



ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ  
& ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Αριθμ. Πρωτοκ. 8-10-2009

Πτυχιακή

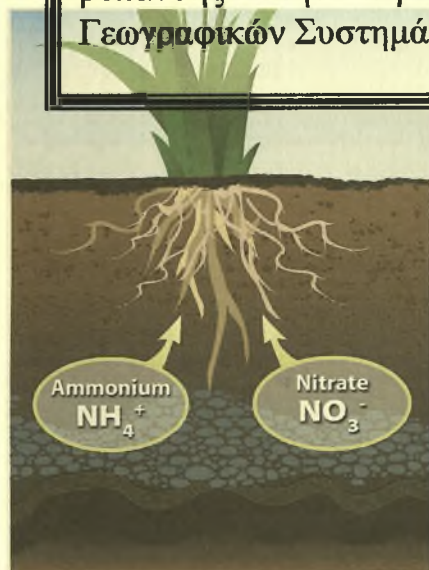
**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ**  
**ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**  
**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**



<< Σύγκριση μεθόδων προσδιορισμού νιτρικών, νιτραδίων και αμμωνιακών ιόντων καθώς και ολικού αζώτου του εδάφους. Απεικόνιση της νιτρορύπανσης στην περιοχή του Αλμυρού Ν. Μαγνησίας, με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. >>



**Βεράνη Στυλιανή**

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

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ : ΒΕΡΑΝΗ ΣΤΥΛΙΑΝΗ**

**«Σύγκριση μεθόδων προσδιορισμού νιτρικών, νιτρωδών και αμμωνιακών ιόντων καθώς και ολικού αζώτου του εδάφους. Απεικόνιση της νιτρο-ρύπανσης στην περιοχή του Αλμυρού Ν. Μαγνησίας, με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών»**

**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**



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

Αριθ. Εισ.: 7899/1  
Ημερ. Εισ.: 09-12-2009  
Δωρεά: Συγγραφέας  
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ - ΦΠΑΠ  
2009  
ΒΕΡ

## 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, Διδάσκοντα 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 , καθώς και για τις σημαντικές διορθώσεις και επισημάνσεις που ήταν απαραίτητες για την ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής.

Τέλος, θα ήθελα 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 εδαφικά δείγματα που παρελήφθησαν από την ευρύτερη περιοχή του Αλμυρού του Νομού Μαγνησίας έγινε προσδιορισμός του pH, της οργανικής ουσίας, της μηχανικής σύστασης, της συγκέντρωσης νιτρικών, νιτρωδών, αμμωνιακών ιόντων καθώς και ολικού αζώτου.

Από τη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων που συνελέγησαν προέκυψε ότι δεν υπάρχουν υψηλές τιμές συγκεντρώσεων νιτρικών, νιτρωδών, αμμωνιακών ιόντων ούτε ιδιαίτερα ανησυχητικές τιμές ολικού αζώτου, πράγμα που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι στην περιοχή μελέτης έχει γίνει συνείδηση στους παραγωγούς η μη αλόγιστη χρήση αζωτούχων λιπασμάτων.

Από τη σύγκριση του αθροίσματος των συγκεντρώσεων των νιτρικών, νιτρωδών και αμμωνιακών ιόντων με τη συγκέντρωση του ολικού αζώτου προέκυψε υψηλή συσχέτιση σε όλες τις περιπτώσεις, καθώς παρατηρήθηκαν υψηλοί συντελεστές συχέτισης.

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, νιτρωδών, αμμωνιακών ιόντων και ολικού αζώτου στην περιοχή μελέτης. Δημιουργήθηκαν θεματικοί χάρτες για κάθε ένα από τα στοιχεία που μετρήθηκαν και απεικονίστηκε η νιτρο ρύπανση σε όλη την έκταση της περιοχής μελέτης. Ιδιαίτερα υψηλές τιμές τόσο των νιτρωδών όσο και των νιτρικών ιόντων παρουσιάστηκαν σε περιοχές όπου οι καλλιέργειες απαιτούσαν τη χρήση αυξημένων ποσοτήτων αζωτούχων λιπασμάτων.

Οι χάρτες που κατασκευάστηκαν αναμένεται να αποτελέσουν έναν πολύτιμο οδηγό για περαιτέρω έρευνα στην περιοχή μελέτης.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

|  |          |
|--|----------|
| ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....   | 3        |
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....  | 4        |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1- Το άζωτο του εδάφους.....</b>   | <b>7</b> |
| 1.1 Ο κύκλος του αζώτου .....  | 7        |
| 1.2 Μη βιολογική δέσμευση του αζώτου .....   | 9        |
| 1.3 Βιολογική δέσμευση του αζώτου .....  | 9        |
| 1.4 Βελτίωση της αποτελεσματικότητας της αζωτοδέσμευσης.....   | 12       |
| 1.5 Η δυναμική του αζώτου στο έδαφος .....   | 12       |
| 1.6 Συμπεριφορά των αμμωνιακών ιόντων στο έδαφος-δέσμευση των αμμωνιακών<br>ιόντων από τη στερεή φάση του εδάφους..... | 16       |
| 1.7 Απώλειες αζώτου - Εκκλυση νιτρικών στα εδάφη .....   | 17       |
| 1.8 Αναστολείς Νιτροποίησης .....  | 22       |
| 1.9 Οι απαιτήσεις των φυτών σε άζωτο.....  | 23       |
| 1.10 Εκτίμηση της διαθεσιμότητας του αζώτου του εδάφους.....   | 24       |
| 1.11 Ανόργανες μορφές αζώτου.....  | 26       |
| 1.12 Δυναμικό ανοργανοποίησης του αζώτου του εδάφους.....  | 26       |
| 1.13 Νιτρορύπανση και Ευτροφισμός.....   | 27       |
| 1.14 Εισροές και εκροές αζώτου στο έδαφος - Οι δυσμενείς επιπτώσεις του αζώτου<br>στο περιβάλλον .....                 | 27       |
| 1.15 Δυσμενείς επιδράσεις των νιτρικών στην υγεία του ανθρώπου.....  | 32       |
| 1.16 Ανάλυση του εδάφους για την εκτίμηση της περιεκτικότητάς του σε διαθέσιμα<br>θρεπτικά στοιχεία .....              | 33       |
| 1.17 Προϋποθέσεις και στόχοι της εδαφικής ανάλυσης.....  | 34       |
| 1.18 Προγράμματα ανάλυσης του εδάφους.....   | 35       |
| 1.19 Συσχέτιση και βαθμονόμηση .....   | 40       |
| 1.20 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.) .....   | 42       |
| 1.21 Ορισμός του Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών.....   | 44       |
| 1.22 Αναφορά σε πρότυπα διαχείρισεως βάσεων δεδομένων, ArcGIS .....  | 46       |
| 1.23 Μεθοδολογία σχεδιασμού βάσεως δεδομένων .....   | 46       |

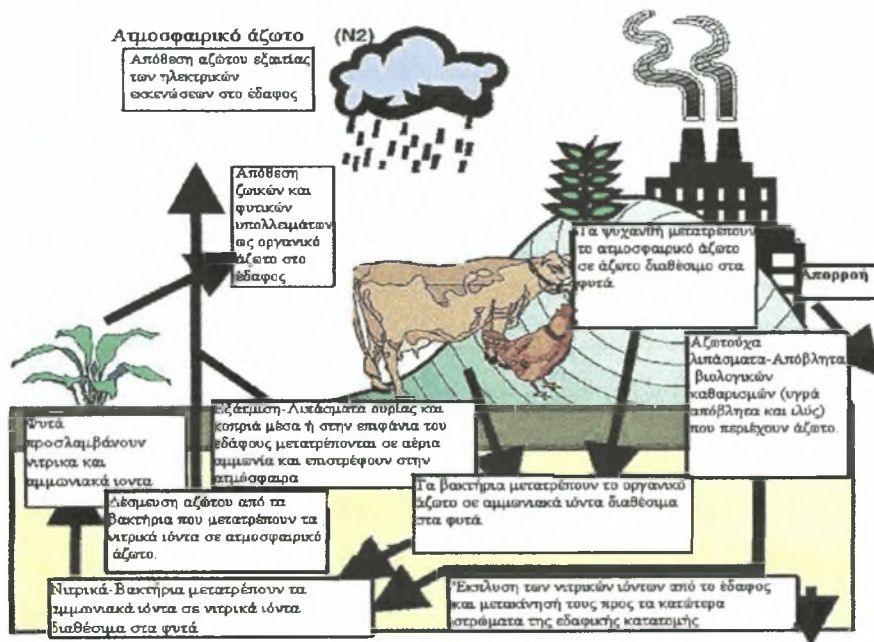


|  |            |
|--|------------|
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - Δειγματοληψία και εργαστηριακές αναλύσεις.....</b>   | <b>48</b>  |
| 2.1 Δειγματοληψία .....  | 48         |
| 2.2 Εργαστηριακές αναλύσεις των εδαφικών δειγμάτων .....   | 50         |
| 2.2.1 Προσδιορισμός του pH .....   | 50         |
| 2.2.2 Προσδιορισμός της οργανικής ουσίας.....  | 50         |
| 2.2.3 Προσδιορισμός της μηχανικής σύστασης του εδάφους.....  | 52         |
| 2.2.4 Προσδιορισμός της συγκέντρωσης των νιτρικών και νιτρωδών ιόντων .....  | 54         |
| 2.2.5 Προσδιορισμός των Νιτρικών και Νιτρωδών Ιόντων σε εδαφικά δείγματα με τη μέθοδο της Ιοντικής Χρωματογραφίας..... | 57         |
| 2.2.6 Προσδιορισμός του ολικού αζώτου στο έδαφος με την μέθοδο Kjeldahl. ....  | 59         |
| 2.3 Στατιστική Επεξεργασία Αποτελεσμάτων .....   | 62         |
| 2.4 Εφαρμογή της τηλεπισκόπησης .....  | 62         |
| 2.5 Ψηφιακοί θεματικοί χάρτες.....   | 63         |
| 2.6 Προσδιορισμός λαθών από την ψηφιοποίηση .....  | 64         |
| 2.7 Σύστημα προβολής χαρτών.....   | 65         |
| 2.8 Εφαρμογή του ArcGIS 9.1 Desktop .....  | 65         |
| 2.9 ArcGIS Geostatistical Analyst .....  | 66         |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - Αποτελέσματα – Συζήτηση .....</b>  | <b>69</b>  |
| 3.1 Αποτελέσματα αναλύσεων των εδαφικών δειγμάτων.....   | 69         |
| 3.2 Σύγκριση μεθόδων.....  | 99         |
| 3.3 Χάρτες .....   | 101        |
| <b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>   | <b>108</b> |
| <b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....</b>  | <b>111</b> |
| <b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>  | <b>118</b> |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1- Το άζωτο του εδάφους

### 1.1 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 1.1 Ο κύκλος του αζώτου.

Εκτιμάται ότι  $25 \times 10^6$  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  $3 \times 10^6$  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 ( $10 \times 10^6$  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 αφού 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.

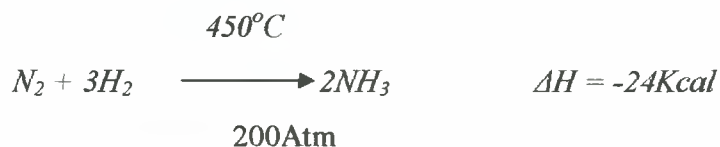
*Πίνακας 1.1 Η βιολογική δέσμευση του αζώτου παγκοσμίως*

| Βιολογική δέσμευση $N_2$               | $10^9$ έτος <sup>-1</sup> |
|--|---------------------------|
| α) Στη ξηρά                            |                           |
| Ψυχανθή                                | 35                        |
| Μη ψυχανθή                             | 5                         |
| Ορυζώνες                               | 5                         |
| Λιβάδια κλπ.                           | 45                        |
| <b>ΣΥΝΟΛΟ</b>                          | <b>90</b>                 |
| β) Στο νερό                            | 30                        |
| γ) Αστραίες                            | 7                         |
| δ) Βιομηχανική δέσμευση $N_2$          | 40                        |
| ε) Λοιπά                               | 28                        |
| <b>ΟΛΙΚΗ ΔΕΣΜΕΥΣΗ <math>N_2</math></b> | <b>195</b>                |
| Απονιτροποίηση                         |                           |
| α) Στη ξηρά                            | 120                       |
| β) Στο νερό                            | 40                        |
| <b>ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΠΟΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ</b>         | <b>160</b>                |

## 1.2 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 ( $N \equiv N$ ). Το αζώτο 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  $N_2$  και του  $H_2$  σε υψηλή θερμοκρασία και πίεση για σχηματισμό  $NH_3$ . Στη συνέχεια η αμμωνία οξειδώνεται σε  $HNO_3$ . Η αντίδραση Haber χρησιμοποιείται σήμερα για τη δέσμευση του αζώτου στις βιομηχανίες των αζωτούχων λιπασμάτων. Το ατμοσφαιρικό  $N_2$  ενώνεται με  $H_2$  σε υψηλή θερμοκρασία και πίεση με παρουσία σιδήρου ως καταλύτη.



