



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

K	19
POTASSIUM	
39.10	0.86
63.3	759

Na	11
SODIUM	
22.99	0.97
97.8	883

<<Μελέτη των επιπέδων ανταλλάξιμου Καλίου και Νατρίου σε γεωργικά εδάφη της περιοχής Αλμυρού Ν. Μαγνησίας. Απεικόνιση της χωρικής παραλλακτικότητας των στοιχείων αυτών σε επιλεγμένες περιοχές της μελέτης>>

Σκαμαγκούλης Γιώργος



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

Αριθ. Εισ.: 7080/1
Ημερ. Εισ.: 10-04-2009
Δωρεά: Συγγραφέας
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ - ΦΠΑΠ
2008
ΣΚΑ

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ
ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΑΣ**

ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ : ΣΚΑΜΑΓΚΟΥΛΗΣ ΓΙΩΡΓΟΣ

**<<ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΑΝΤΑΛΛΑΞΙΜΟΥ ΚΑΛΙΟΥ ΚΑΙ
ΝΑΤΡΙΟΥ ΣΕ ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΕΔΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΛΜΥΡΟΥ Ν.
ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ.
ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΠΑΡΑΛΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ
ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΑΥΤΩΝ ΣΕ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΗΣ
ΜΕΛΕΤΗΣ>>**

Η τριμελής επιτροπή αποτελείται από τους :

**Α. Δημήρκου, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Πανεπιστημίου Θεσσαλίας,
Επιβλέπουσα Καθηγήτρια**

Δρ. Στ. Φλωράς, μέλος Συμβουλευτικής Επιτροπής, Διδάσκων με Π.Δ. 407/80

**Δρ. Γκόλια Ε.Ε., μέλος Συμβουλευτικής Επιτροπής, Διδάσκουσα με Π.Δ.
407/80**

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θεωρώ υποχρέωση μου να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα Καθηγήτριά μου Α Δημήρκου, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος και διευθύντρια του Εργαστηρίου Εδαφολογίας για την πολύτιμη βοήθεια και αμέριστη συμπαράσταση κατά τη διάρκεια των σπουδών μου. Η συμβολή της υπήρξε καθοριστική στη συγγραφή της και επιτυχή ολοκλήρωση της παρούσας προπτυχιακής διατριβής.

Θερμά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Σταμάτη Φλωρά, μέλος Συμβουλευτικής Επιτροπής, Διδάσκων με Π.Δ 407/80 για την πολύτιμη και ουσιαστική βοήθεια που μου παρείχε όλα αυτά χρόνια με τη διδασκαλία και εκπαίδευση στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών καθώς και για τις σημαντικές διορθώσεις και επισημάνσεις που ήταν απαραίτητες για την ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής. Επίσης, η παρούσα διατριβή θα ήταν ανέφικτη χωρίς την συνδρομή του Δρ. Σταμάτη Φλωρά κατά την διαδικασία της λήψης των εδαφικών δειγμάτων.

Επίσης θα ήθελα να απευθύνω τις ευχαριστίες μου στον διευθυντή της Marathon Data κ. Α. Κοντό για την ευγενική προσφορά του προγράμματος ArcGIS v. 9.1.

Θεωρώ υποχρέωσή μου να ευχαριστήσω θερμά την Δρ. Ευαγγελία Γκόλια, μέλος Συμβουλευτικής Επιτροπής, Διδάσκουσα με Π.Δ. 407/80 που μου συμπαραστάθηκε και ήταν δίπλα μου σε όλη την διάρκεια των σπουδών μου και με τις χρήσιμες συμβουλές, μου παρείχε πολύτιμη βοήθεια.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε σύνολο 251 εδαφικών δειγμάτων που παρελήφθησαν από την περιοχή του Αλμυρού του Νομού Μαγνησίας έγινε προσδιορισμός της συγκέντρωσης του ανταλλάξιμου Καλίου και Νατρίου. Τα εδαφικά δείγματα αεροξηράνθηκαν λειοτριβήθηκαν και διήλθαν από κόσκινο διαμέτρου 2mm. Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης των στοιχείων έγινε με τη χρήση φλογοτοφωτομέτρου Sherwood 100, μετά από εκχύλιση με διάλυμα $\text{CH}_3\text{COONH}_4$

Στη συνέχεια τα στοιχεία των συγκεντρώσεων περάστηκαν σε βάση δεδομένων του προγράμματος ArcGIS v 9.1 και πραγματοποιήθηκε γεωστατιστική ανάλυση και ανάλυση των δεδομένων βάση μοντέλων του προγράμματος. Τα αποτελέσματα απεικονίστηκαν σε θεματικούς χάρτες όπου δείχνεται η χωρική παραλλακτικότητα του ανταλλάξιμου Καλίου και Νατρίου στην περιοχή του Αλμυρού.

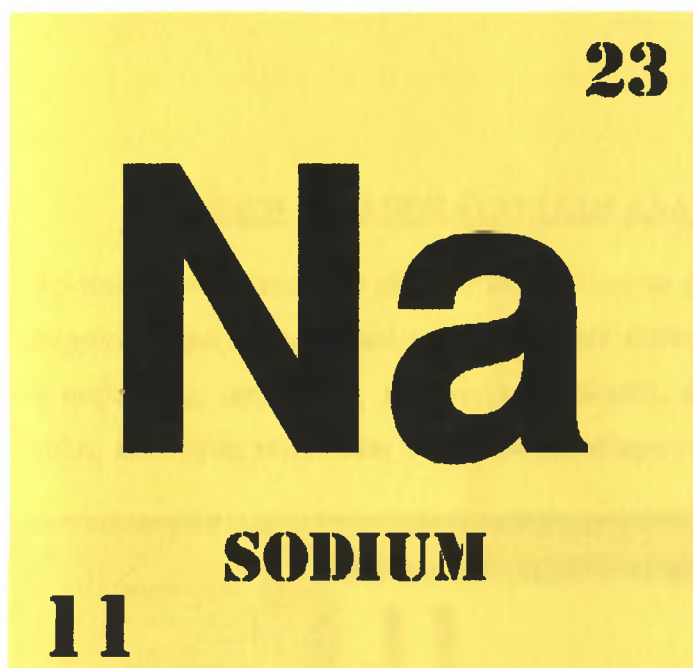
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο - Μέθοδοι βελτίωσης και αποκατάστασης αλατούχων και νατριωμένων εδαφών	Σελ. 1
Εισαγωγή	1
Βελτίωση και αποκατάσταση αλατούχων εδαφών	2
Βελτίωση και αποκατάσταση αλκαλιωμένων εδαφών	3
Διαθέσιμο Κάλιο	6
Διαθεσιμότητα του καλίου	8
Διαθέσιμο-Ανταλλάξιμο Κάλιο	9
Η μέτρηση του διαθέσιμου καλίου	11
Εκχύλιση του εδάφους με χημικές ενώσεις	11
Η κίνηση του καλίου προς τη ρίζα	14
Κίνηση του καλίου στη ριζόσφαιρα	16
Πειραματικές μαρτυρίες ότι η διάχυση επιδρά περιοριστικά στην πρόσληψη του καλίου από τα φυτά	17
Διάχυση του ανταλλάξιμου καλίου: Εξίσωση του Baldwin	18
Διάχυση του ανταλλάξιμου καλίου και αποδέσμευση του μη ανταλλάξιμου καλίου	19
Εκχύλιση του διαθέσιμου καλίου, με εκχυλιστικά διαλύματα	20
Δείκτες διαθεσιμότητας καλίου	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο - Δειγματοληψία και εργαστηριακές αναλύσεις	25
Δειγματοληψία	25
Εργαστηριακές αναλύσεις των εδαφικών δειγμάτων	27
Προσδιορισμός του pH	27
Προσδιορισμός της ηλεκτρικής αγωγιμότητας E.C. (Electrical Conductivity)	28
Προσδιορισμός της οργανικής ουσίας	29
Στατιστική Επεξεργασία Αποτελεσμάτων	30
Εφαρμογή της τηλεπισκόπησης	31
Ψηφιακοί θεματικοί χάρτες	31
Προσδιορισμός λαθών από την ψηφιοποίηση	32
Σύστημα προβολής χαρτών	33
Εφαρμογή του ArcGIS 9.1 Desktop	34
ArcGIS Geostatistical Analyst	34
Εξέταση της χωρικής παραλλακτικότητας των δεδομένων	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ	38
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	51
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	53

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΜΕΘΟΔΟΙ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΛΑΤΟΥΧΩΝ ΚΑΙ ΝΑΤΡΙΩΜΕΝΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ



Το μεγαλύτερο πρόβλημα των γεωργών και των εντατικών καλλιεργειών σήμερα είναι η αδυναμία αντιμετώπισης των αλομορφικών εδαφών. Αλομορφικά εδάφη είναι τα αλατούχα και αλκαλιωμένα ενδοζωνικά εδάφη. Ιδιαίτερα συναντώνται σε ξηρές, ημίξερές, παραθαλάσσιες περιοχές και σε περιοχές που η

εντατική χρήση κακής ποιότητας λιπασμάτων (με υψηλό δείκτη αλατότητας) έχουν αλλοιώσει τα φυσικά χαρακτηριστικά των εδαφών.

Αλατούχα εδάφη είναι τα εδάφη τα οποία περιέχουν αρκετά διαλυτά άλατα επιβλαβή για την ανάπτυξη των φυτών.

Τα αλκαλιωμένα εδάφη μπορεί να έχουν ή και να μην έχουν αρκετές ποσότητες διαλυτών αλάτων, αλλά έχουν αρκετά εναλλακτικά ιόντα νατρίου στο εδαφικό σύμπλοκο, ώστε να παρεμποδίζουν την ανάπτυξη των φυτών. Στα εδάφη αυτά, η άργιλος και ο χούμος είναι διαμερισμένα, δίνοντας έτσι στα εδάφη κακές φυσικές ιδιότητες. Επίσης, συχνά σχηματίζεται ανθρακικό και όξινο ανθρακικό νάτριο ανεβάζοντας το pH πάνω από το 8,5, συνήθως στο 9 ή και στο 10.

Τα αλατούχα-αλκαλιωμένα εδάφη, περιέχουν μεγάλο ποσοστό διαλυτών αλάτων και έχουν υψηλό ποσοστό ιόντων νατρίου στα εναλλακτικά σύμπλοκα. Όταν σε καλλιεργούμενα εδάφη έχουμε μεγάλη συγκέντρωση διαλυτών αλάτων, η κατάσταση είναι επιβλαβής στα φυτά γιατί:

1. Τα διαλυτά άλατα αυξάνουν την οσμωτική πίεση του εδαφικού διαλύματος, επηρεάζοντας την ικανότητα των φυτών στην πρόσληψη του νερού από το έδαφος. Το αποτέλεσμα είναι η φυσική ξηρασία.
2. Καταστρέφουν την ιοντική ισορροπία στο εδαφοδιάλυμα.
3. Μερικά ιόντα είναι τοξικά για τα φυτά.
4. Τα διαλυτά άλατα διαταράσσουν τη βιολογική δράση στο έδαφος.

ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΛΑΤΟΥΧΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

Η βελτίωση των αλατούχων εδαφών των οποίων το μοναδικό μειονέκτημα είναι ότι περιέχουν υψηλό ποσοστό διαλυτών ουδέτερων αλάτων (χλωριούχα και θειικά άλατα του ασβεστίου, μαγνησίου, νατρίου και καλίου), αναφέρεται συγκεκριμένα στις μεγάλες ποσότητες νερού που υπάρχουν στο έδαφος σε τέτοιες ποσότητες οι οποίες

The image shows a digital interface for the element Sodium (Na). The central panel displays the atomic number 11, the name 'Sodium', the symbol 'Na', and the atomic mass 22.990. To the right of the atomic number, the electron configuration is shown as 2, 8, 1. A 'KEY' section on the left explains the fields: Atomic Number (11), Name (Sodium), Symbol (Na), and Atomic Mass (22.990). A 'Periodic Chart' icon is in the top left. On the right, there are buttons for 'History', 'Physical Properties', and 'Chemical Properties'. Navigation arrows are at the bottom.

είναι μεγαλύτερες, σε σχέση με τις ποσότητες που χάνονται από το έδαφος εξαιτίας της εξατμισοδιαπνοής. Το νερό μετακινείται διαμέσου των εδαφικών πόρων και καναλιών του εδάφους στην εδαφική κατατομή, εκπλύνει τα ουδέτερα διαλυτά άλατα και τα μεταφέρει στα βαθύτερα στρώματα του εδάφους. Όταν το έδαφος είναι

υδατοπερατό, τότε έχουμε έκπλυση των διαλυτών αλάτων, οπότε με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται βελτίωση των αλατούχων εδαφών. Η βελτίωση των αλατούχων εδαφών απαιτεί περίσσεια νερού και απομάκρυνση τους με τα νερά στράγγισης.

Όταν το νερό μετακινείται προς τα βαθύτερα στρώματα της εδαφικής κατατομής και διέρχεται διαμέσου περιορισμένου αριθμού καναλιών ή εδαφικών πόρων τότε η βελτίωση του εδάφους απαιτεί χρόνο με την απομάκρυνση από τα διαλυτά άλατα . Πρέπει να τονιστεί, ότι ανεξάρτητα από την ποσότητα του νερού που θα χρειαστεί για την έκπλυση των αλάτων, το νερό αυτό πρέπει να απομακρυνθεί από το χωράφι με στράγγιση. Για αυτό είναι απαραίτητο μαζί με το αρδευτικό σύστημα να κατασκευάζεται και το κατάλληλο στραγγιστικό δίκτυο στο χωράφι, έτσι ώστε, να υπάρχει στο ριζόστρωμα η κατάλληλη υγρασία και να αποφεύγονται οι υπερβολικές υγρασίες στην περιοχή αυτή, όπως επίσης να εξασφαλίζονται οι κατάλληλες συνθήκες για την απομάκρυνση του νερού έκπλυσης.

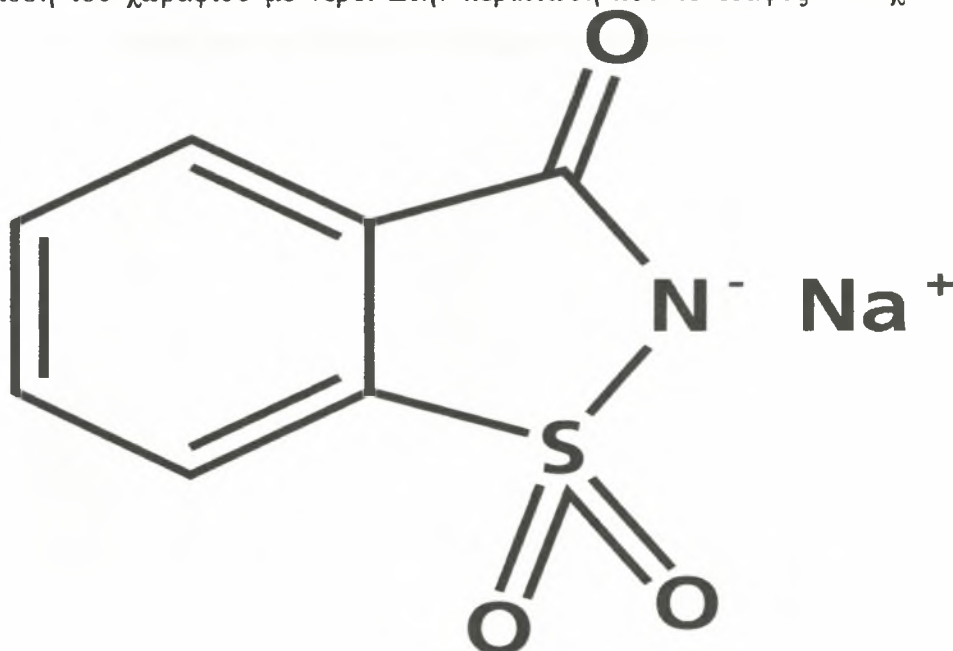
Όπως είναι φανερό, η βελτίωση των πολύ αλατούχων αργιλικών εδαφών θα είναι οικονομική μόνο όταν το έδαφος είναι υδατοπερατό και στο χωράφι υπάρχει καλό στραγγιστικό σύστημα .

ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΛΚΑΛΙΩΜΕΝΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

Τα αλκαλιωμένα εδάφη υποφέρουν από υψηλή περιεκτικότητα σε νάτριο και συνήθως έχουν ένα μαύρο χρώμα. Το χρώμα τους αυτό οφείλεται στην παρουσία Na_2CO_3 το οποίο καταστρέφει τα εδαφικά συσσωματώματα. Επίσης, το Na_2CO_3 προκαλεί διασπορά των χουμικών κολλοειδών, με αποτέλεσμα η οργανική ουσία να διαλύεται και να προσδίδει στο έδαφος και κυρίως στην επιφάνεια του εδάφους ένα μαύρο χρώμα. Τα υγρά αλκαλιωμένα (με νάτριο) εδάφη έχουν συνήθως μια χαρακτηριστική οσμή. Η μυρωδιά αυτή οφείλεται στη δράση των αναερόβιων βακτηρίων του εδάφους. Οι κακές φυσικές ιδιότητες των αλκαλιωμένων εδαφών οφείλονται στην διασπορά των εδαφικών κολλοειδών λόγω του εναλλακτικού νατρίου. Για αυτό, σκοπός είναι, η υποκατάσταση του Νατρίου από Ασβέστιο. Αυτό κυρίως επιτυγχάνεται με το Χουμικό Ασβέστιο, SALT , του οποίου τα ιόντα του ασβεστίου μαζί με τα συνεργά ιόντα και τα χουμικά οργανικά δημιουργούν το κατάλληλο περιβάλλον για την υποκατάσταση του Νατρίου από το ασβέστιο και την έκπλυση του πρώτου από το σύστημα με τα νερά στραγγίσεως.

Οι βασικές αρχές για τη βελτίωση των αλκαλιωμένων εδαφών είναι η εξής:

1. Να εξασφαλίζεται ένα καλό στραγγιστικό σύστημα και να περιορίζεται σημαντικά η διαπότιση των ανώτερων εδαφικών στρωμάτων με νερό πλούσιο σε νάτριο, προερχόμενο από την υψηλή υπόγεια στάθμη του νερού.
2. Να απομακρύνονται ποσότητες εναλλακτικού νατρίου με ασβέστιο.
Αν τα εδάφη περιέχουν γύψο, το μόνο που πιθανόν να χρειάζεται είναι να γίνει κατάκλυση του χωραφιού με νερό. Στην περίπτωση που το έδαφος δεν έχει καλή



περατότητα, τότε θα πρέπει να γίνει επιλογή των κατάλληλων φυτών, ενώ όταν το έδαφος περιέχει μικρή ποσότητα γύψου, τότε η χρήση του νερού θα πρέπει να γίνεται με προσοχή, έτσι ώστε να αποφευχθεί η καταστροφή της δομής του εδάφους.

Εδάφη στα οποία περιέχεται πολύ εναλλακτικό νάτριο ή ελεύθερο Na_2CO_3 θα γίνουν αδιαπέρατα εξαιτίας της καταστροφής των συσσωματωμάτων, μετά από τη χρήση καθαρού νερού για άρδευση. Αυτό μπορεί να συμβεί και με τα νερά της βροχής. Αντιθέτως, όταν στα νερά άρδευσης περιέχονται διαλυτά άλατα ή όταν είναι αλκαλιωμένα, τα εδάφη αυτά παραμένουν περατά και τα συσσωματώματα δεν καταστρέφονται.

Υπάρχουν περιπτώσεις που τα αλκαλιωμένα εδάφη δεν χρησιμοποιήθηκαν ποτέ για καλλιέργεια τα οποία παρουσιάζουν έντονο το πρόβλημα της μη καλής περατότητας, δηλαδή τα εδάφη αυτά είναι αδιαπερατά στο νερό. Οπότε το κύριο πρόβλημα είναι να βελτιώσουμε αρχικά την περατότητα των εδαφών αυτών. Αυτό επιτυγχάνεται με την απομάκρυνση του εναλλακτικού νατρίου από το επιφανειακό στρώμα του εδάφους και στη συνέχεια η προσπάθεια συνεχίζεται στα βαθύτερα εδαφικά στρώματα. Η

προσθήκη γύψου στο επιφανειακό εδαφικό στρώμα ή σε σχετικά ελαφρότερα εδάφη, η προσθήκη οργανικής ουσίας ή κομπόστας με σύγχρονη κατεργασία του επιφανειακού εδαφικού στρώματος και στη συνέχεια τα εδάφη αυτά να διατηρούνται υγρά και ξηρά εναλλάξ πολλές φορές, εξασφαλίζει την υδατοπερατότητα σε μερικά εκατοστόμετρα στο επιφανειακό εδαφικό στρώμα . Στη συνέχεια, το έδαφος πρέπει να κατακλυστεί με νερό, οπότε με το υπάρχον στραγγιστικό σύστημα ο γύψος διευκολύνεται να κατέλθει στα βαθύτερα στρώματα και έτσι, με αυτόν τον τρόπο, βελτιώνεται η περατότητα των βαθύτερων εδαφικών στρωμάτων.

