

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΜΕ ΘΕΜΑ :

“ Προσδιορισμός των ανταλλάξιμων κατιόντων και η πορεία αλάτωσης των εδαφών
της πρώην λίμνης Κάρλας. ”

Επιβλέπων Καθηγητής :

Ι. Κ. Μήτσιος, Ph. D.

Πασχάλης Ι. Λιθοξόπουλος



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»

Αριθ. Εισ.: 2602/1
Ημερ. Εισ.: 09-10-2003
Δωρεά: _____
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΦΠΑΠ
2003
ΛΙΘ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000070471

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΜΕ ΘΕΜΑ :

“ Προσδιορισμός των ανταλλάξιμων κατιόντων και η πορεία αλάτωσης των εδαφών
της πρώην λίμνης Κάρλας. ”

Εξεταστική επιτροπή :

Ι. Κ. Μήτσιος, Ph. D. Επιβλέπων Καθηγητής

Χ. Γούλας, Ph. D. Μέλος

Π. Λόλας, M. Sc., Ph. D. Μέλος

Πασχάλης Ι. Λιθοξόπουλος

Στην οικογένειά μου

Περιεχόμενα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.	1
ΠΡΟΛΟΓΟΣ – ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.	3
ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.	4
<i>Γενικά.</i>	4
<i>Αιτίες αλάτωσης των εδαφών.</i>	4
Γεωγραφική και τοπογραφική θέση μιας περιοχής.	4
Αλάτωση των εδαφών λόγω της ποιότητας του νερού άρδευσης.	5
<i>Αλατούχα – νατριομένα και νατριομένα εδάφη.</i>	6
<i>Προβλήματα που προκύπτουν από την αλάτωση – νατρίωση των εδαφών.</i>	9
<i>Δυσμενείς συνέπειες αλατότητας στα φυτά.</i>	12
<i>Διαχείριση αλατούχων εδαφών και αντιμετώπιση προβλημάτων από την αλατότητα.</i>	14
Στράγγιση.	15
Έλεγχος της αλατότητας με διήθηση.	15
Ισοπέδωση του εδάφους.	16
Προγραμματισμός – τρόπος άρδεύσεων.	16
Τρόποι τοποθέτησης σπόρου.	17
Λίπανση.	17
<i>Βελτίωση αλατούχων, αλατούχων – νατριομένων και νατριομένων εδαφών.</i>	17
Βελτίωση αλατούχων εδαφών.	18
Βελτίωση αλατούχων – νατριομένων και νατριομένων εδαφών.	19
<i>Γεωγραφική θέση και οικοφυσιολογική περιγραφή περιοχής πρώην λίμνης Κάρλας.</i>	22
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.	25
<i>Θεωρία.</i>	25
Γενικά.	25
Προέλευση της ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων.	26
Παράγοντες που επηρεάζουν την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων κατιόντων του εδάφους.	26
<i>Μέθοδοι προσδιορισμού της ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων στο εργαστήριο.</i>	27
Γενική αρχή.	27
Σφάλματα.	29
Μέθοδοι.	29
<i>Εργαστηριακή εργασία – υλικά – μέθοδος.</i>	33
Όργανα – συσκευές.	33

Αντιδραστήρια.	33
Πορεία.	33
Προσδιορισμός του ανταλλάξιμου καλίου και νατρίου.	34
Προσδιορισμός ανταλλάξιμου ασβεστίου και μαγνησίου.	35
Υπολογισμοί.	36
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ.	38
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.	41
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.	50

Πρόλογος – ευχαριστίες.

Ένα από τα σημαντικά προβλήματα της Θεσσαλίας αποτελεί το ζήτημα της περιοχής της πρώην λίμνης Κάρλας. Τα εδάφη της περιοχής τα τελευταία χρόνια παρουσιάζουν μια όλο και μειούμενη γονιμότητα που οφείλεται στην υψηλή αλατότητα τους αλλά και τις υψηλές συγκεντρώσεις νατρίου. Επιπλέον με την έλλειψη της λίμνης το θέμα του νερού άρδευσης προστίθεται ως πρόβλημα στα παραπάνω.

Η παρούσα διατριβή ασχολείται με την αλατότητα και τη νατρίωση των συγκεκριμένων εδαφών.

Εδώ πρέπει να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή μου και διευθυντή του εργαστηρίου εδαφολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας κ. Ι.Κ. Μήτσιο, χωρίς τη βοήθεια, την καθοδήγηση και τη συμπαράσταση του οποίου η διατριβή αυτή δεν θα είχε πραγματοποιηθεί.

Ευχαριστώ επίσης τους καθηγητές κ. Π. Λόλα και κ. Χ. Γούλα για τις συμβουλές και τις παρατηρήσεις τους.

Τέλος θέλω να ευχαριστήσω τον διδάκτορα κ. Φώτη Γάτσιο για την ουσιαστική και βασική του βοήθεια στη διατριβή αυτή καθώς επίσης και τους Μεζίτη Στυλιανή, Δημάκα Δημήτριο και τον εκλιπόντα Σαραντόπουλο Δημήτριο για την πολύτιμη βοήθειά τους.

Θεωρητικό μέρος.

Γενικά.

Η αλατότητα είναι ένα από τα παλαιότερα προβλήματα ρύπανσης του εδάφους, το οποίο φτάνει μέχρι τους αρχαίους χρόνους. Η πτώση των Βαβυλωνίων, υποστηρίζεται, ότι είναι το αποτέλεσμα των καταστροφών που υπέστησαν οι αρδευόμενες καλλιέργειες εξαιτίας της συσσώρευσης αλάτων στο έδαφος (Hillel, 1992). Παρά το γεγονός ότι η παγκόσμια επιστημονική κοινότητα, που σχετίζεται με το θέμα, διαθέτει αρκετή επιστημονική γνώση και τεχνογνωσία, σε πολλές περιοχές του πλανήτη, η γονιμότητα των εδαφών στο ένα τρίτο των αρδευόμενων εκτάσεων έχει υποβαθμιστεί από τη συσσώρευση των αλάτων στα εδάφη αυτά, με αποτέλεσμα τη μείωση της παραγωγής των καλλιεργειών.

Αλατούχα εδάφη δημιουργούνται στις ξηρές και ημίξηρες περιοχές του πλανήτη, όπου δεν παρατηρούνται μεγάλες βροχοπτώσεις που θα βοηθούσαν στη διάλυση και απομάκρυνση των αλάτων. Στις περιοχές αυτές, αφενός η διάλυση και απομάκρυνση των αλάτων είναι μικρή, αφετέρου η εξατμισοδιαπνοή είναι μεγάλη.

Αιτίες αλάτωσης των εδαφών.

Οι αιτίες δημιουργίας αλατούχων εδαφών μπορούν να διαχωριστούν σε δύο ξεχωριστές κατηγορίες:

- η γεωγραφική και τοπογραφική θέση μιας περιοχής
- η ποιότητα του νερού άρδευσης

Γεωγραφική και τοπογραφική θέση μιας περιοχής.

Σε αυτήν την κατηγορία έχουμε τρεις υποκατηγορίες.

α) Παραθαλάσσιες περιοχές και δέλτα ποταμών.

Στις περιοχές αυτές τα εδάφη έρχονται σε συνεχή επαφή με το νερό της θάλασσας. Είναι γνωστό ότι το νερό της θάλασσας περιέχει άλατα με κυρίαρχο χημικό στοιχείο το νάτριο, που βρίσκεται με τη μορφή NaCl και λιγότερο ασβέστιο και μαγνήσιο. Τα εδάφη που έρχονται σε επαφή με το θαλασσινό νερό, πρώτα αλατώνονται και στη συνέχεια νατριώνονται.

β) Περιοχές που βρίσκονται στα χαμηλότερα σημεία μιας ευρύτερης λεκάνης.

Στις περιοχές αυτές συγκεντρώνονται όλα τα απορρέοντα νερά των περιοχών της λεκάνης που την περιβάλλουν. Επίσης τα διηθούμενα νερά της ευρύτερης περιοχής είναι δυνατόν να συγκεντρώνονται εδώ. Έτσι όταν στις περιοχές αυτές δεν υπάρχει στραγγιστικό σύστημα ή κάποια φυσική διέξοδος των νερών προς ποταμούς ή τη θάλασσα, τότε λόγω της εξάτμισης στα εδάφη αυτά συγκεντρώνονται άλατα, με αποτέλεσμα να καθίστανται αλατούχα αρχικά και στη συνέχεια νατριωμένα.

γ) Περιοχές με εδάφη βαριάς σύστασης και μικρής διαπερατότητας.

Σε τέτοιες περιοχές τα εδάφη, λόγω του μεγάλου ποσοστού σε άργιλο, παρουσιάζουν μικρή διαπερατότητα, με αποτέλεσμα τα νερά στα εδάφη αυτά να μη διηθούνται σχετικά γρήγορα. Έτσι εξαιτίας της εξάτμισης επέρχεται συμπύκνωση συμπύκνωση του εδαφικού διαλύματος και απόθεση των αλάτων στην εδαφική κατατομή.

Αλάτωση των εδαφών λόγω της ποιότητας του νερού άρδευσης.

Το νερό που χρησιμοποιείται για την άρδευση των καλλιεργειών είναι δυνατό να προέρχεται από διάφορες πηγές όπως υπόγεια υδροφόρα στρώματα, λίμνες, ποτάμια και περιέχει σε διάλυση ή αιώρηση ποσότητες αλάτων ευδιάλυτων ή δυσδιάλυτων. Οι βασικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα του νερού είναι το κλίμα, τα πετρώματα, τα ορυκτά και το έδαφος από το οποίο διέρχεται. Τα συνηθέστερα άλατα που επικρατούν στο νερό άρδευσης είναι τα άλατα του ασβεστίου (όξινα ανθρακικά, θειικά, χλωριούχα, ανθρακικά).

Με την άρδευση των καλλιεργειών ένα μέρος από τα άλατα που περιέχουν τα νερά, αποτίθεται στο έδαφος. Τα άλατα αυτά είτε διαλύονται στο εδαφικό διάλυμα, είτε αποτίθενται με την κρυσταλλική μορφή στα ξηρά εδάφη.

Η αλατότητα του εδάφους στην πράξη μετριέται στο εδαφικό εκχύλισμα του πολτού (του νερού κορεσμού) και αναφέρεται ως εδαφική αλατότητα. Στο διάλυμα που εκχειλίζεται από τον πολτό (εκχύλισμα κορεσμού) προσδιορίζεται η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC_e) στους $25^{\circ}C$ και χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του ποσού των αλάτων του νερού κορεσμού. Οι μονάδες μέτρησης είναι decisiemens ανά m ή millisiemens ανά m. Έτσι η πιο απλή κατάταξη των εδαφών με βάση την αλατότητα είναι :

Αλατούχα εδάφη $EC_e > 2 \text{ dSm}^{-1}$

Μη αλατούχα εδάφη $EC_e < 2 \text{ dSm}^{-1}$

Μια άλλη σημαντική σχέση είναι ο λόγος προσρόφησης νατρίου (Sodium Absorption Ratio).

Το SAR χρησιμοποιείται την έκφραση της σχετικής ενεργότητας των ιόντων νατρίου σε αντιδράσεις ανταλλαγής με τη στερεή φάση του εδάφους, τόσο για εδαφικά εκχυλίσματα όσο και για νερά άρδευσης.

Το SAR προκύπτει από τη σχέση :

$$SAR = Na^+ / [(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2]^{1/2}$$

Οι συγκεντρώσεις των ιόντων Na^+ , Ca^{2+} και Mg^{2+} εκφράζονται σε $me.l^{-1}$. Αν οι συγκεντρώσεις αυτές στο νερό άρδευσης ή στο εκχύλισμα κορεσμού εκφράζονται σε $mmol.l^{-1}$, τότε το SAR υπολογίζεται από τη σχέση :

$$SAR = Na^+ / (Ca^{2+} + Mg^{2+})^{1/2}$$

Αλατούχα – νατριωμένα και νατριωμένα εδάφη.

Όταν σε μία περιοχή υπάρχουν οι προϋποθέσεις που αναφέρθηκαν προηγουμένως και αρχίζει η διαδικασία της αλάτωσης, τότε δημιουργούνται και οι

προϋποθέσεις για τη νατρίωση των εδαφών. Ο χρόνος από την αλάτωση των εδαφών μέχρι τη νατρίωση τους θεωρείται σχετικά μεγάλος.

Πορεία νατρίωσης των εδαφών

Σε ένα κανονικό μη αλατούχο έδαφος η στερεή φάση βρίσκεται σε ισορροπία με την υγρή και την αέρια φάση, δηλαδή η ανταλλάξιμη φάση του εδάφους βρίσκεται σε ισορροπία με τα ιόντα του εδαφικού διαλύματος. Σε τέτοια, μη αλατούχα εδάφη, στο εδαφικό διάλυμα επικρατούν ιόντα Ca^{2+} , λιγότερο Mg^{2+} και ακόμη λιγότερο Na^+ και K^+ . Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι ανταλλάξιμες θέσεις των ορυκτών της αργίλου να είναι δεσμευμένες σε μεγάλο ποσοστό (80%) με ιόντα Ca^{2+} και Mg^{2+} και σε μικρότερο βαθμό με τα άλλα κατιόντα.

Με την προσθήκη αλάτων (άρδευση) οι σχέσεις ανιόντων και κατιόντων στο εδαφικό διάλυμα αρχίζουν να μεταβάλλονται. Καθώς προχωρεί η πορεία της αλάτωσης, παρατηρείται συμπύκνωση του εδαφικού διαλύματος, με αποτέλεσμα ορισμένα άλατα Ca^{2+} και Mg^{2+} να αρχίζουν να καθιζάνουν.

Στο εδαφικό διάλυμα περιέχονται κυρίως χλωριούχα, ανθρακικά και θειικά άλατα του Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ και K^+ . Τα ανθρακικά άλατα του Ca^{2+} και Mg^{2+} με τη συμπύκνωση του εδαφικού διαλύματος αρχίζουν να καθιζάνουν πρώτα και ακολουθούν τα θειικά άλατα του Ca^{2+} . Το Na_2CO_3 ως ευδιάλυτο άλας παραμένει στο εδαφικό διάλυμα και λόγω της αλκαλικής του αντίδρασης δημιουργεί αλκαλικό περιβάλλον, το οποίο με τη σειρά του επιταχύνει την καθίζηση των ανθρακικών και θεικών αλάτων Ca^{2+} , Mg^{2+} και Ca^{2+} αντίστοιχα.

Έτσι στο αλατούχο έδαφος παρατηρείται σιγά σιγά μια διαφοροποίηση στο εδαφικό διάλυμα. Η συγκέντρωση ιόντων ασβεστίου και μαγνησίου μειώνεται σημαντικά με αποτέλεσμα τα άλατα του νατρίου (NaCl , Na_2CO_3), ως ευδιάλυτα, να παραμένουν και το ποσοστό τους να αυξάνεται συνεχώς.

Όσο προχωράει η καθίζηση του ανθρακικού ασβεστίου, του ανθρακικού μαγνησίου και του θεικού ασβεστίου, η συγκέντρωση του νατρίου αυξάνεται συνεχώς μέχρι την τελική επικράτηση του. Η μεταβολή της σύνθεσης του εδαφικού διαλύματος αρχίζει να διαταράσσει την ισορροπία μεταξύ στερεής και υγρής φάσης του εδάφους.