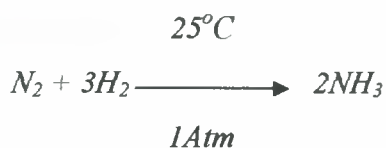
Ένας δεύτερος τρόπος με τον οποίο το ατμοσφαιρικό αζώτο μπορεί να δεσμευτεί είναι διαμέσου των ηλεκτρικών εκκενώσεων που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια καταιγίδων. Κατά τη διάρκεια των ηλεκτρικών εκκενώσεων σχηματίζονται οξείδια αζώτου που στη συνέχεια ενυδατώνονται με υδρατμούς και πέφτουν στο έδαφος ως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



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

## 1.3 Βιολογική δέσμευση του αζώτου

Σε αντίθεση με τη χημική δέσμευση του αζώτου η βιολογική δέσμευση, όπως αναφέρει και ο Μήτσιος Ι. λαμβάνει χώρα σε  $25^\circ\text{C}$  και  $1\text{ Atm}$  πίεση, σύμφωνα με την αντίδραση:



Η βιολογική δέσμευση του αζώτου πραγματοποιείται είτε με μη συμβιωτικούς μικροοργανισμούς που ζουν ελεύθερα ή με ορισμένα βακτήρια, που συμβιών 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 αζωτο. Πολλά κυανοβακτήρια δεσμεύουν ατμοσφαιρικό αζωτο, ζώντας ελεύθερα στην επιφάνεια υδάτων. Σε πολλές περιπτώσεις τα κυανοπράσινα φύκη είναι πρόβλημα γιατί το οργανικό αζωτο 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 αζωτο. Εδώ υπάγονται είδη του γένους ***Clostridium*** που είναι **αναερόβια**. Επίσης είδη του γένους *Klebsiella* αναπτύσσονται με ή χωρίς O<sub>2</sub> 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 αζωτο 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 άζωτούχες 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 συμβιών 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 horticola*, *Mycobacterium rubiacearum*, *Klebsiella rubiacearum* και *Chromobacterium lindum*.

## 1.4 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.

## 1.5 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.

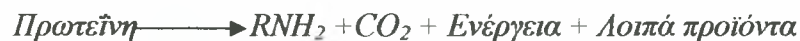
Αν  $C/N = 20-30$ , τότε το άζωτο ούτε ακινητοποιείται ούτε απελευθερώνεται.

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  $\text{NH}_3$  από το αμινικό άζωτο, με ετερότροφους μικροοργανισμούς ως εξής:



Στη συνέχεια η αμμωνιακή μορφή του αζώτου νιτροποιείται, δηλαδή μετατρέπεται σε  $\text{NO}_3$  και  $\text{NO}_2$ , που απορροφούνται από τα φυτά ή δεσμεύονται από τα ορυκτά της αργίλου.

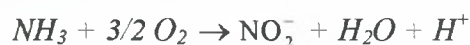
Η αμμωνιοποίηση προχωρεί με ταχείς ρυθμούς σε θερμοκρασία 50-70 °C.

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  $\text{NO}_2^-$ , οι κύριες πηγές αζώτου σε κανονικές συνθήκες είναι τα ιόντα  $\text{NH}_4^+$  και  $\text{NO}_3^-$ .

γ) *Νιτροποίηση*. Παρά το γεγονός ότι το αμμωνιακό ιόν ( $\text{NH}_4^+$ ) 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  $\text{NH}_3$  γίνεται με δυο ομάδες βακτηρίων που καλούνται νιτροποιητικά. Η πρώτη ομάδα, η *Nitrosomonas* μετατρέπει την  $\text{NH}_3$  σε  $\text{NO}_2^-$  με τη βοήθεια του  $\text{O}_2$ .



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

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  $\text{CO}_2$ . Η μετατροπή του  $\text{CO}_2$  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  $\text{CO}_2$  προκύπτει από την οξείδωση της  $\text{NH}_3$  και  $\text{NO}_2^-$ . Επειδή οι μικροοργανισμοί αυτοί αποκτούν την ενέργειά τους με την οξείδωση απλών οργανικών ενώσεων, για το λόγο αυτό καλούνται *χημειοαυτότροφοι οργανισμοί*. Ελάχιστα είναι γνωστά για τα ενδιάμεσα προϊόντα της οξείδωσης της  $\text{NH}_3$  σε  $\text{NO}_2^-$  με τη *Nitrosomonas*.

Η νιτροποίηση απαιτεί μοριακό  $\text{O}_2$  (καλά αεριζόμενα εδάφη). Επίσης κατά τη νιτροποίηση απελευθερώνεται  $\text{H}^+$  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°C παρατηρείται πλήρης νιτροποίηση εντός 9 εβδομάδων. Η νιτροποίηση αναστέλλεται σε θερμοκρασία 45°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<sub>4</sub> 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°C ενώ η αμμωνιοποίηση έχει ταχύτερους ρυθμούς σε θερμοκρασία 50-70°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  $\text{NO}_3^-$ . 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 ( $\text{NO}_3^-$ ) 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.

## 1.6 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  $\text{NO}_3^-$  και όχι  $\text{NH}_4^+$  ιόντων. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο ότι τα εδάφη αυτά δεσμεύουν τα αμμωνιακά ιόντα ( $\text{NH}_4^+$ ) και το κάλιο ( $\text{K}^+$ ) και τα ιόντα αυτά είναι διαθέσιμα στα φυτά. Αυτή η δέσμευση του αμμωνίου συμβαίνει όταν τα κατιόντα  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  και  $\text{Na}^+$  στο πλέγμα μερικών ορυκτών της αργίλου αντικαθίστανται με ιόντα  $\text{NH}_4^+$ . Εδάφη που περιέχουν οργανική ουσία, βερμικουλίτη, ιλλίτη και μοντμοριλλονίτη σε υψηλά ποσοστά δεσμεύουν  $\text{NH}_4^+$  ιόντα (ορυκτά 2:1). Τα δεσμευμένα  $\text{NH}_4^+$  ιόντα μπορούν να απελευθερωθούν από κατιόντα που διογκώνουν το πλέγμα των ορυκτών ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{H}^+$ ), όχι όμως και από αυτά που προκαλούν συστολή του ενδοστοιβαδικού χώρου, όπως  $\text{K}$ ,  $\text{Rb}$ , και  $\text{Cs}$ .

Τα δεσμευμένα αμμωνιακά ιόντα ( $\text{NH}_4^+$ ) δεν είναι αμέσως διαθέσιμα στα φυτά. Πρόσφατα δεσμευμένα  $\text{NH}_4^+$  ιόντα δεν είναι διαθέσιμα στα φυτά και η ποσότητα του δεσμευμένου  $\text{NH}_4^+$  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  $\text{NH}_4^+$  ιόντων. Χορήγηση καλίου προ της χορήγησης  $\text{NH}_4^+$  ιόντων αυξάνει την πρόσληψη του αζώτου και την απόδοση των καλλιεργειών. Έτσι η διαθεσιμότητα του αζώτου σχετίζεται αντίστροφα με τη δέσμευση των αμμωνιακών ιόντων ( $\text{NH}_4^+$ ), 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  $\text{NH}_4^+$  ιόντα και ιόντα  $\text{K}^+$  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  $\text{NH}_4^+$  αντί  $\text{NO}_3^-$ , όταν υπάρχει δυνατότητα επιλογής.

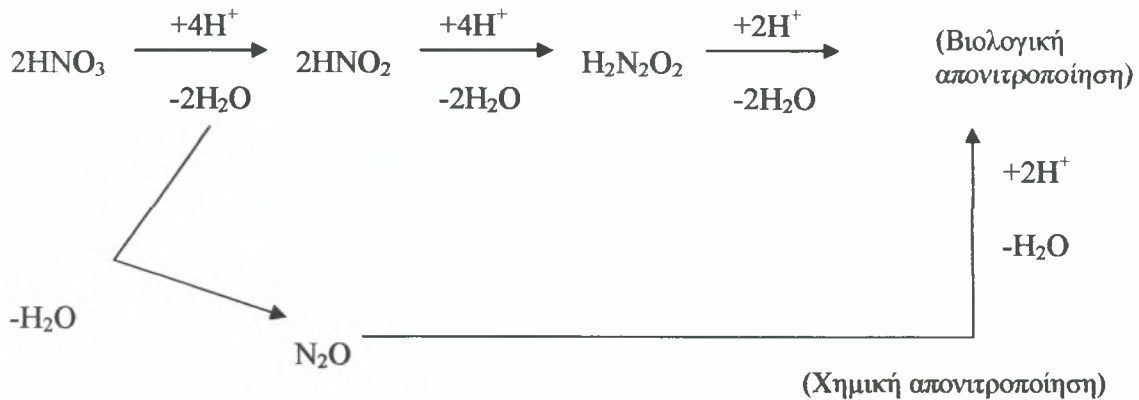
## 1.7 Απώλειες αζώτου - Έκπλυση νιτρικών στα εδάφη

Το άζωτο στα εδάφη χάνεται με πολλούς τρόπους, όπως επιστροφή στην ατμόσφαιρα ως αέριο ( $\text{N}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$ ) 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  $\text{N}_2$  στην ατμόσφαιρα.

Η απονιτροποίηση παρίσταται με την παρακάτω εξίσωση:





Οι απώλειες αζώτου με απονιτροποίηση παρατηρούνται με την παρουσία μικροοργανισμών *Pseudomonas*, *Achromobacter* και *Micrococcus* σε  $\text{pH}=4,9-5,6$  (απώλεια ως  $\text{N}_2\text{O}$ ) ή  $\text{pH}=7,3-7,9$  ( $\text{N}_2$ ). Το άζωτο επίσης μπορεί να εξαερωθεί με τη μορφή αμμωνίας.

Σε αναγωγικές συνθήκες τα  $\text{NO}_3^-$  ιόντα υφίστανται απονιτροποίηση ήτοι βιολογική απονιτροποίηση σε υψηλό  $\text{pH}$  και χημική απονιτροποίηση σε χαμηλό  $\text{pH}$ . 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 ( $\text{NH}_3$ ).** Παρατηρείται σε αλκαλικά εδάφη σύμφωνα με τη σχέση:



Επίσης απώλεια  $\text{NH}_3$  παρατηρείται ανεξάρτητα από την τιμή του  $\text{pH}$  του εδάφους, μετά από επιφανειακή χορήγηση ουρίας.

- **Απώλειες με τη μορφή νιτρικού οξέος ( $\text{HNO}_3$ ).** 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  $\text{NH}_3$  και μεγάλες ποσότητες αερίου  $\text{N}_2$  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  $\text{N}_2\text{O}$  αντιπροσωπεύει 13 εκατομμύρια τόννους. Μετά από πυρκαγιές επηρεάζεται και η ταχύτητα νιτροποίησης.

Τα νιτρικά ιόντα ( $\text{NO}_3^-$ ) εύκολα εκπλύνονται, διότι τα πλείστα εδάφη της εύκρατης ζώνης έχουν αρνητικό φορτίο στα κolloειδή τους και δε συγκρατούν τα  $\text{NO}_3^-$  ιόντα. Τα  $\text{NO}_3^-$  ιόντα μπορεί να μεταφερθούν στα κατώτερα στρώματα της εδαφικής κατατομής με το νερό στράγγισης. Σε τροπικά εδάφη τα  $\text{NO}_3^-$  ιόντα προσροφούνται από τη στερεά φάση του εδάφους η δε προσρόφηση εξαρτάται από το pH και από τη συγκέντρωση των  $\text{NO}_3^-$  ιόντων. Τα εδάφη αυτά περιέχουν άμορφα ανόργανα υλικά και κυρίως οξείδια Al και Si.

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 ( $\text{NO}_3^-$ ) 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  $\text{NO}_3^-$  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 6-12kgN haέτος<sup>-1</sup>. 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  $1500\text{kg.στρ}^{-1}$ . Το οργανικό άζωτο ανοργανοποιείται και χάνονται με έκπλυση πολύ μεγαλύτερες ποσότητες νιτρικών σε σύγκριση με τα συνήθη μη οργανικά εδάφη.

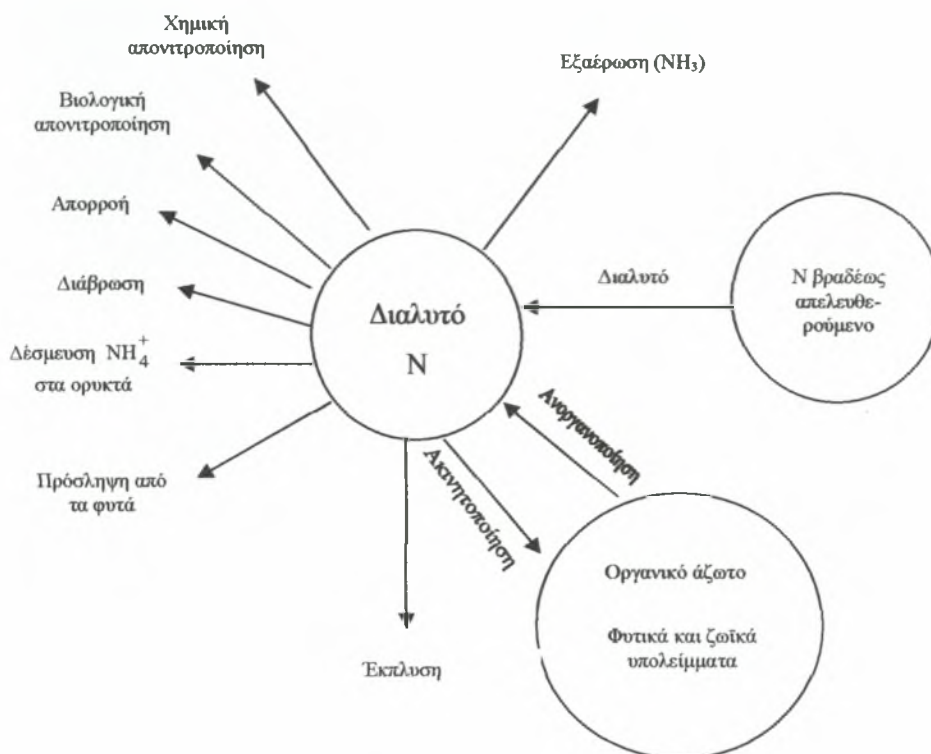
### 1.8 Αναστολείς Νιτροποίησης

Σε πολλά εδάφη δε δεσμεύονται μεγάλες ποσότητες  $\text{NH}_4^+$  ιόντων. Εξάλλου τα  $\text{NO}_3^-$  ιόντα είναι διαλυτά στο νερό. Τα  $\text{NO}_3^-$  ιόντα γρήγορα απονιτροποιούνται κάτω από αναγωγικές συνθήκες. Έτσι σε βαριά εδάφη σημαντικές ποσότητες αερίου  $\text{N}_2$  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  $\text{NH}_4^+$  ιόντα, εξαιτίας της ταχείας μετατροπής των  $\text{NH}_4^+$  ιόντων στο έδαφος σε  $\text{NO}_3^-$  ιόντα.

