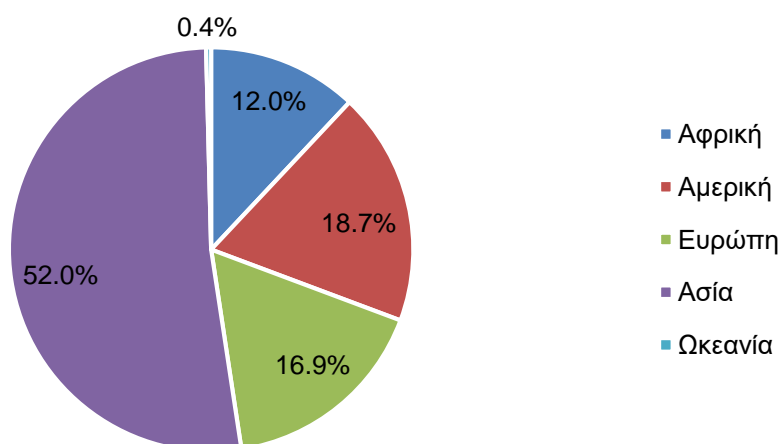
τα φυτά λόγω του ωσμωτικού δυναμικού. Η πρόσληψη ύδατος από το ριζικό σύστημα του φυτού γίνεται δυσκολότερη όσο η συγκέντρωση του άλατος αυξάνεται, με άμεση επίπτωση στην ανάπτυξη του φυτού. Η τρίτη επίδραση αφορά τη μείωση της απορρόφησης των θρεπτικών συστατικών λόγω της ιονικής ισορροπίας η οποία επηρεάζεται από την αλατότητα (Pisinaras et al., 2010).

Πίνακας 1-1: Κατηγοριοποίηση εδαφών με βάση τους δείκτες EC_e, και SAR (Van Beek and Tóth, 2012).

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

1.3. Το φυτό της τομάτας

Το φυτό της τομάτας αποτελεί γεωργικό προϊόν που αναπτύσσεται ευρέως και καταναλώνεται παγκοσμίως. Οι κυρίαρχες χώρες στην παραγωγή τομάτας είναι οι χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η Κίνα, και οι Ηνωμένες Πολιτείες (Esengun et al., 2007). Η τομάτα είχε φτάσει σε αρκετά προχωρημένο στάδιο εξημέρωσης πριν εισέλθει στην Ευρώπη τον 15^ο αιώνα και περαιτέρω εξημέρωση πραγματοποιήθηκε στην Ευρώπη το 18^ο και 19^ο αιώνα (Bai and Lindhout, 2007). Σύμφωνα με μελέτες, η παγκόσμια παραγωγή νωπής τομάτας αγγίζει τους 100 Mt σε συνολική έκταση εκτιμώμενη στα 3,7 Mha ετησίως και καλλιεργείται σε 144 χώρες. Στην Ελλάδα το 2014 παρήχθησαν συνολικά περίπου 1 Mt τομάτας (FAO, 2014).



Εικόνα 1-2: Μερίδιο παραγωγής τομάτας ανά Ήπειρο για την περίοδο 1994-2004 (FAO, 2014).

Η τομάτα είναι καρπός του φυτού *Solanum lycopersicum*, που ανήκει στη οικογένεια των Σολανώδων (*Solanaceae*) η οποία περιλαμβάνει πάνω από 3.000 είδη φυτών (μελιτζάνα, πατάτα κλπ.) και κατάγεται από την Κεντρική και Νότια Αμερική. Η τομάτα αναπτύσσεται σε ευρύ φάσμα κλιματικών συνθηκών, από τροπικές ως υποαρκτικές περιοχές, αλλά το βέλτιστο παρατηρείται σε περιοχές που βρίσκονται σε θερμές και ξηρές περιοχές, όπως οι Μεσογειακές χώρες (Al Hassan et al., 2015).

Έρευνες έχουν δείξει ότι η τομάτα είναι σημαντική για την πρόληψη του καρκίνου, της οστεοπόρωσης και των καρδιαγγειακών παθήσεων. Αποτελεί εξαιρετική πηγή βιταμινών Α, C και K, Καλίου και Μαγνήσιου. Είναι πλούσια σε βιταμίνη Ε, θειαμίνη, νιασίνη, βιταμίνη Β6, φολικό, φώσφορο, μαγνήσιο, χαλκό και β-καροτένιο. Επίσης, έχει πλούσια αντιοξειδωτική δράση λόγω της λυκοπένης (Farinetti et al., 2017).

Το μέγεθος του καρπού κατά τη συγκομιδή είναι από τις πιο σημαντικές παραμέτρους για την επιλογή ποικιλίας προς καλλιέργεια. Ο υποτιθέμενος πρόγονος της τομάτας *Solanum pimpinellifolium* είχε μικροσκοπικούς καρπούς βάρους λίγων γραμμαρίων ο καθένας. Η συνεχής καλλιέργεια του φυτού οδήγησε στη σύγχρονη μορφή τομάτας διαμέτρου μεγαλύτερη των 10 cm και βάρους ίσως και μεγαλύτερο των 500 g. Όσον αφορά το χρώμα του καρπού, ποικίλλει από πράσινο και κίτρινο σε πορτοκαλί και κόκκινο. Στις περισσότερες περιπτώσεις το χρώμα καθορίζεται από την ποσότητα των καροτενοειδών και της χλωροφύλλης. Το κόκκινο και πορτοκαλί χρώμα προκύπτουν από τη συσσώρευση λυκοπενίου και β-καροτίνης ενώ οι πράσινοι καρποί περιέχουν χλωροφύλλη που συνήθως μειώνεται κατά τη διαδικασία της ωρίμανσης (Kimura and Sinha, 2008)

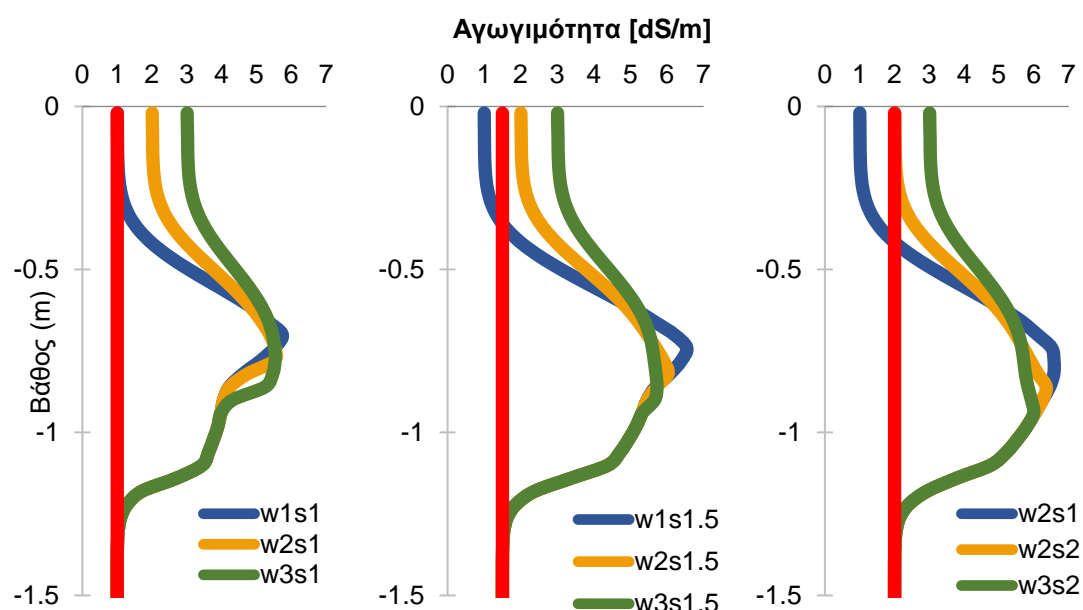
Κατά την εξημέρωση του φυτού της τομάτας αναπτύχθηκαν, από επιστήμονες και καλλιεργητές, καινούριες ποικιλίες (κυρίως υβρίδια) σε όλα τα σχήματα, χρώματα και μεγέθη (Bai and Lindhout, 2007). Τα υβρίδια αναπτύσσονται από σπόρους που δημιουργούνται μέσω του γενετικού υλικού δύο διαφορετικών ποικιλιών του ίδιου φυτού, συνδυάζοντας τα καλύτερα χαρακτηριστικά τους. Βασικά κριτήρια για την επιλογή σπόρων είναι η αποδοτικότητα και η προσαρμοστικότητα του ανάλογα με τον τόπο και την εποχή των καλλιεργειών. Με την εμφάνισή τους παρατηρήθηκε αύξηση της παραγόμενης ποσότητας και του μεγέθους των καρπών καθώς τα υβρίδια φαίνεται να είναι πιο ανθεκτικά στις ασθένειες και στις καιρικές συνθήκες. Όσον αφορά τα μειονεκτήματα της καλλιέργειας υβριδίων, υποστηρίζεται ότι έχει χαθεί μεγάλο ποσοστό των παραδοσιακών ποικιλιών καθώς και η ιδιαίτερη έντονη γεύση της παραδοσιακής τομάτας. Τα υβρίδια φαίνεται να είναι πολύ ευαίσθητα σε παθογόνα και να έχουν μεγάλες απαιτήσεις σε νερό και λίπασμα γεγονός που έχει αντίκτυπο στο χρώμα και την ατμόσφαιρα λόγω της χρήσης μεγάλης ποσότητας χημικών. Τέλος, οι σπόροι των υβριδίων

είναι συνήθως στείοι και θα πρέπει να αγοράζονται νέοι σπόροι κάθε χρόνο (Mudge and Gabriel, 2014).

1.4. Επίδραση της αλατότητας στο φυτό της τομάτας

Οι επιπτώσεις της αλατότητας στο φυτό της τομάτας συνδέονται με το χαμηλό ωσμωτικό δυναμικό του εδάφους (υδατικό στρες), τη διατροφική ανισορροπία, την ειδική επίδραση ιόντων (στρες άλατος) ή και με συνδυασμό αυτών των παραγόντων. Τα παραπάνω προκαλούν δυσμενείς πλειοτροπικές επιδράσεις στην ευημερία των φυτών τόσο σε επίπεδο φυσιολογίας όσο και σε βιοχημικό αλλά και σε μοριακό επίπεδο (Ciobanu and Sumalan, 2009).

Η βλάστηση, η ταχύτητα βλάστησης, το ξηρό βάρος ρίζας/καρπού, και ο λόγος Na^+/K^+ στη ρίζα επηρεάζονται από την αλατότητα. Η καταπόνηση λόγω άλατος στη ριζική ζώνη συνοδεύεται από απώλεια της απόδοσης μέσω μείωσης του βάρους των καρπών αλλά όχι και με μείωση του αριθμού τους. Για το λόγο αυτό, οφείλεται η μείωση στην απόδοση της παραγωγής εξ' ολοκλήρου στη μικρότερη μέση μάζα των καρπών (Koutskoudis and Tsanis, 2016). Το μέγεθος των καρπών αναστέλλεται καθώς προσλαμβάνουν λιγότερο νερό λόγω της υψηλής ωσμωτικής πίεσης του διαλύματος της άρδευσης (Shimul et al., 2014).



Εικόνα 1-3: Προφίλ αλάτωσης για τα όλα τα εξεταζόμενα σενάρια αγωγιμότητας για την καλλιέργεια της ντομάτας (Pappa, 2015).

Στην Εικόνα 1-3 παρουσιάζεται το προφίλ της αλάτωσης τους εδάφους για το φυτό της τομάτας (Pappa, 2015) για διαφορετικές περιπτώσεις αγωγιμότητας νερού και χώματος. Εξετάστηκαν τρεις διαφορετικές τιμές αγωγιμότητας εδάφους και τρεις διαφορετικές τιμές αγωγιμότητας νερού. Συγκεκριμένα, η τιμή αγωγιμότητας (W1, W2, W3) και η παροχή του νερού παρέμειναν σταθερές καθ' όλη την καλλιεργήσιμη περίοδο και η αγωγιμότητα εδάφους έπαιρνε τις τιμές

(S1, S1.5, S2) με 1 dS m^{-1} (S1), 1.5 dS m^{-1} (S1.5), 2 dS m^{-1} (S2). Τα προφίλ ξεκινούν από την εκάστοτε αρχική τιμή αγωγιμότητας και στη συνέχεια η αγωγιμότητα αυξάνεται με το βάθος κατά την καλλιεργήσιμη περίοδο. Όταν η αγωγιμότητα του εδάφους έχει την ίδια ή μικρότερη τιμή από την αγωγιμότητα του νερού, η αγωγιμότητα στο έδαφος θα ξεκινήσει να μειώνεται λόγω της έκπλυσης των αλάτων με νερό χαμηλότερης ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Σε περίπτωση που το νερό έχει υψηλότερη αγωγιμότητα από ότι το έδαφος, το έδαφος θα επιβαρυνθεί.

1.5. Καλλιέργεια σε θερμοκήπιο

Τα θερμοκήπια αποτελούν γεωργικές κατασκευές επικαλυμμένες με διάφανο υλικό για να επιτρέπεται η είσοδος του φυσικού φωτισμού. Τα τελευταία δέκα χρόνια, οι κατασκευαστές συνηθίζουν να καλύπτουν τα θερμοκήπια με ένα διπλό στρώμα πολυαιθυλενίου παρά με γυαλί ή άκαμπτο πλαστικό. Αρκετά υλικά, όπως ο πολυεστέρας ενισχυμένος με υαλοβάμβακα και τα πάνελ χλωριούχου πολυβινυλίου έχουν καλύτερη ενεργειακή απόδοση και διάδοση του φωτός αλλά είναι πολύ ακριβότερα.

Τις τελευταίες δύο δεκαετίες οι θερμοκηπιακές καλλιέργειες έχουν εξαπλωθεί στη Μεσόγειο. Τα πλεονεκτήματα του Μεσογειακού κλίματος που σχετίζονται με τις συνθήκες υψηλής ακτινοβολίας το φθινόπωρο και το χειμώνα, τις ήπιες θερμοκρασίες του χειμώνα και την κλιματική σταθερότητα που προκύπτει λόγω της εγγύτητας με τη θάλασσα. Τα προβλήματα που σχετίζονται με την προστατευόμενη καλλιέργεια το χειμώνα είναι η περιορισμένη ποσότητα νερού άρδευσης, η χαμηλή του ποιότητα και οι ανεπαρκείς συνθήκες μικροκλίματος στο εσωτερικό του θερμοκηπίου λόγω έλλειψης εγκαταστάσεων περιβαλλοντικού ελέγχου. Η θερμοκηπιακή καλλιέργεια στη Μεσόγειο επέκτεινε την περίοδο της συγκομιδής καθώς επέτρεψε την καλλιέργεια ακόμη και σε εποχές που λόγω οικονομικών και τεχνικών προβλημάτων ήταν αδύνατη (Castilla, 1994).

Μεταβολές στη θερμοκρασία, την υγρασία, το φως και σε άλλες συνθήκες στο χώρο του θερμοκηπίου μπορεί να επιδράσουν αρνητικά στην ανάπτυξη, την παραγωγή και την ποιότητα των φυτών. Μέσα από ένα μεγάλο αριθμό πειραμάτων αποδεικνύεται ότι η βέλτιστη θερμοκρασία εδάφους εξαρτάται από το στάδιο ανάπτυξης του φυτού και τη διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία και ότι η θερμοκρασία του εδάφους επηρεάζει τη τιμή της βέλτιστης θερμοκρασίας του αέρα (υψηλότερη θερμοκρασία εδάφους απαιτεί χαμηλότερη θερμοκρασία περιβάλλοντος και το αντίθετο). Στον Πίνακα 1-2 εμφανίζονται οι βέλτιστες θερμοκρασίες εδάφους σε σχέση με την ένταση της ακτινοβολίας ανάλογα με τη φάση ανάπτυξης του φυτού. (Mancuso et al., 2011). Αντίθετα, οι υψηλές θερμοκρασίες και η υγρασία στην θερμοκηπιακή καλλιέργεια της τομάτας παρέχουν ένα ευνοϊκό περιβάλλον για την ανάπτυξη ορισμένων ασθeneιών.

Πίνακας 1-2: Βέλτιστες θερμοκρασίες εδάφους για την παραγωγή τομάτας (Mancuso et al., 2011).

Φάση ανάπτυξης	Χαμηλή ένταση φωτός (°C)	Υψηλή ένταση φωτός (°C)
Πριν την ανθοφορία	13-14	17-20
Ανθοφορία	15-16	19-22

Οι κυριότερες διεργασίες που πρέπει να γίνουν για την καλλιέργεια της τομάτας στο χώρο του θερμοκηπίου είναι η απομάκρυνσή των υπολειμμάτων της προηγούμενης καλλιέργειας, ενσωμάτωση της οργανικής ουσίας (συνήθως βιολογικό λίπασμα) στο έδαφος και η απολύμανσή του. Στη συνέχεια, μετά από περίοδο 40-50 ημερών στο σπορείο, τα φυτά μεταφυτεύονται στο θερμοκήπιο είτε πάνω σε επίπεδο έδαφος είτε πάνω σε ανάχωμα ύψους 10-15 cm. Μετά τη φύτευση ακολουθεί το πότισμα για τη δημιουργία καλής επαφής του ριζικού συστήματος με το έδαφος. Πραγματοποιείται εφαρμογή λιπάνσεων κατά την διάρκεια της ανάπτυξης και καρποφορίας των φυτών, η οποία τις περισσότερες φορές γίνεται με διάλυση στερεών λιπασμάτων (σε μορφή σκόνης) στο νερό.

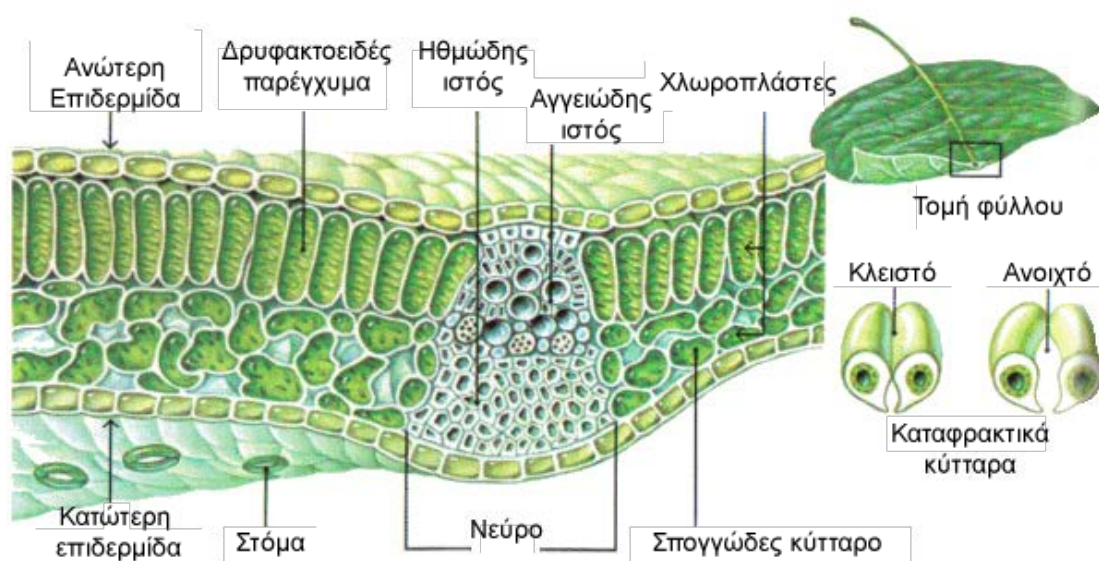
1.6. Χλωροφύλλη

Η φωτοσύνθεση είναι μία από τις διαδικασίες που καθορίζει την παραγωγή της καλλιέργειας, αποτελεί πηγή ενέργειας για όλη την αερόβια ζωή στη γη (Babu et al., 2011). Η μείωση της παραγωγής σε πολλά είδη φυτών που υποβάλλονται σε σκληρές περιβαλλοντικές συνθήκες σχετίζεται με τη μείωση της ικανότητας φωτοσύνθεσης. Η ανεπάρκεια νερού καθώς και η ανικανότητα μεταφοράς του νερού στα φύλλα οδηγεί σε μείωση της φωτοσύνθεσης. Η καταπόνηση λόγω άλατος επηρεάζει τη διαδικασία φωτοσύνθεσης λόγω της μείωσης της αγωγιμότητα στομάτων (stomatal conductance), της διακυτταρικής μερικής πίεσης του CO₂ στα φύλλα, του περιεχόμενου σε χλωροφύλλη, τις αλλαγές στην υπερδομή των χλωροπ्लाστών, των μειωμένων φωτοχημικών και καρβοξυλιακών αντιδράσεων και αύξηση του επιπέδου των διαλυτών σακχάρων στους ιστούς (Pessarakli, 2005).

Η χλωροφύλλη είναι ένα μόριο το οποίο απορροφά ενέργεια από το φως και σχηματίζει υδατάνθρακες μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης. Στα πράσινα φυτά υπάρχουν δύο είδη χλωροφύλλης, τη χλωροφύλλη α και τη χλωροφύλλη b, οι οποίες έχουν παρόμοια δομή μορίων αλλά διαφέρουν στη σύνθεση της πλευρικής αλυσίδας. Τόσο η χλωροφύλλη α όσο και η b απορροφούν στις μπλε και κόκκινες περιοχές του φάσματος αλλά έχουν την μέγιστη απορρόφησή σε διαφορετικά μήκη κύματος, ενώ δεν απορροφούν έντονα την πράσινη περιοχή του φάσματος (490 έως 550 nm). Το πράσινο μήκος κύματος αντανακλάται και για αυτό τα φύλλα φαίνονται πράσινα (Letstalkscience.ca, 2018). Αποτελεί μία από τις σημαντικότερες παραμέτρους του φυτού καθώς παρέχει πολύτιμες πληροφορίες όχι μόνο για τη φυσιολογική

κατάσταση αλλά και για τις φαινοτυπικές ενδείξεις του (Lu et al., 2015). Χρησιμοποιείται κυρίως ως δείκτης για να εντοπίσει τις ασθένειες αλλά και να εκτιμήσει την κατάσταση των θρεπτικών συστατικών και του αζώτου στα φυτά (Dey et al., 2016).