Η μεταβολή αυτή γίνεται καθοριστική όταν τα ιόντα νατρίου αποτελούν το 50% τουλάχιστον του συνόλου των κατιόντων του εδαφικού διαλύματος. Σε αυτήν την

περίπτωση η αντικατάσταση του ασβεστίου και του μαγνησίου, από τις θέσεις ανταλλαγής, από ιόντα νατρίου, είναι εφικτή, με αποτέλεσμα να αυξάνεται το ποσοστό του ανταλλάξιμου νατρίου.

Όταν το ποσοστό αυτό του ανταλλάξιμου νατρίου (ESP) υπερβεί το 15% της CEC του εδάφους τότε το έδαφος θεωρείται νατριωμένο. Η περιεκτικότητα σε νάτριο της ανταλλάξιμης φάσης, εκφράζεται ως ποσοστό της συνολικής περιεκτικότητας των κατιόντων, ESP (exchangeable sodium percentage).

Το ESP υπολογίζεται από τη σχέση :

$$ESP = [\text{ανταλλάξιμο νάτριο}(\text{me}/100\text{g εδάφους}) / \text{CEC}(\text{me}/100\text{g εδάφους})] \times 100$$

Ο βαθμός κορεσμού του εδαφικού συμπλόκου με νάτριο καλείται **κλάσμα ανταλλάξιμου νατρίου** (ESF) (exchangeable sodium fraction).

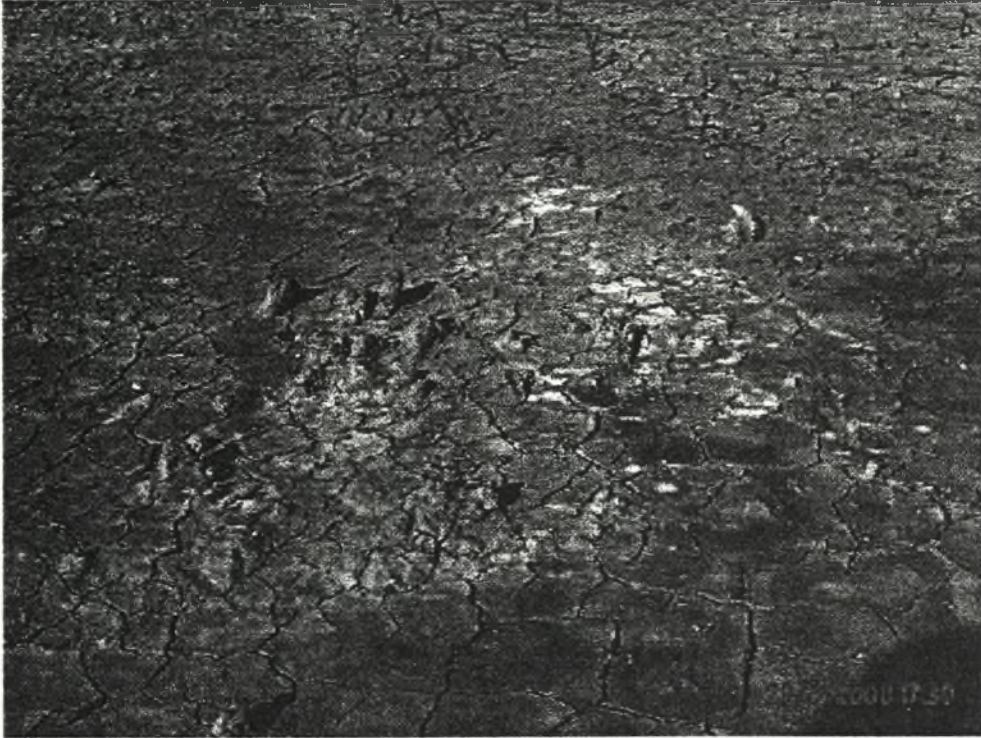
Το ESF δίνεται από τη σχέση :

$$ESF = \text{ανταλλάξιμο νάτριο}(\text{me}/100\text{g εδάφους}) / \text{CEC}(\text{me}/100\text{g εδάφους})$$

Με την πάροδο του χρόνου τα εδάφη γίνονται πρώτα αλατούχα και στη συνέχεια αλατούχα-νατριωμένα. Αν για κάποια αιτία (φυσική ή τεχνητή) το αλατούχο εδαφικό διάλυμα αντικατασταθεί με διάλυμα μικρής περιεκτικότητας σε άλατα, τότε το έδαφος μεταπίπτει σε μη αλατούχο-νατριωμένο.

Γενικά διακρίνουμε τις εξής κατηγορίες εδαφών που προκύπτουν από τις ίδιες διεργασίες :

- **Εδάφη αλατούχα.** Τα εδάφη αυτά είναι μη νατριωμένα που περιέχουν υδατοδιαλυτά άλατα σε ποσότητες τέτοιες, που να αναστέλλουν την αύξηση των περισσότερων φυτών. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδαφικού εκχυλίσματος του πολτού είναι μεγαλύτερη από 2 dSm^{-1} στους 25°C , το ποσοστό ανταλλάξιμου νατρίου (ESP) είναι μικρότερο από 15 και το pH συνήθως $<8,5$.
- **Εδάφη αλατούχα-νατριωμένα.**
 $\text{ECe} > 2 \text{ dSm}^{-1}$, $\text{SAR} > 13$, $\text{ESP} > 15$, $\text{pH} < 8,5$
- **Εδάφη μη αλατούχα-νατριωμένα.**
 $\text{ECe} < 2 \text{ dSm}^{-1}$, $\text{SAR} < 13$, $\text{ESP} < 15$, $\text{pH} = 8,5-10$



Αλατούχο – αλατούχο νατριομένο έδαφος (περιοχή πρώην λίμνης Κάρλας)

Προβλήματα που προκύπτουν από την αλάτωση – νατρίωση των εδαφών.

Όταν το έδαφος είναι αλατούχο τότε παρατηρείται μόνο η επίδραση της συγκέντρωσης των διαλυτών αλάτων του εδαφικού διαλύματος στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους και κυρίως στη διηθητικότητα του. Αν το συνολικό ποσό των αλάτων είναι μεγάλο τότε η διηθητικότητα του εδάφους αυξάνει. Αν η συγκέντρωση των αλάτων είναι μεγάλη, τότε η άργιλος του εδάφους βρίσκεται σε κατάσταση ισχυρής θρόμβωσης.

Η ισχυρή θρόμβωση δημιουργεί στο έδαφος μεγάλη διηθητικότητα. Αν η συγκέντρωση των αλάτων είναι μικρή, ή ο λόγος νατρίου προς (ασβέστιο + μαγνήσιο) είναι μεγάλος, τότε η διηθητικότητα είναι αισθητά μειωμένη. Τα

συγκεκριμένα φαινόμενα συνδέονται με τη θρόμβωση και το διαμερισμό της αργίλου. Έτσι σε εδάφη με $ESP > 15$ παρατηρείται σημαντική μείωση της υδραυλικής αγωγιμότητας, όσο μειώνεται η συγκέντρωση του εδαφικού διαλύματος.

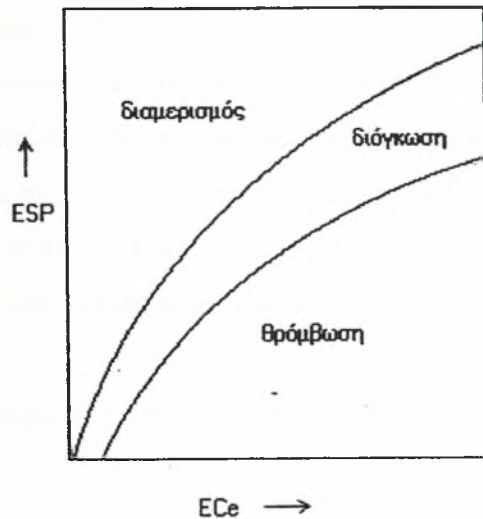
Σε πραγματικές συνθήκες (στο χωράφι), δημιουργούνται κρίσιμες συνθήκες στο έδαφος όταν η βροχές το χειμώνα ή το καλής ποιότητας νερό άρδευσης, μειώνουν τη συγκέντρωση του εδαφικού διαλύματος σε χαμηλά επίπεδα. Αν εξαιρεθεί το επιφανειακό στρώμα του εδάφους, η ολική ιονική ισχύς του εδαφικού διαλύματος διατηρείται περίπου στην τιμή $3mmol\ L^{-1}$ ακόμα και κατά τη διάρκεια της βροχής, εξαιτίας του συνεχούς ανεφοδιασμού του εδαφικού διαλύματος με κατιόντα που προέρχονται από τις θέσεις ανταλλαγής καθώς επίσης και από την αποσάθρωση των ορυκτών.

Στην παραπάνω συγκέντρωση του εδαφικού διαλύματος η υδραυλική αγωγιμότητα των εδαφών μπορεί να επηρεαστεί με μικρές τιμές ESP όπως $ESP = 5$. Η μικρή τιμή συγκέντρωσης του εδαφικού διαλύματος στο επιφανειακό στρώμα του εδάφους, σε συνδυασμό με τη μηχανική επίδραση των σταγόνων της βροχής, θα προκαλέσει μείωση της υδραυλικής αγωγιμότητας σε τιμές ESP ακόμα μικρότερες ($ESP < 5$).

Για να προστατευτεί η δομή ενός νατριωμένου εδάφους, χρειάζεται νερό όχι καλής ποιότητας (μεγάλη συγκέντρωση αλάτων). Η εφαρμογή διαλυτών αλάτων, για τη βελτίωση της δομής του εδάφους, μπορεί να παρεμποδιστεί από τις δυσμενείς επιδράσεις του νερού της βροχής (μικρή συγκέντρωση αλάτων, μηχανική επίδραση σταγόνων βροχής). Τέτοια σκευάσματα είναι ο γύψος ή το χλωριούχο ασβέστιο, τα οποία διατηρούν τη συγκέντρωση του εδαφικού διαλύματος και εφοδιάζουν το έδαφος με ανταλλάξιμο ασβέστιο.

Παρά το γεγονός ότι η τιμή του $ESP = 15$ χρησιμοποιείται σαν ένα απλό κριτήριο για την κατάταξη νατρίωσης των εδαφών, οι κρίσιμες τιμές ESP εξαρτώνται από τη συγκέντρωση του διαλύματος. Για την επιλογή του κατάλληλου νερού άρδευσης, λαμβάνονται υπόψη το ESP του εδάφους καθώς και η συγκέντρωση των αλάτων στο νερό.

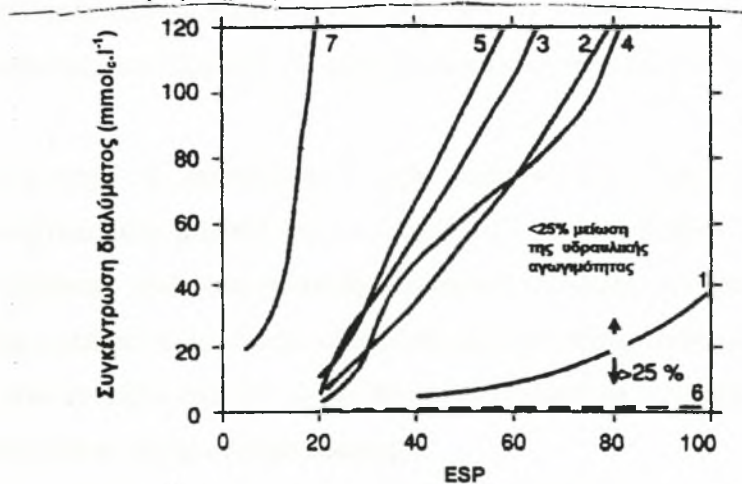
Στο σχήμα 1 παρουσιάζεται διαγραμματικά η συμπεριφορά της αργίλου στις μεταβολές του ESP και της E_{ce} . Σύμφωνα με αυτό όταν η ηλεκτρική αγωγιμότητα αυξάνεται έναντι του ESP, τότε η αργίλος βρίσκεται σε θρόμβωση οπότε και η διηθητικότητα του εδάφους είναι ικανοποιητική.



Σχήμα 1 : η συμπεριφορά της αργίλου στις μεταβολές του ESP και της ECe (Bolt & Bruggenwert 1976)

Όταν το έδαφος δεν είναι αλατούχο-νατριομένο, τότε η υψηλή τιμή του pH ($pH > 8,5$) και το υψηλό ποσοστό ανταλλάξιμου νατρίου, καθορίζουν τη διηθητικότητα του εδάφους. Η πολύ χαμηλή συγκέντρωση αλάτων στο εδαφικό διάλυμα αυξάνει την ταχύτητα υδρόλυσης ενός ποσοστού του ανταλλάξιμου νατρίου, που έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία NaOH και την ανύψωση της τιμής του pH.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 1 όταν η ECe είναι μικρή και το ESP μεγάλο, σε συνδυασμό με το pH, οδηγούν στη διόγκωση και το διαμερισμό της αργίλου, γεγονός που συνεπάγεται το κλείσιμο των εδαφικών πόρων και τη μείωση της διηθητικότητας σε χαμηλά επίπεδα. Αν συμπεριληφθούν και οι δυσμενείς συνέπειες από τη νατρίωση των εδαφών, τότε το πρόβλημα γίνεται ακόμα πολυπλοκότερο.



Σχήμα 2

Σε γενικές γραμμές η υψηλή αλατότητα προκαλεί νανισμό στα φυτά. Η απόδοση μπορεί να μειωθεί ως και 20%, χωρίς να υπάρχουν εμφανή συμπτώματα που να οφείλονται στην επιζήμια δράση των αλάτων. Σε ορισμένα είδη φυτών, η επιζήμια επίδραση της υψηλής αλατότητας γίνεται εμφανής γιατί παρατηρούνται χλωρώσεις ή ποικιλοχρώσεις στα φύλλα, κάλυψη αυτών με μια κηρώδη επίστρωση και αρκετές φορές νεκρώσεις, περιφερειακές του ελάσματος συνήθως, ή και διάσπαρτές.

Οι επιζήμιες επιδράσεις των αλάτων στα φυτά συνοψίζονται παρακάτω :

- Φυσιολογική δίψα, που είναι αποτέλεσμα της επίδρασης της οσμωτικής πίεσης.
- Αυξανόμενη υδραυλική αντίσταση των ριζών και ολόκληρου του φυτού γενικότερα.
- Μεταβολή των ορμονικών επιπέδων που επιδρούν στους ρυθμούς αύξησης.
- Άμεση επιζήμια επίδραση, ειδικά στους μηχανισμούς φωτοσύνθεσης.
- Ανταγωνισμός των θρεπτικών στοιχείων με αποτέλεσμα την κατανάλωση μεγαλύτερων ποσών ενέργειας, προκειμένου να διατηρηθεί η ισορροπία K/Na.