Η χρήση των αναστολέων νιτροποίησης μπορεί να έχει μεγαλύτερη σημασία για μείωση της πρόσληψης  $\text{NO}_3^-$  ιόντων από τα φυτά όταν η συγκέντρωση αυτών στα φυτά είναι υψηλή. Οι αναστολείς νιτροποίησης χρησιμοποιήθηκαν με μεγάλη επιτυχία στη μείωση της συγκέντρωσης των  $\text{NO}_3^-$  ιόντων στο σπανάκι. Στην εικόνα 1.5 παρουσιάζονται οι μετατροπές που υφίστανται στο έδαφος τα αζωτούχα λιπάσματα μετά την εφαρμογή τους.



Αζωτούχο λίπασμα

*Εικόνα 1.2. Οι μετατροπές που υφίστανται στο έδαφος τα αζωτούχα λιπάσματα μετά την εφαρμογή τους, ιδιαίτερα μετά από κορεσμό του εδάφους.*

## 1.9 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<sup>-1</sup> 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 1.2 Ποσότητες θρεπτικών στοιχείων που απομακρύνονται από το έδαφος<sup>+++</sup> mg.kg<sup>-1</sup>

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

## 1.10 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.

## 1.11 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.

## 1.12 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:

$$N_t = N_0 [1 - e^{-kN}]$$

Όπου,

$N_t$  = η αθροιστική ποσότητα ανοργανοποιημένου N,

$t$  = ο χρόνος

$N_0$  = το δυναμικό ανοργανοποίησης αζώτου του εδάφους, που εκφράζει τη μέγιστη δυνατή ποσότητα ανοργανοποιήσιμου N και

$k$  = σταθερά

Το  $N_0$  υπολογίζεται με συσχέτιση μεταξύ διαδοχικών τιμών διαδοχικών τιμών του  $N_f$  και αντιστοίχου χρόνου  $t$ .

### 1.13 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.

### 1.14 Εισροές και εκροές αζώτου στο έδαφος - Οι δυσμενείς επιπτώσεις του αζώτου στο περιβάλλον

Αναφέρεται ότι η βιολογική δέσμευση του αζώτου προσθέτει στο έδαφος ποσότητες αζώτου που ανέρχονται σε  $90-140 \cdot 10^6$  t αζώτου το χρόνο, ενώ παράλληλα οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες προσθέτουν στο έδαφος και την ατμόσφαιρα  $140 \cdot 10^6$  t αζώτου κάθε χρόνο (IFA, 1998). Στις δραστηριότητες αυτές εκτός από την καύση των γαιανθράκων, την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας συμπεριλαμβάνεται και η γεωργία με την παραγωγή ζωικής κόπρου των κτηνοτροφικών αποβλήτων και τη χρησιμοποίηση αυτής και τέλος με την παραγωγή και χρησιμοποίηση των ανόργανων αζωτούχων λιπασμάτων. Τα γεωργικά εδάφη του Ηνωμένου Βασιλείου το 1978 δέχτηκαν συνολικές ποσότητες  $2,66 \cdot 10^6$  t αζώτου, ενώ η γεωργική παραγωγή και οι απώλειες έκπλυσης νιτρικού αζώτου ως και εξαέρωσης της αμμωνίας συνολικά



απομάκρυναν περίπου  $2,24 \times 10^6$  t. Η διαφορά αυτή ανερχόμενη σε 380.000 t αζώτου ενσωματώθηκε στην οργανική ουσία των εδαφών, είτε απονιτροποιήθηκε με αποτέλεσμα την επιβάρυνση της ατμόσφαιρας (Royal Society, 1993). Το άνοιγμα αυτό του ισοζυγίου του αζώτου είναι πιθανόν να διευρύνθηκε ακόμα περισσότερο στη δεκαετία του 1980, εξαιτίας της περαιτέρω εντατικοποίησης των λιπάνσεων. Η προσθήκη  $200 \text{ kg N ha}^{-1}$  σε καλλιέργεια σιταριού συνεπάγεται απώλειες εξαιτίας της έκλυσης  $20\text{-}30 \text{ kg N ha}^{-1}$  ως και απώλειες εξαέρωσης αζώτου  $30 \text{ kg N ha}^{-1}$  (Juergens, G.schwind, 1989). Στον πίνακα 1.14 παρουσιάζεται το μέσο ετήσιο ισοζύγιο αζώτου σε καλλιέργεια καλαμποκιού κατά την περίοδο 1989-1993. (Μήτσιος και συνεργάτες, 1996).

Το παραπάνω ισοζύγιο διατυπώθηκε με βάση της επεμβάσεις σε άζωτο στο καλαμπόκι, τη νιτροποίηση του οργανικού αζώτου (εισροές) και τις εκροές όπως π.χ. απομάκρυνση αζώτου από τους καρπούς, έκλυση αζώτου, εξαέρωση και απονιτροποίηση. Οι καρποί απομάκρυναν ποσότητες αζώτου που κυμαίνονται από  $12,94 \text{ kg N στρ.}^{-1}$  σε έδαφος που δε δέχτηκε άζωτο, μέχρι  $21,30 \text{ kg N στρ.}^{-1}$  όταν το καλαμπόκι λιπάνθηκε με  $40 \text{ kg N στρ.}^{-1}$ . Οι απώλειες N εξαιτίας της έκλυσης ανέρχονται σε  $2,88 \text{ kg N στρ.}^{-1}$  μέχρι  $9,4 \text{ kg N στρ.}^{-1}$ . Οι δε απώλειες εξαιτίας της εξαέρωσης της αμμωνίας κυμαίνονται μεταξύ  $1,26 \text{ kg N στρ.}^{-1}$  μέχρι  $4,12 \text{ kg N στρ.}^{-1}$ . Η απονιτροποίηση κυμάνθηκε σε υψηλά επίπεδα,  $3,20\text{-}24,8 \text{ kg N στρ.}^{-1}$  και εξαρτάται από τις ποσότητες του αζώτου που προστέθηκαν για τη λίπανση του καλαμποκιού.

Οι ερευνητές Theochaopoulos et al., (1993) υποστηρίζουν ότι στην Κωπαίδα οι απώλειες  $\text{NO}_3\text{-N}$  εξαιτίας της έκλυσης σε καλλιέργεια καλαμποκιού κυμάνθηκαν από  $2,44 \text{ kg N στρ.}^{-1}$  μέχρι  $5,29 \text{ kg N στρ.}^{-1}$ . Οι απώλειες αυτές μεταβάλλονται ανάλογα με τη μηχανική σύσταση του εδάφους και την προστιθέμενη ποσότητα αζώτου με τη μορφή  $\text{NH}_4^+$ . Σε εργασία ο Θεοχαρόπουλος και οι συνεργάτες (1995) υποστηρίζουν ότι στο Κωπαϊδικό πεδίο έκτασης  $190.290 \text{ στρ.}$  οι ελάχιστες απώλειες  $\text{NO}_3\text{-N}$  εξαιτίας της έκλυσης κυμάνθηκαν σε όλο το Κωπαϊδικό πεδίο από  $175.911$  μέχρι  $783.564 \text{ kg}$  ανά εξάμηνο ή  $0,92\text{-}4,11 \text{ kg NO}_3\text{-N στρ.}^{-1}$ . Πειράματα με λυσίμετρα έδειξαν ότι με αζωτούχο λίπανση  $0\text{-}12 \text{ kg N στρ.}^{-1}$  στα σιτηρά, οι απώλειες αζώτου με έκλυση έφθασαν μέχρι και  $5 \text{ kg N στρ.}^{-1}$ . Όταν όμως η δόση της αζωτούχου λίπανσης αυξήθηκε σε  $18 \text{ kg N στρ.}^{-1}$  οι απώλειες αυτές έφθασαν τα  $7,5 \text{ kg N στρ.}^{-1}$ . (M.E.L.U.P., 1981).

Τα μεγάλα προβλήματα στο περιβάλλον τα δημιουργούν η πλεονασματικότητα του

αζώτου στο αγροτικό οικοσύστημα οι εκπομπές αμμωνίας και αερίων οξειδίων του αζώτου στην ατμόσφαιρα καθώς και οι απώλειες του N-NO<sub>3</sub> και διαφυγή των νιτρικών με έκπλυση στους υπεδάφιους υδροφόρους ορίζοντες και λοιπούς υδάτινους αποδέκτες (λίμνες, ποτάμια, πηγές, θάλασσες). Η πλεονασματικότητα του αζώτου στο έδαφος επηρεάζει αρνητικά τη **βιοποικιλότητα** (biodiversity) της χλωρίδας ως και την ποσότητα των αγροτικών προϊόντων.

Η εξαέρωση και ο εμπλουτισμός της ατμόσφαιρας με αμμωνία (NH<sub>3</sub>) δημιουργεί τις παρακάτω αρνητικές επιπτώσεις:

- Οξίνιση του εδάφους κατά την επαναφορά και απόθεση της NH<sub>3</sub> με τις βροχοπτώσεις και νιτροποίηση του αμμωνιακού N στο έδαφος
- Δημιουργία όξινης βροχής με την αντίδραση της αμμωνίας στην ατμόσφαιρα με οξείδια του θείου και την παραγωγή θειικής αμμωνίας.
- Επιβάρυνση με NO<sub>3</sub> - N του εδαφικού νερού με αποτέλεσμα έμμεσα στη συμβολή στο φαινόμενο του ευτροφισμού.

Η οξεογόνος επίδραση της αέριας αμμωνίας στο έδαφος και το νερό θεωρείται ότι προκάλεσαν μεγάλες καταστροφές στα δάση της Κεντρικής Ευρώπης κατά τη δεκαετία 1980.

Οι ερευνητές Schlesinger και Hartley (1992) υποστηρίζουν ότι για το σύνολο της γήινης ατμόσφαιρας οι εκπομπές NH<sub>3</sub> ανέρχονται σε 62χ 10<sup>6</sup> t το χρόνο, εκ των οποίων, οι εκπομπές προερχόμενες από ανθρωπογενείς δράσεις ανέρχονται σε 43χ10<sup>6</sup> t. Υπολογίζεται ότι η απόθεση NH<sub>3</sub> ανέρχεται στο 40-60% των εισροών N από αζωτούχα λιπάσματα. Το Ευρωπαϊκό Κέντρο Οικο-τοξικολογίας και τοξικολογίας χημικών ουσιών (ECETOC) υποστηρίζει ότι μόνο 13% εκπομπών NH<sub>3</sub> στη Δ.Ευρώπη οφείλεται στα αζωτούχα λιπάσματα (συμπεριλαμβάνονται και τα σύνθετα λιπάσματα, τα οποία περιέχουν NH<sub>4</sub><sup>+</sup> -N και NO<sub>3</sub><sup>-</sup> -N) ενώ το 74% προέρχεται από την κτηνοτροφία. Στη ΒΔ Ευρώπη (Ολλανδία, Βέλγιο, Γερμανία) οι πυκνοί ζωικοί πληθυσμοί προκαλούν αυξημένη εκπομπή και απόθεση στα εδάφη NH<sub>3</sub>/ NH<sub>4</sub><sup>+</sup> με αποτέλεσμα την ταχύτερη οξίνιση των εδαφών στη ζώνη αυτή.

Η ECETOC σε μελέτη της υποστηρίζει ότι τα μεγέθη των εκπομπών ανέρχονται σε 98 kt. (κτηνοτροφία 57 kt και λιπάσματα 19 kt). Η προσθήκη θειικής αμμωνίας και ουρίας σε ασβεστολιθικά εδάφη έχει ως αποτέλεσμα μεγάλες απώλειες εξαιτίας της εξαέρωσης, ιδιαίτερα όταν τα λιπάσματα δεν ενσωματώνονται σε ελαφρά εδάφη με μικρή CEC.

Οι εκπομπές οξειδίων N στην ατμόσφαιρα είναι το αποτέλεσμα των δραστηριοτήτων των μικροοργανισμών του εδάφους. Τα εδάφη είτε σε φυσική κατάσταση, είτε καλλιεργούμενα είναι η κύρια πηγή του N<sub>2</sub>O με συμμετοχή σε ποσοστό 65% στο σύνολο των εκπομπών (Prather et.al., 1995). Η συγκέντρωση του N<sub>2</sub>O στην ατμόσφαιρα αυξάνει με βραδείς ρυθμούς, από 288 ppbv (μέρη ανά δισεκατομμύριο κατ' όγκο) το 1900, σε 290 ppbv το 1950 και στα 310 ppbv το 1993 (Bockman, 1994). Οι συνολικές ετήσιες εκπομπές εκτιμώνται σε  $14 \times 10^4$  t N<sub>2</sub>O το χρόνο εκ των οποίων  $9,5 \times 10^4$  t N<sub>2</sub>O το χρόνο οφείλονται σε φυσικές πηγές, και το υπόλοιπο  $4,5 \times 10^4$  t N<sub>2</sub>O το χρόνο προέρχεται από πρόσφατες ανθρωπογενείς δράσεις. Οι εκπομπές αυτές προέρχονται από την καύση γαιανθράκων και βιομάζας από την εντατική γεωργοκτηνοτροφική εκμετάλλευση ως και από την αλλαγή χρήσεων γης.

Οι Prather et.al., (1995), υποστηρίζουν ότι η αυξημένη ατμοσφαιρική συγκέντρωση του N<sub>2</sub>O συμβάλλει στο "φαινόμενο θερμοκηπίου" καθώς και στην καταστροφή του όζοντος της στρατόσφαιρας. Η ατμοσφαιρική συγκέντρωση του N<sub>2</sub>O είναι μικρή, η συμβολή του όμως στη θέρμανση της ατμόσφαιρας είναι σημαντική εξαιτίας της μεγάλης διάρκειας ζωής του στην ατμόσφαιρα (atmospheric life time) που φθάνει τα 150 χρόνια. Το NO είναι πολύ δραστικό αέριο με βραχεία διάρκεια ατμοσφαιρικής ζωής (ημέρες ή μερικές ώρες). Το NO είναι ένας από τους κύριους παράγοντες της όξινης βροχής επειδή το NO σχηματίζει νιτρικό οξύ στη ατμόσφαιρα.