Τον τελευταίο αιώνα η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη μέθοδος προσδιορισμού της χλωροφύλλης στα φυτά και στα πράσινα φύκια ήταν η ανάλυση Arnon (Arnon, 1949), η οποία χρησιμοποιεί ταυτόχρονα εξισώσεις για το προσδιορισμό της χλωροφύλλης *a* και *b* σε υδατικά εκχυλίσματα 80% ακετόνης. Η μέθοδος αυτή δε θεωρείται ακριβής καθώς λόγω των ανακριβών φασματοφωτομετρικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν αρχικά οι αναλογίες της χλωροφύλλης *a/b* είναι πάντα χαμηλές (Porra, 2002).



Εικόνα 1-4: Η ανατομία του φύλλου.

1.7. Επίδραση της αλατότητας στη χλωροφύλλη

Η ανοχή του φυτού στην αλατότητα εξαρτάται από το γονότυπο, γονότυπα πιο σταθερά στην απώλεια των φωτοσυνθετικών χρωστικών συσχετίζονται με την ανοχή στην καταπόνηση λόγω του άλατος (Florina et al., 2013). Πειράματα έχουν δείξει ότι η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη μειώνεται όσο αυξάνεται η ηλεκτρική αγωγιμότητα με τη χλωροφύλλη *a* να μειώνεται σε μεγαλύτερο βαθμό από τη χλωροφύλλη *b* (Manaa et al., 2011). Η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη των καλλιεργούμενων φυτών συσχετίζεται θετικά με τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα τους και η μείωση του επιπέδου της χλωροφύλλης συμβάλλει στην αναστολή της φωτοσύνθεσης που παρατηρείται υπό συνθήκες αβιοτικού στρες (Al Hassan et al., 2015). Έχει προταθεί η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη να είναι μία από τις παραμέτρους ανεκτικότητας της αλατότητας στα φυτά (Yokafi et al., 2008).

Όπως αναφέρθηκε (Κεφάλαιο 1.2), η αλατότητα έχει σημαντικές επιπτώσεις στο έδαφος και κατ' επέκταση στα φυτά καθώς μειώνει την πρόσληψη νερού και την απορρόφηση θρεπτικών συστατικών με αποτέλεσμα να προκαλεί αρνητική επίδραση στην υγεία των φυτών. Μέσα από την περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη μπορεί να γίνει εκτίμηση της κατάστασης των φυτών. Εδώ παρουσιάζονται μελέτες και πειράματα της βιβλιογραφίας ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση τους με το παρόν πείραμα. Οι μελέτες που παρουσιάζονται σχετίζονται με την επίδραση της αλατότητας στη χλωροφύλλη που περιέχεται στο φυτό της τομάτας. Οι έρευνες έδειξαν ότι με την αύξηση της αλατότητας η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη μειώνεται και αυτό έχει αρνητική επίπτωση τόσο στην παραγωγή και στην ποιότητα του καρπού.

Πίνακας 1-3: Παλαιότερες μελέτες με θέμα την επίδραση του υφάλμυρου νερού άρδευσης στην περιεκτικότητα χλωροφύλλης στο φυτό της τομάτας.

Αντικείμενο	Αποτελέσματα	Αγωγιμότητα	Αναφορά
Επίδραση διαφορετικών αλατούχων συνθηκών στο χρόνο άνθησης, στην περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη και στη φωτοχημική απόδοση της τομάτας.	Μείωση του ύψους των φυτών, της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη και της φωτοχημικής απόδοσης των φυτών της ντομάτας. Η συνολική συγκέντρωση χλωροφύλλης στα φύλλα της ντομάτας μειώθηκε σημαντικά ανεξάρτητα από τους τύπους αλατότητας	0-8 dS m ⁻¹	Rani et al. (2017)
Επιβλαβείς επιδράσεις στις βιοχημικές και φυσιολογικές διαδικασίες της τομάτας λόγω της αλατότητας.	Μείωση στις περιεκτικότητες χλωροφύλλης (χλωροφύλλη a, χλωροφύλλη b και ολική χλωροφύλλη) λόγω της αλατότητας.	0-11 dS m ⁻¹	Manan et al. (2016)
Οι επιδράσεις στην καλλιέργεια τομάτας, λόγω της άρδευσης με σταγόνες αλατόνερου, στην απόδοση, την ποιότητα και στην εμφάνιση ξηρής κορυφής.	Μείωση του μέγιστο δείκτη της περιοχής των φύλλων (maximum Leaf Area Index LAIm) και την περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη, σε σύγκριση με άλλες μεταχειρίσεις αλατότητας. Σε σύγκριση με τη μεταχείριση =, παρατηρήθηκε ελαφρά αύξηση της περιεκτικότητας σε LAIm και χλωροφύλλης με αλατότητα 3-4 dS m ⁻¹ .	5,5 dS m ⁻¹ και 3-4 dS m ⁻¹	Zhai et al. (2015)

Αντιδράσεις τριών ποικιλιών τομάτας στην αλατότητα του θαλάσσιου νερού 1. Επίδραση της αλατότητας στην ανάπτυξη των δενδρυλλίων.	Η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη β ήταν υψηλότερη από την χλωροφύλλη α, όμως και οι δύο μειώθηκαν με την αύξηση της αλατότητας.	2,75, 4 και 5,5 dS m ⁻¹	Hajer et al. (2006)
Εφαρμογή φθορισμού χλωροφύλλης (chlorophyll fluorescence) για τη διάγνωση της καταπόνησης λόγω αλατότητας στην τομάτα "Solanum lycopersicum (ποικιλία Rio Grande)"	Η αγωγή με αλατότητα δεν έδειξε αλλαγές σε όλες τις παραμέτρους φθορισμού της χλωροφύλλης. Την τέταρτη εβδομάδα, η φωτοχημεία PSII (Photosystem II) τροποποιήθηκε στα φυτά με φύλλα προσαρμοσμένα στο φως που πλήχτηκαν από την αλατότητα, ενώ σε φυτά με φύλλα προσαρμοσμένα στο σκοτάδι, δεν υπήρξαν μεταβολές στη μέγιστη κβαντική απόδοση της φωτοχημείας PSII.	0-17 dS m ⁻¹	Zribi et al. (2009)
Επιδράσεις της αλατότητας στις μορφολογικές και φυσιολογικές μεταβολές και η απόδοση της τομάτας στο υδροπονικό σύστημα.	Η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη ήταν σημαντικά μειωμένη σε EC άνω των 3 dS m ⁻¹ . Οι παράμετροι ανάπτυξης και η απόδοση μειώθηκαν με την αυξανόμενη αλατότητα, αλλά ταυτόχρονα οι ποιοτικές ιδιότητες βελτιώθηκαν.	2,5-6 dS m ⁻¹	Azarmi et al. (2010)

Αποτελεσματικά κριτήρια άλατος στους γονοτύπους της καλλιέργειας τομάτας	Η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη μειώθηκε περισσότερο στις ποικιλίες τομάτας με ευαισθησία στο αλάτι από ότι στις ανθεκτικότερες σε αυτό.	13 dS m ⁻¹	Dogan et al. (2010)
Η καταπόνηση λόγω αλατότητας προκαλεί φυσιολογικές και πρωτεϊνοματικές αλλαγές στη τομάτα. (Solanum lycopersicum Seedlings)	Η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη α, β των φυτών τομάτας που υπέστησαν επεξεργασία με NaCl μειώθηκε σημαντικά καθώς αυξήθηκε το επίπεδο αλατότητας.	0-17 dS m ⁻¹	Manaa et al. (2011)
Χρήση μεταβατικών φαινομένων φθορισμού OJIP, χλωροφύλλης α για την ανίχνευση πίεσης άλατος στα φύλλα και τους καρπούς της τομάτας	Η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη (τιμή Soil-Plant Analyses Development SPAD) δε επηρεάστηκε σε άλλες συγκεντρώσεις πέρα των 100 Mm NaCl. Οι συνολικές καμπύλες του OJIP μειώθηκαν με την αύξηση της αλατότητας, αλλά δεν επηρεάστηκαν στη χαμηλότερη συγκέντρωσή άλατος.	2,7-9 dS m ⁻¹	Zushi and Matsuzoe (2017)
Επίδραση του στρες άλατος στην περιεχόμενη χλωροφύλλη σε διάφορες ποικιλίες Ρουμανικών τομάτων	Η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη μειώθηκε σε όλους τους γονότυπους Συγκεκριμένες ποικιλίες παρουσίασαν ικανοποιητικό επίπεδο χλωροφύλλης μετά την αγωγή με στρες άλατος	17 και 23 dS m ⁻¹	Florina et al. (2013)

	Κάποιοι γονότυποι έδειξαν μεγάλη σταθερότητα όσον αφορά τη μείωση της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη		
Επίδραση της πίεσης άλατος στις μορφο-φυσιολογικές και βιοχημικές παραμέτρους του <i>Solanum lycopersicum</i> cv. <i>Microtom</i> leaves	Οι προσαρμογές είναι κυρίως μορφολογικές (με μείωση της επιφάνειας των φύλλων), φυσιολογικές (μείωση του ποσοστού αφομοίωσης του καθαρού CO ₂ , ατομική αγωγιμότητα και διαπνοή και βελτίωση WUE) και βιοχημικές αποκρίσεις (μείωση της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη).	0-13 dS m ⁻¹	Bacha et al. (2017)
Οι επιδράσεις του στρες άλατος στις αυξανόμενες τιμές και στα φυσιολογικά χαρακτηριστικά του είδους <i>Lycopersicum esculentum</i> .	Η αλατότητα μείωσε το συνολικό περιεχόμενο σε χλωροφύλλη αυξάνοντας τη δραστηριότητα του ενζύμου χλωροφυλάση προκαλώντας καταστροφή της δομής του χλωροπλάστη και ην αστάθεια των συμπλόκων πρωτεϊνικής χρωστικής	9-13,7 dS m ⁻¹	Ciobanu and Sumalan (2009)
Οι επιδράσεις των διαφόρων συγκεντρώσεων χλωριούχου νατρίου στις παραμέτρους ανάπτυξης και φωτοσύνθεσης της τομάτας (<i>Lycopersicum esculentum</i> cv. <i>Foria</i>)	Δε παρατηρήθηκε μεγάλη διαφορά στην περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη μεταξύ των διαφόρων μεθόδων Το περιεχόμενο σε χλωροφύλλη μειώθηκε με την αύξηση της αλατότητας	0-4,7 dS m ⁻¹	Mozafariyan et al. (2013)
Οι επιδράσεις του NaCl στις φωτοσυνθετικές χρωστικές, στους σακχαρίτες και στην υπερδομή του	Στα φύλλα οι χλωροπλάστες συσσωματώθηκαν, οι κυτταρικές μεμβράνες παραμορφώθηκαν και ζάρωσαν και δεν υπήρχαν δομές grana και θυλακοειδών στους χλωροπλάστες.	9 dS m ⁻¹	Khavari-Nejad and Mostofi (1998)

χλωροπλάστη στα φύλλα ποικιλιών τομάτας	Σημαντικά μείωση της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη σε όλες τις ποικιλίες τομάτας.		
Απόκριση της τομάτας (<i>Lycopersicon esculentum</i>) στην αλατότητα σε υδροπονική καλλιέργεια	Σημαντικές παρεκκλίσεις χλωροφύλλης στα διάφορα επίπεδα αλατότητας Υψηλότερη περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη παρατηρήθηκε στο φυτό ελέγχου Χαμηλότερη περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη παρατηρήθηκε στη μέθοδο με τη μεγαλύτερη αγωγιμότητα	4-16 dS m ⁻¹	Shimul et al. (2014)

1.8. Ο ρόλος των εδαφοβελτιωτικών στην αποκατάσταση του εδάφους

Στο παρελθόν έχουν χρησιμοποιηθεί βιολογικές, χημικές και βιοχημικές μέθοδοι για την αποκατάσταση των αλατούχων-αλκαλιωμένων και αλκαλιωμένων εδαφών. Οι Qadir et al. (1996) χρησιμοποίησαν ως εδαφοβελτιωτικό το γύψο για τη αποκατάσταση του εδάφους και παρατήρησαν ότι απομάκρυνε τη μεγαλύτερη ποσότητα νατρίου από το έδαφος και προκάλεσε σημαντική μείωση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) και του λόγου προσρόφησης νατρίου (SAR). Οι Ahmad et al. (2013) χρησιμοποίησαν διαδοχικές καλλιέργειες και γύψο ή θειικό οξύ ως εδαφοβελτιωτικό για τη βελτίωση του εδάφους. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μεταχείριση με γύψο βοήθησε την ανάπτυξη της καλλιέργειας στα δεδομένα επίπεδα EC και SAR, ενώ οι διαδοχικές καλλιέργειες στο ίδιο έδαφος επέφεραν έκπλυση του νατρίου και άλλων ιόντων αλλά περιόρισαν την ανάπτυξη των φυτών. Συμπέραναν ότι οι καλλιέργειες κατάφεραν να αποκαταστήσουν το έδαφος με χαμηλό επίπεδο νατρίωσης ενώ τα εδάφη με υψηλό λόγο προσρόφησης νατρίου χρειάζονται χημική επεξεργασία προκειμένου να αποκατασταθούν.

Ο Mahdy (2011) χρησιμοποίησε βιολογικά εδαφοβελτιωτικά (κομπόστ, σκόνη ανθρακίτη, υπολείμματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, θειικό σίδηρο καθώς και συνδυασμό αυτών) σε δύο εδάφη με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Παρατήρησε ότι η μεταχείριση που συνδυάζει το χώμα μαζί με μείγμα αζώτου, φωσφόρου και καλίου καθώς και με κομπόστ, άνθρακα, WTRs και $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ήταν η πιο αποτελεσματική καθώς μείωσε σε μεγαλύτερο βαθμό το SAR και αύξησε σημαντικά την απόδοση της βιομάζας και στα δύο εδάφη.

Στο συγκεκριμένο πείραμα χρησιμοποιήθηκε ο μύκητας *Trichoderma harzianum* και Οργανικό Χουμικό Οξύ ACTIV80GG. Συνδυασμός χουμικού οξέος με κοπριά ή/και με γύψο έδειξε ότι η εφαρμογή του γύψου με ή χωρίς την κοπριά και το χουμικό οξύ επέφερε μείωση του pH, της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και του λόγου προσρόφησης νατρίου ενώ μείωσε το μήκος των ριζών.

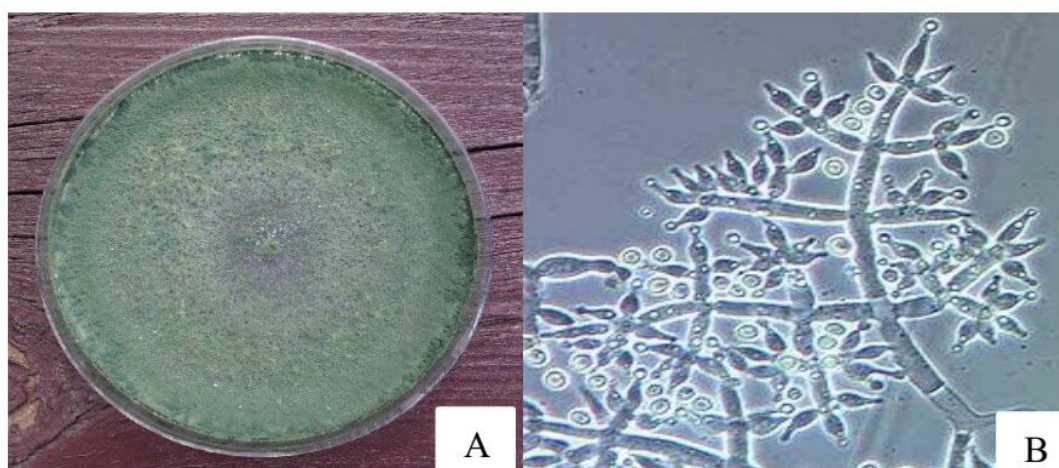
1.8.1. Ο μύκητας *Trichoderma*

Οι *Trichoderma* spp. είναι αποτελεσματικοί παράγοντες βιολογικού ελέγχου για πολλά φυλλώδη και ριζικά φυτοπαθγόνα. Μερικοί είναι επίσης γνωστοί για τις ικανότητες ενίσχυσης της αντοχής των φυτών στις ασθένειες καθώς και συνολική ανάπτυξη των φυτών (Shores and Harman, 2017). Η ικανότητα του μύκητα *Trichoderma* να ελέγχει βιολογικά τις ασθένειες των φυτών είναι γνωστή εδώ και περίπου 70 χρόνια, ενώ την τελευταία δεκαετία οι μύκητες έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται ευρέως στην εμπορική γεωργία. Η ικανότητα τους να ελέγχουν ασθένειες αποδόθηκε σε μεγάλο βαθμό στις άμεσες επιπτώσεις τους σε άλλους μύκητες και ιδιαίτερα στην ικανότητα τους να λειτουργούν ως παράσιτα φυτικών παθογόνων μυκήτων και στην παραγωγή αντιβιοτικών (Harman et al., 2008).

Τα πλεονεκτήματα των μυκήτων *Trichoderma* συμπεριλαμβάνουν:

- Άμεση βελτίωση της ανάπτυξης της ρίζας του φυτού, ιδιαίτερα κάτω από περιβαλλοντικές πιέσεις
- Βελτίωση της ανάπτυξης του φυτού
- Αύξηση της ανθεκτικότητας του φυτού σε περιπτώσεις αβιοτικού στρες όπως η ξηρασία, η υψηλή θερμοκρασία και η υψηλή αλατότητα
- Αύξηση της ανθεκτικότητας του φυτού στις ασθένειες καθώς παράγουν αντιβιοτικά και ανταγωνίζεται τους παθογόνους μικροοργανισμούς
- Αυξημένη πρόσληψη θρεπτικών και αύξηση της απόδοσης των λιπασμάτων
- Αυξημένα ποσοστά βλάστησης και βλάστησης των καρπών (Harman et al., 2008; Mastouri et al., 2010)

Κάποια στελέχη αναστέλλουν ή εξαλείφουν την αναπαραγωγή φυτικών παθογόνων στο έδαφος ή στις ρίζες των φυτών μέσω διαδικασιών ανταγωνισμού και μυκοπαρασιτισμού. Ένα μόνο στέλεχος του μύκητα *Trichoderma* μπορεί να προκαλέσει συστηματικές επιδράσεις σε πολλά διαφορετικά είδη φυτών ενάντια σε διάφορες ασθένειες. Μερικά στελέχη ενισχύουν την ανάπτυξη των φυτών και διευκολύνουν την πρόσληψη βασικών φυτικών θρεπτικών συστατικών τα οποία έμμεσα συμβάλουν στον έλεγχο της συστηματικής νόσου. Για παράδειγμα ο *T. harzianum* T22 (Εικόνα 1-5) έχει τη μεγαλύτερη επίδραση στην ανάπτυξη των φυτών και τον έλεγχο της νόσου υπό συνθήκες στρες. Οι ποιοτικοί παράγοντες του εδάφους, όπως το επίπεδο αποσύνθεσης της οργανικής ύλης μπορούν επίσης να επηρεάσουν τον βαθμό του συστηματικού ελέγχου που παρέχεται από το *Trichoderma* spp. (Alfano et al., 2007).



Εικόνα 1-5: (Α) Μακροσκοπική και (Β) Μικροσκοπική απεικόνιση του *T. harzianum* (<https://agronomie.info>, 2017).

Τα κυριότερα και πιο μελετημένα στελέχη του *Trichoderma* είναι τα *T. asperellum*, *T. atroviride*, *T. virens*, *T. viride* και *T. harzianum*, με το τελευταίο να έχει χρησιμοποιηθεί και

στην παρούσα μελέτη. Η εφαρμογή του *T. harzianum* γίνεται μία φορά στο κάθε φυτό και μπορεί να πραγματοποιηθεί σε διάφορα στάδια ανάλογα με το εμπορικό σκεύασμα. Μπορεί να εφαρμοστεί ως βελτιωτικό του εδάφους στα αρχικά στάδια ανάπτυξης ή ακόμη και κατά τη διάρκεια της φύτευσης με διαβροχή (Panagea et al., 2016). Παλαιότερα πειράματα (Anastasia Deligianni and Tsanis, 2016; Koutsoudis and Tsanis, 2016; K. Wagner and Tsanis, 2016) που χρησιμοποίησαν το μύκητα *T. harzianum* ως εδαφοβελτιωτικό σε περιπτώσεις αλατούχου-αλκαλιωμένου εδάφους παρατήρησαν θετικές επιδράσεις τόσο στην ανάπτυξη των φυτών, όσο και στην απόδοση της παραγωγής.