Τα φυτά αντλούν το νερό από το έδαφος με δύναμη μεγαλύτερη από αυτήν που το νερό συγκρατείται στο έδαφος. Έτσι το φυτό πρέπει να εξασφαλίσει την απαιτούμενη ισχύ, ώστε να μπορέσει να αντλήσει την ποσότητα νερού που χρειάζεται για να ικανοποιήσει τις ανάγκες του. Τα άλατα στο εδαφικό διάλυμα αυξάνουν τη δύναμη με την οποία συγκρατείται το νερό στο έδαφος οπότε και την απαιτούμενη ισχύ από τα φυτά για να αντλήσουν το νερό. Η δύναμη αυτή αναφέρεται ως οσμωτικό δυναμικό.

Όταν στο νερό η συγκέντρωση των αλάτων είναι μεγάλη, απαιτείται μεγαλύτερη ενέργεια ανά μονάδα όγκου νερού, για να προσλάβει το φυτό νερό απαλλαγμένο αλάτων, από ένα αλατούχο εδαφικό διάλυμα. Αν για παράδειγμα εξεταστούν δυο κατά τα άλλα όμοια εδάφη και με ίδια περιεκτικότητα σε νερό, το ένα αλατούχο και το άλλο όχι, ένα φυτό θα είναι σε θέση να αντλήσει μεγαλύτερη ποσότητα νερού από το μη αλατούχο έδαφος.

Οι επιζήμιες επιδράσεις, όπως αναφέρθηκε, οφείλονται και σε έναν αριθμό άλλων παραγόντων όπως pH, τοξικότητα σε υψηλές συγκεντρώσεις ορισμένων

αλάτων, ανταγωνισμό των αλάτων και των θρεπτικών στοιχείων στο εδαφικό διάλυμα. Όταν το pH του εδάφους έχει υψηλή τιμή, τα φωσφορικά, ο σίδηρος και το μαγγάνιο για παράδειγμα, δεν είναι διαθέσιμα στα φυτά. Επίσης σε μεγάλες συγκεντρώσεις νατρίου στο έδαφος, παρατηρούνται τοξικά συμπτώματα στα φυτά και έντονος ανταγωνισμός νατρίου καλίου. Τα διάφορα είδη φυτών αντιδρούν με ποικίλους τρόπους στην υψηλή αλατότητα των εδαφών και η αντοχή του κάθε είδους είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων όπως η ηλικία του φυτού, το μικροκλίμα της περιοχής και άλλα.

Διαχείριση αλατούχων εδαφών και αντιμετώπιση προβλημάτων από την αλατότητα.

Πριν από κάθε προσπάθεια αντιμετώπισης της αλατότητας πρέπει να λαμβάνονται υπόψη ορισμένα βασικά ζητήματα.

1. Τη μεγάλη σπουδαιότητα που έχει η έκπλυση των αλάτων κάτω από το ριζόστρωμα των φυτών, πριν αυτά προκαλέσουν ουσιαστικά προβλήματα.
2. Τη διατήρηση στο έδαφος, ικανής διαθέσιμης υγρασίας για τις ανάγκες των φυτών καθ'όλη την καλλιεργητική περίοδο. Ο μακροπρόθεσμος όμως έλεγχος της αλατότητας προϋποθέτει καλή στράγγιση του εδάφους.
3. Στις περιπτώσεις που η στράγγιση του εδάφους είναι ικανοποιητική, τότε το νερό που χρειάζεται για την απομάκρυνση των αλάτων εξαρτάται από το βαθμό αντοχής των καλλιεργειών στα άλατα και από τη συγκέντρωση των αλάτων στο νερό άρδευσης. Στις περιπτώσεις που η αλατότητα είναι μεγάλη, η ποσότητα του νερού που απαιτείται για την απομάκρυνση των αλάτων μπορεί να είναι πολύ μεγάλη. Το στραγγιστικό σύστημα που θα εξασφαλίζει καλή στράγγιση και απομάκρυνση των αλάτων δεν είναι μόνο απαραίτητο σε περιπτώσεις που προϋπάρχει ένα προβληματικό έδαφος ή που το νερό άρδευσης δεν είναι καλής ποιότητας. Ένα αποτελεσματικό στραγγιστικό

σύστημα χρειάζεται και σε περιπτώσεις καλών εδαφών και καλού νερού άρδευσης, για να μειωθούν οι πιθανότητες συγκέντρωσης αλάτων στο ριζόστρωμα των καλλιεργούμενων φυτών.

Σε περιπτώσεις που η αλατότητα του εδάφους δεν οφείλεται στο νερό άρδευσης κρίνεται απαραίτητο να εφαρμοστεί ένα πρόγραμμα στράγγισης και βελτίωσης καθώς και προσωρινή αλλαγή των καλλιεργειών.

Παρακάτω παρατίθενται μια σειρά από εργασίες και καλλιεργητικά μέτρα που χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση της αλατότητας των εδαφών.

Στράγγιση.

Η υπόγεια στάθμη του νερού είναι πολλές φορές ο κύριος λόγος των προβλημάτων αλατότητας στις καλλιέργειες, ιδίως αν αυτή βρίσκεται μεταξύ ενός ή δύο μέτρων από την επιφάνεια του εδάφους.

Στα περισσότερα εδάφη με υψηλή υπόγεια στάθμη, το νερό ανέρχεται μέσω του τριχοειδούς φαινομένου μέχρι το ριζόστρωμα, οπότε αν αυτό περιέχει άλατα εφοδιάζει με αυτά την περιοχή του ριζοστρώματος ή μετά από εξάτμιση από την επιφάνεια του εδάφους, τα άλατα συγκεντρώνονται στο επιφανειακό στρώμα. Η αλάτωση του εδάφους, σε αρδευόμενες περιοχές, που οφείλεται στο φαινόμενο αυτό, επιτυγχάνεται σε θερμά κλίματα όταν το έδαφος αφήνεται ακαλλιέργητο για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Σε ξηρές και ημίξηρες περιοχές όταν η αλατότητα συνδέεται με πλημμυρή στράγγιση είναι πολύ δύσκολο να ελεγχθεί αν προηγουμένως δεν σταθεροποιηθεί η υπόγεια στάθμη σε ένα βάθος τουλάχιστον δύο μέτρων.

Έλεγχος της αλατότητας με διήθηση.

Σε περιοχές με υψηλό βροχομετρικό ύψος το νερό της βροχής απομακρύνει με διήθηση τα υδατοδιαλυτά άλατα στα βαθύτερα στρώματα του εδάφους, με αποτέλεσμα τη μείωση τους στα επιφανειακά στρώματα. Σε ξηρές και ημίξηρες περιοχές τα υδατοδιαλυτά άλατα του εδάφους, που είναι αναμενόμενο να είναι πολλά, εκκλύνονται με επιπλέον ποσότητες νερού από αυτές που είναι αναγκαίες για την

εξατμισοδιαπνοή κατά την τρέχουσα καλλιεργητική περίοδο. Στις περιπτώσεις αυτές η διήθηση αποτελεί τη βάση για τον έλεγχο της αλατότητας που προέρχεται από το νερό άρδευσης.

Ισοπέδωση του εδάφους.

Η σωστή κατανομή του νερού στο έδαφος συνδέεται με τον έλεγχο της αλατότητας και έχει άμεση σχέση με την ισοπέδωση του εδάφους. Η ισοπέδωση γίνεται κατά την εγκατάσταση του αρδευτικού και στραγγιστικού δικτύου και συντηρείται κάθε ένα με δύο χρόνια με διάφορες καλλιεργητικές εργασίες. Γενικά θα πρέπει να αποφεύγονται οι μικρές ή μεγάλες εξάρσεις, που επιτρέπουν μεγαλύτερη εξάτμιση του νερού και μεγαλύτερη συγκέντρωση αλάτων.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στα παλιά αλλουβιακά εδάφη ή στα εδάφη με ώριμη εδαφική κατατομή. Σε τέτοιες περιπτώσεις υπάρχει κίνδυνος κατά την ισοπέδωση να έρθει στην επιφάνεια έδαφος με μεγάλη συγκέντρωση αλάτων ή ανθρακικού ασβεστίου.

Προγραμματισμός – τρόπος αρδεύσεων.

Ένας σωστός προγραμματισμός των αρδεύσεων έχει ως σκοπό τη μείωση της αλατότητας του εδάφους, αλλά και την αποφυγή υδατικής καταπόνησης στα φυτά στα διαστήματα μεταξύ των αρδεύσεων.

Η μεγάλη συχνότητα αρδεύσεων και η κατάκλιση πολλές φορές δε συνιστώνται γιατί υπάρχει περίπτωση να προκληθούν προβλήματα στη διηθητικότητα του εδάφους καθώς επίσης και κίνδυνος ανύψωσης της υπόγειας στάθμης του νερού. Αντίθετα ο καταιονισμός ή η στάγδην άρδευση βοηθούν στη αποφυγή των παραπάνω προβλημάτων. Από τις δύο τελευταίες μεθόδους προτιμότερη είναι η στάγδην άρδευση γιατί ο καταιονισμός μπορεί να δημιουργήσει φαινόμενα φυτοτοξικότητας νατρίου η χλωρίου με κύριες εστίες συμπτωμάτων στα φύλλα των φυτών. Ακόμα όμως και η στάγδην άρδευση είναι δυνατόν να δημιουργήσει, σε ορισμένες περιπτώσεις, προβλήματα αλατότητας. Έτσι η επιλογή μιας μεθόδου άρδευσης πρέπει

να γίνεται μετά από κατάλληλη ανάλυση του εδάφους με σκοπό τη γνώση της κατανομής των αλάτων στο έδαφος.

Τρόποι τοποθέτησης σπόρου.

Σε περιπτώσεις που τα φυτά ή οι σπόροι φυτεύονται σε σαμάρια και η άρδευση γίνεται με αυλάκια, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η συγκέντρωση και η κατανομή των αλάτων στα σαμάρια, γιατί τα άλατα μειώνουν τη φυτρωτική ικανότητα του σπόρου και επιβραδύνουν την αρχική ανάπτυξη των νεαρών φυταρίων.

Λίπανση.

Τα λιπάσματα εκτός από τις ευεργετικές ιδιότητες που έχουν για τα φυτά, ορισμένες φορές, ιδίως μετά από υπερβολικές ποσότητες, προκαλούν προβλήματα αλατότητας αλλά και φυτοτοξικότητας.

Η θέση του λιπάσματος στο έδαφος αλλά και ο χρόνος που αυτό μένει στο έδαφος, είναι βασικοί παράγοντες για την πρόκληση ή μη προβλημάτων αλατότητας. Τα νεαρά φυτά δεν έχουν ιδιαίτερες απαιτήσεις σε λίπασμα και παρουσιάζουν ευαισθησία σε υψηλή αλατότητα. Έτσι θα πρέπει να εφαρμόζεται μικρή ποσότητα λιπάσματος πριν ή μετά τη σπορά και οι κυρίως δώσεις να δίνονται μετά το φύτεμα και πριν από την κύρια βλαστική περίοδο.

Βελτίωση αλατούχων, αλατούχων – νατριωμένων και νατριωμένων εδαφών.

Οι παράγοντες που πρέπει να αντιμετωπιστούν για τη βελτίωση αλατούχων, αλατούχων – νατριωμένων και νατριωμένων εδαφών συνοψίζονται παρακάτω.

1. Η μεγάλη συγκέντρωση των αλάτων στο εδαφικό διάλυμα (>2 mS/cm).

2. Η πιθανότητα να κατακλυσθεί η περιοχή με νερό.
3. Η περιεκτικότητα του εδαφικού διαλύματος σε νάτριο ($SAR > 13$) και το ποσοστό του ανταλλάξιμου νατρίου στο εδαφικό σύμπλοκο ($ESP > 15$).
4. Η διηθητικότητα του εδάφους.

Από τους παραπάνω παράγοντες είναι δυνατό να συνυπάρξουν περισσότεροι από ένας σε ορισμένες κατηγορίες εδαφών ή μόνο ένας σε άλλες κατηγορίες. Όσο περισσότεροι οι παράγοντες που συνυπάρχουν σε κάποιο έδαφος τόσο μεγαλύτερη η δυσκολία βελτίωσης του.

Βελτίωση αλατούχων εδαφών.

Στα αλατούχα εδάφη η συγκέντρωση αλάτων στο εδαφικό διάλυμα είναι όπως αναμένεται υψηλή ($> 2 \text{ mS/cm}$). Τέτοια εδάφη μπορεί να είναι κατακλυσμένα από νερά ή η υπόγεια στάθμη νερού να βρίσκεται σε μικρό σχετικά βάθος. Στις περιπτώσεις αυτές κρίνεται απαραίτητη η κατασκευή στραγγιστικού δικτύου στην περιοχή, με τη βοήθεια του οποίου απομακρύνεται το πλεονάζον νερό και χαμηλώνει η υπόγεια στάθμη. Με την πώση της υπόγειας στάθμης εμποδίζεται η τριχοειδής ανύψωση του νερού και η εκ νέου αλάτωση του εδάφους. Το ελάχιστο βάθος των στραγγιστικών τάφρων θα πρέπει να είναι 1,5-2 μέτρα, βάθος που πρακτικά εμποδίζει την τριχοειδή ανύψωση του νερού.

Αφού έχει κατασκευαστεί το στραγγιστικό δίκτυο, σειρά έχει η ισοπέδωση της επιφάνειας του εδάφους ώστε να μην υπάρχουν τμήματα που νεροκρατούν ή που προεξέχουν από το υπόλοιπο επίπεδο. Κατά την ισοπέδωση πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή ώστε να μην έρθουν στην επιφάνεια στρώσεις της εδαφικής κατανομής με ανεπιθύμητες ιδιότητες.

Μετά από την κατασκευή του στραγγιστικού δικτύου και την ισοπέδωση του εδάφους ακολουθεί η έκλυση των αλάτων που έχουν παραμείνει στο έδαφος.

Η διηθητικότητα του εδάφους θα καθορίσει τις ποσότητες του νερού που είναι απαραίτητες για την έκλυση των αλάτων από το έδαφος. Επειδή η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας με την έκλυση του εδάφους συνεχώς πέφτει, μειώνεται ταυτόχρονα και η διηθητικότητα του εδάφους. Η διηθητικότητα θα πρέπει να

ελέγχεται τακτικά προκειμένου να εξασφαλίζεται κανονική ροή του νερού διαμέσου του εδάφους. Αν η διηθητικότητα αφηθεί να πέσει πολύ χαμηλά, το νερό θα παραμείνει στην επιφάνεια του εδάφους και μέσω της εξάτμισης (συγκέντρωση αλάτων) τα αποτελέσματα θα είναι αντίθετα από τα επιθυμητά.

Όταν περατωθεί με επιτυχία η βελτίωση του εδάφους, θα πρέπει να ακολουθούνται ορισμένες τακτικές για να παραμείνει αυτό σε καλή κατάσταση.

1. Να αποφεύγεται η υπεράρδευση.
2. Όταν η υπόγεια στάθμη παραμένει σχετικά υψηλή οι αρδεύσεις να είναι συχνές και με λίγο νερό.
3. Να συντηρείται το στραγγιστικό σύστημα για να μη δημιουργούνται οι προϋποθέσεις ανύψωσης της υπόγειας στάθμης.
4. Οι στραγγιστικές τάφροι να καθαρίζονται τακτικά από τα ζιζάνια που αναπτύσσονται σε αυτές.