Η χρήση των αζωτούχων λιπασμάτων ευνοεί τη δημιουργία υποστρώματος νιτροποίησης-απονιτροποίησης στα εδάφη και επομένως συμβάλλει άμεσα και έμμεσα στην παραγωγή και στην εκπομπή στην ατμόσφαιρα των οξειδίων του αζώτου. Οι ετήσιες εκπομπές N<sub>2</sub>O από τα καλλιεργούμενα εδάφη ανέρχονται σε  $3,5 \times 10^6$  N t, το 1/3 δε της ποσότητας αυτής προέρχεται ευθέως από τα αζωτούχα λιπάσματα (Smith, et.al., 1997). Οι ίδιοι ερευνητές υποστηρίζουν ότι 0,5 και  $5,0 \times 10^6$  t N το χρόνο είναι εκπομπές NO που προέρχονται από τα αζωτούχα λιπάσματα.

Η συμβολή στις εκπομπές N<sub>2</sub>O και των κτηνοτροφικών ζώων ελεύθερης βοσκής (μεγάλα μηρυκαστικά κυρίως) διαμέσου των οποίων το άζωτο της χλωρής νομής μεταφέρεται στα υγρά και στερεά απεκκρίματα των ζώων που παραμένουν στους λειμώνες αποτελούν εστίες εκπομπής του N<sub>2</sub>O. Από τα περιορισμένα πειραματικά δεδομένα προκύπτει ότι ποσοστό 0,1 μέχρι 0,7 του αζώτου των στερεών απεκκρίματων και 0,1 μέχρι 3,8% του αζώτου των υγρών εκλύεται στην ατμόσφαιρα με τη μορφή N<sub>2</sub>O. Η σημασία των μεγεθών αυτών είναι προφανής αν ληφθεί υπόψη

ότι το 20% της στερεής επιφάνειας της γης καλύπτεται με καλλιεργούμενους λειμώνες και επί πλέον ένα 30% με ορεινές δασολιβαδικές εκτάσεις. Με βάση τα δεδομένα αυτά υπολογίζεται ότι η συνολική συμμετοχή των ζώων βοσκής στο ισοζύγιο  $N_2O$  της υδρογείου ανέρχεται σε  $1,55 \times 10^6$  t  $N_2O-N$ , ποσότητα η οποία υπερβαίνει τις εκπομπές τις προερχόμενες από τα ανόργανα λιπάσματα.

Ο Bouwman (1996), ύστερα από στατιστική επεξεργασία πολλών μετρήσεων συμπέρανε ότι μεταξύ προστιθέμενων αζωτούχων και εκπομπών  $N_2O$ , υπάρχει γραμμική σχέση η οποία εκφράζεται με την εξίσωση:

$$E = 1 + 0,0125 * F$$

όπου E είναι ο ρυθμός της εκπομπής σε  $kg N-N_2O ha^{-1}$  και F είναι η δόση των αζωτούχων λιπασμάτων σε  $kg ha^{-1}$  το χρόνο. Επομένως για κάθε 100kg προστιθέμενου αζώτου εκλύονται στην ατμόσφαιρα κατά μέσο όρο 1,25kg N με τη μορφή του  $N_2O$ .

Διαπιστώνεται ότι οι τιμές εκπομπής κυμαίνονται σε μεγάλο εύρος εξαρτώμενες από τις εδαφικές, καλλιεργητικές και κλιματολογικές συνθήκες. Η διακυβερνητική επιτροπή για την αλλαγή του κλίματος (IPCC 1997) δέχεται ότι το 90% των εκπομπών  $N_2O$  που οφείλονται στα αζωτούχα λιπάσματα παρουσιάζουν εύρος  $1,25 \pm 1$  % και ότι 0,25 και 2,25 kg  $N-N_2O$  σε κάθε 100 kg προστιθέμενου αζώτου.

Τα ερευνητικά αποτελέσματα των ερευνητών Cole et.al., (1966) και Smith et.al., (1997) δείχνουν ότι το ποσοστό των εκπομπών του  $N_2O$  είναι δυνατόν να μειωθεί σημαντικά όταν τηρούνται κανόνες σωστής καλλιεργητικής πρακτικής και ορθής διαχείρισης των λιπασμάτων. Τα μέτρα αυτά είναι:

- η αριστοποίηση των φυσικών συνθηκών του εδάφους κατά την εφαρμογή του λιπάσματος
- η εποχή και η μέθοδος προσθήκης του λιπάσματος
- η δόση του λιπάσματος που να μην υπερβαίνει τις ανάγκες της καλλιέργειας
- η χρησιμοποίηση αναστολέων νιτροποίησης (nitrification inhibitors) ως και λιπασμάτων ελεγχόμενης απόδοσης (controlled release fertilizers). (Αναλογίδης 2000)



## 1.15 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<sup>-1</sup>, 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 νιτροδών αλάτων αφενός και αφετέρου δευτερογενών αμινών. (Dunkam, et.al., 1997, Vermeer, et.al., 1998). Για τους λόγους αυτούς επεβλήθησαν περιορισμοί στην περιεκτικότητα νιτρικών και νιτροδών σε επεξεργασμένα είδη τροφίμων (Scientific Committee for food, European Commission, 1995). Πρόσφατες επιδημιολογικές 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.).

## Δειγματοληψία και εργαστηριακές αναλύσεις

### 1.16 Ανάλυση του εδάφους για την εκτίμηση της περιεκτικότητάς του σε διαθέσιμα θρεπτικά στοιχεία

Ανάλυση του εδάφους σημαίνει κάθε φυσικός ή χημικός προσδιορισμός που γίνεται σε ένα έδαφος, που οι στόχοι του μπορεί να είναι ποικίλοι και συχνά αστικής ή περιβαλλοντικής κατεύθυνσης.

Σύμφωνα με τον Μήτσιο (2004), η ανάλυση του εδάφους είναι το κύριο ,διαγνωστικό εργαλείο που στην απλούστερη μορφή της έχει καθαρά ποιοτικό χαρακτήρα, ενώ η πλέον προχωρημένη μεθοδολογία έχει χαρακτήρα ποσοτικό. Με την ποιοτική μέθοδο μπορεί να διαγνωστεί μόνο η φύση του προβλήματος δηλαδή αν προκύπτει έλλειψη ή πλεονασματικότητα ενός η περισσότερων θρεπτικών στοιχείων.

Οι ποσοτικές μέθοδοι προσδιορίζουν συγχρόνως και το μέγεθος του προβλήματος, αντιστοίχως δε τις ποσότητες των θρεπτικών στοιχείων που πρέπει να προστεθούν στο έδαφος για την αντιμετώπιση προβλημάτων.

## 1.17 Προϋποθέσεις και στόχοι της εδαφικής ανάλυσης

Περιγράφονται από τον Μήτσιο (2004) και αφορούν κάθε φυσικό ή χημικό προσδιορισμό που γίνεται σε ένα έδαφος, που οι στόχοι του μπορεί να είναι ποικίλοι και συχνά αστικής ή περιβαλλοντικής κατεύθυνσης.

Για το χαρακτηρισμό της γονιμότητας όμως του εδάφους δεν λαμβάνεται υπόψη μόνο ο φυσικοχημικός του χαρακτήρας αλλά πρωτίστως η περιεκτικότητά του σε διαθέσιμα θρεπτικά στοιχεία (soil testing). Στον όρο soil testing δεν περιλαμβάνεται μόνο η ανάλυση του εδάφους για τον προσδιορισμό της διαθεσιμότητας των θρεπτικών στοιχείων αλλά και η αξιολόγηση του αναλυτικού αποτελέσματος με σκοπό τη σύσταση της ενδεικνυόμενης λιπαντικής αγωγής. Τελικώς, με τη διαπίστωση της περιεκτικότητας του εδάφους σε θρεπτικά στοιχεία (soil testing) ακολουθεί η συμβουλευτική λίπανση (fertilizer recommendations).

Σκοπός της ανάλυσης του εδάφους είναι:

- Η εκτίμηση με ακρίβεια του βαθμού επάρκειας των εδαφικών θρεπτικών στοιχείων.
- Η ενημέρωση των παραγωγών για τη σοβαρότητα της έλλειψης ή της περίσσειας ενός θρεπτικού στοιχείου ή πολλών θρεπτικών στοιχείων σε σχέση με τις απαιτήσεις της καλλιέργειας.
- Η εκτίμηση των λιπαντικών αναγκών της καλλιέργειας
- Η έκφραση των αποτελεσμάτων με τρόπο ώστε να είναι εφικτή η οικονομική αξιολόγηση των παρεχόμενων συστάσεων ή συνταγών λιπάνσεως.

Με την ανάλυση του εδάφους επιδιώκεται η εκτίμηση του βαθμού διαθεσιμότητας ή διαφορετικά η εκτίμηση του διαθέσιμου κλάσματος των εδαφικών θρεπτικών στοιχείων.

Τονίζεται ότι η εδαφική ανάλυση ρουτίνας αποτελεί ημιποσοτική μεθοδολογία. Δηλαδή, δεν είναι σε θέση να προσδιορίσει επακριβώς το διαθέσιμο κλάσμα, αλλά απλώς το προσεγγίζει. Με την εδαφοανάλυση ρουτίνας επιδιώκεται η προσέγγιση μιας ποσότητας (ή κλάσματος) θρεπτικού στοιχείου ώστε η μεταβολή του διαθέσιμου κλάσματος να βρίσκεται σε αντίστοιχη μεταβολή της παραγωγικής συμπεριφοράς μιας καλλιέργειας. Η τρέχουσα πρακτική σημασία του όρου διαθέσιμο κλάσμα έχει μεγάλη σημασία. Όμως στην πράξη περιπλέκεται η ακριβής συσχέτιση του

αποτελέσματος της ανάλυσης του εδάφους και της παραγωγικής συμπεριφοράς της καλλιέργειας καθότι δεν είναι προκαθορισμένη η σχέση αυτή.

Η συσχέτιση αυτή θα πρέπει να διαπιστωθεί με πειραματισμό. Ο πειραματισμός αποτελεί τη βασική προϋπόθεση για τη βαθμονόμηση (calibration) της αντίστοιχης μεθόδου εδαφικής ανάλυσης. Η καταλληλότητα της μεθόδου εδαφικής ανάλυσης εξαρτάται από τις ειδικές συνθήκες του εδάφους (φυσικές, χημικές και ορυκτολογικές). Επίσης η βαθμονόμηση διαφέρει κατά περίπτωση και εξαρτάται όχι μόνο από την αναλυτική μέθοδο αλλά και από το είδος της καλλιέργειας ως και από άλλες συνθήκες. Για το λόγο αυτό τα αποτελέσματα των εδαφοαναλύσεων πρέπει να συνδυάζονται με αναλύσεις φύλλων και φυτικών ιστών (φυλλοδιαγνωστική)

## 1.18 Προγράμματα ανάλυσης του εδάφους

Κάθε πρόγραμμα ανάλυσης του εδάφους μπορεί να περιλάβει τις εξής φάσεις διεξαγωγής: (I) δειγματοληψία εδάφους (II) προπαρασκευή των εδαφικών δειγμάτων (III) ανάλυση των εδαφικών δειγμάτων (IV) συσχέτιση και βαθμονόμηση (Μήτσιος, 2003).

### Δειγματοληψία εδάφους στον αγρό

Βασικός σκοπός της δειγματοληψίας του εδάφους είναι η συγκέντρωση των απαραίτητων πληροφοριών για τη μελέτη της γονιμότητας του εδάφους και ειδικότερα για τη συγκέντρωση όλων εκείνων των επιστημονικών πληροφοριών που αφορούν τη μελέτη των προβλημάτων θρέψης των φυτών, της λίπανσης των καλλιεργειών, τη διερεύνηση των χημικών, φυσικών και βιολογικών παραμέτρων του εδάφους που θα αξιοποιηθούν για να στηριχθεί η ακολουθητέα λιπαντική αγωγή, καθώς και την πολιτική που είναι απαραίτητη να εφαρμοσθεί προκειμένου να αποφευχθούν προβλήματα ρύπανσης των εδαφών, από νιτρικά και νιτρώδη ιόντα καθώς και από τα ρυπογόνα στοιχεία Cd, Pb, Se, Cr, As, Νί, Hg, κλπ. (Rowell, 1995, Μήτσιος, 2004).

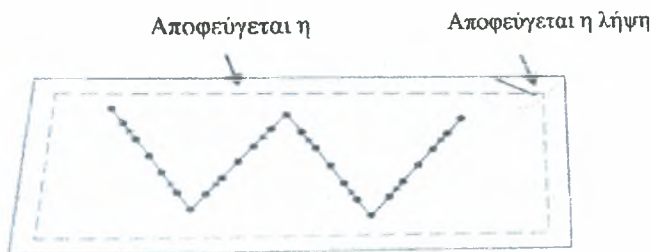
Έτσι τα δείγματα του εδάφους λαμβάνονται με ειδικούς δειγματολήπτες που

διαφέρουν στο μέγεθος και στη σχεδίασή τους. Οι δειγματολήπτες περιστρέφονται και πιέζονται για να εισέλθουν στο έδαφος και στη συνέχεια λαμβάνονται δείγματα εδάφους από το επιθυμητό βάθος π.χ. 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm ή 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm ανάλογα τους σκοπούς της δειγματοληψίας (βαθύρριζα φυτά, επιπολαιόρριζα φυτά, δενδρώδεις καλλιέργειες).

Τα δείγματα εδάφους αναπόφευκτα διαταράσσονται σε διάφορο βαθμό οπότε οι παρατηρήσεις που γίνονται σ' αυτά όπως το χρώμα, η μηχανική σύσταση οι πέτρες, οι ρίζες από τα φυτά το βάθος της εδαφικής κατατομής, καταγράφονται για το χαρακτηρισμό του εδάφους. Η δομή του εδάφους στις περιπτώσεις αυτές είναι αδύνατον να χαρακτηριστεί εκτός αν τα δείγματα του εδάφους είναι αδιατάρακτα.

