



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

ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ



Μελέτη των επιπέδων νιτρικών και νιτροδών ιόντων σε γεωργικά εδάφη της περιοχής Αλμυρού Ν. Μαγνησίας. Απεικόνιση της χωρικής παραλλακτικότητας των στοιχείων αυτών σε επιλεγμένες περιοχές της μελέτης.

Παπαδήμας Κωνσταντίνος

ΒΟΛΟΣ 2008



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

Αριθ. Εισ.: 7070/1
Ημερ. Εισ.: 09-04-2009
Δωρεά: Συγγραφέας
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ - ΦΠΑΠ
2008
ΠΑΠ

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



ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ : ΠΑΠΑΔΗΜΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

**<<ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΝΙΤΡΙΚΩΝ ΚΑΙ ΝΙΤΡΩΔΩΝ ΙΟΝΤΩΝ
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 νιτρικών και νιτρωδών ιόντων . Τα εδαφικά δείγματα αεροξηράνθηκαν λειοτριβήθηκαν και διήλθαν από κόσκινο διαμέτρου 2mm. Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης των νιτρικών και νιτρωδών ιόντων έγινε με τη μέθοδο της ιοντικής χρωματογραφίας.

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 των νιτρικών και νιτρωδών ιόντων στην περιοχή του Αλμυρού.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο - Το άζωτο του εδάφους	Σελ. 4
Ο κύκλος του αζώτου	4
Μη βιολογική δέσμευση του αζώτου	6
Βιολογική δέσμευση του αζώτου	7
Μη συμβιωτική αζωτοδέσμευση	8
Συμβιωτική αζωτοδέσμευση	8
Βελτίωση της αποτελεσματικότητας της αζωτοδέσμευσης	10
Η δυναμική του αζώτου στο έδαφος	10
Ανοργανοποίηση του οργανικού αζώτου	10
Συμπεριφορά των αμμωνιακών ιόντων στο έδαφος-δέσμευση των αμμωνιακών ιόντων από τη στερεή φάση του εδάφους	14
Απώλειες αζώτου	15
Έκπλυση νιτρικών στα εδάφη	17
Αναστολείς Νιτροποίησης	17
Νιτρορύπανση και Ευτροφισμός	19
Δυσμενείς επιδράσεις των νιτρικών στην υγεία του ανθρώπου	19
Οι απαιτήσεις των φυτών σε άζωτο	21
Έκπλυση των νιτρικών και απώλειες αζώτου	22
Έκπλυση νιτρικών – φυτοκάλυψη	23
Έκπλυση νιτρικών – Τύπος καλλιέργειας	23
Έκπλυση νιτρικών – Επίδραση του τύπου εδάφους	24
Εκτίμηση της διαθεσιμότητας του αζώτου του εδάφους	25
Ανόργανες μορφές αζώτου	26
Δυναμικό ανοργανοποίησης του αζώτου του εδάφους	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο - Δειγματοληψία και εργαστηριακές αναλύσεις	28
Δειγματοληψία	28
Εργαστηριακές αναλύσεις των εδαφικών δειγμάτων	30
Προσδιορισμός του pH	30
Προσδιορισμός της ηλεκτρικής αγωγιμότητας E.C. (Electrical Conductivity)	31
Προσδιορισμός της οργανικής ουσίας	32
Προσδιορισμός της συγκέντρωσης των νιτρικών και νιτρωδών ιόντων	34
Προσδιορισμός των Νιτρικών και Νιτρωδών Ιόντων σε εδαφικά δείγματα με τη μέθοδο της Ιοντικής Χρωματογραφίας	36
Στατιστική Επεξεργασία Αποτελεσμάτων	38
Εφαρμογή της τηλεπισκόπησης	38
Ψηφιακοί θεματικοί χάρτες	39
Προσδιορισμός λαθών από την ψηφιοποίηση	40
Σύστημα προβολής χαρτών	41
Εφαρμογή του ArcGIS 9.1 Desktop	41
ArcGIS Geostatistical Analyst	42
Εξέταση της χωρικής παραλλακτικότητας των δεδομένων	44

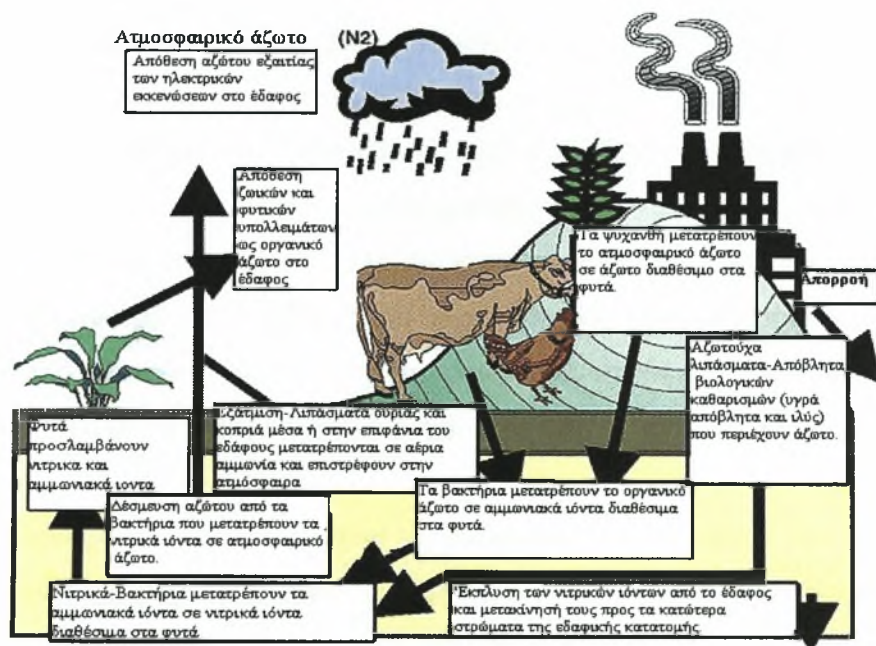
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ	46
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	61
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	63

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Το άζωτο του εδάφους

Ο κύκλος του αζώτου

Πολλά συστατικά των ζωντανών κυττάρων περιέχουν άζωτο, όπως πρωτεΐνες, αμινοξέα, νουκλεϊκά οξέα, πουρίνες, πυριμιδίνες, πορφυρίνες, αλκαλοειδή και βιταμίνες. Τα άτομα του αζώτου, αυτών των ενώσεων προκύπτουν από τον κύκλο του αζώτου (εικόνα 1.4) ο οποίος έχει ως βάση τα αποθέματα της ατμόσφαιρας. Το άζωτο αφαιρείται από την ατμόσφαιρα με τη διεργασία της αζωτοδέσμευσης και επιστρέφει στην ατμόσφαιρα με την απονιτροποίηση.



Εικόνα 1. Ο κύκλος του αζώτου.

Εκτιμάται ότι 25×10^6 t αζώτου αφαιρούνται ετησίως από τα εδάφη των Η.Π.Α. με τα συγκομιζόμενα προϊόντα και με την έκπλυση των εδαφών. Για τη λίπανση των καλλιεργειών 3×10^6 t αζώτου προστίθενται κάθε χρόνο με τη μορφή λιπασμάτων (κοπριά, ούρα, λιπάσματα). Επίσης μια ισοδύναμη ποσότητα αζώτου προστίθεται με τη βροχόπτωση με την ενυδάτωση των οξειδίων του αζώτου που σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα από τις ηλεκτρικές εκκενώσεις. Το πιο σημαντικό τμήμα (10×10^6 t N) επιστρέφει με τη βιολογική δέσμευση του αζώτου. Διάφορες ανόργανες και πάρα πολλές οργανικές ενώσεις αζώτου μπορεί να θεωρηθούν ως συστατικά του κύκλου

του αζώτου: π.χ. N_2 , NH_3 , NO_3^- , NO_2^- , και NH_2OH . Η βιολογική δέσμευση του αζώτου έχει μελετηθεί αρκετά τα τελευταία χρόνια και βρέθηκε ότι το ενζυμικό σύμπλοκο της νιτρογενάσης είναι άφθονο στη φύση. Το άζωτο είναι θεμελιώδες συστατικό των πρωτεϊνών και είναι για τα φυτά, όσο και για τον άνθρωπο ο πιο κοινός περιοριστικός παράγοντας της αύξησης. Το άζωτο αν και αποτελεί το 79% του ατμοσφαιρικού αέρα είναι θρεπτικό στοιχείο που συνήθως βρίσκεται σε ανεπαρκές ποσότητες για τις καλλιέργειες. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι η μορφή του αζώτου στην ατμόσφαιρα είναι αδρανής και μη χρήσιμη για την πλειοψηφία των έμβιων όντων. Το άζωτο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί από οργανισμούς μόνο αφότου έχει δεσμευτεί ή ενωθεί με άλλα στοιχεία, όπως O_2 ή H_2 . Σήμερα η δέσμευση πραγματοποιείται στις βιομηχανίες με σύνθεση της αμμωνίας από υδρογόνο και ατμοσφαιρικό άζωτο.

Στη φύση η αζωτοδέσμευση, όπως αναφέρει και ο Μήτσιος, γίνεται από μερικά γένη βακτηρίων (συμπεριλαμβάνονται και τα κυανοπράσινα φύκη). Τα ανώτερα φυτά δεν έχουν την ικανότητα για αζωτοδέσμευση, αν και μερικά συμμετέχουν έμμεσα, με συμβίωση με τα βακτήρια. Η πιο γνωστή περίπτωση είναι αυτή των ψυχανθών με τα βακτήρια του γένους *Rhizobium*. Άλλα βακτήρια συμβιώνουν με άλλους ξενιστές και άλλα ζουν ελεύθερα στο έδαφος ή το νερό. Μερικά είναι φωτοσυνθετικά, άλλα χρειάζονται οξυγόνο ενώ άλλα ζουν σε αναερόβιες συνθήκες. Όλοι οι παραπάνω οργανισμοί δίνουν ως αρχικό προϊόν αμμωνία και έχουν ως κοινό ένζυμο τη νιτρογενάση.

Η αζωτοδέσμευση μπορεί να είναι μη βιολογική με τη βοήθεια των ηλεκτρικών εκκενώσεων ή της μεθόδου Haber και βιολογική με τη βοήθεια μικροοργανισμών. Η βιολογική δέσμευση αζώτου παγκοσμίως δίνεται στον πίνακα 1.

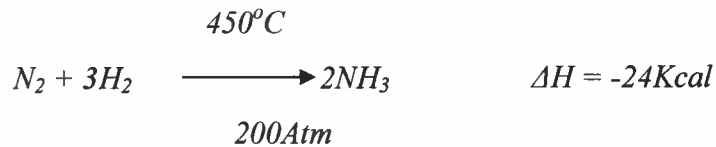
Πίνακας 1 Η βιολογική δέσμευση του αζώτου παγκοσμίως

Βιολογική δέσμευση N₂	t.10⁶ έτος⁻¹
α) Στη ξηρά	
Ψυχανθή	35
Μη ψυχανθή	5
Ορυζώνες	5
Λιβάδια κλπ.	45
ΣΥΝΟΛΟ	90
β) Στο νερό	30
γ) Αστραπές	7
δ) Βιομηχανική δέσμευση N ₂	40
ε) Λοιπά	28
ΟΛΙΚΗ ΔΕΣΜΕΥΣΗ N₂	195
Απονιτροποίηση	
α) Στη ξηρά	120
β) Στο νερό	40
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΠΟΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ	160

Μη βιολογική δέσμευση του αζώτου

Ο όρος αζωτοδέσμευση ερμηνεύεται ως η μετατροπή του μοριακού αζώτου σε μια από τις προηγούμενες ανόργανες μορφές. Η μεγάλη σημασία αυτής της λειτουργίας είναι ο διαχωρισμός των δυο ατόμων του αζώτου που συνδέονται με τριπλό δεσμό (N≡N). Το άζωτο είναι πάρα πολύ σταθερό γραμμομόριο.

Η αζωτοδέσμευση είναι μια δυσχερής διεργασία, οι δε συνθήκες για τη δέσμευση του αζώτου παρουσιάζονται με τη διεργασία Haber. Η διεργασία αυτή αφορά την αντίδραση του N₂ και του H₂ σε υψηλή θερμοκρασία και πίεση για σχηματισμό NH₃. Στη συνέχεια η αμμωνία οξειδώνεται σε HNO₃. Η αντίδραση Haber χρησιμοποιείται σήμερα για τη δέσμευση του αζώτου στις βιομηχανίες των αζωτούχων λιπασμάτων. Το ατμοσφαιρικό N₂ ενώνεται με H₂ σε υψηλή θερμοκρασία και πίεση με παρουσία σιδήρου ως καταλύτη.



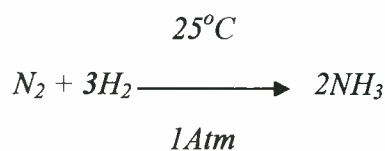
Ένας δεύτερος τρόπος με τον οποίο το ατμοσφαιρικό άζωτο μπορεί να δεσμευτεί είναι διαμέσου των ηλεκτρικών εκκενώσεων που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια καταιγίδων. Κατά τη διάρκεια των ηλεκτρικών εκκενώσεων σχηματίζονται οξείδια αζώτου που στη συνέχεια ενυδατώνονται με υδρατμούς και πέφτουν στο έδαφος ως νιτρώδη και νιτρικά ιόντα.



Αν και αυτές οι διεργασίες είναι σημαντικές, μεγάλες ποσότητες αζώτου δεσμεύονται από ζωντανούς οργανισμούς.

Βιολογική δέσμευση του αζώτου

Σε αντίθεση με τη χημική δέσμευση του αζώτου η βιολογική δέσμευση, όπως αναφέρει και ο Μήτσιος Ι. λαμβάνει χώρα σε 25°C και 1 Atm πίεση, σύμφωνα με την αντίδραση:



Η βιολογική δέσμευση του αζώτου πραγματοποιείται είτε με μη συμβιωτικούς μικροοργανισμούς που ζουν ελεύθερα ή με ορισμένα βακτήρια, που συμβιούν με τα

ανώτερα φυτά. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει αερόβιους μικροοργανισμούς του εδάφους (π.χ. *Azotobacter*), αναερόβιους μικροοργανισμούς (π.χ. *Clostridium* sp), φωτοσυνθετικά βακτήρια (π.χ. *Rhodospirillum rubrum*) και φύκη (π.χ. *Mycophyceae*).

Μη συμβιωτική αζωτοδέσμευση

Παράλληλα με τη συμβιωτική αζωτοδέσμευση ένας μεγάλος αριθμός οργανισμών που ζουν ελεύθερα δεσμεύει άζωτο. Πολλά κυανοβακτήρια δεσμεύουν ατμοσφαιρικό άζωτο, ζώντας ελεύθερα στην επιφάνεια υδάτων. Σε πολλές περιπτώσεις τα κυανοπράσινα φύκη είναι πρόβλημα γιατί το οργανικό άζωτο που απελευθερώνεται από τα νεκρά φύκη προάγει την αύξηση υδροχαρών φυτών (**ευτροφισμός**).

Τα φύκη όμως αυτά μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως λίπασμα ή ζωοτροφή. Επίσης πολλά ελευθέρως ζώντα βακτήρια έχουν την ικανότητα να δεσμεύουν άζωτο. Εδώ υπάγονται είδη του γένους ***Clostridium*** που είναι **αναερόβια**. Επίσης είδη του γένους *Klebsiella* αναπτύσσονται με ή χωρίς O_2 και απαντώνται ως ελευθέρως ζώντα ή ως συμβιωτικά. Τέλος υπάρχει το γένος ***Azotobacter*** που είναι **αερόβια βακτήρια**. Η συμβολή στην αζωτοδέσμευση των ελευθέρως διαβιούντων βακτηρίων σε παγκόσμια κλίμακα είναι μέτρια.

Συμβιωτική αζωτοδέσμευση

Τα ψυχανθή μπορούν να εφοδιάσουν το έδαφος με άζωτο εξαιτίας της αζωτοδέσμευσης, με τη βοήθεια του γένους ***Rhizobium*** που σχηματίζει φυμάτια στις ρίζες. Σήμερα χρησιμοποιούνται εμπορικά σκευάσματα με μόλυσμα από *Rhizobium* για αύξηση της παραγωγικότητας.

Τα ψυχανθή συνήθως καλλιεργούνται σε αμειψισπορά με μη ψυχανθή. Με τον τρόπο αυτό αζωτούχες ενώσεις από το προηγούμενο έτος βοηθούν στη λίπανση της καλλιέργειας του επόμενου έτους.

Το *Rhizobium* εισέρχεται στις ρίζες των ψυχανθών διαμέσου ριζικών τριχιδίων. Το κυτταρικό τοίχωμα των ριζικών τριχιδίων σχηματίζει μια κλωστή μόλυνσης που περιέχει πολλά κύτταρα *Rhizobium*. Αυτές οι κλωστές μόλυνσης αναπτύσσονται και εισέρχονται στα κύτταρα του φλοιώδους παρεγχύματος της ρίζας. Η κορυφή της

κλωστής του μολύσματος θραύεται και απελευθερώνονται τα βακτήρια στο φλοιώδες παρέγχυμα, όπου σχηματίζουν μια βολβοειδή προεξοχή αποκαλούμενη **φυμάτιο**.

Το *φυμάτιο* αποτελείται από μεγάλα φυτικά κύτταρα συμπιεσμένα με βακτήρια. Η αμμωνία που παράγεται από τα βακτήρια ενώνεται με ενώσεις του άνθρακα από τη φωτοσύνθεση και δίνει αμινοξέα που στη συνέχεια δίνουν πρωτεΐνη. Η εισαγωγή του *Rhizobium* μοιάζει με τη διεργασία μόλυνσης από ασθένειες. Το φυτό όμως διαθέτει τρόπους που του επιτρέπουν να αναγνωρίζει το **συμβιωτικό βακτήριο** από τα παθογόνα βακτήρια.

Κάθε ψυχανθές συνεργάζεται με ορισμένο είδος *Rhizobium*. Η εξειδίκευση αυτή βασίζεται σε ορισμένη πρωτεΐνη του ψυχανθούς που είναι συμβιβαστή και ενώνεται με το κατάλληλο γένος *Rhizobium*.

Έτσι για το τριφύλλι βρέθηκε ότι η πρωτεΐνη *trifoliin* ενώνεται με το *Rhizobium trifolii*, όχι όμως και με άλλα είδη *Rhizobium*. Η *trifoliin* πιθανώς ενεργεί ως σύνδεσμος μεταξύ βακτηρίων και φυτών. Τα συμβιωτικά βακτήρια περιλαμβάνουν βακτήρια (*Rhizobia*) που συμβιούν με φυτά της οικογένειας των ψυχανθών όπως: τριφύλλι, μηδική και σόγια.