Διαθέσιμο Κάλιο

Η ανάπτυξη των φυτών εξαρτάται από τις εισροές θρεπτικών στοιχείων τόσο του εδάφους όσο και της ατμόσφαιρας. Τα θρεπτικά στοιχεία προσλαμβάνονται από τα φυτά με τους κατωτέρω τρόπους:

- Ο άνθρακας και το οξυγόνο προσλαμβάνονται από το CO_2 της ατμόσφαιρας με τη φωτοσύνθεση δια μέσου των φύλλων.
- Το υδρογόνο και το οξυγόνο προσλαμβάνονται από τα φυτά διαμέσου των ριζών από το ύδωρ του εδάφους.
- Το κάλιο, το ασβέστιο και το μαγνήσιο προσλαμβάνονται από τις ρίζες των φυτών από το εδαφικό διάλυμα με τη μορφή κατιόντων (K^+ , Ca^{2+} και Mg^{2+}).



Το



άζωτο, ο φώσφορος και το θείο προσλαμβάνονται από τις ρίζες των φυτών με τη μορφή ιόντων, NO_3^- , H_2PO_4^- και SO_4^{2-} . Το άζωτο προσλαμβάνεται από τις ρίζες των φυτών και με τη μορφή NH_4^+ . Το άζωτο του ατμοσφαιρικού αέρα δεσμεύεται από τα βακτήρια *Rhizobium* και από άλλους μικροοργανισμούς που συμβιών στις ρίζες των ψυχανθών και σχηματίζονται τα φυμάτια. Τα άλλα στοιχεία Mn, Fe, Cu, Zn, Mo, Se και B προσλαμβάνονται από τις ρίζες των φυτών από το εδαφικό διάλυμα με τη μορφή ιόντων. Στους πίνακες 2.1 και 2.2 παρουσιάζονται οι ποσότητες των

μακροθρεπτικών που είναι απαραίτητες στα διάφορα φυτά. Γενικά το άζωτο προσλαμβάνεται από τα φυτά σε μεγάλες ποσότητες και ακολουθεί το κάλιο, τα δε υπόλοιπα θρεπτικά στοιχεία προσλαμβάνονται από τα διάφορα φυτά σε ποσότητες που διαφέρουν μεταξύ τους.

Τα φυτά προσλαμβάνουν τα θρεπτικά στοιχεία με το ριζικό τους σύστημα από το εδαφικό διάλυμα κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Για κάθε δεδομένη στιγμή οι ποσότητες των θρεπτικών στοιχείων του εδαφικού διαλύματος είναι μικρές.

Η συγκέντρωση των θρεπτικών στοιχείων στο εδαφικό διάλυμα εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

- Από την αποσάθρωση των ορυκτών η οποία είναι και η κύρια πηγή εφοδιασμού με θρεπτικά στοιχεία εκτός από τα στοιχεία C, H, O και N.
- Από τη δέσμευση του αερίου αζώτου της ατμόσφαιρας από τα βακτήρια του εδάφους που στη συνέχεια με την ανοργανοποίηση του οργανικού αζώτου, το εδαφικό διάλυμα εμπλουτίζεται με ανόργανο άζωτο και συγκεκριμένα άζωτο με τη μορφή των αμμωνιακών ιόντων (NH_4^+) και νιτρικών ιόντων (NO_3^-).
- Τα φυτικά υπολείμματα των καλλιεργειών προσθέτουν σημαντικές ποσότητες θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος. Τα θρεπτικά στοιχεία K^+ , Ca^{2+} και Mg^{2+} αποδεσμεύονται ταχύτατα από τα φυτικά υπολείμματα και εμπλουτίζουν το εδαφικό διάλυμα με επαρκείς ποσότητες ενώ αντίθετα τα στοιχεία P, S και N αποδεσμεύονται από τα φυτικά υπολείμματα με αργούς ρυθμούς διαμέσου της ανοργανοποίησης των οργανικών μορφών των στοιχείων αυτών.
- Τα ορυκτά της αργίλου, τα οξειδία και υδροξειδία και ο χούμος επηρεάζουν τις ιδιότητες ανταλλαγής του εδάφους. Τα θρεπτικά στοιχεία K^+ , Ca^{2+} και Mg^{2+} συγκρατούνται από τη στερεή φάση του εδάφους ως ανταλλάξιμα κατιόντα η δε συγκέντρωση αυτών στο εδαφικό διάλυμα ρυθμίζεται από τις ανταλλάξιμες μορφές των στοιχείων αυτών.
- Τα φωσφορικά ιόντα συγκρατούνται στις επιφάνειες των οξειδίων και υδροξειδίων του αργιλίου και σιδήρου ή καθιζάνουν με τη μορφή φωσφορικών αλάτων. Η απελευθέρωση των φωσφορικών ιόντων με εκρόφηση ή με διάλυση ρυθμίζει τη συγκέντρωση του φωσφόρου στο εδαφικό διάλυμα.
- Τα θειικά ιόντα συγκρατούνται στις επιφάνειες των οξειδίων και υδροξειδίων του αργιλίου και σιδήρου και ότι σε όξινα εδάφη ρυθμίζουν τη συγκέντρωση των

SO_4^{2-} στο εδαφικό διάλυμα. Σε ουδέτερα εδάφη τα θειικά βρίσκονται στο εδαφικό διάλυμα με τη μορφή ιόντων. Σε αλκαλικά εδάφη των ξηρών περιοχών τα SO_4^{2-} προέρχονται από τη διάλυση της γύψου και ρυθμίζουν τη συγκέντρωση των θειικών ιόντων στο εδαφικό διάλυμα.

- Το άζωτο συγκρατείται προσωρινά από τη στερεή φάση του εδάφους με τη μορφή του ανταλλαξιμού NH_4^+ . Όταν τα αμμωνιακά ιόντα νιτροποιούνται όλα τα νιτρικά είναι ελεύθερα με τη μορφή ιόντων στο εδαφικό διάλυμα εκτός από τα εδάφη που φέρουν θετικό φορτίο (**ανόργανα εδάφη στα οποία επικρατούν ο γκιψίτης, ο γκαιτίτης, ο αιματίτης και τα ένυδρα υδροξείδια του σιδήρου, τα άμορφα υδροξείδια του σιδήρου και αργιλίου, ο καολινίτης και ο αλλοφανής**). Στα εδάφη αυτά όταν φέρουν θετικό φορτίο, τα NO_3^- συγκρατούνται από τα οξείδια και υδροξείδια.
- Χημικές ουσίες (κυρίως οξείδια) του N και S μαζί με τα άλατα του Ca^{2+} , Mg^{2+} και K^+ διαλύονται στο ύδωρ βροχής και μεταφέρονται στο εδαφικό διάλυμα. Στην περίπτωση όμως που οι ενώσεις αυτές δε διαλύονται στο ύδωρ της βροχής τότε πέφτουν στο έδαφος με τη ξηρή μορφή τους. Οι ενώσεις αυτές με τη ξηρή μορφή τους διαλύονται στο ύδωρ του εδάφους και με τα ύδατα της βροχής μεταφέρονται στα βαθύτερα στρώματα της εδαφικής κατατομής.

Είναι λογικό να αρχίσει η ανάπτυξη των θρεπτικών στοιχείων των φυτών με το άζωτο. Το άζωτο όμως είναι ένα θρεπτικό στοιχείο που είναι απαραίτητο στα φυτά σε μεγάλες ποσότητες. Σε πολλές περιπτώσεις το άζωτο βρίσκεται σε ποσότητες που δεν καλύπτουν τις ανάγκες των φυτών οπότε το στοιχείο αυτό δημιουργεί περιορισμούς στην ανάπτυξη και στην παραγωγή των φυτών.

Όμως, θεωρείται αναγκαίο να κατανοηθούν οι μηχανισμοί που επηρεάζουν τον εφοδιασμό των φυτών με τα θρεπτικά στοιχεία κάλιο, ασβέστιο και μαγνήσιο. Οι μηχανισμοί αυτοί μπορούν στη συνέχεια να εφαρμοσθούν σε πλέον σύνθετα συστήματα που αφορούν τη διαθεσιμότητα του αζώτου.

Διαθεσιμότητα του καλίου

Το κάλιο είναι ένα από τα τρία βασικά στοιχεία (N, P και K), για τη θρέψη των φυτών. Το στοιχείο αυτό μαζί με το άζωτο και φώσφορο απαιτείται σε σχετικά μεγάλες ποσότητες για την ανάπτυξη και απόδοση των καλλιεργειών. Παρά το

γεγονός ότι το κάλιο δεν είναι δομικό στοιχείο των φυτικών ιστών εν τούτοις είναι απαραίτητο για τη σύνθεση του αμύλου, των αμινοξέων, των πρωτεϊνών, στη μετακίνηση των σακχάρων και στις διεργασίες της φωτοσύνθεσης. Η σωστή αναλογία του καλίου με το άζωτο και το φώσφορο έχει θετική επίδραση:

- Στη δημιουργία γερού ριζικού συστήματος
- Στην αντοχή στο πλάγιασμα
- Στην αντίσταση σε μερικές ασθένειες.

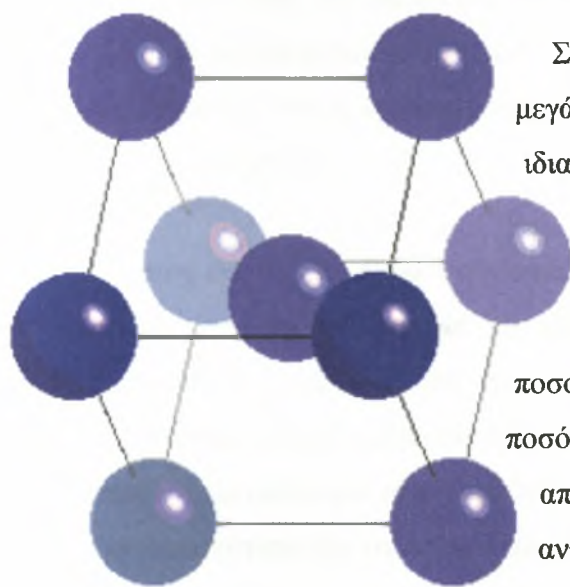
Στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρονται απόψεις που είναι δισταμένες αναφορικά με τη σκοπιμότητα των καλιούχων λιπάνσεων για να επιτευχθούν βέλτιστες αποδόσεις από τις καλλιέργειες.

Ο Russel (1973), διατύπωσε την άποψη ότι είναι αντιοικονομικό να καταβάλλονται προσπάθειες για να διατηρηθούν τα επίπεδα του καλίου στο έδαφος.

Οι Warren και Johnson (1962), παρατήρησαν ότι οι καλιούχες λιπάνσεις αυξάνουν τις αποδόσεις στην καλλιέργεια της πατάτας.

Ο Cooke (1979), παρατηρεί ότι στα εδάφη που περιέχουν υπολειμματικό κάλιο προερχόμενο από καλιούχες λιπάνσεις, οι καλλιέργειες αποδίδουν ικανοποιητικά, όμως συμπληρωματική καλιούχος λίπανση κρίνεται απαραίτητη για την επιτυχή αντιμετώπιση αντίξοων εδαφικών συνθηκών από τα φυτά.

Το διαθέσιμο-ανταλλάξιμο κάλιο



Στο έδαφος υπάρχουν αποθέματα καλίου σε μεγάλες ποσότητες στα ορυκτά της αργίλου, ιδιαίτερα στα βαριάς συστάσεως εδάφη (αργιλώδη εδάφη). Η ποσότητα του ανταλλαξιμού καλίου είναι μεταξύ 10 και 100 φορές μεγαλύτερη από τη ποσότητα του καλίου στο εδαφικό διάλυμα. Η ποσότητα του καλίου στο εδαφικό διάλυμα αποτελεσματικά ρυθμίζεται από το ανταλλάξιμο κάλιο.

Τα ανταλλάξιμο κάλιο που αποδεσμεύεται με βραδείς ρυθμούς συγκρατείται από τις ακμές του ιλλίτη και έχει ιδιότητες μεταξύ του ανταλλαξιμού καλίου και του ενδοκρυσταλλικού καλίου (μη ανταλλάξιμο κάλιο).

Η ποσότητα του καλίου που αποδεσμεύεται από τα ορυκτά και προσλαμβάνεται από τα φυτά εξαρτάται από το είδος των ορυκτών, από την αποσάθρωση των ορυκτών, το είδος των φυτών και από το στάδιο ανάπτυξης των φυτών.

Τα σιτηρά μπορούν να απομακρύνουν από το έδαφος 6 kg K^+ στρ.⁻¹ από το επιφανειακό στρώμα του εδάφους βάθους 20 cm (πίνακας 2.2). Η ποσότητα του καλίου στα φυτά των σιτηρών μπορεί να είναι τρεις φορές μεγαλύτερη (20 kg K^+ στρ.⁻¹) από την ανωτέρω ποσότητα (6 kg K^+ στρ.⁻¹) κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου αυτών (Gregory *et al.*, 1979).

Για να προσληφθεί από τα σιτηρά η ποσότητα των 20 kg K^+ στρ.⁻¹ από το επιφανειακό εδαφικό στρώμα βάθους 20 cm (250 t στρ.^{-1}) απαιτείται $\text{K}^+ 80 \text{ mg K}^+ \text{ kg}^{-1}$ εδάφους σε μορφή που να είναι διαθέσιμη στο ριζικό σύστημα των φυτών κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Από τα δεδομένα προκύπτει ότι το ανταλλάξιμο κάλιο βρίσκεται σε υψηλά επίπεδα στα εδάφη που μελετήθηκαν από τους Arnold και Close (1961) και καλύπτουν τις ανάγκες των σιτηρών αυτό όμως δεν αληθεύει για όλα τα εδάφη που μελετήθηκαν από τους ανωτέρω ερευνητές.

Η διαθεσιμότητα του καλίου εκφράζει την ικανότητα του εδάφους να εφοδιάζει τα φυτά με K^+ κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. **Διαθέσιμο κάλιο είναι η ποσότητα του καλίου που προσλαμβάνεται από τις ρίζες των φυτών.** Η ποσότητα αυτή εξαρτάται από την ποσότητα του καλίου στο εδαφικό διάλυμα, από την ποσότητα του ανταλλαξιμού καλίου, από την ποσότητα του ανταλλαξιμού καλίου που αποδεσμεύεται με αργούς ρυθμούς και από τη δεκτικότητα (πρόσληψη) του καλίου από τις ρίζες των φυτών.

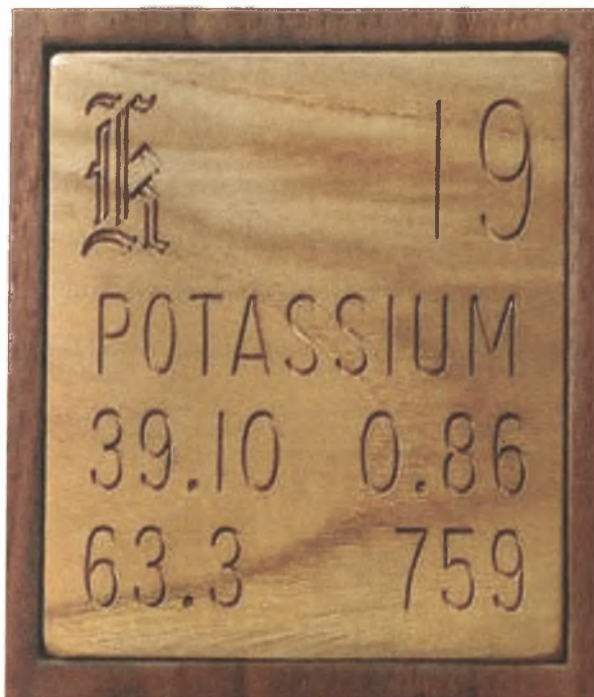
Με τη στενή έννοια του όρου διαθέσιμο κάλιο είναι η ποσότητα του καλίου που εκχυλίζεται από το έδαφος με τη χρήση συνηθισμένων χημικών ενώσεων. Υπάρχουν πολλές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται. Όλες οι χημικές ενώσεις εκχυλίζουν ανταλλάξιμο κάλιο και υδατοδιαλυτό κάλιο μαζί με ποικίλες ποσότητες από ανταλλάξιμο κάλιο που αποδεσμεύεται με αργούς ρυθμούς.

Στον όρο δεκτικότητα του καλίου από τις ρίζες διακρίνονται δύο πλευρές:

- υπάρχουν φυσικά εμπόδια στην ανάπτυξη των ριζών όπως η ζώνη άροσης και η περιοδική εμφάνιση πλημμυρικών συνθηκών στο έδαφος ή συνθηκών κορεσμού του εδάφους με ύδωρ.
- η κανονική κατανομή του ριζικού συστήματος σημαίνει ότι το K^+ πρέπει να κινηθεί διαμέσου του εδάφους στην επιφάνεια των ριζών. Αυτό απαιτεί χρόνο και επομένως η δεκτικότητα αυτή εξαρτάται από την πυκνότητα του ριζικού συστήματος, από την ευκολία κίνησης του καλίου διαμέσου του εδάφους και από την περίοδο ανάπτυξης των φυτών. Η πρόσληψη του καλίου από τις ρίζες των φυτών περιορίζεται σημαντικά όταν το έδαφος είναι ξηρό, επειδή είναι απαραίτητη η ύπαρξη επαρκούς ποσότητας ύδατος για να κινηθεί το κάλιο με ευκολία. Σε πολύ συμπαγή εδάφη, οι ρίζες είναι μακριά από το έδαφος με αποτέλεσμα να εμποδίζεται σημαντικά η πρόσληψη του καλίου από τις ρίζες. Η πρόσληψη όμως του φωσφόρου από τις ρίζες αποτελεί ένα μεγάλο πρόβλημα διότι ο φώσφορος κινείται με αργούς ρυθμούς στο έδαφος.

Η μέτρηση του διαθέσιμου καλίου

Εκχύλιση του εδάφους με χημικές ενώσεις



Η απλούστερη χημική μέθοδος για τη μέτρηση του διαθέσιμου καλίου είναι εκείνη που εκχυλίζει το ανταλλάξιμο κάλιο του εδάφους μαζί με το κάλιο του εδαφικού διαλύματος ή σε μερικές περιπτώσεις το ανταλλάξιμο K^+ μαζί με το ανταλλάξιμο K^+ που αποδεσμεύεται από το έδαφος με αργούς ρυθμούς. Συνήθως ο χρόνος εκχύλισης είναι διάρκειας 30 min ο οποίος θεωρείται πολύ μικρός αν συγκριθεί με τη χρονική διάρκεια της καλλιεργητικής

περιόδου των φυτών αυτό σημαίνει ότι δεν εκχυλίζεται όλο το κάλιο το οποίο μπορεί να είναι διαθέσιμο κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου από την άλλη πλευρά, αντίθετα από τις ρίζες το εκχυλιστικό διάλυμα, εκχυλίζει το κάλιο από όλο το

έδαφος αποτελεσματικά και ομοιόμορφα και για το λόγο αυτό η μέθοδος αυτή υπερεκτιμά την ποσότητα του καλίου, η οποία προσλαμβάνεται από τα φυτά κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου.

Εδάφη που έχουν την ίδια ποσότητα καλίου που προσδιορίζεται με τη μέθοδο του 1 M οξικού αμμωνίου (pH=7) μπορεί να διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τη συγκέντρωση του καλίου του εδαφικού διαλύματος (Nemeth *et al.*, 1970). Η πρόσληψη του καλίου του εδάφους από τα φυτά εξαρτάται από τη συγκέντρωση του καλίου του εδαφικού διαλύματος στη ριζόσφαιρα η δε ποσότητα του καλίου που κινείται προς τις ρίζες εξαρτάται από τη συγκέντρωση του K^+ στο εδαφικό διάλυμα (Nye 1972; Mitsios και Rowell, 1987).

Εκτός από το εκχυλιστικό διάλυμα του 1M οξικού αμμωνίου (pH=7) χρησιμοποιούνται και άλλα εκχυλιστικά μέσα για τον προσδιορισμό του εδαφικού καλίου π.χ. η μέθοδος του HNO_3 (Haylock, 1956), η χημική ένωση του NaTPB (Sodium Tetraphenyl Boron) που χρησιμοποιήθηκε από τους Schulte και Corey (1965) και η μέθοδος των υδρογονωμένων ρητινών (Barber και Mathews, 1962). Οι μέθοδοι αυτές παρά το γεγονός ότι μετρούν το ρυθμό αποδέσμευσης (rate of release) του μη-ανταλλαξιμού K^+ δεν παρέχουν θεωρητική εξήγηση για τους μηχανισμούς αποδέσμευσης του μη-ανταλλαξιμού K^+ .

Συμπληρωματικά διατυπώνεται η άποψη ότι τα εκχυλιστικά διαλύματα οξέων προκαλούν διάλυση (Dissolution). Η πρόσληψη όμως του K^+ από τα φυτά κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου προκαλεί εξάντληση (Depletion) του K^+ στο έδαφος χωρίς να καταστρέφονται τα ορυκτά της αργίλου (Nair και Talibudeen, 1973).

