



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ  
ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

**ΘΕΜΑ:** Επίδραση της προσθήκης χλωριούχου καλίου στις  
ιδιότητες εδάφους όπου εφαρμόστηκε ζεόλιθος

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:** Αντωνιάδης Βασίλειος (Επίκουρος  
Καθηγητής στην Εφαρμοσμένη Εδαφολογία)

**ΓΑΝΟΧΩΡΙΤΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ**



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

Αριθ. Εισ.: 16329/1  
Ημερ. Εισ.: 12/06/2017  
Δωρεά: Συγγραφέα  
Ταξιθετικός ΠΤ-ΦΠΑΠ  
Κωδικός: 2015  
ΓΑΝ

## Ευχαριστίες

Θα θελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή Κο. Βασίλειο Αντωνιάδη κυρίως για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, και την υπομονή που έκανε κατά τη διάρκεια υλοποίησης της πτυχιακής εργασίας καθώς και για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση του, για την επίλυση διάφορων θεμάτων. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω και τους επιβλέποντες Κα Δημήτρου Ανθούλα και Κο Δαναλάτο Νικόλαο όπως επίσης και την Κα Γκόλια Ευαγγελία για την βοήθεια που μου παρείχε στις μετρήσεις χλωρίου. Θα θελα επίσης να απευθύνω τις ευχαριστίες μου στους γονείς μου και στην αδερφή μου, οι οποίοι στήριξαν τις σπουδές μου με διάφορους τρόπους, φροντίζοντας για την καλύτερη δυνατή μόρφωση μου.

## Περίληψη

Στα εδάφη όταν προστίθεται χλωριούχο κάλιο αυξάνεται σε υψηλά επίπεδα η αλατότητα του εδάφους και αυτό μπορεί να προκαλέσει πρόβλημα στις καλλιέργειες. Ένας τρόπος να μειωθεί η επίδραση της αλατότητας στο εδάφους είναι η προσθήκη στο έδαφος εδαφοβελτιωτικών υλικών όπως ο ζεόλιθος. Επειδή δεν έχει δοκιμαστεί στο παρελθόν η χορήγηση ζεόλιθου για να μελετηθεί η αλατότητα του εδάφους, το παρόν πείραμα είχε ως σκοπό τη δοκιμή του ζεόλιθου ως βελτιωτικού του εδάφους για να μελετηθεί αν η αλατότητα από το χορηγούμενο χλωριούχο κάλιο έχει σημαντική επίδραση ή όχι. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε ένα έδαφος στο οποίο χορηγήθηκαν δύο κλιμακούμενες δόσεις χλωριούχου καλίου (12 g και 24 g, οι οποίες ονομάζονται K<sub>1</sub> και K<sub>2</sub>, αντίστοιχα) και στο μισό έδαφος προστέθηκε ζεόλιθος ενώ στο άλλο μισό δεν προστέθηκε. Τα εδάφη επώαστηκαν σε θερμοκρασία 22 °C και λαμβάνονταν δείγματα κατά τις χρονικές περιόδους εβδομάδα 1, εβδομάδα 3, εβδομάδα 5, εβδομάδα 7 και εβδομάδα 10. Βρέθηκε ότι το χλώριο κατά την πρώτη δειγματοληψία αυξήθηκε στο έδαφος στις μεταχειρίσεις K<sub>1</sub> και K<sub>2</sub>, όμως στο τέλος του πειράματος που διήρκησε 10 εβδομάδες δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές σε σχέση με τον μάρτυρα, κάτι που δείχνει ότι το χορηγούμενο χλώριο απορροφήθηκε από το έδαφος. Στο υδατοδιαλυτό κάλιο διαπιστώσαμε ότι δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές παρά μόνο μια αύξηση στην μεταχείριση K<sub>2</sub> κατά την πρώτη χρονική στιγμή δειγματοληψίας, ενώ και εδώ όπως συμβαίνει και με το χλώριο κατά την τελευταία δειγματοληψία μετά από 10 εβδομάδες διαπιστώσαμε ότι η αύξηση του καλίου στις μεταχειρίσεις K<sub>1</sub> και K<sub>2</sub> ήταν πολύ μικρή σε σχέση με το K<sub>0</sub> και σημαντική στην μεταχείριση K<sub>2</sub> με ζεόλιθο. Όσο αφορά την ηλεκτρική αγωγιμότητα παρατηρούμε σημαντική μείωση της τιμής με την πάροδο των 10 εβδομάδων. Στο pH παρατηρούμε ότι στην μεταχείριση K<sub>0</sub> μειώθηκε η τιμή του με την ολοκλήρωση του πειράματος κάτι όπου δεν συμβαίνει στη μεταχείριση K<sub>1</sub> χωρίς ζεόλιθο, η οποία αυξήθηκε σε σχέση με την αρχική τιμή που είχε. Τέλος στο ανταλλάξιμο κάλιο δεν παρατηρούμε καμία αλλαγή των τιμών παρά μόνο στη μεταχείριση K<sub>1</sub> με ζεόλιθο, όπου βλέπουμε μείωση της τιμής με την πάροδο των 10 εβδομάδων. Συμπερασματικά καταλήγουμε ότι ο ζεόλιθος είχε ευεργετική επίδραση στην απορρόφηση της αλατότητας του εδάφους ιδίως στα πρώτα στάδια εφαρμογής του χλωριούχου καλίου, ωστόσο η επίδραση που είχαμε με το ζεόλιθο παρατηρήθηκε και στη μεταχείριση χωρίς ζεόλιθο κάτι που σημαίνει ότι και το έδαφος από μόνο του μπορεί να απορροφήσει την αλατότητα. Η διαφορά είναι ότι αυτό γίνεται πολύ πιο καθυστερημένα (εντός 10 εβδομάδων στο παρόν πείραμα) σε σχέση με το ζεόλιθο.

## Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	2
Περίληψη.....	3
Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή.....	5
1. Μορφές καλίου στο έδαφος.....	5
2. Ο κύκλος του καλίου.....	6
3. Η Διαθεσιμότητα του καλίου και από τι εξαρτάται.....	7
4. Μορφές καλιούχων λιπασμάτων-Προβλήματα αλατότητας από KCl και K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	8
5. Χρήσεις ζεόλιθου.....	9
6. Επίδραση ζεόλιθου σε κατιόντα καλίου.....	10
7. Σκοπός της εργασίας.....	11
Κεφάλαιο 2. Υλικά και Μέθοδοι.....	12
2.1 Πειραματικός σχεδιασμός.....	12
2.2 Μέθοδοι ανάλυσης.....	13
Κεφάλαιο 3. Αποτελέσματα και Συζήτηση.....	15
3.1 Αποτελέσματα.....	15
3.2 Συζήτηση.....	19
3.3 Συμπεράσματα.....	20
Κεφάλαιο 4. Σχήματα.....	22
Βιβλιογραφία.....	27
Παράρτημα Α:.....	29

## Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

### 1. Μορφές καλίου στο έδαφος

Η ολική περιεκτικότητα των εδαφών σε κάλιο είναι συνήθως της τάξης του 1-2% και εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τη λιθολογική σύσταση των μητρικών πετρωμάτων και το βαθμό αποσάθρωσής τους. Η κατανομή του καλίου σε άμμο, ιλύ και άργιλλο δεν εμφανίζει ομοιομορφία τέτοια που να επιτρέπει γενικεύσεις (PROSODOL-LIFE, 2011).

Διακρίνονται διάφορες μορφές εδαφικού καλίου:

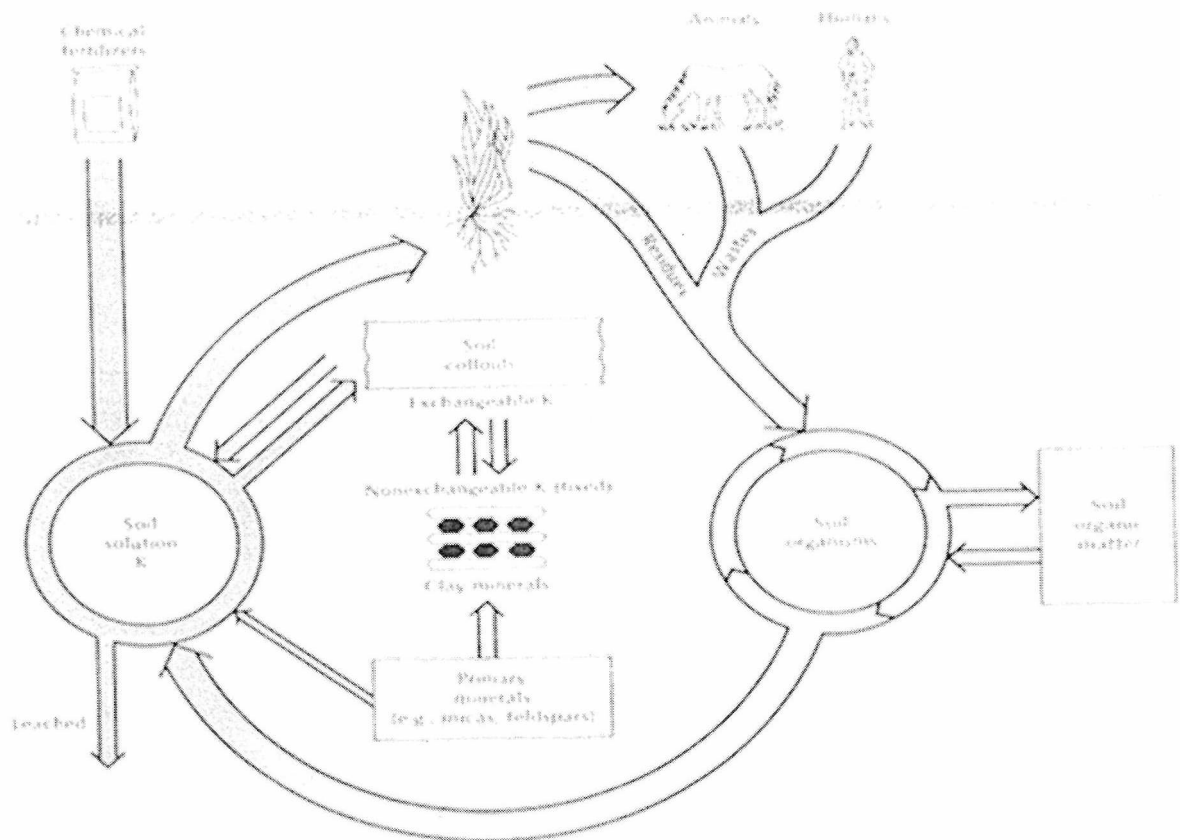
- Το κάλιο του εδαφικού διαλύματος: Στο εδαφικό διάλυμα το κάλιο βρίσκεται κυρίως με την ιονική του μορφή, ενώ μικρές ποσότητες βρίσκονται υπό μορφή αλάτων ή σύμπλοκων ενώσεων (Αλιφραγκής, 2008). Τα φυτά προσλαμβάνουν το μεγαλύτερο μέρος του καλίου απ' ευθείας σε αυτή τη μορφή και έτσι μειώνονται πολύ γρήγορα οι ποσότητες καλίου στο έδαφος
- Το ανταλλάξιμο κάλιο: Ανταλλάξιμο κάλιο θεωρείται η προσροφημένη από τα κολλοειδή του εδάφους μορφή δηλαδή είναι τα ιόντα  $K^+$ . Η μορφή αυτή του καλίου βρίσκεται πάντα σε χημική ισορροπία με το κάλιο του εδαφικού διαλύματος. Αποτελεί μορφή που εύκολα μπορεί να προσληφθεί από τα φυτά.
- Μη ανταλλάξιμο κάλιο: Ορισμένα ορυκτά του τύπου 2:1, όπως ο βερμικουλίτης, οι σμεκτίκες κ.α, έχουν την ικανότητα να δεσμεύουν τα ιόντα  $K^+$  τα οποία εισέρχονται τελικά στο διαστιβαδικό χώρο των ορυκτών αυτών και καθίστανται μέρος του κρυστάλλου. Η μορφή αυτή του K γίνεται προσιτή με πολύ αργούς ρυθμούς.. Για το λόγο αυτό τα ιόντα αυτά του καλίου αναφέρονται και ως μη ανταλλάξιμα.
- Δομικό κάλιο: Το μεγαλύτερο μέρος του εδαφικού καλίου βρίσκεται ως δομικό στους κρυστάλλους των πρωτογενών καθώς και των δευτερογενών ορυκτών της αργίλου. Το δομικό αυτό κάλιο με τη διαδικασία της αποσάθρωσης απελευθερώνεται και εμφανίζεται στο εδαφικό διάλυμα. Η μορφή αυτή δεν είναι άμεσα προσιτή στα φυτά (Αλιφραγκής, 2008).