Τα ψυχανθή δεν είναι τα μόνα ανώτερα φυτά που δεσμεύουν άζωτο συμβιωτικά. Υπάρχουν τουλάχιστον 190 είδη θάμνων και δέντρων που δεσμεύουν άζωτο και ανήκουν σε άλλες οικογένειες εκτός της οικογένειας των ψυχανθών. Πολλά από αυτά σχηματίζουν φυμάτια στις ρίζες όπως τα φυτά των οικογενειών *Myricaceae*, *Betulaceae*, *Elaeagnaceae*, *Rosaceae* και *Ulmaceae*.

Εκτός από το σχηματισμό φυματίων στις ρίζες είναι δυνατός ο σχηματισμός φυματίων σε μερικά είδη φυτών με τη δράση βακτηρίων (Οικ. *Rubiaceae*, *Myrsinaceae*, *Dioscoreaceae*). Τα φυτά των οικογενειών αυτών εντοπίζονται σε τροπικές και υποτροπικές περιοχές με γεωγραφικό πλάτος 30°B-30°N και ιδιαίτερα στη ζώνη γύρω από τον ισημερινό. Μερικά από τα είδη αυτά είναι: *Pavetta*, *Psychotria*, *Ardisia* κ.α.

Τα βακτήρια που προκαλούν σχηματισμό φυματίων στα φύλλα είναι τα εξής: *Bacillus foliicola*, *mycoplasma rubra*, *Phyllobacterium myrcinacearum*, *Xanthomonas hortoricola*, *Mycobacterium rubiacearum*, *Klebsiella rubiacearum* και *Chromobacterium lindum*.

Βελτίωση της αποτελεσματικότητας της αζωτοδέσμευσης

Ένας τρόπος αύξησης της αζωτοδέσμευσης είναι με βελτίωση της αποτελεσματικότητας της συμβίωσης *Rhizobium*-ψυχανθούς. Αυτό μπορεί να γίνει με γενετική επιλογή φυτών και βακτηρίων και εξεύρεση του άριστου συνδυασμού, σε δεδομένο περιβάλλον.

Η χρήση της μικρομεθόδου αναγωγής του ακετυλενίου σε αιθυλένιο μπορεί να βοηθήσει στη γρήγορη επιλογή φυτών με υψηλή ικανότητα αζωτοδέσμευσης. Επίσης είναι δυνατή η εισαγωγή γονιδίων με μεγαλύτερη αζωτοδεσμευτική ικανότητα σε παραλλαγές μικροοργανισμών που ήδη αναπτύσσονται επιτυχώς στο χωράφι. Επίσης βρέθηκε ότι φυτά με μεγαλύτερη φωτοσυνθετική αποτελεσματικότητα δεσμεύουν περισσότερο άζωτο.

Η επιλογή φυτών που κατά την αζωτοδέσμευση δεν απελευθερώνουν H_2 μπορεί να αυξήσει την αποτελεσματικότητα. Επίσης η συμβίωση *Rhizobium*-ψυχανθές είναι υπεύθυνη για το 40% όλου του αζώτου που δεσμεύεται από τα καλλιεργούμενα φυτά. Υπάρχουν 10.000 είδη ψυχανθών, από τα οποία το 10% έχουν μελετηθεί για σχηματισμό φυματίων. Από αυτά, τα καλλιεργούμενα είδη είναι λιγότερα από 50. Ένας άλλος τρόπος αύξησης του εφοδιασμού με άζωτο είναι με επιλογή παραλλαγών του *Azotobacter* που συνεχίζουν να δεσμεύουν άζωτο και να εκκρίνουν NH_3 , ακόμη και με την παρουσία αζωτούχων λιπασμάτων. Τέτοια βακτήρια μπορούν να καλλιεργηθούν σε λίμνες με φθινό οργανικό υπόστρωμα.

Η δυναμική του αζώτου στο έδαφος

Ανοργανοποίηση του οργανικού αζώτου

Η οργανική ουσία του εδάφους αποτελείται από:

- οργανικές ενώσεις που εύκολα διασπώνται
- το χούμο που είναι το τμήμα της οργανικής ουσίας που είναι ανθεκτικό σε περαιτέρω ταχεία αποσύνθεση

Αν η σχέση $C/N > 30$ στην οργανική ουσία, τότε παρατηρείται ακινητοποίηση του εδαφικού αζώτου.

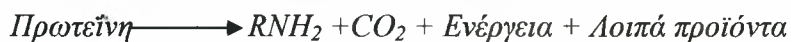
Αν $C/N = 20-30$, τότε το άζωτο ούτε ακινητοποιείται ούτε απελευθερώνεται.

Αν $C/N < 20$, τότε το άζωτο απελευθερώνεται, με διάσπαση της οργανικής ουσίας.

Η ανοργανοποίηση των N-ούχων ενώσεων γίνεται σε τρία στάδια ήτοι:

- αμινοποίηση
- αμμωνιοποίηση
- νιτροποίηση

α) *Αμινοποίηση*. Κατά την αμινοποίηση οι πρωτεΐνες υδρολύονται και απελευθερώνονται αμίνες και αμινοξέα:



Κατά την αμινοποίηση η υδρόλυση των πρωτεϊνών γίνεται με τη βοήθεια των ετερότροφων οργανισμών.

β) *Αμμωνιοποίηση*. Το δεύτερο στάδιο είναι η αμμωνιοποίηση, ήτοι ο σχηματισμός NH_3 από το αμινικό άζωτο, με ετερότροφους μικροοργανισμούς ως εξής:



Στη συνέχεια η αμμωνιακή μορφή του αζώτου νιτροποιείται, δηλαδή μετατρέπεται σε NO_3 και NO_2 , που απορροφούνται από τα φυτά ή δεσμεύονται από τα ορυκτά της αργίλου.

Η αμμωνιοποίηση προχωρεί με ταχείς ρυθμούς σε θερμοκρασία 50-70 °C.

Είναι γνωστό ότι το άζωτο συμμετέχει τόσο στο μεταβολισμό όσο και στην αύξηση των φυτών. Αν και τα φυτά μπορούν να προσλαμβάνουν άζωτο σε μορφή ουρίας και NO_2^- , οι κύριες πηγές αζώτου σε κανονικές συνθήκες είναι τα ιόντα NH_4^+ και NO_3^- .

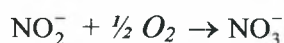
γ) *Νιτροποίηση*. Παρά το γεγονός ότι το αμμωνιακό ιόν (NH_4^+) είναι η μορφή του αζώτου που προστίθεται στο έδαφος, ελάχιστη αμμωνιακή μορφή αζώτου βρίσκεται σ' αυτό. Η αμμωνιακή μορφή του αζώτου γρήγορα οξειδώνεται σε νιτρική μορφή.

Η μορφή αυτή αντιπροσωπεύει την κύρια πηγή αζώτου για τους μη αζωτοδεσμευτικούς οργανισμούς. Η οξείδωση της NH_3 γίνεται με δυο ομάδες βακτηρίων που καλούνται νιτροποιητικά. Η πρώτη ομάδα, η *Nitrosomonas* μετατρέπει την NH_3 σε NO_2^- με τη βοήθεια του O_2 .



$$\Delta G = -66,5 \text{Kcal}$$

Η δεύτερη ομάδα, *Nitrobacter*, οξειδώνει τα νιτρώδη ιόντα σε νιτρικά



$$\Delta G = -17,5 \text{Kcal}$$

Οι αντιδράσεις αυτές είναι εξώθερμες. Στην πρώτη αντίδραση το άζωτο οξειδώνεται από -3 σε +3 και στη δεύτερη αντίδραση οξειδώνεται από +3 σε +5. Οι μικροοργανισμοί αυτοί είναι αυτότροφοι ήτοι συνθέτουν όλες τις ενώσεις του άνθρακα (πρωτεΐνες, λίπη, υδατάνθρακες) από CO_2 . Η μετατροπή του CO_2 σε υδατάνθρακες απαιτεί ενέργεια. Στη φωτοσύνθεση η ενέργεια εφοδιάζεται από το ηλιακό φως. Στην περίπτωση των *Nitrosomonas* και *Nitrobacter* η ενέργεια για την αναγωγή του CO_2 προκύπτει από την οξείδωση της NH_3 και NO_2^- . Επειδή οι μικροοργανισμοί αυτοί αποκτούν την ενέργειά τους με την οξείδωση απλών οργανικών ενώσεων, για το λόγο αυτό καλούνται *χημειοανότροφοι οργανισμοί*. Ελάχιστα είναι γνωστά για τα ενδιάμεσα προϊόντα της οξείδωσης της NH_3 σε NO_2^- με τη *Nitrosomonas*.

Η νιτροποίηση απαιτεί μοριακό O_2 (καλά αεριζόμενα εδάφη). Επίσης κατά τη νιτροποίηση απελευθερώνεται H^+ με αποτέλεσμα να οξινίζει το έδαφος (εφαρμογή αμμωνιακού αζώτου).

Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τη νιτροποίηση είναι οι εξής:

- ❖ **Υγρασία εδάφους.** Η νιτροποίηση μειώνεται σε συνθήκες υπερβολικής υγρασίας. Επίσης οι χαμηλές υγρασίες μειώνουν τη νιτροποίηση. Στο σημείο μάρανσης η νιτροποίηση καλύπτει 50% της πραγματικής τιμής σε χρονικό διάστημα 28 ημερών.
- ❖ **Θερμοκρασία εδάφους.** Σε θερμοκρασία περίπου $9-10^{\circ}C$ παρατηρείται πλήρης νιτροποίηση εντός 9 εβδομάδων. Η νιτροποίηση αναστέλλεται σε θερμοκρασία $45^{\circ}C$.
- ❖ **pH.** Νιτροποίηση παρατηρείται σε $pH=5,5-10$, με άριστο $pH=8,5$. Αναφέρθηκε όμως και νιτροποίηση σε $pH=4,5$ ή και ακόμα και σε $pH=3,8$.
- ❖ **Ύπαρξη NH_4 στο έδαφος και νιτροποιητικών βακτηρίων.**
- ❖ **Επαρκής εφοδιασμός του εδάφους σε Ca, P, Fe, Mn και Cu.**

Στα περισσότερα γεωργικά εδάφη ο εφοδιασμός του ανόργανου αζώτου εξαρτάται από την ταχύτητα ανοργανοποίησης, εκτός από την περίπτωση όπου παρατηρείται συμβιωτική ή μη συμβιωτική αζωτοδέσμευση. Στα περισσότερα εδάφη το ανόργανο άζωτο σχηματίζεται συνεχώς από το οργανικό άζωτο με ανοργανοποίηση. Στη συνέχεια ποσότητα από το ανόργανο άζωτο δεσμεύεται και μετατρέπεται σε οργανικό από τους μικροοργανισμούς (immobilization).

Είναι φυσικό η ποσότητα του ανόργανου αζώτου που βρίσκεται στο έδαφος και είναι διαθέσιμη στα φυτά εξαρτάται τόσο από την ανοργανοποίηση, όσο και την ακινητοποίηση του αζώτου. Ανοργανοποίηση συμβαίνει μόνο όταν το βιολογικό περιβάλλον είναι ευνοϊκό.

Η νιτροποίηση αναστέλλεται σε θερμοκρασία $45^{\circ}C$ ενώ η αμμωνιοποίηση έχει ταχύτερους ρυθμούς σε θερμοκρασία $50-70^{\circ}C$. Σε χαμηλές θερμοκρασίες η νιτροποίηση καθυστερεί περισσότερο από ότι η αμμωνιοποίηση. Σε κορεσμένα εδάφη με νερό (αναερόβιες συνθήκες) η νιτροποίηση παρεμποδίζεται σημαντικά η αμμωνιοποίηση όμως επηρεάζεται λιγότερο. Η νιτροποίηση συμβαίνει μόνο όταν το pH κυμαίνεται από 5,5 μέχρι 10 με άριστο $pH=8,5$ αντίθετα όμως η αμμωνιοποίηση είναι πολύ λιγότερο ευαίσθητη.

Στα περισσότερα καλλιεργούμενα εδάφη στην εύκρατη ζώνη δεν παρατηρείται αμμωνιοποίηση και νιτροποίηση κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών, ενώ και οι δύο διεργασίες προχωρούν πολύ γρήγορα το καλοκαίρι, με συνέπεια τα υψηλά επίπεδα NO_3^- . Η νιτροποίηση μπορεί να γίνεται για βραχεία περίοδο την άνοιξη και το φθινόπωρο. Στην εύκρατη ζώνη νιτροποίηση δε γίνεται σε πολύ όξινα εδάφη, ενώ σε τροπικά εδάφη η νιτροποίηση προχωρεί με ταχείς ρυθμούς καθόλο το έτος.

Σε πολλά εδάφη και κάτω από ορισμένη βλάστηση τα επίπεδα νιτρικών ιόντων (NO_3^-) είναι χαμηλά, διότι η νιτροποίηση αναστέλλεται. Επίσης έχει δειχθεί ότι οι ταννίνες σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις σε πολλά είδη φυτών, καθώς και τα φαινολικά οξέα και φαινολικά γλυκοσίδια, που παράγονται από φυτά, δρουν ανασταλτικά στη νιτροποίηση. Μετά από κόψιμο δάσους και καθαρισμό του εδάφους παρατηρήθηκε αύξηση της *Nitrosomonas* 18 φορές και του *Nitrobacter* 34 φορές.

Συμπεριφορά των αμμωνιακών ιόντων στο έδαφος-δέσμευση των αμμωνιακών ιόντων από τη στερεή φάση του εδάφους.

Σε μερικά εδάφη τα φυτά μπορεί να έχουν καλλίτερη ανάπτυξη και μεγαλύτερη πρόσληψη αζώτου από τα φυτά όταν χορηγείται άζωτο με τη μορφή NO_3^- και όχι NH_4^+ ιόντων. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο ότι τα εδάφη αυτά δεσμεύουν τα αμμωνιακά ιόντα (NH_4^+) και το κάλιο (K^+) και τα ιόντα αυτά είναι διαθέσιμα στα φυτά. Αυτή η δέσμευση του αμμωνίου συμβαίνει όταν τα κατιόντα Ca^{2+} , H^+ , Mg^{2+} και Na^+ στο πλέγμα μερικών ορυκτών της αργίλου αντικαθίστανται με ιόντα NH_4^+ . Εδάφη που περιέχουν οργανική ουσία, βερμικουλίτη, ιλλίτη και μοντμοριλλονίτη σε υψηλά ποσοστά δεσμεύουν NH_4^+ ιόντα (ορυκτά 2:1). Τα δεσμευμένα NH_4^+ ιόντα μπορούν να απελευθερωθούν από κατιόντα που διογκώνουν το πλέγμα των ορυκτών (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , H^+), όχι όμως και από αυτά που προκαλούν συστολή του ενδοστοιβαδικού χώρου, όπως K, Rb, και Cs.

Τα δεσμευμένα αμμωνιακά ιόντα (NH_4^+) δεν είναι αμέσως διαθέσιμα στα φυτά. Πρόσφατα δεσμευμένα NH_4^+ ιόντα δεν είναι διαθέσιμα στα φυτά και η ποσότητα του δεσμευμένου NH_4^+ δεν αποδεσμεύεται με μια μόνο συγκομιδή.

Η ποσότητα και ο χρόνος προσθήκης καλιούχων λιπασμάτων είναι οι πιο σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν τους ρυθμούς δέσμευσης των αμμωνιακών λιπασμάτων. Σύγχρονη χορήγηση καλίου και αζώτου με την αμμωνιακή μορφή αυξάνει τη δέσμευση των αμμωνιακών ιόντων. Το μέγιστο της δέσμευσης λαμβάνει χώρα όταν το κάλιο προστίθεται 7-10 μέρες μετά το αμμωνιακό λίπασμα και ελάχιστη δέσμευση παρατηρείται, όταν χορηγείται 7-10 μέρες νωρίτερα.

Η ανάπτυξη των φυτών δείχνει τάσεις που σχετίζονται με το ποσό της δέσμευσης των NH_4^+ ιόντων. Χορήγηση καλίου προ της χορήγησης NH_4^+ ιόντων αυξάνει την πρόσληψη του αζώτου και την απόδοση των καλλιεργειών. Έτσι η διαθεσιμότητα του αζώτου σχετίζεται αντίστροφα με τη δέσμευση των αμμωνιακών ιόντων (NH_4^+), η οποία στη συνέχεια επηρεάζεται από την σειρά με την οποία προστίθενται τα καλιούχα και αμμωνιακά λιπάσματα στο έδαφος.

Η αλληλεπίδραση αυτή οφείλεται στο ότι τα NH_4^+ ιόντα και ιόντα K^+ μπορούν να δεσμεύονται με τον ίδιο μηχανισμό αν και τα αμμωνιακά ιόντα φαίνεται ότι δεσμεύονται κατά προτίμηση. Έτσι η δέσμευση των αμμωνιακών ιόντων είναι ελάχιστη, όταν τα αμμωνιακά προστίθενται μετά το κάλιο, διότι το κάλιο καταλαμβάνει το πλείστο του ενδοστοιβαδικού χώρου, όπου γίνεται δέσμευση.

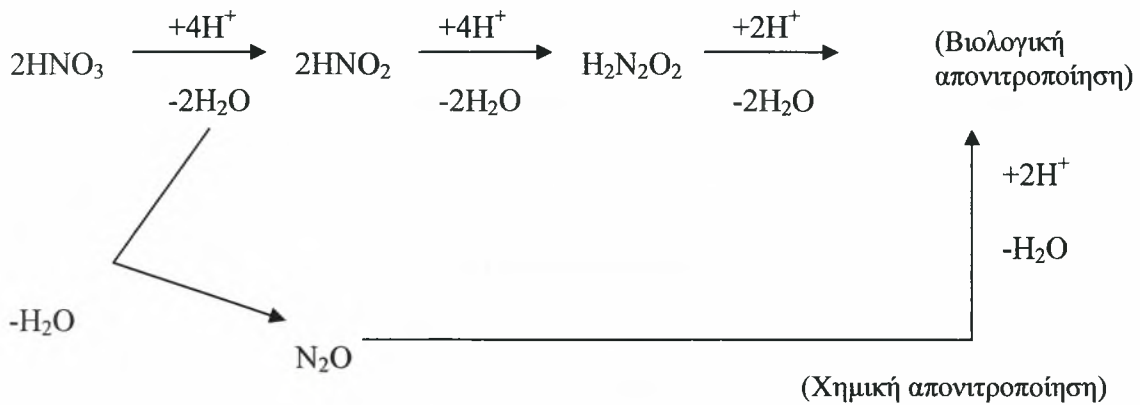
Στο έδαφος επίσης μπορεί να γίνει βιολογική δέσμευση του αμμωνίου από μικροοργανισμούς που ακινητοποιούν το χορηγούμενο άζωτο. Οι μικροοργανισμοί προτιμούν NH_4^+ αντί NO_3^- , όταν υπάρχει δυνατότητα επιλογής.