Οι Talibudeen *et al.* (1978), αφού χρησιμοποίησαν τη μέθοδο των διαδοχικών εκχυλίσεων με διάλυμα 5 mM $CaCl_2$ παρουσία κορεσμένων ρητινών με ιόντα Ca^{2+}

39

K

POTASSIUM

19

(Calcium saturated ion exchange resin) προσδιόρισαν το ρυθμό αποδέσμευσης του μη-ανταλλαξιμού K^+ . Παρά το πλεονέκτημα αυτό, η μέθοδος αυτή δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον καθορισμό καλιούχου λιπαντικής αγωγής. Αν χρησιμοποιηθούν τα πειραματικά δεδομένα των Talibudeen *et al.* (1978), ένα φυτό που προσλαμβάνει ποσότητα καλίου ισοδύναμη με $0,77 \mu\text{mol g}^{-1}$ ξηρού εδάφους ($10 \text{ kg } K^+ \text{ στρ.}^{-1} \text{ χρόνο}^{-1}$) από έδαφος με $6,4 \mu\text{mol g}^{-1}$ ξηρού εδάφους ανταλλάξιμο K^+ ($250 \text{ mg } K^+ \text{ kg}^{-1}$ εδάφους) η καλλιέργεια αντιδρά στις καλιούχες λιπάνσεις. Η μέθοδος αυτή χαρακτηρίζεται ως εμπειρική μέθοδος διότι δε διευκρινίζεται ποια είναι η επίδραση της συγκέντρωσης του καλίου στο εδαφικό διάλυμα στους μηχανισμούς αποδέσμευσης του μη-ανταλλαξιμού K^+ .

Παρά τα μειονεκτήματα που παρουσιάζει η μέθοδος των Talibudeen *et al.* (1978), η μέθοδος αυτή είναι μια από τις καλύτερες μεθόδους που υπάρχουν διότι παρέχεται η δυνατότητα να υπολογισθούν οι ρυθμοί αποδέσμευσης του μη-ανταλλαξιμού K^+ των διαφόρων εδαφών. Οι Heming και Rowell (1985), παρουσίασαν ένα θεωρητικό πρότυπο και μετρήσεις στο εργαστήριο για να μελετήσουν τη διαθεσιμότητα του καλίου του εδάφους. Οι ερευνητές αυτοί κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι τα φυτά μπορούν να προσλάβουν ανταλλάξιμες και μη-ανταλλάξιμες μορφές καλίου από σφαιρικά συσσωματώματα εδάφους. Όμως οι προβλέψεις του προτύπου αυτού στηρίζονται σε δεδομένα που προκύπτουν από διαδοχικές εκχυλίσεις εδαφικών συσσωματωμάτων με διάλυμα 5 mM CaCl_2 παρουσία ρητινών κορεσμένων με ιόντα Ca^{2+} και όχι σε βιολογικά δεδομένα.

Οι Mitsios και Rowell (1987), αφού βελτίωσαν το πρότυπο αυτό το χρησιμοποίησαν για προβλέψεις πρόσληψης ανταλλαξιμού και μη-ανταλλαξιμού K^+ από τα φυτά στηριγμένες σε βιολογικά δεδομένα από πειράματα με φυτά αφού διερευνήθηκε η επίδραση της πυκνότητας του ριζικού συστήματος (root density) σε σχέση με την πρόσληψη του ανταλλαξιμού και μη-ανταλλαξιμού K^+ από τα φυτά ένα νέο πρότυπο δημιουργήθηκε (Mitsios, 1984) που βασίζεται στο θεωρητικό πρότυπο των Heming και Rowell (1985) και στα χαρακτηριστικά παροχής του εδάφους σε κάλιο από πειραματικά δεδομένα μετρήσεων που προκύπτουν από την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος προβλαστημένων σπόρων κρεμμυδιού.

Το πρότυπο αυτό εφαρμόζεται σε συνθήκες αγρού και για γνωστές πυκνότητες ριζικού συστήματος. Οι Mitsios και Rowell (1987), κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η διαθεσιμότητα του καλίου του εδάφους εξαρτάται, από τη συγκέντρωση του K^+ στο εδαφικό διάλυμα στη ριζόσφαιρα, από την ποσότητα του ανταλλαξιμού K^+ , από τη

διάχυση, από το ρυθμό αποδέσμευσης του μη-ανταλλαξιμού K^+ και από την πυκνότητα του ριζικού συστήματος.

Συσχέτιση

Η ακρίβεια με την οποία η αρχική ποσότητα του ανταλλαξιμού K^+ εκτιμά τη διαθεσιμότητα του K^+ στα πειράματα με γλάστρες των ερευνητών Arnold και Close παρουσιάζονται στην εικόνα 2.4. Τα πειρατικά δεδομένα συσχετίζονται αλλά με αποκλίσεις.

Η ποσότητα του ανταλλαξιμού K^+ εκφράζει την ποσότητα του K^+ που είναι διαθέσιμη στα φυτά. Η γραφική παράσταση των 45^ο δείχνει τη χρονική περίοδο κατά την οποία η ποσότητα του καλίου στα φυτά αθροιστικά ισούται με την αρχική ποσότητα του ανταλλαξιμού K^+ . Μετά από 50 ημέρες χρονικής περιόδου ανάπτυξης των φυτών στις γλάστρες, περίπου η μισή ποσότητα του ανταλλαξιμού K^+ έχει προσληφθεί από τα φυτά. Μετά από χρονική περίοδο ανάπτυξης των φυτών 105 ημέρες σε μερικά εδάφη αποδεσμεύτηκαν σημαντικές ποσότητες μη-ανταλλαξιμού K^+ οι οποίες προσλήφθηκαν από τα φυτά.

Η κίνηση του καλίου προς τη ρίζα

Είναι γνωστό ότι μόνο ένας μικρός όγκος εδάφους είναι σε άμεση επαφή με τις ρίζες των φυτών. Η πρόσληψη των θρεπτικών στοιχείων από τις ρίζες περιλαμβάνει την κίνηση των θρεπτικών στοιχείων προς τις ρίζες με μαζική ροή (*mass flow*) και διάχυση (*diffusion*).

Μαζική ροή

Τα φυτά σαν αποτέλεσμα της εξατμισοδιαπνοής απορροφούν από το έδαφος ύδωρ και μαζί διάφορα θρεπτικά στοιχεία που είναι διαλυμένα σ' αυτό. Η πρόσληψη του ύδατος από τις ρίζες δημιουργεί μείωση του υδατικού δυναμικού στις ρίζες οπότε για την αποκατάσταση της ισορροπίας το ύδωρ κινείται προς τις ρίζες μεταφέροντας μαζί και το κάλιο που είναι στο εδαφικό διάλυμα με τη μορφή ιόντων.

Πειράματα έδειξαν ότι όλη η ποσότητα ή ένα μεγάλο ποσοστό των ποσοτήτων νιτρικών, ασβεστίου και μαγνήσιο κινείται προς τις ρίζες με μαζική ροή αλλά μόνο 20% από το κάλιο και 1% από το φώσφορο κινείται με μαζική ροή.

Διάχυση

Οι πρώτες μαρτυρίες ότι η διάχυση μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στον εφοδιασμό των φυτών με θρεπτικά στοιχεία ειδικότερα με κάλιο και φώσφορο προήλθαν από τις ερευνητικές εργασίες των Barber *et al.* (1963); Walker και Barber (1961); Levis και Quirk (1967a). Άμεσες μαρτυρίες:

- α) για την εξάντληση (*depletion*) του ανταλλαξιμού K^+ στο έδαφος κοντά στη ρίζα
- β) για τη σπουδαιότητα της διάχυσης και της αποδέσμευσης του μη-ανταλλαξιμού K^+ για την αντικατάσταση του απολεσθέντος ανταλλαξιμού K^+ στο έδαφος

προήλθαν από τις ερευνητικές εργασίες των Kauffman και Bouldin (1967).

Αν οι ποσότητες του K^+ που μεταφέρονται στις ρίζες με μαζική ροή δεν είναι επαρκείς για να καλύψουν τις ανάγκες των φυτών η συγκέντρωση του K^+ στο εδαφικό διάλυμα κοντά στη ρίζα μειώνεται εξαιτίας της πρόσληψης του K^+ από τα φυτά. Η πρόσληψη του K^+ από τα φυτά δημιουργεί διαφορική μεταβολή της συγκέντρωσης K^+ στο έδαφος και τότε συμβαίνει διάχυση του K^+ .

Η διάχυση των ιόντων K^+ γίνεται από περιοχή όπου η τιμή της συγκέντρωσης αυτών είναι υψηλότερη προς την περιοχή με τη χαμηλότερη τιμή συγκέντρωσης. Οι ποσότητες του K^+ που εφοδιάζονται τα φυτά με μαζική ροή και διάχυση προσδιορίζονται με πειράματα στις γλάστρες. Οι ποσότητες του ύδατος υπολογίζονται, η δε συγκέντρωση του K^+ στο εδαφικό διάλυμα προσδιορίζεται με μεθόδους που αναφέρονται στο υποκεφάλαιο 8.17 του συγγράμματος Εδαφολογία του Ι. Μήτσιου (2001) ή με ισόθερμη καμπύλη όπως περιγράφεται στην παράγραφο 2.3.6.

Η ποσότητα του K^+ που εφοδιάζονται τα φυτά με μαζική ροή υπολογίζεται ως εξής:

$$mg K^+ = \text{όγκος } H_2O (L) \times \text{συγκέντρωση του } K^+ (mg L^{-1})$$

Η ποσότητα του K^+ που εφοδιάζονται τα φυτά με διάχυση υπολογίζεται αν από την ολική ποσότητα του προσληφθέντος K^+ από τα φυτά αφαιρεθεί η ποσότητα του K^+ που εφοδιάζονται τα φυτά με μαζική ροή.

Κίνηση του καλίου στη ριζόσφαιρα

Η κίνηση του καλίου προς τη ρίζα του φυτού με διάχυση μπορεί να συμβεί όταν η συγκέντρωση του καλίου στο εδαφικό διάλυμα στη ριζόσφαιρα έχει ελαττωθεί σε σχέση με την αρχική συγκέντρωση του καλίου στο εδαφικό διάλυμα (concentration gradient). Η κίνηση των θρεπτικών στοιχείων προς τη ρίζα περιγράφεται από τον Nye (1968a) και μπορεί να γίνει με μαζική ροή ή με διάχυση διαμέσου του εδαφικού διαλύματος των πόρων του εδάφους ή με πολύ βραδεία διάχυση στην επιφάνεια των κολλοειδών.

Το γινόμενο της απορροφητικής δύναμης της ρίζας με ακτίνα της ρίζας " ar " καλείται *root demand coefficient* (Nye και Tinker, 1977). Η απορροφητική δύναμη της ρίζας " a " σπανίως παραμένει σταθερή και αυξάνεται όταν μειώνεται η συγκέντρωση του υδατοδιαλυτού καλίου στο διάλυμα και παίρνει την μέγιστη τιμή όταν η συγκέντρωση του υδατοδιαλυτού καλίου είναι περίπου $1 \mu\text{M}$ (Wild *et al.*, 1974).

Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν την απορροφητική δύναμη της ρίζας. Για παράδειγμα, η απορροφητική δύναμη της ρίζας " a " αυξάνεται καθώς αυξάνει η ακτίνα της ρίζας (r) μειώνεται καθώς αυξάνει η ηλικία της ρίζας. Επίσης η απορροφητική δύναμη αυξάνεται με την παρουσία των NO_3^- στο διάλυμα ή μειώνεται καθώς η ρίζα απορροφάει ιόντα SO_4^{2-} (Kirkby και Mengel, 1967). Επίσης η απορροφητική δύναμη της ρίζας εξαρτάται από το είδος του φυτού. Από τη διεθνή βιβλιογραφία συγκεντρώθηκαν οι διάφορες τιμές του root demand coefficient από πειράματα που πραγματοποιήθηκαν σε θρεπτικά διαλύματα (πίνακας 2.3).

Ο Nye (1972), χρησιμοποίησε τη θεωρία των Carslaw και Jaeger (1959), για να αποδείξει ότι η συγκέντρωση του καλίου στη ριζόσφαιρα μιας ρίζας που αναπτύσσεται σε μεγάλο όγκο εδάφους μεταβάλλεται με το χρόνο (εικόνα 2.8).

Από το διάγραμμα της εικόνας 2.8 συμπεραίνεται ότι η τιμή της συγκέντρωσης του καλίου αρχικά πέφτει απότομα και στη συνέχεια η πτώση της τιμής της συγκέντρωσης ακολουθεί βραδύτερο ρυθμό.

Πειραματικές μαρτυρίες ότι η διάχυση επιδρά περιοριστικά στην πρόσληψη του καλίου από τα φυτά

Η προηγούμενη θεωρητική προσέγγιση των Nye και Tinker (1977) ότι η διάχυση είναι σημαντικός περιοριστικός παράγοντας στην πρόσληψη του καλίου από τα φυτά αποδείχτηκε πειραματικά από τους Drew *et al.* (1969).

Οι ερευνητές αυτοί μέτρησαν την ποσότητα του καλίου που προσέλαβε ρίζα μήκους 1 cm σε σχέση με τον χρόνο.

Οι Drew *et al.* (1969), χρησιμοποίησαν ως πειραματικό υλικό προβλαστημένους σπόρους κρεμμυδιού οι οποίοι αναπτύχθηκαν σε έδαφος κυλινδρικού σχήματος. Επειδή ο ρυθμός απορρόφησης του καλίου εξαρτάται από την " a_r " και C_{1r} σχετίζεται με την " a_r " και $D_1 \theta_1$ τότε είναι δυνατόν να υπολογισθεί η συγκέντρωση του καλίου στη ριζόσφαιρα. Τα φυτά προσλαμβάνουν κάλιο από το έδαφος για αρκετές μέρες και ότι ο ρυθμός πρόσληψης (rate of uptake) του καλίου παρέμεινε σχεδόν σταθερός για περίοδο πρόσληψης θρεπτικών στοιχείων 16 ημερών από τα φυτά κρεμμυδιού.

Όταν όμως οι Bagshaw *et al.* (1969), χρησιμοποίησαν την ίδια τεχνική των Drew *et al.* (1969), προκειμένου να μελετήσουν την πρόσληψη του καλίου από τα φυτά σε 44 αγγλικά εδάφη, παρατήρησαν ότι σε εδάφη που η αρχική συγκέντρωση του καλίου στο εδαφικό διάλυμα είναι μεγαλύτερη από 400 μM η πρόσληψη καλίου από τα φυτά προέρχεται λόγω εξάντλησης (depletion zone) του καλίου γύρω από τη ρίζα και σε ποσοστό 30-85% ενώ εδάφη με αρχική συγκέντρωση καλίου στο εδαφικό διάλυμα 40-400 μM εξαντλήθηκαν

σημαντικά και ότι η συγκέντρωση του καλίου γύρω από τη ρίζα έφθασε στη μηδενική τιμή.

Οι ερευνητές Nye και Tinker (1977), κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η διάχυση είναι περιοριστικός παράγοντας στην πρόσληψη του καλίου από τα φυτά όταν η συγκέντρωση του καλίου στο φυσικό έδαφος είναι μικρότερη των 500 μM και ότι τα φυτά προσέλαβαν κάλιο εξαιτίας της διάχυσης και σε ποσότητα μεγαλύτερη από τη τιμή του ανταλλαξιμού καλίου προερχόμενη από την αποδέσμευση του μη-ανταλλαξιμού καλίου. Οι Farr *et al.* (1969), πρότειναν μια νέα τεχνική ανάπτυξης φυτών (root plane technique) για να διερευνήσουν την κλίση της διαφορικής

συγκέντρωσης του καλίου (concentration gradient), κοντά στη ρίζα σε έδαφος που είχε λιπανθεί με μεγάλη ποσότητα καλίου (ανταλλάξιμο κάλιο = $15,8 \mu\text{mol g}^{-1}$).

Οι ερευνητές Dunham και Nye (1973, 1974), προσπάθησαν να διερευνήσουν όλους τους παράγοντες που επηρεάζουν τη διάχυση. Με την τεχνική των Farr *et al.*, (1969) μέτρησαν την πρόσληψη του ^{36}Cl , από φυτά προβλαστημένων σπόρων κρεμμυδιού σε ξηρό έδαφος, σε υγρό και σε κορεσμένο με ύδωρ έδαφος. Η αρχική συγκέντρωση στο εδαφικό διάλυμα, C_{ii} ήταν 1 mM σε κάθε επίπεδο εδαφικής υγρασίας.

Στα ίδια πειράματα οι ερευνητές αυτοί μέτρησαν το ρυθμό της διαπνοής, τη διαφορική συγκέντρωση του χλωρίου κοντά στη ρίζα σε διάφορα επίπεδα εδαφικής υγρασίας. Στην εικόνα 2.9 παρουσιάζεται η διαφορική συγκέντρωση του χλωρίου (concentration gradient) κοντά στη ρίζα σε διάφορα επίπεδα υγρασίας του εδάφους μετά από περίοδο 4,5 ημερών πρόσληψης θρεπτικών στοιχείων από τα φυτά αυτά.

Επίσης διαπιστώνεται ότι η ζώνη εξάντλησης καλίου γύρω από τη ρίζα εκτείνεται περισσότερο σε υγρό έδαφος με εδαφική υγρασία 28% κατά βάρος. Με βάση τα πειραματικά δεδομένα των Dunham και Nye (1974), παρατηρήθηκε αποδέσμευση του μη-ανταλλαξιμού καλίου.

Διάχυση του ανταλλαξιμού καλίου: Εξίσωση του Baldwin

Ο Baldwin (1975), χρησιμοποίησε μαθηματικό πρότυπο προκειμένου να υπολογιστεί η ποσότητα του καλίου και η ποσότητα των NO_3^- ιόντων που προσλαμβάνονται από τα φυτά με την πάροδο του χρόνου. Σύμφωνα με την θεωρία του Baldwin οι ρίζες των φυτών είναι παράλληλες και απέχουν εξίσου μεταξύ τους και ότι οι ρίζες προσλαμβάνουν το κάλιο από έδαφος κυλινδρικού όγκου.

Από την εξίσωση αυτή συμπεραίνεται ότι η πρόσληψη του καλίου από τα φυτά εξαρτάται:

- από το συντελεστή διάχυσης
- από το μήκος του ριζικού συστήματος
- από το χρόνο πρόσληψης του καλίου από τα φυτά και
- από την αρχική ποσότητα του ανταλλαξιμού καλίου στο έδαφος

Διάγυση του ανταλλαξιμου καλίου και αποδέσμευση του μη-ανταλλαξιμου

καλίου

Οι Heming and Rowell (1985), παρουσίασαν ένα μαθηματικό πρότυπο για να αποδείξουν ότι τα φυτά έχουν τη δυνατότητα να προσλαμβάνουν ανταλλάξιμο και μη-ανταλλάξιμο K^+ από τα σφαιρικά συσσωματώματα του εδάφους.

Η θεωρία του πρότυπου αυτού έχει ως εξής:

- Το έδαφος περιέχει μια ποσότητα ανταλλαξιμου K^+ (K_{ex}) που προσδιορίζεται από το σημείο της τομής της προέκτασης (προεκβολής) του ευθύγραμμου τμήματος της καμπύλης εκρόφησης και του άξονα εκρόφησης.
- Το μη-ανταλλάξιμο K^+ (K_{nex}) αποδεσμεύεται με βραδύ ρυθμό που για τους σκοπούς του θεωρητικού πρότυπου περιλαμβάνει την ποσότητα του καλίου που αντιστοιχεί στο χαμηλότερο τμήμα της ισόθερμης καμπύλης.
- Η ποσότητα του μη-ανταλλαξιμου K^+ που αποδεσμεύεται είναι απευθείας ανάλογος της τετραγωνικής ρίζας του χρόνου t .
- Τα εδαφικά συσσωματώματα θεωρούνται ότι είναι σφαιρικού σχήματος και ότι αποτελούνται από οκτώ (8) ομόκεντρα όστρακα (concentric shells) ίσου όγκου και ότι η κίνηση του ανταλλαξιμουκαλίου μεταξύ των γειτονικών όστρακων γίνεται με διάχυση σύμφωνα με το νόμο του Fick. Σε κάθε τμήμα των σφαιρικών συσσωματωμάτων αποδέσμευση του μη-ανταλλαξιμου K^+ τότε μόνο παρατηρείται, όταν η ποσότητα του ανταλλαξιμου K^+ που παραμένει σε κάθε όστρακο (shell) κατέλθει μιας κρίσιμης τιμής (K_c). Το μη-ανταλλάξιμο K^+ που αποδεσμεύεται με αυτό τον τρόπο μετατρέπεται σε ανταλλάξιμο και διαχέεται διαμέσου των οστράκων ως ανταλλάξιμο K^+ .

Όταν η τιμή της ποσότητας του ανταλλαξιμου K^+ ανυψωθεί υπεράνω της κρίσιμης τιμής K_c , τότε ο μηχανισμός αποδέσμευσης του μη-ανταλλαξιμου K^+ σταματάει να λειτουργεί μέχρις ότου η τιμή της ποσότητας του ανταλλαξιμου K^+ κατέλθει και πάλι κάτω της κρίσιμης τιμής K_c .

Το ανωτέρω θεωρητικό πρότυπο για τα εδαφικά συσσωματώματα (Spherical model) αφού βελτιώθηκε χρησιμοποιήθηκε από τους Mitsios και Rowell (1987) για

να μελετήσουν τη διάχυση του καλίου σε έδαφος κυλινδρικού όγκου και σε σχέση με την πυκνότητα του ριζικού συστήματος.

Σύμφωνα με το νέο θεωρητικό πρότυπο (Cylindrical model) οι ρίζες των φυτών θεωρούνται ότι είναι παράλληλες και απέχουν εξίσου μεταξύ τους και ότι αυτές ενεργούν σαν καταβόθρες (zero sink και προσλαμβάνουν το κάλιο από έδαφος κυλινδρικού όγκου.