Βελτίωση αλατούχων – νατριωμένων και νατριωμένων εδαφών.

Η βελτίωση των αλατούχων – νατριωμένων και νατριωμένων εδαφών στηρίζεται, όπως και στην περίπτωση των αλατούχων εδαφών, στην απομάκρυνση των υδατοδιαλυτών αλάτων από το έδαφος, αλλά επεκτείνεται και στην ανταλλαγή του νατρίου του εδαφικού συμπλόκου με ασβέστιο. Αν για τη βελτίωση των εδαφών αυτών χρησιμοποιηθεί αλατούχο νερό, τότε οι δύο παραπάνω διεργασίες μπορούν να προχωρούν παράλληλα.

Για την αντικατάσταση του ανταλλάξιμου νατρίου στο έδαφος χρησιμοποιούνται CaCO_3 , CaSO_4 , CaCl_2 , S και FeSO_4 τα οποία προστίθενται στο έδαφος. Με την προσθήκη των παραπάνω στο έδαφος, το ανταλλάξιμο νάτριο αντικαθίσταται από το ασβέστιο και σχηματίζονται άργιλος με ανταλλάξιμο ασβέστιο και τα διαλυτά άλατα NaCl , Na_2SO_4 , NaHCO_3 . Τα διαλυτά αυτά άλατα απομακρύνονται με την έκλυση. Για να γίνουν οι κατάλληλες χημικές αντιδράσεις και να ολοκληρωθεί με επιτυχία η ανταλλαγή του νατρίου από ασβέστιο, θα πρέπει αφενός να υπάρχει περίσσεια ιόντων ασβεστίου και αφετέρου τα άλατα νατρίου να απομακρύνονται συνεχώς.

Από τα διάφορα εδαφοβελτιωτικά που χρησιμοποιούνται η γύψος ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Εξαιτίας της μικρής διαλυτότητας της στο νερό (30 mg/l), η γύψος ενεργεί με βραδύ ρυθμό σε εδάφη με μεγάλο ESP. Η μικρή διαλυτότητα συνεπάγεται χαμηλή τιμή EC που ευνοεί τη διόγκωση.

Σε περιπτώσεις που για τη βελτίωση χρησιμοποιείται νερό με μικρή ηλεκτρική αγωγιμότητα και γύψος, το μεν επιφανειακό στρώμα βελτιώνεται, τα κατώτερα στρώματα όμως διογκώνονται και εμποδίζουν τη συνέχιση της στράγγισης. Η διόγκωση οφείλεται στο ότι το εδαφικό διάλυμα των κατωτέρων στρωμάτων αντικαθίσταται από το νερό στράγγισης των επιφανειακών στρωμάτων που έχει μικρή EC. Για τις περιπτώσεις αυτές χρησιμοποιούνται ποιο ευδιάλυτα άλατα του ασβεστίου όπως CaCl_2 και για την περίπτωση που το έδαφος περιέχει CaCO_3 θειικός σίδηρος ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$).

Σε περιπτώσεις που χρησιμοποιείται γύψος και παρατηρείται διόγκωση της αργίλου, χρησιμοποιούνται μαζί με τη γύψο και άλατα του νατρίου για να αυξηθεί η EC και να αποφευχθεί η διόγκωση.

Για τη βελτίωση των αλατούχων – νατριωμένων και νατριωμένων εδαφών λαμβάνεται υπόψη το ESP του εδάφους καθώς και το επιθυμητό ESP. Το ESP στο οποίο αποσκοπεί να καταλήξει η βελτίωση εξαρτάται από το είδος της μελλοντικής καλλιέργειας και από τη συμπεριφορά του εδάφους στις διαφορετικές τιμές ESP.

Η σχέση του ESP του εδάφους με το SAR του εδαφικού διαλύματος δίνεται από την εξίσωση :

$$\text{ESP} / (100 - \text{ESP}) = 0,015 \text{ SAR}$$

Το SAR του εδαφικού διαλύματος ταυτίζεται με το SAR του νερού που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση του εδάφους. Με δεδομένη την τιμή ESP μετά τη βελτίωση του εδάφους μπορούμε να υπολογίσουμε την τιμή που θα πρέπει να έχει το SAR του νερού (μετά τη διάλυση της γύψου ή άλλου εδαφοβελτιωτικού) το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση. Η ποσότητα της γύψου που θα χρησιμοποιηθεί υπολογίζεται από τη σχέση του SAR με τα κατιόντα του εδαφικού διαλύματος με βάση την εξίσωση :

$$\text{SAR} = \text{Na} / [(\text{Ca} + \text{Mg} + \text{X})/2]^{1/2}$$

Όπου :

X = η ποσότητα Ca^+ (της γύψου) σε me/l.

$\text{Ca} + \text{Mg}$ = οι συγκεντρώσεις ασβεστίου και μαγνησίου σε me/l.

Η συνολική ποσότητα των δισθενών κατιόντων που πρέπει να προστεθούν σε ένα έδαφος, μαζί με το νερό άρδευσης, για να βελτιωθεί υπολογίζονται από την εξίσωση :

$$(\text{Ca} + \text{Mg}) = (\text{ESP}_1 - \text{ESP}_2) \times \text{CEC} \times \rho \times \text{D}$$

Όπου :

ESP_1 , ESP_2 = η αρχική και τελική, αντίστοιχα, τιμή του ESP του εδάφους.

CEC = η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων του εδάφους σε me/100gr.

ρ = η φαινομενική πυκνότητα του εδάφους.

D = το βάθος του εδάφους που πρόκειται να βελτιωθεί σε cm.

Η ποσότητα του νερού σε mm που απαιτείται για τη βελτίωση υπολογίζεται από την εξίσωση :

$$\text{D}_{iw} = [10(\text{Ca} + \text{Mg}) \text{ που απαιτείται}] / [(\text{Ca} + \text{Mg} + \text{X}) \text{ του νερού άρδευσης}]$$

Όπου :

D_{iw} = η ποσότητα του νερού άρδευσης σε mm.

$\text{Ca} + \text{Mg}$ = η συνολική ποσότητα των δισθενών κατιόντων που χρειάζεται το έδαφος για να βελτιωθεί σε Keq/ha.

$\text{Ca} + \text{Mg} + \text{X}$ = η ποσότητα των κατιόντων ανά μονάδα νερού άρδευσης (me/ml).

Η ποσότητα της γύψου που θα προστεθεί στο νερό άρδευσης πρέπει πάντα να διορθώνεται για την ποσότητα της γύψου που τυχόν υπάρχει ήδη στο έδαφος.

Σε εδάφη με βαριά μηχανική σύσταση που περιέχουν μοντμοριλλονιτική άργιλο, απαιτείται νερό με μεγάλη EC για τη βελτίωση τους. Η μεγάλη EC διευκολύνει την κίνηση του νερού στο έδαφος γιατί η άργιλος διατηρείται σε

$$\text{SAR} = \text{Na} / [(\text{Ca} + \text{Mg} + \text{X})/2]^{1/2}$$

Όπου :

X = η ποσότητα Ca^+ (της γύψου) σε me/l.

Ca+Mg = οι συγκεντρώσεις ασβεστίου και μαγνησίου σε me/l.

Η συνολική ποσότητα των δισθενών κατιόντων που πρέπει να προστεθούν σε ένα έδαφος, μαζί με το νερό άρδευσης, για να βελτιωθεί υπολογίζονται από την εξίσωση :

$$(\text{Ca} + \text{Mg}) = (\text{ESP}_1 - \text{ESP}_2) \times \text{CEC} \times \rho \times D$$

Όπου :

ESP₁ , **ESP₂** = η αρχική και τελική, αντίστοιχα, τιμή του ESP του εδάφους.

CEC = η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων του εδάφους σε me/100gr.

P = η φαινομενική πυκνότητα του εδάφους.

D = το βάθος του εδάφους που πρόκειται να βελτιωθεί σε cm.

Η ποσότητα του νερού σε mm που απαιτείται για τη βελτίωση υπολογίζεται από την εξίσωση :

$$D_{iw} = [10(\text{Ca} + \text{Mg}) \text{ που απαιτείται}] / [(\text{Ca} + \text{Mg} + \text{X}) \text{ του νερού άρδευσης}]$$

Όπου :

D_{iw} = η ποσότητα του νερού άρδευσης σε mm.

Ca+Mg = η συνολική ποσότητα των δισθενών κατιόντων που χρειάζεται το έδαφος για να βελτιωθεί σε Keq/ha.

Ca+Mg+X = η ποσότητα των κατιόντων ανά μονάδα νερού άρδευσης (me/ml).

Η ποσότητα της γύψου που θα προστεθεί στο νερό άρδευσης πρέπει πάντα να διορθώνεται για την ποσότητα της γύψου που τυχόν υπάρχει ήδη στο έδαφος.

Σε εδάφη με βαριά μηχανική σύσταση που περιέχουν μοντμοριλλονιτική άργιλο, απαιτείται νερό με μεγάλη EC για τη βελτίωση τους. Η μεγάλη EC διευκολύνει την κίνηση του νερού στο έδαφος γιατί η άργιλος διατηρείται σε

κατάσταση θρόμβωσης και έτσι το έδαφος μπορεί να βελτιωθεί σε μεγάλο έδαφος (Reeve & Bower 1960, Reeve & Doering 1966, Muhammed et al., 1969).

Κατά τα τελευταία χρόνια προτάθηκαν μέθοδοι για τη βελτίωση εδαφών, που χρησιμοποιούν νερό πολύ μεγάλης EC όπως θαλασσίνο νερό. Τέτοιες μέθοδοι Στη θεωρία σθένους – αραιώσης, ότι δηλαδή, σε ένα έδαφος η δυνατότητα μεταβολής της ισορροπίας των προσροφημένων κατιόντων του διαλύματος εξαρτάται από το είδος των διαλυμένων κατιόντων στο νερό που προστίθεται.

Όταν τα κατιόντα είναι του ίδιου σθένους τότε η ανταλλαγή θα είναι μικρή. Αντίθετα όταν τα κατιόντα είναι διαφορετικού σθένους τότε αυτά με το μεγαλύτερο σθένος τείνουν να αντικαταστήσουν αυτά με το χαμηλότερο σθένος όταν το διάλυμα αραιώνεται. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι όταν το διάλυμα είναι πυκνό είναι δυνατό να συμβεί η αντίθετη πορεία.

Συμπερασματικά, όταν χρησιμοποιείται για βελτίωση του εδάφους νερό με μεγάλη συγκέντρωση αλάτων, αλλά με μεγάλη αναλογία Ca+Mg ως προς την ολική συγκέντρωση, τότε με διαδοχικές αραιώσεις είναι δυνατόν αφενός να επιτευχθεί αντικατάσταση του ανταλλάξιμου Na^+ και αφετέρου να διατηρηθεί η διηθητικότητα σε ικανοποιητικά επίπεδα.



Γεωγραφική θέση και οικοφυσιολογική περιγραφή περιοχής πρώην λίμνης Κάρλας.

Η παρούσα εργασία έχει ως βάση την ανάλυση δειγμάτων εδάφους που πάρθηκαν από διάφορες περιοχές της ευρύτερης περιοχής της πρώην λίμνης Κάρλας. Για την καλύτερη κατανόηση της λουπών, είναι βασικό να παρατεθεί η γεωγραφική θέση καθώς και μια γενική περιγραφή της ευρύτερης περιοχής της πρώην λίμνης Κάρλας.

Κωδικός Περιοχής:

GR1420004

Γεωγραφικό Μήκος:

22° 49

Μέσο Υψόμετρο (m):

600

Γεωγραφικό Πλάτος:

39° 37

Έκταση (ha):

39520



(Η πρώην λίμνη Κάρλα και η ευρύτερη περιοχή.)

Η περιοχή περιλαμβάνει το Μαυροβούνι, δύο ταμιευτήρες νερού στην περιοχή της τέως Λίμνης Κάρλας και την πηγή Κεφαλόβρυσο, στο Βελεστίνο Μαγνησίας. Το Μαυροβούνι (390.000 στρ., μέγιστο υψόμετρο 1.054 m) εκτείνεται μεταξύ της Όσσας και του Πηλίου και ανήκει στους Νομούς Λάρισσας και Μαγνησίας. Τα πετρώματά του είναι κυρίως σχιστόλιθοι και σε λιγότερο βαθμό ασβεστόλιθοι. Στο ανώτερο τμήμα του καλύπτεται από δάση οξυάς, καστανιάς και κυρίως δρυοδάση

(περισσότερο *Quercus frainetto*). Τα αείφυλλα πλατύφυλλα καλύπτουν το κατώτερο τμήμα. Η ανατολική πλευρά του βουνού είναι πολύ πυκνή και κυριαρχείται από αριά (*Quercus ilex*). Οι θαμνώνες του πουρναριού και της αγριελιάς έχουν υποβαθμιστεί εξαιτίας της υπερβόσκησης. Επίσης το Μαυροβούνι περιλαμβάνει φαράγγια, βραχώδεις σχηματισμούς, ποολίβαδα, φρύγανα και καλλιεργημένες εκτάσεις. Το βουνό διατρέχουν αρκετά ρέματα, τα περισσότερα από τα οποία ξηραίνονται το καλοκαίρι. Οι όχθες των ρεμάτων καλύπτονται από πλατάνια, σκλήθρα, λεύκες και ιτιές. Το θαλάσσιο τμήμα καλύπτει το 2% της περιοχής, το χερσαίο το 96% και οι ταμιευτήρες το 2%. Η ΒΑ πλευρά της καταλήγει σε απότομα βράχια στο Αιγαίο Πέλαγος. Οι δύο ταμιευτήρες, ένας κοντά στο Στεφανοβίκειο (4.000 στρ.) και ένας κοντά στο Καλαμάκι (2.000 στρ.) κατασκευάστηκαν το 1988, για να προμηθεύουν με αρδευτικό νερό τις γειτονικές καλλιέργειες. Τροφοδοτούνται από τα νερά του Πηνειού μέσω του ρέματος Ασμάκι. Ωστόσο, στους ταμιευτήρες καταλήγουν βιομηχανικά απόβλητα και γεωργικές απορροές. Τα νερά τους πιθανόν είναι ευτροφικά και έχει παρατηρηθεί ταχεία αύξηση του καλαμιού.

Πειραματικό μέρος.

Θεωρία.

Γενικά.

Η άργιλος και οι οργανικές ενώσεις του εδάφους αποτελούν συστατικά με κολλοειδείς ιδιότητες. Εξάλλου, σύμφωνα με τη Χημεία, τα κολλοειδή συστήματα είναι διασπορές, όπου τα σωματίδια της διασπαρμένης ουσίας είναι της τάξης μεγέθους 5×10^{-5} cm μέχρι $< 10^{-7}$ cm. Οι κολλοειδείς ιδιότητες οφείλονται σε ηλεκτρικά φορτία που αναπτύσσονται στην επιφάνεια αυτών των σωματιδίων με συνέπεια να έλκουν αντίθετα φορτισμένα σωματίδια. Τα τεμαχίδια του εδάφους με κολλοειδείς ιδιότητες (άργιλος, οργανική ουσία) είναι φορτισμένα, κατά κύριο λόγο αρνητικά. Με τη βοήθεια των φορτίων των κολλοειδών, ένας αριθμός συστατικών υπό μορφή ιόντων συγκρατείται στο έδαφος σε ανταλλάξιμη κατάσταση με το περιβάλλον και δεν εκπλύνεται εύκολα. Έτσι διαμορφώνεται η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων του εδάφους και εκφράζεται σαν ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων ή ανιόντων (C.E.C.).