Απώλειες αζώτου

Το άζωτο στα εδάφη χάνεται με πολλούς τρόπους, όπως επιστροφή στην ατμόσφαιρα ως αέριο (N_2 , N_2O , NH_3) καθώς και με έκπλυσή του και μεταφορά του στα βαθύτερα στρώματα της εδαφικής κατατομής.

- **Η απονιτροποίηση**, η βιοχημική αναγωγή των νιτρικών κάτω από αναερόβιες συνθήκες, συμβάλλει στην απώλεια N₂ στην ατμόσφαιρα.

Η απονιτροποίηση παρίσταται με την παρακάτω εξίσωση:



Οι απώλειες αζώτου με απονιτροποίηση παρατηρούνται με την παρουσία μικροοργανισμών *Pseudomonas*, *Achromobacter* και *Micrococcus* σε pH=4,9-5,6 (απώλεια ως N₂O) ή pH=7,3-7,9 (N₂). Το άζωτο επίσης μπορεί να εξαερωθεί με τη μορφή αμμωνίας.

Σε αναγωγικές συνθήκες τα NO₃⁻ ιόντα υφίστανται απονιτροποίηση ήτοι βιολογική απονιτροποίηση σε υψηλό pH και χημική απονιτροποίηση σε χαμηλό pH. Οι απώλειες του αζώτου με απονιτροποίηση, είναι μεγαλύτερες με την παρουσία φυτών.

Τα απονιτροποιητικά βακτήρια είναι 90 φορές περισσότερα στη ριζόσφαιρα των φυτών, από ότι στο περιβάλλον έδαφος. Ως συνέπεια της αύξησης του ριζικού συστήματος των φυτών είναι ο περιορισμένος αριθμός των μεγάλων πόρων στο έδαφος. Επιπλέον τα φυτά παρέχουν ενέργεια στα απονιτροποιητικά βακτήρια με τη μορφή εκκρίσεων του ριζικού συστήματος.

- **Απώλειες με τη μορφή αμμωνίας (NH₃)**. Παρατηρείται σε αλκαλικά εδάφη σύμφωνα με τη σχέση:



Επίσης απώλεια NH_3 παρατηρείται ανεξάρτητα από την τιμή του pH του εδάφους, μετά από επιφανειακή χορήγηση ουρίας.

- **Απώλειες με τη μορφή νιτρικού οξέος (HNO_3).** Παρατηρείται σε εδάφη με υψηλή περιεκτικότητα αργιλίου και υδρογόνου (όξινα εδάφη).
- **Πυρκαγιές:** Οι πυρκαγιές επηρεάζουν τον κύκλο του αζώτου άμεσα, γιατί μεγάλες ποσότητες αζώτου χάνονται με την καύση της οργανικής ουσίας και έμμεσα εξαιτίας των φυσικοχημικών μεταβολών που υφίσταται το έδαφος από τις πυρκαγιές. Με την καύση της οργανικής ουσίας παράγονται μικρές ποσότητες NH_3 και μεγάλες ποσότητες αερίου N_2 ή οξειδίων του αζώτου, που επιστρέφουν στην ατμόσφαιρα. Σε παγκόσμια κλίμακα η απώλεια N από τις πυρκαγιές ανέρχεται σε $20\text{-}100 \times 10^6\text{t}$ ετησίως. Το N_2O αντιπροσωπεύει 13 εκατομμύρια τόννους. Μετά από πυρκαγιές επηρεάζεται και η ταχύτητα νιτροποίησης.

Έκπλυση νιτρικών στα εδάφη

Τα νιτρικά ιόντα (NO_3^-) εύκολα εκπλύνονται, διότι τα πλείστα εδάφη της εύκρατης ζώνης έχουν αρνητικό φορτίο στα κολλοειδή τους και δε συγκρατούν τα NO_3^- ιόντα. Τα NO_3^- ιόντα μπορεί να μεταφερθούν στα κατώτερα στρώματα της εδαφικής κατατομής με το νερό στράγγισης. Σε τροπικά εδάφη τα NO_3^- ιόντα προσροφούνται από τη στερεά φάση του εδάφους η δε προσρόφηση εξαρτάται από το pH και από τη συγκέντρωση των NO_3^- ιόντων. Τα εδάφη αυτά περιέχουν άμορφα ανόργανα υλικά και κυρίως οξείδια Al και Si.

Αναστολείς Νιτροποίησης

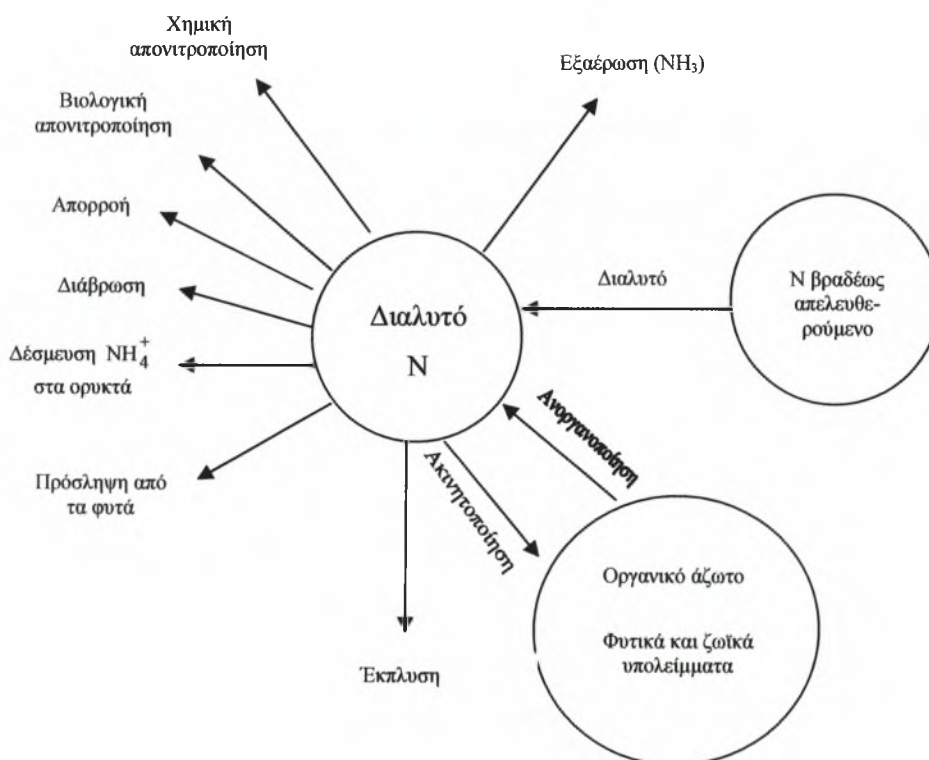
Σε πολλά εδάφη δε δεσμεύονται μεγάλες ποσότητες NH_4^+ ιόντων. Εξάλλου τα NO_3^- ιόντα είναι διαλυτά στο νερό. Τα NO_3^- ιόντα γρήγορα απονιτροποιούνται κάτω από αναγωγικές συνθήκες. Έτσι σε βαριά εδάφη σημαντικές ποσότητες αερίου N_2 μπορεί να παράγονται. Σε πειράματα έχουν μελετηθεί αναστολείς νιτροποίησης για την αύξηση της αποτελεσματικής δράσης του αζώτου σε διάφορες καλλιέργειες, σε συνθήκες όπου οι απώλειες με απονιτροποίηση ή έκπλυση είναι υψηλές. Η χρήση της

νιτραπυρίνης (2- chloro-6(trichloromethyl)-pyridine) μαζί με θειική αμμωνία αύξησε το ποσό του ανταλλάξιμου αμμωνίου σε καλλιεργούμενα εδάφη μετά από 60 ημέρες.

Η νιτροποίηση αύξησε το ολικό ποσό του ανόργανου αζώτου και μείωσε τις καθαρές απώλειες του ανόργανου αζώτου σε 60 ημέρες. Οι αναστολείς της νιτροποίησης επίσης έχουν εφαρμογές για μελέτη της θρέψης των φυτών με NH_4^+ ιόντα, εξαιτίας της ταχείας μετατροπής των NH_4^+ ιόντων στο έδαφος σε NO_3^- ιόντα.

Η χρήση των αναστολέων νιτροποίησης μπορεί να έχει μεγαλύτερη σημασία για μείωση της πρόσληψης NO_3^- ιόντων από τα φυτά όταν η συγκέντρωση αυτών στα φυτά είναι υψηλή. Οι αναστολείς νιτροποίησης χρησιμοποιήθηκαν με μεγάλη επιτυχία στη μείωση της συγκέντρωσης των NO_3^- ιόντων στο σπανάκι. Στην εικόνα 1.5 παρουσιάζονται οι μετατροπές που υφίστανται στο έδαφος τα αζωτούχα λιπάσματα μετά την εφαρμογή τους.

Αζωτούχο λίπασμα



Εικόνα 2. Οι μετατροπές που υφίστανται στο έδαφος τα αζωτούχα λιπάσματα μετά την εφαρμογή τους, ιδιαίτερα μετά από κορεσμό του εδάφους.

Νιτρορύπανση και Ευτροφισμός

Οι μεγάλες συγκεντρώσεις των νιτρικών και των φωσφορικών ιόντων στα νερά, αποτελούν τα κύρια αίτια δημιουργίας του φαινομένου του ευτροφισμού. Ο ευτροφισμός έχει διαταράξει σε μεγάλο βαθμό την οικολογική ισορροπία των υδατικών οικοσυστημάτων π.χ. ποταμών, λιμνών και θαλασσών στον πλανήτη μας. Ο ευτροφισμός οφείλεται στην ανάπτυξη μονοκύτταρων φυκών (algae) που προκαλεί η αύξηση της συγκέντρωσης των θρεπτικών στοιχείων στα υδατικά συστήματα. Ο ευτροφισμός οδηγεί στην εξαφάνιση της μακροφυτικής υδρόβιας βλάστησης και τελικά στη θανάτωση των ενάλιων ζωικών πληθυσμών. Μετά από μια σε υψηλό επίπεδο ανάπτυξη των φυκών ακολουθεί η νέκρωση και η αποσύνθεση της τεράστιας αυτής βιομάζας η οποία δημιουργεί αναερόβιες συνθήκες. Για την εκδήλωση του φαινομένου του ευτροφισμού είναι αρκετό η αύξηση της συγκέντρωσης και ενός μόνο περιοριστικού θρεπτικού. Στις περισσότερες περιπτώσεις περιοριστικοί παράγοντες ευτροφισμού στα μεν θαλάσσια νερά είναι το άζωτο και στα γλυκά νερά (λίμνες) ο φωτισμός.

Δυσμενείς επιδράσεις των νιτρικών στην υγεία του ανθρώπου

Οι κύριες πηγές νιτρικών στη διατροφή του ανθρώπου είναι τα λαχανικά, το νερό και τα νιτρικά που προστίθενται ως συντηρητικά στα προϊόντα παρασκευής τροφών. Τα νιτρικά δεν είναι τοξικά και αποβάλλονται σχετικά γρήγορα από τον οργανισμό με τα ούρα (80%) ή τα περιττώματα (1-2%) και ανακυκλώνονται με το σάλιο (18%).

Τα νιτρώδη που βρίσκονται στις τροφές ή σχηματίζονται από τα νιτρικά ή παράγονται ενδογενώς είναι τοξικά. Σχετικά με τις ενδεχόμενες κλινικές-παθολογικές επιδράσεις των νιτρικών στον άνθρωπο αναφέρονται στον κίνδυνο **μεθαιμογλοβιναιμίας** δηλαδή **συνδρόμου κυάνωσης των βρεφών (blue baby syndrome)** και στον κίνδυνο προσβολής από καρκίνο του γαστρο-εντερικού συστήματος σε μεγάλης ηλικίας άτομα. Τα νιτρώδη που παράγονται με τη μικροβιολογική αναγωγή των νιτρικών ιόντων είναι σε θέση να μετατρέπουν την αιμογλοβίνη του αίματος σε μεθαιμογλοβίνη που δε μπορεί να μεταφέρει το οξυγόνο και έτσι εμποδίζεται η μεταφορά του σε όλο το κυκλοφορικό σύστημα. Όταν η ποσότητα της μεθαιμογλοβίνης στο αίμα αυξηθεί, τότε παράγονται στον

οργανισμό συμπτώματα έλλειψης οξυγόνου με κύριο χαρακτηριστικό την κυάνωση, που διακρίνεται πολλές φορές από το μπλε χρώμα των χειλιών (μεθαιμογλοβιναιμία). Η τελευταία διαπιστωμένη περίπτωση κυάνωσης των βρεφών στο Ηνωμένο Βασίλειο συνέβη το 1972. Ο ερευνητής Douthwaite (1999) υποστηρίζει ότι στη διάρκεια των τελευταίων 36 ετών συνολικά μόνο 14 ύποπτα περιστατικά έχουν παρουσιαστεί στη Δυτική Ευρώπη τα οποία συσχετίστηκαν με κατανάλωση νερού από φρεάτια μολυσμένου με βακτήρια. Αναφέρεται ότι κατά τη χειμερινή περίοδο 1976-1977, περίπου τρία εκατομμύρια άνθρωποι στο Ηνωμένο Βασίλειο κατανάλωσαν νερό με συγκέντρωση νιτρικών μεταξύ 50 και 100 mgL⁻¹, χωρίς να εκδηλωθεί έστω και ένα κρούσμα μεθαιμογλοβιναιμίας. (Owen και S.Jurgens-Gschwind, 1986). Αναφέρθηκε ότι η μεθαιμογλοβιναιμία στα βρέφη δεν προκαλείται από τα νιτρικά αλλά από τα νιτρώδη που παράγονται με αναγωγή των νιτρικών από βακτήρια. Η αναγωγή συμβαίνει όταν το πόσιμο νερό ή τα σκεύη διατροφής ή και οι τροφές των νεογνών δεν πληρούν βασικές προϋποθέσεις υγιεινής. (L' Hirdndel, 1994).

Η χρόνια έκθεση του οργανισμού του ανθρώπου σε υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών στο διαιτολόγιο θεωρήθηκε ως πιθανό αίτιο του γαστρο-εντερικού καρκίνου εξαιτίας ενδεχόμενης ενδογενούς σύνθεσης των καρκινογενών ενώσεων **N-νιτροζαμινών**, από την αντίδραση εντός του στομάχου μεταξύ νιτρωδών αλάτων αφενός και αφετέρου δευτερογενών αμινών. (Dunkam, et.al., 1997, Vermeer, et.al., 1998). Για τους λόγους αυτούς επεβλήθησαν περιορισμοί στην περιεκτικότητα νιτρικών και νιτρωδών σε επεξεργασμένα είδη τροφίμων (Scientific Committee for food, European Commission, 1995). Πρόσφατες επιδημολογικές έρευνες δε στηρίζουν την άποψη ότι τα νιτρικά προκαλούν καρκίνο στον άνθρωπο, (ECETOC, 1988, Scientific Committee for food European Commission, 1995, Dunkam, et.al., 1997).

Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε 229 αστικές περιοχές στο Ηνωμένο Βασίλειο μεταξύ 1969 και 1973 βρέθηκε αρνητική συσχέτιση μεταξύ των συγκεντρώσεων των νιτρικών ιόντων στο πόσιμο νερό και στην εμφάνιση κρουσμάτων γαστροεντερικού καρκίνου. (Beresford, 1985).

Το 80-90% των νιτρικών στις τροφές του ανθρώπου προέρχονται από τα νωπά λαχανικά και ειδικότερα από τα πράσινα φυλλώδη λαχανικά (σέλινο, σπανάκι, μαρούλι κ.λ.π.).

Οι απαιτήσεις των φυτών σε άζωτο

Το ετήσιο ισοζύγιο του αζώτου είναι η βάση για τον καθορισμό της λιπαντικής πολιτικής για να καλυφθούν οι ανάγκες των φυτών σε θρεπτικά στοιχεία. Το είδος των φυτών και ο γονότυπος αυτών, οι εδαφικές και κλιματικές συνθήκες καθορίζουν την απόδοση και επομένως τις ανάγκες των φυτών σε άζωτο. Στον πίνακα 2 παρουσιάζονται οι ποσότητες των θρεπτικών στοιχείων που απομακρύνονται από το έδαφος οι δε ποσότητες του αζώτου που απομακρύνονται από τα φυτά κυμαίνονται μεταξύ 10 και 25kg Nστρ⁻¹ χρόνο. Οι ποσότητες αυτές προέρχονται από διάφορες πηγές. Επειδή όμως η ανοργανοποίηση του οργανικού αζώτου συμβαίνει και κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου είναι απαραίτητο να λαμβάνονται υπόψη η συνεισφορά σε άζωτο κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου.

Πίνακας 2 Ποσότητες θρεπτικών στοιχείων που απομακρύνονται από το έδαφος⁺⁺⁺ mg.kg⁻¹

Φυτά	Γραμμάρια ξηρής μάζας σε 100g χλωρής μάζας φυτικών ιστών	N	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	S
Σιτηρά 600kg σπόροι 450kg καλαμιά+	-	50	9	24	6	4	5
Πατάτες 5 t κόνδυλοι	-	60	8	96	4	4	6
Γρασίδια 5 t χόρτο	-	100	12	72	16	5	5
Ελαιοκράμβη για σπόρους 300kg σπόροι	-	40	8	12	4,5	2,8	12

Έκπλυση των νιτρικών και απώλειες αζώτου

Όταν οι ετήσιες βροχοπτώσεις ή οι αρδεύσεις εφοδιάζουν το έδαφος με ποσότητες νερού που υπερβαίνουν την εξατμισοδιαπνοή, η επιπλέον ποσότητα του νερού ή αποθηκεύεται στους εδαφικούς πόρους, ή απομακρύνεται με την επιφανειακή απορροή ή διηθείται στα βαθύτερα στρώματα της εδαφικής κατατομής.

Τα νιτρικά ιόντα (NO_3^-) που βρίσκονται στο εδαφικό διάλυμα είτε μετακινούνται στα βαθύτερα στρώματα της εδαφικής κατατομής και στον υδροφόρο ορίζοντα και στη συνέχεια στα επιφανειακά και υπόγεια νερά, είτε διαλύονται στα νερά απορροής και οδεύουν στις λίμνες, στα ποτάμια και στις θάλασσες.