Πρέπει να συνταχθεί το Soil Sampling Plan ενώ κατά τη δειγματοληψία πρέπει να τηρείται το Soil Sampling Protocol. Πριν από τη δειγματοληψία η επιφάνεια του εδάφους καθαρίζεται από τα χόρτα, τις πέτρες και από τα φυτά. Για να αποφευχθούν επιμολύνσεις από τις συνεχείς κατακόρυφες δειγματοληψίες πρέπει να λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα για τον καθαρισμό του δειγματολήπτη από το έδαφος και στη συνέχεια ο δειγματολήπτης να εισέρχεται στο όρυγμα (τομή) που διανοίχτηκε για να ληφθεί δείγμα εδάφους από μεγαλύτερο βάθος.

Προκειμένου να ληφθούν αντιπροσωπευτικά δείγματα από έναν αγρό κρίνεται απαραίτητο να ληφθούν δείγματα ακολουθώντας διαδρομή σχήματος W ή X ή random (εικόνα 1.3).



Εικόνα 1.3 Λήψη δειγμάτων εδάφους στον αγρό.

Οι Wagner, Theochaopoulos et al. (2001) μελέτησαν τα λάθη σε διάφορα ίδια δειγματοληψίας και μεταχείρισης του εδαφικού δείγματος ενώ οι Theochaopoulos et al. (2001) παρουσιάζουν τις European Soil Sampling Guidelines for Soil Pollution. Κατά τη δειγματοληψία πρέπει να αποφεύγεται η λήψη δειγμάτων εδάφους από θέσεις ή σημεία του εδάφους που οι ιδιότητες του εδάφους διαφέρουν από τις πραγματικές ιδιότητες του εδάφους του αγρού, έτσι δε λαμβάνονται δείγματα ) θέσεις που βρίσκονται πλησίον των εισόδων και των γωνιών που δημιουργούν οι γεωργικοί

ελκυστήρες κατά την άροση, από θέσεις πλησίον οδών, στραγγιστικών τάφρων ή αρδευτικών αυλακιών. Αν σε κάποια σημεία προστέθηκαν μεγάλες ποσότητες ασβέστης ή μεγάλες ποσότητες λιπασμάτων επίσης δε λαμβάνονται δείγματα εδάφους.

Η θέση των σημείων δειγματοληψίας είναι ιδιαίτερα σημαντική για την περαιτέρω εργασία. Στην ιδανική περίπτωση, τα δείγματα για τη χαρτογράφηση θα πρέπει είναι ακανόνιστα κατανεμημένα στην περιοχή. Ένα κανονικό δίκτυο δειγματοληψίας μπορεί να προκαλέσει λάθη, εκτός εάν συμπίπτει με ένα κανονικό σχηματισμό της επιφάνειας, όπως κανονικά διατεταγμένα δένδρα.

Η τελείως τυχαία δειγματοληψία έχει επίσης ορισμένα μειονεκτήματα. Πρώτον, μεμονωμένο σημείο πρέπει να ορίζεται ακριβώς χωρικά, ενώ σε ένα κανονικό πλαίσιο για να εντοπιστεί η θέση ενός σημείου απαιτείται μόνο η θέση της αρχής, διεύθυνση και οι αποστάσεις των γραμμών - στηλών. Αυτό είναι ευκολότερο σε μια δασώδη περιοχή ή σε ένα δύσκολο ανάγλυφο ακόμη και με τη χρησιμοποίηση GPS. Δεύτερον, τέλεια τυχαιοποίηση μπορεί να οδηγήσει σε μη επιθυμητή κατανομή των δειγμάτων, εκτός αν μετρηθούν πάρα πολλά σημεία, γεγονός απαγορευτικό λόγω κόστους.

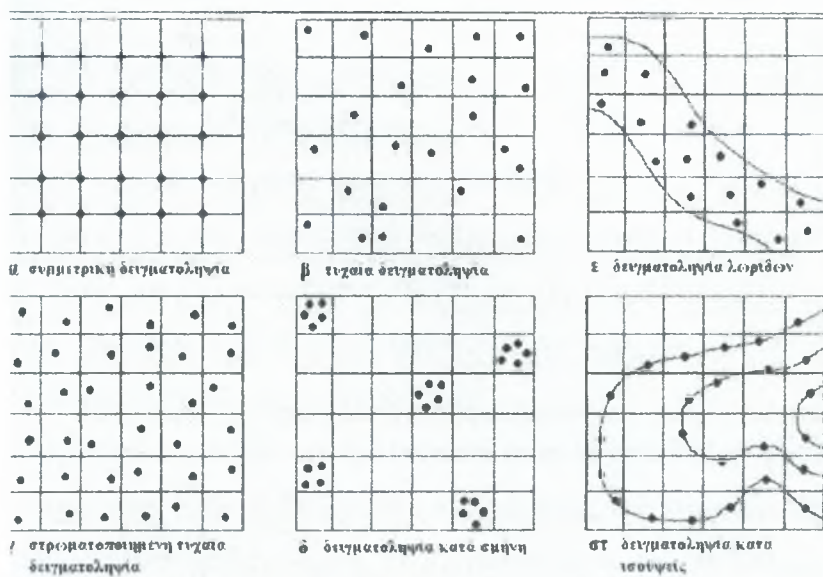
Μια συμβιβαστική λύση μεταξύ της τελείως τυχαίας και της κανονικής δειγματοληψίας δίνεται από τη στρωματοποιημένη τυχαία δειγματοληψία (stratified random sampling) όπου τα μεμονωμένα σημεία τοποθετούνται τυχαία μέσα σε κανονικά τμήματα.

Η δειγματοληψία κατά σμήνη (clustered) ή κατά φωλιές μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ερευνηθεί η χωρική παραλλακτικότητα σε πολλές διαφορετικές κλίμακες. Η κανονική δειγματοληψία κατά λωρίδες (transect sampling), συχνά χρησιμοποιείται για την έρευνα των ποταμών, των ακτών και των κλιτύων των λόφων. Η δειγματοληψία κατά τις ισοϋψείς (contour lines) είναι μια συνηθισμένη μέθοδος δειγματοληψίας για την κατασκευή ψηφιακών προτύπων εδάφους (ΨΠΕ).

Το support είναι ένας τεχνικός όρος που χρησιμοποιείται στη γεωστατιστική για να περιγράψει το εμβαδόν ή τον όγκο του φυσικού δείγματος στον οποίο γίνονται μετρήσεις. Όταν δεδομένα που συλλέγονται με ένα δεδομένο support, χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των τιμών των ίδιων μεταβλητών σε θέσεις που δεν υπάρχουν μετρήσεις, τότε οι υπολογισμοί αναφέρονται σε θέσεις που έχουν επίσης το ίδιο support εκτός εάν χρησιμοποιηθούν διαδικασίες που συσχετίζουν τις παρατηρήσεις με μεγαλύτερες επιφάνειες ή όγκους. Οι διαδικασίες αυτές καλούνται upscaling διαδικασίες. Κύρια η μέθοδος και το σχήμα δειγματοληψίας καθορίζονται



από το σκοπό της δειγματοληψίας (Theochaoroulos et al., 2001) ενώ θα πρέπει να λαμβάνονται πάντοτε υπόψη οι χαρτογραφικές μονάδες αν και η δειγματοληψία κανάβου με κατάλληλη ερμηνεία μπορεί να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα. (Theochaoroulos et al., 1996)



Εικόνα 1.4. Οι κυριότεροι τρόποι δειγματοληψίας που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή χωρικών δεδομένων. (Πηγή: Φλωράς Σ., 2004)

Ο αριθμός των δειγμάτων αποτελεί βασικό παράγοντα μείωσης της ανομοιομορφίας του εδάφους και βελτίωση της ακριβείας των αποτελεσμάτων. Ο αριθμός των δειγμάτων εξαρτάται από την ομοιομορφία εδαφικής μάζας (βάθος, ανάγλυφο και φυσικά χαρακτηριστικά).

Εξαιτίας της μεγάλης ανομοιομορφίας του εδάφους δημιουργήθηκε η ανάγκη της ταξινόμησης των εδαφών σε διάφορες χαρτογραφικές μονάδες που η καθεμία χαρτογραφική μονάδα διαφέρει από τις άλλες ως προς τα βασικά χαρακτηριστικά (μηχανική σύσταση, βάθος χρώμα ιδιομορφία του εδάφους, CaCO<sub>3</sub>, pH κλπ.).

Οι παράγοντες που καθορίζουν τον αριθμό των δειγμάτων που θα ληφθούν από τον αγρό είναι οι εξής:

- Ο βαθμός της ακρίβειας
- Ο βαθμός ομοιομορφίας του εδάφους
- Ο ειδικός σκοπός της ανάλυσης
- Το βάθος της δειγματοληψίας
- Η έκταση της περιοχής από την οποία θα ληφθούν τα δείγματα του εδάφους
- Ο οικονομικός παράγοντας

- Η εργαστηριακή υποδομή

Από την εμπειρία που αποκτήθηκε για έκταση 2-5 στρεμμάτων συνήθως λαμβάνονται 2-3 μικτά δείγματα εδάφους. Όταν η δειγματοληψία γίνεται για πρώτη φορά λαμβάνονται τρία δείγματα. Το επιφανειακό δείγμα (0-30 cm) προέρχεται από 5 δείγματα ή από ένα μικτό επιφανειακό δείγμα, στη συνέχεια λαμβάνονται δείγματα από βάθος 30-60 cm και από βάθος 60-90 cm. Η συχνότητα της δειγματοληψίας εξαρτάται από την ομοιομορφία του εδάφους από το είδος της καλλιέργειας ως και το βαθμό της εντατικοποίησης της καλλιέργειας.

Για κηπευτικά υπό κάλυψη η δειγματοληψία γίνεται δυο φορές το χρόνο. Στις μεγάλες καλλιέργειες και στις δενδρώδεις καλλιέργειες η δειγματοληψία του εδάφους γίνεται μια φορά το χρόνο. Κατά τη δειγματοληψία του εδάφους θα πρέπει να αποφεύγονται μολύνσεις από διάφορα μέταλλα στις περιπτώσεις που το δείγμα του εδάφους χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό διαφόρων μικροθρεπτικών π. χ. Ζη, Μη, CU, Mo, B.

Στις περιπτώσεις αυτές κρίνεται απαραίτητο να αποφεύγεται η χρήση εργαλείων ή δοχείων από γαλβανισμένο μέταλλο, μαλακό σίδηρο ή μπρούτζο. Επίσης τα δείγματα του εδάφους πρέπει να τοποθετούνται σε πλαστικές σακούλες. Σημειώνεται ότι δεν υπάρχει αποδεκτός τρόπος δειγματοληψίας του εδάφους για να ληφθούν πληροφορίες σχετικά με την ανομοιογένεια του εδάφους σε μια περιοχή (Webster and Oliver, 1990). Τα αποτελέσματα των δειγματοληψιών επηρεάζονται και από άλλους παράγοντες όπως

- Το βάθος της δειγματοληψίας
- Τα σύνθετα δείγματα λαμβάνονται από σημεία ή περιοχές που έχουν ανομοιομορφία
- Η λήψη σύνθετων δειγμάτων από ομοιόμορφες περιοχές αλλά με διαφορετικό ιστορικό ασβέστωσης
- Η διαφορετική περιεκτικότητα σε οργανική ουσία των διάφορων δειγμάτων
- Μερικές φορές τα δείγματα του εδάφους περιέχουν μαλακά πετρώματα
- Η λήψη δειγμάτων εδάφους από περιοχές όπου έγινε ανομοιόμορφη εφαρμογή λιπασμάτων ή και υλικών ασβέστωσης.
- Σε συνθήκες ξηρασίας δε διαλύονται στο έδαφος τα λιπάσματα που προστίθενται

- Η προετοιμασία των δειγμάτων ή η κατεργασία αυτών σε μολυσμένο περιβάλλον ή σε ακατάλληλα σκεύη
- Η κακή συσκευασία του δείγματος

Μερικές φορές γίνονται λάθη στην τοποθέτηση των καρτών στις πλαστικές σακούλες συσκευασίας με αποτέλεσμα να μη γίνεται η σωστή περιγραφή των εδαφικών δειγμάτων. Οι Wagner et al. (2001) παρουσιάζουν μία συγκριτική δειγματοληψία εδαφών μεταξύ 15 ερευνητικών ινστιτούτων και Α.Ε.Ι. της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

### 1.19 Συσχέτιση και βαθμονόμηση

Κάθε μέθοδος ανάλυσης του εδάφους πρέπει να συσχετιστεί (correlation) με πειραματικά δεδομένα αγρού και να γίνει βαθμονόμηση (calibration) της μεθόδου αυτής, διαφορετικά η ερμηνεία των αποτελεσμάτων δεν θα έχει αξία για λιπαντικές αγωγές. Η συσχέτιση εκφράζει το βαθμό της συμμεταβολής μεταξύ εργαστηριακού αποτελέσματος και πρόσληψης του θρεπτικού στοιχείου από φυτά σε πειράματα δοχείων.

Με τη διαδικασία αυτή αξιολογείται η μέθοδος ανάλυσης του εδάφους και κατά πόσο αυτή η μέθοδος εκφράζει τη διαθεσιμότητα ενός θρεπτικού στοιχείου του εδάφους. Η βαθμονόμηση αφορά στην αμοιβαία ποσοτική σχέση μεταξύ της ανάλυσης του εδάφους και παραγωγικού αποτελέσματος μιας καλλιέργειας. Η συσχέτιση και βαθμονόμηση απαιτούν χημικές αναλύσεις με διάφορα εκχυλιστικά και πειραματισμό για κάθε καλλιέργεια και περιοχή.