1.8.2. Χουμικό Οξύ

Οι χουμικές ουσίες έχουν σημαντικό ρόλο στη γονιμότητα του εδάφους και στη διατροφή των φυτών. Μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε χουμίνη, χουμικά οξέα-Humic Acids (HAs) και φουλβικά οξέα-Fulvic acids (FAs) (Robert E, 2014). Τα ευεργετικά αποτελέσματά τους στην ανάπτυξη των φυτών σχετίζονται την έμμεση (αύξηση της αποδοτικότητας των λιπασμάτων ή μείωση της συμπίκνωσης του εδάφους) ή άμεση (βελτίωση της συνολικής βιομάζας των φυτών) επίδραση τους (Semida et al., 2014). Αποτελούν το 65-70% της οργανικής ύλης στο χρώμα των φυτών και είναι αντικείμενο μελέτης σε πολλά πεδία λόγω των πολλαπλών τρόπων με τους οποίους μπορούν να ωφελήσουν την ανάπτυξη των φυτών (Türkmen et al., 2004). Το χουμικό οξύ επηρεάζει τους μηχανισμούς που εμπλέκονται στην κυτταρική αναπνοή, τη φωτοσύνθεση, τη σύνθεση πρωτεϊνών, την πρόσληψη θρεπτικών ουσιών και νερού και τις ενζυμικές δραστηριότητες, αυξάνοντας έτσι την απόδοση των καλλιεργούμενων φυτών (Ahmed Mayi et al., 2014). Σε ουδέτερα και αλκαλικά εδάφη, ένα μεγάλο ποσοστό της οργανικής ύλης βρίσκεται στη μορφή των χουμικών οξέων και της χουμίνης. Τα χουμικά οξέα (HA) (Εικόνα 1-6) περιλαμβάνουν αδύναμα αλειφατικά και αρωματικά οργανικά οξέα που δεν είναι διαλυτά στο νερό κάτω από όξινες συνθήκες αλλά κάτω από αλκαλικές (Robert E, 2014). Έχει αναφερθεί ότι το χουμικό οξύ έχει ευεργετικές επιπτώσεις στην πρόσληψη θρεπτικών συστατικών από τα φυτά και είναι ιδιαίτερα σημαντικό στη μεταφορά και τη διαθεσιμότητα των μικροθρεπτικών.

Παλαιότερα πειράματα στα οποία έγινε χρήση του χουμικού οξέος ως εδαφοβελτιωτικού έδειξαν ότι η εξωγενής εφαρμογή χουμικού οξέος (HA) αυξάνει σημαντικά τη φυτική βιομάζα, τη μέγιστη ποσότητα απόδοσης, τις χρωστικές χλωροφύλλης και προλίνης και μειώνει το δυναμικό του νερού των φύλλων και τα περιεχόμενα H_2O_2 και MDA καθώς και αυξάνει την ανοχή των φυτών στην αλατότητα (Kaya et al., 2018; Semida et al., 2014). Το χουμικό οξύ επιτρέπει στα αναπτυσσόμενα φυτά να ξεπεράσουν τις δυσμενείς επιπτώσεις της μέτριας αλατότητας του εδάφους βελτιώνοντας τις ιδιότητες του, όπως τη συσσώρευση, τον αερισμό, τη διαπερατότητα, την ικανότητα συγκράτησης νερού, την πρόσληψη και τη διαθεσιμότητα

των μικροθρεπτικών, καθώς και μειώνουν την πρόσληψη ορισμένων τοξικών στοιχείων (Rady, 2014). Ο (Marosz, 2009) παρατήρησε ότι το χουμικό οξύ αύξησε το περιεχόμενο σε χλωροφύλλη στα φύλλα φυτών κάτω από στρες άλατος. Ωστόσο, η αλατότητα τροποποιεί τις φυσικοχημικές ιδιότητες του ΗΑ οι οποίες είναι σημαντικές για την αλληλεπίδραση των χουμικών οξέων με την επιφάνεια των ριζών των φυτών (Matuszak-Slamani et al., 2017)



Εικόνα 1-6: Το χουμικό οξύ ([https:// www.blackearth.com](https://www.blackearth.com), 2018).

1.9. Σκοπός της διπλωματικής

Το Τυμπάκι, το οποίο αποτελεί την περιοχή μελέτης της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, πρόκειται για μια περιοχή με ιδιαίτερη αξιοποίηση όσο αφορά τις καλλιέργειες θερμοκηπίου. Λόγω της γεωργικής ανάπτυξης, προέκυψαν επιπτώσεις στους υδάτινους πόρους και στα οικοσυστήματα. Συγκεκριμένα, εμφανίζεται πρόβλημα υφαλμύρινσης του υπόγειου υδροφορέα ως αποτέλεσμα της υπεράντλησης του γλυκού νερού για άρδευση.

Στη συγκεκριμένη εργασία, εξετάστηκαν οι επιδράσεις της αλατότητας σε καλλιέργεια φυτών τομάτας σε θερμοκήπιο που προσομοιώνει τις συνθήκες στην περιοχή του Τυμπακίου. Μελετήθηκε η συμπεριφορά της τομάτας κάτω από διάφορες συνθήκες αγωγιμότητας και με τη χρήση φρέσκου χώματος και χώματος δεύτερου κύκλου καλλιέργειας. Χρησιμοποιήθηκε Οργανικό χουμικό οξύ και ο μύκητας *T. harzianum* ως εδαφοβελτιωτικά, προκειμένου να ωφεληθούν τα φυτά και να καταγραφούν οι αντιδράσεις τους. Εκτενέστερα μελετήθηκαν οι επιπτώσεις της αλατότητας στο ποσοστό χλωροφύλλης των φυτών, καθώς αποτελεί σημαντικό ποσοτικό και ποιοτικό παράγοντα.

Στόχος είναι η ανάλυση των επιδράσεων της αλατότητας και των εδαφοβελτιωτικών που αφορούν την παραγωγή, την ανάπτυξη και κυρίως την περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη φυτών τομάτας της ποικιλίας Ελπίδα είναι η εύρεση αποτελεσματικών λύσεων για το συγκεκριμένο πρόβλημα.

2. Μεθοδολογία

2.1. Ηλεκτρική αγωγιμότητα

Η αλατότητα υπολογίζεται με τη μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, EC η οποία αναφέρεται ως η ικανότητα ενός διαλύματος να μεταφέρει ρεύμα.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα ενός διαλύματος είναι ανάλογη της περιεκτικότητάς του σε διαλυτό άλας (σε ένα υδατικό διάλυμα, το EC αυξάνεται με τη συγκέντρωση των ιόντων και συνεπώς με τις συγκεντρώσεις των ολικών διαλυμένων στερεών. Το καθαρό ύδωρ έχει πολύ χαμηλή αγωγιμότητα. Όσο περισσότερα άλατα στο δείγμα, τόσο μεγαλύτερη είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητά του (Ali, 2011). Χρησιμοποιείται ευρέως για την παρακολούθηση της ανάμειξης γλυκού νερού με αλατούχο και είναι μια μέτρηση που σχετίζεται με τις ιδιότητες του εδάφους που επηρεάζουν την παραγωγικότητα των καλλιεργειών, συμπεριλαμβανομένης της υφής του εδάφους, της ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων (CEC), τις συνθήκες αποστράγγισης, το επίπεδο οργανικής ύλης, την αλατότητα και τα χαρακτηριστικά του υπεδάφους (Grisso et al., 2009; Hayashi, 2004).

Από άποψη ορισμού, η πιο συνεπής μέθοδος προσδιορισμού της αλατότητας είναι η EC_f (field capacity), η οποία υπολογίζει την πραγματική συγκέντρωση αλάτων στο χώμα. Για πρακτικούς λόγους η αλατότητα προσδιορίζεται ύστερα από εκχύλιση του ξηρού χώματος με απεσταγμένο νερό. Η συγκεκριμένη μέθοδος ονομάζεται EC_e (saturation extract) (Daliakopoulos et al., 2016). Σύμφωνα με τον Rengasamy (2006) ένα έδαφος θεωρείται αλατούχο όταν η ηλεκτρική αγωγιμότητα εκχυλίσματος κορεσμού EC_e (saturation extract) είναι μεγαλύτερη από 4 dS m^{-1} . Ο Πίνακας 2-1 δείχνει την κατηγοριοποίηση των αρδευτικών υδάτων ανάλογα με τη τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, ενώ ο Πίνακας 2-2 δείχνει τον χαρακτηρισμό των εδαφών αλλά και αναφορά των επιδράσεων της αλατότητας σε αυτό.

Πίνακας 2-1: Χαρακτηρισμός νερού με βάση την ηλεκτρική του αγωγιμότητα (Lenntech BV, 2016).

Ποιότητα	Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC)
Απόλυτα καθαρό	$5,5 \cdot 10^{-6} \text{ dS m}^{-1}$
Πόσιμο	$0,05\text{-}0,5 \text{ dS m}^{-1}$
Θαλασσινό	50 dS m^{-1}

Οι μετρούμενες τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στις διάφορες θερμοκρασίες θα πρέπει να αντιστοιχούν σε μία πρότυπη θερμοκρασία, καθώς η ηλεκτρική αγωγιμότητα εξαρτάται από

αυτή. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα EC μετράται σε deciSiemens ανά μέτρο (dS m^{-1}) στους 25°C για να αποφευχθεί η επιρροή της θερμοκρασίας.

Πίνακας 2-2: Κατηγοριοποίηση αλατότητας στο έδαφος με βάση την επίδραση στις καλλιέργειες (Ali, 2011).

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

Στην παρούσα εργασία, η μέτρηση της αγωγιμότητας του νερού έγινε με το αγωγιμόμετρο HM Digital: EC/TDS/TEMP το οποίο έχει εύρος μέτρησης: 0,1-9,9, μονάδες μέτρησης dS m^{-1} και κάνει αναγωγή σε θερμοκρασία δωματίου.

2.2. Λόγος προσρόφησης νατρίου

Η υψηλή συγκέντρωση Νατρίου (Na^+) στο νερό άρδευσης μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τη δομή του εδάφους και να επιφέρει μείωση της υδραυλική αγωγιμότητας. Ο βαθμός στον οποίο το νάτριο θα προσροφηθεί από το έδαφος είναι συνάρτηση της ποσότητας του νατρίου προς τα δισθενή κατιόντα (Ca^{2+} και Mg^{2+}) και αναφέρεται ως λόγος προσρόφησης νατρίου SAR (Sodium Adsorption Ratio) (Bouwer και Idelovitch 1987). Αποτελεί ένα γενικό δείκτη ποιότητας του νερού με τον οποίο εκτιμάται η καταλληλότητά του προς άρδευση και η κατάσταση του εδάφους για γεωργική χρήση. Ο δείκτης SAR υπολογίζεται με βάση την παρακάτω εξίσωση:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Mg^{2+} + Ca^{2+}}{2}}}$$

Οι υψηλές συγκεντρώσεις νατρίου αποτελούν πρόβλημα όταν ο ρυθμός διήθησης μειώνεται σε βαθμό που η καλλιέργεια δεν έχει διαθέσιμη επαρκή ποσότητα νερού ή όταν η υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους είναι τόσο χαμηλή που δεν μπορεί να παρέχει επαρκή αποστράγγιση.

Η οριακή τιμή του λόγου προσρόφησης νατρίου στο έδαφος είναι 13 (Sumner et al., 1995; Van Beek & Tóth, 2012), καθώς τα εδάφη που παρουσιάζουν δείκτη $SAR \geq 13$ κρίνονται αλκαλιωμένα.

Η μέτρηση της συγκέντρωσης των μετάλλων έγινε με τη μέθοδο ICP-MS (Inductively coupled plasma mass spectrometry), μετά από εκχύλιση σε απιονισμένο νερό. Η μέθοδος αυτή είναι ικανή να ανιχνεύσει ορισμένα μέταλλα και αμέταλλα σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις, έχει μεγαλύτερο εύρος γραμμικότητας και προσφέρει ταυτόχρονη πολυστοιχειακή ανάλυση και ανάλυση μεγάλου αριθμού δειγμάτων σε σειρά σε σύντομο χρονικό διάστημα. Η πηγή ICP μετατρέπει τα άτομα των στοιχείων του δείγματος σε ιόντα οποία τα διαχωρίζονται και ανιχνεύονται από το φασματογράφο μάζας. Πριν την ανάλυση, τα εδαφικά δείγματα ξηραίνονται σε κλίβανο στους 40 °C για 48 h, για μείωση της περιεχόμενης υγρασίας τους και κοσκινίζονται σε κόσκινο διαμέτρου πόρων 2 mm. Στη συνέχεια πραγματοποιείται εκχύλιση των δειγμάτων με αποσταγμένο νερό (έδαφος:νερό=1:2) και ακολουθεί διήθηση με απορροφητικό χαρτί Whatman με διάμετρο πόρων 0,45 μm και κατάλληλη αραιώση μέσα στο εύρος της καμπύλης βαθμονόμησης (1:10) και τέλος οξίνιση με χρήση νιτρικού οξέος (HNO_3) σε επίπεδο 2% v/v (pH<2).

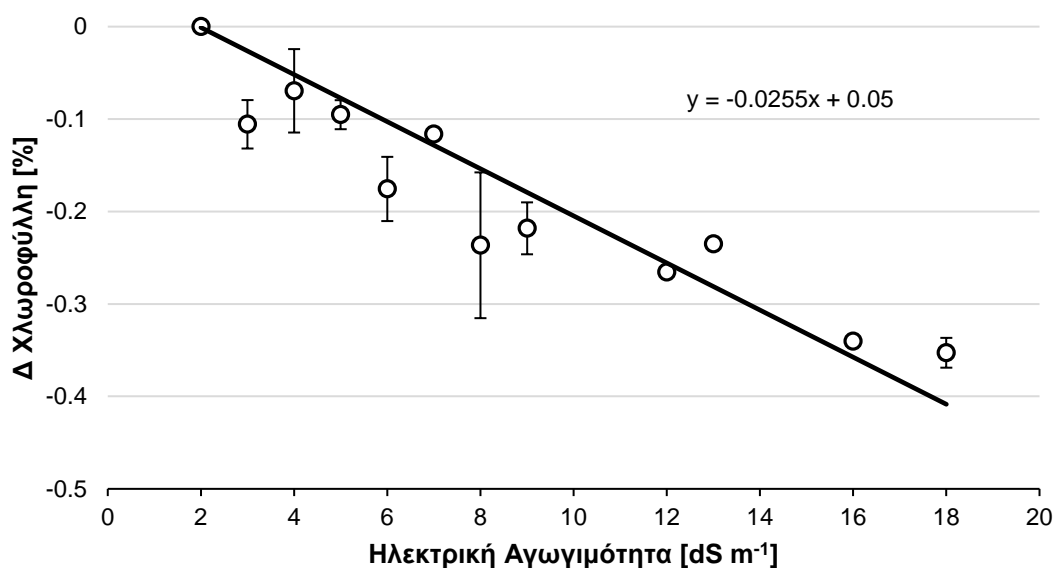
2.3. Χλωροφύλλη

Σήμερα πιο διαδομένοι είναι οι φορητοί μετρητές μέτρησης περιεχόμενου της χλωροφύλλης οι οποίοι εκτιμούν το σχετικό επίπεδο της συνολικής χλωροφύλλης μόνο. Για την ακριβή εκτίμηση χλωροφύλλης a και b, καροτενοειδών κ.λπ. οι υγρές μέθοδοι με οργανικούς διαλύτες κρίνονται καταλληλότερες. Στο συγκεκριμένο πείραμα έγινε προσδιορισμός της χλωροφύλλης με το όργανο CCM-200 plus της εταιρίας Opti-sciences, το οποίο καθορίζει την περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη επί τόπου όπως φαίνεται στην Εικόνα 2-1. Συγκεκριμένα κατά τη διεξαγωγή των μετρήσεων της χλωροφύλλης, πραγματοποιήθηκαν δύο μετρήσεις σε δύο φύλλα κάθε φυτού, στο άνω και κάτω μέρος του, και χρησιμοποιήθηκε ο μέσος όρος των τιμών αυτών κατά την επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Άλλο διαδεδομένο φορητό όργανο προσδιορισμού της χλωροφύλλης αποτελεί ο μετρητής χλωροφύλλης SPAD ο οποίος μετράει άμεσα την περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη και ποσοτικοποιεί τις μικρές αλλαγές στην υγεία των φυτών πριν να είναι ορατές στο ανθρώπινο μάτι. Οι δύο μετρητές μετράνε σε ανάλογα μήκη κύματος με τον SPAD να μετράει στα 940 nm και 650 nm ενώ ο CCM-200 στα 940 nm και 660 nm. Η περιοχή φύλλων που μετρείται από κάθε μετρητή διαφέρει επίσης. Ο SPAD μετρά περιοχή 0,06 cm² ενώ ο CCM-200 0,71 cm².



Εικόνα 2-1: Μέτρηση με το όργανο CCM-200 plus.

Στην Εικόνα 2-2 απεικονίζεται η ποσοστιαία μεταβολή της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη συναρτήσει της ηλεκτρικής αγωγιμότητας με τιμές που πάρθηκαν από τη βιβλιογραφία (Πίνακας 2-3). Οι τιμές αυτές προέκυψαν με τη χρήση διάφορων μεθόδων και οργάνων και πραγματοποιήθηκε επεξεργασία τους ώστε να είναι συγκρίσιμες με τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου πειράματος.



Εικόνα 2-2:Μεταβολή του ποσοστού της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη συναρτήσει της ηλεκτρικής αγωγιμότητας EC(dS m⁻¹).

Πιο συγκεκριμένα, η συγκέντρωση της αλατότητας στην πλειοψηφία των βιβλιογραφικών τιμών ήταν εκφρασμένη σε μοριακότητα κατ' όγκο (mM). Πραγματοποιήθηκε μετατροπή σε g/L λαμβάνοντας υπόψη ότι 1 mole NaCl είναι 58.44277 g και τέλος, μέσω εξίσωσης που αναπτύχθηκε έγινε μετατροπή σε dS m⁻¹. Οι υπόλοιπες τιμές των συγκεντρώσεων ήταν ήδη εκφρασμένες σε gr/L ή σε dS m⁻¹. Προκειμένου να δημιουργηθεί το η συσχέτιση των δεδομένων, πραγματοποιήθηκε ομαδοποίηση των δεδομένων ανά 1 dS m⁻¹ και στη συνέχεια σχηματίστηκε η γραμμή τάσης ώστε να είναι πιο εύκολα ορατή η συμπεριφορά της χλωροφύλλης (Εικόνα 2-2). Ενδιαφέρον παρουσιάζει ότι σε συγκεντρώσεις ηλεκτρικής αγωγιμότητας μικρότερες των 2 dS m⁻¹ η χλωροφύλλη δεν μειώνεται και κατ' επέκταση δεν υπάρχει μείωση της παραγωγής.

Πίνακας 2-3: Βιβλιογραφικές έρευνες που χρησιμοποιήθηκαν.

Περιγραφή πειράματος	Βιβλιογραφική αναφορά
Επιπτώσεις του αλατότητας στην ανάπτυξη φυτών, ορυκτών θρεπτικών ουσιών και ολικής χλωροφύλλης ορισμένων ποικιλιών ντομάτας (<i>Lycopersicon esculentum</i> L.)	Taffouo et al. (2002)
Αντίδραση της τομάτας (<i>Lycopersicon esculentum</i>) στην αλατότητα σε υδροπονική μελέτη	Shimul et al. (2014)
Η επίδραση του στρες άλατος στην περιεκτικότητα χλωροφύλλης σε διάφορες ρουμανικές ποικιλίες ντομάτας	Florina et al. (2013)
Η επίδραση του υδατικού στρες και της αλατότητας στην ανάπτυξη και φυσιολογία της τομάτας (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill)	Giannakoula and Ilias (2013)
Αντιδράσεις τριών ποικιλιών τομάτας στην αλατότητα θαλάσσιου νερού. Επίδραση της αλατότητας στην ανάπτυξη των δενδρυλλίων	Hajer et al. (2006)
Επίδραση του στρες άλατος στην έκφραση των γονιδίων της καροτενοειδούς οδού στη τομάτα	Babu et al. (2011)
Αντιδράσεις του φυτού της τομάτας (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.) στην έκθεση σε διαφορετικές τιμές και μορφές αλάτων	Yokafi et al. (2008)
Αντίδραση του φυτού της τομάτας κάτω από στρες άλατος: Ο ρόλος του εξωγενούς ασβεστίου	Parvin et al. (2015)
Επιδράσεις του στρες άλατος και νερού στην ανάπτυξη των φυτών και στη συσσώρευση των οσμολυτών και των αντιοξειδωτικών ενώσεων σε τομάτα Cherry	Al Hassan et al. (2015)
Αποτελεσματικά κριτήρια του αλατιού σε καλλιέργεια με γονότυπους τομάτας	Dogan et al. (2010)
Το στρες άλατος προκαλεί φυσιολογικές και πρωτεϊνωματικές αλλαγές στα σπορίδια τομάτας (<i>Solanum lycopersicum</i>)	Manaa et al. (2011)

2.4. Τυπικό σφάλμα μέσης τιμής

Στο πλαίσιο της ανάλυσης των αποτελεσμάτων έγινε υπολογισμός της μέσης τιμής των αποτελεσμάτων των διάφορων μεταχειρίσεων. Ορίζεται ως το άθροισμα των παρατηρήσεων δια του πλήθους αυτών:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i$$

όπου t_i η παρατήρηση i και n το πλήθος των παρατηρήσεων.