Οι ποσότητες των νιτρικών ιόντων που απομακρύνονται με έκπλυση εξαρτώνται:

- από την ποσότητα του νερού που διηθείται στα βαθύτερα στρώματα της εδαφικής κατατομής
- από τη συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων στο έδαφος
- από τις ποσότητες των προστιθέμενων λιπασμάτων
- από τον τύπο του εδάφους
- από την περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ουσία και από τους ρυθμούς ανοργανοποίησης του οργανικού αζώτου
- από τη δραστηριότητα των μικροοργανισμών του εδάφους
- από τις εποχικές διακυμάνσεις
- από τη φυτοκάλυψη
- από τον τύπο της καλλιέργειας
- από τις βροχοπτώσεις και αρδεύσεις και
- από την κατανομή των νιτρικών στο έδαφος σε σχέση με την κατανομή των ριζών και τις ανάγκες των φυτών.

Έκπλυση νιτρικών – φυτοκάλυψη

Από έρευνες προκύπτει ότι σε γυμνό έδαφος η απώλεια NO_3^- με έκπλυση είναι περίπου διπλάσια μέχρι τριπλάσια από ότι στο ίδιο έδαφος με καλλιέργειες και εννέα φορές μεγαλύτερη από ότι στο ίδιο έδαφος με λειβαδική φυτοκάλυψη. Διευκρινίζεται ότι με τον όρο *γυμνό έδαφος* (fallow soils) δε γίνεται αναφορά μόνο στην αγρανάπαυση αλλά πιο συχνά στην εποχική παραμονή ενός αγρού χωρίς φυτοκάλυψη εξαιτίας του τύπου της καλλιεργητικής διαχείρισης.

Στην Ελλάδα και στην παραμεσόγειο ζώνη τα χειμερινά σιτηρά δεν καλύπτουν το έδαφος κατά τους θερινούς μήνες οπότε η έκπλυση και η νιτροποίηση δεν ευνοούνται εξαιτίας της έλλειψης εδαφικής υγρασίας. Οι θερινές καλλιέργειες όμως οι οποίες συγκομίζονται το Φθινόπωρο, δεν καλύπτουν το έδαφος σε εποχή που οι κλιματικές συνθήκες ευνοούν τη νιτροποίηση και στη συνέχεια την έκπλυση τόσο του ανοργανοποιηθέντος αζώτου, όσο και του υπολειμματικού αζώτου των ετήσιων καλλιεργειών. Έχει παρατηρηθεί (Theocharopoulos et al., 1994) μετακίνηση νιτρικών προς την επιφάνεια μαζί με το εδαφικό νερό λόγω της τριχοειδούς ανύψωσης κατά τους θερινούς μήνες.

Έκπλυση νιτρικών – Τύπος καλλιέργειας

Ο ρυθμός πρόσληψης του αζώτου δεν είναι σταθερός κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, αλλά εξαρτάται γενικώς από τους εποχιακούς ρυθμούς ανάπτυξης των φυτών. Οι καλλιέργειες που δεν καλύπτουν πλήρως και μόνιμα το έδαφος αφήνουν μεγάλα περιθώρια για έκπλυση των νιτρικών ιόντων. Οι εύρωστες όμως καλλιέργειες προσφέρουν πλήρη και μακροχρόνια κάλυψη. Τα λειβαδικά-κτηνοτροφικά φυτά είναι τα πλέον αποτελεσματικά φυτά για αποτελεσματική διαχείριση του εδάφους κατά της έκπλυσης των νιτρικών ιόντων, περιορίζουν δε τις σχετικές απώλειες μόνο σε $6\text{-}12\text{kgN ha}^{-1}$. Όταν όμως τα παρθένα λειμώνια εδάφη καλλιεργούνται με αροτραίες καλλιέργειες τότε παρατηρείται έντονη νιτροποίηση και μεγάλες απώλειες νιτρικού αζώτου.

Όταν γίνει η συγκομιδή των ετήσιων καλλιεργειών τότε εξαιτίας της διακοπής της πρόσληψης του αζώτου από τα φυτά ο ρυθμός έκπλυσης των νιτρικών αυξάνει. Σε

αυτό συνεπικουρεί και η νιτροποιητική ικανότητα του εδάφους. Για τον περιορισμό της έκπλυσης των νιτρικών προτείνονται τα εξής μέτρα:

- Βελτιωμένοι τύποι αμειψισποράς
- Αποφυγή Φθινοπωρινών οργωμάτων
- Πρώιμη Εαρινή σπορά και
- Η εφαρμογή των αζωτούχων λιπασμάτων να γίνεται με πολλές δόσεις και με βάση τις ανάγκες των φυτών.

Για τη μείωση της έκπλυσης των νιτρικών μπορεί να εφαρμοστεί το σύστημα της ενδιάμεσης καλλιέργειας ανάσχεσης (catch crop) κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Η καλλιέργεια αυτή προσλαμβάνει την ποσότητα του νιτρικού αζώτου του εδάφους, ή απελευθερώνεται το άζωτο αυτό στο έδαφος μετά τη συγκομιδή της κύριας καλλιέργειας. Η ενδιάμεση καλλιέργεια μπορεί να περιορίσει την έκπλυση του αζώτου κατά 40-50%.

Τα κηπευτικά αντίθετα με τις αροτραίες καλλιέργειες ευνοούν την έκπλυση των νιτρικών. Τα κηπευτικά δεν καλύπτουν το έδαφος για μεγάλο χρονικό διάστημα, δέχονται συχνές και πολλές καλλιεργητικές εργασίες με αποτέλεσμα να αυξάνουν την ανοργανοποίηση του οργανικού αζώτου και αφήνουν στο έδαφος μεγάλες ποσότητες φυτικών υπολειμμάτων πλούσιων σε οργανικό άζωτο, τα οποία κατά την αποσύνθεσή της εκλύουν μεγάλες ποσότητες οργανικού αζώτου. Τέλος, οι κηπευτικές καλλιέργειες δέχονται εντατικές λιπάνσεις που πολλές φορές υπερβαίνουν τις θρεπτικές ανάγκες τους.

Έκπλυση νιτρικών – Επίδραση του τύπου εδάφους

Είναι γνωστό ότι στους εδαφικούς πόρους όταν το έδαφος είναι υγρό υπάρχει το ύδωρ στο οποίο βρίσκονται με διαλυτή μορφή τα θρεπτικά στοιχεία του εδάφους. Τα αμμώδη εδάφη συγκρατούν μικρότερο ποσοστό υγρασίας από τα αργιλώδη. Για το λόγο αυτό τα αμμώδη εδάφη διευκολύνουν την έκπλυση των νιτρικών.

Στα οργανικά εδάφη, η ποσότητα σε οργανικό άζωτο μπορεί να ανέλθει σε 1500kg.στρ⁻¹. Το οργανικό άζωτο ανοργανοποιείται και χάνονται με έκπλυση πολύ μεγαλύτερες ποσότητες νιτρικών σε σύγκριση με τα συνήθη μη οργανικά εδάφη.

Εκτίμηση της διαθεσιμότητας του αζώτου του εδάφους

Οι κυριότεροι στόχοι της διαχείρισης του αζώτου του εδάφους είναι:

- Δημιουργία και διατήρηση της γονιμότητας του εδάφους με τη συντήρηση ενός ικανοποιητικού δυναμικού αζωτούχου γονιμότητας και
- Τα φυτά να εφοδιάζονται με άζωτο σε όλες τις εποχικές απαιτήσεις των φυτών.

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα της γεωργικής παραγωγής είναι η εκτίμηση της διαθεσιμότητας του αζώτου του εδάφους σε σχέση με τις ειδικές απαιτήσεις κάθε καλλιέργειας και τους παραγωγικούς στόχους κάθε γεωργικής εκμετάλλευσης.

Η προσέγγιση του προβλήματος γίνεται με δύο τρόπους. Πρώτον με τη μεθοδολογία στηριζόμενη στην αρχή του ισοζυγίου εισροών-εκροών αζώτου. Η δεύτερη μεθοδολογία βασίζεται στην άμεση εκτίμηση ενός δείκτη διαθεσιμότητας του αζώτου του εδάφους που να προβλέπει:

- Το επίπεδο επάρκειας σχετικά με τις ανάγκες των καλλιεργειών
- Την παραγωγή και την ποιοτική αντίδραση στην προσθήκη αζωτούχου λιπάσματος.

Ένας δείκτης διαθεσιμότητας αζώτου θεωρείται ότι εκφράζει το δυναμικό τροφοδοσίας ενός εδάφους σε άζωτο (Nitrogen supplying power) δηλαδή την ικανότητα του εδάφους να ανοργανοποιεί άζωτο και να το καθιστά διαθέσιμο για πρόσληψη από τα φυτά. Το υπολειμματικό ανόργανο άζωτο (N_{min}) με την παρουσία του επηρεάζει το δείκτη διαθεσιμότητας του αζώτου. Η παρουσία του υπολειμματικού αζώτου οφείλεται τόσο στο πλεόνασμα ανοργανοποίησης όσο και σε πλεονασματικές αζωτούχες λιπάνσεις.

Υπάρχουν βάσιμες ενδείξεις ότι ο οργανικός C και το ολικό N παρέχουν πληροφορίες ως προς το δυναμικό τροφοδοσίας N ενός εδάφους οι οποίες όμως δεν μπορούν να μετατραπούν σε συστάσεις λίπανσης χωρίς συμπληρωματικά δεδομένα.

Αυτό γιατί ο ρυθμός ανοργανοποίησης είναι μεν συνάρτηση του οργανικού C και του ολικού N, καθώς και στη μεταξύ τους σχέση, αλλά εξαρτάται από την προέλευση της οργανικής ουσίας και από τη θερμοκρασία και υγρασία. Η ανοργανοποίηση ποικίλλει μεταξύ των καλλιεργητικών περιόδων και η πρόβλεψή της είναι δύσκολη. Από ερευνητικές εργασίες του Analogides (1983) και Αναλογίδη (1991) διαπιστώθηκε ότι επίδραση στην διαθεσιμότητα του N ασκούν ο οργανικός C, το ολικό N αλλά και η σχέση C/N. Συγκεκριμένα:

Η αύξηση του οργανικού C από 0,6% σε 1,4% με σταθερή την περιεκτικότητα του ολικού N του εδάφους από 1%, οδηγεί σε περιορισμό του δυναμικού τροφοδοσίας κατά 75% και σε αντίστοιχη αύξηση των αναγκών αζωτούχου λίπανσης. Η αύξηση του ολικού N από 0,06% σε 0,14%, με σταθερή περιεκτικότητα οργανικού C στο 1%, έχει ως συνέπεια την ενίσχυση του δυναμικού τροφοδοσίας κατά 40% περίπου με αντίστοιχο περιορισμό των αναγκών αζωτούχου λίπανσης.

Ανόργανες μορφές αζώτου

Τα τελευταία χρόνια η προσοχή των ερευνητών επικεντρώνεται προς το υπολειμματικό ανόργανο κλάσμα του N στο βάθος του ριζοστρώματος το οποίο οι ερευνητές αποκάλεσαν N_{min} . Ουσιαστικά, πρόκειται για το κλάσμα NO_3-N γιατί η συγκέντρωση του $NH_4^+ - N$ είναι συνήθως μικρή με εξαίρεση τα πολύ όξινα εδάφη. Υπάρχουν ερευνητικές εργασίες που αποδεικνύουν ότι υπό ορισμένες προϋποθέσεις, ο προσδιορισμός του NO_3-N στο βάθος του ριζοστρώματος κατά την έναρξη της καλλιεργητικής περιόδου παρέχει ικανοποιητική εκτίμηση των απαιτήσεων αζωτούχου λίπανσης πολλών καλλιεργειών.

Δυναμικό ανοργανοποίησης του αζώτου του εδάφους

Με τη μέθοδο των Standord and Smith (1972), προσδιορίζονται τα ανόργανα παραγόμενα κλάσματα μετά από αερόβια επώαση του εδαφικού δείγματος στους $35^\circ C$, επί 12 εβδομάδες. Στη συνέχεια υπολογιστικά εκτιμάται η ανοργανοποίηση που

αντιστοιχεί σε χρόνο επώασης 30 εβδομάδων. Οι ανωτέρω ερευνητές δέχονται ότι η ταχύτητα ανοργανοποίησης ακολουθεί αντίδραση πρώτης τάξεως της μορφής:

$$dN/dt = kN$$

δηλαδή ο ρυθμός ανοργανοποίησης, dN/dt , είναι ανάλογος της εκάστοτε ολικής συγκέντρωσης του οργανικού N. Μετά από ολοκλήρωση η εξίσωση αυτή γίνεται:

$$N_f = N_o [1 - e^{-kN}]$$

Όπου,

N_f = η αθροιστική ποσότητα ανοργανοποιημένου N,

t = ο χρόνος

N_o = το δυναμικό ανοργανοποίησης αζώτου του εδάφους, που εκφράζει τη μέγιστη δυνατή ποσότητα ανοργανοποιήσιμου N και

k = σταθερά

Το N_o υπολογίζεται με συσχέτιση μεταξύ διαδοχικών τιμών διαδοχικών τιμών του N_f και αντιστοίχου χρόνου t.

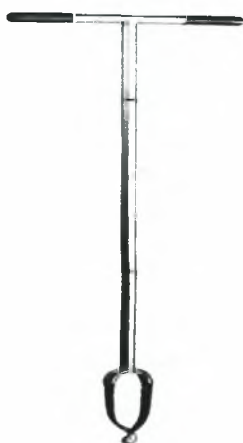
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Δειγματοληψία και εργαστηριακές αναλύσεις

Δειγματοληψία

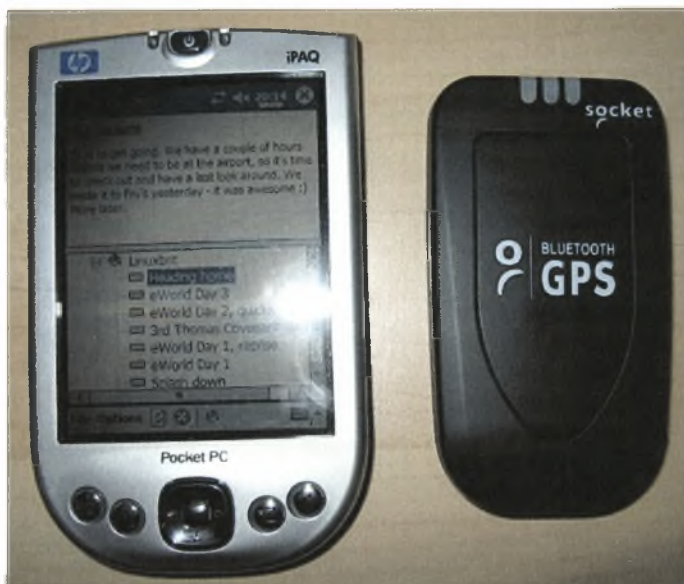
Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε σε εδάφη της ευρύτερης περιοχής του Αλμυρού Μαγνησίας από 11/5/2005 έως 31/5/2005. Η έκταση της υπό μελέτης περιοχής ήταν περίπου 150.000 στρέμματα. Για την πραγματοποίηση της χρησιμοποιήθηκε ορθοφωτοχάρτης της περιοχής (πηγή: Φλωράς Σ.) και εφαρμόστηκε η μέθοδος της 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 δειματοληψίας 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 δειματοληψίας έγινε χρήση D.G.P.S. με σκοπό τον ακριβή εντοπισμό των σημείων δειματοληψίας 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 δειματοληψία όπως περιοχή δειματοληψίας, αριθμός τομής, χρήση γης, γεωμορφή, φυσιογραφία, ημερομηνία δειματοληψίας 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 ένδειξη του πρέπει να είναι 1,41 dS/m. Σε διαφορετική θερμοκρασία ρυθμίζεται η ένδειξη 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
- Σιφόνια 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 αραίωση μέχρι όγκου 1000 mL.