Όπως έχει αναφερθεί η C.E.C. είναι το σπουδαιότερο φαινόμενο ανταλλαγής ιόντων στο έδαφος. Αυτή διαφέρει από έδαφος σε έδαφος και το μέγεθος της μετράται από την ποσότητα των κατιόντων που είναι σε ανταλλάξιμη κατάσταση. Είναι το συνολικό ποσό των κατιόντων, εκφρασμένο σε χιλιοϊσοδύναμα ανά 100 gr εδάφους (me/100gr), το οποίο είναι δυνατό να προσροφήσουν τα ανόργανα και τα οργανικά κολλοειδή του εδάφους.

Τα κατιόντα που συνήθως συγκρατούνται με αυτόν τον τρόπο είναι τα : Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , H^+ , NH_4^+ .

$$1 \text{ me} = 1 \text{ χιλιοϊσοδύναμο στοιχείου} = (\text{AB στοιχείου} / \text{σθένος ιόντος}) \text{ mg}$$

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται τα μεγέθη της C.E.C. των διαφόρων ορυκτών της αργίλου (ορισμένα ενδεικτικά).

Καολινίτης	3-15 me/100gr
Μοντμοριλονίτης	8-110 me/100gr
Βερμικουλίτης	120-160 me/100gr
Χλωρίτης	10-40 me/100gr
Αλλοφανή	70-100 me/100gr
Οργανική ουσία	200-500 me/100gr

(Σακελλαριάδης)

Προέλευση της ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων.

Τα ορυκτά της αργίλου και η οργανική ουσία έχουν τη δυνατότητα να προσροφούν ανιόντα και κατιόντα και να τα συγκρατούν με τη μορφή ανταλλάξιμων, όπως αναφέρθηκε. Τα ιόντα αυτά μπορούν να εναλλαχθούν με άλλα στο εδαφικό διάλυμα και η συγκεκριμένη εναλλαγή μπορεί να πραγματοποιηθεί και σε συνθήκες απουσίας ύδατος. Η ορυκτολογική σύσταση των ανόργανων κολλοειδών του εδάφους και κατά συνέπεια η ολική σε κατιόντα ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων του, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό, από την ηλικία της αργίλου και την ένταση των παραγόντων αποσάθρωσης.

Παράγοντες που επηρεάζουν την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων κατιόντων του εδάφους.

Παράγοντες που επηρεάζουν τη C.E.C. είναι:

- α. Περικτικότητα του εδάφους σε άργιλο.
- β. Ο τύπος των ορυκτών της αργίλου και η περιεκτικότητα της σε ορυκτά.
- γ. Η περιεκτικότητα του εδάφους σε χούμο.

Οι ποσότητες των ανταλλάξιμων κατιόντων που υπάρχουν στα εδάφη και διαμορφώνουν τη C.E.C. αυτών εξαρτώνται από τις εισροές και τις εκροές. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τις ποσότητες αυτές είναι:

α. Η διαλυτοποίηση των ορυκτών από τα νερά των βροχών και από τα νερά του φρεατίου ορίζονται. Η ατμοσφαιρική απόθεση, τα χημικά λιπάσματα, η ασβέστωση και τα νερά αρδεύσεως προσθέτουν σημαντικές ποσότητες ανταλλάξιμων κατιόντων στα εδάφη.

β. Η έκλυση των θρεπτικών στοιχείων θεωρείται σημαντική διαδικασία απώλειας.

γ. Η διάβρωση των εδαφών.

δ. Απώλειες από την πρόσληψη των στοιχείων από τα φυτά.

Τιμές CEC σε καλλιεργούμενα εδάφη

Τύπος εδάφους	CEC (Cmolc x Kg ⁻¹)
Αμμώδες	2-4
Αμμοπηλώδες	7-12
Πηλώδες	7-16
Ιλυοπηλώδες	9-26
Αργιλώδες	4-60

(Μήτσιος 1997)

Μέθοδοι προσδιορισμού της ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων στο εργαστήριο.

Γενική αρχή.

Το ποσό των ανταλλάξιμων κατιόντων που μπορούν να συγκρατηθούν από τη στερεή φάση εξαρτάται από το μέγεθος του αρνητικού ηλεκτρικού φορτίου των ορυκτών της αργίλου που συνθέτουν τη στερεή φάση. Το μέγεθος του αρνητικού φορτίου χαρακτηρίζει και την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων των εδαφών. Το μέγεθος αυτό μπορεί να μετρηθεί εύκολα εάν με φυγοκέντρηση αφαιρεθεί η υγρή φάση μαζί με τα κατιόντα που περιέχει και τη θέση της να πάρει

ένα διάλυμα ενός άλατος (π.χ. NH_4Cl). Τότε αυτομάτως το κατιόν NH_4^+ θα εναλλαγεί στη στερεή φάση με τα κατιόντα που συγκρατούσαν τα αρνητικά της φορτία. Η μέτρηση του αθροίσματος των κατιόντων αυτών αντιστοιχεί στο μέγεθος της ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων κατιόντων της στερεής φάσης.

Η εναλλαγή των κατιόντων γίνεται με χημικές ισοδύναμες ποσότητες, δηλαδή ένα Ca^{2+} εξουδετερώνει δύο μονάδες αρνητικού φορτίου, ενώ ένα Na^+ εξουδετερώνει ένα αρνητικό φορτίο. Γενικεύοντας τα παραπάνω γίνονται οι εξής παρατηρήσεις: Τα διάφορα εκχυλιστικά διαλύματα, που χρησιμοποιούνται περιέχουν σε περίσσεια διάφορα είδη κατιόντων τα οποία είναι σε θέση να αντικαταστήσουν τα κατιόντα που είναι προσροφημένα στο έδαφος. Η γενική αυτή αρχή εφαρμόζεται κυρίως στον προσδιορισμό του ανταλλάξιμου K και Mg. Όταν χρησιμοποιούνται τέτοιου είδους εκχειλιστικά διαλύματα τότε εκχειλίζονται τόσο τα ανταλλάξιμα κατιόντα, όσο και τα άλλα που βρίσκονται σε διαλυτή μορφή στο εδαφικό διάλυμα. Ένας μεγάλος αριθμός από διαφορετικά εκχειλιστικά διαλύματα χρησιμοποιείται σε διάφορες μεθόδους, όμως οι βασικές αρχές είναι οι ίδιες. Ο εργαστηριακός προσδιορισμός της ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων κατιόντων του εδάφους κρύβει πολλές δυσκολίες. Η ιδιαιτερότητα του κάθε εδάφους επηρεάζει σημαντικά τις διάφορες εργαστηριακές μεθόδους. Έτσι υπάρχουν διαφορετικές προσεγγίσεις για κάθε τύπο εδάφους. Είναι λογικό πως η τιμή της C.E.C. δεν είναι ανεξάρτητη από τις συνθήκες κάτω από τις οποίες γίνεται ο προσδιορισμός. Για ένα συγκεκριμένο έδαφος θα παρθούν διαφορετικά αποτελέσματα, αν χρησιμοποιηθούν διαφορετικές μέθοδοι για τον προσδιορισμό της C.E.C. (Rowell, 1985). Η ιδανική μέθοδος προσδιορισμού της C.E.C. είναι αυτή που μετρά την ικανότητα ενός εδάφους να προσροφά κατιόντα από ένα υδατικό διάλυμα ίδιου pH, ίδιας ιονικής ισχύος, διηλεκτρικής σταθεράς και σύνθεσης όμοιας με αυτήν του αγρού, αφού η C.E.C. επηρεάζεται από αυτές τις παραμέτρους (κυρίως στα τροπικά εδάφη). Είναι αρκετά δύσκολο να ορισθεί ένα μόνο διάλυμα εκχύλισης για κάθε τύπο εδάφους για τον προσδιορισμό της C.E.C. Έτσι ανάλογα με τα δεδομένα που υπάρχουν, για κάθε τύπο εδάφους, χρησιμοποιούνται μέθοδοι που είναι παγκόσμια αποδεκτοί. Γενικά όλες οι μέθοδοι μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες ως εξής:

α. Τα ανταλλάξιμα κατιόντα μπορούν να αντικατασταθούν από ένα κορεσμένο αλατούχο διάλυμα και η C.E.C. να υπολογισθεί ως άθροισμα των ανταλλάξιμων κατιόντων που αντικαταστάθηκαν. (Αθροιστική μέθοδος).

β. Όταν οι επιφάνειες εναλλαγής έχουν κορεσθεί με ένα κατιόν δείκτη, το έδαφος μπορεί να εκπλυθεί με αλατούχο διάλυμα, κορεσμένο. Η ποσότητα από το δείκτη (κατιόν) που είναι απορροφημένο από το έδαφος μπορεί αργότερα να αντικατασταθεί και να προσδιοριστεί.

γ. Πραγματοποιώντας κορεσμό του εδάφους με ένα κατιόν δείκτη, το διάλυμα μπορεί να αραιωθεί και να μαρκαριστεί με ένα ραδιενεργό ισότοπο. Η συγκέντρωση από το κατιόν δείκτη στο διάλυμα προσδιορίζεται και στη συνέχεια η κατανομή του ισότοπου μεταξύ των δύο φάσεων δίνεται από τη μέτρηση της ραδιενέργειας στο διάλυμα.

Σε όλες τις μεθόδους προσδιορισμού της C.E.C. ακολουθούνται 3 στάδια:

1. Κορεσμός των θέσεων εναλλαγής κατιόντων του εδάφους με ένα συγκεκριμένο κατιόν.
2. Μετακίνηση από τη περίσσεια του διαλύματος κορεσμού.
3. Αντικατάσταση από τα ιόντα κορεσμού.

Σφάλματα.

Η παραλλακτικότητα στα αποτελέσματα ερμηνεύεται από τις πολλές πιθανές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διαδικασιών έκπλυσης, κορεσμού και των διαφόρων συστατικών του εδάφους. Τα προβλήματα ξεκινούν από τη διάλυση του CaCO_3 ή γύψου και φτάνουν ως την παρουσία και μόνο αλάτων.

Μέθοδοι.

Παρακάτω παρατίθενται, σύντομα, οι κυριότερες μέθοδοι προσδιορισμού της ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων. Εξάλλου σκοπός της παρούσας εργασίας δεν είναι να περιγράψει αναλυτικά την κάθε μέθοδο. Άλλωστε αναλυτική περιγραφή της μεθόδου που χρησιμοποιήθηκε στο συγκεκριμένο πείραμα ακολουθεί στην αντίστοιχη παράγραφο.

α. **Μέθοδος του οξικού αμμωνίου.** (Προσδιορισμός Ολικής Χωρητικότητας Προσροφήσεως).

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται από το ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. και διάφορα εδαφολογικά εργαστήρια στην Ελλάδα.

Η ικανότητα εναλλαγής κατιόντων ενός εδάφους είναι ένα μέτρο της ικανότητας προσροφήσεως κατιόντων. Όταν το δείγμα κατεργασθεί με διάλυμα άλατος όπως $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ τα ιόντα NH_4 αντικαθιστούν τα προσροφημένα μεταλλικά κατιόντα (Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ , H^+) οπότε το μεν έδαφος γίνεται έδαφος με μόνο NH_4^+ , ενώ το διάλυμα περιέχει όλα τα ανωτέρω κατιόντα, την περίσσεια του $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ και τα διαλυμένα σε αυτό άλατα. Εκλέγεται το $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ γιατί αντικαθιστά όλα τα κατιόντα στο έδαφος, αλλά και γιατί απομακρύνεται εύκολα από τα σύμπλοκα του εδάφους. Για την απομάκρυνσή του χρησιμοποιείται το CH_3COONa . Το pH του $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ πρέπει να είναι 7 και του CH_3COONa 8,2. Αυτή η προϋπόθεση υπάρχει γιατί σε αυτά τα διαλύματα η διαλυτότητα των CaCO_3 και MgCO_3 είναι η μικρότερη δυνατή, η παρουσία δε αυτών στο εκχύλισμα επιφέρει λάθη.

β. Προσδιορισμός της ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων κατιόντων σε ξηρά άνοδρα εδάφη. (Επίσης για εδάφη που περιέχουν ασβέστιο και γύψο).

Μέθοδος Polemio and Rhoades (1977).

Η διαδικασία αυτή περιγράφεται σε δύο βήματα:

1. Επιτυγχάνεται κορεσμός των θέσεων εναλλαγής κατιόντων με Na, φέρνοντας το έδαφος σε ισορροπία, σε $\text{pH}=8,2$, 60% διάλυμα αιθανόλης με 0,4N NaOAc - 0,1N NaCl .

2. Εκχύλιση με 0,5N MgNO_3 .

Το ολικό Na και Cl προσδιορίζεται στο διήθημα, έτσι το διαλυτό Na, από την περίσσεια του διαλύματος κορεσμού, μπορεί να αφαιρεθεί από το ολικό Na, για να βρεθεί έτσι το ανταλλάξιμο Na, το οποίο ισούται με τη C.E.C..

γ. Προσδιορισμός των ανταλλάξιμων κατιόντων της C.E.C. σε ουδέτερα εδάφη. (Rowell, D.L. 1993).

Η μέθοδος περιλαμβάνει έκπλυση του εδάφους με διάλυμα οξικού αμμωνίου 1M ($\text{pH}=7$), οπότε τα ανταλλάξιμα κατιόντα που αντικαθίστανται από τα αμμωνιακά ιόντα είναι δυνατό να προσδιοριστούν. Κατά τη μέθοδο αυτή τα αρνητικά ηλεκτρικά φορτία εξουδετερώνονται με τα αμμωνιακά ιόντα και το διάλυμα του οξικού αμμωνίου παραμένει στο υγρό έδαφος. Στη συνέχεια το διάλυμα που βρίσκεται σε περίσσεια, απομακρύνεται με τη χρήση αιθανόλης. Κατόπιν ακολουθεί η απομάκρυνση του αμμωνίου από τη στερεή φάση με όξινο χλωριούχο κάλιο το οποίο

εκπλύνεται με διάλυμα $BaCl_2$, το οποίο έχει συγκέντρωση ίση με την ιονική ισχύ του εδαφικού διαλύματος. Στη συνέχεια το έδαφος υπόκειται σε αντίδραση με $MgSO_4$, για να πραγματοποιηθεί η αντικατάσταση του Ba με Mg. Η συγκέντρωση του παραγόμενου $MgSO_4$ είναι περίπου συγκρίσιμη με την ιονική ισχύ του εδαφικού διαλύματος. Η απώλεια του Mg από το αντιδραστήριο $MgSO_4$ διάλυμα, προσδιορίζεται με ανάλυση του διαλύματος ισορροπίας και είναι ίση με τη C.E.C., δηλαδή με την ποσότητα των προσροφημένων κατιόντων.

στ. Υδατικό εκχύλισμα ή μέθοδος πάστας.