## 2. Ο κύκλος του καλίου

Οι μετασχηματισμοί του καλίου (κύκλοι καλίου) στις μορφές που αναφέραμε παραπάνω είναι δυναμικοί και φτάνουν σε ισορροπία σχετικά γρήγορα, όταν οι ποσότητες του ανταλλάξιμου και του καλίου εδαφικού διαλύματος είναι ευνοϊκές προς αυτή τη κατάσταση. Παρόλα αυτά, ο μετασχηματισμός του καλίου σε κάποια άλλη μορφή είναι πολύ αργή και μπορεί να επιτευχθεί μόνο σε μακροπρόθεσμη κλίμακα. Η αποσάθρωση (συμπεριλαμβανομένων των φυσικών και χημικών διαδικασιών) παίζει καθοριστικό ρόλο στον μετασχηματισμό. Τα ιόντα καλίου απορροφώνται από την επιφάνεια αρνητικά φορτισμένων κolloειδών εδάφους και είναι άμεσα διαθέσιμα για τις ρίζες.

Τα εδάφη διαφέρουν στην περιεκτικότητά τους σε δεσμευμένο και ελεύθερο κάλιο τα οποία εξαρτώνται από την ορυκτολογία της αργίλου του εδάφους (δηλαδή την ποσότητα και ποιότητα των 2:1 ορυκτών αργίλου). Τα αργιλικά ορυκτά (2:1 δομημένα πυριτικά με μία στρώση από οκτάεδρα μεταξύ δύο στρωμάτων τετράδων) στο ορυκτό πλέγμα, ιδιαίτερα ιλλίτες, βερμικουλίτες, μοντμοριλονίτες, και σμεκτίτες παίζουν ιδιαίτερο ρόλο στην δυναμική του εδαφικού καλίου.

Τα χαρακτηριστικά της δέσμευσης ή αποδέσμευσης του καλίου επηρεάζουν σημαντικά την αποτελεσματικότητα της καλιούχας λίπανσης στα αγροτικά τεμάχια. Ο κύκλος του καλίου παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:



(Katalin, 2011).

### 3. Η Διαθεσιμότητα του καλίου και από τι εξαρτάται

Τα φυτά διαφέρουν ως προς την ικανότητά τους να προσλαμβάνουν κάλιο. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα του καλίου στο έδαφος και την απορρόφηση του από τα φυτά είναι:

Εδαφικοί παράγοντες:

Το ίδιο το έδαφος. Αυτό περιλαμβάνει το υλικό από το οποίο είναι σχηματισμένο το έδαφος, τις ποσότητες και τους τύπους των αργιλικών ορυκτών σε αυτό, τη βλάστηση και το κλίμα βάσει του οποίου διαμορφώθηκε, την τοπογραφία, καθώς και το χρονικό διάστημα κατά το οποίο σχηματίστηκε.

Την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (CEC) του εδάφους. Η ικανότητα δηλαδή του εδάφους να κρατήσει Κ και άλλα κατιόντα και να τα αποθηκεύσει στο έδαφος για την



πρόσληψή τους από τις καλλιέργειες. Σε γενικές γραμμές, όσο υψηλότερη είναι η CEC του εδάφους, τόσο μεγαλύτερη είναι η ικανότητα αποθήκευσης

Τη Θερμοκρασία του εδάφους. Οι χαμηλές θερμοκρασίες του εδάφους μειώνουν τη διαθεσιμότητα και το βαθμό πρόσληψης καλίου από τις καλλιέργειες.

Την υγρασία του εδάφους. Η υγρασία είναι απαραίτητη για τη μετακίνηση του Κ στις ρίζες των φυτών και την πρόσληψη.

Τις αποδόσεις των καλλιεργειών, καθώς όσο αυξάνονται οι αποδόσεις των καλλιεργειών, αυξάνεται και η συνολική πρόσληψη σε κάλιο.

Παράγοντες που αφορούν το φυτό

Η καλλιέργεια. Οι καλλιέργειες διαφέρουν ως προς την ικανότητά τους να προσλαμβάνουν Κ από ένα δεδομένο έδαφος. Αυτό συνδέεται με τον τύπο της ρίζας και το εμβαδόν της επιφανείας των ριζών. Τα αγρωστώδη έχουν πολλές περισσότερες ινώδεις, διακλαδιζόμενες ρίζες, αυξάνοντας την επιφάνεια απορρόφησης Κ. Παράγοντες που σχετίζονται με τη χρήση λιπασμάτων και τις πρακτικές διαχείρισης (Armstrong, 1998).

#### **4. Μορφές καλιούχων λιπασμάτων-Προβλήματα αλατότητας από KCl και K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>**

Η αλατότητα του εδάφους αυξάνεται όταν η εξατμισοδιαπνοή είναι μεγαλύτερη της βροχόπτωσης. Ένα μεγάλο ποσοστό εδαφών παρουσιάζει τάσεις αλατότητας ειδικά σε ξηροθερμικές συνθήκες όπως συναντώνται στον ελλαδικό χώρο. Η επίδραση των λιπασμάτων στην αλατότητα των εδαφών μετριέται με το δείκτη αλατότητας (salt index) που είναι διαφορετικός για κάθε τύπο λιπάσματος. Για το θειικό κάλιο ο δείκτης είναι 46 και για το χλωριούχο κάλιο είναι 114.

Το θειικό κάλιο λόγω του χαμηλού δείκτη αλατότητας συνιστάται για τις περιπτώσεις εδαφών που τείνουν να γίνουν αλατούχα. Αντίθετα το χλωριούχο κάλιο, λόγω του χλωρίου που περιέχει, είναι ιδιαίτερα επιβαρυντικό σε τέτοια εδάφη και συμβάλλει στην περαιτέρω αλάτωσή τους.

Το θειικό κάλιο έχει καθιερωθεί διεθνώς ως το «ποιοτικό λίπασμα για ποιοτική παραγωγή». Η λίπανση με σύνθετα λιπάσματα που περιέχουν θειικό κάλιο οδηγεί στην ενεργοποίηση ενζύμων που προάγουν την παραγωγή αμινοξέων, πρωτεϊνών και βιταμινών που βελτιώνουν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (εμφάνιση, γεύση, άρωμα) των καρπών, αυξάνουν την προστασία των φυτών σε ασθένειες και αντίξοες καιρικές συνθήκες όπως είναι οι χαμηλές θερμοκρασίες ή η ξηρασία και τέλος αυξάνουν τη συνεκτικότητα των καρπών επιδρώντας θετικά στους μετασυλλεκτικούς χειρισμούς, τη μεταφορά και την αποθήκευσή τους. Αντίθετα το χλωριούχο κάλιο, λόγω του χλωρίου που περιέχει, δημιουργεί υδαρείς φυτικούς ιστούς με αποτέλεσμα την ποιοτική υποβάθμιση των καρπών οι οποίοι είναι ευπαθείς στη μεταφορά, στην αποθήκευση, αλλά και σε μυκητολογικές ασθένειες (Αγγελίδης, 2015)

## 5. Χρήσεις ζεόλιθου

Οι ζεόλιθοι είναι σημαντικά υλικά με ευρείες εφαρμογές σε διυλιστήρια ως καταλύτες, σε διαδικασίες διαχωρισμού, καθώς επίσης και στον τομέα της γεωργίας και της περιβαλλοντικής μηχανικής. Άλλες πιθανές χρήσεις που ερευνώνται περιλαμβάνουν εφαρμογές ως φορείς λιπασμάτων βραδείας απελευθέρωσης, εντομοκτόνα, μυκητοκτόνα, και ζιζανιοκτόνα, και ως παγίδες βαρέων μετάλλων στο έδαφος. Οι ζεόλιθοι φαίνεται να έχουν δυνητικές εφαρμογές με πολλούς τρόπους στον τομέα της γεωργίας. Πιο συγκεκριμένα συντελούν στη:

Βελτίωση των φυσικό-χημικών και των μικροβιολογικών ιδιοτήτων του εδάφους

Βελτίωση της αποδοτικότητας της χρήσης ζιζανιοκτόνων

Βελτίωση της αποδοτικότητας της χρήσης νερού

Βελτίωση της αποδοτικότητας της χρήσης του αζώτου

Βελτίωση της αποδοτικότητας της χρήσης του φωσφόρου

Οι ζεόλιθοι προστίθεται σε λιπάσματα, βοηθούν στη διατήρηση των θρεπτικών συστατικών και, ως εκ τούτου συμβάλλουν στη βελτίωση της μακροπρόθεσμης ποιότητας του εδάφους με την ενίσχυση της ικανότητας απορρόφησής του. Αυτό αφορά τα σημαντικά θρεπτικά συστατικά φυτού όπως το άζωτο (N) και το κάλιο (K), και επίσης το ασβέστιο, το μαγνήσιο και τα μικρο-στοιχεία. Ο ζεόλιθος μπορεί να διατηρεί αυτές τις θρεπτικές ουσίες στο ριζικό σύστημα και να χρησιμοποιηθεί από

τα φυτά, όταν απαιτείται. Κατά συνέπεια, αυτό οδηγεί σε πιο αποτελεσματική χρήση των αζωτούχων και καλιούχων λιπασμάτων οδηγώντας σε παραγωγή με υψηλότερες αποδόσεις (Polat et al., 2004, Ramesh and Reddy, 2011, και Μιχαηλίδης και Πόκκια, 2007).

## **6. Επίδραση ζεόλιθου σε κατιόντα καλίου**

Μερικά από τα χαρακτηριστικά των ζεόλιθων που τους καθιστούν επιθυμητούς για τη βελτίωση των ιδιοτήτων των εδαφών είναι το μεγάλο εσωτερικό πορώδες που οδηγεί σε κατακράτηση νερού, η ομοιόμορφη κατανομή του σωματιδιακού μεγέθους τους που τους επιτρέπει την εύκολη ενσωμάτωσή τους, και η υψηλή ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων που συγκρατούν θρεπτικά συστατικά. Η προσθήκη του ζεόλιθου έχει βελτιώσει τη θρεπτική κατάσταση στις αμμώδεις ριζικές ζώνες και ιδιαίτερα την επιλεκτική κατακράτηση των αμμωνιακών και των καλιούχων ιόντων  $\text{NH}_4^+$  και  $\text{K}^+$ .