Η βαθμονόμηση μιας μεθόδου ανάλυσης του εδάφους έχει ως σκοπό τον καθορισμό διαφορετικών βαθμίδων ποσοτικής επάρκειας. Η πιο στοιχειώδης ημιποσοτικής φύσεως βαθμονόμηση, είναι ο καθορισμός ενός ορίου επάρκειας (sufficiency limit) που αναφέρεται ως και κρίσιμη στάθμη (critical level). Άνωθεν του ορίου επάρκειας οι καλλιέργειες δεν αντιδρούν παραγωγικά στην πρόσληψη του θρεπτικού στοιχείου, ενώ όταν η τιμή από την ανάλυση του εδάφους είναι κάτωθεν του ορίου επάρκειας αναμένεται απώλεια της παραγωγής, η οποία αποφεύγεται μόνο με την προσθήκη του ελλείποντος θρεπτικού στοιχείου.

Για ένα συγκεκριμένο καλλιεργούμενο είδος κατά την ερμηνεία των αποτελεσμάτων και άλλοι εδαφικοί και θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη

καλλιεργητικοί παράγοντες.

Εκτός από τους καλλιεργητικούς παράγοντες σπουδαίο ρόλο διαδραματίζει το ύψος της αναμενόμενης απόδοσης (δυναμικό παραγωγής). Υψηλό δυναμικό παραγωγής που οφείλεται σε γενική βελτίωση των συνθηκών καλλιεργητικής διαχείρισης, βελτιωμένο γενετικό υλικό που προϋποθέτει αυξημένες θρεπτικές ανάγκες και απαιτεί προσεκτική βαθμονόμηση των μεθόδων της ανάλυσης του εδάφους (Barber, 1973).

Διακρίνονται 3-5 επίπεδα επάρκειας (sufficiency levels) δηλαδή **πολύ χαμηλό, χαμηλό, μέσο, υψηλό και πλεονασματικό**. Συνήθως μια βαθμονόμηση που βασίζεται σε μια εξίσωση συμμεταβολής δεν απαντά στο ερώτημα, πόσο λίπασμα πρέπει να προστεθεί για να ανέλθει η τιμή που προκύπτει από την εδαφική ανάλυση στην επιθυμητή στάθμη.

Τέτοιες προσεγγίσεις για την επίλυση του προβλήματος λίπανσης των καλλιεργειών ισχύουν μόνο σε περιορισμένο εύρος εδαφικών και καλλιεργητικών συνθηκών και μάλιστα σε συνθήκες κάτω από τις οποίες πραγματοποιήθηκαν τα αντίστοιχα πειράματα. Η επίλυση του προβλήματος της λίπανσης απαιτεί και συμπληρωματικές πληροφορίες ήτοι:

- ο την ποσότητα του θρεπτικού στοιχείου που παραλαμβάνει η ίδια καλλιέργεια ανά μονάδα επιφανείας, η οποία εξαρτάται από το ύψος της παραγωγής και
- ο το βαθμό της αξιοποίησης του λιπάσματος που εξαρτάται κυρίως από τη φύση του θρεπτικού στοιχείου. Το άζωτο των λιπασμάτων αξιοποιείται σε ποσοστό 30-60% κατά μέσο όρο. Αντίστοιχα, ο φώσφορος κατά 10-20% και σε ένα ενδιάμεσο ποσοστό το κάλιο. Επίσης η αξιοποίηση του λιπάσματος εξαρτάται από τις χημικές και φυσικές ιδιότητες του εδάφους, καθώς και τη μέθοδο και το χρόνο εφαρμογής.

Ο καθορισμός των λιπαντικών αναγκών εξαρτάται από τους στόχους κάθε προγράμματος.

Οι στόχοι αυτοί μπορεί να είναι:

- ο Η επίτευξη μιας οριακής τιμής επάρκειας των θρεπτικών στοιχείων με απλή αναπλήρωση των θρεπτικών απωλειών, ή
- ο Η δημιουργία μιας ικανοποιητικής στάθμης γονιμότητας του εδάφους. Στην περίπτωση αυτή η ζητούμενη τιμή της ανάλυσης του εδάφους είναι αρκετά υψηλότερη από την οριακή.

**Συμπερασματικά** η επιλογή του επιδιωκόμενου στόχου σε κάθε περίπτωση εξαρτάται από περισσότερους παράγοντες οπωσδήποτε δε και από οικονομικούς παράγοντες.

## 1.20 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.).

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας και της επιστήμης άνοιξε νέους δρόμους τόσο στην αντιγραφή όσο και στην πρόβλεψη φαινομένων, σε όλες τις φάσεις της λήψης και χρήσεως των πάσης φύσεως πληροφοριών. Τα δεδομένα παριστάνουν τον πραγματικό κόσμο, μπορούν να αποθηκευτούν και να επεξεργαστούν έτσι ώστε αργότερα να παρουσιαστούν με απλούστερες μορφές.

Από τα μέσα της δεκαετίας του 1970, έχουν αναπτυχθεί ειδικά υπολογιστικά συστήματα και λογισμικά προγράμματα για την επεξεργασία πληροφοριών που αφορούν και τα τέσσερα συστατικά του πλανήτη μας, δηλαδή στη γεώσφαιρα, την υδρόσφαιρα, την ατμόσφαιρα και τη βιόσφαιρα.

Τα συστήματα αυτά περιλαμβάνουν :

- Την οργάνωση βάσεων δεδομένων των διαθέσιμων πληροφοριών
- Τη χωροθέτηση των πληροφοριών
- Την εκτέλεση υπολογισμών με συσχετίσεις και αναλύσεις που παλαιότερα ήταν αδύνατες να γίνουν

Σήμερα πολλοί οργανισμοί και εταιρείες χρησιμοποιούν τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών για να προβλέψουν φαινόμενα και να αναλύσουν παράγοντες που συσχετίζονται για παράδειγμα τα επίπεδα της σεισμικότητας σε διάφορες περιοχές του κόσμου. Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών αποτελούνται από αρκετά πολύπλοκα λογισμικά προγράμματα ηλεκτρονικών υπολογισμών και αποτελούνται από τα εξής βασικά στοιχεία :

- Ένα σύστημα εισαγωγής πληροφοριών και χωρικών δεδομένων το οποίο εισάγει και καταχωρεί όλες τις χωρικές και μη πληροφορίες που προέρχονται από ήδη υπάρχοντες χάρτες και άλλες πηγές αλλά και από τα διάφορα συστήματα τηλεπισκόπισης
- Ένα σύστημα αποθήκευσης και οργάνωσης βάσεως δεδομένων καθώς και ένα σύστημα επεξεργασίας, ανάλυσης και ανάκτησης των δεδομένων, τα οποία επεξεργάζονται, αναλύουν και οργανώνουν τα χωρικά και άλλα δεδομένα σε



τέτοια μορφή που δίδεται η δυνατότητα για γρήγορη και λεπτομερή ανανέωση των δεδομένων και επιδιορθώσεις τυχόν λαθών που έχουν πραγματοποιηθεί κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού της βάσεως δεδομένων

- Ένα σύστημα αναφοράς και εμφάνισης των δεδομένων το οποίο είναι ικανό να δείχνει μέρος ή ολόκληρη τη βάση δεδομένων καθώς και να διαχειρίζεται τη βάση και τα εξαγόμενα αποτελέσματα από χωρικά πρότυπα και άλλα σε μορφή χάρτη και/ή πινάκων. Η δημιουργία των χαρτών αυτών καλείται «ψηφιακή χαρτογραφία».

Αυτός ο προσδιορισμός των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών δεν περιλαμβάνει τον αριθμό εκείνο των λογισμικών των ηλεκτρονικών υπολογιστών που αποτελούνται από μέρος μόνο των προαναφερθέντων χαρακτηριστικών.

Έτσι τα ψηφιακά συστήματα που επικεντρώνονται κυρίως στη συλλογή δεδομένων από χαρακτηριστικά χαρτών και έχουν μικρές δυνατότητες αποθήκευσης, επεξεργασίας, ανάλυσης (χωρικής και μη) και ανάκτησης δεδομένων δεν αποτελούν αυτό που ονομάζουμε Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών.

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Geographic Information Systems-G.I.S.) αποτελούν συνδυασμό της αυτοματοποιημένης σχεδίασης με ηλεκτρονικούς υπολογιστές και της τεχνολογίας που έχει αναπτυχθεί για την επεξεργασία βάσεων δεδομένων όπως αναφέρουν οι Vaiopoulos D., Vasilopoulou A., Evelpidou N. (2002)

Μέχρι πρόσφατα τα γεωγραφικά δεδομένα παρουσιάζονταν σε χάρτες που χρησιμοποιούσαν σύμβολα, γραμμές και διάφορα χρώματα. Οι περισσότεροι χάρτες έχουν ένα υπόμνημα στο οποίο απεικονίζονται και εξηγούνται γεωγραφικά και γεωμετρικά δεδομένα. Υπάρχει δυνατότητα να τοποθετηθούν, σε ένα κοινό σύστημα συντεταγμένων, ανόμοια δεδομένα.

Με τον τρόπο αυτό οι χάρτες αποτελούν ένα αποδοτικό μέσο μόνο για την παρουσίαση πληροφοριών και μια τράπεζα αποθήκευσης των γεωγραφικών δεδομένων.

Η αποθηκευμένη πληροφορία έχει επεξεργαστεί και παρουσιαστεί με ειδικό τρόπο και για συγκεκριμένο σκοπό. Αν κάποιος θελήσει να αλλάξει την παρουσίαση συναντά σημαντικές δυσκολίες και αυτό γιατί οι χάρτες αποτελούν στατιστικές γεωγραφικές εικόνες χωρίς δυνατότητα αλλαγής. Το τελευταίο αποτελεί και ένα είδος συμβιβασμού μεταξύ χρηστών.

Ωστόσο οι χάρτες αποτελούν σημαντικό αγαθό καθώς μελέτες που έχουν γίνει έδειξαν ότι η ωφέλεια από τη χρήση των χαρτών είναι τρεις φορές μεγαλύτερη από το

κόστος της χαρτογράφησης.

Αν συγκριθεί το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών με κάποιο χάρτη, θα διαπιστωθεί ότι η αποθήκευση και παρουσίαση των δεδομένων είναι τελείως διαφορετική. Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών έχουν τη δυνατότητα της δυναμικής παρουσίασης δεδομένων σε αντίθεση με τη στατική παρουσίαση, π.χ. από τους τοπογραφικούς χάρτες.

## 1.21 Ορισμός του Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών

Είναι γεγονός ότι δεν υπάρχει συγκεκριμένος ορισμός για τα υπολογιστικά συστήματα που επεξεργάζονται γεωγραφικά δεδομένα. Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών είναι ένας γενικός ορισμός που χρησιμοποιείται για να περιγράψει την καταγραφή ή εισαγωγή, αποθήκευση, επεξεργασία και ανάλυση χωρικών ή γεωγραφικά σχετιζόμενων δεδομένων. Τα συστήματα αυτά αποτελούνται από υπολογιστικό σύστημα (hardware) και κατάλληλο λογισμικό (software) κυρίως για :

- Εισαγωγή και αποθήκευση πληροφορίας
- Ανάπτυξη συσχέτισης μεταξύ πληροφοριών
- Αλλαγή, διαχείριση και ανταλλαγή χωρικών δεδομένων
- Επεξεργασία, ανάκτηση και παρουσίαση βάσεως δεδομένων
- Ανάλυση, συνδυασμό και πρόβλεψη γεωγραφικών πληροφοριών

Τα δεδομένα που αποθηκεύονται σ' ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών μπορούν να παρουσιαστούν με τη μορφή πινάκων, χαρτών ή άλλων μορφών. Σημαντική δυνατότητα των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και διαφοροποίησή τους από τη συνήθη απεικόνιση των δεδομένων, είναι ο συνδυασμός μη ομοίων δεδομένων σε μια κοινή βάση δεδομένων.

Η επεξεργασία χωρικών δεδομένων και η απάντηση σε ερωτήσεις όπως για παράδειγμα τα χαρακτηριστικά ορισμένων θέσεων ή η κατανομή των γεωγραφικών δεδομένων στις μεταβολές του χώρου και του χρόνου, η πρόβλεψη ή ακόμα και ο συνδυασμός δεδομένων είναι πλέον μια πραγματική χάρη στην ύπαρξη των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών.

Από τεχνικής απόψεως, το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών έχει τη δυνατότητα να οργανώσει και να επεξεργαστεί ψηφιακά χαρτογραφικά δεδομένα που είναι αποθηκευμένα σε βάσεις δεδομένων.

Το περιβάλλον απεικονίζεται με ψηφιακά δεδομένα που ορίζουν θέσεις στο χώρο και αποτελούνται από αλφαριθμητικές λίστες χαρακτηριστικών. Τα χαρακτηριστικά αυτά μπορούν να μετατραπούν σε γραφικά σύμβολα και να παρουσιαστούν σε χάρτη μαζί με άλλα δεδομένα.

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών δίδουν τη δυνατότητα ανάκτησης τέτοιων δεδομένων με μια απλή μετακίνηση του κέρσορα σε ένα σύμβολο στην οθόνη του ηλεκτρονικού υπολογιστή, ενεργοποιώντας τη συγκεκριμένη εντολή. Τα στοιχεία των δεδομένων βρίσκονται αποθηκευμένα σε τεράστιες βάσεις δεδομένων. Η σημασία των βάσεων αυτών είναι ιδιαίτερος σημαντική.

Με τον όρο «βάση δεδομένων» γίνεται αναφορά σε μια συλλογή σχετικών δεδομένων αποθηκευμένων σε λογισμικά αρχεία και συλλογικά επεξεργαζόμενων, συνήθως με τη μορφή πινάκων. Η Γεωγραφική βάση δεδομένων περιέχει πληροφορίες σχετικές με το ανάγλυφο της επιφανείας της Γης και τα χαρακτηριστικά και αντικείμενα που την απαρτίζουν.