Η επαναληψιμότητα της μέσης τιμής \bar{x} , εκφράζεται μέσω του τυπικού σφάλματος της μέσης τιμής Standard Error, $SE_{\bar{x}}$), το οποίο αποτελεί μια ένδειξη της αβεβαιότητας γύρω από την εκτίμηση της μέσης τιμής. Υπολογίζεται από το πηλίκο της τυπικής απόκλισης προς τη τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος των παρατηρήσεων.

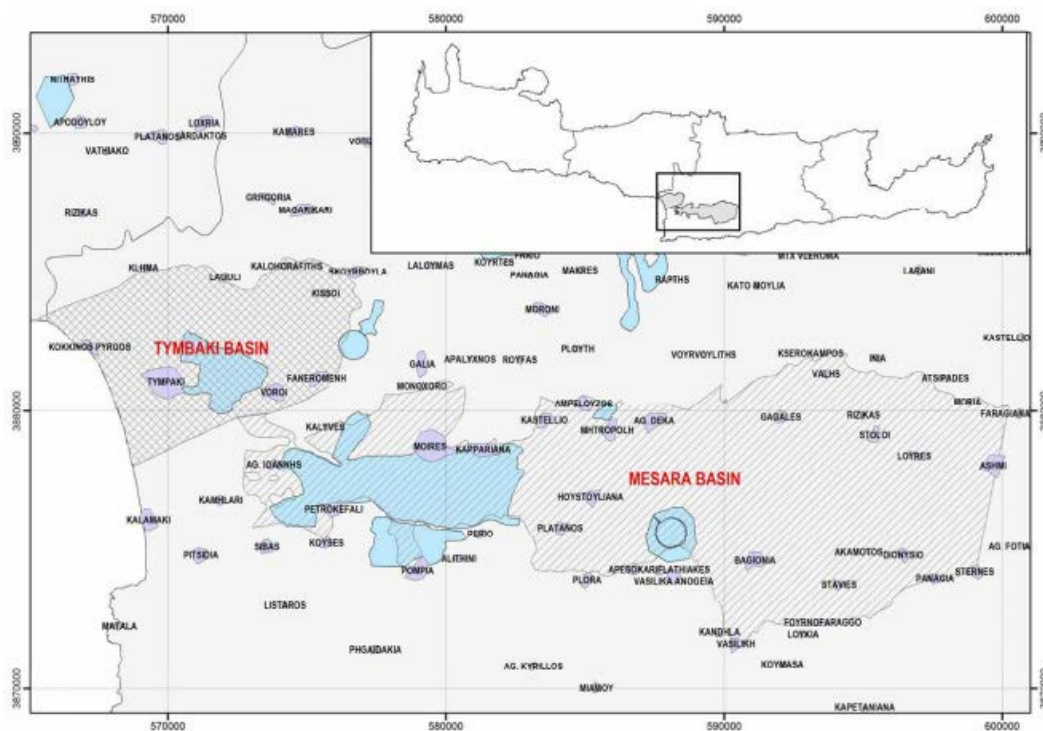
$$SE_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

όπου s η τυπική απόκλιση και n το πλήθος των παρατηρήσεων.

3. Περιοχή μελέτης

3.1. Γεωγραφική περιγραφή

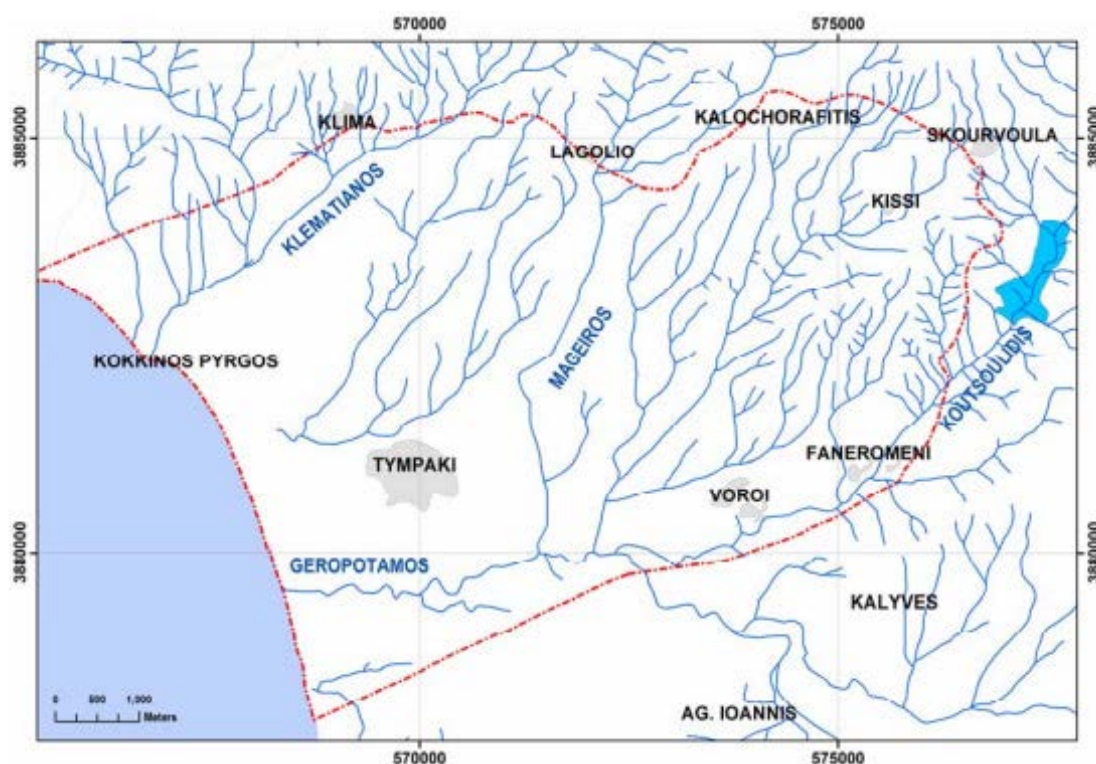
Το Τυμπάκι βρίσκεται στο Νότιο-κεντρικό τμήμα της Κρήτης, πιο συγκεκριμένα βρίσκεται στην νότια πλευρά της περιφερειακής ενότητας Ηρακλείου και υπάγεται στο Δήμο Φαιστού. Πρόκειται για πεδινό και παραθαλάσσιο δήμο έκτασης 157.122 km², το μεγαλύτερο μέρος του οποίου βρίσκεται στη δυτική άκρη της πεδιάδας της Μεσσαράς και βρέχεται από το Λιβυκό πέλαγος. Η υπολεκάνη του Τυμπακίου είναι χωρισμένη από την υπόλοιπη λεκάνη της Μεσσαράς από το ρήγμα της Φαιστού. Αποτελείται από 10.000 κατοίκους που ασχολούνται κυρίως με τη γεωργία και η πεδιάδα του Τυμπακίου αποτελεί μια από τις σημαντικότερες αγροτικές περιοχές της Κρήτης με την καλλιέργεια πρώιμων κηπευτικών σε θερμοκήπια καθώς και ελαιόδεντρων (Kokolakis, 2017). Η αρδευόμενη έκταση είναι 40.000 στρέμματα και το σύνολο του αρδευτικού νερού που χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα προέρχεται από το υπόγειο δυναμικό. Ο υδροκρίτης της λεκάνης έχει έκταση περίπου 50 km², μέσο υψόμετρο 200 m και δέχεται μέσο ύψος βροχής λιγότερο από 500 mm. Περισσότερα από 78 km² καλλιεργούνται, εκ των οποίων 40 km² αρδεύονται. Άρδευση πραγματοποιείται αποκλειστικά με άντληση υπογείων υδάτων, που ανέρχεται σε 7.000.000 m³ ανά έτος (Vafidis et al., 2013).



Εικόνα 3-1:Χάρτης της περιοχής του Τυμπακίου και της κοιλάδας της Μεσσαράς (Paritsis, 2005).

3.2. Κλιματολογικά και υδρολογικά στοιχεία

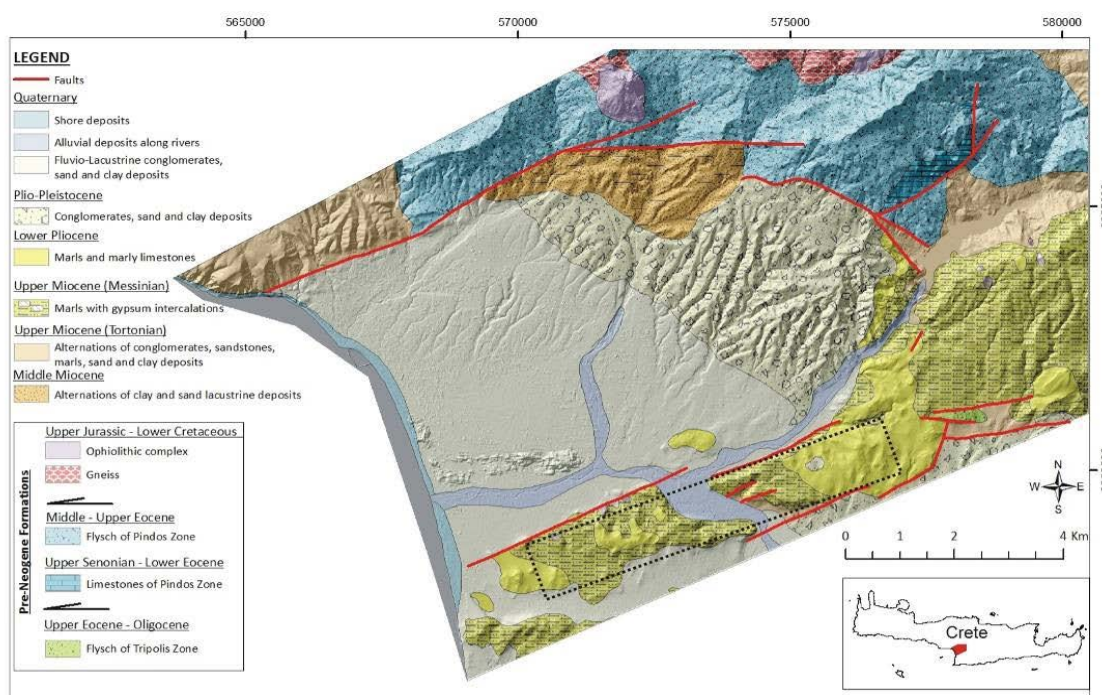
Το κλίμα της περιοχής, όπως και ολόκληρης της Κρήτης, βρίσκεται στη χερσαία Μεσογειακή ζώνη η οποία χαρακτηρίζεται από ήπιους χειμώνες και ξηρά, ζεστά καλοκαίρια. Η μέση θερμοκρασία τους χειμερινούς μήνες κυμαίνεται στους 12 °C, ενώ τους θερινούς στους 28° C. Το υδρολογικό έτος μπορεί να χωριστεί σε υγρή και ξηρή περίοδο καθώς περίπου το 40% των βροχοπτώσεων συμβαίνει κατά τη διάρκεια του Δεκεμβρίου και του Ιανουαρίου ενώ από τον Ιούνιο έως τον Αύγουστο υπάρχει αμελητέα βροχόπτωση. Το ποσοστό σχετικής υγρασίας κυμαίνεται σε υψηλές τιμές, αφού το χειμώνα είναι περίπου 70% ενώ το καλοκαίρι 60%. Παρόλο που η περιοχή λαμβάνει ετήσια βροχόπτωση 500 mm κατά μέσο όρο, εκτιμάται ότι το 65% περίπου χάνεται λόγω εξατμισοδιαπνοής, 10% εκρέει προς τη θάλασσα και μόνο ένα ποσοστό 25% πηγαίνει για τον εμπλουτισμό της αποθήκης υπόγειου νερού. Η πεδιάδα περιέχει αρκετούς υδροφόρους ορίζοντες και υφάλμυρα νερά με πολύπλοκη κατανομή και ιδιότητες. Τα επίπεδα των υπόγειων υδάτων είναι ανώτερα τον Μάρτιο και τον Απρίλιο ενώ στη συνέχεια μειώνεται έως ότου πραγματοποιηθεί επαναφόρτιση το χειμώνα. Συνήθως υπάρχει χρονική υστέρηση 5 μηνών μεταξύ της μέγιστης βροχόπτωσης και της μέγιστης στάθμης των υπόγειων υδάτων (Croke et al., 2000; Paritsis, 2005; Tsanis and Apostolaki, 2009).



Εικόνα 3-2: Δίκτυο επιφανειακής απορροής της περιοχής Τυμπακίου (Paritsis, 2005).

3.3. Γεωλογία της περιοχής

Η περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται από αλληλουχία φάσεων διαφορετικής ηλικίας και σχηματισμών. Στις εκβολές του Γεροπόταμου, στην παράκτια περιοχή του Τυμπακίου υπάρχουν άμμοι που είναι συγκολλημένοι με κροκάλες και ψαμμίτες. Παρατηρούνται επίσης στην ευρύτερη περιοχή, θαλάσσιες αποθέσεις του Κατώτερου Πλειόκενου (λευκές μάργες, λευκούς μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και καστανωπές φυλλώδεις μάργες), Αλλουβιακές Αποθέσεις του Τεταρτογενούς (Ολόκαινο) (ασύνδετα υλικά από χαλίκια, άμμους, ιλύ και λοιπά προϊόντα αποσάθρωσης), Ερυθρά Κροκαλοπαγή, άμμοι και άργιλοι του Τεταρτογενούς (Αδιαίρετου), Μάργες και Γύψοι του Νεογενούς (Ανώτερο Μειόκαινο– Μεσσήνιο), Κροκαλοπαγή άμμους και αργίλους του Πλειο-Πλειστόκαινου, Αποθέσεις Θαλάσσιες, Υφάλμυρες ή Γλυκού Νερού του Νεογενούς (Ανώτερο Μειόκαινο–Τορτόνιο). Η ανομοιογένεια των αποθέσεων της κοιλάδας υπήρξε η αιτία για μεγάλες παραλλαγές υδρογεωλογικών συνθηκών ακόμα και σε μικρές αποστάσεις.



Εικόνα 3-3: Γεωλογικός χάρτης του Τυμπακίου. Η διακεκομμένη γραμμή οριοθετεί το φαράγγι της Φαιστού (Panagopoulos et al., 2015).

3.4. Πιέσεις στο φυσικό Περιβάλλον

Η συνεχής αύξηση του πληθυσμού και εν συνεχεία η αύξηση της ανάγκης για τροφή σε συνδυασμό με την κλιματική αλλαγή έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ανισορροπίας μεταξύ της ζήτησης σε νερό και των αποθεμάτων που διατίθενται (Ragab, 2011). Η ανισορροπία αυτή εντείνεται στην περιοχή λόγω της εμφάνισης διαδοχικών ξηρών ετών την δεκαετία του 1990 που είχε ως αποτέλεσμα την εντατικότερη άντληση για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών

με αποτέλεσμα το 2000 η στάθμη των υπόγειων υδάτων να φτάσει τα 45 m κάτω από την επιφάνεια της θάλασσα (Tsanis & Apostolaki, 2008). Λόγω της γειτνιάσής του με τη θάλασσα ο υδροφορέας στο ΝΔ παράκτιο τμήμα του δήμου (περιοχή Κόκκινου Πύργου) έχει υποστεί υφαλμύριση. Η περιοχή της Μεσσαράς κρίνεται η πλέον προβληματική από πλευράς ποσότητας αλλά και ποιότητας των υπογείων υδάτων, ενώ έχουν σημειωθεί και αρκετές καθιζήσεις (Vafidis et al., 2013). Ο Πίνακας 3-1 συνοψίζει και ταξινομεί τις επιπτώσεις της αλατότητας του εδάφους για τις διάφορες λειτουργίες του εδάφους του Τυμπακίου. Στον πίνακα, οι επιπτώσεις χαρακτηρίζονται ως Υ: Υψηλή, Μ: Μεσαία, Χ: Χαμηλή, Α: Άγνωστη, Κ: Καμία.

Πίνακας 3-1 Επιπτώσεις της αλατότητας του εδάφους για τις διάφορες λειτουργίες του εδάφους του Τυμπακίου (Daliakopoulos et al., 2016).

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

3.5. Πειραματικό Μέρος

Πραγματοποιήθηκε προσομοίωση των συνθηκών καλλιέργειας της περιοχής του Τυμπακίου σε θερμοκήπιο στο χώρο του Πολυτεχνείου Κρήτης το εσωτερικού του οποίου φαίνεται στην Εικόνα 3-4. Το θερμοκήπιο έχει νοτιοδυτικό προσανατολισμό και βρίσκεται στη γεωγραφική θέση 35°32'00.2"N 24°04'12.4"E. Η θέση του του επιτρέπει να έχει υψηλή ηλιακή ακτινοβολία το χειμώνα, μέτριες χειμερινές θερμοκρασίες, χαμηλή υγρασία και χαμηλές θερμοκρασίες το καλοκαίρι ώστε να αξιοποιηθεί σε μέγιστο βαθμό το κλίμα της περιοχής το οποίο είναι παρόμοιο με αυτό του Τυμπακίου. Αποτελείται από μονό γυαλί προσαρμοσμένο σε αλουμινένια πλαίσια και είναι συνολικής έκτασης 36 m².



Εικόνα 3-4: Θερμοκήπιο Πολυτεχνείου Κρήτης όπου πραγματοποιήθηκε η διεξαγωγή του πειράματος.

Το χώμα που χρησιμοποιήθηκε είναι αργιλοπηλώδες και προέρχεται από την περιοχή μελέτης. Αποτελεί το σύνηθες χώμα των θερμοκηπιακών καλλιεργειών της περιοχής με ονομασία «terra rossa», φτωχό σε οργανική ύλη (0,8%) και νιτρικά άλατα (17.84 mg/kg). Η ποικιλία της τομάτας που καλλιεργήθηκε έχει εμπορική ονομασία Ελπίδα F1(Εικόνα 3-5). Πρόκειται για αναρριχώμενη μεγαλόκαρπη τομάτα θερμοκηπίου, υψηλής ποιότητας η οποία συστήνεται για φθινοπωρινές-χειμωνιάτικες φυτεύσεις λόγω της καλής της συμπεριφοράς στις χαμηλές θερμοκρασίες. Τα φυτά στηρίχθηκαν με σκοινί ώστε να αναπτυχθούν σωστά χωρίς να σπάσει ο κορμός τους. Η καλλιέργεια διήρκεσε γύρω στους 7 μήνες. Ξεκίνησε στις 11/11/16 με τη φύτευση των φυτών στο χώρο του θερμοκηπίου και σταμάτησε στις 21/06/17.



Εικόνα 3-5: Τα φυτά της τομάτας πριν και μετά τη τοποθέτηση στο χώρο του θερμοκηπίου.

Στο χώρο του θερμοκηπίου τοποθετήθηκαν συνολικά 40 γλάστρες χωρητικότητας 35L η καθεμία. Στις 20 από αυτές πραγματοποιήθηκε αγωγή είτε με (α) σκόνη σπορίων TRIANUM-PTM η οποία περιέχει το πατενταρισμένο υβριδικό στέλεχος T-22 του ωφέλιμου μύκητα *T. harzianum*, είτε με (β) το οργανικό χουμικό οξύ Black Earth και ενισχυτή φουλβικού οξέος που έχουν εγκριθεί για βιολογική γεωργία. Οι υπόλοιπες 20 χρησιμοποιήθηκαν είτε ως μεταχειρίσεις ελέγχου είτε ως προστατευτικές σειρές (guard rows). Παρότι κατά τις δειγματοληψίες πάρθηκαν δείγματα και από τις προστατευτικές σειρές, οι μετρήσεις αυτές δεν λήφθηκαν υπόψη κατά την επεξεργασία των αποτελεσμάτων και τη διεξαγωγή συμπερασμάτων. Οι γλάστρες τοποθετήθηκαν σε 8 σειρές, κάθε σειρά μεταχειρίστηκε διαφορετικά και αποτελούνταν από 5 γλάστρες. Οι γλάστρες που χρησιμοποιήθηκαν είχαν τρύπες στο κάτω μέρος προκειμένου να αποφευχθεί η υπεράρδρευση.