Η κύρια διαφορά μεταξύ των δύο αυτών θεωρητικών προτύπων (Spherical diffusion model και Cylindrical model) είναι ότι στο πρότυπο για κυλινδρική διάχυση (Cylindrical diffusion model) το όστρακο (shell) πλησίον της ρίζας έχει μικρότερο όγκο συγκρινόμενο με τα εσωτερικά όστρακα. Αν τα όστρακα στο πρότυπο για κυλινδρική διάχυση είχαν τον αυτόν όγκο όπως στο Spherical diffusion model, τότε οι προβλέψεις για την κίνηση του καλίου προς τη ρίζα με διάχυση θα ήταν εσφαλμένες εξαιτίας της σχετικής μεγάλης πυκνότητας του εσωτερικού όστρακου.

Εκχύλιση του διαθέσιμου καλίου, με εκχυλιστικά διαλύματα

Υπάρχουν πολλές μέθοδοι για τον προσδιορισμό του διαθέσιμου καλίου. Όλες οι χημικές μέθοδοι χρησιμοποιούν εκχυλιστικά διαλύματα τα οποία εκχυλίζουν το ανταλλάξιμο K^+ και το K^+ του εδαφικού διαλύματος μαζί με ποσότητες ανταλλαξιμού K^+ που αποδεσμεύεται με αργούς ρυθμούς. Η μέθοδος που περιγράφεται, χρησιμοποιείται για αναλύσεις ρουτίνας με διάλυμα 1 M CH_3COONH_4 (pH=7). Στον πίνακα 2.4 παρουσιάζονται οι μέθοδοι για τον προσδιορισμό του διαθέσιμου K^+ αλλά και άλλων στοιχείων όπως του ανταλλαξιμού Mg^{2+} , του ανταλλαξιμού Ca^{2+} αλλά και άλλων στοιχείων.

Αντιδραστήρια και όργανα

Διάλυμα οξικού αμμωνίου, 1M. Με αποσταγμένο ύδωρ αραιώνονται 230 mL παραγετώδους οξικού οξέος μέχρι όγκου 1L. Διάλυμα αμμωνίας (περίπου 35% m.m⁻¹ NH_3) όγκου 220 mL αραιώνεται με αποσταγμένο ύδωρ μέχρι όγκου 1L. Τα δύο διαλύματα αναμιγνύονται μαζί και το pH ρυθμίζεται στην τιμή 7, με οξικό οξύ ή με αμμωνία. Στη συνέχεια γίνεται αραιώση μέχρι όγκου 4L.

Πρότυπα διαλύματα καλίου, 0-10 $\mu\text{g K}^+ \text{mL}^{-1}$. Τα διαλύματα παρασκευάζονται από το πρότυπο διάλυμα 1 $\text{mg K}^+ \text{mL}^{-1}$ το οποίο διατίθεται στο εμπόριο και παρασκευάζεται ως εξής. Το νιτρικό κάλιο, KNO_3 , ξηραίνεται στους 105°C για μια ώρα και στη συνέχεια αφήνεται σε κοινό ξηραντήρα για να ψυχθεί. Σε ένα ποτήριο ζέσεως διαλύονται με αποσταγμένο ύδωρ 1,293 g ξηρού KNO_3 . Αν το διάλυμα αυτό παραμείνει ως έχει και αποθηκευθεί για μερικές ημέρες τότε προστίθεται 1 mL HCl (πυκνότητας 36% m/m HCl) ως συντηρητικό.

Το διάλυμα αυτό μεταφέρεται σε μια ογκομετρική φιάλη των 500 mL το δε ποτήριο ζέσεως ξεπλένεται σχολαστικά με οξικό αμμώνιο και το περιεχόμενο μεταφέρεται στην ογκομετρική φιάλη και στη συνέχεια το διάλυμα αραιώνεται με αποσταγμένο ύδωρ μέχρι τη χαραγή. Με σιφόνιο μεταφέρονται 10 mL από το διάλυμα αυτό σε ογκομετρική φιάλη των 100 mL και αραιώνεται με οξικό αμμώνιο μέχρι τη χαραγή της φιάλης. Το διάλυμα αυτό περιέχει $100 \mu\text{g K}^+ \text{mL}^{-1}$. Από το διάλυμα αυτό με σιφόνιο μεταφέρονται 0, 2, 4, 6, 8 και 10 mL σε ογκομετρικές φιάλες των 100 mL τα οποία αραιώνονται με οξικό αμμώνιο. Τα διαλύματα αυτά περιέχουν 0, 2, 4, 6, 8 και $10 \mu\text{g K}^+ \text{mL}^{-1}$.

Μέθοδος

Σε ένα ποτήριο ζέσεως των 100 mL μεταφέρονται 5g ($\pm 0,01$) αεροξηραθέντος εδάφους ($<2\text{mm}$). Προστίθενται 20 mL διαλύματος 1M $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ ($\text{pH}=7$), ανακινείται και αφήνεται για μια νύχτα. Το εδαφικό αιώρημα διηθείται με ηθμό Whatman No.42 και το διήθημα συλλέγεται σε ογκομετρική φιάλη των 250 mL.

Η κωνική φιάλη ξεπλένεται σχολαστικά με οξικό αμμώνιο. Για το σκοπό αυτό είναι προτιμότερο να χρησιμοποιείται υδροβολέας με οξικό αμμώνιο.

Το έδαφος που είναι στο χωνί ξεπλένεται διαδοχικά με 25 mL διαλύματος οξικού αμμωνίου αφήνοντας το διάλυμα να στραγγίζει μετά από κάθε προσθήκη διαλύματος οξικού αμμωνίου. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι να συλλεχθεί διήθημα όγκου 250 mL. Στη συνέχεια προστίθεται διάλυμα οξικού αμμωνίου μέχρι τη χαραγή. Το εκχύλισμα αυτό χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του καλίου, ασβεστίου και μαγνησίου.

Η ίδια διαδικασία ακολουθείται αν ως εκχυλιστικό διάλυμα χρησιμοποιηθεί 1 M NH_4NO_3 . Για τον προσδιορισμό της ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων (C.E.C) ακολουθείται η εξής διαδικασία. Το χωνί με το έδαφος τοποθετείται σε ένα στήριγμα

κατάλληλο για χωνί υπεράνω από υάλινο ποτήριο ζέσεως. Το εσωτερικό του χωνιού ξεπλένεται μαζί με το έδαφος 5 φορές με 25 mL αιθανόλης την κάθε φορά αφήνοντας αρκετό χρόνο για να στραγγίσει ικανοποιητικά το έδαφος. Τα ξεπλύματα αποχύνονται. Η διαδικασία αυτή έχει ως σκοπό την απομάκρυνση του οξικού αμμωνίου από το έδαφος. Στη συνέχεια το χωνί τοποθετείται υπεράνω ογκομετρικής φιάλης όγκου 100 mL. Το έδαφος ξεπλένεται διαδοχικά με 25 mL διαλύματος KCl αφήνοντας κάθε φορά να στραγγίσει το διάλυμα. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι όγκου 100 mL και μέχρι τη χαραγή προστίθεται διάλυμα KCl 1 M. Στο διάλυμα αυτό προσδιορίζεται η C.E.C.

Φλογοφωτόμετρο

Διάλυμα που περιέχει K^+ ψεκάζεται σε υγραέριο. Στη φλόγα τα ιόντα του καλίου μετατρέπονται σε άτομα.

Τα ηλεκτρόνια του ατόμου του καλίου εβρισκόμενα κανονικά σε κατάσταση ελάχιστης ενέργειας, **τη θεμελιώδη κατάσταση**, απορροφούν ενέργεια από τη φλόγα του φλογοφωτομέτρου και μεταπηδούν σε τροχιές υψηλότερης ενέργειας "**διεγερμένες καταστάσεις**". Οι διεγερμένες καταστάσεις είναι ασταθείς και τα ηλεκτρόνια επανέρχονται αμέσως σε χαμηλότερες ενεργειακές καταστάσεις (τροχιές), η δε ενέργεια, η οποία αντιστοιχεί στη διαφορά των δύο καταστάσεων ελευθερώνεται με τη μορφή ακτινοβολίας. Κάθε γραμμή ενός ατομικού φάσματος αντιστοιχεί στη διαφορά μεταξύ δύο ενεργειακών καταστάσεων ενός ηλεκτρονίου. Έτσι, ο αριθμός γραμμών στα ατομικά φάσματα αποτελεί στοιχείο ενδεικτικό του συνολικού αριθμού των πιθανών ενεργειακών καταστάσεων.

Τα φάσματα απορρόφησης ή εκπομπής αποτελούν χαρακτηριστικές ιδιότητες όλων των στοιχείων και μπορούν να χρησιμεύσουν στην ανίχνευσή τους.

Η ποσότητα της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας εξαρτάται από τις συνθήκες της φλόγας του φλογοφωτομέτρου και από το ρυθμό κατά τον οποίο το K^+ εισέρχεται στη φλόγα. Επομένως για σταθερό περιβάλλον του φλογοφωτομέτρου και για ομοιόμορφη ροή, η εκπεμπόμενη ακτινοβολία είναι ανάλογη της συγκέντρωσης του K^+ στο διάλυμα. Η ακτινοβολία αυτή επλέγεται από την εκπομπή και άλλων στοιχείων με τη βοήθεια εγχρώμου

υάλινου φίλτρου με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η μέτρηση με τη χρήση φωτοηλεκτρικού κυττάρου και αμπερομέτρου.

Μόνο ορισμένα στοιχεία εκπέμπουν ικανοποιητική ακτινοβολία για να καταστεί η μέτρηση αυτής με αυτόν τον τρόπο (K^+ , Ca^{2+} , Na^+ , Li^+).

Για τα στοιχεία αυτά η μέθοδος είναι απλή και ευαίσθητη κατά τη λειτουργία του φλογοφωτομέτρου.

Βαθμονόμηση

Ακολουθώντας τις οδηγίες χρήσης του εργοστασίου κατασκευής του φλογοφωτομέτρου και με το φίλτρο K^+ τοποθετείται το αμπερόμετρο στο μηδέν με το πρότυπο K^+ με συγκέντρωση μηδέν και με το πρότυπο $10 \mu g K^+ mL^{-1}$ τοποθετείται το αμπερόμετρο στη μέγιστη κλίμακα εκτροπής. Σημειώνονται οι ενδείξεις του αμπερομέτρου για όλα τα πρότυπα διαλύματα K^+ από 0 μέχρι $10 \mu g K^+ mL^{-1}$ (παρατήρηση 1). Ελέγχεται η σταθερότητα του οργάνου με το πρότυπο διάλυμα καλίου συγκέντρωσης μηδέν και με το μέγιστο πρότυπο διάλυμα των $10 \mu g K^+ mL^{-1}$. Στη συνέχεια σχεδιάζεται η πρότυπη καμπύλη συγκέντρωσης-ένδειξης οργάνου (Εικόνα 2.12)



Μέτρηση

Μετά τη βαθμονόμηση εισάγεται το άγνωστο εκχύλισμα και σημειώνεται η ένδειξη του οργάνου. Αν η ένδειξη είναι εκτός κλίμακας τότε το δείγμα αραιώνεται. Με βάση την καμπύλη που έχει κατασκευαστεί κατά τη βαθμονόμηση του οργάνου, αντιστοιχίζεται η ένδειξη του οργάνου για το άγνωστο εκχύλισμα, με τη συγκέντρωση ($\mu g mL^{-1}$).

Δείκτες διαθεσιμότητας καλίου

Η βιβλιογραφία αναφέρει (MAFF, 1988; Rowell, 1995) ότι τα εδάφη στη Μεγάλη Βρετανία ταξινομούνται με δείκτες με βάση την περιεκτικότητα των εδαφών σε ανταλλάξιμο K^+ (πίνακας 2.5). Για πολλά καλλιεργούμενα εδάφη οι δείκτες 0, 1 και 2 χαρακτηρίζουν εδάφη πτωχής, χαμηλής και μέτριας περιεκτικότητας σε K^+ . Τα εδάφη με δείκτη 2 διαθέτουν επαρκείς ποσότητες K^+ για την κάλυψη των αναγκών των σιτηρών σε κάλιο, όμως η προσθήκη καλιούχων λιπασμάτων η οποία κρίνεται απαραίτητη για τη διατήρηση της διαθεσιμότητας του K^+ . Εδάφη με δείκτη 3 διαθέτουν επαρκείς ποσότητες καλίου για την κάλυψη των αναγκών των σιτηρών για πολλά χρόνια χωρίς καλιούχο λίπανση των καλλιεργειών αυτών.

Η χρήση δελτίου ταξινόμησης είναι μια ένδειξη της κατάστασης αβεβαιότητας που περιέχονται όταν χρησιμοποιούνται οι τιμές του ανταλλαξιμού K^+ ως δείκτες διαθεσιμότητας στον αγρό. Εκτός από τα προβλήματα αυτά η μέθοδος αυτή δεν προσδιορίζει τη διαθεσιμότητα του καλίου που αποδεσμεύεται με αργούς ρυθμούς. Επομένως ακόμα και αν η χημική μέθοδος δίδει ακριβή τιμή αυτή δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης διαθεσιμότητας με την ίδια ακρίβεια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

Δειγματοληψία και εργαστηριακές αναλύσεις

Δειγματοληψία

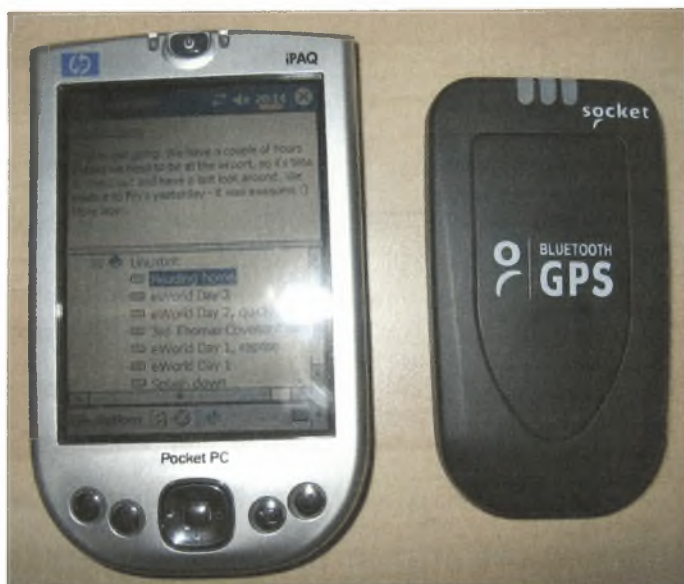
Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε σε εδάφη της ευρύτερης περιοχής του Αλμυρού Μαγνησίας από 11/5/2005 έως 31/5/2005. Η έκταση της υπό μελέτης περιοχής ήταν περίπου 150.000 στρέμματα. Για την πραγματοποίηση της χρησιμοποιήθηκε ορθοφωτοχάρτης της περιοχής (πηγή: Φλωράς Σ.) και εφαρμόστηκε η μέθοδος της Τυχαίας δειγματοληψίας (random sampling). Τυχαία δειγματοληψία λαμβάνεται όταν οι στατιστικές μονάδες επιλέγονται τυχαία από τον πληθυσμό που είναι προς μελέτη. Αυτό σημαίνει ότι δεν συντελεί στην επιλογή ή όχι μιας στατιστικής μονάδας αυτός που κάνει την δειγματοληψία (δεν υπάρχει υποκειμενικός παράγοντας) και κάθε στατιστική μονάδα έχει γνωστή πιθανότητα να επιλεγεί σαν μονάδα του δείγματος (Τζώρτζιος, 1997).

Το πλεονέκτημα της τυχαίας δειγματοληψίας είναι ότι εμφανίζονται αμερόληπτοι μέσοι όροι και παραλλακτικότητες. Τα μειονεκτήματα της είναι ότι κάθε σημείο είναι αυτοτελές και στο ότι η πλήρης τυχαιοποίηση μπορεί να οδηγήσει σε μια άνιση κατανομή των σημείων δειγματοληψίας, εκτός και αν πολλά σημεία δειγματοληψίας μπορούν να μετρηθούν, πράγμα το οποίο συνήθως εμποδίζεται από το υπερβολικό κόστος (Φλωράς Σ., 2002).



Εικόνα 2.4. Δειγματολήπτης τύπου edelman

Οι θέσεις λήψης των εδαφικών δειγμάτων ήταν τυχαίες και η θέση (συντεταγμένες χ , ψ σε μοίρες) των σημείων δειγματοληψίας καθορίστηκαν με το σύστημα D.G.P.S. (Differential Global Positioning System)



Εικόνα 2.5 Συσκευή G.P.S. (Global Positioning System).

Κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας έγινε χρήση D.G.P.S. με σκοπό τον ακριβή εντοπισμό των σημείων δειγματοληψίας και την καταγραφή των συντεταγμένων και του υψομετρικού σημείου αυτών. Ελήφθησαν 100 συνολικά εδαφικά δείγματα μάζας περίπου 1 kg, τα οποία συλλέχθηκαν από βάθος 0–30 cm και από διάφορες καλλιέργειες (πίνακας 2.4). Ο κύριος όγκος των εδαφικών δειγμάτων προέρχεται από καλλιέργειες βάμβακος, σιταριού, μηδικής και ελιάς. Η λήψη των δειγμάτων εδάφους έγινε με τη χρήση εδαφολήπτη τύπου Edelman (εικόνα 2.4) και τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε πλαστικές σακούλες, ενώ ταυτόχρονα καταγράφηκαν στοιχεία που αφορούσαν τη δειγματοληψία όπως περιοχή δειγματοληψίας, αριθμός τομής, χρήση γης, γεωμορφή, φυσιογραφία, ημερομηνία δειγματοληψίας και γενικές παρατηρήσεις για κάθε δείγμα ξεχωριστά.

Στη συνέχεια τα εδαφικά δείγματα μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο Εδαφολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βόλο όπου περίπου η μισή ποσότητα του κάθε εδαφικού δείγματος διατηρήθηκε στον καταψύκτη μέχρι να γίνει ο προσδιορισμός

των νιτρικών και νιτρωδών ιόντων, ενώ η υπόλοιπη ποσότητα αφού αεροξηράνθηκε σε θερμοκρασία δωματίου για χρονικό διάστημα 10 ημερών και αφού διήλθε από κόσκινα (2mm) διατηρήθηκε σε πλαστικές σακούλες.

Εργαστηριακές αναλύσεις των εδαφικών δειγμάτων

✓ Προσδιορισμός του pH

Η τιμή του pH των εδαφικών δειγμάτων προσδιορίστηκε σε υδατικό αιώρημα εδάφους, σε αναλογία 1:1 (w/w) (McLean, 1982).

Αντιδραστήρια και όργανα.

1. Ποτήρι ζέσεως των 100 mL.
2. Ογκομετρικός κύλινδρος των 50 mL.
3. Ρυθμιστικά διαλύματα με pH=4 και pH=7.
4. Πεχάμετρο Crison.
5. Γυάλινη ράβδος.
6. Αποσταγμένο ύδωρ.
7. Ζυγός ακριβείας.

Βαθμονόμηση pH-μέτρου (Crison).

Το pH-μετρο βαθμονομείται με τη βοήθεια των ρυθμιστικών διαλυμάτων με τιμές pH=7 και pH=4 σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.

Μέθοδος.

Στο ποτήρι ζέσεως των 100 mL φέρονται 30 g αεροξηραθέντος εδάφους και με τη βοήθεια του ογκομετρικού κυλίνδρου προστίθενται 30 mL αποσταγμένου ύδατος. Με τη γυάλινη ράβδο πραγματοποιείται ανάδευση για χρονικό διάστημα 10 λεπτών. Το αιώρημα αφήνεται προς εξισορρόπηση. Στη συνέχεια εισάγεται το ηλεκτρόδιο του πεχαμέτρου στο ανώτερο τμήμα του υδατικού αιωρήματος εδάφους και λαμβάνεται η μέτρηση αφού σταθεροποιηθεί το όργανο.

✓ Προσδιορισμός της ηλεκτρικής αγωγιμότητας E.C. (Electrical Conductivity)

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα των εδαφικών δειγμάτων προσδιορίστηκε σε υδατικό αιώρημα εδάφους, σε αναλογία 1:1 (w/w) (McLean, 1982).

Αντιδραστήρια και όργανα.

1. Ποτήρι ζέσεως των 100 mL.
2. Ογκομετρικός κύλινδρος των 50 mL.
3. Ρυθμιστικό διάλυμα 0,1 M KCl.
4. Αγωγιμόμετρο του Οίκου Methrohm
5. Γυάλινη ράβδος.
6. Αποσταγμένο ύδωρ.
7. Ζυγός ακριβείας.
8. Θερμόμετρο.

Βαθμονόμηση αγωγιμομέτρου

Το αγωγιμόμετρο βαθμονομείται με τη βοήθεια του ρυθμιστικού διαλύματος KCl 0.1M. Στους 25 °C η ένδειξή του πρέπει να είναι 1,41 dS/m. Σε διαφορετική θερμοκρασία ρυθμίζεται η ένδειξή του με βάση τις οδηγίες του κατασκευαστή.

Μέθοδος.