Σκοπός των εργαστηριακών αναλύσεων και μεθόδων για τους διάφορους ποσοτικούς προσδιορισμούς είναι η αποφυγή σφαλμάτων, που οδηγούν σε λάθος αποτελέσματα. Ένας τρόπος για την αποφυγή τέτοιου είδους σφαλμάτων είναι η κατά το δυνατό, εργαστηριακή, προσέγγιση των συνθηκών της φύσης. Η καλή γνώση των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του εδάφους μειώνει στο ελάχιστο την πιθανότητα λάθους και οδηγεί σε μεθόδους σαφώς πιο σωστές.

Η ιδανική περίπτωση θα ήταν η απόσπαση του εδαφικού δείγματος στην κατάσταση κορεσμού και η μετέπειτα απομόνωση του εδαφικού διαλύματος, ώστε τα περιθώρια λάθους θα έπεφταν σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Επειδή όμως το παραπάνω είναι πρακτικά αδύνατο να συμβεί, γίνεται προσπάθεια να δημιουργηθεί εδαφικό διάλυμα στο εργαστήριο. Αυτό επιτυγχάνεται με την κατασκευή πάστας.

Για να δημιουργηθεί η πάστα τοποθετείται μια ορισμένη ποσότητα εδάφους σε ποτήρι ζέσεως 500 ml. Με μία προχοΐδα σιγά – σιγά και με ταυτόχρονη ανάδευση, προστίθεται απεσταγμένο νερό. Θεωρητικά το νερό της βροχής είναι απεσταγμένο ή αραιό ανθρακικό οξύ. Το σημείο κορεσμού είναι πρακτικά ζήτημα εμπειρίας να εντοπιστεί. (Ένας αποδεκτός κανόνας είναι όταν το αυλάκι που αφήνει η γυάλινη ράβδος αναδέυσεως, αρχίζει να ιδρώνει – δακρύζει. Στη συνέχεια η πάστα μένει για 24 – 48 ώρες σε περιβάλλον κορεσμένο με υγρασία ώστε να επέλθει ισορροπία στο εδαφικό δείγμα. Κατόπιν το δείγμα φυγοκεντρήται για 15 – 30 λεπτά. Το εκχύλισμα παραλαμβάνεται και αφού διηθηθεί γίνεται ο προσδιορισμός ανιόντων και κατιόντων είτε σε φλογοφωτόμετρο, είτε σε ατομική απορρόφηση, είτε σε ιοντικό χρωματογράφο.

Εργαστηριακή εργασία – υλικά – μέθοδος.

Στη συγκεκριμένη εργασία τα εδάφη που μετρήθηκαν ήταν γενικά ουδέτερα (pH=7), οπότε η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ήταν αυτή για τον προσδιορισμό της C.E.C σε ουδέτερα εδάφη. Οι εδαφοτομές των δειγμάτων ήταν βάθους 30 cm (Rowell, D.L. 1993).

Όργανα – συσκευές.

1. Φλογοφωτόμετρο.
2. Ατομική απορρόφηση.

Αντιδραστήρια.

1. Όξινο διάλυμα KCl : Διαλύονται 100gr KCl σε απεσταγμένο νερό έως 1lt. Προσθέτονται 2,5ml HCl 1M.
2. Αιθανόλη, 95% καθαρότητας.
3. Οξικό αμμώνιο 1M : Αραιώνονται 230ml παγόμορφου οξικού οξέως σε 1lt απεσταγμένο νερό. Αραιώνονται 220ml (από διάλυμα αμμωνίας περίπου 35% NH₃) σε 1lt απεσταγμένο νερό. Αναμιγνύονται τα παραπάνω διαλύματα και ρυθμίζεται το pH στο 7 με οξικό οξύ ή αμμωνία. Συμπλήρωση του όγκου στα 4ml.

Πορεία.

Ζυγίζονται 5gr ($\pm 0,01$), αεροξηραθέντος και κοσκινιθέντος σε δύο χιλιοστά, εδάφους και τοποθετούνται σε γυάλινο ποτήρι ζέσεως των 100ml. Προσθέτονται 20ml από το διάλυμα του οξικού αμμωνίου, pH=7, και αφού αναδευτεί καλά το μείγμα, αφήνεται σε ηρεμία κατά τη διάρκεια μιας νύχτας. Στη συνέχεια μεταφέρεται

σε χωνί με ηθμό Whatman No44 και συγκεντρώνεται το διήθημα σε ογκομετρική φιάλη των 250ml. Ξεπλένεται εντελώς και προσεκτικά το ποτήρι ζέσεως, που περιείχε το εδαφικό δείγμα, με οξικό αμμώνιο, το οποίο αποχύνεται στο χωνί με τον ηθμό. Γίνεται έκπλυση του εδαφικού διαλύματος με 25ml οξικού αμμωνίου, περιμένοντας κάθε φορά να αδειάσει το χωνί, να γίνει δηλαδή πλήρης διήθηση ανάμεσα σε κάθε προσθήκη 25ml οξικού αμμωνίου. Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να συγκεντρωθεί περίπου 250ml εκχύλισματος. Αυτό το εκχύλισμα χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των κατιόντων Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , και κατά προέκταση της C.E.C..

Κάτω από το χωνί, τοποθετείται ποτήρι ζέσεως 250ml. Ξεπλένεται το εσωτερικό του χωνιού, το χώμα και το διηθητικό χαρτί με 25ml αιθανόλης για το λόγο που αναφέρθηκε στη σύντομη περιγραφή της μεθόδου. Αυτή η διαδικασία ακολουθείται 5 φορές, περιμένοντας κάθε φορά το χωνί να αδειάσει καλά. Στη συνέχεια, αφού περατωθεί η έκπλυση του εδάφους με την αιθανόλη, το διάλυμα της έκπλυσης συγκεντρώνεται, αποχύνεται ή συγκεντρώνεται για απόσταξη.

Στο τελικό στάδιο αυτής της μεθόδου, τοποθετείται κάτω από το χωνί ογκομετρική φιάλη των 100ml. Γίνεται έκπλυση με 25ml από το διάλυμα του KCl, αφήνοντας και πάλι το χωνί να αδειάζει πριν από κάθε προσθήκη 25ml διαλύματος KCl. Συνεχίζεται η ίδια διαδικασία μέχρις ότου συμπληρωθεί εκχύλισμα περίπου 100ml. Αυτό το εκχύλισμα χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της C.E.C..

Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι η διαδικασία που περιλαμβάνει το διάλυμα KCl, δεν χρησιμοποιήθηκε στο συγκεκριμένο πείραμα. Ο λόγος είναι πως το εκχύλισμα που παίρνεται από το διάλυμα KCl χρησιμοποιείται για τη μέθοδο προσδιορισμού με τιτλοδότηση. Η παρούσα εργασία βασίστηκε αποκλειστικά στη χρήση φλογοφωτομέτρου και ατομικής απορρόφησης, οπότε και θα δοθεί βάση στην περιγραφή της χρήσης των δύο αυτών οργάνων.

Προσδιορισμός του ανταλλάξιμου καλίου και νατρίου.

Ως ανταλλάξιμο κάλιο ορίζεται η ποσότητα του K^+ που μπορεί να εναλλάσσεται μεταξύ υγρής και στερεής φάσης. Ο προσδιορισμός του ανταλλάξιμου καλίου (K^+) γίνεται, όπως αναφέρθηκε, στο εκχύλισμα που συγκεντρώνεται μετά την έκπλυση με οξικό αμμώνιο, $\text{pH}=7$ και χρησιμοποιώντας το φλογοφωτόμετρο.

Βαθμονόμηση του οργάνου :

Αφήνεται το όργανο σε λειτουργία για 5 – 10 λεπτά για προθέρμανση, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή (Sherwood). Κατόπιν γίνεται μία προμέτρηση του δείγματος ως εξής : Τοποθετείται το αραιότερο standard (απεσταγμένο νερό) και ρυθμίζεται η ένδειξη του οργάνου στο 0. Στη συνέχεια τοποθετείται το πυκνότερο standard, σύμφωνα πάλι με τον κατασκευαστή, και ρυθμίζεται η ένδειξη του οργάνου στο 100. Ακολουθεί η μέτρηση του δείγματος. Αν η ένδειξη του οργάνου για το δείγμα είναι μεγαλύτερη από 100, είτε τοποθετείται ένα πυκνότερο standard για τη ρύθμιση της ένδειξης 100 (αν το επιτρέπει ο κατασκευαστής, γιατί υπάρχει φόβος «μπουκώματος» του οργάνου από υπερβολικά πυκνό standard), είτε αραιώνεται το δείγμα. Κατόπιν επιλέγεται και παρασκευάζεται μία σειρά standards, με συγκεντρώσεις κατά το δυνατό κοντά στην μέτρηση του δείγματος, έτσι ώστε η καμπύλη βαθμονόμησης να είναι αξιόπιστη και να εμπεριέχει την άγνωστη τιμή του δείγματος.

Στην καμπύλη βαθμονόμησης ο άξονας y περιέχει τις τιμές των ενδείξεων του οργάνου και ο άξονας x τα ppm ανταλλάξιμου καλίου (K^+). Έτσι γνωρίζοντας την ένδειξη του οργάνου για το δείγμα (άξονας y), μέσω της καμπύλης, αντιστοιχίζεται η τιμή στον άξονα x, από όπου και παίρνεται η συγκέντρωσή του δείγματος. Η αντιστοίχιση γίνεται είτε με τη βοήθεια μιλιμετρικού χαρτιού, είτε περνώντας την καμπύλη σε ένα μαθηματικό πρόγραμμα ηλεκτρονικού υπολογιστή (π.χ. Microsoft excel), από όπου μπορεί να βρεθεί με μεγάλη ακρίβεια η εξίσωση της καμπύλης βαθμονόμησης.

Κατά την κατασκευή των standards χρησιμοποιείται ο βασικός νόμος αραιώσης της χημείας $C_1 V_1 = C_2 V_2$.

Κατά τον ίδιο τρόπο γίνεται και η μέτρηση του νατρίου Na^+ , αλλάζοντας βέβαια το φίλτρο απορρόφησης του οργάνου.

Προσδιορισμός ανταλλάξιμου ασβεστίου και μαγνησίου.

Η συνηθισμένη μέθοδος είναι αυτή της ατομικής απορρόφησης η οποία και ακολουθήθηκε στο πείραμα και αναφέρεται παρακάτω. Ο προσδιορισμός μπορεί

επίσης να γίνει με απευθείας τιτλοδότηση, ενώ ειδικά για το ασβέστιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και το φλογοφωτόμετρο, όπως προηγουμένως.

Μέθοδος ατομικής απορρόφησης :

Μεγάλος αριθμός κατιόντων μπορεί να μετρηθεί με τη βοήθεια της ατομικής απορρόφησης. Η συγκέντρωση του ασβεστίου (Ca^{++}) στο εκχύλισμα του οξικού αμμωνίου κυμαίνεται μεταξύ 10 και 250 mg/lit, που σημαίνει ότι απαιτείται αραιώση για τη μείωση της συγκέντρωσης, καθώς το εύρος συγκεντρώσεων που απαιτείται από το όργανο είναι 0 – 5 mg/lit. Το ίδιο συμβαίνει και με το μαγνήσιο (Mg^{++}), του οποίου οι συγκεντρώσεις είναι 2 – 50 mg/lit.

Τα standards του ασβεστίου παρασκευάζονται με διάλυση γλωριούχου ασβεστίου σε απεσταγμένο νερό, εύρους 0 – 5 mg/lit για τη βαθμονόμηση του οργάνου (ανάλογα παρασκευάζονται και τα standards του μαγνησίου). Στη συνέχεια παρασκευάζεται διάλυμα γλωριούχου λανθανίου, με τη διάλυση 2,68gr $\text{CaCl}_2 \times 7\text{H}_2\text{O}$ σε απεσταγμένο νερό. Συμπληρώνεται ο όγκος ως τα 100ml. Η διαδικασία συνεχίζεται ως εξής : Σε κάθε 20ml από κάθε standard και εκχυλιστικό διάλυμα προστίθεται 1ml διαλύματος γλωριούχου λανθανίου και όλα ανακατεύονται καλά ώστε να επιτευχθεί καλή ομογενοποίηση του διαλύματος πριν από τη μέτρηση στην ατομική απορρόφηση.

Υπολογισμοί.

Αν μετράται για παράδειγμα το νάτριο και η τιμή που υπάρχει γι' αυτό είναι b ppm ή b mg/1Kgr εδάφους, από την απλή μέθοδο των τριών :

$$\begin{aligned} 1 \text{ greq Na} &= 23\text{gr} && (\text{AB Na} = 23) \\ 1 \text{ mec Na} &= 23\text{mgr} \\ x &= b/23 \text{ meq/Kgr}_{\text{εδάφους}} \\ &\text{ή} \\ x &= b/230 \text{ meq/100 gr}_{\text{εδάφους}} \end{aligned}$$

Στους παραπάνω υπολογισμούς πρέπει να δοθεί προσοχή στα στοιχεία ασβέστιο και μαγνήσιο γιατί είναι δισθενή οπότε :

Στο μαγνήσιο για παράδειγμα

$$1 \text{ grec Mg} = 24,3 / 2 = 12,5 \text{ gr} \quad (\text{AB Mg} = 24,3)$$

Η C.E.C. υπολογίζεται εύκολα από τις τιμές των επιμέρους στοιχείων χρησιμοποιώντας τη σχέση :

$$\text{C.E.C.} = \text{K} + \text{Na} + \text{Ca} + \text{Mg} \quad \text{meq/100gr}_{\text{εδάφους}}$$

Αποτελέσματα – συζήτηση.

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων των δειγμάτων εδάφους καθώς επίσης το pH, η μηχανική τους σύσταση και η περιοχή από όπου προέρχεται το κάθε δείγμα παρουσιάζονται στους πίνακες 1 και 2 του παραρτήματος.

Η τιμή του pH των εδαφικών δειγμάτων ανήλθε από 7 έως 8.