Για την συγκέντρωση του αντιδραστήριου 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 αραίωση 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 H₂SO₄. Η φιάλη ανακινήθηκε για ένα λεπτό και αφέθηκε σε ηρεμία για 30 λεπτά της ώρας. Κατόπιν, προστέθηκαν 200mL αποσταγμένου νερού, 10mL H₃PO₄ και 1mL δείκτη ο-φαινανθρολίνης. Τελικά, ογκομετρήθηκε η περίσσεια του K₂Cr₂O₇ με το διάλυμα FeSO₄ μέχρις αλλαγής του χρώματος του δείκτη από μπλε σε κόκκινο. Παράλληλα, πραγματοποιήθηκε και ο τυφλός προσδιορισμός της κανονικότητας του πρότυπου τιτλοδότη, FeSO₄ 0,5N. Όταν γίνονταν αναγωγή από τον οργανικό άνθρακα περισσότερο από 75% των ιόντων Cr₂O₇²⁻, 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 K₂Cr₂O₇ είναι ίσα με τα meq FeSO₄ που καταναλώνονται για τον τυφλό προσδιορισμό, meq FeSO₄ 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 :

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

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

✓ Προσδιορισμός της συγκέντρωσης των νιτρικών και νιτρωδών ιόντων

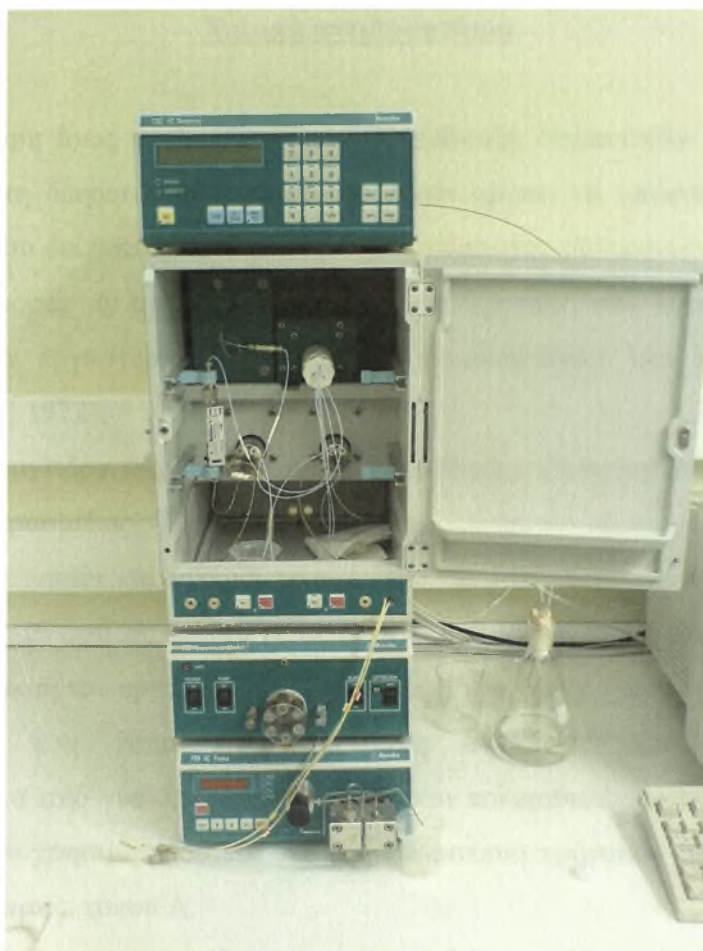
Περιγραφή του οργάνου της ιοντικής χρωματογραφίας με το οποίο πραγματοποιήθηκαν οι αναλύσεις των εδαφικών δειγμάτων

Το όργανο είναι του κατασκευαστικού οίκου της Metrohm (Εικόνα 2.7) και αποτελείται από δύο κύρια μέρη. Το πρώτο μέρος είναι το κύριο όργανο ενώ το δεύτερο είναι ο ηλεκτρονικός υπολογιστής με το απαραίτητο λογισμικό πρόγραμμα. Το κύριο μέρος αποτελείται από τρία κομμάτια

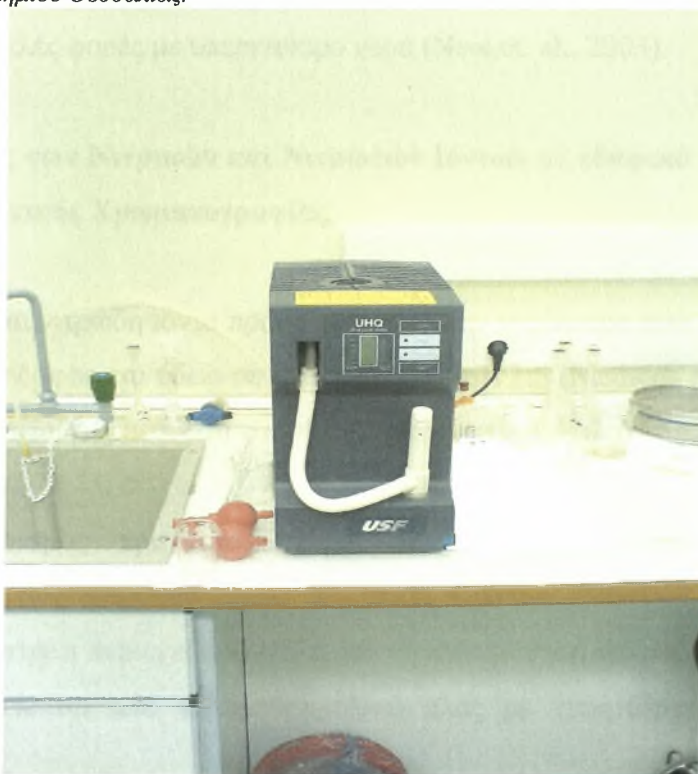
- Το βασικό θάλαμο, που περιέχει τις στήλες ιοντοανταλλαγής των ανιόντων, των κατιόντων και του σεληνίου.
- Τις αντλίες του ύδατος (753 Suppressor Module) και της κινητής φάσης (709 IC Pump)
- Τον ανιχνευτή αγωγιμόμετρο (732 IC Detector) .

Ο συγκεκριμένος ιοντικός χρωματογράφος ()μπορεί να προσδιορίσει συγκεντρώσεις με ακρίβεια της τάξης των ppb (αναλογία στο δισεκατομμύριο) τα εξής ιόντα: λίθιο, νάτριο, αμμώνιο, κάλιο, ασβέστιο, μαγνήσιο, φθόριο, βρώμιο, χλώριο, νιτρικά, νιτρώδη, φωσφορικά, θειικά καθώς επίσης και διάφορες μορφές του σεληνίου. Τα όρια ανίχνευσης για τα ανωτέρω στοιχεία είναι μεταξύ 10 και 30 $\mu\text{g L}^{-1}$. Τα αντιδραστήρια που χρησιμοποιούνται είναι υψηλής καθαρότητας χωρίς άλλες προσμίξεις. Το ύδωρ είναι κι αυτό υψηλής καθαρότητας και παράγεται από την ειδική συσκευή του εργαστηρίου (Εικόνα 2.8).

Σύμφωνα με τη διεθνή και την ελληνική βιβλιογραφία ο συνδυασμός της στήλης εναλλαγής ιόντων και της ανίχνευσης της αγωγιμότητας παρουσιάζει τον πιο αξιόπιστο τύπο της ιοντικής χρωματογραφίας.



Εικόνα 3.7. Το όργανο της ιοντικής χρωματογραφίας του Εργαστηρίου Εδαφολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.



Εικόνα 2.8. Συσσκευή παραγωγής ύδατος υψηλής καθαρότητας

Χημικά αντιδραστήρια

Η κρισιμότερη ίσως προϋπόθεση για την επίτευξη σημαντικών αποτελεσμάτων είναι μια άριστη δειγματοληψία κατά την οποία πρέπει να αποφεύγονται πιθανές επιμολύνσεις του δείγματος. Οι πιθανές πηγές ρύπανσης βρίσκονται στα υλικά των δοχείων μεταφοράς ή αποθήκευσης, στην ατμόσφαιρα του εργαστηρίου, στον εξοπλισμό του εργαστηρίου, στα χημικά αντιδραστήρια και στους διαλύτες (Robertson DE., 1972).

Τα χημικά αντιδραστήρια που χρησιμοποιήθηκαν είναι υψηλής καθαρότητας χωρίς άλλες προσμίξεις. Τα πρότυπα πυκνά διαλύματα είναι και αυτά υψηλής καθαρότητας τα οποία κατασκευάζονται ειδικά για την ιοντική χρωματογραφία. Το ύδωρ είναι κι αυτό υψηλής καθαρότητας (>18MΩcm στους 25 °C) και παράγεται από την ειδική συσκευή του εργαστηρίου, UHQ Ultra Pure Water.

Τα σκεύη που χρησιμοποιούνται στις αναλύσεις των εδαφών είναι κατασκευασμένα από γυαλί, πολυπροπυλένιο και πολυαιθυλένιο. Τα υάλινα σκεύη, ειδικά αυτά που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή πρότυπων διαλυμάτων είναι ανώτερης ποιότητας, τύπου A.

Τα σκεύη που χρησιμοποιούνται για τις αναλύσεις με τη μέθοδο της ιοντικής χρωματογραφίας καθαρίζονται και απολυμαίνονται μόνο με απορρυπαντικό και ξεπλένονται πολλές φορές με υπερκάθαρο νερό (Neal et. al., 2003).

Προσδιορισμός των Νιτρικών και Νιτρωδών Ιόντων σε εδαφικά δείγματα με τη μέθοδο της Ιοντικής Χρωματογραφίας

Τα νιτρικά και νιτρώδη ιόντα προσδιορίστηκαν σε εκχύλισμα που παρασκευάζεται αναμιγνύοντας έδαφος και ύδωρ σε αναλογίες 1:1 και 1:5 (Methods of Soil Analysis, 2000). Η αξιοπιστία της μεθόδου στηρίζεται στη μεγάλη διαλυτότητα στο ύδωρ των νιτρικών ιόντων.

Ο προσδιορισμός πραγματοποιήθηκε με τη χρησιμοποίηση της στήλης προσδιορισμού των ανιόντων τύπου IC Anion Column Metrosep Anion Dual 2, 6.1006.100. Η στήλη περιέχει προστήλη για τη συγκράτηση στερεών, τύπου PRP-1. Η στήλη αποτελείται από πολυμεθακρυλικό άλας με τεταρτοταγείς αμμωνιακές βάσεις.

Ο προσδιορισμός των νιτρικών και νιτρωδών ιόντων έγινε με ροή εκλουστικού διαλύματος $0,8 \text{ mL min}^{-1}$ και με τιμή πίεσης 37-40 bar. Πολλοί ερευνητές προτείνουν μεγαλύτερες ροές για τον προσδιορισμό των νιτρικών ιόντων. Βρέθηκε όμως από δοκιμές που έγιναν στο εργαστήριο με πρότυπα διαλύματα ότι η ιδανικότερη τιμή είναι $0,8 \text{ mL min}^{-1}$ για εδάφη. Αυτό συμβαίνει γιατί το συγκεκριμένο όργανο χρειάζεται περισσότερο χρονικό διάστημα για να ανιχνεύσει και να προσδιορίσει με ακρίβεια τις συγκεντρώσεις χωρίς να χάσει κάποια ποσότητα δείγματος.

Για να αποφευχθούν τα λάθη και η καταστροφή της στήλης, κατά τη διάρκεια της μέτρησης, πρέπει το δείγμα να φιλτράρεται από φίλτρα διαμέτρου $0,45 \mu\text{m}$.

Το εκλουστικό διάλυμα που χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των νιτρικών ιόντων ήταν το εξής:

1,3 mmol/L ανθρακικού νατρίου, υψηλής καθαρότητας + 2 mmol/L όξινου ανθρακικού νατρίου.

Ο χρόνος απόδοσης των νιτρικών ιόντων στο χρωματογράφημα ήταν τα 10,5 λεπτά της ώρας και για τα νιτρώδη ιόντα τα 3,5 λεπτά, από τη στιγμή της εισόδου του δείγματος. Ανάλογα με τον αριθμό και το είδος των δειγμάτων που αναλύονται χρόνος αυτός μεγαλώνει κατά 1-1,5 λεπτά της ώρας. Ο χρόνος στον οποίο αποδίδεται κάθε στοιχείο καθορίστηκε με την πραγματοποίηση ανάλυσης πρότυπου διαλύματος για κάθε στοιχείο ή ένωση ξεχωριστά. Τα πρότυπα διαλύματα που χρησιμοποιήθηκαν περιέχουν μόνο το στοιχείο ή την ένωση που προσδιορίζεται. Έτσι το χρωματογράφημα που παράγεται είναι του στοιχείου.

Η μέτρηση των νιτρικών ιόντων πραγματοποιήθηκε με χημική καταστολή (μείωση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εκλουστικού διαλύματος) δηλαδή με τη χρησιμοποίηση αραιού διαλύματος θεικού οξέος, έτσι ώστε μετά από αυτή τη διαδικασία το εκλουστικό διάλυμα είχε ηλεκτρική αγωγιμότητα $14 \mu\text{S cm}^{-1}$.

Πραγματοποιήθηκαν συγκρίσεις ανάμεσα στη μέθοδο της ιοντικής χρωματογραφίας και στη μέθοδο της στήλης του επιχαλκωμένου καδμίου, για τον προσδιορισμό των νιτρικών ιόντων. Το ποσοστό των μεταξύ τους αποκλίσεων ήταν μικρότερο του 5%. Έτσι με τη μέθοδο της ιοντικής χρωματογραφίας προσδιορίζονται με ακρίβεια τα νιτρικά ιόντα. Συγχρόνως η μέθοδος αυτή είναι οικονομικότερη, λιγότερο χρονοβόρα και λιγότερο επικίνδυνη από τη μέθοδο της στήλης του επιχαλκωμένου καδμίου. Η μέθοδος προσδιορισμού των νιτρικών ιόντων με την ιοντική χρωματογραφία αποδείχτηκε επίσης πιο αξιόπιστη για μικρές τιμές συγκεντρώσεων από αυτή της στήλης καδμίου.

Παρασκευή πρότυπων υδατικών διαλυμάτων των ανιόντων.

Πρότυπα διαλύματα ανιόντων 1000 mg L⁻¹ (ppm)

Τα πρότυπα αυτά διαλύματα παρασκευάστηκαν με διάλυση του περιεχομένου της αντίστοιχης αμπούλας (1g) σε ογκομετρική φιάλη των 1000mL και συμπλήρωση μέχρι τη χαραγή με το εκλουστικό διάλυμα (eluent).

Τα πυκνά διαλύματα φυλάσσονταν σε φιάλες από πολυαιθυλένιο σε θερμοκρασία 4οC. Πριν από κάθε μέτρηση παρασκευάζονταν σειρά πρότυπων διαλυμάτων, μεταφέροντας σε ογκομετρικές φιάλες των 100mL τις κατάλληλες ποσότητες του πυκνού διαλύματος και συμπληρώνοντας με εκλουστικό διάλυμα μέχρι τη χαραγή. Τα διαλύματα αυτά χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή της πρότυπης καμπύλης. Σε τακτά χρονικά διαστήματα εφαρμοζόταν η μέθοδος της σταθερής προσθήκης, για να περιοριστούν οι παρεμποδίσεις των ποικίλων συστατικών των δειγμάτων.

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 shapefiles. 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 τις αρχεία και γίνεται αρίθμηση κάθε τις με ένα μοναδικό αριθμό ID και ορισμός των συντεταγμένων για κάθε τις με βάση τις συντεταγμένες του χάρτη. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ένας πίνακας με τα ID των τις 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 επισήμανση 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: Sphaerical, 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.

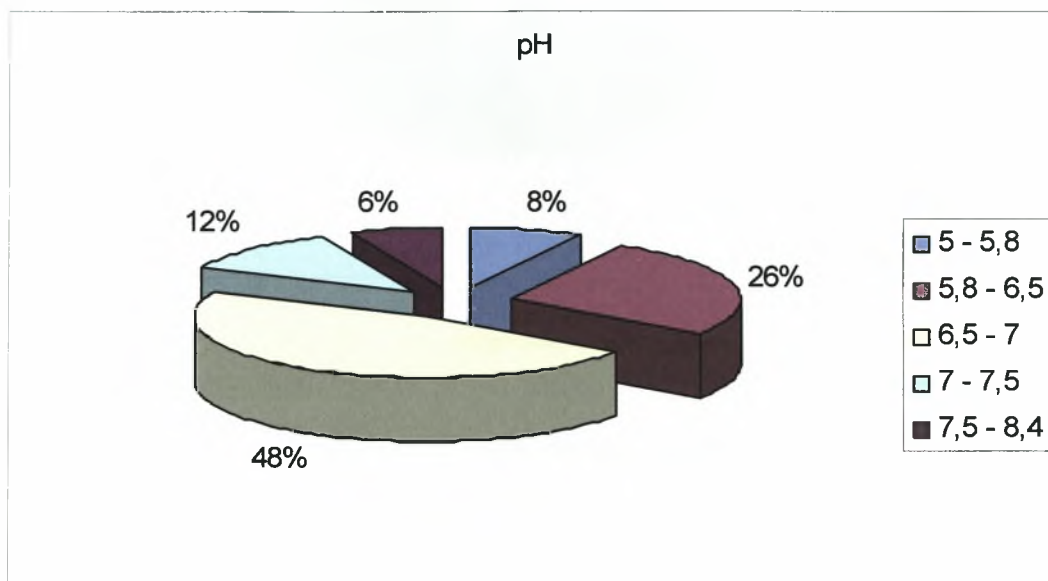
Η επιλογή του καταλληλότερου μοντέλου πραγματοποιείται λαμβάνοντας υπ' όψη τα ακόλουθα:

- 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

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

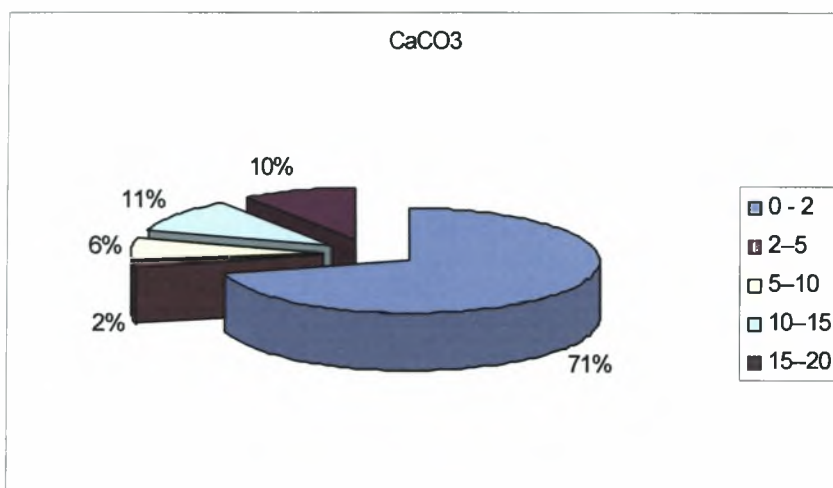
Στο διάγραμμα 1 που ακολουθεί παρουσιάζεται η ταξινόμηση των εδαφικών δειγμάτων με βάση την τιμή του pH



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.