Μία μελέτη η οποία πραγματοποιήθηκε σε θερμοκήπιο από τον Pickering et al. (2002), ο οποίος έδειξε ότι ο κλινοπιλόλιθος σε συνδυασμό με φωσφορικά οδήγησε σε σημαντική αύξηση στην πρόσληψη φωσφόρου από ηλιοτρόπια. Ο συνδυασμός φωσφορικών με ζεόλιθο πιθανώς έδρασε ως λίπασμα ανταλλαγής, ανταλλάσσοντας  $\text{Ca}^{2+}$  ως αποτέλεσμα της πρόσληψης θρεπτικών κατιόντων ( $\text{NH}_4^+$  ή  $\text{K}^+$ ) από το φυτό, ενισχύοντας τη διάλυση των φωσφορικών. Το πείραμα κατέδειξε σαφώς σημαντικά αυξημένη πρόσληψη φωσφόρου από το φυτό από φυσικά φωσφορικά, όταν εφαρμόστηκαν σε συνδυασμό με  $\text{NH}_4$ -ζεόλιθο, αν και η πρόσληψη P ήταν χαμηλότερη από εκείνη που προερχόταν από διαλυτή πηγή P. Το σύστημα ζεόλιθος / φυσικά φωσφορικά προσφέρει το σημαντικό πλεονέκτημα της απελευθέρωσης P ανταποκρινόμενη στη ζήτηση των φυτών και είναι μοναδικό σε αυτό το θέμα. Μελέτες για την κινητικότητα κατά την ανταλλαγή ιόντων είναι πολύ σημαντικές για την ανάπτυξη των τεχνολογιών της χρήσης του φυσικού ζεόλιθου.

Έρευνα που διεξήχθη για να μελετήσει τις επιπτώσεις του καλίου των κλινοπιλόλιθων κορεσμένων σε αμμώνιο στη διαθεσιμότητα P σε Ferrosols αποκάλυψε ότι το κάλιο οι κορεσμένοι σε αμμώνιο κλινοπιλόλιθοι μπορούν να αυξήσουν τη διαλυτότητα P, παρέχοντας παράλληλα K και  $\text{NH}_4$  στο έδαφος, μια

ταυτόχρονη θετική επίδραση για την ανάπτυξη των φυτών (Ramesh and Reddy, 2011).

### **7. Σκοπός της εργασίας**

Σκοπός της εργασίας ήταν να δοκιμασθεί ο ζεόλιθος ως εδαφοβελτιωτικό υλικό για την απορρόφηση της προστιθέμενης με χλωριούχο κάλιο αλατότητας στο έδαφος.

## Κεφάλαιο 2. Υλικά και Μέθοδοι

### 2.1 Πειραματικός σχεδιασμός

Για την επίτευξη του σκοπού του πειράματος χωρίσαμε το έδαφος σε δύο κατηγορίες. Την κάθε μία από τις δύο κατηγορίες την χωρίσαμε περαιτέρω σε τρεις κατηγορίες.

Συνολικά είχαμε έξι μεταχειρίσεις.

Την πρώτη μεταχείριση την ονομάσαμε Α και περιείχε 100 g εδάφους.

Την δεύτερη μεταχείριση την ονομάσαμε Β και περιείχε 100 g εδάφους και 12 g χλωριούχου καλίου.

Την τρίτη μεταχείριση την ονομάσαμε Γ και περιείχε 100 g εδάφους και 24 g χλωριούχου καλίου

Την τέταρτη μεταχείριση την ονομάσαμε Δ και περιείχε 100 g εδάφους και 50 g/kg εδάφους ζεόλιθο

Την πέμπτη μεταχείριση την ονομάσαμε Ε και περιείχε 100 g εδάφους 50 g/kg εδάφους ζεόλιθο και 12 g χλωριούχου καλίου

Την έκτη μεταχείριση την ονομάσαμε ΣΤ και περιείχε 100 g εδάφους 50 g/kg εδάφους ζεόλιθο και 24 g χλωριούχου καλίου.

Από την κάθε μεταχείριση κάναμε πέντε επαναλήψεις οπότε συνολικά είχαμε τριάντα δείγματα, τα οποία τοποθετήθηκαν σε πλαστικά σακουλάκια τα οποία ήταν ανοιχτά για να αποφευχθεί η ανάπτυξη αναερόβιων συνθηκών. Τα τριάντα δείγματα διωγράνθηκαν και τοποθετήθηκαν σε θερμοθάλαμο στους 22 °C. Η υγρασία των εδαφών παρέμεινε σταθερή με προσθήκη απιονισμένου H<sub>2</sub>O, σε τακτά χρονικά διαστήματα. Σε πέντε διαφορετικές χρονικές στιγμές διηθήσαμε δείγματα από το κάθε ένα από τα σακουλάκια. Οι πέντε διαδοχικές χρονικές στιγμές ήταν η εβδομάδα 1 όπου ήταν η αρχή του πειράματος και πραγματοποιήθηκε στις 10/11/2014, η εβδομάδα 3 στις 24/11/2014, η εβδομάδα 5 στις 08/12/2014, η εβδομάδα 7 22/12/2014 και η τελευταία εβδομάδα όπου ήταν και η ολοκλήρωση του πειράματος στις 12/01/2015. Σε αυτά τα τριάντα δείγματα στις πέντε διαδοχικές στιγμές μετρήθηκαν οι εξής παράμετροι: pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα, χλώριο, υδατοδιαλυτό κάλιο και ανταλλάξιμο κάλιο.

## 2.2 Μέθοδοι ανάλυσης

Για τις μετρήσεις του χλωρίου, του υδατοδιαλυτού καλίου, του pH και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ακολούθησε η εξής διαδικασία:

Αρχικά ζυγίσαμε 10 g εδάφους μέσα σε φιαλίδια Falcon των 30 mL. Στη συνέχεια προσθέσαμε 10 mL H<sub>2</sub>O. Μετά αναδεύαμε για μία ώρα. Τελευταίο μας βήμα ήταν η φυγοκέντρηση η οποία διήρκησε τριάντα λεπτά. Με την ολοκλήρωση των παραπάνω διαδικασιών ήμασταν έτοιμοι να πάρουμε τις μετρήσεις που χρειαζόμασταν.

Για την μέτρηση του pH: Τοποθετήσαμε τα φιαλίδια Falcon στο πεχάμετρο και με την συμπλήρωση δέκα δευτερολέπτων πήραμε την τιμή που αναγραφόταν στην ένδειξη. Η μέτρηση έγινε απευθείας στο αιώρημα.

Για την μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας: Τοποθετήσαμε τα φιαλίδια Falcon στο αγωγιμόμετρο και με την συμπλήρωση δέκα δευτερολέπτων πήραμε την τιμή που αναγραφόταν στην ένδειξη. Η μέτρηση έγινε απευθείας στο αιώρημα

Για την μέτρηση του υδατοδιαλυτού καλίου: Τοποθετήσαμε τα φιαλίδια στο φλογοφωτόμετρο και πήραμε την αναγραφόμενη τιμή, αφού προηγηθεί μέτρηση καλίου γνωστής συγκέντρωσης για τη χάραξη της καμπύλης βαθμονόμησης. Η μέτρηση γινόταν σε δείγμα διηθημένο.

Για την μέτρηση χλωρίου κάναμε ογκομέτρηση. Η διαδικασία της ογκομέτρησης ήταν η εξής:

Σε κωνική φιάλη των 250 mL μεταφέραμε 10 mL από το δείγμα μας και συμπληρώσαμε με 90 mL αποσταγμένο H<sub>2</sub>O. Στη συνέχεια προσθέσαμε 2-3 σταγόνες δείκτη K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> και το διάλυμα έπαιρνε χρώμα κίτρινο. Ακολούθησε η ογκομέτρηση με διάλυμα AgNO<sub>3</sub> 0,0141 N μέχρι να εμφανιστεί κεραμέρυθρο ίζημα.

Η ογκομέτρηση έγινε επίσης και σε λευκό προσδιορισμό στον οποίο η κωνική φιάλη των 250 mL περιείχε μόνο 100 mL αποσταγμένο νερό.

Για την μέτρηση του ανταλλάξιμου καλίου ακολούθησε η εξής διαδικασία:

Τοποθετήσαμε σε φιάλη Falcon των 50 mL 2 g εδάφους και 20 mL  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  1 M. Στη συνέχεια τα αναδεύσαμε για μία ώρα. Αμέσως μετά τα διηθήσαμε. Μόλις ολοκληρώθηκε η διαδικασία τοποθετήσαμε τα φιαλίδια στο φλογοφωτόμετρο και καταγράψαμε την αναγραφόμενη τιμή, αφού προηγηθεί μέτρηση καλίου γνωστής συγκέντρωσης για τη χάραξη της καμπύλης βαθμονόμησης.

## Κεφάλαιο 3. Αποτελέσματα και Συζήτηση

### 3.1 Αποτελέσματα

Όσο αφορά το χλώριο (Σχήμα 1), οι μεταχειρίσεις με ζεόλιθο κατά την 1<sup>η</sup> εβδομάδα δεν είχαν στατιστικά σημαντική διαφορά, ωστόσο στις μεταχειρίσεις χωρίς ζεόλιθο είχαμε στατιστικά σημαντική διαφορά, όπου οι μετρήσεις  $K_2$  και  $K_3$  διέφεραν από τον μάρτυρα. Στις μεταχειρίσεις  $K_0$  με ζεόλιθο και  $K_0$  χωρίς ζεόλιθο βλέπαμε ότι δεν υπήρχαν στατιστικά σημαντική διαφορά. Στις μεταχειρίσεις  $K_1$  χωρίς ζεόλιθο και  $K_1$  με ζεόλιθο βλέπουμε ότι υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφορά και μάλιστα στη μεταχείριση  $K_1$  χωρίς ζεόλιθο είναι μεγαλύτερη από  $K_1$  με ζεόλιθο. Ομοίως το ίδιο συμβαίνει και στη περίπτωση με την μεταχείριση  $K_2$ . Κατά την 5<sup>η</sup> εβδομάδα, παρατηρούμε ότι στις μεταχειρίσεις χωρίς ζεόλιθο οι μετρήσεις  $K_0$  και  $K_2$  δεν διαφέρουν μεταξύ τους όμως η μέτρηση  $K_1$  διαφέρει από τις άλλες δύο και είναι μεγαλύτερη από τις άλλες δύο. Επίσης στην μεταχείριση με ζεόλιθο παρατηρούμαι ότι ο μάρτυρας  $K_0$  δεν διαφέρει με  $K_1$  και  $K_2$  όμως οι μεταχειρίσεις  $K_1$  και  $K_2$  διαφέρουν μεταξύ τους και μάλιστα μεγαλύτερη είναι η  $K_1$ . Οι μεταχειρίσεις  $K_0$  με ζεόλιθο και  $K_0$  χωρίς ζεόλιθο δεν έχουν στατιστικά σημαντική διαφορά. Το ίδιο συμβαίνει και στις μεταχειρίσεις με ζεόλιθο και χωρίς ζεόλιθο στα  $K_1$  και  $K_2$ . Κατά την τελευταία δειγματοληψία της Εβδομάδας 10 καμία από τις μεταχειρίσεις δεν είχαν μεταξύ τους στατιστικά σημαντικές διαφορές. Με την ολοκλήρωση του πειράματος παρατηρήσαμε ότι η μεταχείριση  $K_1$  χωρίς ζεόλιθο κατά την 10<sup>η</sup> εβδομάδα παρουσιάζει σημαντική μείωση της τιμής. Κάτι αντίστοιχο συμβαίνει και στη μεταχείριση  $K_2$  χωρίς ζεόλιθο, μόνο που η  $K_2$  χωρίς ζεόλιθο παρατηρούμε μείωση της τιμής της από την 5<sup>η</sup> εβδομάδα.