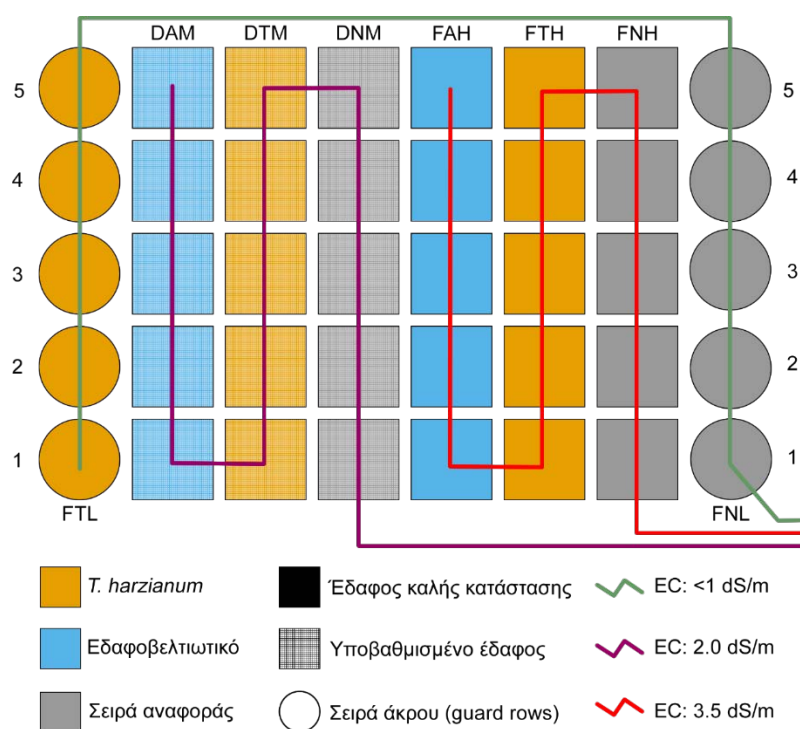
Συγκεκριμένα οι οχτώ μεταχειρίσεις που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι εξής:

- FTL (Fresh *T. harzianum* Low): Φρέσκο χώμα, χαμηλής αλατότητας εμβολιασμένο με το μύκητα *T. harzianum*-Σειρά άκρου
- DAM (Degraded Amendment Medium): Υποβαθμισμένο χώμα, μέσης αλατότητας με εδαφοβελτιωτικό
- DTM (Degraded *T. harzianum* Medium): Υποβαθμισμένο χώμα, μέσης αλατότητας εμβολιασμένο με το μύκητα *T. harzianum*
- DNM (Degraded Normal Medium): Υποβαθμισμένο χώμα, μέσης αλατότητας-Σειρά αναφοράς
- FAH (Fresh Amendment High): Φρέσκο χώμα, υψηλής αλατότητας με εδαφοβελτιωτικό
- FTH (Fresh *T. harzianum* High): Φρέσκο χώμα, υψηλής αλατότητας εμβολιασμένο με το μύκητα *T. harzianum*
- FNH (Fresh Normal High): Φρέσκο χώμα, υψηλής αλατότητας -Σειρά αναφοράς

Στην Εικόνα 3-6 απεικονίζεται η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε στο χώρο του θερμοκηπίου.

Η άρδευση πραγματοποιήθηκε με νερό του δικτύου το οποίο συλλεγόταν μέσα σε 3 βαρέλια χρήσιμου όγκου 60L έκαστο και στη συνέχεια τοποθετούταν αλάτι εμπορίου. Οι μεταχειρίσεις χαρακτηρίστηκαν ως Low ($<1 \text{ dS m}^{-1}$), Medium (2 dS m^{-1}) και High (3.5 dS m^{-1}) ανάλογα με το επίπεδο της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο εσωτερικό του βαρελιού. Η διάρκεια του ποτίσματος και άρα και ο όγκος του νερού που τροφοδοτούταν στις γλάστρες μεταβαλλόταν κατά τη διάρκεια του πειράματος ανάλογα με τις ανάγκες των φυτών. Συγκεκριμένα, την πρώτη εβδομάδα του πειράματος τα φυτά ποτιζόταν με συνολικό όγκο 0,15 L το καθένα, ποσότητα που αυξανόταν σταδιακά κατά το πέρας του πειράματος σε 0,20, 0,30, 0,60 και τέλος σε 1 L

ανά φυτό. Η άρδευση πραγματοποιούνταν καθημερινά κατά τις πρωινές ώρες και ήταν ελεγχόμενη καθώς χρησιμοποιήθηκε το σύστημα στάγδην άρδευσης (drip irrigation). Με τη χρήση αυτόματου συστήματος άρδευσης το νερό μεταφερόταν με τη βοήθεια αντλιών μέσα στους αγωγούς και στη συνέχεια χορηγούνταν μέσω σταλαχτών σταγόνα-σταγόνα σε κάθε γλάστρα στη ζώνη μεγαλύτερης ριζικής δραστηριότητας των φυτών. Καθημερινά ελεγχόταν η ομαλή λειτουργία των σταλαχτών, καθώς υπήρχε πιθανότητα να βουλώσουν λόγω αλατότητας ή να έχουν πέσει μέσα στο χώμα της γλάστρας. Με το τρόπο αυτό το πότισμα ήταν ελεγχόμενο και ο όγκος του νερού που παρεχόταν στις γλάστρες ήταν μετρήσιμος.



Εικόνα 3-6: Πειραματική διάταξη στο χώρο του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Πίνακας 3-2: Ογκομέτρηση ποτίσματος.

Περίοδος	Όγκος ποτίσματος ανά φυτό (L)
11/11/16-19/11/16	0,15
20/11/16-12/12/16	0,20
13/12/16-20/01/17	0,30
21/01/17-01/06/17	1,00

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%. Η 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.

Κατά τη διάρκεια του πειράματος πραγματοποιήθηκαν συνολικά τέσσερις δειγματοληψίες χώματος.

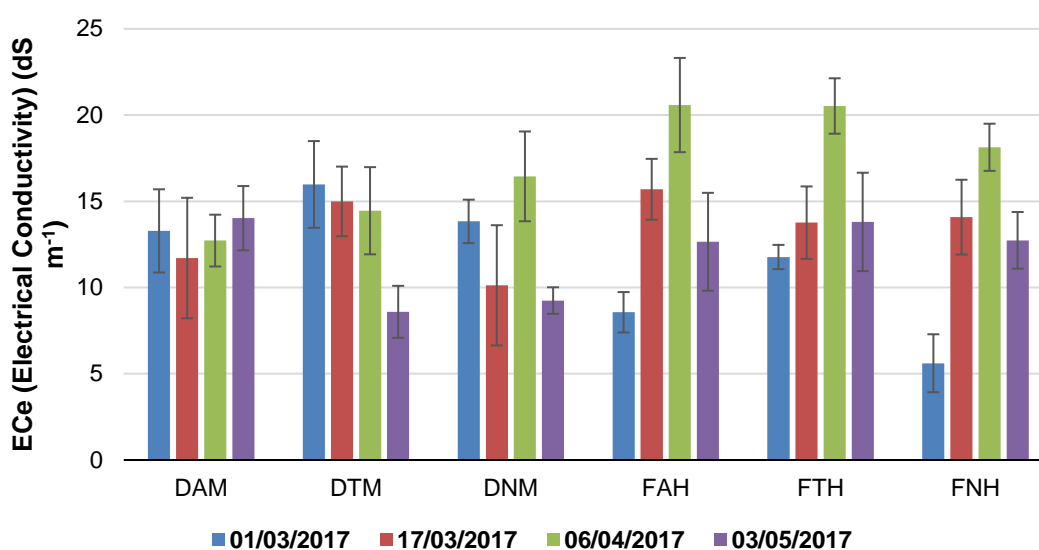
Πίνακας 3-3: Διεξαγωγή δειγματοληψιών χώματος.

Δειγματοληψία	Ημερομηνία
1	01/03/2017
2	17/03/2017
3	06/04/2017
4	03/05/2017

4. Αποτελέσματα

4.1. Ηλεκτρική αγωγιμότητα

Στην Εικόνα 4-1 παρουσιάζεται η μεταβολή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των διάφορων μεταχειρίσεων κατά τη διάρκεια του πειράματος. Παρατηρείται ότι η υψηλότερη τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας στις μεταχειρίσεις φρέσκου χώματος (σειρά F) σημειώνεται κατά την 3^η δειγματοληψία (Απρίλιος) και στη συνέχεια η τιμή αυτή μειώνεται. Η συμπεριφορά αυτή έχει παρατηρηθεί και σε προηγούμενα πειράματα (A. Deligianni and Tsanis, 2016; K.-B. Wagner and Tsanis, 2016), αλλά και σε μοντελοποίηση των διεργασιών (Apostolakis and Tsanis, 2016) και ενδέχεται να οφείλεται στο ότι η καταπόνηση των φυτών κατά το στάδιο αυτό είναι τόση που αδυνατούν να προσλάβουν νερό και έτσι αυτό συνεισφέρει στην έκπλυση των αλάτων από το έδαφος. Αντίθετα με τις μεταχειρίσεις φρέσκου χώματος (σειρά F), οι μεταχειρίσεις υποβαθμισμένου χώματος (σειρά D) παρουσιάζουν σημαντικά μικρότερη διακύμανση από την αρχή ως το τέλος του πειράματος. Συγκεκριμένα, η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στις σειρές D κυμαίνεται μεταξύ 8,6 και 16,4 dS m⁻¹, με τη μεγαλύτερη διακύμανση να παρατηρείται στη μεταχείριση DNM, όπου μεταξύ της 3^{ης} (Απρίλιος) και της 4^{ης} δειγματοληψίας (Μάιος) η τιμή της EC_e μειώθηκε κατά 43,8% (7,2 dS m⁻¹). Όσον αφορά τη σειρά F, η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας κινήθηκε μεταξύ των 5,6 και 20,6 dS m⁻¹, εύρος 47,5% μεγαλύτερο από ότι των μεταχειρίσεων υποβαθμισμένου χώματος (σειρά D). Στη σειρά F, η μεγαλύτερη διακύμανση παρατηρήθηκε στη μεταχείριση FAH μεταξύ της 3^{ης} (Απρίλιος) και της 4^{ης} δειγματοληψίας (Μάιος), όπου η ηλεκτρική αγωγιμότητα μειώθηκε κατά 38,5% (7,9 dS m⁻¹).



Εικόνα 4-1: Μεταβολή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας για τις διάφορες μεταχειρίσεις στις τέσσερις δειγματοληψίες.

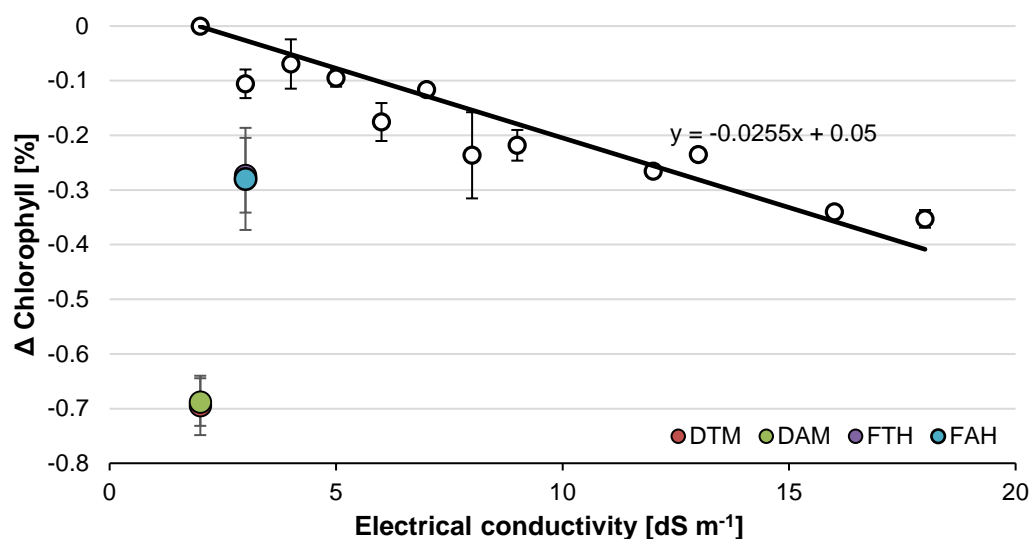
Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των διαφόρων μεταχειρίσεων παρατηρούμε ότι στις σειρές φρέσκου χώματος (σειρές F) δεν παρουσιάζεται ιδιαίτερη διαφοροποίηση των τιμών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας μεταξύ των μεταχειρίσεων που χρησιμοποιήθηκε ο *T. harzianum* με αυτών που χρησιμοποιήθηκε το χουμικό οξύ. Τα αποτελέσματα είναι παρόμοια με αυτά της μεταχείρισης FNH στην οποία δε χρησιμοποιήθηκε καμία βιολογική τεχνική αντιμετώπισης της αλατότητας, γεγονός που δείχνει ότι τα εδαφοβελτιωτικά δε συνέβαλαν σημαντικά στον έλεγχο της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους κατά την καλλιέργεια. Το ίδιο ισχύει και για τις σειρές υποβαθμισμένου χώματος (σειρές D) στις περισσότερες δειγματοληψίες. Μόνη εξαίρεση αποτελεί η 4^η δειγματοληψία (Μάιος) της μεταχείρισης με χρήση χουμικού οξέος (DAM) όπου η τιμή της EC_e αυξήθηκε. Αν θεωρηθεί ότι η μείωση της αγωγιμότητας συνδέεται με ύπαρξη μεγαλύτερης διαθεσιμότητας ύδατος για έκπλυση (συνεπώς η μεγαλύτερη αγωγιμότητα συνδέεται με ικανότητα του φυτού να απορροφά το νερό), μένει να ελεγχθεί αν η παραγωγή της μεταχείρισης DAM ήταν επίσης μεγαλύτερη σε σύγκριση με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις της σειράς D.

Γενικότερα, η υψηλότερη τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας παρουσιάστηκε στη μεταχείριση FAH κατά τη διάρκεια της 3^{ης} δειγματοληψίας (Απρίλιος) και υπολογίστηκε στα 20,6 dS m⁻¹ ενώ η μικρότερη ήταν 5,6 dS m⁻¹ και βρέθηκε στη μέθοδο FNH κατά την πρώτη δειγματοληψία. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα παρουσιάζει αυξομειώσεις γεγονός που δε συμφωνεί με τη βιβλιογραφία (Ali, 2011) όπου αναφέρει ότι η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι αυξανόμενη λόγω της συσσώρευσης αλάτων.

4.2. Σύγκριση αποτελεσμάτων χλωροφύλλης με τη βιβλιογραφία

Στην Εικόνα 4-9 γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων του πειράματος με τα βιβλιογραφικά δεδομένα που παρουσιάστηκαν στην Εικόνα 2-2. Παρατηρούμε ότι υπάρχει σημαντική απόκλιση μεταξύ των βιβλιογραφικών τιμών και των τιμών του πειράματος καθώς παρεκκλίνουν σημαντικά από τη γραμμή τάσης. Ειδικότερα, η βιβλιογραφία δείχνει μηδενική μείωση της χλωροφύλλης για άρδευση με ηλεκτρική αγωγιμότητα κοντά στα 2 dS m⁻¹ και μείωση κατά 10% για άρδευση με 3,5 dS m⁻¹. Αντίθετα, στο πείραμα που πραγματοποιήθηκε, η μεταχειρίσεις υποβαθμισμένου εδάφους που αρδεύονταν με αγωγιμότητα 2 dS m⁻¹ είχαν μείωση χλωροφύλλης περίπου 70%, ενώ στις μεταχειρίσεις φρέσκου εδάφους που αρδεύονταν με αγωγιμότητα 3,5 dS m⁻¹ παρατηρήθηκε μείωση 30% κατά μέσο όρο. Η παρατήρηση αυτή οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η ποιότητα άρδευσης δεν ήταν ο ρυθμιστικός παράγοντας για την μείωση της περιεκτικότητας των φύλλων σε χλωροφύλλη. Αντίθετα, η αρχική κατάσταση του εδάφους (αν ήταν φρέσκο ή υποβαθμισμένο) φαίνεται να έχει μεγαλύτερη επίδραση στην τελική συγκέντρωση της χλωροφύλλης και στην εν γένει υγεία των φυτών.

Στην περίπτωση φρέσκου εδάφους, στο πείραμα που πραγματοποιήθηκε εξακολουθεί να υπάρχει απόκλιση από τη βιβλιογραφία (30% μείωση της χλωροφύλλης έναντι 10% στη βιβλιογραφία). Η απόκλιση αυτή πιθανώς να οφείλεται στα διαφορετικά είδη χώματος που χρησιμοποιήθηκαν για τα πειράματα καθώς, λόγω έλλειψης δεδομένων, χρησιμοποιήθηκε η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού και όχι του χώματος. Το χώμα που χρησιμοποιήθηκε για τη διεξαγωγή του συγκεκριμένου πειράματος ήταν αργιλοπηλώδες και έχει διαφορετικές ιδιότητες από άλλους τύπους χωμάτων. Όσον αφορά τα ασβεστούχα εδάφη η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) δεν είναι κατάλληλη για την ποσοτικοποίηση της υποβάθμισης. Στις περιπτώσεις αυτές προτιμάτε ο λόγος προσρόφησης Νατρίου (SAR). Οι τιμές του ποσοστού της χλωροφύλλης για τις μεταχειρίσεις φρέσκου χώματος σημειώνουν μικρότερη απόκλιση από ότι οι τιμές για το υποβαθμισμένο, πράγμα λογικό καθώς οι δεύτερες είχαν εκτεθεί στην αλατότητα για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.



Εικόνα 4-2: Σύγκριση αποτελεσμάτων με τα βιβλιογραφικά.

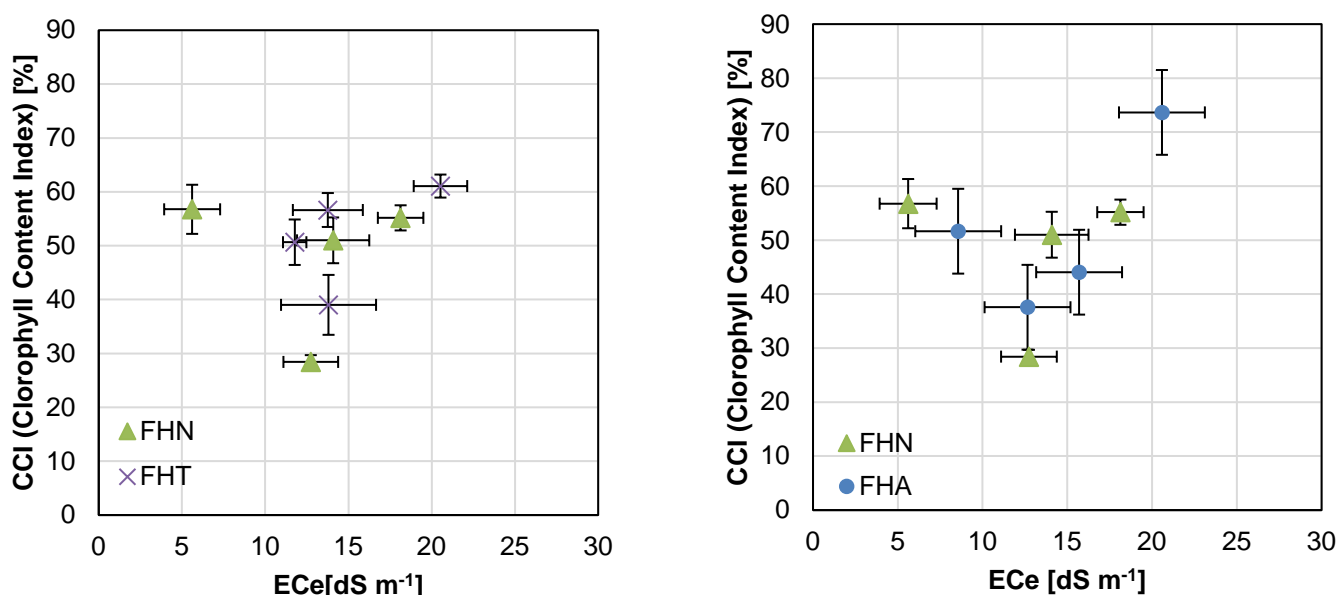
Η σύγκριση μεταξύ των μεταχειρίσεων δείχνει ότι τόσο οι μεταχειρίσεις FTH και FAH, όσο και οι DAM και DTM έχουν μεταξύ τους πολύ κοντινές τιμές. Η μεγάλη απόκλιση που καταγράφεται για τα φυτά που βρίσκονται στο υποβαθμισμένο χώμα πιθανόν να οφείλεται στο ότι βρίσκονται σε 2^ο κύκλο αλάτωσης. Φαίνεται ότι αν συγκρίνουμε τις μεταχειρίσεις εμβολιασμένες με *T. harzianum* με εκείνες που περιέχουν χουμικό οξύ δεν μπορούμε να διακρίνουμε ιδιαίτερη διαφορά, συμπεραίνοντας ότι και οι δύο έχουν το ίδιο αποτέλεσμα κάτω από τις ίδιες συνθήκες ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Λόγω των μικρών αυτών διαφορών έγινε μια πιο λεπτομερής ανάλυση των μετρήσεων στο Κεφάλαιο 4.3.

4.3. Επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στην περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη

Στην Εικόνα 4-3 και την Εικόνα 4-4 παρουσιάζεται η συμπεριφορά της χλωροφύλλης σε σχέση με την ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC_e), όπως αυτή μετρήθηκε στις μεταχειρίσεις φρέσκου εδάφους (σειρά F) για τα φυτά που αρδεύονταν με υψηλή αγωγιμότητα $EC=3,5 \text{ dS m}^{-1}$. Τα αποτελέσματα συμφωνούν με τη βιβλιογραφία (Manaa et al., 2011; Pessarakli, 2005; Rani et al., 2017) καθώς όπως παρατηρείται με την αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας επέρχεται μείωση του ποσοστού περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη των φυτών.

Από τα αποτελέσματα παρατηρούμε ότι για το αριστερό Διάγραμμα (Εικόνα 4-3) στο οποίο γίνεται σύγκριση της FTH με την FNH, η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη κατά τις δειγματοληψίες όπου οι δύο μεταχειρίσεις έχουν κοντινές τιμές EC_e υπερτερεί στη μέθοδο όπου έχει χρησιμοποιηθεί ο *T. harzianum*. Συγκεκριμένα, η μεγαλύτερη διαφορά παρατηρείται κατά τη 4^η δειγματοληψία (Μάιος) όπου το EC_e της FNH μετρήθηκε μικρότερο κατά $0,1 \text{ dS m}^{-1}$ και η FTH παρουσιάζει 10,6% υψηλότερο ποσοστό χλωροφύλλης.