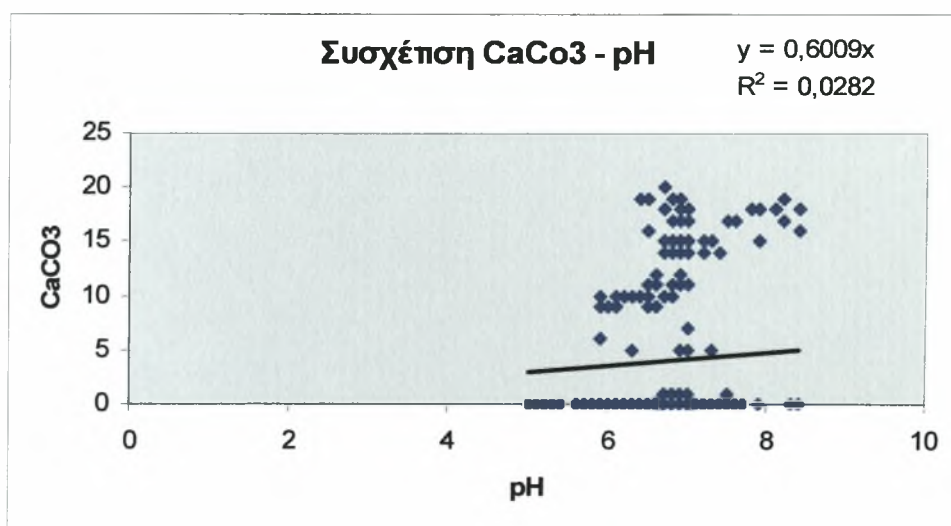
Στο διάγραμμα 2 που ακολουθεί παρουσιάζεται η ταξινόμηση των εδαφικών δειγμάτων με βάση το ποσοστό του ανθρακικού ασβεστίου



Διάγραμμα 2

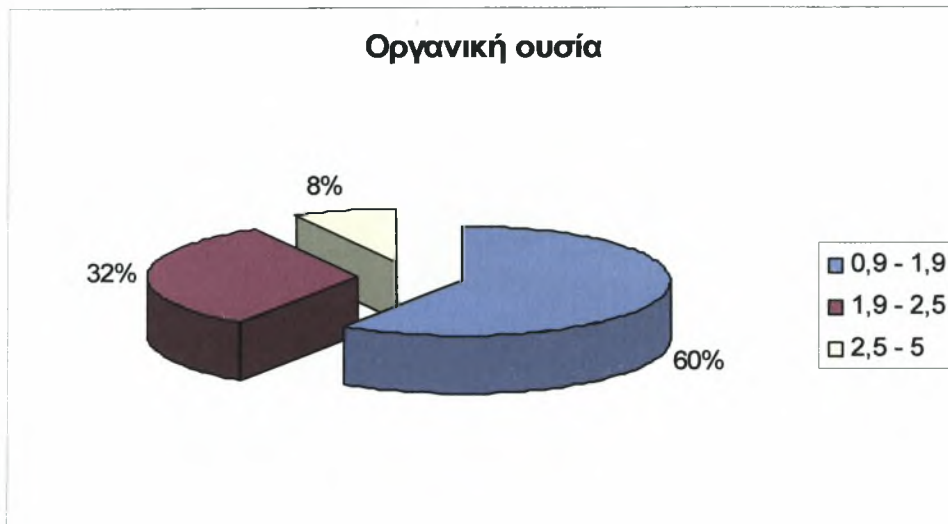
Παρατηρείται ότι το 71% των εδαφικών δειγμάτων περιέχει από 0% έως 2% CaCO₃, το 11% των εδαφικών δειγμάτων περιέχει από 10% έως 15% CaCO₃, το 10% των εδαφικών δειγμάτων περιέχει από 2% έως 5% CaCO₃, το 6% των εδαφικών δειγμάτων περιέχει από 5% έως 10% CaCO₃ και το 2% των εδαφικών δειγμάτων περιέχει από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

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



Διάγραμμα 3

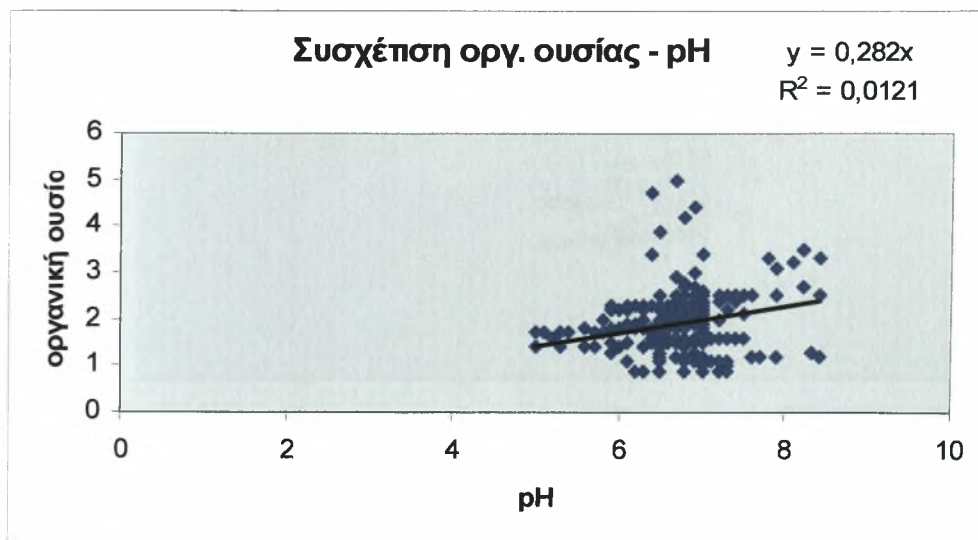
Στο διάγραμμα 4 που ακολουθεί παρουσιάζεται η ταξινόμηση των εδαφικών δειγμάτων με βάση το ποσοστό της οργανικής ουσίας.



Διάγραμμα 4

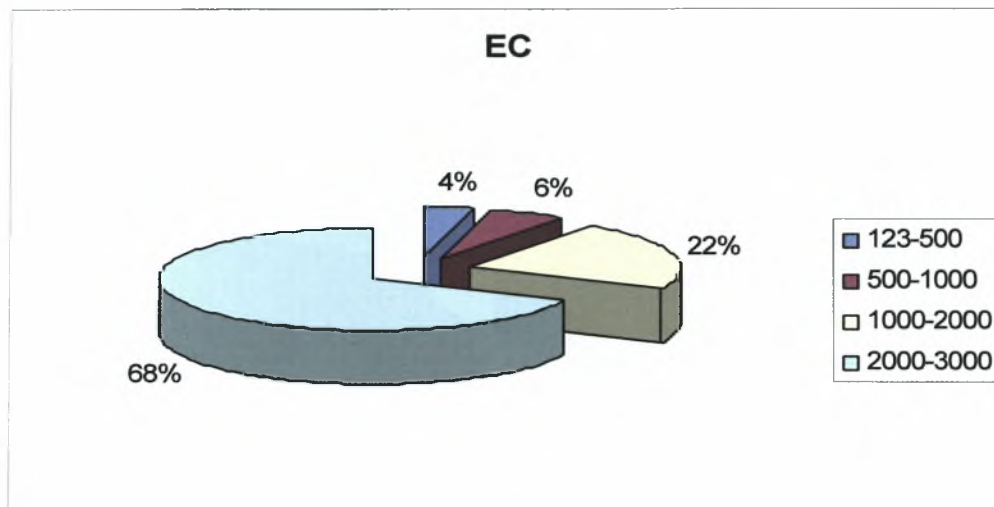
Παρατηρείται ότι το 60% των εδαφικών δειγμάτων περιέχει οργανική ουσία από 0,9% έως 1,9% και χαρακτηρίζεται ως χαμηλή, το 32% των εδαφικών δειγμάτων περιέχει οργανική ουσία από 1,9% έως 2,5% και χαρακτηρίζεται ως μέση και το 8% των εδαφικών δειγμάτων περιέχει οργανική ουσία από 2,5% έως 5% και χαρακτηρίζεται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

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



Διάγραμμα 5

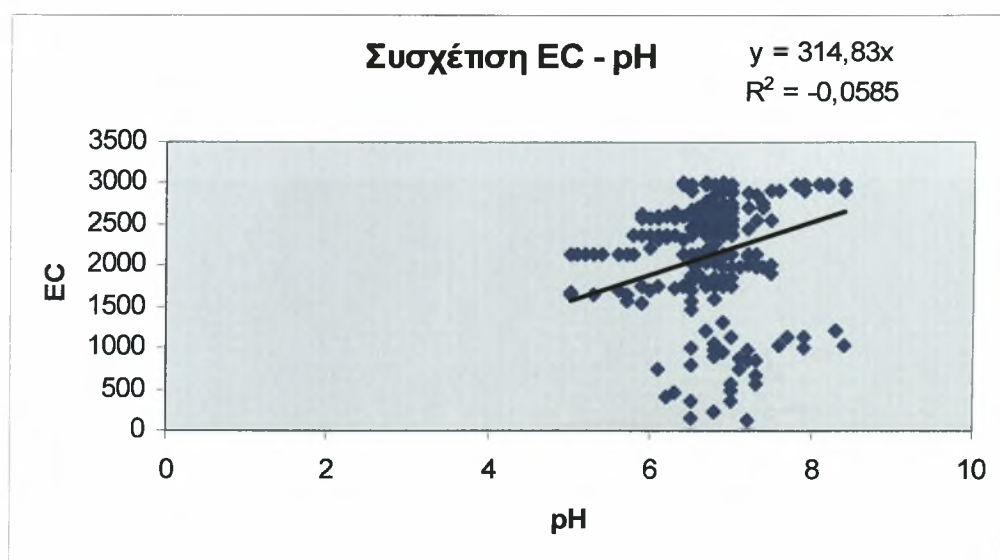
Στο διάγραμμα 6 που ακολουθεί παρουσιάζεται η ταξινόμηση των εδαφικών δειγμάτων με βάση το ποσοστό της ηλεκτρικής αγωγιμότητας.



Διάγραμμα 6

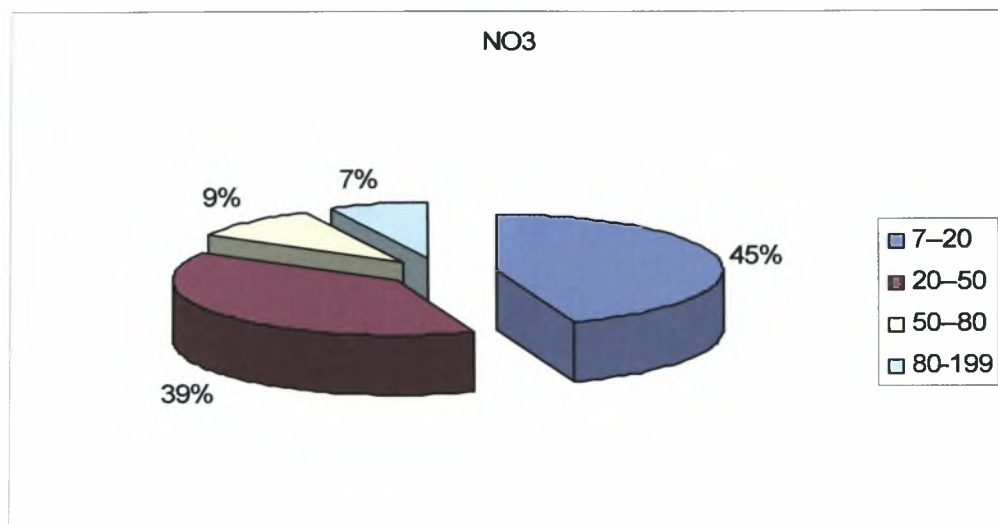
Παρατηρείται ότι το 68% των εδαφικών δειγμάτων έχει ηλεκτρική αγωγιμότητα από 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ έως 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, το 22% των εδαφικών δειγμάτων έχει ηλεκτρική αγωγιμότητα από 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ έως 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, το 6% των εδαφικών δειγμάτων έχει ηλεκτρική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

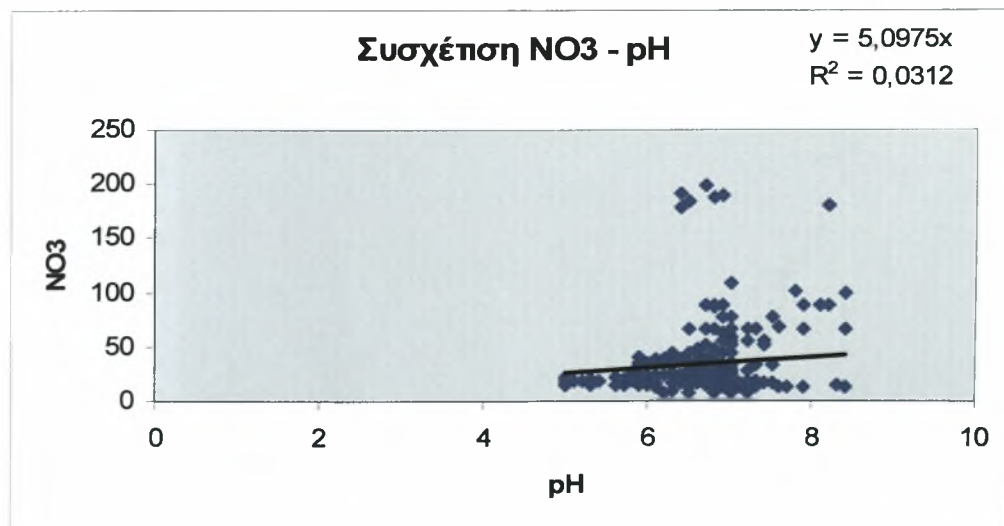
Στο διάγραμμα 8 που ακολουθεί παρουσιάζεται η ταξινόμηση των εδαφικών δειγμάτων με βάση την συγκέντρωση των NO₃



Διάγραμμα 8

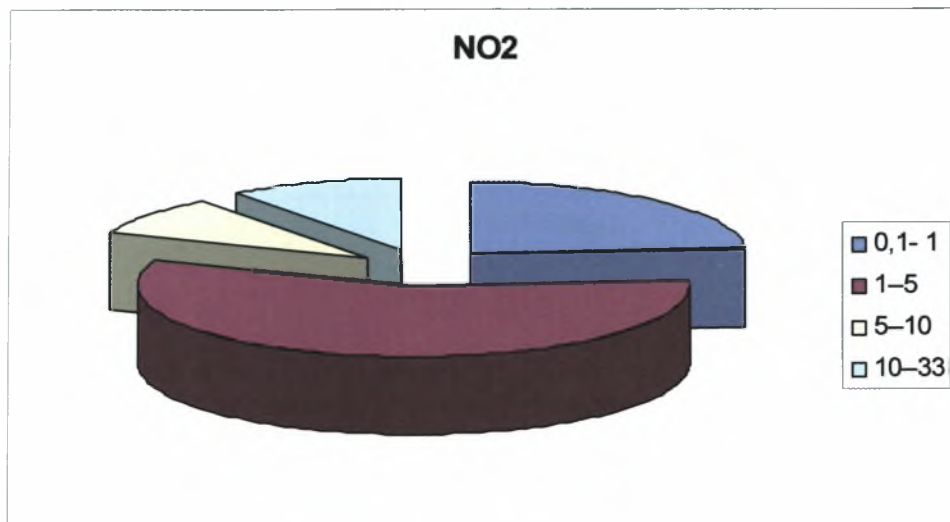
Παρατηρείται ότι το 45% των εδαφικών δειγμάτων περιέχει από 7 mg/gr ξηρού εδάφους έως 20 mg/gr ξηρού εδάφους, το 39% των εδαφικών δειγμάτων περιέχει από 20 mg/gr ξηρού εδάφους έως 50 mg/gr ξηρού εδάφους, το 9% των εδαφικών δειγμάτων περιέχει από 50 mg/gr ξηρού εδάφους έως 80 mg/gr ξηρού εδάφους και το 7% των εδαφικών δειγμάτων περιέχει από 80 mg/gr ξηρού εδάφους έως 199 mg/gr ξηρού εδάφους.

Στο διάγραμμα 9 που ακολουθεί παρατηρείται ότι δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ της συγκέντρωσης των NO₃ και του pH.



Διάγραμμα 9

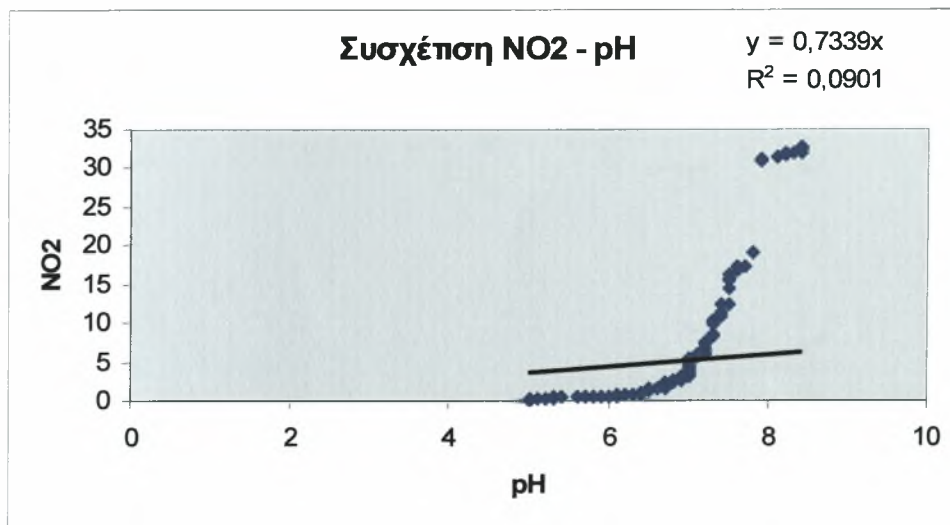
Στο διάγραμμα 10 που ακολουθεί παρουσιάζεται η ταξινόμηση των εδαφικών δειγμάτων με βάση την συγκέντρωση των NO_2 .



Διάγραμμα 10

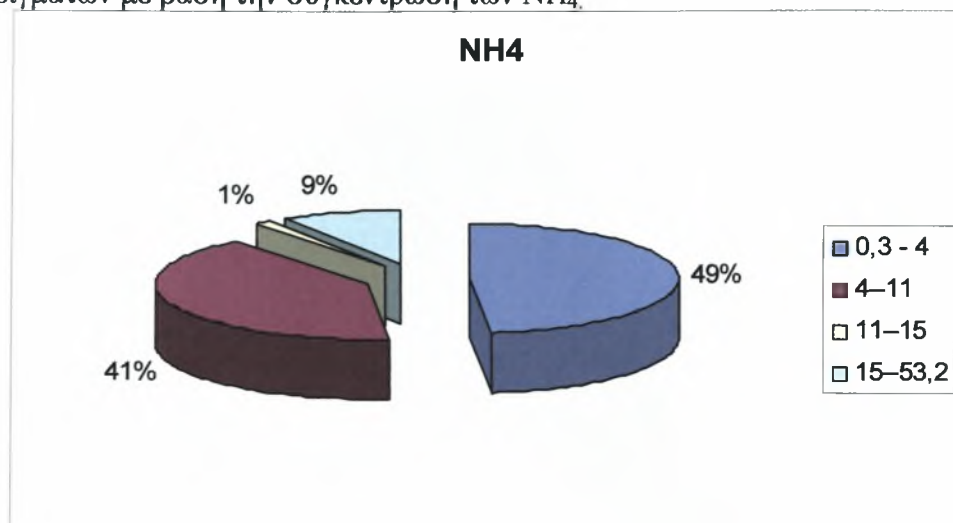
Παρατηρείται ότι το 56,84% των εδαφικών δειγμάτων περιέχει από 1 mg/gr ξηρού εδάφους έως 5 mg/gr ξηρού εδάφους, το 23,93% των εδαφικών δειγμάτων περιέχει από 0,1 mg/gr ξηρού εδάφους έως 1 mg/gr ξηρού εδάφους, το 10,26% των εδαφικών δειγμάτων περιέχει από 10 mg/gr ξηρού εδάφους έως 33 mg/gr ξηρού εδάφους και το 8,97% των εδαφικών δειγμάτων περιέχει από 5 mg/gr ξηρού εδάφους έως 10 mg/gr ξηρού εδάφους.

Στο διάγραμμα 11 που ακολουθεί παρατηρείται ότι δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ της συγκέντρωσης των NO_2 και του pH.