Όσο αφορά το υδατοδιαλυτό κάλιο (Σχήμα 2), οι μεταχειρίσεις χωρίς ζεόλιθο κατά την 1<sup>η</sup> εβδομάδα δεν είχαν σημαντική στατιστική διαφορά. Στις μεταχειρίσεις όμως με ζεόλιθο παρατηρούμε οι μετρήσεις  $K_0$  και  $K_1$  δεν είχαν σημαντική στατιστική διαφορά όμως η μέτρηση  $K_2$  είχε σημαντική στατιστική διαφορά και μάλιστα η τιμή της είναι μεγαλύτερη από τις άλλες δύο. Οι μεταχειρίσεις  $K_0$  με ζεόλιθο και  $K_0$  χωρίς ζεόλιθο δεν έχουν στατιστικά σημαντική διαφορά. Το ίδιο συμβαίνει και στις μεταχειρίσεις με ζεόλιθο και χωρίς ζεόλιθο στα  $K_1$  και  $K_2$ . Κατά την 5<sup>η</sup> εβδομάδα παρατηρούμε ότι στις μεταχειρίσεις χωρίς ζεόλιθο οι μετρήσεις δεν διαφέρουν μεταξύ τους. Το ίδιο συμβαίνει και στις μεταχειρίσεις με ζεόλιθο. Οι μεταχειρίσεις  $K_0$  με



ζεόλιθο και  $K_0$  χωρίς ζεόλιθο έχουν στατιστικά σημαντική διαφορά. Οι μεταχειρίσεις  $K_1$  με ζεόλιθο και  $K_1$  χωρίς ζεόλιθο δεν εμφανίζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Το ίδιο συμβαίνει και στις μεταχειρίσεις  $K_2$ . Την 10<sup>η</sup> εβδομάδα όπου και είναι η ολοκλήρωση του πειράματος στις μεταχειρίσεις χωρίς ζεόλιθο δεν εμφανίστηκε κάποια στατιστικά σημαντική διαφορά κάτι που δεν συμβαίνει στις μεταχειρίσεις με ζεόλιθο καθώς οι μεταχειρίσεις  $K_0$  και  $K_1$  δεν διαφέρουν μεταξύ τους, αλλά η μεταχείριση  $K_2$  έχει στατιστικά σημαντικές διαφορές με τις άλλες δύο. Οι μεταχειρίσεις  $K_0$  με ζεόλιθο και  $K_0$  χωρίς ζεόλιθο δεν έχουν στατιστικά σημαντική διαφορά. Το ίδιο συμβαίνει και στις μεταχειρίσεις με ζεόλιθο και χωρίς ζεόλιθο στα  $K_1$  και  $K_2$ . Με την ολοκλήρωση του πειράματος παρατηρήσαμε ότι η μεταχείριση  $K_0$  κατά την 5<sup>η</sup> εβδομάδα παρουσιάζει κάποια αύξηση όμως στο τέλος του πειράματος η τιμή της έχει πέσει κάτω και από την αρχική τιμή που είχε την πρώτη εβδομάδα.

Όσο αφορά την ηλεκτρική αγωγιμότητα (Σχήμα 3), κατά την 1<sup>η</sup> εβδομάδα οι μεταχειρίσεις χωρίς ζεόλιθο έχουν στατιστικά σημαντική διαφορά όλες μεταξύ τους, με μεγαλύτερη την  $K_2$  και μικρότερη την  $K_0$ . Οι μεταχειρίσεις με ζεόλιθο  $K_1$  και  $K_2$  είναι όμοιες αλλά είναι και μεγαλύτερες από τον μάρτυρα με αποτέλεσμα να εμφανίζουν στατιστικά σημαντική διαφορά. Η μεταχείριση  $K_0$  με ζεόλιθο και  $K_0$  χωρίς ζεόλιθο δεν εμφανίζουν στατιστικά σημαντική διαφορά. Το ίδιο συμβαίνει και στην  $K_2$ . Όμως η μεταχείριση  $K_1$  με ζεόλιθο είναι μεγαλύτερη από την  $K_1$  χωρίς ζεόλιθο με αποτέλεσμα να υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά. Κατά τη διάρκεια της 5<sup>ης</sup> εβδομάδας οι μεταχειρίσεις χωρίς ζεόλιθο δεν είχαν σημαντική στατιστική διαφορά. Επίσης στην μεταχείριση με ζεόλιθο παρατηρούμαι ότι ο μάρτυρας  $K_0$  δεν διαφέρει με  $K_1$  και  $K_2$  όμως οι μεταχειρίσεις  $K_1$  και  $K_2$  διαφέρουν μεταξύ τους και μάλιστα μεγαλύτερη είναι η  $K_2$ . Η μεταχείριση  $K_0$  με ζεόλιθο και  $K_0$  χωρίς ζεόλιθο δεν εμφανίζουν στατιστικά σημαντική διαφορά. Το ίδιο συμβαίνει και στην  $K_2$ . Όμως η μεταχείριση  $K_1$  με ζεόλιθο είναι μεγαλύτερη από την  $K_1$  χωρίς ζεόλιθο με αποτέλεσμα να υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά. Τέλος κατά την 10<sup>η</sup> εβδομάδα παρατηρούμαι ότι ο μάρτυρας  $K_0$  χωρίς ζεόλιθο δεν διαφέρει με την  $K_1$  όμως είναι μικρότερες από την  $K_2$  με αποτέλεσμα να υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά. Επίσης ο μάρτυρας με ζεόλιθο είναι μικρότερος και διαφέρει από  $K_1$  και  $K_2$  με ζεόλιθοι τα οποία είναι όμοια. Η μεταχείριση  $K_0$  χωρίς ζεόλιθο είναι μεγαλύτερη από τη μεταχείριση  $K_0$  με ζεόλιθο και έτσι παρουσιάζεται στατιστικά σημαντική διαφορά. Κάτι που δεν συμβαίνει στις μεταχειρίσεις  $K_1$  και  $K_2$ . Με την ολοκλήρωση

του πειράματος παρατηρήσαμε ότι η μεταχείριση  $K_0$  με ζεόλιθο παρουσιάζει μείωση της τιμής στο τέλος του πειράματος. Κάτι αντίστοιχο συμβαίνει και στις μεταχειρίσεις  $K_1$  με ζεόλιθο,  $K_1$  χωρίς ζεόλιθο και  $K_2$  χωρίς ζεόλιθο μόνο που σε αυτή τη περίπτωση οι μεταχειρίσεις παρουσιάζουν μείωση της τιμής από την 5<sup>η</sup> εβδομάδα και η μείωση συνεχίζεται έως το τέλος του πειράματος. Επίσης η μεταχείριση  $K_2$  με ζεόλιθο παρουσιάζει σημαντική αύξηση την 5<sup>η</sup> εβδομάδα όμως έχει τεράστια πτώση στο τέλος του πειράματος με αποτέλεσμα η τιμή της να είναι μικρότερη και από την τιμή που είχε την 1<sup>η</sup> εβδομάδα.

Όσο αφορά το pH (Σχήμα 4) κατά την 1<sup>η</sup> εβδομάδα οι μεταχειρίσεις χωρίς ζεόλιθο έχουν στατιστικά σημαντική διαφορά όλες μεταξύ τους, με μεγαλύτερη την  $K_0$  και μικρότερη την  $K_2$ . Στις μεταχειρίσεις με ζεόλιθο η  $K_0$  είναι όμοια με την  $K_1$  καθώς με την σειρά της και η  $K_1$  είναι όμοια με την  $K_2$ , κάτι όμως που δεν συμβαίνει στις μεταχειρίσεις  $K_0$  και  $K_2$ . Η μεταχείριση  $K_0$  με ζεόλιθο δεν εμφανίζει στατιστικά σημαντική διαφορά με την  $K_0$  χωρίς ζεόλιθο, κάτι που συμβαίνει και στις  $K_1$  και  $K_2$ . Κατά τη διάρκεια της 5<sup>ης</sup> εβδομάδας στις μεταχειρίσεις χωρίς ζεόλιθο η  $K_0$  είναι όμοια με  $K_1$ , οι οποίες όμως είναι μεγαλύτερες από  $K_2$  με αποτέλεσμα να υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά. Στις μεταχειρίσεις με ζεόλιθο η  $K_1$  είναι όμοια με την  $K_2$ , η οποίες όμως είναι μικρότερες από το μάρτυρα, οπότε και σε αυτή τη περίπτωση έχουμε στατιστικά σημαντική διαφορά. Η μεταχείριση  $K_0$  χωρίς ζεόλιθο είναι όμοια με  $K_0$  με ζεόλιθο. Το ίδιο συμβαίνει και στην περίπτωση της  $K_1$ . Κάτι ανάλογο όμως δεν συμβαίνει στην  $K_2$  όπου η  $K_2$  με ζεόλιθο είναι μεγαλύτερη από την  $K_2$  χωρίς ζεόλιθο και έτσι παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά. Στο τέλος του πειράματος κατά την 10<sup>η</sup> εβδομάδα στις μεταχειρίσεις χωρίς ζεόλιθο ο μάρτυρας είναι όμοιος με την  $K_2$ . Οι δύο αυτές μεταχειρίσεις είναι μικρότερες όμως από την  $K_1$  με αποτέλεσμα να υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά. Στις μεταχειρίσεις με ζεόλιθο ο μάρτυρας είναι όμοιος με την  $K_1$  και η  $K_1$  με τη σειρά της είναι όμοια με την  $K_2$  κάτι που δεν συμβαίνει ανάμεσα σε  $K_0$  και  $K_1$ . Η μεταχείριση  $K_0$  με ζεόλιθο είναι όμοια με  $K_0$  χωρίς ζεόλιθο. Κάτι αντίστοιχο συμβαίνει και στη μεταχείριση  $K_2$ . Χωρίς όμως να συμβαίνει κάτι ανάλογο στην μεταχείριση  $K_1$  αφού η  $K_1$  με ζεόλιθο είναι μικρότερη από την  $K_1$  χωρίς ζεόλιθο με αποτέλεσμα να έχουμε στατιστικά σημαντική διαφορά. Με την ολοκλήρωση του πειράματος παρατηρήσαμε ότι η μεταχείριση  $K_0$  χωρίς ζεόλιθο παρουσιάζει σημαντική μείωση την 5<sup>η</sup> εβδομάδα αλλά κατά την 10<sup>η</sup> εβδομάδα η τιμή αυξάνεται λίγο χωρίς όμως να φτάσει την τιμή που

είχε την 1<sup>η</sup> εβδομάδα, όμοια συμπεριφέρεται και η  $K_1$  με ζεόλιθο. Η μεταχείριση  $K_0$  με ζεόλιθο εμφανίζει και αυτή με τη σειρά της μείωση στην 5η εβδομάδα όμως με την ολοκλήρωση του πειράματος η τιμή της αγγίζει την τιμή που είχε την 1<sup>η</sup> εβδομάδα. Επίσης η μεταχείριση  $K_1$  χωρίς ζεόλιθο παρουσιάζει και αυτή μείωση της τιμής στην 5<sup>η</sup> εβδομάδα, όμως με την ολοκλήρωση του πειράματος η τιμή της ξεπερνάει την τιμή που είχε στην αρχή του πειράματος. Τέλος η  $K_2$  χωρίς ζεόλιθο παρουσιάζει μείωση την 5<sup>η</sup> εβδομάδα όμως με την ολοκλήρωση του πειράματος η τιμή της αγγίζει την τιμή που είχε την 1<sup>η</sup> εβδομάδα.