Η πληροφορία αυτή έχει τις εξής τρεις μορφές: 1) τη χωρική ή γεωγραφική, 2) την κωδικοποιημένη και 3) αυτή με τη μορφή εικόνας (image data). Η χωρική πληροφορία περιέχει τις περιοχές και τα σχήματα των χαρακτηριστικών των χαρτών. Η κωδικοποιημένη πληροφορία συλλέγεται και παρουσιάζεται για συγκεκριμένες περιοχές με τη βοήθεια των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών σε χάρτες. Όσον αφορά στα δεδομένα με τη μορφή εικόνων, πρόκειται για τη συλλογή πληροφοριών από αεροσκάφη και δορυφορικές πλατφόρμες και πληροφορίες που έχουν μετασχηματιστεί σε ψηφιακή μορφή.

Η γεωγραφική βάση δεδομένων μπορεί να δημιουργηθεί ή να αποκτηθεί. Έτσι για παράδειγμα ένας δέκτης G.P.S. μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προσδιορίσει περιοχές σε μια έκταση ή ακόμη και σ' ένα αγροτεμάχιο που μας ενδιαφέρει. Στη συνέχεια μπορεί να κατασκευαστεί ένας χάρτης με τη βοήθεια των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών που θα περιέχει πληροφορίες από την παρατήρηση με τα Παγκόσμια Συστήματα Εντοπισμού Θέσεως (Global Positioning Systems ή G.P.S. ).

Σε πολλές περιπτώσεις εικόνες λαμβάνονται με αμοιβή από δορυφόρους και από εταιρείες αεροσκαφών αποκτούνται αεροφωτογραφίες της επιφανείας της Γης, προκειμένου να αποτελέσουν το υπόβαθρο για μελέτη και απεικόνιση των χαρακτηριστικών των περιοχών με τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών.

Ένα σύστημα διαχείρισης βάσεως δεδομένων αποτελεί ένα λογισμικό που μπορεί να επεξεργαστεί (εισαγωγή, αποθήκευση, ταξινόμηση και ανάκτηση δεδομένων)

δεδομένα από μια βάση δεδομένων. Μια βάση δεδομένων ή διαφορετικά μια γεωγραφική βάση δεδομένων αποθηκεύει τη γεωγραφική πληροφορία σε ένα σύστημα διαχείρισης δεδομένων (Database management system, DBMS).

## 1.22 Αναφορά σε πρότυπα διαχείρισης βάσεων δεδομένων, ArcGIS

Τα πρότυπα διαχείρισης βάσεων δεδομένων σχεδιάστηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι εύχρηστα σε πρακτικές εφαρμογές από μεγάλο αριθμό χρηστών. Κάθε πρότυπο μπορεί εύκολα να χρησιμοποιήσει δεδομένα από ήδη υπάρχοντα συστήματα, ανεξάρτητα αν τα αρχεία βρίσκονται αποθηκευμένα σε coverages, shape files ή αρχεία CAD κ.λ.π.

## 1.23 Μεθοδολογία σχεδιασμού βάσεως δεδομένων

Ο σχεδιασμός μιας βάσεως δεδομένων Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στηρίζεται στον καθορισμό θεματικών επιπέδων της πληροφορίας. Αρχικά είναι απαραίτητο να προσδιοριστεί το σύνολο των θεμάτων ή επιπέδων GIS έτσι ώστε να καθοριστεί η κατάλληλη εφαρμογή και οι πληροφορίες που απαιτούνται.

Στη συνέχεια καθορίζεται κάθε επίπεδο με περισσότερες λεπτομέρειες. Ο χαρακτηρισμός κάθε θεματικού επιπέδου έχει ως αποτέλεσμα τον ορισμό των τύπων GIS όπως οι feature classes tables, relationships, raster data sets και άλλα.

Η μοντελοποίηση ή δομή της βάσεως δεδομένων ενός Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών αποτελείται από πέντε θεματικά επίπεδα. Βήματα σχεδιασμού βάσεως δεδομένων ενός Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών

Τα βήματα που ακολουθούνται στο σχεδιασμό βάσεως δεδομένων είναι τα ακόλουθα:

- 1) Καθορισμός των κυριότερων θεματικών επιπέδων
- 2) Επιλογή των κατάλληλων κλιμάκων για τη διαχείριση βάσεων δεδομένων
- 3) Διαχωρισμός της παρουσίασης των δεδομένων σε σύνολα: feature classes, raster data sets, tables, κ.α.
- 4) Καθορισμός των πεδίων

- 5) Προσδιορισμός συσχετίσεων
- 6) Ορισμός χωρικών επιδράσεων των δεδομένων
- 7) Πρόταση σχεδιασμού βάσεως δεδομένων
- 8) Παρουσίαση του σχεδίου με κατάλληλες μεθόδους, διαγράμματα, πίνακες, κ.α.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - Δειγματοληψία και εργαστηριακές αναλύσεις

### 2.1 Δειγματοληψία

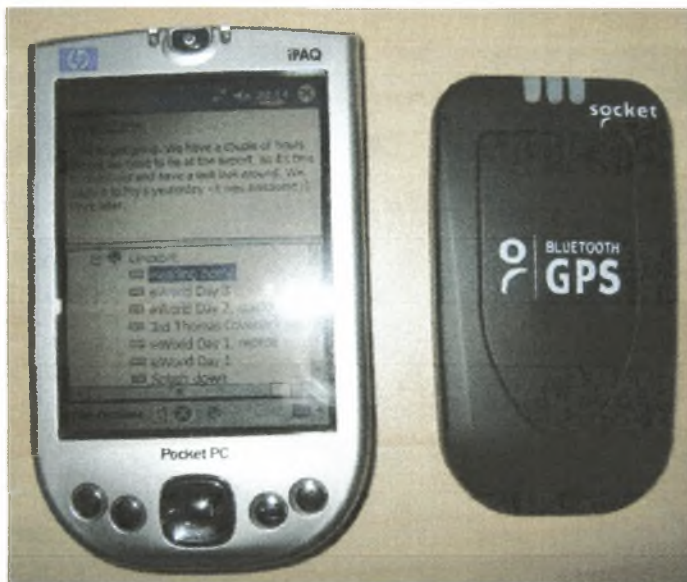
Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε σε εδάφη της ευρύτερης περιοχής του Αλμυρού Μαγνησίας από 11/5/2007 έως 31/5/2007. Η έκταση της υπό μελέτης περιοχής ήταν περίπου 150.000 στρέμματα. Για την πραγματοποίηση της χρησιμοποιήθηκε ορθοφωτοχάρτης της περιοχής (πηγή: Φλωράς Σ.) και εφαρμόστηκε η μέθοδος της 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 2.1. Δειγματολήπτης τύπου edelman

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



*Εικόνα 2.2 Συσκευή G.P.S. (Global Positioning System).*

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

Στη συνέχεια τα εδαφικά δείγματα μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο Εδαφολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βόλο όπου περίπου η μισή ποσότητα του κάθε εδαφικού δείγματος διατηρήθηκε στον καταψύκτη μέχρι να γίνει ο προσδιορισμός των νιτρικών και νιτρωδών ιόντων, ενώ η υπόλοιπη ποσότητα αφού αεροξηράνθηκε σε θερμοκρασία δωματίου για χρονικό διάστημα 10 ημερών και αφού διήλθε από κόσκινα (2mm) διατηρήθηκε σε πλαστικές σακούλες.

## 2.2 Εργαστηριακές αναλύσεις των εδαφικών δειγμάτων

### 2.2.1 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.

### 2.2.2 Προσδιορισμός της οργανικής ουσίας

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

**Όργανα - σκεύη**

- Κωνικές ευρύλαιμες φιάλες των 500mL
- Ζυγός ακριβείας δύο δεκαδικών ψηφίων
- Σιφώνια 20mL, 10mL, 1mL
- Προχοΐδα

**Αντιδραστήρια**

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

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

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

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

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

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

**Μέθοδος**

Ζυγίστηκαν 0,2-1,0g αεροξηραθέντος εδάφους, που είχε λειοτριβηθεί και κοσκινιστεί με κόσκινο (όχι μεταλλικό), διαμέτρου 0,5mm. Το δείγμα μεταφέρθηκε σε κωνική φιάλη των 500mL. Κατόπιν, προστέθηκαν 10mL διαλύματος  $K_2Cr_2O_7$  1N και ανακινήθηκε ελαφρά η φιάλη, έτσι ώστε να διασπαρθεί το δείγμα πλήρως στο διάλυμα. Στη συνέχεια, προστέθηκαν 20mL πυκνού  $H_2SO_4$ . Η φιάλη ανακινήθηκε για ένα λεπτό και αφέθηκε σε ηρεμία για 30 λεπτά της ώρας. Κατόπιν, προστέθηκαν 200mL αποσταγμένου νερού, 10mL  $H_3PO_4$  και 1mL δείκτη ο-φαινανθρολίνης. Τελικά, ογκομετρήθηκε η περίσσεια του  $K_2Cr_2O_7$  με το διάλυμα  $FeSO_4$  μέχρις αλλαγής του χρώματος του δείκτη από μπλε σε κόκκινο. Παράλληλα,

πραγματοποιήθηκε και ο τυφλός προσδιορισμός της κανονικότητας του πρότυπου τιτλοδότη,  $\text{FeSO}_4$  0,5N. Όταν γίνονταν αναγωγή από τον οργανικό άνθρακα περισσότερο από 75% των ιόντων  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ , τότε ο προσδιορισμός επαναλαμβάνονταν χρησιμοποιώντας μικρότερη ποσότητα εδαφικού δείγματος.

### Υπολογισμοί

Ο οργανικός άνθρακας υπολογίστηκε από τον τύπο :

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

όπου : meq  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  είναι ίσα με τα meq  $\text{FeSO}_4$  που καταναλώνονται για τον τυφλό προσδιορισμό, meq  $\text{FeSO}_4$  είναι τα mL του τιτλοδότη που καταναλώθηκαν για το δείγμα επί την κανονικότητα του διαλύματος και f είναι συντελεστής διόρθωσης που έχει τιμή 1,3.

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

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

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

### 2.2.3 Προσδιορισμός της μηχανικής σύστασης του εδάφους.

Χρησιμοποιείται η μέθοδος κοκκομετρικής ανάλυσης με το υδρόμετρο του Βουγιούκου. Τα εδαφικά δείγματα διέρχονται αρχικά από κόσκινο διαμέτρου 2mm.

### Μέθοδος

Ζυγίζονται 50g ξηρού εδάφους σε ποτήρι βρασμού των 600mL και προτίθενται 50mL διασπορικού διαλύματος του 6-μεταφοσφορικού νατρίου. Μετά από 2 ώρες προστίθεται απιονισμένο ύδωρ μέχρι τα 500mL. Ακολουθεί ανάδευση με μια ράβδο



και το δείγμα παραμένει για 24 ώρες, σε σταθερές συνθήκες, για να ολοκληρωθεί η διασπορά. Στη συνέχεια, το δείγμα μεταφέρεται στο μηχανικό αναδευτήρα για καλύτερη διασπορά. Η διάρκεια της ανάδευσης είναι 15 λεπτά της ώρας για τα ελαφριά έως μέτριας σύστασης εδάφη ή 30 λεπτά της ώρας για τα βαριά αργιλώδη εδάφη.

Το δείγμα μεταφέρεται από τον μηχανικό αναδευτήρα στο γυάλινο κύλινδρο Βουγιούκου ύψους 47cm, στον οποίο έχουν είδη προστεθεί μικρή ποσότητα ύδατος. Τοποθετείται κατόπιν το πυκνόμετρο και ο κύλινδρος συμπληρώνεται με απιονισμένο ύδωρ μέχρι την χαραγή των 1130 mL.

Το αιώρημα αναδεύεται με χειροκίνητο αναδευτήρα 20 φορές με δυνατές, παλινδρομικές κατά τον άξονα του κυλίνδρου κινήσεις, μέχρι να ομογενοποιηθεί το αιώρημα.

Αμέσως, μετά σημειώνεται η πρώτη μέτρηση του πυκνομέτρου και του θερμομέτρου. Το αιώρημα παραμένει σε ηρεμία και η δεύτερη μέτρηση σημειώνεται μετά από δύο ώρες.

Αν η A είναι η πρώτη ένδειξη μετά από 40 δευτερόλεπτα και B η δεύτερη ένδειξη μετά από δύο ώρες τότε:

$$A = (\text{Ιλύς} + \text{Άργιλος}) \%$$

$$B = \text{Άργιλος} \%$$

$$\text{Άρα } A - B = \text{Ιλύς} \% \text{ και } 100 - A = \text{Άμμος} \%$$

### Υπολογισμοί

A) Προσδιορισμός του ποσοστού % της άμμου

$$\% \text{άμμου} = 100 - 2 (A \pm \Delta_1)$$

όπου A = πρώτη ανάγνωση πυκνομέτρου

$\Delta_1$  = συντελεστής διόρθωσης της πρώτης ανάγνωσης του πυκνομέτρου που αντιστοιχεί στη θερμοκρασία της πρώτης θερμομέτρησης και λαμβάνεται από ειδικό πίνακα.