Στο ποτήρι ζέσεως των 100 mL φέρονται 30 g αεροξηραθέντος εδάφους και με τη βοήθεια του ογκομετρικού κυλίνδρου προστίθενται 30 mL αποσταγμένου ύδατος. Με τη γυάλινη ράβδο πραγματοποιείται ανάδευση για χρονικό διάστημα 10 λεπτών. Στη συνέχεια εισάγεται το αγωγιμόμετρο στο εδαφικό αιώρημα και λαμβάνεται η μέτρηση ενώ ακόμα τα εδαφικά τεμαχίδια βρίσκονται σε αιώρηση. Για τη διατήρηση των εδαφικών τεμαχιδίων σε αιώρηση ανακινείται ελαφρά το αγωγιμόμετρο. Λαμβάνεται η ένδειξη του αγωγιμομέτρου αφού σταθεροποιηθεί για περίπου 10 sec.

✓ Προσδιορισμός της οργανικής ουσίας

Χρησιμοποιήθηκε η τροποποιημένη μέθοδος των Nelson and Sommers (1982).

Όργανα - σκεύη

-Κωνικές ευρύλαιμες φιάλες των 500mL

-Ζυγός ακριβείας δύο δεκαδικών ψηφίων

-Σιφώνια 20mL, 10mL, 1mL

-Προχοΐδα

Αντιδραστήρια

-Πρότυπο διάλυμα $K_2Cr_2O_7$, 1N. Ζυγίστηκαν 49,04g $K_2Cr_2O_7$, το οποίο είχαν προηγουμένως ξηραθεί στους $105^{\circ}C$ για 1 ώρα και διαλύθηκαν σε αποσταγμένο νερό. Μεταφέρθηκαν στη συνέχεια σε ογκομετρική φιάλη των 1000mL η οποία συμπληρώθηκε μέχρι τη χαραγή με αποσταγμένο νερό.

-Πυκνό H_2SO_4 (96% και άνω w/w), του εμπορίου.[Όταν στο έδαφος υπήρχαν Cl^- γίνονταν προσθήκη $15\text{ gr L}^{-1} Ag_2SO_4$ στο οξύ].

-Πυκνό H_3PO_4 (96% και άνω w/w), του εμπορίου.

-Πρότυπος τιτλοδότης, διάλυμα $FeSO_4$ 0,5N. Διαλύθηκαν 139g $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ σε αποσταγμένο νερό και προστέθηκαν 15mL πυκνού H_2SO_4 . Ακολούθησε ψύξη και αραιώση μέχρι όγκου 1000 mL.

Για την συγκέντρωση του αντιδραστηρίου γίνονταν έλεγχος πριν τη χρήση, με τιτλοδότηση με 10mL διαλύματος $K_2Cr_2O_7$ 1N.

-Δείκτης ο-φαινανθρολίνης, η οποία είχε συμποκοποιηθεί με διάλυμα $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 0,025M: 14,85 g από το αντιδραστήριο της ο-φαινανθρολίνης και 6,95 gr από το αντιδραστήριο $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, ζυγίστηκαν και διαλύθηκαν σε μικρή ποσότητα αποσταγμένου νερού. Ακολούθησε αραιώση σε ογκομετρική φιάλη των 1000mL με αποσταγμένο νερό.

Μέθοδος

Ζυγίστηκαν 0,2-1,0g αεροξηραθέντος εδάφους, που είχε λειοτριβηθεί και κοσκινιστεί με κόσκινο (όχι μεταλλικό), διαμέτρου 0,5mm. Το δείγμα μεταφέρθηκε σε κωνική φιάλη των 500mL. Κατόπιν, προστέθηκαν 10mL διαλύματος $K_2Cr_2O_7$ 1N και ανακινήθηκε ελαφρά η φιάλη, έτσι ώστε να διασπαρθεί το δείγμα πλήρως στο διάλυμα. Στη συνέχεια, προστέθηκαν 20mL πυκνού H_2SO_4 . Η φιάλη ανακινήθηκε για ένα λεπτό και αφέθηκε σε ηρεμία για 30 λεπτά της ώρας. Κατόπιν, προστέθηκαν 200mL αποσταγμένου νερού, 10mL H_3PO_4 και 1mL δείκτη ο-φαινανθρολίνης.

Τελικά, ογκομετρήθηκε η περίσσεια του $K_2Cr_2O_7$ με το διάλυμα $FeSO_4$ μέχρις αλλαγής του χρώματος του δείκτη από μπλε σε κόκκινο. Παράλληλα, πραγματοποιήθηκε και ο τυφλός προσδιορισμός της κανονικότητας του πρότυπου τιτλοδότη, $FeSO_4$ 0,5N. Όταν γίνονταν αναγωγή από τον οργανικό άνθρακα περισσότερο από 75% των ιόντων $Cr_2O_7^{2-}$, τότε ο προσδιορισμός επαναλαμβάνονταν χρησιμοποιώντας μικρότερη ποσότητα εδαφικού δείγματος.

Υπολογισμοί

Ο οργανικός άνθρακας υπολογίστηκε από τον τύπο :

$$\text{Οργανικός C, \%} = \frac{(\text{meqK}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - \text{meqFeSO}_4)(0.003)(100)}{\text{gξηρού εδάφους}} \times f$$

όπου : meq $K_2Cr_2O_7$ είναι ίσα με τα meq $FeSO_4$ που καταναλώνονται για τον τυφλό προσδιορισμό, meq $FeSO_4$ είναι τα mL του τιτλοδότη που καταναλώθηκαν για το δείγμα επί την κανονικότητα του διαλύματος και f είναι συντελεστής διόρθωσης που έχει τιμή 1,3.

Συμπληρωματικά, αναφέρεται ότι οι τιμές του ολικού άνθρακα % καθώς και της ολικής οργανικής ουσίας %, υπολογίστηκαν ως εξής :

$$\text{Ολικός Οργανικός C, \%} = \frac{(\text{meqK}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - \text{meqFeSO}_4)(0.0039)(100)}{\text{gξηρού εδάφους}} \times f$$

$$\text{Οργανική Ουσία, \%} = \frac{(\text{meqK}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - \text{meqFeSO}_4)(0.0067)(100)}{\text{gξηρού εδάφους}} \times f$$

Στατιστική Επεξεργασία Αποτελεσμάτων

Για τη στατιστική ανάλυση και τη τελική παρουσίαση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν τα προγράμματα Microsoft Excel και το πρόγραμμα E.S.R.I ArcGIS v.9.1.

Σε κάθε περίπτωση υπολογίστηκε η μέγιστη, η ελάχιστη και η μέση τιμή κάθε παραμέτρου καθώς και η τυπική απόκλιση (Standard deviation) και ο συντελεστής παραλλακτικότητας (Coefficient of Variance).

Για την εύρεση της σχέσης μεταξύ των τιμών δύο παραμέτρων χρησιμοποιήθηκε η ευθεία συμμεταβολή (Linear Regression).

Εφαρμογή της τηλεπισκόπησης

Για τη διενέργεια της Τυχαίας δειγματοληψίας (random sampling) στην ευρύτερη περιοχή του Αλμυρού χρησιμοποιήθηκε ορθοφωτοχάρτης της περιοχής. (πηγή: Φλωράς Σ.)

Οι αρχικοί ορθοφωτοχάρτες της Τοπογραφικής Υπηρεσίας του Υπουργείου Γεωργίας ήταν σε ψηφιακή μορφή και ήταν γεωγραφικά διορθωμένοι και προβεβλημένοι στο γεωγραφικό προβολικό σύστημα (σε μοίρες).

Οι ψηφιακοί ορθοφωτοχάρτες συνενώθηκαν με το κατάλληλο λογισμικό πρόγραμμα και αποτέλεσαν τον βασικό ορθοφωτοχάρτη της περιοχής μελέτης.

Ψηφιακοί θεματικοί χάρτες

Για τη κατασκευή των ψηφιακών θεματικών χαρτών, που αφορούν τη περιοχή της μελέτης, αρχικά έγινε η ψηφιοποίηση με τη βοήθεια τοπογραφικών χαρτών της περιοχής του Αλμυρού. Η διαδικασία έχει ως εξής: Τοποθετείται ο χάρτης με προσοχή στο ψηφιοποιητή και ξεκινάει η διαδικασία της ψηφιοποίησης. Ορίζονται τα αρχικά όρια των χαρτών και προσδιορίζονται οι μονάδες του ψηφιοποιητή σε ίντσες. Στη συνέχεια πραγματοποιείται η δόμηση της Γεωγραφικής Βάσεως Δεδομένων με τα επίπεδα που είναι απαραίτητο να ψηφιοποιηθούν. (Φλωράς Σ., 2004). Τα επίπεδα που τελικά ψηφιοποιήθηκαν είναι τα εξής:

- Σημεία δειγματοληψίας (σημεία)
- Οδικό δίκτυο (γραμμές)
- Ισοϋψείς (γραμμές)
- Υδρογραφικό δίκτυο (γραμμές)
- Υψομετρικά σημεία (σημεία)
- Επίπεδο των tics (σημεία αναφοράς)

Τυπικά τα επίπεδα οργανώνονται έτσι ώστε τα σημεία, οι γραμμές και τα πολύγωνα να αποθηκεύονται σε ξεχωριστά επίπεδα και shapfiles. Για παράδειγμα οι

δρόμοι παριστάνονται με γραμμές και αποθηκεύονται ως ένα επίπεδο, ενώ τα σημεία δειγματοληψίας παριστάνονται ως σημεία και αποθηκεύονται σε άλλο επίπεδο.

Τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά μπορούν επίσης να οργανωθούν θεματικά σύμφωνα με αυτό που αντιπροσωπεύουν.

Σε κάθε χάρτη ψηφιοποιείται αρχικά ένα κενό επίπεδο με τα tics. Στη συνέχεια ψηφιοποιούνται ως ανεξάρτητα επίπεδα τα υψομετρικά σημεία, οι ισοϋψείς, οι δρόμοι και τέλος τα σημεία δειγματοληψίας.

Από τη στιγμή που κάθε θεματικός χάρτης ψηφιοποιείται, αυτομάτως τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά βρίσκονται αποθηκευμένα με τη μορφή χ και ψ συντεταγμένων στη ψηφιακή βάση δεδομένων μαζί με τις περιγραφικές πληροφορίες τους σε ένα πίνακα γνωστό ως πίνακα πληροφοριών των γεωγραφικών χαρακτηριστικών ή AAT (Arc Attribute Table) και PAT (Polygon ή Point Attribute table) για τα σημεία, τις γραμμές και τα πολύγωνα.

Τέλος δημιουργούνται μητρικά tic αρχεία και γίνεται αρίθμηση κάθε tic με ένα μοναδικό αριθμό ID και ορισμός των συντεταγμένων για κάθε tic με βάση τις συντεταγμένες του χάρτη. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ένας πίνακας με τα ID των tics και τις συντεταγμένες. Ακολουθεί προσδιορισμός και διόρθωση τυχόν λαθών της ψηφιοποίησης. (Φλωράς Σ., 2004)

Προσδιορισμός λαθών από την ψηφιοποίηση

Μετά τη διαδικασία της ψηφιοποίησης εφαρμόστηκε το **ARC/INFO v.9** προκειμένου να γίνει επισημάνση και μετέπειτα διόρθωση λαθών. Το **ARC/INFO v.9**, δίδει τη δυνατότητα να εντοπιστούν τυχόν ατέλειες στην απόδοση της πραγματικότητας καθώς προσδιορίζει με ειδικά σύμβολα τα λάθη στην ψηφιοποίηση.

Μερικά από τα συνήθη λάθη τα οποία η τοπολογία μπορεί να προσδιορίσει είναι :

- Τόξα που δεν συνδέονται μεταξύ τους,
- Πολύγωνα ανοιχτά,
- Πολύγωνα που δεν έχουν label point ή που έχουν περισσότερα από ένα και
- Ταυτότητες σημείων που δεν είναι μοναδικές

Το **ARC/INFO v.9** παρέχει για δημιουργία τοπολογίας αυτόματα δύο εντολές : **build** και **clean**. Η εντολή **build** χρησιμοποιείται για τα σημεία, τις γραμμές και τα

πολύγωνα ενώ η **clean** μόνο για τις γραμμές και τα πολύγωνα. Τα παραπάνω λάθη αντιμετωπίστηκαν με την εντολή **build** για δημιουργία τοπολογίας.

Είναι απαραίτητο και πρέπει να δίδεται ιδιαίτερη προσοχή στην αποφυγή ή στη διόρθωση μικρών λαθών κατά την ψηφιοποίηση και τούτο διότι υπάρχει η δυνατότητα να δημιουργηθούν στρεβλώσεις, μεταξύ των διαφόρων επιπέδων. Έτσι, αν οι συντεταγμένες δε συμπίπτουν ακριβώς, θα υπάρξουν προβλήματα ταύτισης : π.χ. δημιουργία ανεπιθύμητων στενόμακρων πολυγώνων, ανώμαλες άκρες στους χάρτες και ανακριβείς μετρήσεις στην επεξεργασία δεδομένων.

Για να μετατραπούν οι μονάδες των TICS σε δεκαδικές μοίρες, οι μοίρες αφήνονται ως έχουν και ως δεκαδικό μέρος αθροίζονται τα αποτελέσματα της διαίρεσης των μεν λεπτών της μοίρας με το 60, των δε δευτερολέπτων με το 3600.

Οι ψηφιοποιημένοι χάρτες, με τη χρήση των εντολών **mapjoin**, **append** και **edgematch** του **ARC/INFO v. 9**, ενώθηκαν σε ένα ενιαίο χάρτη.

Σύστημα προβολής χαρτών

Οι περισσότεροι χάρτες παρουσιάζουν τα δεδομένα σύμφωνα με ένα αναγνωρισμένο σφαιρικό σύστημα συντεταγμένων όπως είναι για παράδειγμα το Universal Transverse Mercator (UTM), το Albers Conical Equal (ACE) και το Area Polar Stereographic System (APSS). Πρόκειται για παραδείγματα προβολών χαρτών που χρησιμοποιούνται για να παραστήσουν ελλειπτικά χαρακτηριστικά σε μια επίπεδη επιφάνεια. Βέβαια τα προβολικά συστήματα που υπάρχουν σήμερα είναι πάνω από 300.

Λαμβανομένου υπόψη ότι η Γη είναι ένα σφαιροειδές, πρέπει να χρησιμοποιηθεί μια μαθηματική μετατροπή για να δημιουργηθεί ένας επίπεδος χάρτης από την σφαιροειδή επιφάνεια. Η μαθηματική αυτή μετατροπή αναφέρεται συχνά ως χαρτογραφική προβολή (**map projection**). (Φλωράς Σ., 2004)

Οι τιμές του γεωγραφικού πλάτους και μήκους δεν είναι στο Καρτεσιανό Σύστημα Συντεταγμένων αλλά σε ένα γεωγραφικό σύστημα αναφοράς. Οι τιμές όμως αυτές είναι οι πλέον διαθέσιμες ακριβείς μετρήσεις σε πολλούς χάρτες. Με τη βοήθεια του **ARC/INFO v.9**, οι τιμές αυτές μετατράπηκαν σε ένα Καρτεσιανό Σύστημα Προβολής το οποίο ονομάζεται “**ΕΓΣΑ 87**”. Το σύστημα αυτό επιλέχθηκε μεταξύ των άλλων ως το καλύτερο διότι έχει τη μικρότερη παραμόρφωση ως προς

την επιφάνεια και ως προς τη διεύθυνση, διατηρεί δηλαδή το σχήμα του χάρτη σχεδόν αναλλοίωτο.

Εφαρμογή του ArcGIS 9.1 Desktop

Το ArcGIS 9.1 Desktop αποτελείται από επιμέρους προγράμματα όπως είναι τα ArcView, ArcMap, ArcEditor και ArcInfo. Το ArcGIS 9.1 Desktop περιλαμβάνει μια ακολουθία ολοκληρωμένων εφαρμογών όπως τα ArcMap, ArcCatalog και ArcToolbox. Με τη χρησιμοποίηση των 3 αυτών εφαρμογών μπορεί να πραγματοποιηθεί οποιαδήποτε εργασία σχετική με GIS, από τις πιο απλές μέχρι τις πιο εξεζητημένες, συμπεριλαμβανομένων της δημιουργίας χαρτών, της διαχείρισης δεδομένων, της γεωγραφικής ανάλυσης και της γεωστατιστικής επεξεργασίας.

Το ArcMap είναι η κεντρική εφαρμογή του ArcGIS 9.1 Desktop. Είναι η εφαρμογή GIS η οποία χρησιμοποιείται για όλες τις εργασίες που έχουν να κάνουν με χάρτες, όπως η χαρτογραφία, η ανάλυση χαρτών και η παρουσίαση αυτών.

Η εφαρμογή του ArcCatalog βοηθά στην οργάνωση και διαχείριση των γεωγραφικών δεδομένων. Περιλαμβάνει εργαλεία για την ανεύρεση γεωγραφικών πληροφοριών, τη ταχεία προβολή δεδομένων και το καθορισμό της σχηματικής δομής των στρώσεων (layers) των γεωγραφικών δεδομένων.

Το ArcToolbox είναι μια απλή εφαρμογή που περιλαμβάνει διάφορα εργαλεία GIS κατάλληλα για γεωεπεξεργασία. Για παράδειγμα χρησιμεύει στη μετατροπή των δεδομένων και στη προβολή τους στα διάφορα προβολικά συστήματα.

Τέλος, πραγματοποιείται η δόμηση της βάσης δεδομένων με την εισαγωγή των αποτελεσμάτων των εργαστηριακών αναλύσεων. Στη συνέχεια εφαρμόζεται το ArcGIS Geostatistical Analyst.

ArcGIS Geostatistical Analyst

Το ArcGIS Geostatistical Analyst χρησιμοποιεί ντετερμινιστικές και γεωστατιστικές μεθόδους προκειμένου να μοντελοποιήσει τις επιφάνειες. Περιλαμβάνει εργαλεία για χωρική ανάλυση των δεδομένων (spatial analysis) και ένα γεωστατιστικό μενού (Geostatistical Wizard) που οδηγεί στη διαδικασία δημιουργίας μιας στατιστικά ορθής επιφάνειας. Οι νέες επιφάνειες που δημιουργούνται με τη βοήθεια της Γεωστατιστικής μπορούν να απεικονιστούν σε ένα Γεωγραφικό Σύστημα

Πληροφοριών. Με το εργαλείο αυτό, Geostatistical Analyst, επιτυγχάνεται ο συνδυασμός της Γεωστατιστικής και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών.

Η δημιουργία επιφανειών με το Geostatistical Analyst περιλαμβάνει τα 3 ακόλουθα βήματα-κλειδιά:

1. Διερευνητική Χωρική Ανάλυση των Δεδομένων (Exploratory spatial data analysis).
2. Ανάλυση της δομής της επιφάνειας (structural analysis).
3. Πρόβλεψη επιφανειών και αιτιολόγηση των αποτελεσμάτων (Surface prediction and assessment of results).

Η διερευνητική χωρική ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιεί τις γνωστές τιμές των δεδομένων για μια συγκεκριμένη περιοχή και αναλύει στατιστικά τα δεδομένα αυτά δημιουργώντας το ιστόγραμμα, την ανάλυση της τάσης των τιμών των μεταβλητών, το γράφημα των Quartiles, τα γραφήματα της ημιπαραλλακτικότητας (semivariogram) και της παραλλακτικότητας (covariance).

Με το Geostatistical Analyst υπάρχει η δυνατότητα να δημιουργήσουμε προβλέψεις με μεγάλη ακρίβεια για τις θέσεις στην ίδια περιοχή όπου δεν έχουν μετρηθεί οι τιμές της μεταβλητής ή των μεταβλητών. Επιπλέον, με τη βοήθεια του εργαλείου αυτού αιτιολογούνται οι στατιστικές ιδιότητες των δεδομένων όπως η χωρική παραλλακτικότητα, οι επιπτώσεις από τη μεταβλητή αυτή και οι γεωγραφικές τάσεις των χαρακτηριστικών των τιμών.

Η γεωστατιστική ανάλυση των δεδομένων αποτελείται από δύο φάσεις: τη μοντελοποίηση του διαγράμματος της ημιπαραλλακτικότητας ή της παραλλακτικότητας των τιμών των εξεταζομένων ιδιοτήτων ή μεταβλητών της υπό εξέταση περιοχής και την εφαρμογή της γεωστατιστικής μεθόδου Krigging.

Μεγάλος αριθμός από επιμέρους μεθόδους Krigging είναι διαθέσιμος για τη δημιουργία συνεχών επιφανειών χωρικής παραλλακτικότητας στη Γεωστατιστική ανάλυση και περιλαμβάνει την Ordinary Kriging, τη Simple Kriging, την Universal Kriging, την Indicator Kriging, τη Propability Kriging και τη Disjunctive Kriging.

Για όλες τις παραμέτρους που μελετήθηκαν, προκειμένου να γίνει η πρόβλεψη των αγνώστων τιμών χρησιμοποιήθηκε ευρύτατα η μέθοδος Ordinary Kriging.

Το geostatistical analyst παρέχει ένα αριθμό συγκεκριμένων μοντέλων για την επιλογή του καταλληλότερου. Αυτά τα μοντέλα είναι τα: Spherical, Circular, Tetraspherical, Pentaspherical, Exponential, Gaussian, Rational quadratic, Hole effect, K-Bessel, J-Bessel και Stable. Η επιλογή του μοντέλου επηρεάζει τη πρόβλεψη των αγνώστων τιμών, ιδιαίτερα όταν το σχήμα της καμπύλης διαφέρει

σημαντικά. Κάθε μοντέλο είναι σχεδιασμένο ώστε να προσεγγίζει διαφορετικούς τύπους φαινομένων όσο το δυνατό καλύτερα.