Μετά από τη μελέτη των πινάκων 1 και 2 διαπιστώνεται ότι οι τιμές συγκέντρωσης του ανταλλάξιμου νατρίου κυμάνθηκαν από $0,1 \text{ meq}100^{-1} \text{ gr}$ ξηρού εδάφους μέχρι $16 \text{ meq}100^{-1} \text{ gr}$ ξηρού εδάφους (μέση τιμή $2,23 \text{ meq}100^{-1} \text{ gr}$ ξηρού εδάφους). Η ελάχιστη μετρηθείσα τιμή συγκέντρωσης του ανταλλάξιμου ασβεστίου ήταν $2,4 \text{ meq}100^{-1} \text{ gr}$ ξηρού εδάφους, η μέγιστη $49,3 \text{ meq}100^{-1} \text{ gr}$ ξηρού εδάφους και η μέση τιμή $34,7 \text{ meq}100^{-1} \text{ gr}$ ξηρού εδάφους. Οι τιμές συγκέντρωσης του ανταλλάξιμου μαγνησίου κυμάνθηκαν από $0,8 \text{ meq}100^{-1} \text{ gr}$ ξηρού εδάφους μέχρι $22,5 \text{ meq}100^{-1} \text{ gr}$ ξηρού εδάφους (μέση τιμή $5,82 \text{ meq}100^{-1} \text{ gr}$ ξηρού εδάφους). Το ανταλλάξιμο κάλιο προσδιορίστηκε σε συγκεντρώσεις που οι τιμές τους κυμάνθηκαν από $0,2 \text{ meq}100^{-1} \text{ gr}$ ξηρού εδάφους μέχρι $2,4 \text{ meq}100^{-1} \text{ gr}$ ξηρού εδάφους (μέση τιμή $0,71 \text{ meq}100^{-1} \text{ gr}$ ξηρού εδάφους). Η ελάχιστη τιμή της CEC ήταν $4 \text{ meq}100^{-1} \text{ gr}$ ξηρού εδάφους, η μέγιστη $82 \text{ meq}100^{-1} \text{ gr}$ ξηρού εδάφους και η μέση τιμή $43,35 \text{ meq}100^{-1} \text{ gr}$ ξηρού εδάφους. Το ποσοστό επί τοις εκατό του ανταλλάξιμου νατρίου (ESP) στο έδαφος κυμάνθηκε από 0,2 % μέχρι 21,8 % με μέση τιμή 5,91 %. Γίνεται φανερό πως τα εδαφικά δείγματα από τις περιοχές Ελικοδρόμιο και Μεγάλη Πέτρα, παρουσιάζουν, στην πλειοψηφία τους, τις μεγαλύτερες τιμές C.E.C. και Ec. Επίσης οι ίδιες περιοχές παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες τιμές ανταλλάξιμου Na. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι και τα περισσότερα από τα υπόλοιπα δείγματα παρουσιάζουν υψηλές τιμές συγκέντρωσης νατρίου και Ec. Οι υψηλές αυτές τιμές του νατρίου και Ec είναι άλλωστε αναμενόμενες αφού τα συγκεκριμένα εδάφη αποτελούσαν τον πυθμένα ή τις παράκτιες περιοχές της πρώην λίμνης Κάρλας.

Τα εδάφη της περιοχής μελέτης κατατάχθηκαν σύμφωνα με το βαθμό αλατότητας και το βαθμό αλκαλίωσης με νάτριο (ESP). Η κατάταξη έγινε σύμφωνα με τις τιμές του pH, της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και το ποσοστό του ανταλλάξιμου νατρίου των εδαφών. Ο ερευνητής Richards (1960) καθόρισε αρχικά τις τιμές αυτών των ιδιοτήτων. Ο ερευνητής Μήτσιος (1999) όρισε την τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας 2 dS m^{-1} ως όριο για τον χαρακτηρισμό των εδαφών ως αλατούχα. Οι

ερευνητές Γεράκης (2000), (Μήτσιος και Γάτσιος 2000) και Φλωράς (2000) αναφέρουν την ίδια τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Σύμφωνα με τα ανωτέρω τα εδάφη της περιοχής μελέτης κατατάσσονται ως εξής :

Εδάφη κανονικά με $EC < 2 \text{ dS m}^{-1}$ και $ESP < 15$, χαρακτηρίστηκε το 84% των εδαφών της περιοχής μελέτης.

Εδάφη αλατούχα με $EC > 2 \text{ dS m}^{-1}$, $ESP < 15$ και $pH < 8,5$, χαρακτηρίστηκε το 6% των εδαφών της περιοχής μελέτης.

Εδάφη αλατούχα- νατριωμένα με $EC > 2 \text{ dS m}^{-1}$, $ESP > 15$ και $pH < 8,5$, χαρακτηρίστηκε το 2% των εδαφών της περιοχής μελέτης.

Εδάφη μη αλατούχα- νατριωμένα με $EC < 2 \text{ dS m}^{-1}$, $ESP > 15$ και $pH = 8,5-10$, χαρακτηρίστηκε το 8% των εδαφών της περιοχής μελέτης.

Τα εδάφη που χαρακτηρίστηκαν κανονικά βρίσκονται στην περιοχή του Βελεστίνου, της Βιομηχανικής Ζώνης και στην περιοχή του οικισμού των Καναλιών. Όλα τα υπόλοιπα εδάφη βρίσκονται στην περιοχή της πρώην λίμνης Κάρλας. Οι ερευνητές Νικολαΐδης (1982), Τζιώλας (1990), Ζαλίδης (1995), Γάτσιος (1996), (Μήτσιος και Γάτσιος, 2000) και (Μήτσιος, Γάτσιος και Φλωράς, 2000) αναφέρουν ότι στην περιοχή της πρώην λίμνης Κάρλας υπάρχουν περιοχές που χαρακτηρίζονται από την ύπαρξη αλατούχων και αλκαλιωμένων με νάτριο εδαφών.

Οι περιοχές αυτές βρίσκονται στα χαμηλότερα σημεία μιας ευρύτερης λεκάνης. Τα εδάφη της περιοχής εξαιτίας του μεγάλου ποσοστού σε άργιλο, παρουσιάζουν μικρή διαπερατότητα με αποτέλεσμα τα νερά στα εδάφη αυτά να μη διηθούνται σχετικά γρήγορα. Στα εδάφη αυτά εξαιτίας της εξάτμισης επέρχεται συμπύκνωση του εδαφικού διαλύματος και απόθεση των αλάτων στην εδαφική κατατομή (Μήτσιος, 1999). Οι λανθασμένες καλλιεργητικές πρακτικές των εδαφών αυτών, η άρδευση των καλλιεργειών με ύδατα υψηλής συγκέντρωσης σε νάτριο και η κακή στράγγιση ήταν οι λόγοι που τα εδάφη της περιοχής αυτής καθίστανται αλατούχα και στη συνέχεια αλκαλιωμένα με νάτριο.

Το γεγονός των υψηλών συγκεντρώσεων νατρίου σε γενικές γραμμές οφείλεται στο εξής. Τα εδάφη αυτά μετά την αποξήρανση της λίμνης ήταν εξαιρετικά εύφορα και οπωσδήποτε έδωσαν μια λύση στο πρόβλημα της επάρκειας καλλιεργούμενης γης της εποχής. Με την πάροδο των χρόνων όμως, τη συνεχή και εντατική καλλιέργεια των εδαφών και την επίδραση της επιφανειακής διάβρωσης των περιοχών (λόγο ελλειπών για την εποχή μέτρων αντιμετώπισης της), τα ανώτερα εύφορα στρώματα

του εδάφους απομακρύνθηκαν ή εξαντλήθηκαν και τη θέση τους πήραν τα κατώτερα στρώματα τα οποία, όπως ήταν φυσικό λόγω της ύπαρξης της λίμνης, ήταν εντελώς ακατάλληλα για καλλιέργεια.

Εκτός των παραπάνω οι περιοχές αυτές έχουν να αντιμετωπίσουν ένα επιπλέον πρόβλημα. Με την αποξήρανση της λίμνης και την όχι επαρκή μελέτη και δημιουργία ταμιευτήρων νερού, η έλλειψη του τελευταίου είναι ζωτικής για την περιοχή, σημασίας πρόβλημα, με τον κίνδυνο της ερμιμοποίησης άμεσα ορατό.

Τέλος η αποκατάσταση της περιοχής παρουσιάζει ένα μάλλον μεγάλο οικονομικό και οικολογικό δίλημμα. Ποια θα ήταν η καλύτερη οικονομικοοικολογική λύση; Η αποκατάσταση, ως ένα σημείο, της λίμνης ή η βελτίωση των εδαφών ώστε να γίνουν κατάλληλα για την υποστήριξη καλλιεργειών._

Παράρτημα.

Χημικές ιδιότητες και συγκεντρώσεις των ανταλλάξιμων κατιόντων

Παράμετρος μέτρησης	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση
pH	5,6	8,4	7,7	0,38
EC (mS cm ⁻¹)	0,07	4,8	0,9	0,93
CEC (meq / 100 gr ξηρού εδάφους)	4	82	43,35	18,2
ESP	0,2	21,8	3,5	5,91
Na (meq / 100 gr ξηρού εδάφους)	0,1	16	2,23	4,14
Ca (meq / 100 gr ξηρού εδάφους)	2,4	49,3	34,7	13,29
Mg (meq / 100 gr ξηρού εδάφους)	0,8	22,5	5,82	4,14
K (meq / 100 gr ξηρού εδάφους)	0,2	2,4	0,71	0,42

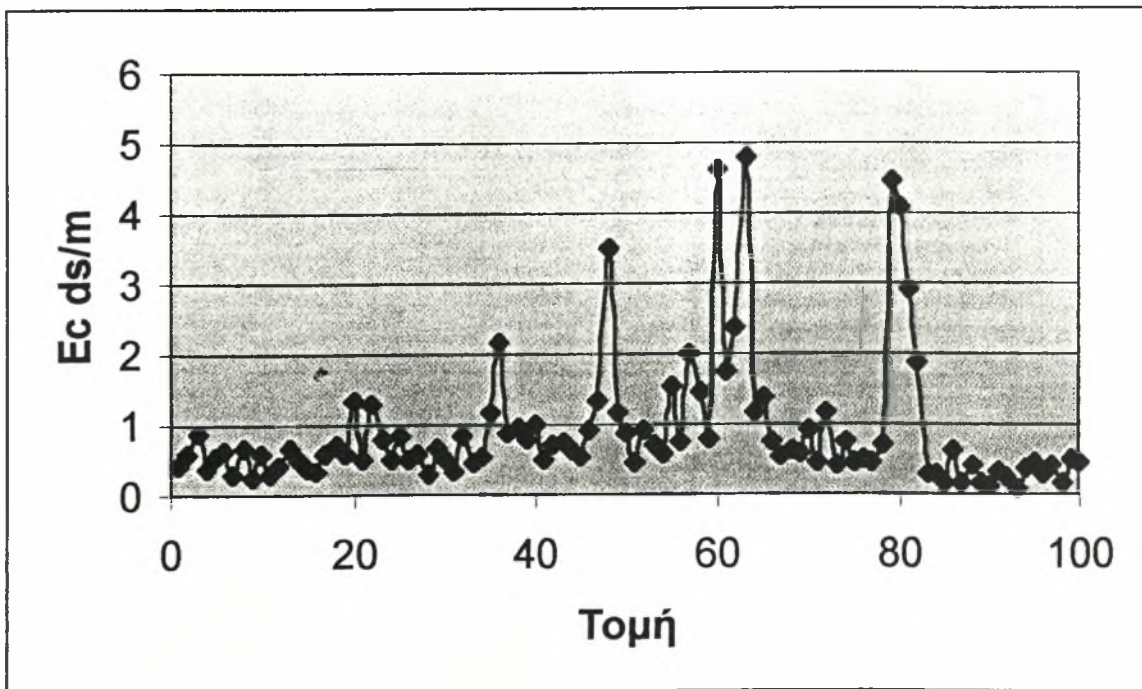
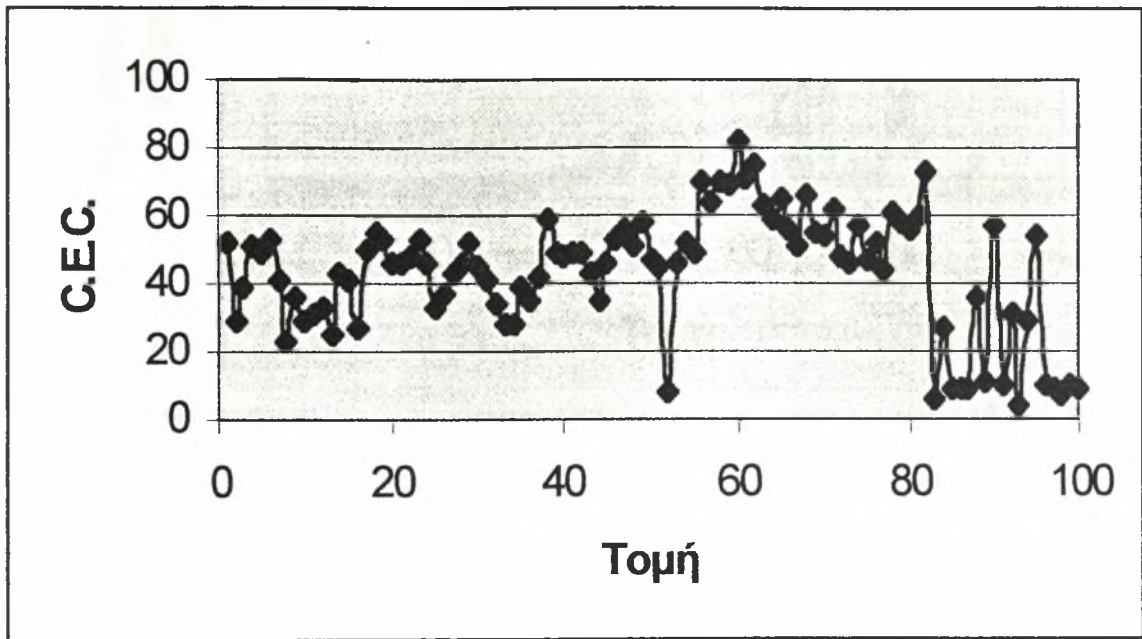
Τομή (Τ)	Νομός	Περιοχή	Άμμος	Ιλύς	Άργιλος	Υφή
1	Μαγνησίας	Βιομ. Ζώνη	56.2	14.36	29.44	SCL
2	Μαγνησίας	Βιομ. Ζώνη	52.16	18.42	29.42	SCL
3	Μαγνησίας	Βιομ. Ζώνη	49.12	12	38.88	SC
4	Μαγνησίας	Βιομ. Ζώνη	57.84	14.72	27.44	SCL
5	Μαγνησίας	Βιομ. Ζώνη	58.56	15.28	26.16	SCL
6	Μαγνησίας	Βιομ. Ζώνη	56.56	14	29.44	SCL
7	Μαγνησίας	Βιομ. Ζώνη	70.2	14	15.8	SL
8	Μαγνησίας	Βιομ. Ζώνη	60.2	19.64	20.16	SCL
9	Μαγνησίας	Αγ. Γεώργιος	65.84	26.28	17.88	SL
10	Μαγνησίας	Αγ. Γεώργιος	64.2	15.6	20.2	SCL
11	Μαγνησίας	Αγ. Γεώργιος	68.2	15.76	16.04	SL
12	Μαγνησίας	Αγ. Γεώργιος	58.56	16	15.44	SCL
13	Μαγνησίας	Αγ. Γεώργιος	54.41	17.43	28.16	SCL
14	Μαγνησίας	Αγ. Γεώργιος	59.78	13.34	26.88	SCL
15	Μαγνησίας	Αγ. Γεώργιος	61.48	14.64	23.88	SCL
16	Μαγνησίας	Αγ. Γεώργιος	53.2	17.52	29.28	SCL
17	Μαγνησίας	Αγ. Γεώργιος	63.2	13.92	22.88	SCL
18	Μαγνησίας	Αγ. Γεώργιος	64.56	10	25.44	SCL
19	Μαγνησίας	Αγ. Γεώργιος	65.12	13.8	21.08	SCL
20	Μαγνησίας	Αγ. Γεώργιος	62.4	15.16	22.44	SCL
21	Μαγνησίας	Αγ. Γεώργιος	57.84	17.64	24.52	SCL
22	Μαγνησίας	Αγ. Γεώργιος	68.48	9.64	21.88	SCL
23	Μαγνησίας	Αγ. Γεώργιος	61.12	17.6	21.28	SCL
24	Μαγνησίας	Αγ. Γεώργιος	66.2	14.36	19.44	SL
25	Μαγνησίας	Αγ. Γεώργιος	49.5	23.06	27.44	SCL
26	Μαγνησίας	Αγ. Γεώργιος	57.84	20.72	21.44	SCL
27	Μαγνησίας	Αγ. Γεώργιος	62.4	15.76	21.84	SCL
28	Μαγνησίας	Αγ. Γεώργιος	72.4	9.64	16.16	SL
29	Μαγνησίας	Αγ. Γεώργιος	60.24	19.2	20.56	SCL
30	Μαγνησίας	Αγ. Γεώργιος	60.4	16.16	23.44	SCL
31	Μαγνησίας	Αγ. Γεώργιος	62.56	19.4	18.04	SL
32	Μαγνησίας	Αγ. Γεώργιος	49.78	21.34	28.88	SCL
33	Μαγνησίας	Αγ. Γεώργιος	50.84	20.25	28.91	SCL
34	Μαγνησίας	Αγ. Γεώργιος	53.48	17.63	28.89	SCL
35	Μαγνησίας	Ριζόμυλος	47.28	19.24	33.28	SCL
36	Μαγνησίας	Ριζόμυλος	47.84	19.28	32.88	SCL
37	Μαγνησίας	Ριζόμυλος	52.84	24	23.16	SCL
38	Μαγνησίας	Ριζόμυλος	50.2	12.92	36.88	SC
39	Μαγνησίας	Ριζόμυλος	52.18	22.68	25.14	SCL
40	Μαγνησίας	Έξοδος τούνελ	48.56	21.96	29.48	SCL
41	Μαγνησίας	Έξοδος τούνελ	49.84	19.28	30.88	SCL
42	Μαγνησίας	Έξοδος τούνελ	51.48	19.64	28.88	SCL
43	Μαγνησίας	Έξοδος τούνελ	55.5	21.06	23.44	SCL
44	Μαγνησίας	Έξοδος τούνελ	56.72	24.36	18.92	SL
45	Μαγνησίας	Έξοδος τούνελ	51.48	30	18.52	SL
46	Μαγνησίας	Κανάλια	47.12	18	34.88	SC
47	Μαγνησίας	Κανάλια	48.2	26	25.8	SCL
48	Μαγνησίας	Κανάλια	51.84	17.28	30.88	SCL
49	Μαγνησίας	Κανάλια	51.48	18	30.52	SCL
50	Μαγνησίας	Κανάλια	53.84	23.6	22.56	SCL