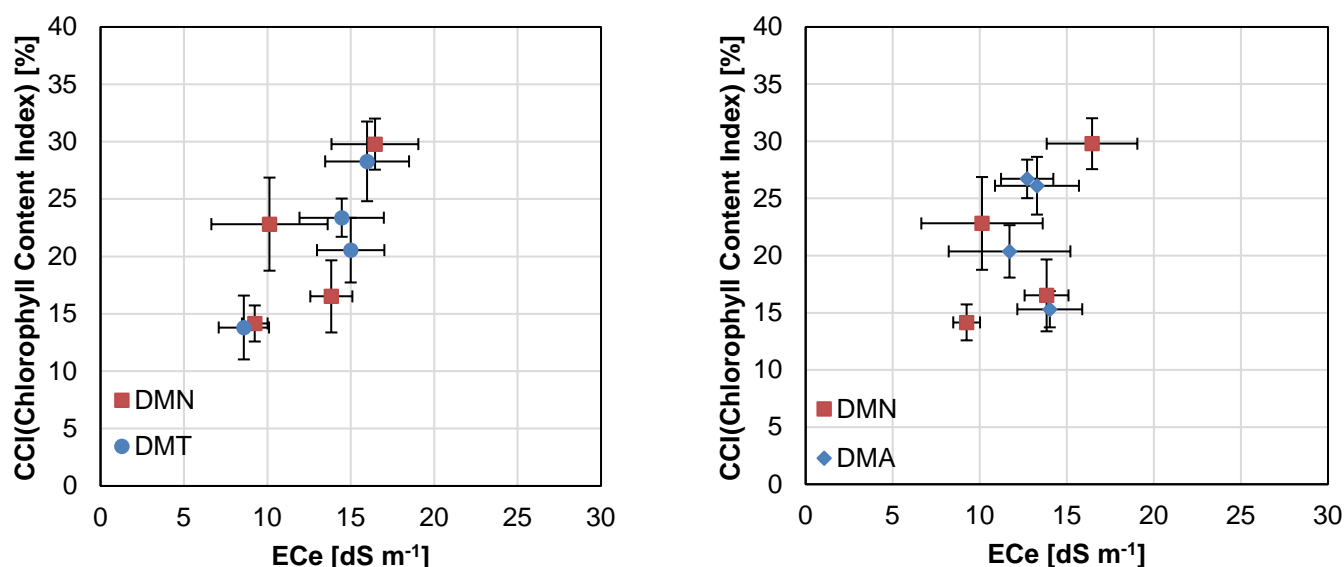
Όσον αφορά το δεξί Διάγραμμα (Εικόνα 4-3) δεν παρατηρούνται εμφανείς διαφορές πέρα από τη τελευταία δειγματοληψία όπου διαφέρει κατά $0,009 \text{ dS m}^{-1}$ και η FAH παρουσιάζει 9,14% μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη. Εντούτοις, τα αποτελέσματα των υπόλοιπων δειγματοληψιών δεν είναι συγκρίσιμα για να καταλήξουμε σε ένα βέβαιο συμπέρασμα.



Εικόνα 4-3: Μεταβολή της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη με την αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) στα φυτά υψηλής αλατότητας.

Στην Εικόνα 4-4 παρουσιάζεται η μεταβολή της χλωροφύλλης σε σχέση με τη μεταβολή της EC που μετρήθηκε στο χώμα κατά τις τέσσερις δειγματοληψίες των φυτών που αρδεύονταν με $EC=2 \text{ dS m}^{-1}$ και που βρισκόταν σε υποβαθμισμένο χώμα. Τόσο στο διάγραμμα που γίνεται

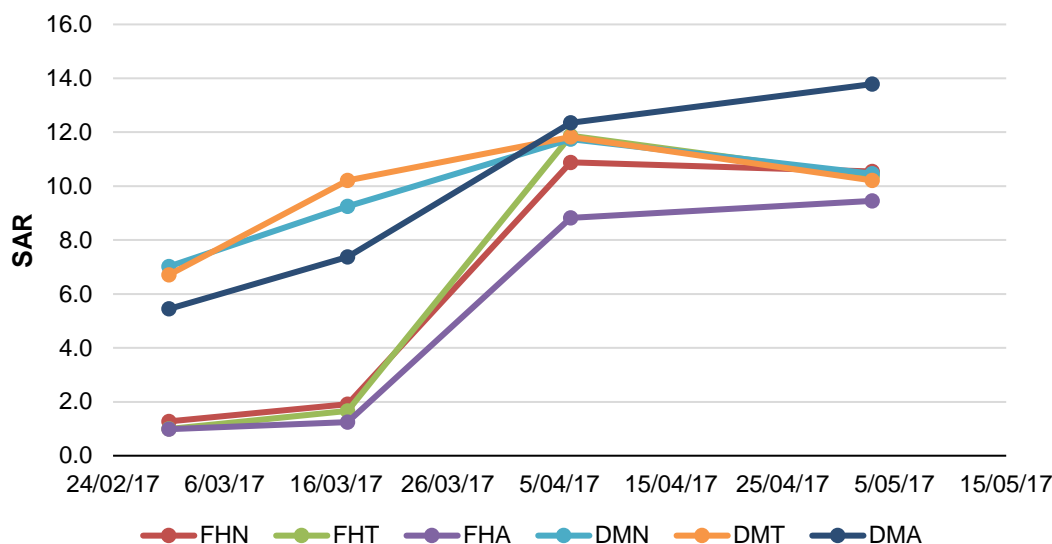
σύγκριση της μεθόδου DAM με τη DNM (Εικόνα 4-4, αριστερά) όσο και στο αντίστοιχο που συγκρίνεται η DTM με τη DNM (Εικόνα 4-4, δεξιά) δεν φαίνεται κάποια ξεκάθαρη υπεροχή κάποιας από τις δύο μεθόδους έναντι της μεταχείρισης ελέγχου. Γενικά, παρατηρείται μόνο η αναμενόμενη μείωση της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη με την αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας.



Εικόνα 4-4: Μεταβολή της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη με την αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) στα φυτά μέτριας αλατότητας.

4.4. Λόγος προσρόφησης νατρίου (SAR)

Στην Εικόνα 4-5 απεικονίζεται η αύξηση του λόγου προσρόφησης νατρίου κατά τη διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος. Όπως είναι λογικό οι μεταχειρίσεις των οποίων το χώμα είχε δεχθεί ξανά την επίδραση της αλατότητας ξεκινάνε από αρκετά υψηλά επίπεδα SAR. Παρόλα αυτά οι μεταχειρίσεις οι οποίες δεχόταν νερό υψηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας $3,5 \text{ dS m}^{-1}$ (σειρά F) παρουσιάζουν μεγαλύτερη ποσοστιαία αύξηση της τιμής του SAR, με μεγαλύτερη τη τιμή της FNH που αυξήθηκε κατά 4,7% μεταξύ της 2^{ης} (Μάρτιος) και 3^{ης} (Απρίλιος) δειγματοληψίας.



Εικόνα 4-5: Μεταβολή του λόγου προσρόφησης νατρίου στις διάφορες μεταχειρίσεις κατά τη διεξαγωγή του πειράματος.

Συγκεκριμένα, ο SAR στις μεταχειρίσεις φρέσκου χώματος και υψηλής αλατότητας έχει αρχικά μηδενική τιμή η οποία αυξάνεται και σε χρονικό διάστημα 2 μηνών φτάνει τα 12, τιμή που οριακά δεν χαρακτηρίζει το έδαφος ως αλκαλιωμένο, φτάνοντας έτσι τις τιμές των μεταχειρίσεων με υποβαθμισμένο χώμα (σειρά D). Στην τελευταία δειγματοληψία, η μικρότερη τιμή βρέθηκε στη μεταχείριση FAH και ήταν ίση με 9,5 mmol/L ενώ η μεγαλύτερη στην DAM ίση με 13,8 mmol/L καθιστώντας το χώμα της μεταχείρισης αλκαλιωμένο σύμφωνα με τους Van Beek and Tóth (2012).

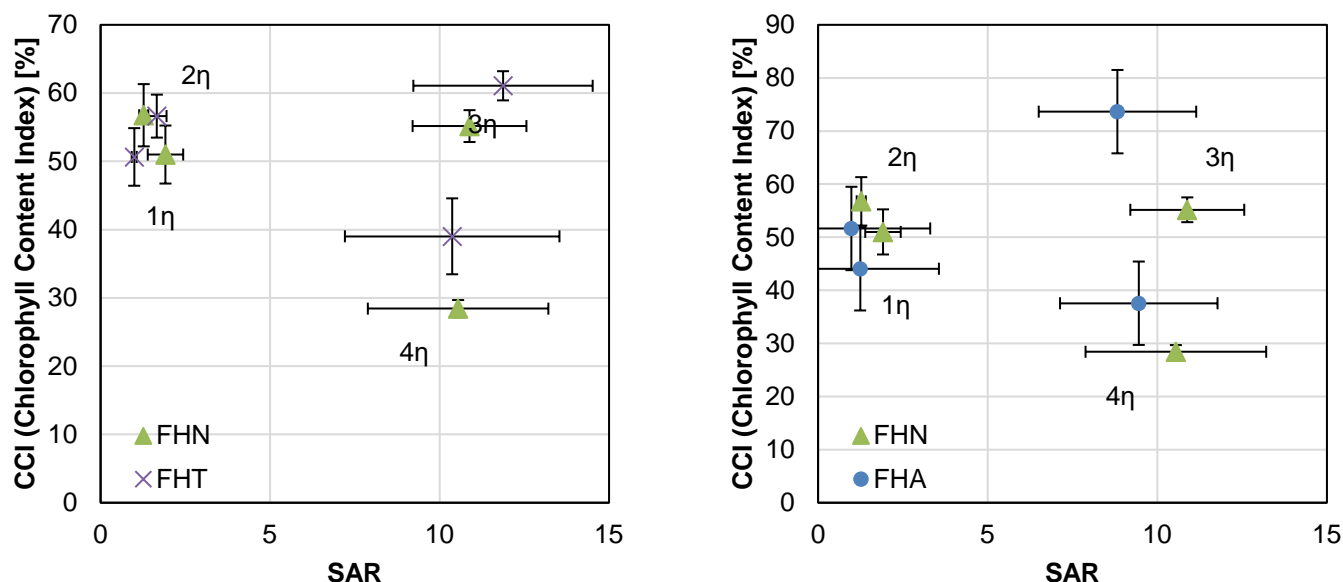
Η μεταχείριση του μύκητα *Trichoderma* δεν φαίνεται να ευνοεί την κατάσταση του εδάφους καθώς στις μεταχειρίσεις που χρησιμοποιήθηκε - και ειδικότερα στις μεταχειρίσεις υψηλής αλατότητας - η τιμή του SAR που υπολογίστηκε ήταν η μεγαλύτερη εκ των τριών.

4.5. Επίδραση του SAR στην περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη

Στην Εικόνα 4-6 απεικονίζεται η μεταβολή του ποσοστού της χλωροφύλλης των φυτών φρέσκου χώματος που αρδεύονταν με νερό υψηλής αλατότητας, κατά την αύξηση του λόγου προσρόφησης Νατρίου. Παρατηρείται ένα ευρύ φάσμα τιμών SAR, από 1 έως 15 dS m⁻¹. Στις χαμηλές τιμές SAR όλες οι μεταχειρίσεις κυμαίνονται σε ποσοστά περιεκτικότητας χλωροφύλλης 45-60%. Η περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη μειώνεται όσο αυξάνεται ο λόγος προσρόφησης Νατρίου (SAR). Κατά τη 3^η και 4^η δειγματοληψία παρατηρείται ότι στη μεταχείριση που χρησιμοποιήθηκε ο μύκητας *Trichoderma* (FTH) η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη μειώθηκε λιγότερο από ότι στη μεταχείριση ελέγχου και τη μεταχείριση FAH.

Στην 3^η δειγματοληψία (Απρίλιος), το CCI δεν επηρεάστηκε από την αλατότητα, αλλά οι μεταχειρίσεις *T. harzianum* (FHT) και του χουμικού οξέος (FHA) παρουσιάζουν μεγαλύτερο

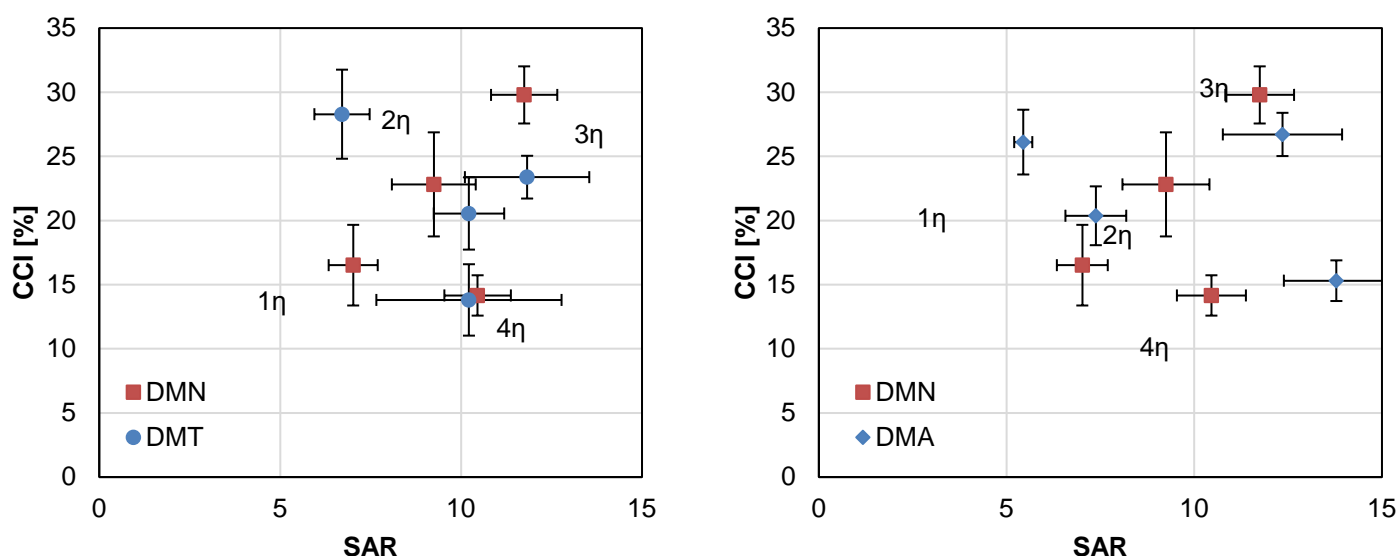
ποσοστό περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη από τη μεταχείριση ελέγχου (FHN), με την FHA να σημειώνει σημαντικό πλεονέκτημα. Στην 4η δειγματοληψία (Μάιος), το CCI μειώθηκε, αλλά οι μεταχειρίσεις του FHT και FHA σημειώνουν και πάλι μεγαλύτερο CCL έναντι της μεταχείρισης ελέγχου (FHN). Παρότι η τιμή της CCL μειώθηκε φαίνεται ότι τόσο η μεταχείριση FTH όσο και η FAH υπερτερούν της FHN.



Εικόνα 4-6: Η μεταβολή της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη με την αύξηση του λόγου προσρόφησης Νατρίου (SAR) στα φυτά υψηλής αλατότητας. Στα διαγράμματα φαίνεται η δειγματοληψία.

Συγκεκριμένα, κατά τη 4^η δειγματοληψία η τιμή του SAR για το FHN υπολογίστηκε 0,1 μεγαλύτερη σε σχέση με τη τιμή του FTH. Παρ' όλα αυτά το ποσοστό σε χλωροφύλλη της μέθοδο FTH ξεπερνούσε αυτό της μεταχείριση ελέγχου κατά 27,1%.

Στην Εικόνα 4-7 στην οποία απεικονίζεται η συμπεριφορά των φυτών στο υποβαθμισμένο χρώμα το εύρος των τιμών SAR είναι μικρότερο, από 5 έως 15, επομένως οι παρατηρήσεις είναι πιο αβέβαιες. Σε όλες τις περιπτώσεις, η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη είναι 15-30% χαμηλότερη από τις μεταχειρίσεις φρέσκου χώματος. Γενικά κατά την 1η δειγματοληψία, οι τιμές CCI τόσο για τις θεραπείες του *T. harzianum* (DMT) όσο και για του χουμικού οξέος (DMA) είναι υψηλότερες από εκείνες της μεταχείρισης ελέγχου (DMN). Παρ' όλα αυτά, στις επόμενες δειγματοληψίες DMN έχει υψηλότερες ή παρόμοιες τιμές CCI με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις. Οι τιμές SAR των μεταχειρίσεων DMT και DMA στην 4η δειγματοληψία είναι παρόμοιες ή υψηλότερες από εκείνες της μεταχείρισης ελέγχου (FHN). Η μεταχείριση DNM παρουσιάζει κατά τη 3^η και 4^η δειγματοληψία τιμή του SAR μεγαλύτερη κατά 0,1 και 0,3 από τη μέθοδο DTM. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα το ποσοστό σε χλωροφύλλη για τη DNM καταγράφηκε μεγαλύτερο κατά 21% και 2,5% συγκριτικά με τη DTM κατά τη 3^η και 4^η δειγματοληψία αντίστοιχα.



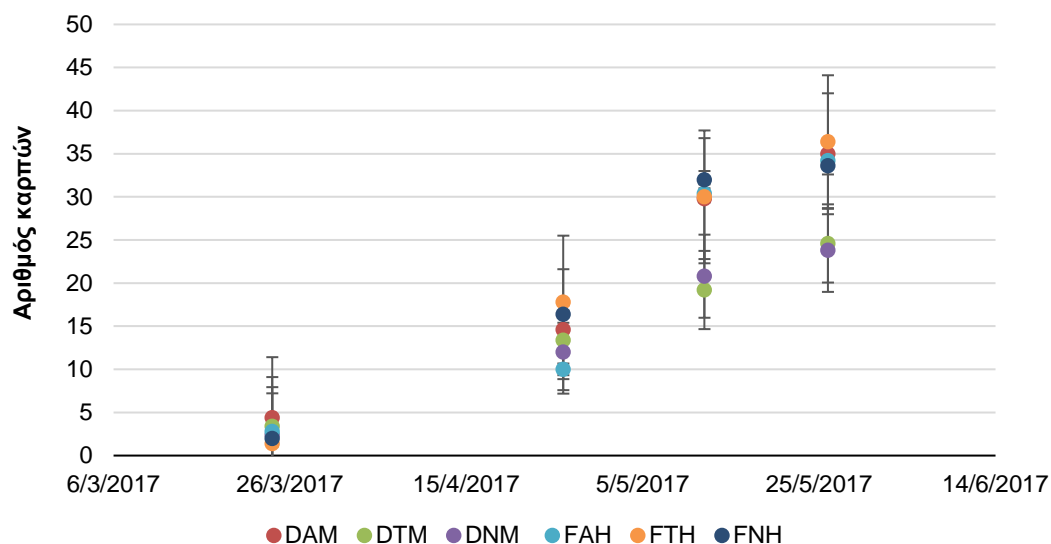
Εικόνα 4-7: Η μεταβολή της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη με την αύξηση του λόγου προσρόφησης Νατρίου (SAR) στα φυτά υποβαθμισμένου χώματος. Στα διαγράμματα φαίνεται και ο αριθμός της αντίστοιχης δειγματοληψίας.

4.6. Παραγωγή βιομάζας

4.6.1. Αριθμός καρπών

Στην Εικόνα 4-8 παρουσιάζεται ο αθροιστικός αριθμός των καρπών κάθε μεταχείρισης εκφρασμένος ανά δύο συγκομιδές. Παρατηρείται ότι στις πρώτες δύο συγκομιδές (Μάρτιος και Απρίλιος) όλες οι μεταχειρίσεις παρήγαγαν καρπούς με παρόμοιο ρυθμό. Από την τρίτη συγκομιδή (Μάιος) και μετά παρατηρείται ότι οι μεταχειρίσεις DNM, DTM παράγουν πολύ μικρότερο αριθμό καρπών σε σχέση με τις υπόλοιπες. Οι μεταχειρίσεις φρέσκου χώματος σημειώνουν τη μεγαλύτερη παραγωγή καρπών σε όλες τις συγκομιδές πέρα των δύο πρώτων.

Παρατηρείται ότι η μεταχείριση DAM παράγει υψηλό αριθμό καρπών συγκριτικά με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις υποβαθμισμένου χώματος καθ' όλες τις συγκομιδές. Αν το πείραμα σταματούσε το Μάιο και όχι τον Ιούνιο, την υψηλότερη αθροιστική παραγωγή θα σημείωνε η μεταχείριση FNH και όχι η FTH με τη DAM να βρίσκεται πάντα στην περιοχή που σημειώνονται οι υψηλότερες παραγωγές. Αντίστοιχα, αν το πείραμα σταματούσε τον Απρίλιο, παρατηρείται ότι την υψηλότερη παραγωγή θα σημείωνε και πάλι η μεταχείριση FTH με όλες τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις να παράγουν καρπούς χωρίς ιδιαίτερες διαφοροποιήσεις στον αριθμό τους.