Όσο αφορά το ανταλλάξιμο κάλιο (Σχήμα 5), οι μεταχειρίσεις χωρίς ζεόλιθο κατά την 1<sup>η</sup> εβδομάδα δεν είχαν σημαντική στατιστική διαφορά. Στις μεταχειρίσεις όμως με ζεόλιθο παρατηρούμε ότι οι μεταχειρίσεις  $K_1$  και  $K_2$  είναι όμοιες μεταξύ τους όμως έχουν μεγαλύτερη τιμή από το μάρτυρα με αποτέλεσμα να υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά. Οι μεταχειρίσεις  $K_0$  με ζεόλιθο και  $K_0$  χωρίς ζεόλιθο έχουν στατιστικά σημαντική διαφορά όπου η  $K_0$  με ζεόλιθο έχει μεγαλύτερη τιμή από την  $K_0$  χωρίς ζεόλιθο. Το ίδιο συμβαίνει και στις μεταχειρίσεις  $K_1$  και  $K_2$ . Κατά τη διάρκεια της 5<sup>ης</sup> εβδομάδας οι μεταχειρίσεις χωρίς ζεόλιθο δεν είχαν σημαντική στατιστική διαφορά. Αυτό δεν συμβαίνει όμως και στις μεταχειρίσεις με ζεόλιθο καθώς οι μεταχειρίσεις  $K_1$  και  $K_2$  είναι όμοιες μεταξύ τους αλλά έχουν μεγαλύτερη τιμή από το μάρτυρα και έτσι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά. Οι μεταχειρίσεις  $K_0$  με ζεόλιθο και  $K_0$  χωρίς ζεόλιθο έχουν στατιστικά σημαντική διαφορά όπου η  $K_0$  με ζεόλιθο έχει μεγαλύτερη τιμή από την  $K_0$  χωρίς ζεόλιθο. Το ίδιο συμβαίνει και στις μεταχειρίσεις  $K_1$  και  $K_2$ . Τέλος κατά τη διάρκεια της 10<sup>ης</sup> εβδομάδας, οι μεταχειρίσεις χωρίς ζεόλιθο δεν είχαν σημαντική στατιστική διαφορά. Όμως στην μεταχείριση με ζεόλιθο παρατηρούμαι ότι ο μάρτυρας  $K_0$  δεν διαφέρει με  $K_1$  και  $K_2$  όμως οι μεταχειρίσεις  $K_1$  και  $K_2$  διαφέρουν μεταξύ τους και μάλιστα μεγαλύτερη είναι η  $K_2$ . Με την ολοκλήρωση του πειράματος παρατηρήσαμε ότι η μεταχείριση  $K_1$  με ζεόλιθο παρουσιάζει αύξηση κατά τη διάρκεια της 5<sup>ης</sup> εβδομάδας αλλά κατά την ολοκλήρωση του πειράματος η τιμή της μειώνεται σημαντικά. Επίσης η μεταχείριση  $K_2$  με ζεόλιθο παρουσιάζει και αυτή με τη σειρά της αύξηση κατά τη διάρκεια της 5<sup>ης</sup> εβδομάδας την οποία διατηρεί έως το τέλος του πειράματος.

### 3.2 Συζήτηση

Όσο αφορά το χλώριο αμέσως μετά την εφαρμογή του KCl που έγινε την 1<sup>η</sup> εβδομάδα φαίνεται ότι ο ζεόλιθος απορρόφησε το προστιθέμενο χλώριο (Alver and Aysegul, 2012) και για αυτό το λόγο στα K<sub>1</sub> και K<sub>2</sub> οι μεταχειρίσεις με ζεόλιθο έχουν διαφορές (οι μεταχειρίσεις χωρίς ζεόλιθο είναι μεγαλύτερες από τις μεταχειρίσεις με ζεόλιθο). Επίσης το επίπεδο χλωρίου στα K<sub>1</sub> και K<sub>2</sub> χωρίς ζεόλιθο είναι ιδιαίτερα υψηλά, κατόπιν μειώνεται βαθμιαία το χλώριο μέχρι και την 10<sup>η</sup> εβδομάδα όπου δεν υπάρχουν διαφορές πουθενά. Άρα φαίνεται ότι ο ζεόλιθος απορροφάει το χλώριο αμέσως, ενώ το έδαφος απορροφάει το χλώριο μέσα σε 10 εβδομάδες, επίσης ο ζεόλιθος απορροφάει το μεγαλύτερο φορτίο προστιθέμενου χλωρίου μέσα σε λίγες μέρες, ενώ αντίστοιχα το έδαφος χρειάζεται 10 εβδομάδες. Σύμφωνα με τα παραπάνω η απορρόφηση του χλωρίου φαίνεται ότι είναι φυσιο-ρόφηση, δηλαδή φυσική παγίδευση του χλωρίου (Gladysz-Plaska et al., 2011).

Όσο αφορά το ιδατοδιαλυτό κάλιο συμπεραίνουμε ότι η επίδραση του ζεόλιθου είναι σχεδόν μηδενική δηλαδή είτε προσθέσαμε ζεόλιθο είτε όχι θα είχαμε σχεδόν ίδια αποτελέσματα. Στις μεταχειρίσεις όπου δεν προσθέσαμε κάλιο αλλά προσθέσαμε ζεόλιθο παρατηρήσαμε ότι μετά από 5 εβδομάδες το υδατοδιαλυτό κάλιο αυξάνεται. Αυτό συμβαίνει μόνο στο μάρτυρα και όχι στα K<sub>1</sub> και K<sub>2</sub>. Γενικά οι ζεόλιθοι από τη φύση τους εμπεριέχουν αλκάλια (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>) και αλκαλικές γαίες (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>). Φαίνεται ότι ο ζεόλιθος που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα περιείχε κάλιο, και άρα στην περίπτωση αυτή απελευθέρωσε κάλιο. Στην πορεία το ελκόμενο υδατοδιαλυτό κάλιο επαναπροσφορούνται από το έδαφος για πάνω από 10 εβδομάδες. Σε εδάφη που προστίθενται κάλιο η έκλυση καλίου από το ζεόλιθο παρεμποδίζεται για λόγους χημικής ισορροπίας

Z-K ⇌ K<sup>+</sup> εδαφικό διάλυμα

Όπου Z-K είναι το κάλιο όπου εμπεριέχεται στο ζεόλιθο.

Όσο αφορά την ηλεκτρική αγωγιμότητα παρατηρούμε ότι στο μάρτυρα χωρίς την προσθήκη ζεόλιθου (500 μS cm<sup>-1</sup>) είναι πολύ κάτω από το όριο κινδύνου (2000 μS

cm<sup>-1</sup>). Η αλατότητα ακόμα και στις υψηλές προσθήκες χλωριούχου καλίου είναι κάτω από το όριο. Η αλατότητα κατά την 5<sup>η</sup> εβδομάδα στο K<sub>2</sub> με ζεόλιθο αυξήθηκε ενώ το χλώριο μειώθηκε. Άρα η αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας πρέπει να οφείλεται στο κάλιο που προσθέσαμε. Η αύξηση αυτή όμως δεν φαίνεται στο σχήμα όπου καταγράφεται το υδατοδιαλυτό κάλιο γιατί το υδατοδιαλυτό κάλιο έχει χαμηλά επίπεδα. Φαίνεται όμως στο ανταλλάξιμο κάλιο. Στο τέλος του πειράματος τα επίπεδα αλατότητας μειώθηκαν με το χρόνο σε όλες τις μεταχειρίσεις και ήταν ίδια με αυτό του μάρτυρα. Άρα το έδαφος απορρόφησε όλη τη προστιθέμενη αλατότητα σε βάθος χρόνου 10 εβδομάδων (Salinas et al., 2000).

Όσο αφορά το pH παρατηρούμε ότι με την προσθήκη ζεόλιθου και KCl εμφανίζεται κάποια μείωση της τιμής του pH στις μεταχειρίσεις K<sub>1</sub> και K<sub>2</sub>. Με την πάροδο 10 εβδομάδων παρατηρούμε ότι υπάρχει εξισορρόπηση στις τιμές του pH με τις τιμές pH που είχε ο μάρτυρας.

Όσο αφορά το ανταλλάξιμο κάλιο, με την προσθήκη ζεόλιθου παρατηρούμε αύξηση στη συγκέντρωση του ανταλλάξιμου καλίου σε σχέση με το έδαφος χωρίς ζεόλιθο. Μάλιστα στις μεταχειρίσεις K<sub>1</sub> και K<sub>2</sub> όπου προστέθηκε ζεόλιθος οι τιμές ανταλλάξιμου καλίου είναι μεγαλύτερες σε σχέση με K<sub>0</sub>. Με την πάροδο 5 εβδομάδων σημειώθηκε αύξηση στις μεταχειρίσεις με ζεόλιθο κάτι που δείχνει ότι εκλύθηκε κάλιο με την πάροδο του χρόνου. Με την ολοκλήρωση του πειράματος παρατηρούμε ότι οι τιμές των μεταχειρίσεων μειώθηκαν εκτός από την τιμή του K<sub>2</sub> που παρέμεινε σταθερή. Άρα παρατηρούμε ότι έγινε επαναπροσρόφηση του καλίου στα εδαφικά συστήματα (Jaskunas et al., 2015).