Διάγραμμα 11

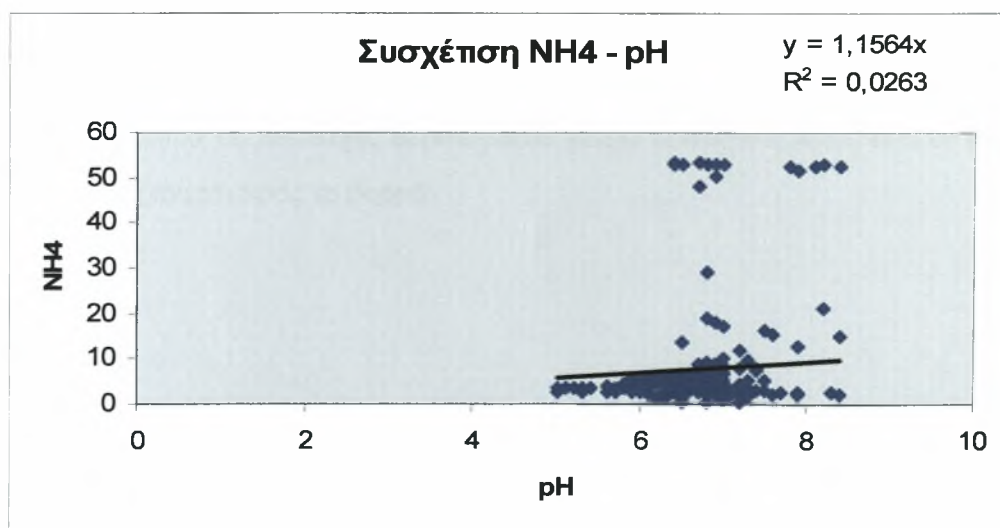
Στο διάγραμμα 12 που ακολουθεί παρουσιάζεται η ταξινόμηση των εδαφικών δειγμάτων με βάση την συγκέντρωση των NH_4 .



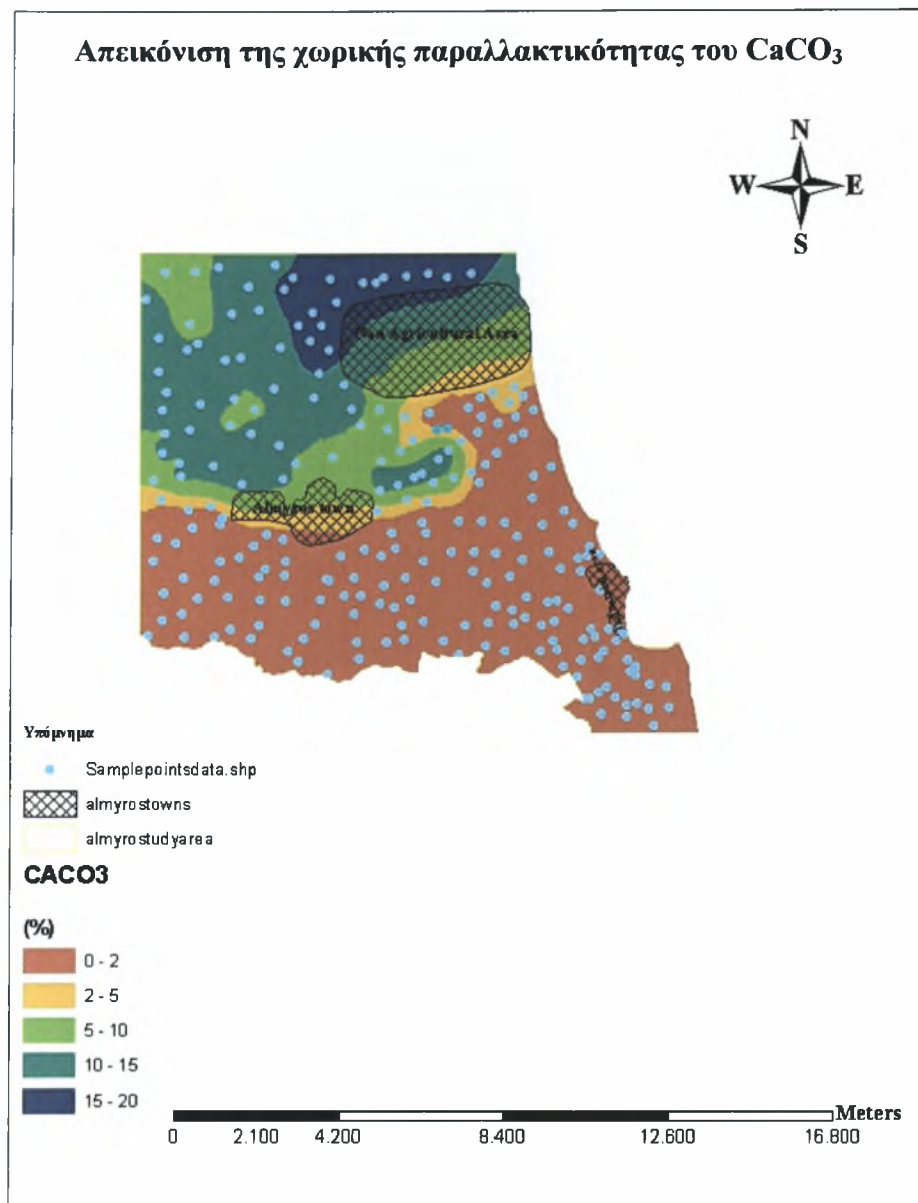
Διάγραμμα 12

Παρατηρείται ότι το 49% των εδαφικών δειγμάτων περιέχει από 0,3 mg/gr ξηρού εδάφους έως 4 mg/gr ξηρού εδάφους, το 41% των εδαφικών δειγμάτων περιέχει από 4 mg/gr ξηρού εδάφους έως 11 mg/gr ξηρού εδάφους, το 9% των εδαφικών δειγμάτων περιέχει από 15 mg/gr ξηρού εδάφους έως 53,2 mg/gr ξηρού εδάφους και το 1% των εδαφικών δειγμάτων περιέχει από 11 mg/gr ξηρού εδάφους έως 15 mg/gr ξηρού εδάφους,

Στο διάγραμμα 13 που ακολουθεί παρατηρείται ότι δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ της συγκέντρωσης των NH_4 και του pH.

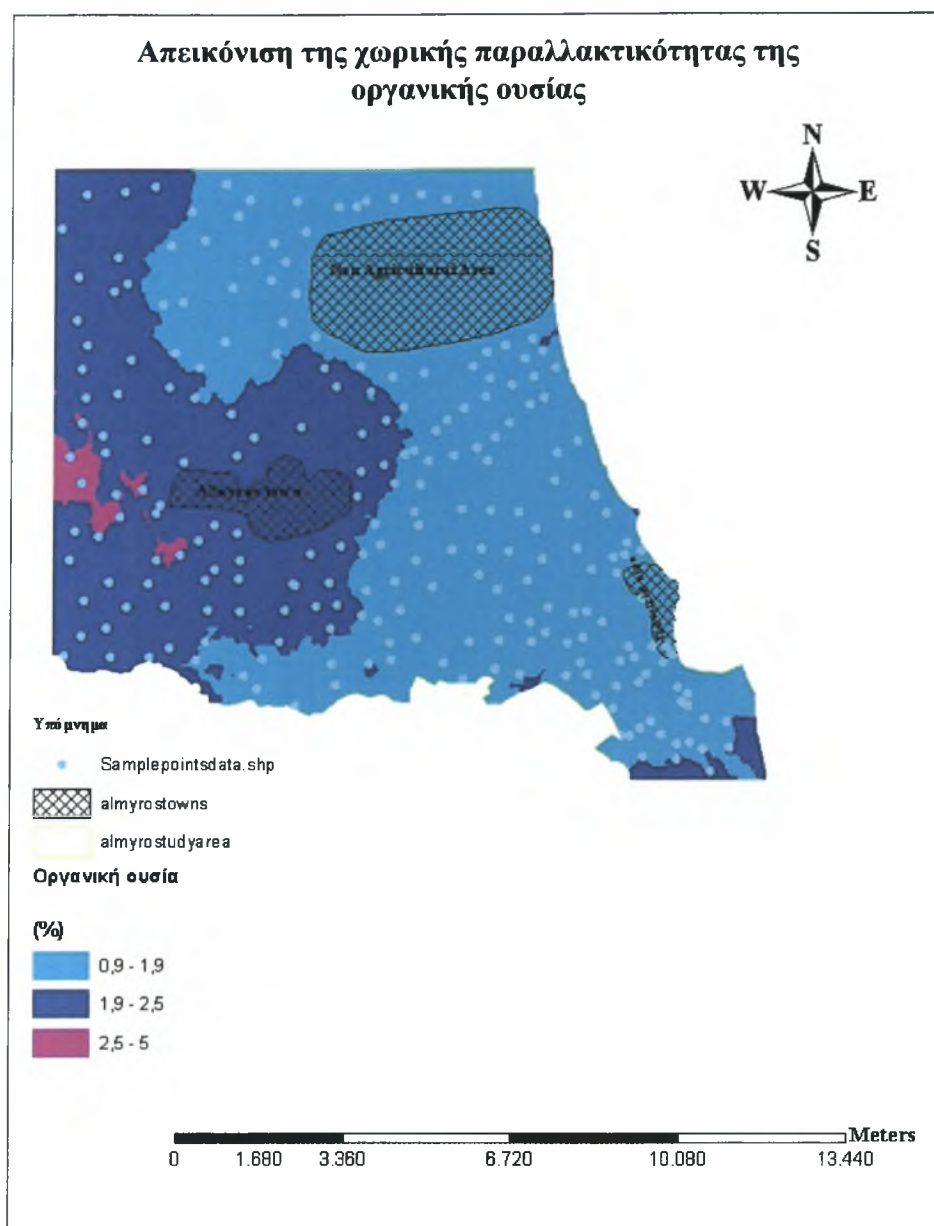


Διάγραμμα 13



Χάρτης 1: Απεικόνιση της χωρικής παραλλακτικότητας του CaCO_3

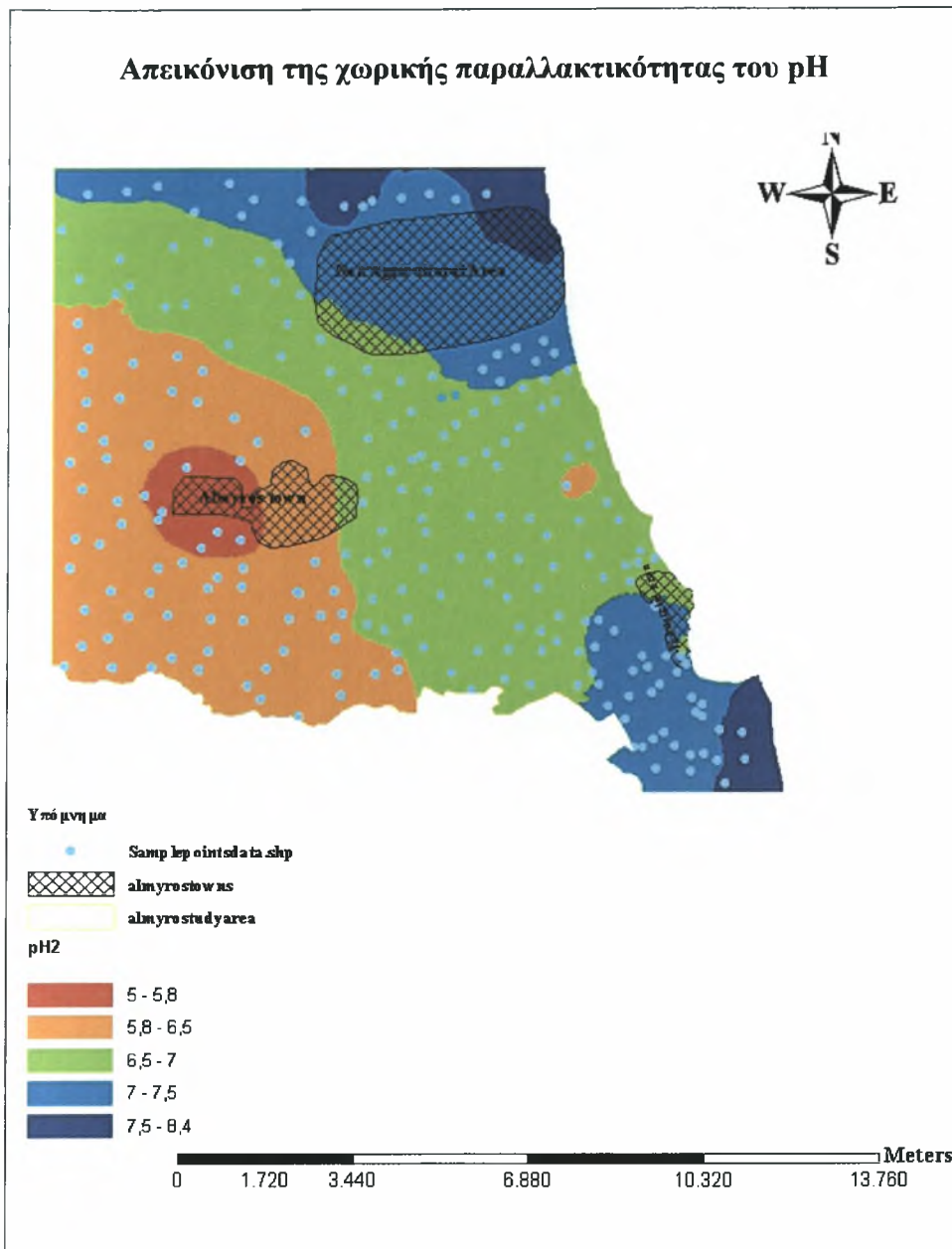
Στον χάρτη 1 απεικονίζεται η χωρική παραλλακτικότητα του ποσοστού του CaCO_3 . Στη νότια πλευρά της περιοχής παρατηρείται μικρό ποσοστό CaCO_3 ενώ το ποσοστό σταδιακά αυξάνεται προς το βορρά



Χάρτης 2: Απεικόνιση της χωρικής παραλλακτικότητας της οργανικής ουσίας

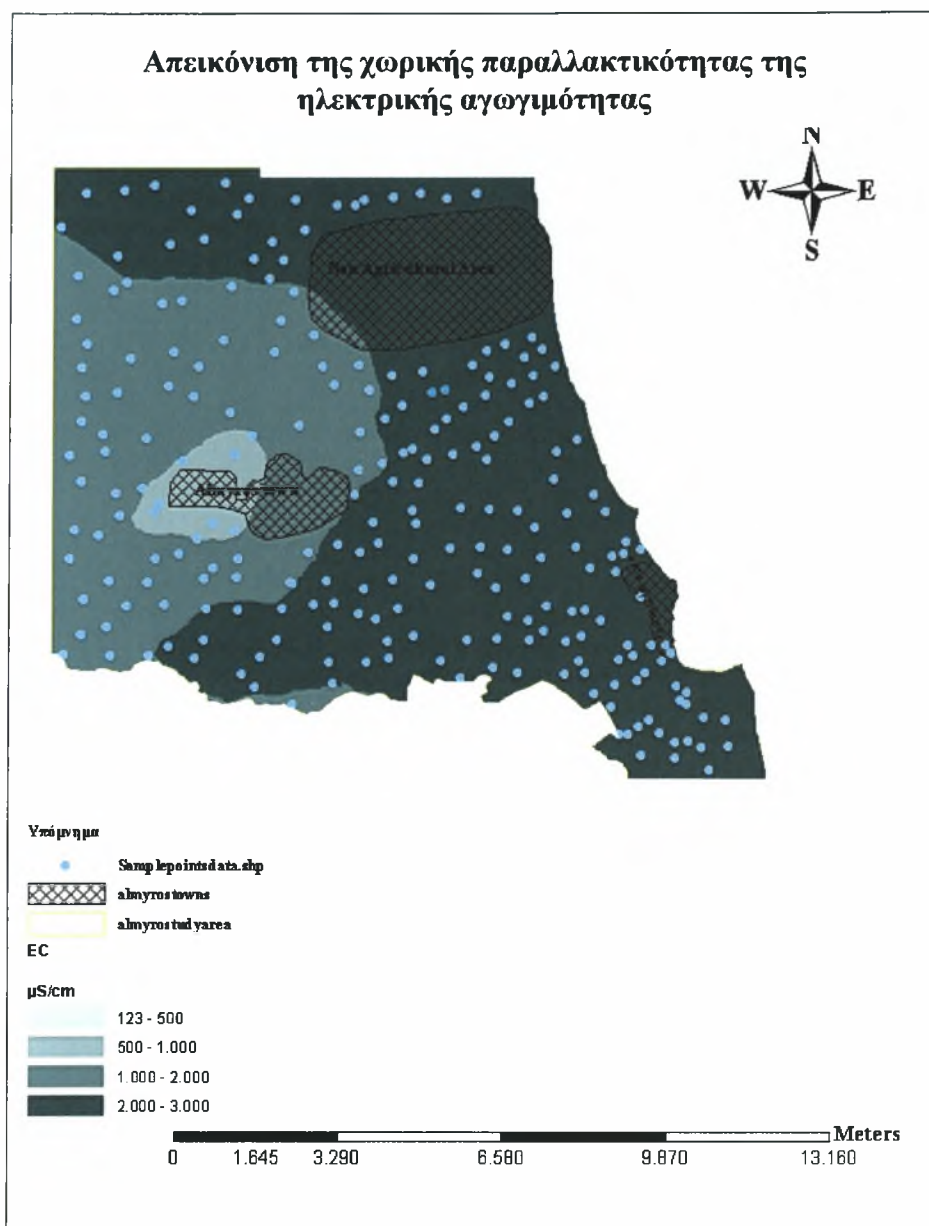
Στον χάρτη 2 απεικονίζεται η χωρική παραλλακτικότητα της οργανικής ουσίας. Βάσει αυτού παρατηρείται ένα μικρό ποσοστό αυξημένης οργανικής ουσίας στα δυτικά της περιοχής ενώ ανατολικά η οργανική ουσία βρίσκεται σε μικρό ποσοστό.