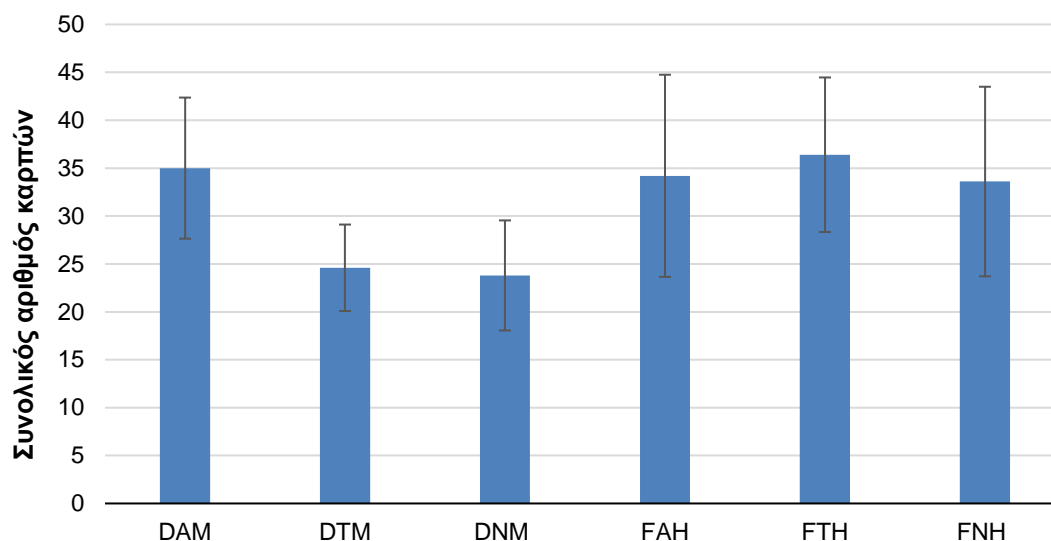


Εικόνα 4-8: Ο αθροιστικός αριθμός των καρπών ανά φυτό σε κάθε μεταχείριση υπολογισμένος ανα δύο συγκομιδές.

Στην Εικόνα 4-9 παρουσιάζεται η συνολική παραγωγή καρπών ανά φυτό σε κάθε μεταχείριση. Τη μεγαλύτερη παραγωγή σημειώνει η μεταχείριση FTH ενώ τη μικρότερη η μεταχείριση DNM. Παρατηρείται ότι οι μεταχειρίσεις φρέσκου χόματος (σειρά F) παρουσιάζουν μεγαλύτερη παραγωγή καρπών από ότι οι θεραπείες που χρησιμοποιήθηκε υποβαθμισμένο χόμα (σειρά D). Φαίνεται ότι ο μύκητας *T. harzianum* βοήθησε στην παραγωγή καρπών στη μεταχείριση φρέσκου χόματος αλλά όχι και του υποβαθμισμένου χόματος καθώς τη μεγαλύτερη παραγωγή σημείωσε η DAM.

Συγκεκριμένα, η μεταχείριση FTH παρήγαγε συνολικά 36,4 καρπούς ανά φυτό και ήταν αυξημένη κατά 8,3% και 6,4% σε σχέση με τη FNH και τη FAH αντίστοιχα οι οποίες παρήγαγαν 33,6 και 34,2 καρπούς ανά φυτό. Όσον αφορά τις θεραπείες που χρησιμοποιήθηκε υποβαθμισμένο χόμα παρατηρείται ότι μεγαλύτερη παραγωγή σημείωσε η DAM με παραγωγή 35 καρπούς ανά φυτό και ακολουθεί η DTM με 24,6 και η DNM με 23,8 καρπούς ανά φυτό.

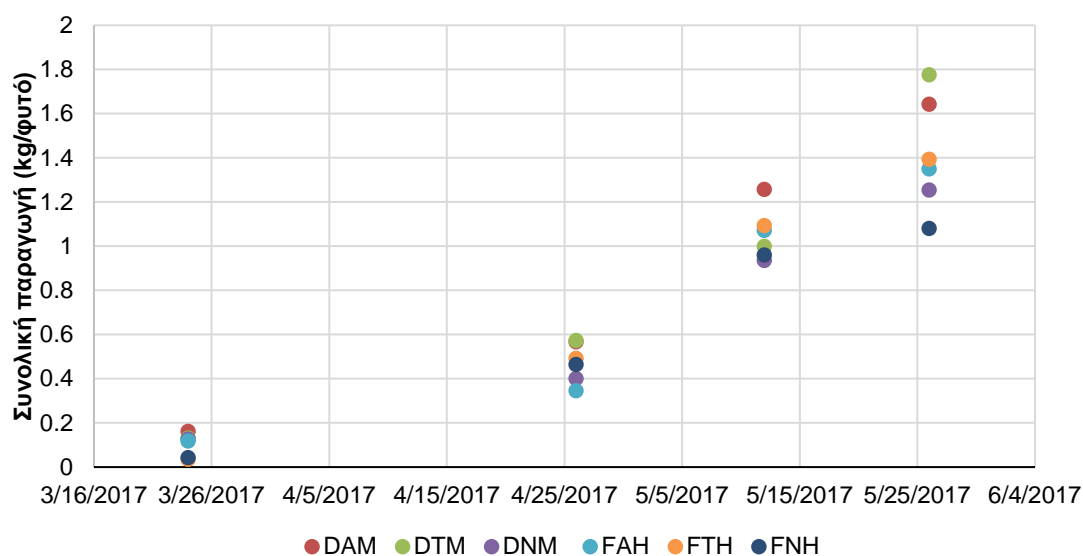
Επίσης παρατηρείται ότι η μεταχείριση FTH μπορεί να χαρακτηριστεί καλύτερη από σε σχέση με την FNH. Τα αποτελέσματα συμφωνούν με προηγούμενο πείραμα (Koutsoudis, 2016) στο οποίο η μεταχείριση στην οποία χρησιμοποιήθηκε ο *T. harzianum* υπερτέρησε σε ποσοστό 6,6% της HN μεταχείρισης στην οποία δεν χρησιμοποιήθηκε κάποιο εδαφοβελτιωτικό.



Εικόνα 4-9: Αριθμός καρπών ανά φυτό σε κάθε μεταχείριση.

4.6.2. Παραγωγή καρπών

Η συνολική παραγωγή απεικονίζεται στην Εικόνα 4-10 εκφρασμένη σε kg/φυτό και υπολογίστηκε ανά δύο συγκομιδές. Πιο συγκεκριμένα το ύψος παραγωγής ανέρχεται σε 1,77 kg/φυτό για τη μεταχείριση DTM και ακολουθεί η DAM με 1,64 kg/φυτό. Τη μικρότερη παραγωγή σημειώνουν οι μεταχειρίσεις ελέγχου DNM και FNH. Παρατηρείται ότι οι μεταχειρίσεις χώματος που έχει υποστεί ξανά την αλατότητα (σειρά D) σημειώνουν υψηλότερη συνολική παραγωγή συγκριτικά με τις θεραπείες φρέσκου χώματος (σειρά F). Ο μύκητας *Trichoderma* βοήθησε στην παραγωγή ακόμη και υπό συνθήκες αυξημένου SAR και αλατότητας και στα δύο είδη χώματος καθώς οι DTM και FTH σημειώνουν τη μεγαλύτερη παραγωγή.



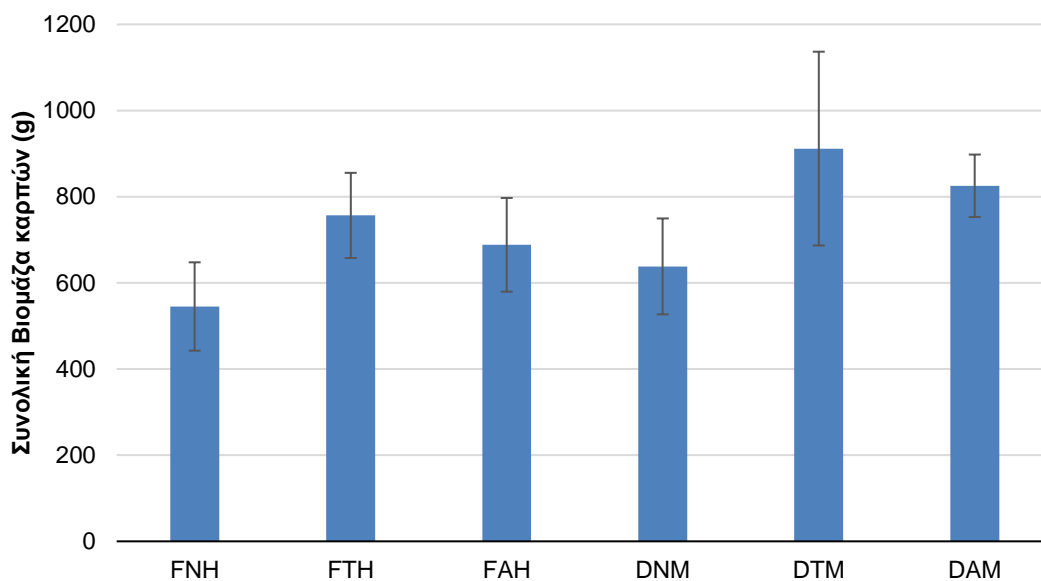
Εικόνα 4-10: Η συνολική παραγωγή σε kg/φυτό της κάθε μεταχείρισης ανά δύο συγκομιδές.

Ειδικότερα, η μεταχείριση DTM έδωσε τελικά παραπάνω 0,5 kg/φυτό σε σχέση με τη μεταχείριση DNM και 0,13 kg/φυτό σε σύγκριση με τη μεταχείριση DAM. Επιπλέον η FTH σημείωσε μεγαλύτερη παραγωγή κατά 0,3 kg/φυτό σε σύγκριση με τη FNH και μία μικρή διαφορά της τάξης του 0,05 kg/φυτό από τη FAH. Παρατηρείται λοιπόν, ότι η μεταχείριση FTH μπορεί να χαρακτηριστεί καλύτερη σε σχέση με τη FNH. Αντίστοιχα, το περσινό πείραμα είχε δείξει ότι η μεταχείριση που είχε εμβολιαστεί με το μύκητα *Trichoderma* ήταν καλύτερη από ότι η μεταχείριση ελέγχου. Ο *T. harzianum* λειτουργεί κάτω από τις ίδιες συνθήκες.

Φαίνεται ότι ο εμβολιασμός με το μύκητα *T. harzianum* βοήθησε τη συνολική παραγωγή. Παρατηρείται ότι οι αυξημένες τιμές SAR δεν επηρέασαν την παραγωγή στις μεταχειρίσεις μέσης αλατότητας.

Η Εικόνα 4-11 παρουσιάζει τη συνολική βιομάζα των καρπών που παράχθηκε από κάθε μεταχείριση κατά τη διάρκεια του πειράματος. Παρατηρείται ότι τόσο στο φρέσκο όσο και στο υποβαθμισμένο χώμα η μεταχείριση που περιείχε το μύκητα *Trichoderma* σημείωσε την υψηλότερη βιομάζα καρπών. Η μέγιστη διαφορά παρατηρείται μεταξύ των μεταχειρίσεων DTM και DNM σε ποσοστό 30% γεγονός που δείχνει ότι ο *T. harzianum* βοήθησε στην παραγωγή στην περίπτωση του υποβαθμισμένου χώματος. Στο φρέσκο χώμα η μεταχείριση με τον *T. harzianum* παρήγαγε 27,9% και 9% περισσότερη βιομάζα συγκριτικά με τις μεταχειρίσεις FNH και FAH αντίστοιχα. Η αυξημένη παραγωγή της FTH συμφωνεί με τα αποτελέσματα προηγούμενου πειράματος (A. Deligianni and Tsanis, 2016; Koutskoudis and Tsanis, 2016; K. Wagner and Tsanis, 2016) το οποίο κάτω από τις ίδιες συνθήκες έδειξε ότι η μεταχείριση στην οποία έγινε χρήση του *T. harzianum* (HT) σημείωσε 8,3% υψηλότερη παραγωγή βιομάζας συγκριτικά με τη HN στην οποία δεν χρησιμοποιήθηκε ο μύκητας. Οι μεταχειρίσεις στις οποίες έγινε χρήση χουμικού οξέος σημειώνουν και στις δύο σειρές (F και D) τη δεύτερη υψηλότερη παραγωγή μετά τις μεταχειρίσεις που χρησιμοποιήθηκε ο *T. harzianum*. Συγκεκριμένα, η FAH σημείωσε 20,8% μεγαλύτερη παραγωγή από την FNH και 9% χαμηλότερη παραγωγή από την FTH. Αντίστοιχα, οι μεταχειρίσεις της σειράς D κινήθηκαν στα ίδια ποσοστά καθώς η DAM σημείωσε 22,7% υψηλότερη παραγωγή από τη DNM και 9,5% μικρότερη από τη DTM.

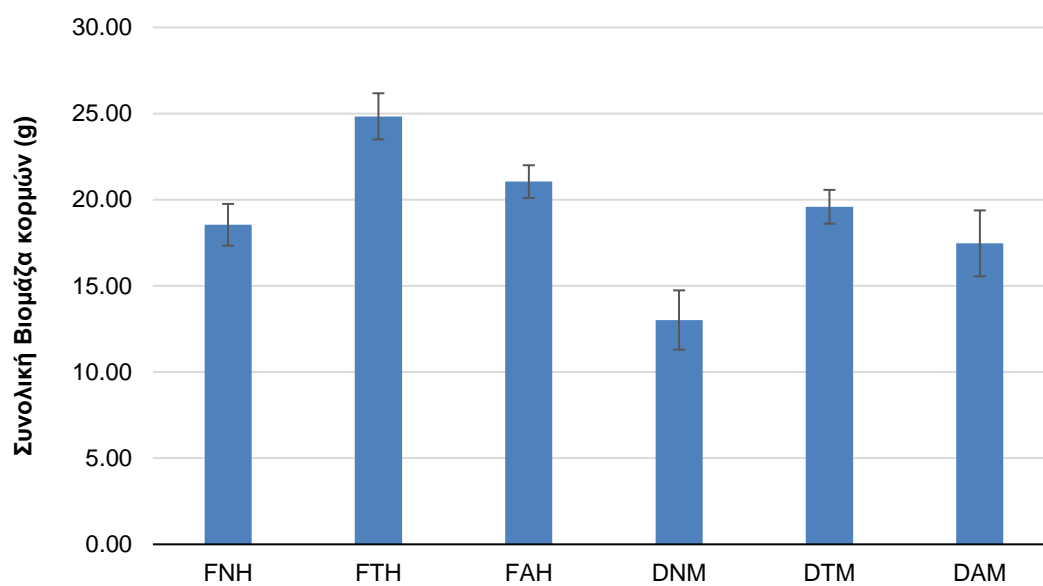
Με βάση τα παραπάνω, οι FTH και η DTM έχουν καλύτερα αποτελέσματα στην παραγωγή συγκριτικά με τις αντίστοιχες FNH και DNM. Παρότι οι μεταχειρίσεις που είχαν εμβολιαστεί με τον μύκητα *T. harzianum* τόσο για τη σειρά F όσο και για τη σειρά D σημειώνουν μεγαλύτερη παραγωγή σε μέσες τιμές από τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις της αντίστοιχης σειράς, τα αποτελέσματά τους δεν είναι εντός στατιστικού σφάλματος.



Εικόνα 4-11: Συνολική βιομάζα καρπών (g).

4.6.3. Βιομάζα κορμών

Η βιομάζα των κορμών υπολογίστηκε αφού έγινε αναγωγή του ύψους των κορμών στο 1 μέτρο. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 4-12 η μεγαλύτερη συνολική βιομάζα κορμών παρατηρείται τόσο για το φρέσκο όσο και για το υποβαθμισμένο χώμα στις μεταχειρίσεις που είχαν εμβολιαστεί με τον *T. harzianum*. Συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι η βιομάζα των κορμών για τη μέθοδο FTH υπολογίστηκε στα 21,8 g και σημειώνεται μεγαλύτερη από τις υπόλοιπες θεραπείες φρέσκου χώματος. Η βιομάζα των κορμών των μεθόδων FAH και FNH υπολογίστηκαν 24,84 και 18,55 g αντίστοιχα. Στις μεθόδους υποβαθμισμένου χώματος η DTM παρήγαγε 19,59 g βιομάζας κορμών και ακολουθούν οι DAM με 17,47 g και η DNM με 13,02 g. Παρατηρείται, ότι όπως και στο κεφάλαιο 4.6.2 ότι οι μεταχειρίσεις στις οποίες έγινε χρήση του *T. harzianum* σημείωσαν τη μεγαλύτερη παραγωγή βιομάζας καθιστώντας το μύκητα ευνοϊκό για τις καλλιέργειες.



Εικόνα 4-12: Συνολική Βιομάζα Κορμών (g).

5. Συμπεράσματα και προτάσεις

Η αλάτωση αποτελεί μία από τις κυριότερες απειλές υποβάθμισης του εδάφους. Με την κατανόηση των διεργασιών της αλλά και των μεθόδων αντιμετώπισής της, μπορεί να σχεδιαστούν αποτελεσματικότερες μέθοδοι διαχείρισης για την προστασία της υγείας των εδαφών και κατ' επέκταση των καλλιεργειών.

Κατά τη διάρκεια του συγκεκριμένου πειράματος, παρατηρήθηκε μείωση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους κατά τη τελευταία δειγματοληψία σε όλες τις μεταχειρίσεις εκτός της μεταχείρισης DAM και όχι συνεχής αύξηση σε κάθε πότισμα όπως συνήθως παρατηρείται στη βιβλιογραφία (λ.χ. Ali, 2011). Η μείωση αυτή οφείλεται στην αρχικά υψηλότερη ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους από την ηλεκτρική αγωγιμότητα του ύδατος και έτσι να επέρχεται έκπλυση του εδάφους (Pappa, 2015). Δε βρισκόμαστε σε θέση να γνωρίζουμε αν αυτή η μείωση που παρατηρήθηκε επηρέασε την παραγωγή ή την υγεία των φυτών καθώς ήδη βρισκόταν στο τέλος της περιόδου συγκομιδής. Συγκεκριμένα, συγκρίνοντας την παραγωγή της μεταχείρισης DAM με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις της σειράς D παρατηρείται ότι παρότι η DAM ήταν η μοναδική που σημείωσε υψηλότερη EC_e κατά τη τελευταία δειγματοληψία, η παραγωγή της δεν ήταν η μεγαλύτερη εκ των τριών μεταχειρίσεων της σειράς D. Συνεπώς ακόμα και αν το φυτό συνέχισε να λαμβάνει νερό αυτό δεν μεταφράστηκε σε αυξημένη παραγωγή.

Η μεταχείριση φρέσκου χώματος με χουμικό οξύ βοήθησε να κρατηθεί το SAR στα χαμηλότερα επίπεδα παρόλο που αρδευόταν με το υψηλότερο EC, ενώ η αντίστοιχη με τον *T. harzianum* σημείωσε τη μεγαλύτερη συγκέντρωση εκ των τριών μεταχειρίσεων της σειράς F.

Παρότι οι Manan et al. (2016) στην έρευνά τους παρατήρησαν μείωση τη χλωροφύλλης κατά την αύξηση της αλατότητας, στο συγκεκριμένο πείραμα τα εδαφοβελτιωτικά έδειξαν να βοηθούν. Συγκεκριμένα, συγκρίνοντας τη μεταβολή του ποσοστού της χλωροφύλλης σε σχέση με τη μεταβολή του EC και του SAR παρατηρήθηκε ότι και στις δύο περιπτώσεις η μεταχείριση FTH κράτησε την περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη σε υψηλότερα επίπεδα σε σχέση με όλες τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις. Αντίθετα, τα εδαφοβελτιωτικά δε βοήθησαν στη διατήρηση της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη στις μεταχειρίσεις υποβαθμισμένου χώματος, καθώς παρατηρήθηκε ότι η μεταχείριση ελέγχου είχε το μεγαλύτερο ποσοστό σε χλωροφύλλη με την αύξηση του SAR. Παρατηρώντας τα αποτελέσματα συμπεραίνουμε η αρχική κατάσταση του εδάφους (φρέσκο ή υποβαθμισμένο) αποτελεί σημαντικότερο παράγοντα για την περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη από ότι η ποιότητα της άρδευσης. Έτσι, η μείωση της συγκέντρωσης των αλάτων στο έδαφος (λ.χ. μέσω έκπλυσης με κατάκλιση, ανανέωση μέρους του εδάφους ή προσθήκη ικανής ποσότητας εδαφοβελτιωτικών) μεταξύ καλλιεργητικών περιόδων, αποκτά ιδιαίτερα μεγάλη σημασία.

Όσον αφορά την παραγωγή, επιβεβαιώνεται ότι η καταπόνηση λόγω άλατος έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του βάρους των καρπών αλλά όχι και του αριθμού τους (Koutsoudis and Tsanis, 2016; Shimul et al., 2014). Επίσης, οι μεταχειρίσεις που είχαν εμβολιαστεί με το μύκητα *T. harzianum* παρουσίασαν την υψηλότερη παραγωγή (kg/φυτό) και στα δύο είδη χώματος και ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Οι μεταχειρίσεις υποβαθμισμένου χώματος και μέσης αλατότητας (σειρά D) σημείωσαν υψηλότερη παραγωγή (σε μέσες τιμές) από ότι οι αντίστοιχες φρέσκου χώματος και υψηλής αλατότητας (σειρά F).