Το διάγραμμα της ημιπαραλλακτικότητας (semivariogram/covariance wizard) χρησιμοποιήθηκε για να προσαρμοστεί το πιο κατάλληλο μοντέλο πρόβλεψης σε κάθε περίπτωση. Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του καλύτερα προσαρμοσμένου μοντέλου, χρησιμοποιήθηκαν στη συνέχεια για να απεικονιστεί σε χάρτη η συνεχής επιφάνεια της εκτίμησης των αγνώστων τιμών κάθε παραμέτρου.

Ποικίλοι τύποι χαρτών μπορούν να παραχθούν με τη βοήθεια της Γεωστατιστικής ανάλυσης συμπεριλαμβανομένων των χαρτών πρόβλεψης, των χαρτών πιθανότητας και αυτών που αφορούν τα ενδεχόμενα λάθη που προκύπτουν από τη πρόβλεψη του πιο κατάλληλου μοντέλου.

Αν και είναι σχετικά απλό να δημιουργηθεί ένας χάρτης με τη χρησιμοποίηση της Γεωστατιστικής Ανάλυσης, είναι απαραίτητο να εφαρμόζονται ορισμένα βήματα – στάδια:

- Προσθήκη επιπέδων και παρουσίαση τους σε βάση δεδομένων στο ArcMap.
- Προσδιορισμός των στατιστικών ιδιοτήτων των δεδομένων.
- Επιλογή του κατάλληλου μοντέλου για τη δημιουργία επιφάνειας (ESDA).
- Στατιστική επιβεβαίωση του κατάλληλου μοντέλου.
- Σύγκριση των επιφανειών που δημιουργήθηκαν.

Εξέταση της χωρικής παραλλακτικότητας των δεδομένων

Ιστόγραμμα

Οι μέθοδοι χωρικής μεταβλητότητας που χρησιμοποιούνται για να δημιουργήσουν μια επιφάνεια, δίνουν πολύ καλά αποτελέσματα μόνο εάν τα δεδομένα ακολουθούν κανονική κατανομή (καμπύλη Gauss). Σε περιπτώσεις δεδομένων που δεν ακολουθείται κανονική κατανομή, γίνεται μετατροπή των τιμών προκειμένου να προσομοιάζουν με κανονική κατανομή.

Normal QQPlot

Το εργαλείο αυτό της γεωστατιστικής εφαρμόζεται προκειμένου να γίνει σύγκριση της διασποράς των δεδομένων και της απόκλισης αυτών από την κανονική κατανομή ως ένας επιπλέον δείκτης της κανονικότητας των δεδομένων. Όσο πλησιέστερα στη γραμμή βρίσκονταν τα σημεία, τόσο περισσότερο προσέγγιζε η διασπορά τους τη κανονική.

Cross Validation

Με τη βοήθεια του cross validation μπορεί να διαπιστωθεί εάν ένα μοντέλο προβλέπει ικανοποιητικά τις άγνωστες τιμές. Για όλα τα σημεία το Cross Validation επιλέγει ένα σημείο, προβλέπει τη τιμή αυτού χρησιμοποιώντας τα υπόλοιπα δεδομένα και κατόπιν συγκρίνει τις τιμές που έχουν μετρηθεί και αυτές που έχουν προβλεφθεί.

Το πιο σημαντικό αντικείμενο της αξιολόγησης αυτής είναι η δυνατότητα που παρέχει στο χρήστη να αποφασίσει πιο μοντέλο δίδει τις πιο ακριβείς προβλέψεις.

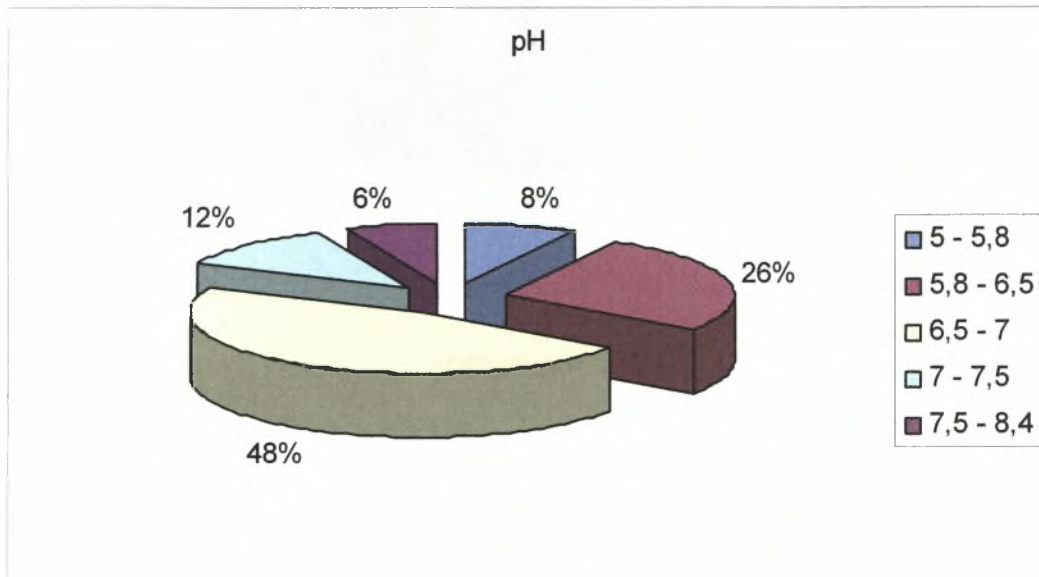
Η επιλογή του καταλληλότερου μοντέλου πραγματοποιείται λαμβάνοντας υπόψη τα ακόλουθα:

- Η τιμή του μέσου όρου να είναι όσο το δυνατό πιο κοντά στη τιμή μηδέν.
- Η τιμή των root-mean-square-error και η τιμή του average standard error να είναι όσο το δυνατό μικρές και να έχουν μικρή μεταξύ τους απόκλιση.
- Η τιμή των root-mean-square-standardized-error να είναι κοντά στη τιμή 1.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

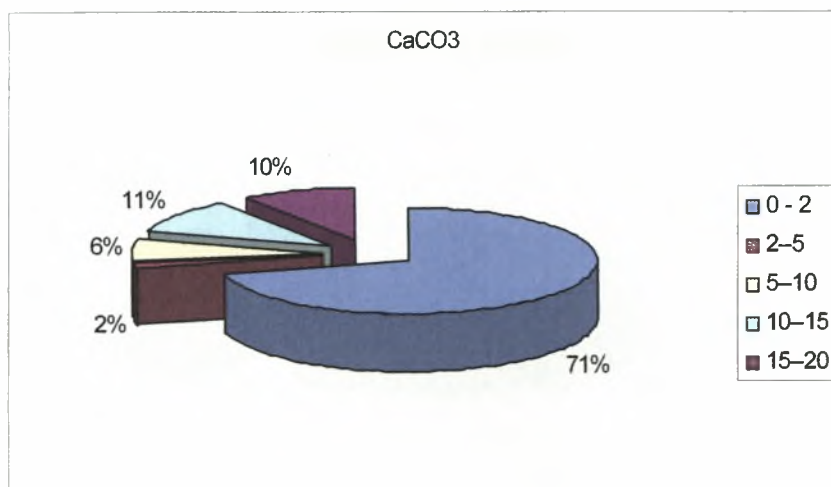
Στο διάγραμμα 1 που ακολουθεί παρουσιάζεται η ταξινόμηση των εδαφικών δειγμάτων με βάση την τιμή του pH



Διάγραμμα 1

Παρατηρείται ότι το 48% των εδαφικών δειγμάτων έχει pH από 6,5 έως 7 και χαρακτηρίζονται ως ουδέτερα, το 26% των εδαφικών δειγμάτων έχει pH από 5,8 έως 6,5 και χαρακτηρίζονται ως μετρίως όξινα, το 12% των εδαφικών δειγμάτων έχει pH από 7 έως 7,5 και χαρακτηρίζονται ως ουδέτερα, το 8% των εδαφικών δειγμάτων έχει pH από 5 έως 5,8 και χαρακτηρίζονται ως ισχυρώς όξινα και το 6% των εδαφικών δειγμάτων έχει pH από 7,5 έως 8,4 και χαρακτηρίζονται ως ελαφρώς αλκαλικά.

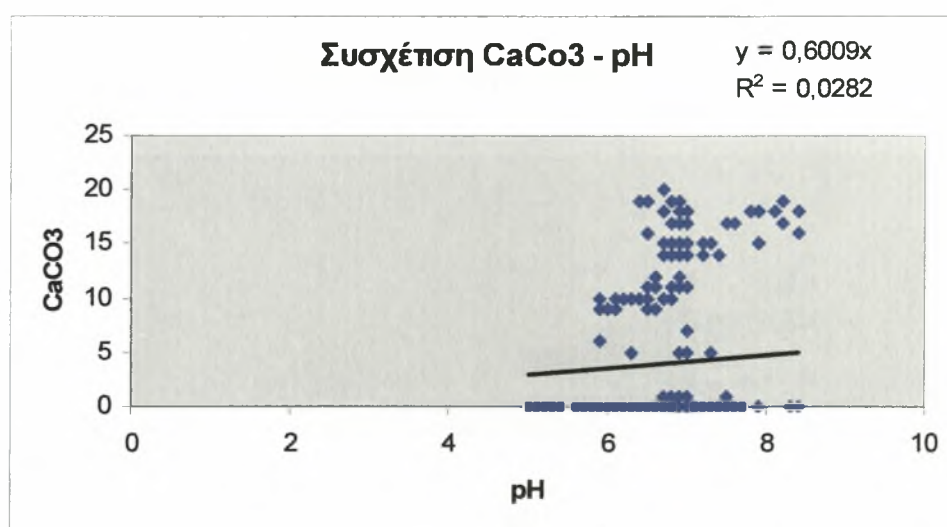
Στο διάγραμμα 2 που ακολουθεί παρουσιάζεται η ταξινόμηση των εδαφικών δειγμάτων με βάση το ποσοστό του ανθρακικού ασβεστίου



Διάγραμμα 2

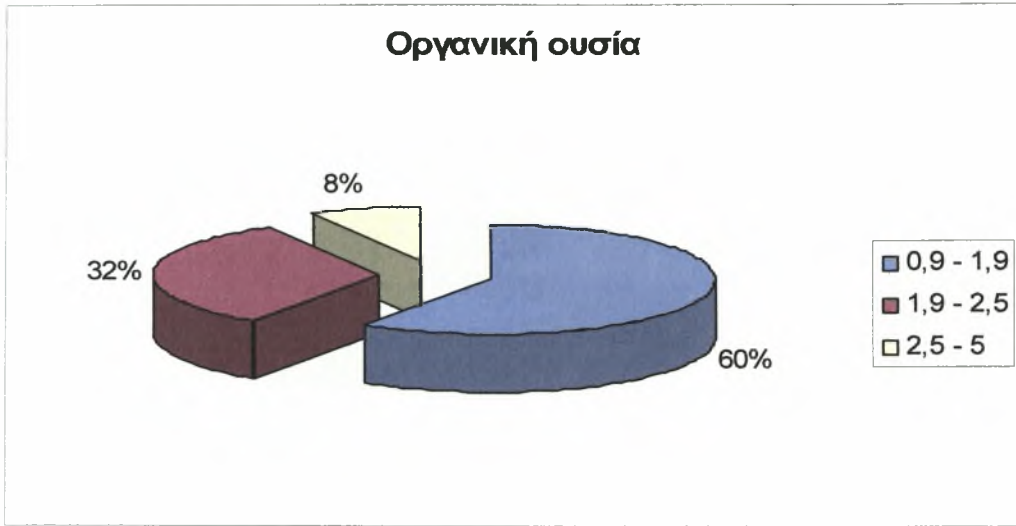
Παρατηρείται ότι το 71% των εδαφικών δειγμάτων περιέχει από 0% έως 2% CaCO₃, το 11% των εδαφικών δειγμάτων περιέχει από 10% έως 15% CaCO₃, το 10% των εδαφικών δειγμάτων περιέχει από 2% έως 5% CaCO₃, το 6% των εδαφικών δειγμάτων περιέχει από 5% έως 10% CaCO₃ και το 2% των εδαφικών δειγμάτων περιέχει από 15% έως 20% CaCO₃.

Στο διάγραμμα 3 που ακολουθεί παρατηρείται ότι δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του CaCO₃ και του pH.



Διάγραμμα 3

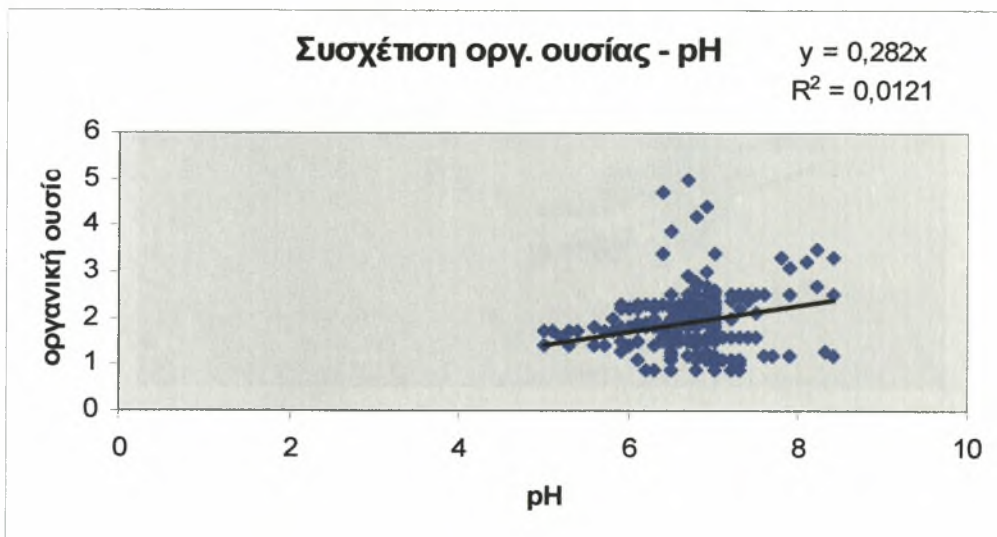
Στο διάγραμμα 4 που ακολουθεί παρουσιάζεται η ταξινόμηση των εδαφικών δειγμάτων με βάση το ποσοστό της οργανικής ουσίας.



Διάγραμμα 4

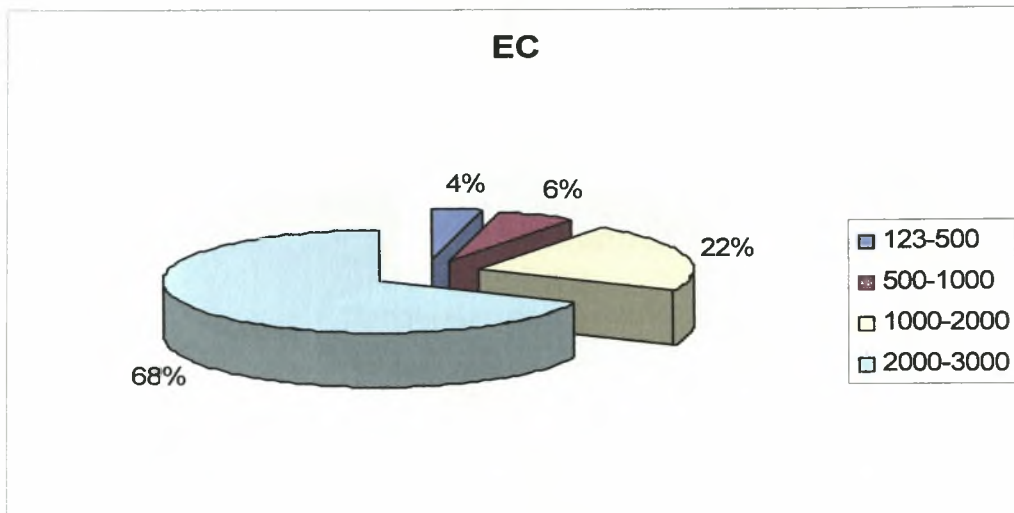
Παρατηρείται ότι το 60% των εδαφικών δειγμάτων περιέχει οργανική ουσία από 0,9% έως 1,9% και χαρακτηρίζεται ως χαμηλή, το 32% των εδαφικών δειγμάτων περιέχει οργανική ουσία από 1,9% έως 2,5% και χαρακτηρίζεται ως μέση και το 8% των εδαφικών δειγμάτων περιέχει οργανική ουσία από 2,5% έως 5% και χαρακτηρίζεται ως μέση.

Στο διάγραμμα 5 που ακολουθεί παρατηρείται ότι δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ της οργανικής ουσίας και του pH.



Διάγραμμα 5

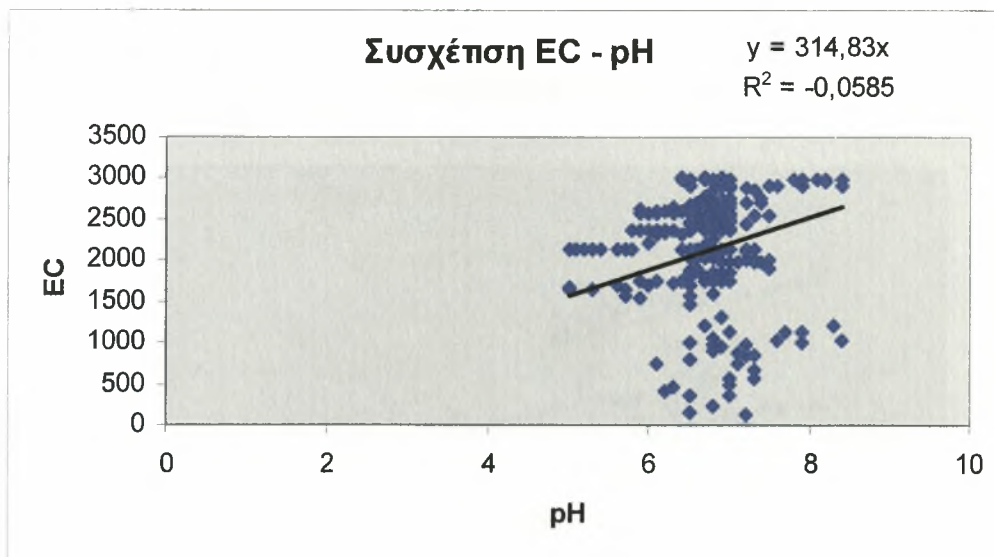
Στο διάγραμμα 6 που ακολουθεί παρουσιάζεται η ταξινόμηση των εδαφικών δειγμάτων με βάση το ποσοστό της ηλεκτρικής αγωγιμότητας.



Διάγραμμα 6

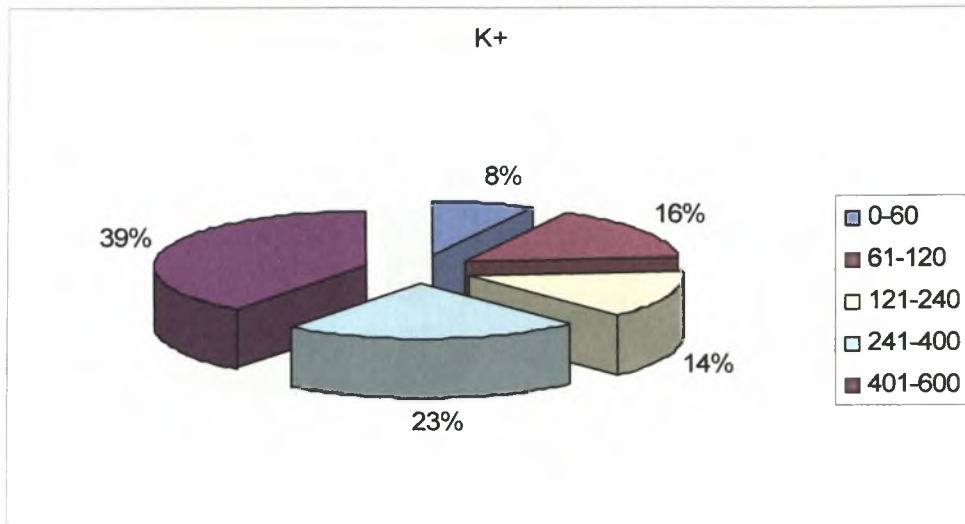
Παρατηρείται ότι το 68% των εδαφικών δειγμάτων έχει ηλεκτρική αγωγιμότητα από 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ έως 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, το 22% των εδαφικών δειγμάτων έχει ηλεκτρική αγωγιμότητα από 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ έως 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, το 6% των εδαφικών δειγμάτων έχει ηλεκτρική αγωγιμότητα από 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ έως 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ και το 4% των εδαφικών δειγμάτων έχει ηλεκτρική αγωγιμότητα από 123 $\mu\text{S}/\text{cm}$ έως 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Στο διάγραμμα 7 που ακολουθεί παρατηρείται ότι δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και του pH.