### **3.3 Συμπεράσματα**

Χλώριο: Η προστιθέμενη αλατότητα με την μορφή χλωριούχου καλίου στην μεταχείριση που προσθέσαμε ζεόλιθο απορροφήθηκε αμέσως (από την πρώτη εβδομάδα). Στο έδαφος χωρίς ζεόλιθο και εκεί απορροφήθηκε το προστιθέμενο χλώριο αλλά χρειάστηκε η πάροδος 10 εβδομάδων

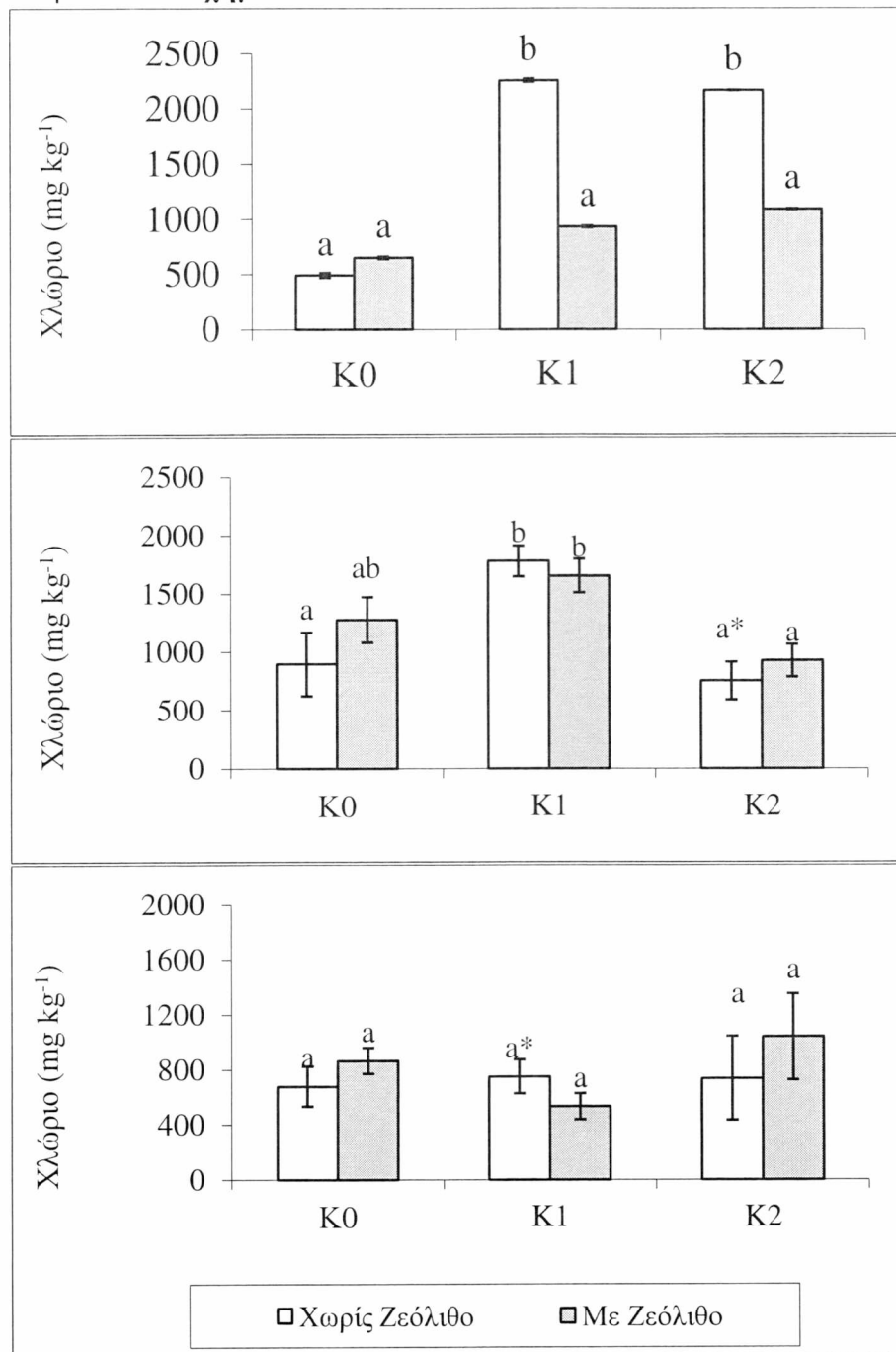
Υδατοδιαλυτό κάλιο: Ο ζεόλιθος δεν είχε κάποια επίδραση γιατί δεν φάνηκε να επηρεάζει το έδαφος σε καμία από τις μεταχειρίσεις που δοκιμάσαμε.

Ηλεκτρική αγωγιμότητα: Η αλατότητα αυξήθηκε κατά την 5<sup>η</sup> εβδομάδα αλλά στο τέλος του πειράματος μειώθηκε στα επίπεδα του μάρτυρα K<sub>0</sub>.

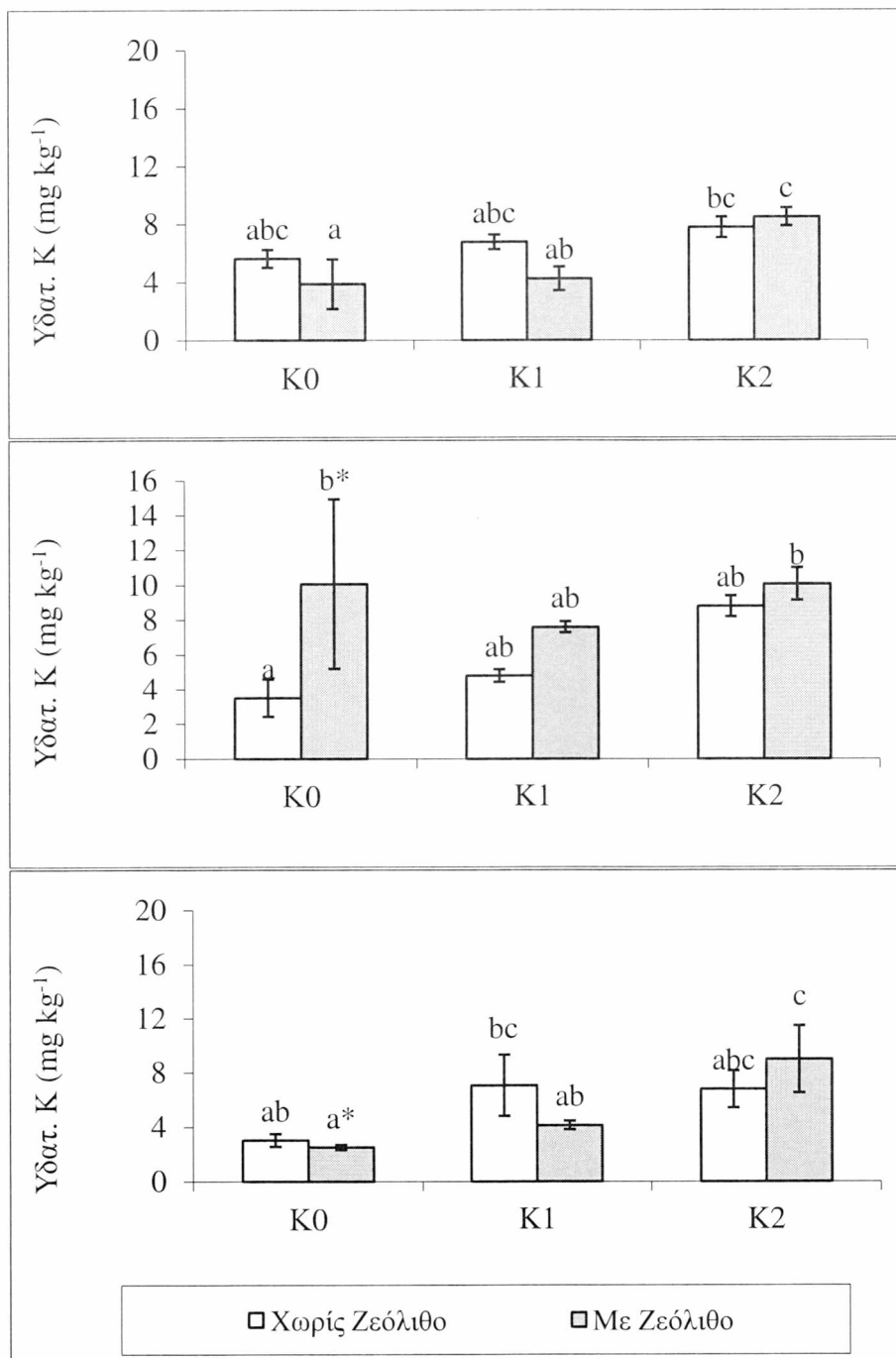
Ο ζεόλιθος δεν επηρέασε ιδιαίτερα την αλατότητα.

Ανταλλάξιμο κάλιο: Ο ζεόλιθος αποδείχτηκε ότι ήταν καλιούχος ζεόλιθος και αυτό φάνηκε από το γεγονός ότι, στις μεταχειρίσεις όπου προστέθηκε μόνο ζεόλιθος, το κάλιο αυξήθηκε.

#### Κεφάλαιο 4. Σχήματα

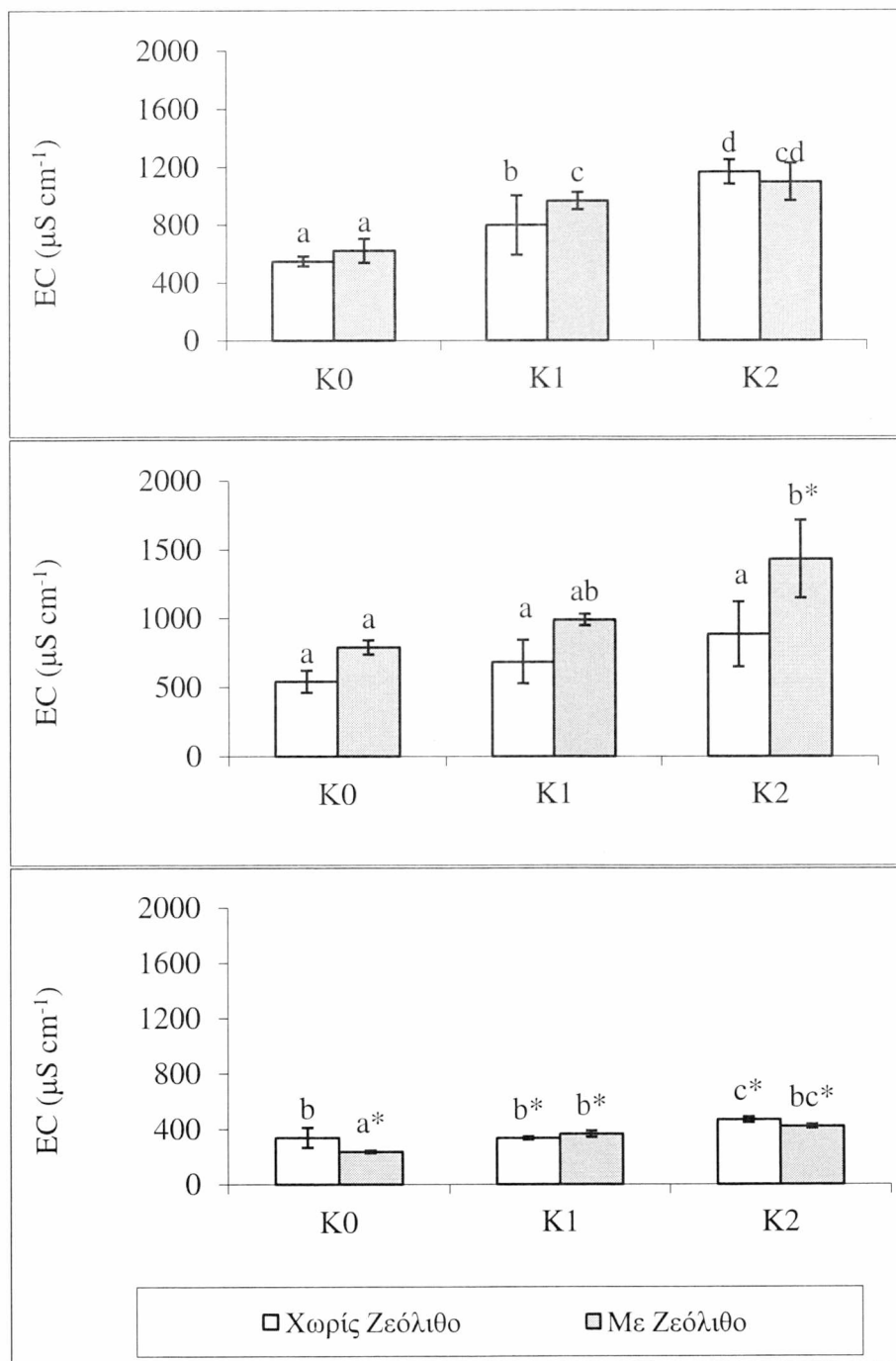


Σχήμα 1: Χλώριο εδάφους σε 3 διαφορετικές χρονικές στιγμές στο πείραμα.