Ο *T. harzianum* βοήθησε και στην ανάπτυξη των φυτών καθώς οι μεταχειρίσεις που τον περιείχαν, τόσο στο φρέσκο όσο και στο υποβαθμισμένο χώμα, σημείωσαν υψηλότερη παραγωγή βιομάζας κορμών και καρπών. Όπως έχει αναφερθεί από τους Harman et al. (2008) και Mastouri et al. (2010), ο μύκητας βοηθάει στη βελτίωση της ανάπτυξης του φυτού, στην αύξηση της ανθεκτικότητας του σε υψηλή αλατότητα και στην αύξηση των ποσοστών βλάστησης και βλάστησης των καρπών. Οι μεταχειρίσεις της σειράς D οι οποίες σημείωσαν χαμηλότερα ποσοστά χλωροφύλλης σημείωσαν ταυτόχρονα υψηλότερη παραγωγή από τις μεταχειρίσεις της σειράς F. Η παρατήρηση αυτή οδηγεί στο συμπέρασμα ότι παρόλο που η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη αποτελεί σημαντικό δείκτη υγείας δε συνδέεται άμεσα με την παραγωγή. Γενικά δεν παρατηρείται κάποια συσχέτιση ούτε μεταξύ της βιομάζας και της παραγωγής. Οπότε σε επόμενα πειράματα μπορεί να δοθεί βάρος σε άλλες παραμέτρους.

Με βάση όλα τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι ο *T. harzianum* λειτούργησε καλύτερα από το χουμικό οξύ τόσο στην παραγωγή όσο και στη διατήρηση της υγείας των φυτών. Αντίθετα, οι μεταχειρίσεις με χουμικό πρόσθετο δεν υπερτερούν σε καμία περίπτωση.

Τα αποτελέσματα που προαναφέρθηκαν προέρχονται από το πείραμα το οποίο προσομοίωσε την περιοχή μελέτης και το οποίο έλαβε χώρα κάτω από αυστηρά ελεγχόμενες συνθήκες. Τα συμπεράσματα ισχύουν κάτω από περιορισμούς για τις συνθήκες πεδίου. Οι κυριότεροι τρόποι αντιμετώπισης της αλατότητας στα εδάφη που συνδέονται με την καλλιέργεια είναι το ξέπλυμα του εδάφους, η διατήρηση της εδαφικής υγρασίας σε υψηλά επίπεδα, η αύξηση του όγκου νερού σε κάθε πότισμα με σκοπό την απομάκρυνση των αλάτων από το ριζόστρωμα καθώς και η άρδευση κατά τις νυχτερινές ώρες για να επιτευχθεί μείωση της εξάτμισης του νερού. Παρόλα αυτά ο πλέον παραγωγικός και οικονομικός τρόπος καλλιέργειας όσο αφορά το νερό είναι η χρήση αειφόρων αρδευτικών πόρων.

6. Βιβλιογραφία

- 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>
- Ahmed Mayi, A., Ramazan Ibrahim, Z., Salih Abdurrahman, A., 2014. Effect of Foliar Spray of Humic acid, Ascorbic acid, Cultivars and their Interactions on Growth of Olive (*Olea European L.*) Transplants cvs. Khithairy and Sorany. *IOSR J. Agric. Vet. Sci. Ver. II* 7, 2319–2372.
- Al Hassan, M., Martínez Fuertes, M., Ramos Sánchez, F.J., Vicente, O., Boscaiu, M., 2015. Effects of salt and water stress on plant growth and on accumulation of osmolytes and antioxidant compounds in cherry tomato. *Not. Bot. Horti Agrobot. Cluj-Napoca* 43. <https://doi.org/10.15835/nbha4319793>
- 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.* <https://doi.org/10.1080/10106049.2016.1250826>
- Alfano, G., Ivey, M.L.L., Cakir, C., Bos, J.I.B., Miller, S.A., Madden, L. V., Kamoun, S., Hoitink, H.A.J., 2007. Systemic Modulation of Gene Expression in Tomato by *Trichoderma hamatum* 382. *Phytopathology* 97, 429–437. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-97-4-0429>
- Ali, M.H., 2011. Practices of Irrigation & On-farm Water Management: Volume 2.
- Amini, F., Ehsanpour, A.A., 2006. Response of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars to MS, water agar and salt stress in in vitro culture. *Pakistan J. Biol. Sci.* 9, 170–175. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2006.170.175>
- Apostolakis, A., Tsanis, I.K., 2016. Προσομοίωση Καλλιέργειας Θερμοκηπιακής Τομάτας με το Μοντέλο SALTMED: Σενάρια Ποιότητας Άρδευσης και Κλιματικής Αλλαγής. Technical University of Crete, Greece.
- Arnon, D.I., 1949. COPPER ENZYMES IN ISOLATED CHLOROPLASTS. POLYPHENOLOXIDASE IN BETA VULGARIS. *Plant Physiol.* 24, 1–15. <https://doi.org/10.1104/PP.24.1.1>
- Azarmi, R., Taleshmikail, R.D., Gikloo, A., 2010. Effects of salinity on morphological and physiological changes and yield of tomato in hydroponics system 8, 573–576.
- Babu, A., Singh, D., Gothandam, K.M., Babu, M.A., 2011. Effect of salt stress on expression

- of carotenoid pathway genes in tomato. *J. Stress Physiol. Biochem. Orig. Text J. Stress Physiol. Biochem.* 7, 87–94.
- Bacha, H., Tekaya, M., Drine, S., Guasmi, F., Touil, L., Enneb, H., Triki, T., Cheour, F., Ferchichi, A., 2017. Impact of salt stress on morpho-physiological and biochemical parameters of *Solanum lycopersicum* cv. Microtom leaves. *South African J. Bot.* 108, 364–369. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2016.08.018>
- Bai, Y., Lindhout, P., 2007. Domestication and Breeding of Tomatoes: What have We Gained and What Can We Gain in the Future? *Ann. Bot.* 100, 1085–1094. <https://doi.org/10.1093/aob/mcm150>
- 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>
- Ciobanu, I.P., Sumalan, R., 2009. The Effects of the Salinity Stress on the Growing Rates and Physiological Characteristics to the *Lycopersicum esculentum* Specie to the 66, 616–620.
- Croke, B., Cleridou, N., Kolovos, A., Vardavas, I., Papamastorakis, J., 2000. Water resources in the desertification-threatened Messara Valley of Crete: estimation of the annual water budget using a rainfall-runoff model. *Environ. Model. Softw.* 15, 387–402.
- Daliakopoulos, I.N., Tsanis, I.K., Koutroulis, A.G., Kourgialas, N., Varouchakis, E.A., Karatzas, G.P., Ritsema, C.J., 2016. The threat of soil salinity: A European scale review. *Sci. Total Environ.* 573, 727–739. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.177>
- Deligianni, A., Tsanis, I., 2016. Πολυτεχνείο κρητης σχολη μηχανικων περιβαλλοντος. Technica University of Crete.
- Deligianni, A., Tsanis, I.K., 2016. Επίδραση Της Αλατότητας Άρδευσης και του Μύκητα *T. Harzianum* στα Ποιοτικά Χαρακτηριστικά του Εδάφους για Θερμοκηπιακής Καλλιέργεια. Technical University of Crete, Greece.
- Dey, A.K., Sharma, M., Meshram, M.R., 2016. An Analysis of Leaf Chlorophyll Measurement Method Using Chlorophyll Meter and Image Processing Technique. *Procedia Comput. Sci.* 85, 286–292. <https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2016.05.235>
- Dogan, M., Tipirdamaz, R., Demir, Y., 2010. Effective salt criteria in callus-cultured tomato genotypes 65 C, 613–618.
- EASAC, 2005. Groundwater in the Southern Member States of the European Union: an assessment of current knowledge and future prospects | Country report for Italy.

- Esengun, K., Erdal, G., Gündüz, O., Erdal, H., 2007. An economic analysis and energy use in stake-tomato production in Tokat province of Turkey. *Renew. Energy* 32, 1873–1881. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2006.07.005>
- Fao, 2000. The State of Food and Agriculture 2000 - Lessons from the past 50 years.
- FAO, 2014. FAOSTAT [WWW Document].
- Farinetti, A., Zurlo, V., Manenti, A., Coppi, F., Mattioli, A.V., 2017. Mediterranean diet and colorectal cancer: A systematic review. *Nutrition* 43–44, 83–88. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2017.06.008>
- Florina, F., Giancarla, V., Cerasela, P., Sofia, P., 2013. The effect of salt stress on chlorophyll content in several Romanian tomato varieties. *J. Hortic. For. Biotechnol.* 17, 363–367.
- Freitag, T., Morton, J.B., 2010. Plant and Soil Sciences. *Plant Soil* 26506–26506.
- Giannakoula, A.E., Ilias, I.F., 2013. THE EFFECT OF WATER STRESS AND SALINITY ON GROWTH AND PHYSIOLOGY OF TOMATO (*Lycopersicon esculentum* MILL.). *Arch. Biol. Sci* 65, 611–620. <https://doi.org/10.2298/ABS1302611G>
- Grisso, R., Alley, M., Holshouser, D., Thomason, W., 2009. Precision farming tools: soil electrical conductivity. *Virginia Coop. Ext.* 442, 1–6.
- Hajer, A.S., Malibari, A.A., Al-Zahrani, H.S., Almaghrabi, O.A., 2006. Responses of three tomato cultivars to sea water salinity 1. Effect of salinity on the seedling growth 5, 855–861.
- Harman, G.E., Björkman, T., Ondik, K., Shores, M., 2008. Changing paradigms on the mode of action and uses of *Trichoderma* spp. for biocontrol. *Outlooks Pest Manag.* <https://doi.org/10.1564/19feb08>
- Hayashi, M., 2004. Temperature-electrical conductivity relation of water for environmental monitoring and geophysical data inversion. *Environ. Monit. Assess.* 96, 119–128. <https://doi.org/10.1023/B:EMAS.0000031719.83065.68>
- ITPS, F. and, 2015. Status of the World's Soil Resources (SWSR)-Main Report. Chapter 2. The role of soils in ecosystem. *Status World's Soil Resour.* Chapter 2., 21.
- Kaya, C., Akram, N.A., Ashraf, M., Sonmez, O., 2018. Exogenous application of humic acid mitigates salinity stress in maize (*Zea mays* L.) plants by improving some key physico-biochemical attributes. *Cereal Res. Commun.* 46, 67–78. <https://doi.org/10.1556/0806.45.2017.064>

- Khavari-Nejad, R.A., Mostofi, Y., 1998. Effects of NaCl on photosynthetic pigments, saccharides, and chloroplast ultrastructure in leaves of tomato cultivars. *Photosynthetica* 35, 151–154. <https://doi.org/10.1023/A:1006846504261>
- Kimura, S., Sinha, N., 2008. Tomato (*Solanum lycopersicum*): A Model Fruit-Bearing Crop. *Cold Spring Harb. Protoc.* 2008, pdb.emo105-pdb.emo105. <https://doi.org/10.1101/pdb.emo105>
- Kokolakis, S., 2017. ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ ΚΡΗΤΗΣ.
- Koutsoudis, D., 2016. Έλεγχος Ποιότητας και Απόδοσης Παραγωγής της Καλλιέργειας Τομάτας σε Θερμοκήπιο, Ύστερα από Άρδευση με Αλμυρό Νερό και υπό την Επίδραση του Ωφέλιμου Μύκητα *T. Harzianum*. Technical University of Crete, Greece.
- 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.
- Lenntech BV, 2016. Water conductivity - Lenntech [WWW Document]. ONLINE.
- Letstalkscience.ca, 2018. Tomatosphere - Tomatosphère | Plant Pigments [WWW Document]. URL <http://tomatosphere.letstalkscience.ca/Resources/library/ArticleId/4661/plant-pigments.aspx>
- Lu, S., Lu, X., Zhao, W., Liu, Y., Wang, Z., Omasa, K., 2015. Comparing vegetation indices for remote chlorophyll measurement of white poplar and Chinese elm leaves with different adaxial and abaxial surfaces. *J. Exp. Bot.* 66, 5625–37. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv270>
- Mahdy, A.M., 2011. Comparative effects of different soil amendments on amelioration of saline-sodic soils. *Soil Water Res* 6, 205–216.
- Malet, J.P., Maquaire, O., 2012. Risk Assessment Methodologies for Soil Threats. Framework 1–29.
- Manaa, A., Ahmed, H. Ben, Smiti, S., Faurobert, M., 2011. Salt-Stress Induced Physiological and Proteomic Changes in Tomato (*Solanum lycopersicum*) Seedlings. *Omi. A J. Integr. Biol.* 15, 801–809. <https://doi.org/10.1089/omi.2011.0045>
- Manan, A., Ayyub, C.M., Ahmad, R., Bukhari, M.A., Mustafa, Z., 2016. Salinity induced deleterious effects on biochemical and physiological processes of tomato 14, 83–90.
- Mancuso, M., Aprile, V., Ragusa, V., Pianazze, V., 2011. A Wireless Sensors Network For Monitoring Environmental Variables in a Tomato Greenhouse. *IEEE Int. Work. Fact.*

- Commun. Syst. - WFCS 107–110. <https://doi.org/10.1109/WFCS.2006.1704135> Print ISBN: 1-4244-0379-0
- Marosz, A., 2009. Effect of fulvic and humic organic acids and calcium on growth and chlorophyll content of tree species grown under salt stress. *Dendrobiology* 62, 47–53.
- Mastouri, F., Björkman, T., Harman, G.E., 2010. Seed Treatment with *Trichoderma harzianum* Alleviates Biotic, Abiotic, and Physiological Stresses in Germinating Seeds and Seedlings. *Phytopathology* 100, 1213–1221. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-03-10-0091>
- Matuszak-Slamani, R., Bejger, R., Cieśla, J., Bieganski, A., Koczańska, M., Gawlik, A., Kulpa, D., Sienkiewicz, M., Włodarczyk, M., Gołębiowska, D., 2017. Influence of humic acid molecular fractions on growth and development of soybean seedlings under salt stress. *Plant Growth Regul.* 83, 465–477. <https://doi.org/10.1007/s10725-017-0312-1>
- Montesano, F., van Iersel, M.W., 2007. Calcium can prevent toxic effects of Na⁺ on Tomato leaf photosynthesis but does not restore growth. *J. Am. Soc. Hort. Sci* 132, 310–318.
- Mozafariyan, M., Saghafi, K., Esfandiari, A., Bakhtiari, S., 2013. The effects of different sodium Chloride concentrations on the growth and photosynthesis parameters of tomato (*Lycopersicon esculentum* cv . Foria). *Agric. Crop Sci.* 6, 203–207.
- Mudge, K., Gabriel, S., 2014. Farming the woods : an integrated permaculture approach to growing food and medicinals in temperate forests.
- OECD, 2017. OECD Data [WWW Document]. <https://doi.org/10.1787/997c8750>
- Oyiga, B.C., Sharma, R.C., Shen, J., Baum, M., Ogonnaya, F.C., Léon, J., Ballvora, A., 2016. Identification and Characterization of Salt Tolerance of Wheat Germplasm Using a Multivariable Screening Approach. *J. Agron. Crop Sci.* 202, 472–485. <https://doi.org/10.1111/jac.12178>
- Panagopoulos, G., Manoutsoglou, E., Vafidis, A., Soupios, P., Bellas, S., 2015. Subsurface Structure of Tympaki Basin (Crete, Greece) Based on Well and Geophysical Data. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201414142>
- Pappa, P., 2015. ΜΕΛΕΤΗ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΕΛΑΦΗ ΕΠΙΒΑΡΥΜΕΝΑ ΜΕ ΑΛΑΤΩΣΗ.
- Paritsis, 2005. SIMULATION OF SEAWATER INTRUSION INTO THE TYMPAKI AQUIFER, SOUTH CENTRAL CRETE, GREECE Savvas N. Paritsis Study implemented on behalf of the Department of Management of Water Resources of the Region of Crete 2, Stergiou Spanaki & Ikarou.

- Parvin, K., Ahamed, K.U., Islam, M.M., Haque, M.N., 2015. Response of Tomato Plant Under Salt Stress: Role of Exogenous Calcium. *J. Plant Sci.* 10, 222–233. <https://doi.org/10.3923/jps.2015.222.233>
- Pessarakli, M., 2005. Handbook of photosynthesis. Taylor & Francis.
- Pisinaras, V., Tsihrintzis, V.A., Petalas, C., Ouzounis, K., 2010. Soil salinization in the agricultural lands of Rhodope District, northeastern Greece. *Environ. Monit. Assess.* 166, 79–94. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-0986-6>
- Porra, R.J., 2002. The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls a and b. *Photosynth. Res.* 73, 149–156. <https://doi.org/10.1023/A:1020470224740>
- Qadir, M., Qureshi, R.H., Ahmad, N., 1996. Reclamation of a saline-sodic soil by gypsum and *Leptochloa fusca*. *Geoderma* 74, 207–217. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(96\)00061-4](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(96)00061-4)
- Rady, M., 2014. A novel organo-mineral fertilizer can mitigate salinity stress effects for tomato production on reclaimed saline soil. *South African J. Bot.* 1034, 493–500. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2012.03.013>
- Ragab, R., 2011. Water saving in agriculture: Management approaches and practical tools.
- Rani, P., Sharma, M.K., Rani, S., Kumar, N., Sharma, S.K., 2017. Effect of different saline environments on flowering time, chlorophyll content and photochemical efficiency of tomato 33, 86–93.
- Rengasamy, P., 2006. World salinization with emphasis on Australia. *J. Exp. Bot.* 57, 1017–1023. <https://doi.org/10.1093/jxb/erj108>
- Robert E, P., 2014. Organic matter, humus, humate, humic acid, fulvic acid and humin: their importance in soil fertility and plant health. *Igarss* 2014 1–5. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Schjønning, P., Heckrath, G., Christensen, B.T., 2009. Threats to soil quality in Denmark: A Review of existing knowledge in the context of the EU soil thematic strategy.
- Schofield, R., Kirkby, M., 2003. Application of salinization indicators and initial development of potential global soil salinization scenario under climatic change. *Global Biogeochem. Cycles* 17.
- Semida, W.M., Abd El-Mageed, T.A., Howladar, S.M., 2014. A NOVEL ORGANO-MINERAL FERTILIZER CAN ALLEVIATE NEGATIVE EFFECTS OF SALINITY

- STRESS FOR EGGPLANT PRODUCTION ON RECLAIMED SALINE CALCAREOUS SOIL. *Acta Hortic.* 493–499. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1034.61>
- Shimul, M.A.H., Shin-ichi, I. o, Sadia, S., Roni, M.Z.K., Jamal Uddin, A.F.M., 2014. RESPONSE OF TOMATO (*Lycopersicon esculentum*) TO SALINITY IN HYDROPONIC STUDY 1998–2003.
- Shoresh, M., Harman, G.E., 2017. The relationship between increased growth and resistance induced in plants by root colonizing microbes. *Plant Signaling and Behavior* 3, e1057367-1–7. <https://doi.org/10.1080/15592324.2015.1057367>
- Taffouo, V., Nouck, A., Dibong, S., Amougou, A., 2002. African journal of biotechnology., African Journal of Biotechnology. Academic Journals.
- Taylor, R.G., Scanlon, B., Döll, P., Rodell, M., Van Beek, R., Wada, Y., Longuevergne, L., Leblanc, M., Famiglietti, J.S., Edmunds, M., others, Konikow, L., Green, T.R., Chen, J., Taniguchi, M., Bierkens, M.F.P., MacDonald, A., Fan, Y., Maxwell, R.M., Yechieli, Y., Gurdak, J.J., Allen, D.M., Shamsudduha, M., Hiscock, K., Yeh, P.J.-F., Holman, I., Treidel, H., 2012. Ground water and climate change. *Nat. Clim. Chang.* 3, 322–329. <https://doi.org/10.1038/nclimate1744>
- Tsanis, I.K., Apostolaki, M.G., 2009. Estimating groundwater withdrawal in poorly gauged agricultural basins. *Water Resour. Manag.* 23, 1097–1123. <https://doi.org/10.1007/s11269-008-9317-x>
- Türkmen, Ö., Dursun, A., Turan, M., Erdinç, Ç., 2004. Calcium and humic acid affect seed germination, growth, and nutrient content of tomato (*Lycopersicon esculentum* L .) seedlings under saline soil conditions. *Acta Agric. Scand. Sect. B - Soil Plant Sci.* 54, 168–174. <https://doi.org/10.1080/09064710310022014>
- Using of chlorophyll a fluorescence OJIP transients for sensing salt stress in the leaves and fruits of tomato, 2017. . *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 219, 216–221. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2017.03.016>
- Vafidis, A., Andronikidis, N., Hamdan, H., Kritikakis, G., Economou, N., Panagopoulos, G., Souplos, P., Steiakakis, E., Manoutsoglou, E., 2013. The Clearwater Project: Preliminary Results from the Geophysical Survey in Tympaki, Crete, Greece. *Bull. Geol. Soc. Greece* 47.
- Van Beek, C.L., Tóth, G., 2012. Risk Assessment Methodologies of Soil Threats in Europe. JRC Scientific and Policy Reports EUR 24097.

- 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.
- Wagner, K., Tsanis, I.K., 2016. Installation of experimental greenhouse tomato crop and assessment of the effect of symbiotic fungus *T. harzianum* under salinity. Technical University of Crete, Chania, Greece.
- Yokafi, Ibrahim, Levent Tuna, A., Bürün, B., Altunlu, H., Altan, F., Kaya, C., 2008. Responses of the Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Plant to Exposure to Different Salt Forms and Rates. *Turk J Agric* 32, 319–329.
- Zhai, Y., Yang, Q., Hou, M., 2015. The Effects of Saline Water Drip Irrigation on Tomato Yield , Quality , and Blossom-End Rot Incidence — A Case Study in the South of 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0142204>
- Zribi, L., Fatma, G., Fatma, R., Salwa, R., Hassan, N., Néjib, R.M., 2009. Application of chlorophyll fluorescence for the diagnosis of salt stress in tomato “*Solanum lycopersicum* (variety Rio Grande).” *Sci. Hortic.* (Amsterdam). 120, 367–372. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.11.025>