Διάγραμμα 7

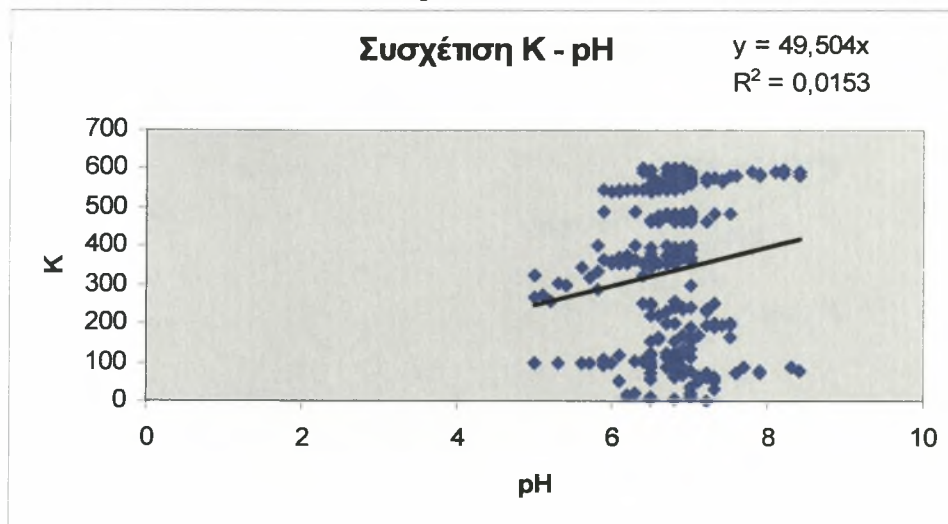
Στο διάγραμμα 8 που ακολουθεί παρουσιάζεται η ταξινόμηση των εδαφικών δειγμάτων με βάση τη συγκέντρωση του καλίου.



Διάγραμμα 8

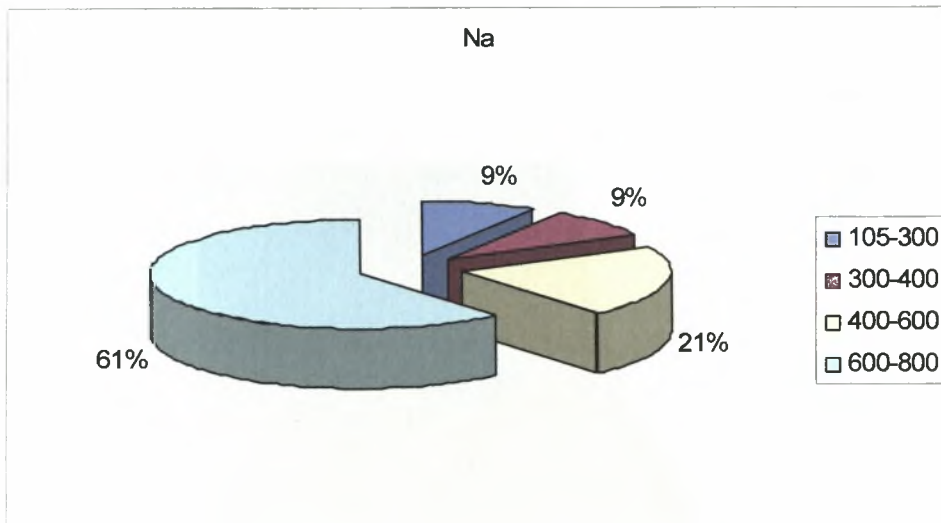
Παρατηρείται ότι το 39% των εδαφικών δειγμάτων περιέχει από 401 mg/gr ξηρού εδάφους έως 600 mg/gr ξηρού εδάφους, το 23% εδαφικών δειγμάτων περιέχει από 241 mg/gr ξηρού εδάφους έως 400 mg/gr ξηρού εδάφους, το 16% εδαφικών δειγμάτων περιέχει από 61 mg/gr ξηρού εδάφους έως 120 mg/gr ξηρού εδάφους, το 14% εδαφικών δειγμάτων περιέχει από 121 mg/gr ξηρού εδάφους έως 240 mg/gr ξηρού εδάφους και το 8% εδαφικών δειγμάτων περιέχει από 0 mg/gr ξηρού εδάφους έως 60 mg/gr ξηρού εδάφους.

Στο διάγραμμα 9 που ακολουθεί παρατηρείται ότι δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ της συγκέντρωσης του καλίου και του pH.



Διάγραμμα 9

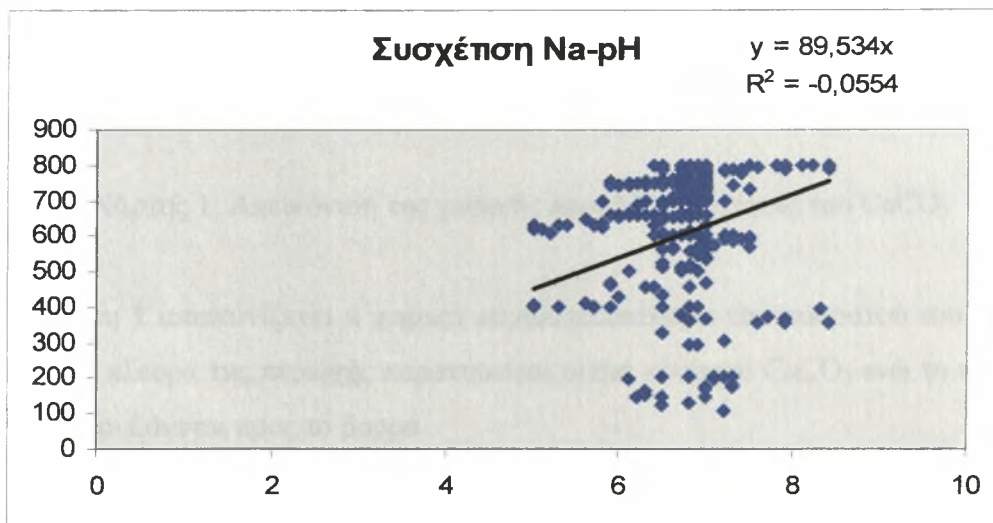
Στο διάγραμμα 10 που ακολουθεί παρουσιάζεται η ταξινόμηση των εδαφικών δειγμάτων με βάση τη συγκέντρωση του νατρίου.



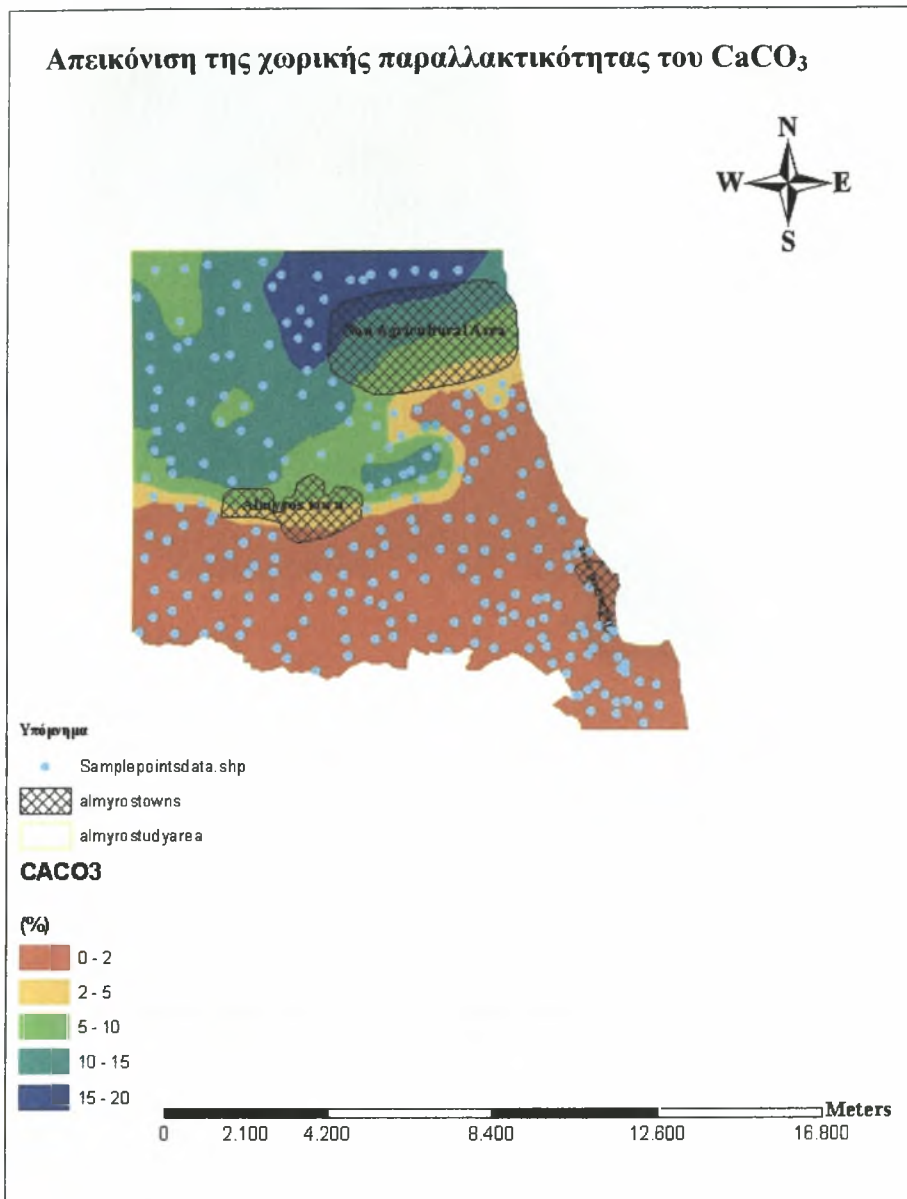
Διάγραμμα 10

Παρατηρείται ότι το 61% των εδαφικών δειγμάτων περιέχει από 600 mg/gr ξηρού εδάφους έως 800 mg/gr ξηρού εδάφους, το 21% εδαφικών δειγμάτων περιέχει από 400 mg/gr ξηρού εδάφους έως 600 mg/gr ξηρού εδάφους, το 9% εδαφικών δειγμάτων περιέχει από 300 mg/gr ξηρού εδάφους έως 400 mg/gr ξηρού εδάφους και το 9% εδαφικών δειγμάτων περιέχει από 105 mg/gr ξηρού εδάφους έως 300 mg/gr ξηρού εδάφους.

Στο διάγραμμα 11 που ακολουθεί παρατηρείται ότι δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ της συγκέντρωσης του καλίου και του pH.

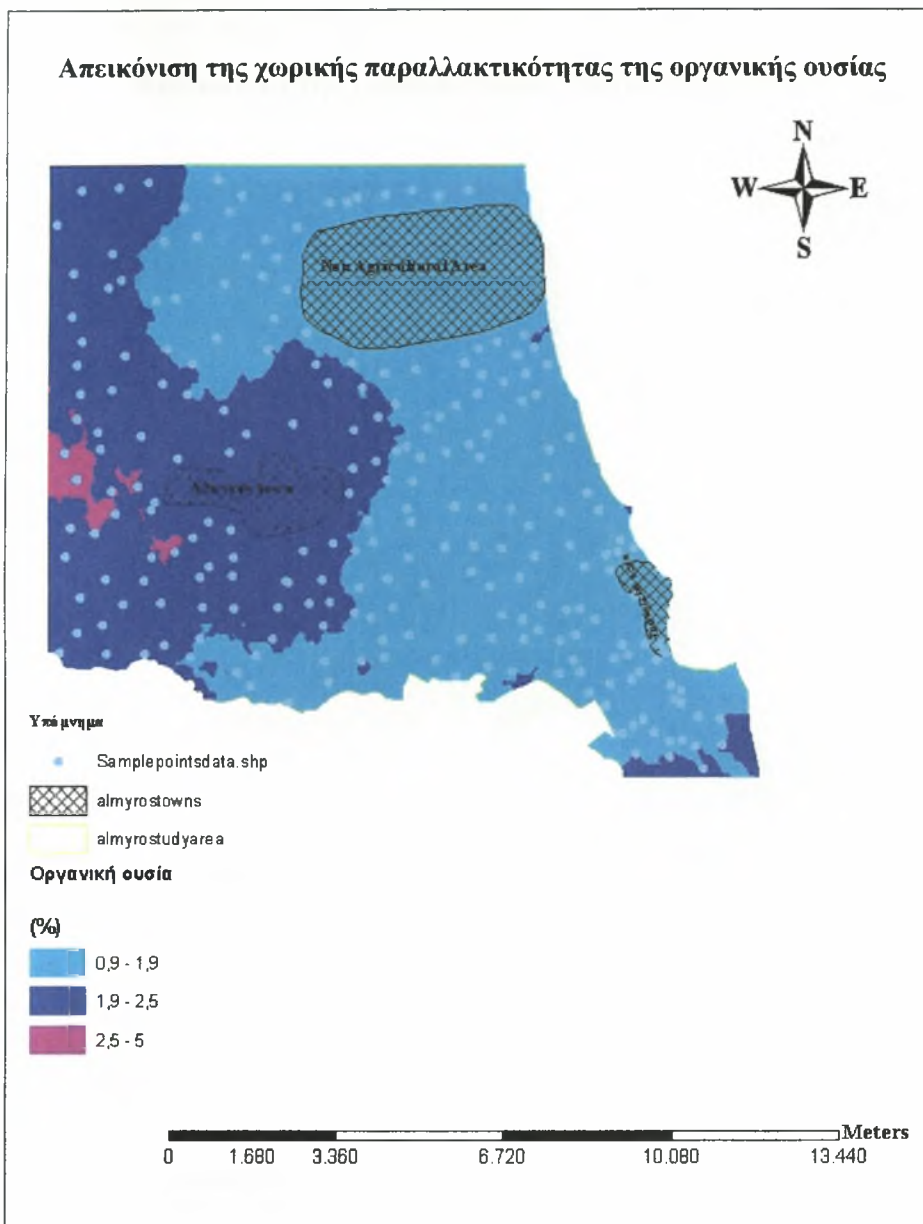


Διάγραμμα 11



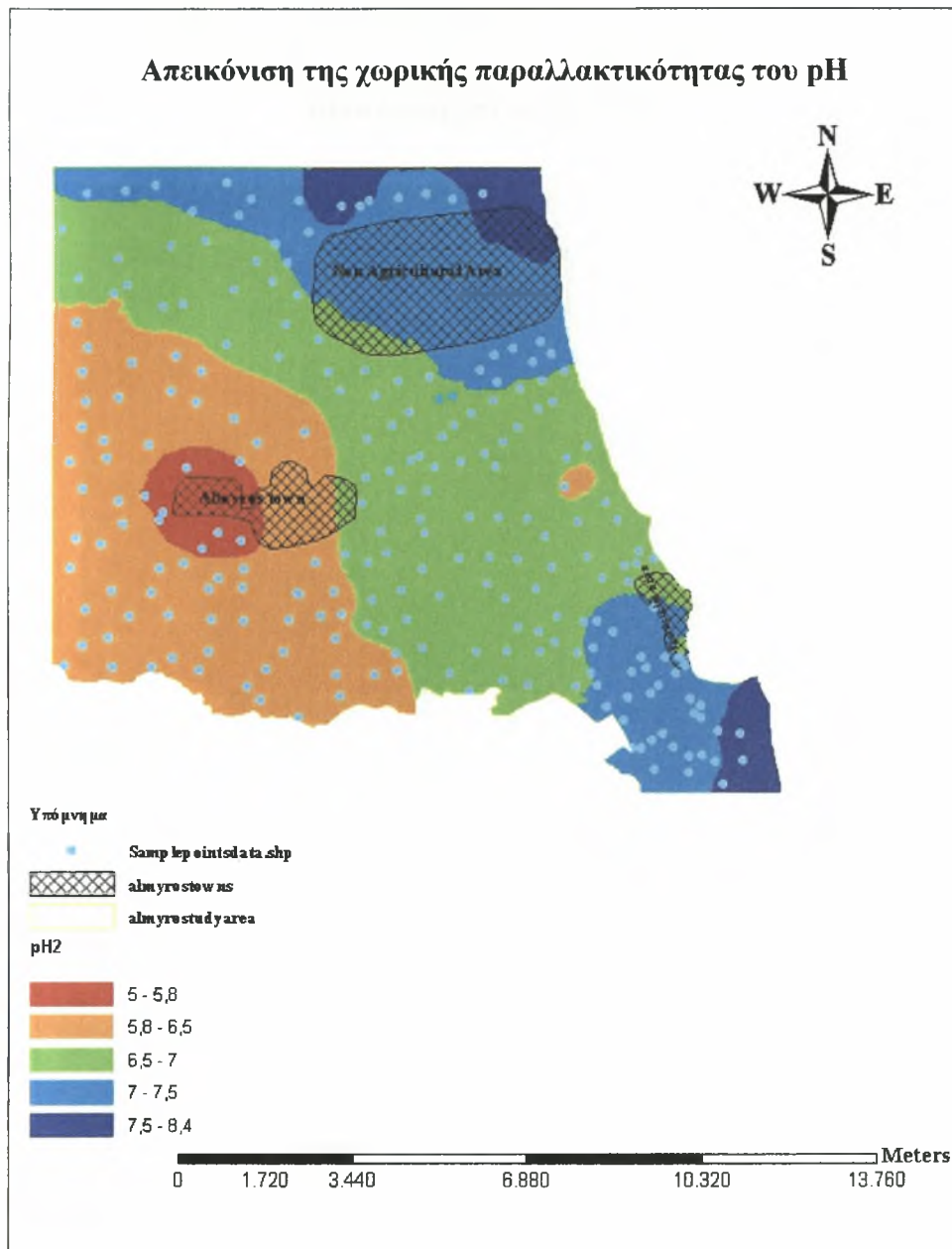
Χάρτης 1: Απεικόνιση της χωρικής παραλλακτικότητας του CaCO_3

Στον χάρτη 1 απεικονίζεται η χωρική παραλλακτικότητα του ποσοστού του CaCO_3 . Στη νότια πλευρά της περιοχής παρατηρείται μικρό ποσοστό CaCO_3 ενώ το ποσοστό σταδιακά αυξάνεται προς το βορρά.



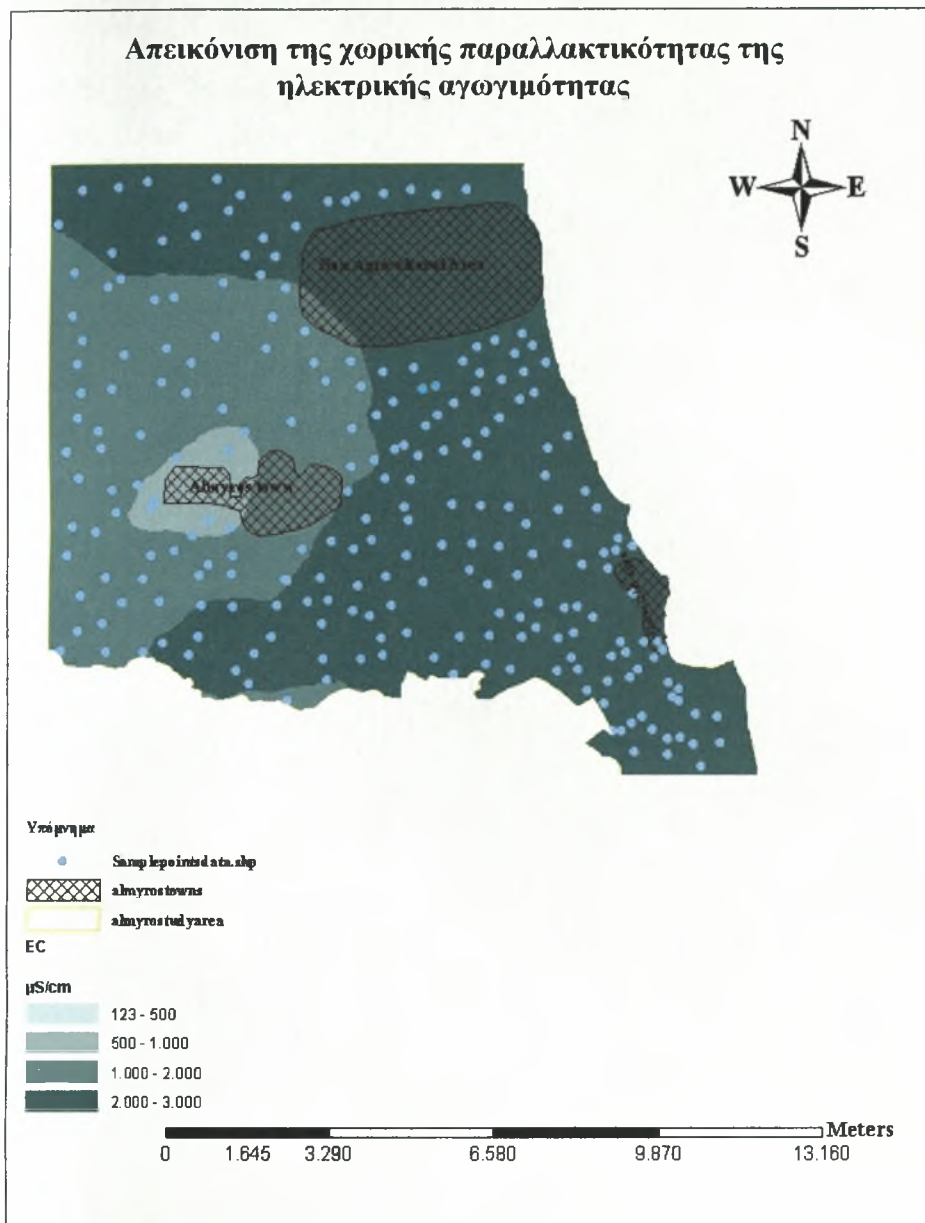
Χάρτης 2: Απεικόνιση της χωρικής παραλλακτικότητας της οργανικής ουσίας

Στον χάρτη 2 απεικονίζεται η χωρική παραλλακτικότητα της οργανικής ουσίας. Βάσει αυτού παρατηρείται ένα μικρό ποσοστό αυξημένης οργανικής ουσίας στα δυτικά της περιοχής ενώ ανατολικά η οργανική ουσία βρίσκεται σε μικρό ποσοστό.