Απεικόνιση της χωρικής παραλλακτικότητας του pH



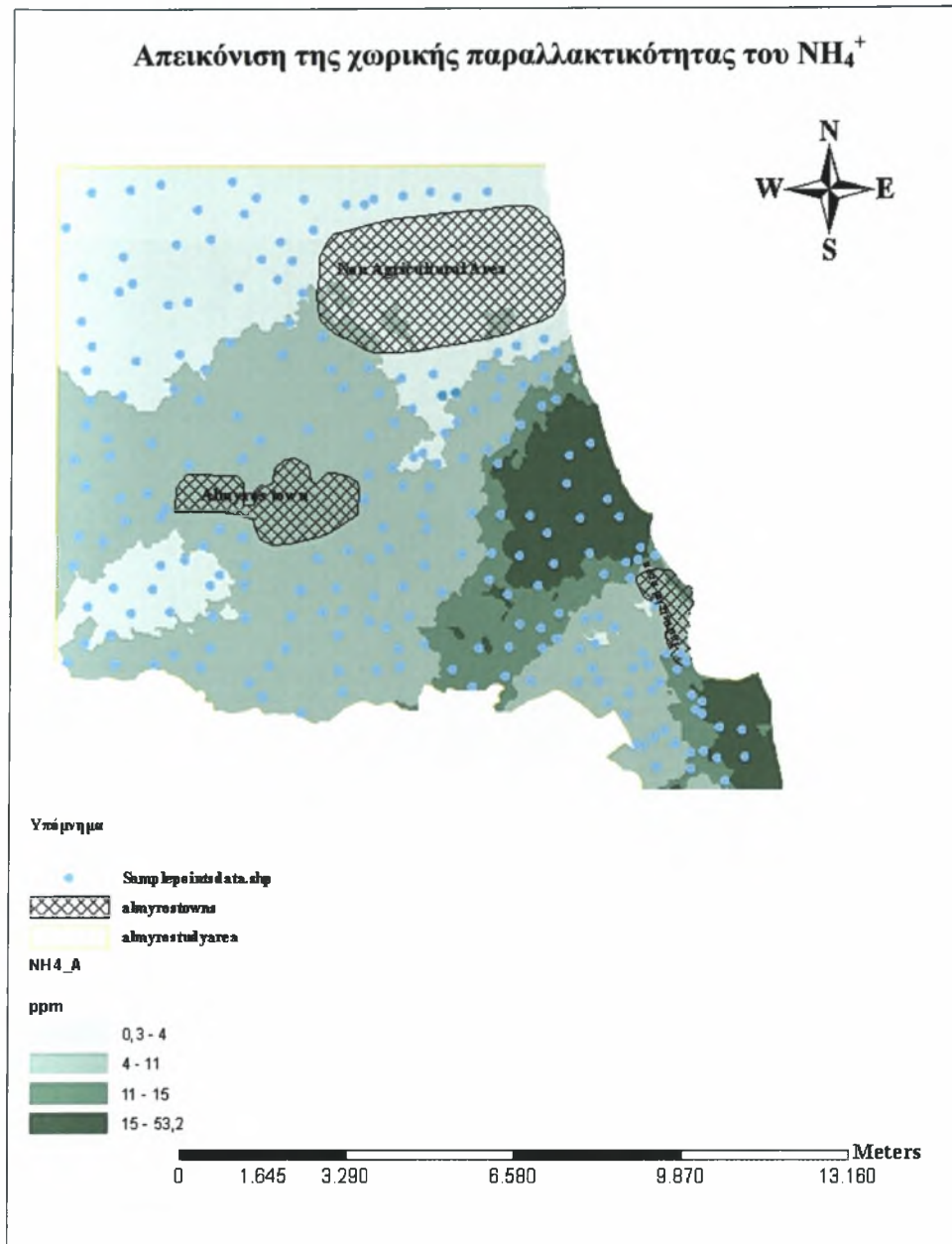
Χάρτης 3: Απεικόνιση της χωρικής παραλλακτικότητας του pH

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.



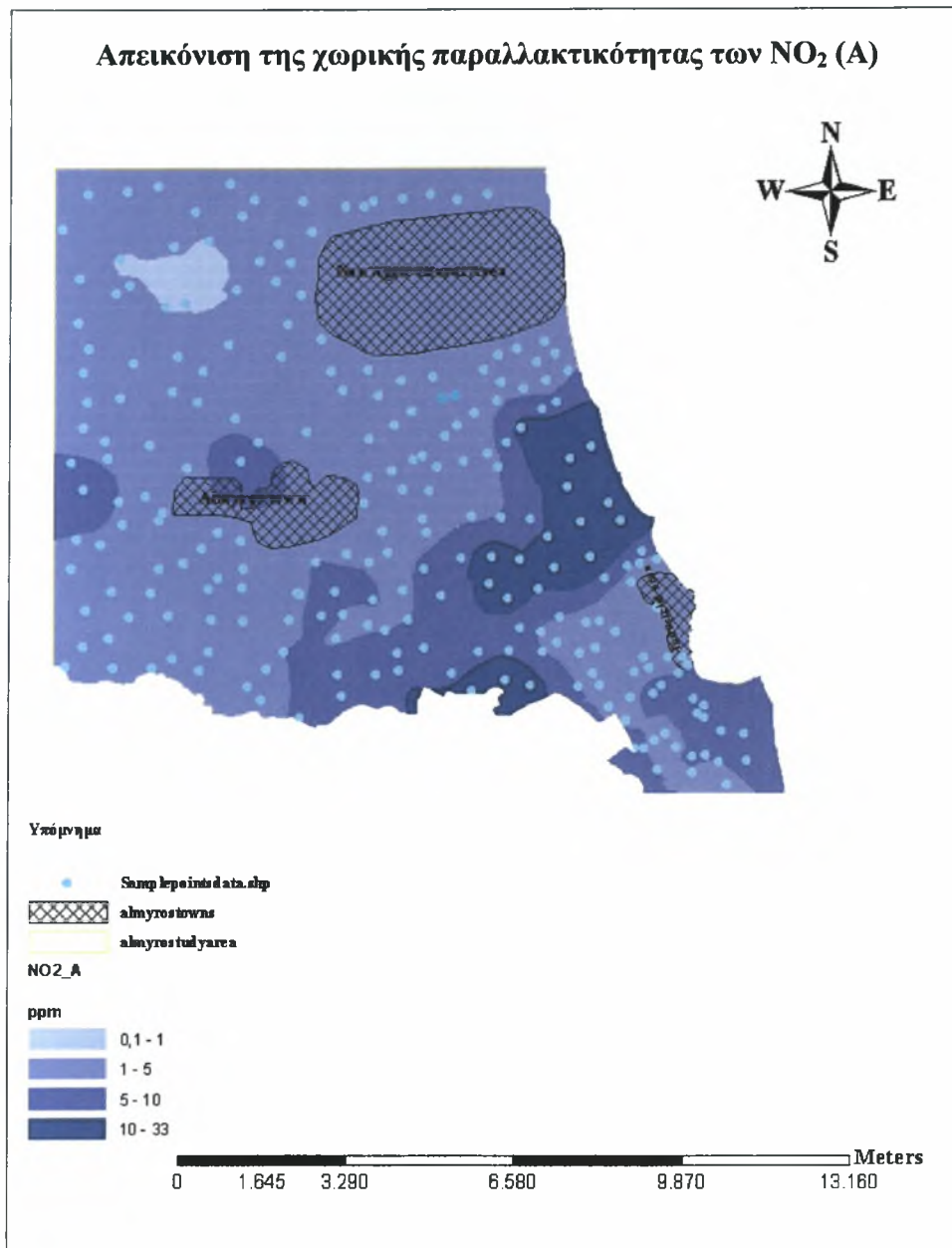
Χάρτης 4: Απεικόνιση της χωρικής παραλλακτικότητας της ηλεκτρικής αγωγιμότητας

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.



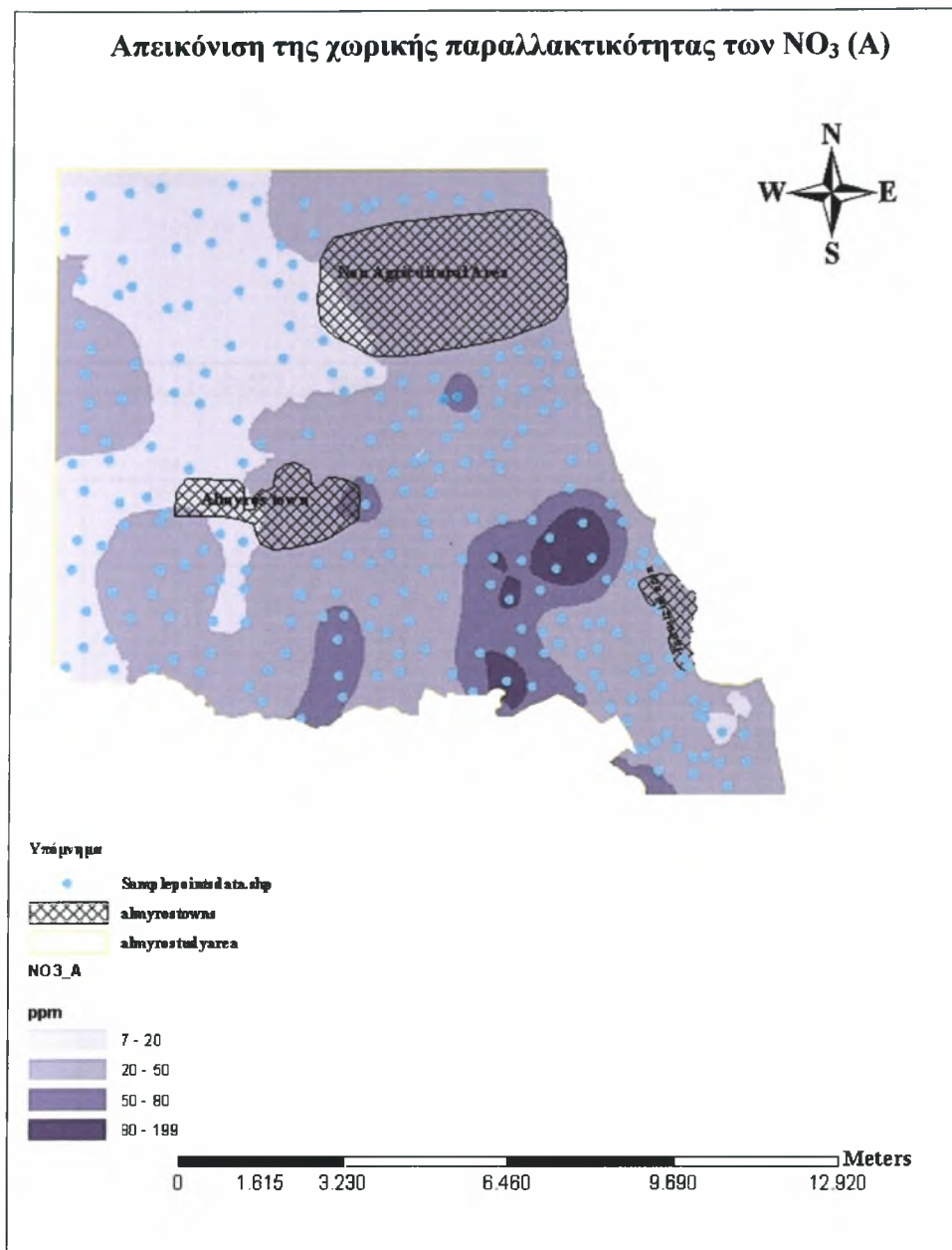
Χάρτης 5: Απεικόνιση της χωρικής παραλλακτικότητας του NH_4^+

Στον χάρτη 5 απεικονίζεται η χωρική παραλλακτικότητα του NH_4^+ . Βάσει αυτού παρατηρείται ότι σχεδόν σε όλη την περιοχή η ποσότητα NH_4^+ είναι μικρή εκτός από μια περιοχή στα δυτικά όπου η ποσότητα NH_4^+ είναι μεγάλη



Χάρτης 6: Απεικόνιση της χωρικής παραλλακτικότητας των NO₂

Στον χάρτη 6 απεικονίζεται η χωρική παραλλακτικότητα των NO₂. Βάσει αυτού παρατηρείται ότι σχεδόν σε όλη την περιοχή η ποσότητα NO₂ είναι μικρή εκτός από μια περιοχή στα δυτικά όπου η ποσότητα NO₂ είναι μεγάλη



Χάρτης 7: Απεικόνιση της χωρικής παραλλακτικότητας των NO₃

Στον χάρτη 7 απεικονίζεται η χωρική παραλλακτικότητα των NO₃. Βάσει αυτού παρατηρείται ότι σχεδόν σε όλη την περιοχή η ποσότητα NO₃ είναι μικρή εκτός από μια περιοχή στα δυτικά όπου η ποσότητα NO₃ είναι μεγάλη

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 Παραγωγικού 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.

Σε όλη την περιοχή μελέτης οι ποσότητες των αμμωνιακών ιόντων είναι μικρές εκτός από ένα τμήμα στα δυτικά όπου οι ποσότητες είναι μεγάλες.

Μεγάλες ποσότητες νιτρωδών ιόντων παρατηρούνται σε ένα μικρό τμήμα στα δυτικά της περιοχής μελέτης, ενώ στο υπόλοιπο τμήμα οι ποσότητες είναι μικρές.

Παρατηρείται ότι σχεδόν σε όλη την περιοχή μελέτης οι ποσότητες νιτρικών ιόντων είναι μικρές εκτός από ένα τμήμα στα δυτικά όπου οι ποσότητες είναι μεγάλες.

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.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

John, M.K., H.H. Chuah and J.H. Neufend, 1975. Application of improved azomethine-H method to the determination of boron in soils and plants. *Anal. Lett.* 8. pp. 559-568.

Johnston Kevin, Ver Hoef M. Jay, Krivoruchko Konstantin, Lucas Neil, (2001). Using ArcGIS Geostatistical Analyst, GIS by ESRI.

Juergens – Gschwind S., 1989. Ground water nitrates in other developed countries (Europe) – Relationships to land use patterns. pp 75 – 138 in: Follet., RF. (ed). Nitrogen Management and Ground Water Protection. Developments in Agricultural and Management – Forest Ecology 21. Elsevier, Amsterdam – Oxford – New York – Tokyo.

Θεοχαρόπουλος, Σ. Π., Παπαδόπουλος, Ν., και Παπαδήμος, Γ., 1992. Διαχείριση Βάσης Εδαφολογικών Δεδομένων (SOILDB). *Γεωργική Έρευνα* 16: 1-12.

Kamparth, E.J. and Watson, M.E., 1980. The Role of Phosphorus in Agriculture, Chapter 16. ASA-CSSA-SSSA, USA.

Keren, R., F.T. Bingham and J.D. Rhoades, 1985. Plant uptake of boron as affected by boron distribution between liquid and solid phases in soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49. pp. 297–302.

Keren, R. and G.A. O'Conner, 1982. Effect of exchangeable ions and ionic strength on boron adsorption by montmorillonite and illite. *Clays Clay Miner* (30). pp. 341–346.

Keren, R. and D.L. Sparks, 1994. Effect of pH and ionic strength on boron adsorption by pyrophyllite. *Soil Sci. Soc. Am. J.* (58). pp. 1095–1100.

Khiari, L., L. E. Parent, A. Pellerin, A. R. A. Alimi, C. Tremblay, R. R. Simard and J. Fortin, 2000. An agr-environmental phosphorus saturation index for acid coarse-textured soils. *J. Environ. Qual.* 29. pp. 1561-1567.

Κόλλια – Κουσούρη Β. Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα – Σημειώσεις Διδασκαλίας, Αθήνα, 2004.

Larsen, S. 1967. Isoionic exchange of phosphate in paddy soils. *Plant and Soil* 25, 401-407.

Larsen, S., Gunary D., Sutton, C.D., 1965. The rate of immobilization of applied phosphate in relation to soil properties. *J. Soil Sci.* 16: 142-148.

Larsen, S., Parton, D.J., Svensson, Inga-Lisa, 1963. Reaction between monocalcium phosphate and calcium carbonate. *Nature* 197:317, In F.E. Khasawneh et al. (ed.) *The Role of Phosphorus in Agriculture*, ASA-CSSA-SSSA, USA.

Lindsay, W.L., Frazier, A.W., Stephenson, H.F., 1962. Identification of reaction products from phosphate fertilizers in soils. *Soil Sc. Soc. Am. Proc.* 26: 446-452. In

F.E. Khasawneh et al. (ed.) The Role of Phosphorus in Agriculture, ASA-CSSA-SSSA, USA.

MAFF., 1988. *Fertilizer Recommendations*. Reference Book 209. HMSO, London.

Maguire, R. O., J. T. Sims and F. J. Coale, 2000. Phosphorus solubility in biosolids-amended farm soils in the Mid-Atlantic region of the USA. *J. Environ. Qual.* 29. pp. 1225-1233.

Maguire, R. O., J. T. Sims, S. K. Dentel, F. J. Coale and J. T. Mah, 2001. Relationships between biosolids treatment process and soil phosphorus availability. *J. Environ. Qual.* 30. pp. 1023-1033.

Mc Lean E.O. 1982. Soil pH and lime requirements. pp 199 – 224. In *Methods of soil analysis*. Eds. Al Page et al., Part 2. 2nd edition. Agronomy. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.

Μέρμηγκας Ε. Δημήτριος, (2003). Απεικόνιση της χωρικής παραλλακτικότητας και εκτίμηση του βαθμού ρύπανσης των εδαφών της περιοχής Ελασσόνας από νιτρικά ιόντα.

Methods of Soil Analysis , 1994.

Μήτσιος Κ. Ιωάννης, (2004). ‘Γονιμότητα Εδαφών, Θρεπτικά στοιχεία φυτών (μακροθρεπτικά, μικροθρεπτικά) και Βαρέα Μέταλλα – Μέθοδοι και εφαρμογές’. Βόλος 2004

Μήτσιος Κ. Ιωάννης, (2000). Εδαφολογική μελέτη και εδαφολογικός χάρτης του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στην περιοχή του Βελεστίνου. Αθήνα 2000.

Μήτσιος Κ. Ιωάννης, (1999). Εδαφολογία 2^η Έκδοση.

Μήτσιος Ι. Κ., Π. Κουκουλάκης, Χ. Πασχαλίδης, Ε. Γκατζογιάννη, Ι. Μπριασούλη, Αρ. Παπαδόπουλος και Α. Γκέρτσης, 1996. Ισοζύγιο αζώτου σε καλλιέργεια καλαμποκιού. 6^ο Πανελλήνιο Εδαφολογικό Συνέδριο, Ναύπλιο, 29/5 – 1/6/1996. Πρακτικά Τόμου Β, 552 – 563.

Μήτσιος, Ι.Κ., (1994). Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση λιπασμάτων στις καλλιέργειες. Πανεπιστημιακή έκδοση, Βόλος.

Μήτσιος, Ι.Κ., 1996. Αλατούχα και Αλκαλιωμένα (με Νάτριο) Εδάφη. Ποιοτική Κατάταξη των νερών Άρδευσης. Αθήνα.

Μήτσιος, Ι.Κ., 1999. Εδαφολογία, Εκδόσεις Zymel

Μήτσιος, Ι.Κ., 2000. Σύγχρονες τάσεις της εδαφολογικής επιστήμης. Ποιότητα εδάφους, GIS, τηλεπισκόπηση, διαχείριση εδαφικών πόρων. Πρακτικά ημερίδας Εδαφολογικοί χάρτες του Ν. Λάρισας. Λάρισα.