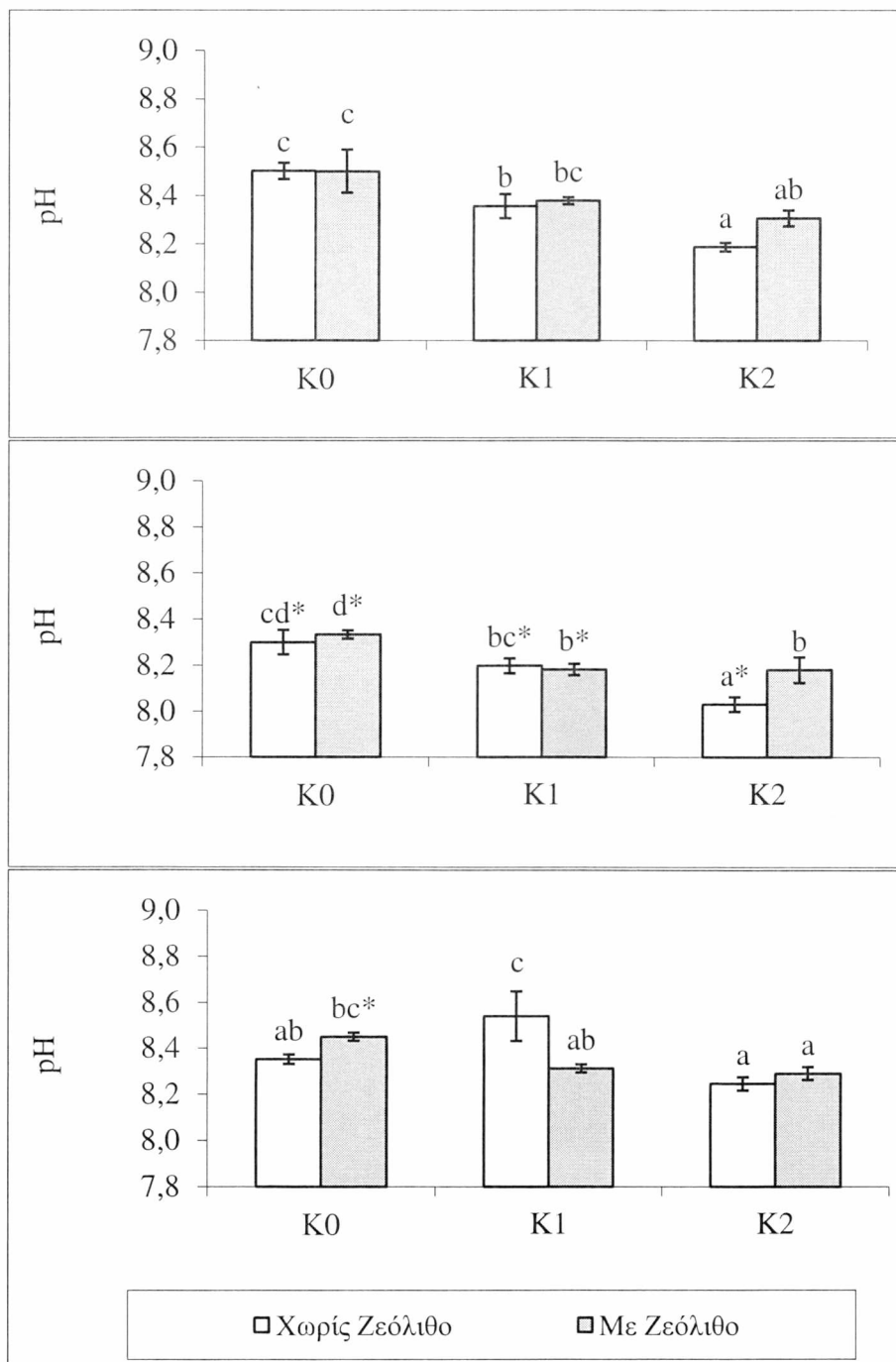


Σχήμα 2: Υδατοδιαλυτό κάλιο σε 3 διαφορετικές χρονικές στιγμές στο πείραμα.

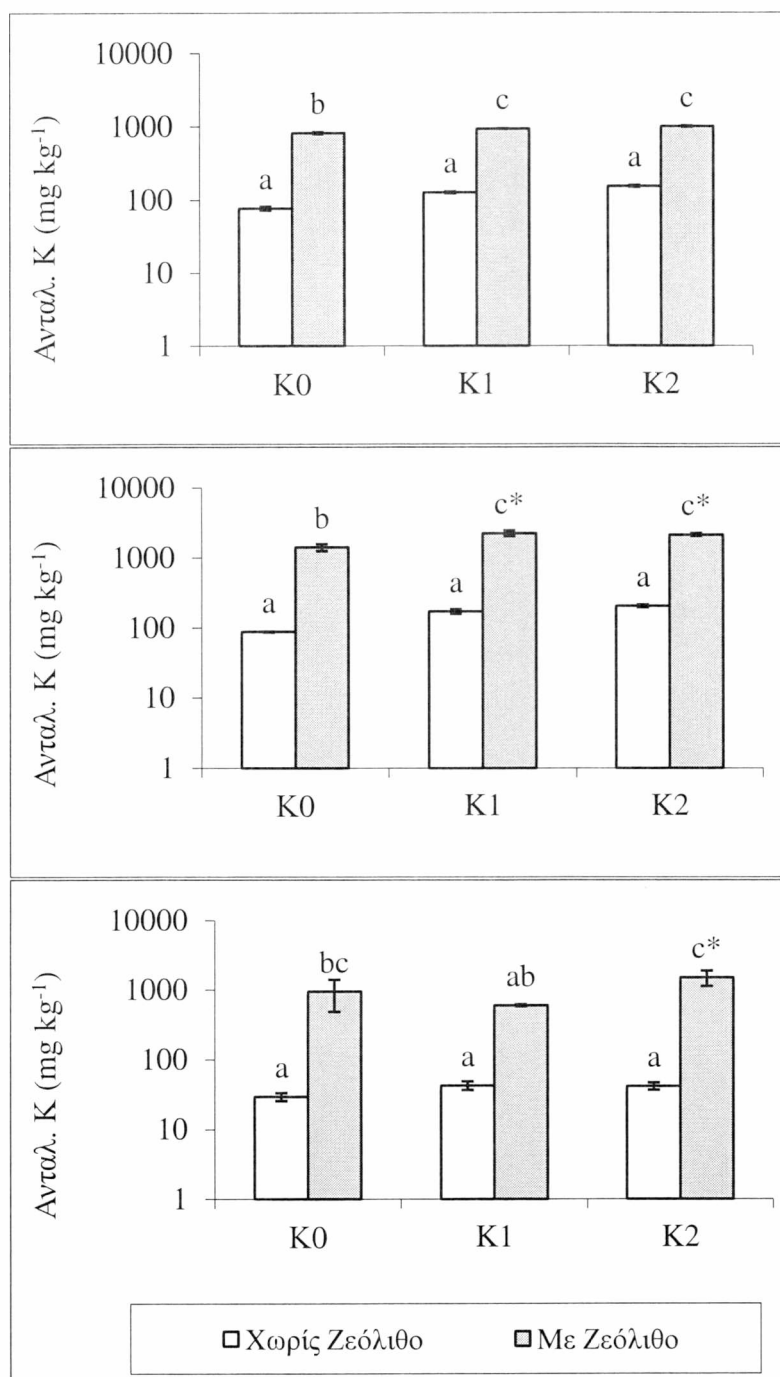




Σχήμα 3: Ηλεκτρική αγωγιμότητα σε 3 διαφορετικές χρονικές στιγμές στο πείραμα.



Σχήμα 4: pH εδάφους σε 3 διαφορετικές χρονικές στιγμές στο πείραμα.



Σχήμα 5: Ανταλάξιμο κάλιο σε 3 διαφορετικές χρονικές στιγμές στο πείραμα.

## Βιβλιογραφία

### Ελληνική

- Αλιφραγκής (2008)- Το έδαφος- Γένεση-Ιδιότητες-Ταξινόμηση, Τόμος Ι-Τίτλος Δημήτριος Αλιφραγκής-Εκδόσεις ΑΪΒΑΖΗ- Θεσσαλονίκη, 2008.
- Μιχαηλίδης και Πόκκια (2007)-Πτυχιακή Εργασία: « Αγρονομική εκτίμηση της επίδρασης ζεόλιθου στο εδαφικό υπόστρωμα ανάπτυξης κηπευτικών σε θερμοκηπιακές συνθήκες»-Αποστόλης Μιχαηλίδης και Άρτεμις Πόκκια-Ηράκλειο, Σεπτέμβριος, 2007

### Ξένη

- Katalin (2011) -The Nitrogen, Phosphorus and Potassium Cycles in Agricultural Soils- Sárdi Katalin,2011  
  
([http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop425/0010\\_1A\\_Book\\_angol\\_02\\_tapan\\_yaggazdalkodas/ch05s02.html](http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop425/0010_1A_Book_angol_02_tapan_yaggazdalkodas/ch05s02.html) )
- Armstrong (1998)- Better Crops with Plant Food-Potassium Availability and Uptake-Donald L. Armstrong, 1998  
  
([http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/68FBD2B2A6A305BF852579800082035B/\\$FILE/Better%20Crops%201998-3%20p14.pdf](http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/68FBD2B2A6A305BF852579800082035B/$FILE/Better%20Crops%201998-3%20p14.pdf))
- Ramesh and Reddy (2011)- Advances in Agronomy- Zeolites and Their Potential Uses in Agriculture- Kulasekaran Ramesh, Dendi Damodar Reddy-Volume 113,Pages 219–241-India,2011  
  
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012386473400004X#>)
- Polat (2004)- ORCHARD MANAGEMENT IN SUSTAINABLE FRUIT PRODUCTION- USE OF NATURAL ZEOLITE (CLINOPTILOLITE) IN AGRICULTURE- Ersin Polat, Mehmet Karaca, Halil Demir and A. Naci Onus- vol. 12-Turkey 2004)
- Alver, E., and Aysegul, U. 2012. Anionic dye removal from aqueous solution using modified zeolite: Adsorption kinetics and isotherm studies. Chemical Engineering Journal 200-202, 59-67.
- Gladysz-Plaska, A., Majdan, M., Ferenc, W., and Sarzynski, J. 2011. Comparison of covalency in the lanthanite chlorite and nitrate complexes based on the adsorption data on zeolite Y. Journal of Molecular Structure 1006, 469-474.
- Salinas, M.J., Blanca, G., and Romero, A.T. 2000. Riparian vegetation and water chemistry in a basin under semiarid Mediterranean climate, Andarax River, Spain. Environmental Management 26, 539-552.