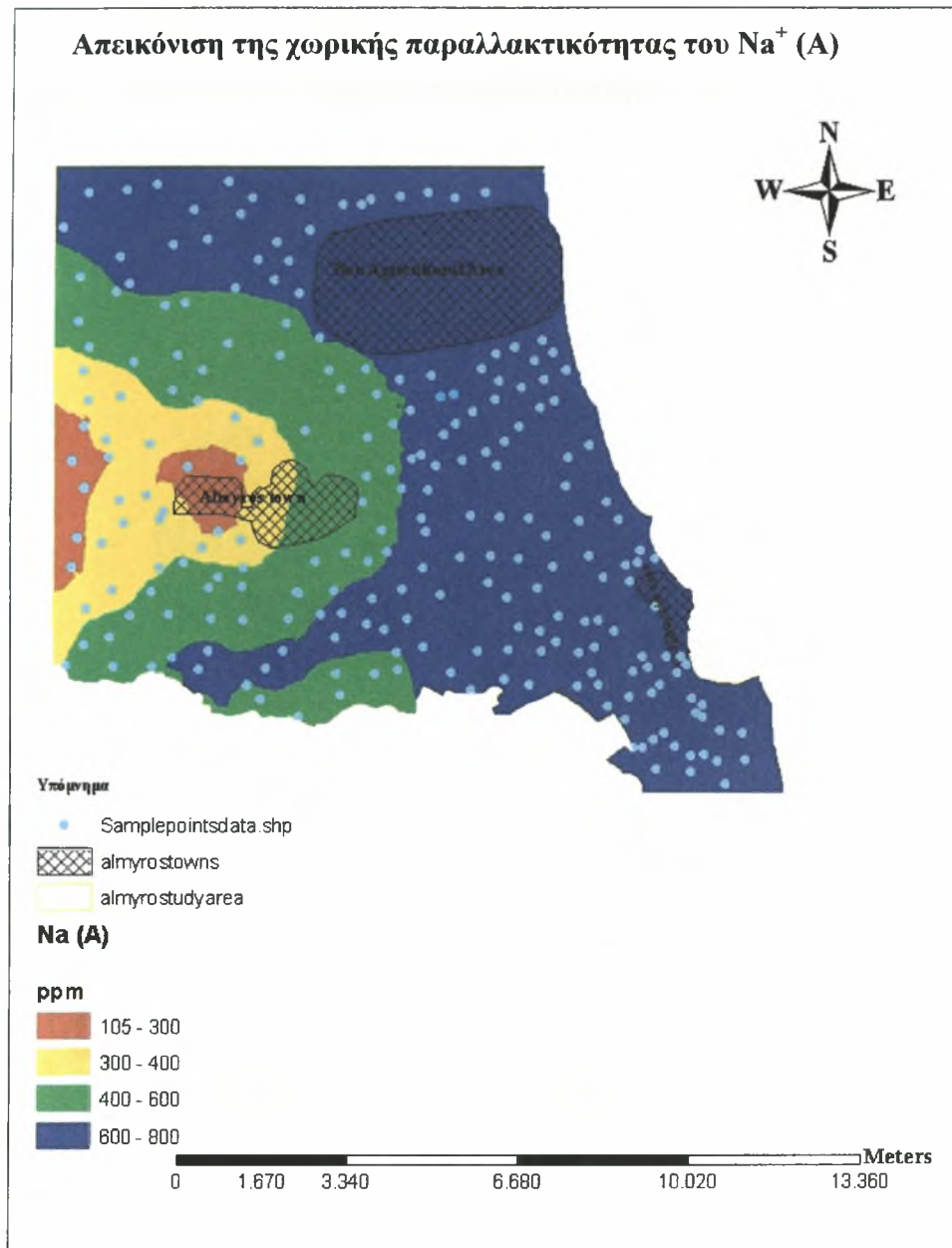
Χάρτης 3: Απεικόνιση της χωρικής παραλλακτικότητας του pH

Στο χάρτη 3 απεικονίζεται η χωρική παραλλακτικότητα του pH. Βάσει αυτού παρατηρείται ότι δυτικά της περιοχής τα εδάφη είναι όξινα και ελαφρώς όξινα ενώ ανατολικά της περιοχής τα εδάφη χαρακτηρίζονται ως αλκαλικά και ελαφρώς αλκαλικά.



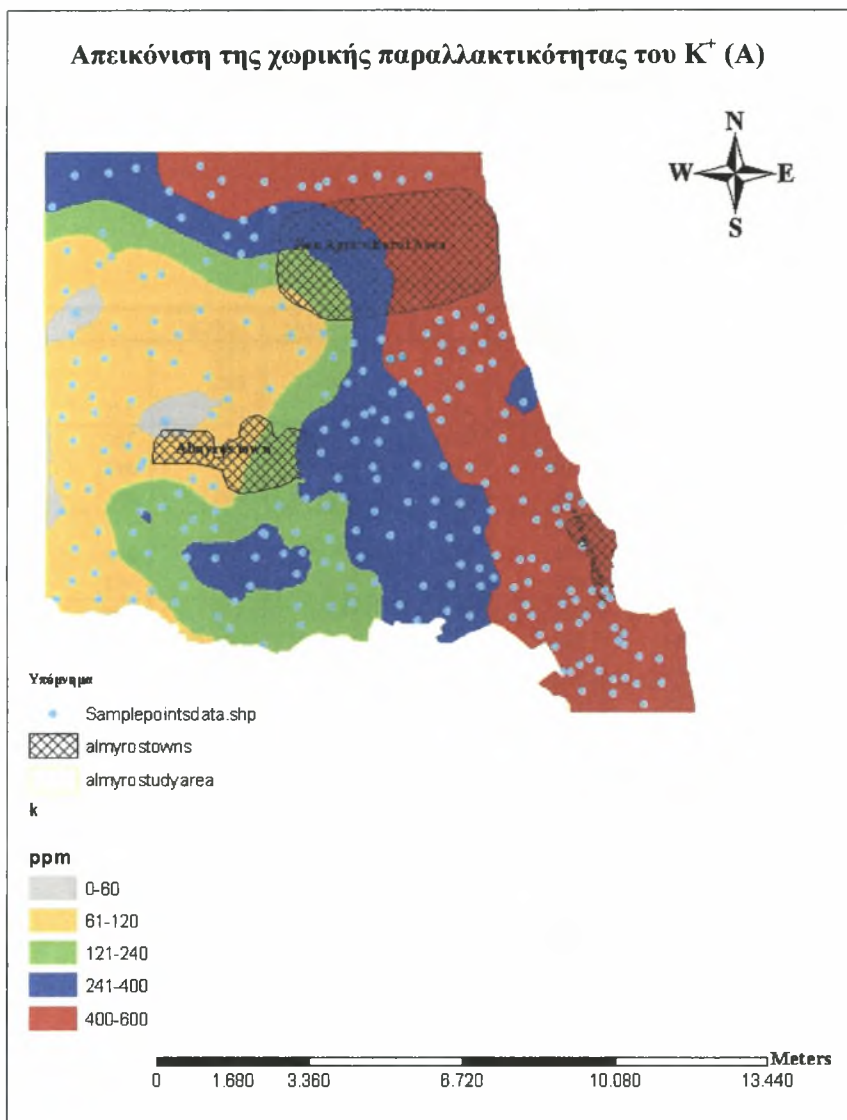
Χάρτης 4: Απεικόνιση της χωρικής παραλλακτικότητας της ηλεκτρικής αγωγιμότητας

Στον χάρτη 4 απεικονίζεται η χωρική παραλλακτικότητα της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Βάσει αυτού παρατηρείται μικρή ποσότητα ηλεκτρικής αγωγιμότητας στα δυτικά της περιοχής ενώ στα ανατολικά παρατηρείται μεγάλη ποσότητα.



Χάρτης 5: Απεικόνιση της χωρικής παραλλακτικότητας του Na⁺

Στο χάρτη 5 απεικονίζεται η χωρική παραλλακτικότητα του Na. Βάσει αυτού παρατηρείται μεγάλη ποσότητα Na στα δυτικά της περιοχής ενώ η ποσότητα του Na αυξάνεται προς τα ανατολικά της περιοχής.



Χάρτης 6: Απεικόνιση της χωρικής παραλλακτικότητας του K^+

Στο χάρτη 6 απεικονίζεται η χωρική παραλλακτικότητα του K^+ . Βάσει αυτού η ποσότητα του K^+ στα ανατολικά της περιοχής είναι μεγάλη ενώ προς τα δυτικά παρατηρείται μείωση .

Συσχέτιση μεταξύ των ανταλλάξιμων καλίου και νατρίου, νιτρικών νιτρωδών και αμμωνιακών ιόντων, αφομοιώσιμου φωσφόρου και φυσικοχημικών ιδιοτήτων των εδαφικών δειγμάτων.

Correlations

		pH	CaCO ₃	organic	NO ₃	NO ₂	K	P	Ec	Na	NH ₄
pH	Pearson Correlation	1	,057	-,147*	,072	,094	,547**	,245**	,639**	,629**	,188**
	Sig. (2-tailed)		,389	,025	,274	,151	,000	,000	,000	,000	,004
	N	234	234	234	234	234	234	234	234	234	234
CaCO ₃	Pearson Correlation	,057	1	-,030	-,206**	-,204**	-,189**	-,136*	-,217**	-,105	-,187**
	Sig. (2-tailed)	,389		,645	,002	,002	,004	,038	,001	,109	,004
	N	234	234	234	234	234	234	234	234	234	234
organic	Pearson Correlation	-,147*	-,030	1	,015	-,047	-,120	,116	-,099	-,121	-,043
	Sig. (2-tailed)	,025	,645		,815	,470	,066	,076	,133	,065	,514
	N	234	234	234	234	234	234	234	234	234	234
NO ₃	Pearson Correlation	,072	-,206**	,015	1	,462**	,224**	,156*	,244**	,171**	,431**
	Sig. (2-tailed)	,274	,002	,815		,000	,001	,017	,000	,009	,000
	N	234	234	234	234	234	234	234	234	234	234
NO ₂	Pearson Correlation	,094	-,204**	-,047	,462**	1	,075	,008	,265**	,011	,887**
	Sig. (2-tailed)	,151	,002	,470	,000		,251	,904	,000	,871	,000
	N	234	234	234	234	234	234	234	234	234	234
K	Pearson Correlation	,547**	-,189**	-,120	,224**	,075	1	,525**	,640**	,673**	,110
	Sig. (2-tailed)	,000	,004	,066	,001	,251		,000	,000	,000	,092
	N	234	234	234	234	234	234	234	234	234	234
P	Pearson Correlation	,245**	-,136*	,116	,156*	,008	,525**	1	,332**	,280**	,092
	Sig. (2-tailed)	,000	,038	,076	,017	,904	,000		,000	,000	,162
	N	234	234	234	234	234	234	234	234	234	234
Ec	Pearson Correlation	,639**	-,217**	-,099	,244**	,265**	,640**	,332**	1	,739**	,287**
	Sig. (2-tailed)	,000	,001	,133	,000	,000	,000	,000		,000	,000
	N	234	234	234	234	234	234	234	234	234	234
Na	Pearson Correlation	,629**	-,105	-,121	,171**	,011	,673**	,280**	,739**	1	,035
	Sig. (2-tailed)	,000	,109	,065	,009	,871	,000	,000	,000		,590
	N	234	234	234	234	234	234	234	234	234	234
NH ₄	Pearson Correlation	,188**	-,187**	-,043	,431**	,887**	,110	,092	,287**	,035	1
	Sig. (2-tailed)	,004	,004	,514	,000	,000	,092	,162	,000	,590	
	N	234	234	234	234	234	234	234	234	234	234

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Παρατηρείται ισχυρή συσχέτιση μεταξύ του pH και των ανταλλάξιμων καλίου και νατρίου. Δηλαδή σε περιοχές με υψηλές τιμές pH, οι οποίες παρατηρήθηκαν ανατολικά και νότια της περιοχής μελέτης, τα εδαφικά δείγματα παρουσιάστηκαν εμπλουτισμένα τόσο με ανταλλάξιμο νάτριο όσο και με ανταλλάξιμο κάλιο.

Ισχυρή συσχέτιση παρουσιάστηκε μεταξύ της τιμής pH και των υδατοδιαλυτών συγκεντρώσεων των αμμωνιακών ιόντων. Όπως προέκυψε και απ' την μελέτη των θεματικών χαρτών υψηλότερες συγκεντρώσεις των αμμωνιακών ιόντων παρατηρήθηκαν σε εδαφικά δείγματα τα οποία γειτνιάζουν του Παρασητικού κόλπου. Δεν παρατηρήθηκε συσχέτιση μεταξύ της τιμής του pH και των νιτρικών ή νιτρωδών ιόντων, ενώ αντίθετα παρατηρήθηκε υψηλή θετική συσχέτιση των παραπάνω ιόντων με την τιμή του ανθρακικού ασβεστίου.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα εδάφη που βρίσκονται στο δυτικό κομμάτι της περιοχής μελέτης χαρακτηρίζονται ως όξινα (5,8 – 6,5) και ισχυρώς όξινα (5 – 5,8), ενώ τα εδάφη του ανατολικού τμήματος που γειτνιάζει με τον Παγασητικό κόλπο χαρακτηρίζονται ως αλκαλικά (7,5-8,4) και ελαφρώς αλκαλικά (7 – 7,5).

Χαμηλό ποσοστό ανθρακικού ασβεστίου παρατηρείται στο νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης ενώ προχωρώντας προς τον βορά το ποσοστό του σταδιακά αυξάνεται.

Το χαμηλότερο ποσοστό οργανικής ουσίας παρατηρείται στο τμήμα της περιοχής μελέτης που συνορεύει με τον Παγασητικό κόλπο. Στο δυτικό μέρος παρατηρείται μικρή αύξηση του ποσοστού της οργανικής ουσίας.

Χαμηλότερες τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας παρατηρήθηκαν στο δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης, ενώ προχωρώντας προς τα ανατολικά σταδιακά αυξάνεται. Η υψηλότερες τιμές βρίσκονται στο τμήμα που γειτνιάζει με τον Παγασητικό κόλπο.

Οι υψηλότερες ποσότητες καλίου βρίσκονται στα ανατολικά της περιοχής μελέτης δηλαδή στα εδάφη που συνορεύουν με τον Παγασητικό κόλπο, ενώ προχωρώντας προς τα δυτικά σταδιακά οι ποσότητες καλίου μειώνονται.

Ένα μικρό τμήμα στα δυτικά της περιοχής μελέτης έχει τη μικρότερη ποσότητα νατρίου ενώ γύρω απ' αυτό σταδιακά αυξάνεται. Λόγω του Παγασητικού κόλπου που γειτνιάζει με το ανατολικό τμήμα οι ποσότητες νατρίου σ' αυτό είναι αρκετά υψηλές.

Παρατηρείται ισχυρή συσχέτιση μεταξύ του pH και των ανταλλάξιμων καλίου και νατρίου. Δηλαδή σε περιοχές με υψηλές τιμές pH, οι οποίες παρατηρήθηκαν ανατολικά και νότια της περιοχής μελέτης, τα εδαφικά δείγματα παρουσιάστηκαν εμπλουτισμένα τόσο με ανταλλάξιμο νάτριο όσο και με ανταλλάξιμο κάλιο.

Ισχυρή συσχέτιση παρουσιάστηκε μεταξύ της τιμής pH και των υδατοδιαλυτών συγκεντρώσεων των αμμωνιακών ιόντων. Όπως προέκυψε και απ' την μελέτη των θεματικών χαρτών υψηλότερες συγκεντρώσεις των αμμωνιακών ιόντων

παρατηρήθηκαν σε εδαφικά δείγματα τα οποία γειτνιάζουν του Παγασητικού κόλπου. Δεν παρατηρήθηκε συσχέτιση μεταξύ της τιμής του pH και των νιτρικών ή νιτρωδών ιόντων, ενώ αντίθετα παρατηρήθηκε υψηλή θετική συσχέτιση των παραπάνω ιόντων με την τιμή του ανθρακικού ασβεστίου.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Leifert, 1997. Protection against Oral and Gastrointestinal Diseases; Importance of Dietary Intake, Oral Nitrate Reductions and Enterosalivary Nitrate Circulation. *Comp. Biochem Physiol.* 118A (4) : 939 – 948.

ECETOC, 1994. Ammonia Emissions to Air in Western Europe. Techn. Report No 62. European Centre for Ecotoxicology of Chemicals, Brussels.

ECETOC, 1988. Nitrate and Drinking Water. Techn. Report No 27. European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals, Brussels.

Eghball, B. and J. E. Gilley, 1999. Phosphorus and nitrogen in runoff following beef cattle manure or compost application. *J. Environ. Qual.* 28. pp. 1201-1210.

Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, (1999) Κλιματικά στοιχεία των σταθμών της Ε.Μ.Υ. Διεύθυνση Κλιματολογίας, Τμήμα Ελέγχου και Επεξεργασίας, Αθήνα.

Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδος, (2003). Εκτάσεις και παραγωγή γεωργικών και κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων για το 2002.

Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδος, (1999). Ετήσια γεωργική στατιστική κατά Δήμους και Κοινότητες για το έτος 1999.

Environmental Health Investigations Branch, 2000. Health Concerns Related to Nitrate and Nitrite in Private Well Water.

ESRI, (2001). What is ArcGIS? GIS by ESRI.

Ewing, M.C and Mayon – White, R. M. (1951). Cyanosis in infancy from nitrates in drinking water. *Lancet* 260, 931 – 934.

Farina, M. P. W., Channon, P. (1979). “A comparison of several phosphorus availability indexes”. *Gewasproduksie* 8:165 – 169. In *Soli Science Society of America, 1990: Soil Testing and Plant Analysis.* 3rd edition, SSSA.

FAO., 2000. Fertilizers and their use.

FAO., 1999. Fertilizer Strategies.

FAO., 1989. Fertilizers and Food Production.

FAS, Foreign Agricultural Service, (1998). Remote Sensing in the Foreign Agricultural Service, Available in: http://www.fas.usda.gov/WAP/circular/1997/97-08/remote_sensing/rs_toc.html

Forman, D., Al – Dabbagh, A. and Doll, R. (1985). Nitrate, nitrite and gastric cancer in Great Britain. *Nature* 313, 620 – 625.

Fox, R. L., 1981. "Using phosphate sorption curves to determine P requirements." Better Crops Plant Food, 66:24 (Winter 1981 – 1982).

Freeman, J. S., and D .L. Rowell, 1981. "The adsorption and precipitation of phosphate onto calcite." J.Soil Sci., 32:75 (1981).

Gachon, L., 1969. "Les Méthodes d' appréciation de la fertilité phosphorique des sols." Bull. Assoc. Fr. Etude Sol, 4:17 (1969).

Gaynor, J. and D. Bissonnette, 1992. The effect of conservation tillage practices on the losses of phosphorous and herbicides in surface and subsurface drainage waters. Final Report No. 60 for Southwestern Ontario Agric. Res. Corp., Agric. Canada Res. Station, Harrow, Ontario.

Göppen, W. (1931). Grundriss der Klimakunde. 2nd Ed. Der W. Gründer. Berlin – Leibzig 1931.

Gracanin Z., (1950). Monthly rain-factors and their significance for pedological investigation. (In: Gracanin Z.1964: Soil micromorphology edited by A. Jungerius, p.251 – 260)

Gupta, U.C., Y.W. Jame, C.A. Cambell, A.J. Leyshon and W. Nicholaichuk, 1985. Boron Toxicity and Deficiency: A Review. Can. J. Soil Sci. 65. pp. 381-409.

Harrison, A. F., (1987). Soil Organic Phosphorus. A Review of World Literature. CAB International, Wallingford, UK.

Haustein, G. K., T. C. Daniel, D. M. Miller, P. A. Moore and R. W. McNew, 2000. Aluminum-containing residuals influence high-phosphorus soils and runoff water quality. J. Environ. Qual. 29. pp. 1954-1959.

Hawkins, J. M. and D. Scholefield, 1996. Molybdate-reactive phosphorus losses in surface and drainage water from permanent grassland. J. Environ. Qual. 25. pp. 727-732.

Hergert, G., D. Bouldin, S. D. Klausner and P. J. Zwerman, 1981. Phosphorus concentration-water flow interactions in tile effluent from manured land. J. Environ. Qual. 10. pp. 338-344.

Hingston, F.J., Atkinson, R.J. Posner, A.M. and J.P Quirk, 1968. Specific adsorption of anions of goethite. *Proc. 9th Int. Cong. Soil Sci.* (Adelaide), 1, 669-678

Hodgson, J. F. 1963. Chemistry of Micronutrients in Soils. Adv. Agron., 15. 119-59.

Hofman Georges, Van Cleemput Oswald., 2004. Soil and Plant Nitrogen

Holford, I.C.R., (1997). Soil phosphorus: its measurement and its uptake by plants. Austr. J. Soil Res. 35: 227-239



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000097810