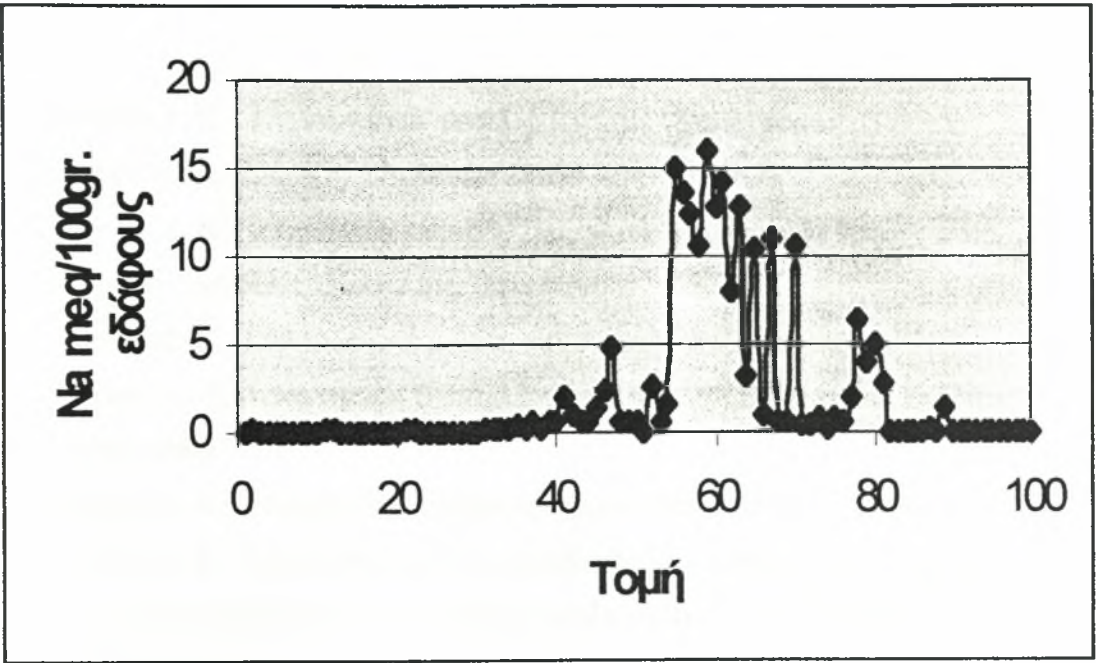
51	Μαγνησίας	Κανάλια	52.72	21.2	26.08	SCL
52	Μαγνησίας	Κανάλια	51.12	16.25	32.88	SCL
53	Μαγνησίας	Κανάλια	54.2	25.64	20.16	SCL
54	Μαγνησίας	Κανάλια	54.48	14.64	30.88	SCL
55	Μαγνησίας	Κανάλια	49.8	14.32	35.88	SC
56	Μαγνησίας	Ελικοδρόμιο	46.2	22	31.8	SCL
57	Μαγνησίας	Ελικοδρόμιο	37.12	34.01	28.87	SCL
58	Μαγνησίας	Ελικοδρόμιο	44.88	15.24	39.88	SC
59	Μαγνησίας	Ελικοδρόμιο	47.48	14	38.52	SC
60	Μαγνησίας	Ελικοδρόμιο	47.8	9.32	42.88	SC
61	Μαγνησίας	Ελικοδρόμιο	46.12	10.97	42.91	SC
62	Μαγνησίας	Ελικοδρόμιο	45.18	13.94	40.88	C
63	Μαγνησίας	Ελικοδρόμιο	44.2	14.94	40.86	C
64	Μαγνησίας	Ελικοδρόμιο	49.72	15.2	35.08	SC
65	Μαγνησίας	Ελικοδρόμιο	48.48	14	37.52	SC
66	Μαγνησίας	Στεφανοβίκειο	49.48	17.6	32.92	SCL
67	Μαγνησίας	Στεφανοβίκειο	54.2	14.64	31.16	SCL
68	Μαγνησίας	Στεφανοβίκειο	51.48	19.6	28.92	SCL
69	Μαγνησίας	Στεφανοβίκειο	55.48	14	30.52	SCL
70	Μαγνησίας	Στεφανοβίκειο	53.84	16.4	29.76	SCL
71	Μαγνησίας	Στεφανοβίκειο	53.2	18.64	28.16	SCL
72	Μαγνησίας	Μεγάλη Πέτρα	57.84	18	24.16	SCL
73	Μαγνησίας	Μεγάλη Πέτρα	57.48	20.36	22.16	SCL
74	Μαγνησίας	Μεγάλη Πέτρα	51.84	18	30.16	SCL
75	Μαγνησίας	Μεγάλη Πέτρα	51.84	16	32.16	SCL
76	Μαγνησίας	Μεγάλη Πέτρα	51.84	22	26.16	SCL
77	Μαγνησίας	Μεγάλη Πέτρα	55.48	18	26.52	SCL
78	Λάρισας	Μεγάλη Πέτρα	49.84	9.6	40.56	SC
79	Λάρισας	Μεγάλη Πέτρα	50	8.72	41.28	SC
80	Λάρισας	Μεγάλη Πέτρα	45.84	11.6	42.56	SC
81	Λάρισας	Μεγάλη Πέτρα	51.84	10	38.16	SC
82	Λάρισας	Μεγάλη Πέτρα	45.84	22	32.16	SCL
83	Μαγνησίας	Κανάλια	68.48	17	14.52	SL
84	Μαγνησίας	Κανάλια	63.84	20.28	15.88	SL
85	Μαγνησίας	Κανάλια	71.84	12.64	15.52	SL
86	Μαγνησίας	Κανάλια	74.48	13	12.52	SL
87	Μαγνησίας	Κανάλια	71.48	16.04	12.48	SL
88	Μαγνησίας	Κανάλια	53.48	25.04	21.48	SCL
89	Μαγνησίας	Κανάλια	71.5	15.98	12.52	SL
90	Μαγνησίας	Κανάλια	71.84	13.64	14.52	SL
91	Μαγνησίας	Κανάλια	73.84	13.28	12.88	SL
92	Μαγνησίας	Κανάλια	73.2	9.92	16.88	SL
93	Μαγνησίας	Κανάλια	80.84	6.64	12.52	LS
94	Μαγνησίας	Κανάλια	75.48	10	14.52	SL
95	Μαγνησίας	Κανάλια	49.48	23.64	26.88	SCL
96	Μαγνησίας	Κανάλια	79.2	7.32	13.48	SL
97	Μαγνησίας	Κανάλια	81.84	6.4	11.76	LS
98	Μαγνησίας	Κανάλια	81.84	8	10.16	LS
99	Μαγνησίας	Κανάλια	77.48	10.36	12.16	SL
100	Μαγνησίας	Κανάλια	75.84	13.28	10.88	SL

Πίνακας 1.

Τομή (T)	Νομός	Περιοχή	ph	Ec ds/m	Na meq/100gr. έξιδφους	Ca meq/100gr. έξιδφους	Mg meq/100gr. έξιδφους	K meq/100gr. έξιδφους	Cec	ESP
	1Μαγνησίας	Βιομ. Ζύμη	7,7	0,43	0,1	47,2	3,6	1,3	52,2	0,2
	2Μαγνησίας	Βιομ. Ζύμη	7,7	0,6	0,1	23,5	4,5	0,8	28,9	0,35
	3Μαγνησίας	Βιομ. Ζύμη	7,1	0,86	0,3	29,2	7,6	2,4	39,5	0,76
	4Μαγνησίας	Βιομ. Ζύμη	7,7	0,36	0,1	47,4	2,9	0,8	51,2	0,2
	5Μαγνησίας	Βιομ. Ζύμη	7,6	0,56	0,1	46	2,5	0,8	49,4	0,2
	6Μαγνησίας	Βιομ. Ζύμη	7,7	0,63	0,1	49,1	2,9	1	53,1	0,2
	7Μαγνησίας	Βιομ. Ζύμη	7,7	0,3	0,1	39,7	0,9	0,6	41,3	0,2
	8Μαγνησίας	Βιομ. Ζύμη	7,6	0,67	0,1	19,6	2,9	0,7	23,3	0,43
	9Μαγνησίας	Αγ. Γεώργιος	7,8	0,27	0,1	32,4	3,7	0,3	36,5	0,27
	10Μαγνησίας	Αγ. Γεώργιος	7,7	0,57	0,1	26,1	2,1	0,4	28,7	0,34
	11Μαγνησίας	Αγ. Γεώργιος	7,9	0,3	0,1	39,5	1,3	0,3	31,1	0,1
	12Μαγνησίας	Αγ. Γεώργιος	7,8	0,4	0,2	27,9	4,6	0,5	33,2	0,6
	13Μαγνησίας	Αγ. Γεώργιος	7,6	0,68	0,2	19	5,2	0,8	25,2	0,8
	14Μαγνησίας	Αγ. Γεώργιος	7,7	0,52	0,1	37,5	5	0,9	43,5	0,23
	15Μαγνησίας	Αγ. Γεώργιος	7,8	0,38	0,1	34,9	5,7	0,5	41,2	0,24
	16Μαγνησίας	Αγ. Γεώργιος	7,7	0,35	0,1	21	5,4	0,9	27,4	0,4
	17Μαγνησίας	Αγ. Γεώργιος	7,6	0,6	0,1	45	4,2	0,4	49,7	0,2
	18Μαγνησίας	Αγ. Γεώργιος	7,8	0,7	0,1	49,3	5,3	0,7	55,4	0,2
	19Μαγνησίας	Αγ. Γεώργιος	7,9	0,57	0,1	48,1	4,4	0,5	53,1	0,2
	20Μαγνησίας	Αγ. Γεώργιος	7,6	1,35	0,1	41,1	4,3	0,7	46,2	0,22
	21Μαγνησίας	Αγ. Γεώργιος	7,7	0,52	0,1	40,4	4,8	0,3	45,6	0,22
	22Μαγνησίας	Αγ. Γεώργιος	7,5	1,3	0,2	41,9	5,7	0,6	48,4	0,41
	23Μαγνησίας	Αγ. Γεώργιος	7,7	0,78	0,2	47,8	5,1	0,3	53,4	0,4
	24Μαγνησίας	Αγ. Γεώργιος	7,9	0,5	0,1	40,6	5,4	0,2	46,3	0,21
	25Μαγνησίας	Αγ. Γεώργιος	7,6	0,83	0,1	26,6	5,7	0,9	33,3	0,3
	26Μαγνησίας	Αγ. Γεώργιος	7,8	0,51	0,1	31,1	5,5	0,6	37,3	0,27
	27Μαγνησίας	Αγ. Γεώργιος	7,8	0,58	0,1	38,3	4,3	0,4	43,1	0,23
	28Μαγνησίας	Αγ. Γεώργιος	8	0,3	0,1	40,6	5,3	0,3	46,3	0,21

Παρακάτω παρατίθενται τα γραφήματα των C.E.C., Ec και της συγκέντρωσης Na (meq/100gr. εδάφους) σε συνάρτηση με τον αύξοντα αριθμό της τομής, ώστε να υπάρξει μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα της κατάστασης των εδαφών στην περιοχή της κάθε τομής.







Βιβλιογραφία.

Μήτσιος Ι. Κ. Αλατούχα και αλκαλιωμένα (με νάτριο) εδάφη. Ποιοτική κατάταξη των νερών άρδευσης. Εκδόσεις Zymel Αθήνα 1996.

Μήτσιος Ι. Κ. Γονιμότητα εδαφών, λιπάσματα και στοιχεία θρέψης φυτών. Πανεπιστημιακές εκδόσεις Θεσσαλίας, Βόλος 2000.

Μήτσιος Ι. Κ. Εδαφολογική μελέτη και εδαφολογικός χάρτης του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στην περιοχή Βελεστίνου. Εκδόσεις Zymel, Αθήνα 2000.

Μήτσιος Ι. Κ. Εδαφολογία. Εκδόσεις Zymel, Αθήνα 1999, 2η Έκδοση.

Μήτσιος Ι. Κ. Σημειώσεις από τις παραδόσεις του μαθήματος : Ρύπανση εδαφών – Βελτίωση και διαχείριση προβληματικών εδαφών, από **Δρ. Ανθούλα Θ. Δημήρκου**, Βόλος 2000.

Μήτσιος Ι. Κ. Σημειώσεις από τις παραδόσεις του μαθήματος : Γένεση, Ταξινόμηση και Χαρτογράφηση Εδαφών, από **Δρ. Σίδερη Π. Θεοχαρόπουλο**, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Θεσσαλίας, Βόλος 2000.

Soil Survey Staff (1975). Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Soil conservation Service, USDA. Agr. Handbook No 436. Washington, D. C. 20402. USA.