- Jaskunas, A., Subacius, B., and Slinksiene, R. 2015. Adsorption of potassium ions on natural zeolite: kinetic and equilibrium studies. Chemija 26, 69-78.

#### Διαδίκτυο

- <http://www.prosodol.gr/?q=el/node/480>
- <http://www.potash-info.com/potassium/potassiuminsoil/potassiuminsoil.htm>
- <http://www.farmacon.gr/farmablog/news/480-shmasia-theikou-kaliou-gia-thn-kalliergeia>

**Παράρτημα Α:** Οι τιμές όλων των παραμέτρων που μετρήθηκαν στο πείραμα. Α=μάρτυρας (σκέτο έδαφος), Β=έδαφος+KCl χαμηλή δόση, Γ=έδαφος+KCl υψηλή δόση, Δ=έδαφος+ζεόλιθος, Ε=έδαφος+ζεόλιθος+KCl χαμηλή δόση ΣΤ= έδαφος+ζεόλιθος+KCl υψηλή δόση.

Πίνακας Α.1: Χλώριο σε όλες τις μεταχειρίσεις του εδάφους σε 5 διαφορετικές χρονικές στιγμές.

	Χλώριο-1	Χλώριο-2	Χλώριο-3	Χλώριο-4	Χλώριο-5
A1			1468,75	197,006	332,4476
A2	147,0209	254,7566	966,1898	1331,473	
A3	246,2575	478,2927	248,2394	1218,975	725,0125
A4	172,725				
A5		740,25			981,1133
B1		1937,193	1489,858		991,4063
B2				603,3308	451,9678
B3	195,8333	2553,863	2076,731	419,0559	
B4	134,502			828,269	
B5	196,6135	2270,1	1776,6		808,4047
Γ1			396,3855	978,5768	
Γ2	234,1783	2893,683	738,7725	641,55	
Γ3	233,0144	1070,152			1514,261
Γ4	222,075			333,7801	463,2658
Γ5		2528,881	1114,834		232,5521
Δ1	184,1418				
Δ2			1328,081	602,7293	818,4282
Δ3	135,1718	788,024	815,9068	429,2371	684,0348
Δ4		529,9825	1684,639	207,8667	
Δ5	172,3802	641,55			1093,663
E1	209,7375	304,7801			
E2		1381,8		1127,16	
E3	209,1102	1109,266	1970,573		528,3989
E4			1662,238	824,9626	321,4178
E5	245,5224		1327,141	1079,225	748,0989
ΣΤ1				764,1608	
ΣΤ2	234,4125	1415,184	1243,7	1028,125	1548,381
ΣΤ3		1112,698	614,4173		1324,503
ΣΤ4	208,694	741,4655		518,175	244,0653
ΣΤ5	220,7505		914,8046		

Πίνακας Α.2: Υδατοδιαλυτό κάλιο σε όλες τις μεταχειρίσεις του εδάφους σε 5 διαφορετικές χρονικές στιγμές.

	ΥΚ-1	ΥΚ-2	ΥΚ-3	ΥΚ-4	ΥΚ-5
A1	2,372627	6,65	7,304067	0,711078	1,896208
A2	5,424528	5,60472	2,146084	0,940594	4,045591
A3	3,792415	5,666004	4,539738	0,711078	3,784861
A4	1,9	6,971624	1,6625	1,416501	1,907631
A5	3,295342	3,325	1,9	1,416501	3,541252
B1	5,677291	4,195289	4,977545	2,602092	3,534226
B2	3,318363	17,08292	5,017606	2,844311	13,40347
B3	6,125992	3,0875	4,257968	3,796204	11,73419
B4	4,236868	4,745255	3,766105	3,807615	3,331663
B5	5,204183	4,75	5,9375	2,6125	3,351815
Γ1	10,43956	6,846421	9,061245	7,630522	12,19151
Γ2	6,643357	7,458292	10,42914	6,65	6,2
Γ3	9,207256	6,866899	7,821856	6,676707	5,256539
Γ4	9,2625	8,042829	7,082505	7,139279	4,92836
Γ5	7,125	9,689055	9,538153	5,473447	5,419147
Δ1	10,39801	3,325		2,365538	3,075199
Δ2	4,485586	4,009434	4,300805	2,841476	2,821782
Δ3	2,602092	5,451597	26,41533	3,541252	2,154738
Δ4	10,36706	2,372627	4,292169	2,118434	2,1375
Δ5	10,42914	4,275	5,251256	2,6125	2,365538
E1	2,85	3,050889	6,636727	5,694306	5,272452
E2	4,476687	4,75	7,168008	4,481132	3,59123
E3	5,446162	4,507992	8,482143	5,214571	4,021414
E4	4,494522	4,485586	7,821856	4,740519	4,283567
E5	7,798507	4,49005	7,806275	4,72167	3,541252
ΣΤ1	8,002973	7,8375		5,931568	12,00446
ΣΤ2	4,75	7,218137	12,92843	6,361607	4,769076
ΣΤ3	6,367925	7,061447	9,698705	4,257968	8,026839
ΣΤ4	4,726368	14,2734	7,868976	4,9875	3,288823
ΣΤ5	6,846421	6,119921	9,757014	5,4625	16,96429

Πίνακας Α.3: Ηλεκτρική αγωγιμότητα σε όλες τις μεταχειρίσεις του εδάφους σε 5 διαφορετικές χρονικές στιγμές.

	EC-1	EC-2	EC-3	EC-4	EC-5
A1	464,75	474,25	321,5	450,75	213,9
A2	620,75	426,25	494,75	522,75	438,9
A3	555,75	529,75	792	646,25	578,5
A4	659,75	593,5	636,5	756	220,6
A5	616,25	718,5	464,75	874	240,73
B1	1010,25	725,25	832,25	726,75	323,9
B2	854,5	864,25	948	945,75	368,7
B3	109,5	634,25	374	701	301,4
B4	1373,25	885,5	244,75	931,5	355,7
B5	755,25	880,75	1029,25	818	327,1
Γ1	1480,25	914,25	383,75	1134,25	439,6
Γ2	1250,25	1321,75	526,25	1144,5	480,2
Γ3	1547,25	1189	1689,25	1301,75	458,3
Γ4	1366,25	1171,75	1109,25	1400,5	426,8
Γ5	1079	1238,25	719,5	1452	543,2
Δ1	538,25	573,5	922,75	829,5	256,8
Δ2	674,5	583,5	701,5	776	229,4
Δ3	302	650,25	870,5	1128,25	224,5
Δ4	289,5	575,75	806,75	851,75	262,1
Δ5	640,25	727	649,5	725,75	213,2
E1	853,25	844,5	895,75	912,25	443,1
E2	929,45	950,25	1087	771,75	387,9
E3	1019,75	877	882,25	1047,25	337,6
E4	666,75	1231,75	1048,75	1302,75	342,2
E5	821,75	926,5	1027	1068,25	314,6
ΣΤ1	1398,75	1128,25	2500,795	951,5	416,6
ΣΤ2	1124,5	1013	1181,5	1226,75	435,2
ΣΤ3	1064,5	938,25	1005,75	985,25	374,5
ΣΤ4	688,25	1214,75	974	1085,25	421,7
ΣΤ5	761,5	1189	1489	1401,75	458,2



Πίνακας Α.4: ΡΗ σε όλες τις μεταχειρίσεις του εδάφους σε 5 διαφορετικές χρονικές στιγμές.

	pH-1	pH-3	pH-5
A1	8,59	8,24	8,41
A2	8,51	8,51	8,32
A3	8,55	8,27	8,34
A4	8,46	8,25	8,39
A5	8,4	8,23	8,3
B1	8,25	8,32	8,36
B2	8,36	8,16	8,34
B3	8,54	8,19	8,89
B4	8,28	8,19	8,42
B5	8,35	8,13	8,69
Γ1	8,15	8,03	8,2
Γ2	8,2	8,01	8,19
Γ3	8,16	7,97	8,23
Γ4	8,18	8,15	8,26
Γ5	8,25	7,99	8,35
Δ1	8,56	8,29	8,42
Δ2	8,63	8,4	8,51
Δ3	8,65	8,33	8,46
Δ4	8,16	8,31	8,41
Δ5	8,5	8,34	8,45
Ε1	8,38	8,27	8,26
Ε2	8,36	8,12	8,3
Ε3	8,43	8,19	8,31
Ε4	8,34	8,16	8,32
Ε5	8,38	8,17	8,37
ΣΤ1	8,3	7,98	8,28
ΣΤ2	8,33	8,23	8,26
ΣΤ3	8,28	8,2	8,3
ΣΤ4	8,21	8,32	8,39
ΣΤ5	8,41	8,17	8,22

Πίνακας Α.5: Ανταλλάξιμο κάλιο σε όλες τις μεταχειρίσεις του εδάφους σε 5 διαφορετικές χρονικές στιγμές.

	Αντ.Κ-1	Αντ.Κ-2	Αντ.Κ-3	Αντ.Κ-4	Αντ.Κ-5
A1	67,92271	64,85577	82,89216	81,16505	24,54545
A2	83,93204	64,90099	89,18367	72,56281	16,93069
A3	76	75,05	87,62136	117,0707	31,05769
A4	58,39024	89,3	86,53465	93,04124	39,11765
A5	63,0198	89,3	92,15	87,9803	35,625
B1	112,5243	166,3682	148,2	134,2788	50,24038
B2	106,2871	118,75	220,7353	144,4	27,52336
B3	101,1443	117,3529	148,6139	126,3592	31,66667
B4	120,0498	116,57	165,7653	128	62,04082
B5	120,2415	117,8	171	174,8	42,22222
Γ1	138,2673	141,3527	209,5876	152,7273	38
Γ2	158,0288	175,8209	234,65	185,4106	29,80392
Γ3	140,8458	148,6957	184,3	190	60,9434
Γ4	153,9	146,6505	206,15	169,5098	38,38384
Γ5	136,1194	155,8	184,3	173,85	41,5625
Δ1	807,5		959,596	1468,599	244,5545
Δ2	750,5	817	1595,631	1556,281	2751,042
Δ3	707,8431	769,5	1721,287	1420,202	604,5455
Δ4	700	950	1074,747	1178	502,9412
Δ5	686,6337	741	1730,693	1612,121	623,5897
E1	769,5	893	3005,102	1609,184	558,2474
E2	807,7295		2216,667	1482	560,9524
E3	822,3881	855	1928,788	1723,711	604,5455
E4	788,5	922,0588	2223	1496,97	652,5253
E5	807,5	1073,5	1845,192	1537,629	633,3333
ΣΤ1	807,5	954,6798	2336,224	1606,186	1992,233
ΣΤ2	819,6078	921,5	2423,469	1681,818	605,3922
ΣΤ3	861,0837	1235	2041,089	1646,04	1141,827
ΣΤ4	866,9903	893	1995	1569,565	1102,591
ΣΤ5	902,5	1004,808	1863,462	1684,536	2755



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000134377