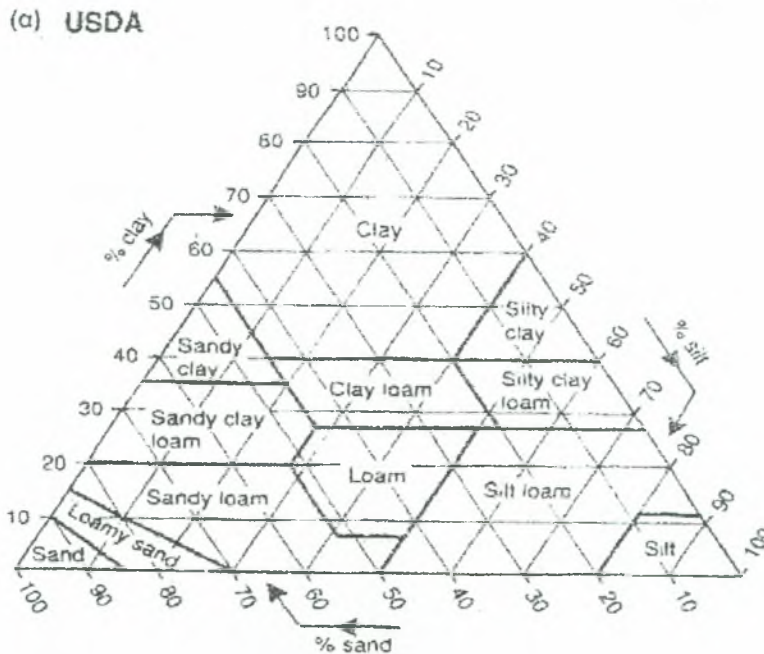
B) Προσδιορισμός του ποσοστού % της αργίλου

$$\% \text{αργίλου} = 100 - 2 (B \pm \Delta_2)$$

όπου B = δεύτερη ανάγνωση πυκνομέτρου

$\Delta_2$  = συντελεστής διόρθωσης της δεύτερης ανάγνωσης του πυκνομέτρου που αντιστοιχεί στη θερμοκρασία της πρώτης θερμομέτρησης και λαμβάνεται από ειδικό πίνακα.

Γ) Η Ίλως υπολογίζεται, αν αφαιρεθεί το άθροισμα των ποσοστών άμμου και αργίλου από το 100. Ο τύπος του εδάφους προσδιορίζεται από το τριγωνικό διάγραμμα μηχανικής σύστασης των εδαφών κατά USDA.



#### 2.2.4 Προσδιορισμός της συγκέντρωσης των νιτρικών και νιτρωδών ιόντων

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

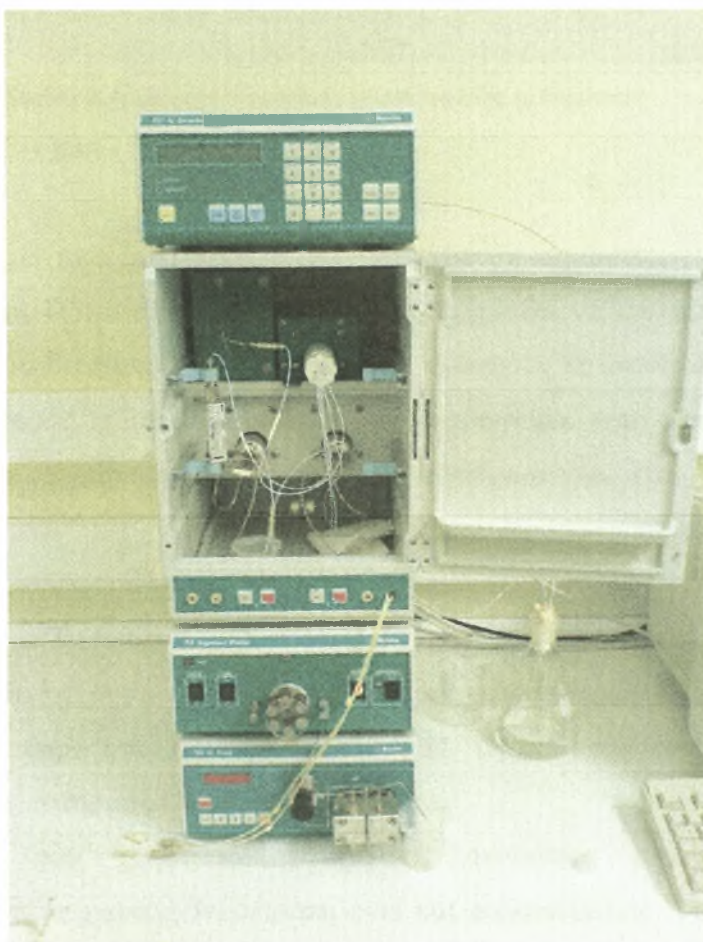
Το όργανο είναι του κατασκευαστικού οίκου της Metrohm (Εικόνα 2.3) και αποτελείται από δύο κύρια μέρη. Το πρώτο μέρος είναι το κύριο όργανο ενώ το δεύτερο είναι ο ηλεκτρονικός υπολογιστής με το απαραίτητο λογισμικό πρόγραμμα. Το κύριο μέρος αποτελείται από τρία κομμάτια

- 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 2.4).

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 2.3. Το όργανο της ιοντικής χρωματογραφίας του Εργαστηρίου Εδαφολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.*



*Εικόνα 2.4. Συσκευή 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 ( $>18\text{M}\Omega\text{cm}$  στους  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) 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).

### 2.2.5 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 θειικού 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  $1000 \text{ mg L}^{-1}$  (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 4oC. 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.

## 2.2.6 Προσδιορισμός του ολικού αζώτου στο έδαφος με την μέθοδο Kjeldahl.

### Αρχή της μεθόδου

Η μέθοδος του προσδιορισμού του ολικού αζώτου % βασίζεται στη διαδικασία υγρής πέψης – καύσης του αζώτου του εδάφους (ή των φυτικών ιστών των σπόρων, των τροφίμων) και τη μετατροπή του σε άμμωνιο ( $\text{NH}_4^-$ ) με την κατεργασία πυκνού  $\text{H}_2\text{SO}_4$  σε υψηλές θερμοκρασίες. Η παραγόμενη  $\text{NH}_3$  με απόσταξη μετά τη δέσμευση της με βορικό οξύ προσδιορίζεται με τιτλοδότηση  $\text{HCl}$ .

Τα στίδια υγρής καύσης – απόσταξης, ροής – τιτλοδότησης παρουσιάζονται με τις ακόλουθες χημικές αντιδράσεις:

### Λειτουργία της συσκευής Kjeldahl

Η συσκευή Kjeldahl αποτελείται από 3 κύρια μέρη:

- Τη μονάδα απόσταξης
- Το σύστημα υγρής καύσης πέψης
- Τη συσκευή τιτλοδότησης με 0,1 M  $\text{HCl}$ .

Η συσκευή είναι σε λειτουργία μετά τη ρύθμιση του συστήματος υγρής καύσης στους 420 οC και τη σταθεροποίηση της θερμοκρασίας στην αντίστοιχη φωτεινή ένδειξη. Η προετοιμασία του δείγματος στην υγρή καύση για έδαφος (μάζα δείγματος 0,49) ή μάζα φυτικού ιστού 0,2g γίνεται ξύραση των δειγμάτων σε ειδικό χαρτί (114οC για 24 ώρες).

Στη συνέχεια με τον φωτινό διακόπτη, ανοίγεται η μονάδα απόσταξης και ρυθμίζεται η λειτουργία της ανάλογα με την εκτίμηση της ποσότητας του ολικού αζώτου που περιέχει το δείγμα (έδαφος, φυτικοί ιστοί, σπόροι, τρόφιμα κ.α.) Για την μέτρηση του ολικού αζώτου (%) σε δείγματα εδάφους ή φυτικών ιστών ρυθμίζονται οι ενδείξεις στην μονάδα απόσταξης.

Οι ενδείξεις του πίνακα της συσκευής αποσταξης αλλάζουν ανάλογα με το είδος των δειγμάτων για ανάλυση.

### Μέθοδος

#### Αντιδραστήρια και όργανα

*Διάλυμα NaOH 40% (W/V).* Διαλύονται 400 g στερεού NaOH σε ένα λίτρο

αποσταγμένου ύδατος με συνεχή ανάδευση. Προσοχή, η αντίδραση είναι εξώθερμη και παράγεται ενέργεια, για το λόγο αυτό πρέπει να λαμβάνονται όλα τα απαραίτητα μέτρα προστασίας.

*Διάλυμα πυκνού  $H_2SO_4$  (περίπου 98% WN)*

*Διάλυμα HCl, 0,1 M.* Το διάλυμα παρασκευάζεται ως εξής: Επειδή  $1\text{mol HCl} = 36,5\text{ g}$  και το HCl έχει πυκνότητα  $d=1,19\text{ g mL}^{-1}$  και συγκέντρωση 37%, τα  $(3,65 \times 100)/37=9,865\text{ g HCl}$  που αντιστοιχούν σε  $9,865\text{ g}/1,19\text{ g mL}^{-1} = 8,28\text{ mL HCl}$  του εμπορίου. Τα 8,28 mL HCl του εμπορίου διαλύονται σε 1L αποσταγμένου ύδατος.

*Δείκτης Methyl-red.* Διαλύονται 100 mg methyl-red σε 100 mL αιθανόλης 99% (WN).

*Δείκτης bromocresol-green.* Διαλύονται 100mg bromocresol-green 100 mL αιθανόλης 99% (WN)

*Καταλύτης Kje/dahl.* Ταμπλέτες σεληνίου (Se)

*Διάλυμα Βορικού οξέος 4%.* Διαλύονται 40 g βορικού οξέος σε 100 mL αποσταγμένο ύδωρ. Η διάλυση του βορικού οξέος επιτυγχάνεται με βρασμό και στη συνέχεια το διάλυμα αραιώνεται μέχρι όγκου 900 mL. Το διάλυμα αυτό αφήνεται μέχρι να κρυώσει και στη συνέχεια προστίθεται 10 mL δείκτης bromocresol-green και 7 mL δείκτης methyl-red. Συμπληρώνεται μέχρι όγκου 1L με αποσταγμένο ύδωρ και το διάλυμα αυτό αναδεύεται προσεκτικά. Κατόπιν μεταφέρονται 25 mL διαλύματος βορικού οξέος σε κωνική φιάλη και προστίθεται 100 mL αποσταγμένο ύδωρ. Αν το διάλυμα αυτό είναι ακόμα κόκκινο τιτλοδοτείται με 0,1 M NaOH μέχρι να αποκτήσει ουδέτερο γκρι χρώμα. Ο υπολογισμός της ποσότητας του 1 M NaOH για τη ρύθμιση του διαλύματος του βορικού οξέος 4% σε 1L γίνεται ως εξής:

$$mL\ 1,0\ M\ NaOH = mL\ 0,1\ M\ NaOH\ \text{τιτλοδότησης} * 4$$

Την ποσότητα του 1 M NaOH όπως υπολογίστηκε, προστίθεται στο διάλυμα του βορικού οξέος και αναμιγνύεται καλά.

*Συσκευή Kje/dahl/*

### Μέθοδος

#### Υγρή καύση-πέψη

Μετά την προετοιμασία των εδαφικών δειγμάτων (αεροζήρανση), δείγμα εδάφους μάζας 0,29 «2mm) τοποθετείται στον ειδικό σωλήνα πέψης (Kjeldahl) της υγρής καύσης με μια ταμπλέτα σεληνίου. Στη συνέχεια στο σωλήνα προστίθενται 7 mL πυκνού  $H_2SO_4$  και αναδεύεται με προσοχή το περιεχόμενο. Οι σωλήνες πέψης

τοποθετούνται στο σύστημα απαγωγής και ανοίγεται η μέγιστη ροή του αέρα για να γίνει η καύση με έντονο ρυθμό. Κατόπιν το σύστημα απαγωγής με τους σωλήνες της υγρής καύσης-πέψης τοποθετείται στην συσκευή που έχει προθερμανθεί στους 420 °C.

Η πέψη συνεχίζεται για 3-4 min με τη μέγιστη ροή απαγωγής και στη συνέχεια ρυθμίζεται η απαγωγή ώστε να περιέχονται ελάχιστοι καπνοί οι προερχόμενοι από την καύση του δείγματος με πυκνό H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, για να ελεγχθεί η καύση. Προσοχή, οι σωλήνες Kjeldahl να βρίσκονται σε επαφή με τις υποδοχές θέρμανσης. Η υγρή καύση συνεχίζεται για 20-45 min μέχρις ότου το υγρό γίνει διαυγές. Αφαιρείται το σύστημα απαγωγής και οι σωλήνες τοποθετούνται στην ειδική βάση (stand) για ψύξη πλησίον της συσκευής πέψης. Μετά τη ψύξη των σωλήνων πέψης προστίθενται σε κάθε ένα σωλήνα 75mL χλιαρό αποσταγμένο ύδωρ και αναδεύεται καλά. Στην περίπτωση που το περιεχόμενο των σωλήνων Kjeldahl είναι πολύ θερμό και προστεθεί αποσταγμένο ύδωρ η αντίδραση θα είναι πολύ γρήγορη με αποτέλεσμα να χαθεί ποσότητα του υλικού του δείγματος με την εξαέρωση της αμμωνίας. Αντίθετα, στην περίπτωση που το περιεχόμενο των σωλήνων πέψης είναι πολύ ψυχρό, κατά την προσθήκη του αποσταγμένου ύδατος θα πραγματοποιηθεί καταβύθιση των αλάτων.

Τα άλατα αυτά, πρέπει να διαλυθούν και για το λόγο αυτό οι σωλήνες θερμαίνονται όταν τοποθετηθούν στις υποδοχές θέρμανσης για μικρό χρονικό διάστημα μέχρις ότου το διάλυμα γίνει διαυγές.

### Απόσταξη

Η συσκευή απόσταξης ρυθμίζεται αφού προστεθούν 25 mL διαλύματος βορικού οξέος 4% σε κάθε φιάλη υποδοχής της συσκευής απόσταξης. Η συσκευή απόσταξης είναι εφοδιασμένη με ειδικές μαγνητικές αντλίες εφοδιασμού του NaOH 40% (ALKALI) και αποσταγμένου ύδατος (water). Το πρόγραμμα της συσκευής απόσταξης ρυθμίζει τις ποσότητες του NaOH (ALKALI), το χρόνο απόσταξης (DELAY) και το χρόνο ατμού (STEAM). Οι σωλήνες που είναι στη βάση ψύξης (stand) μεταφέρονται στην ειδική βάση βρασμού για απόσταξη.

Η ίδια διαδικασία ακολουθείται και για το τυφλό ή λευκό (blank). Προσοχή, η πόρτα ασφαλείας να κλείνεται καλά κατά την έναρξη της απόσταξης που ολοκληρώνεται και σταματάει αυτόματα, απομακρύνονται οι σωλήνες πέψης από την υποδοχή βρασμού. Με το πέρας της απόσταξης η συσκευή απόσταξης καθαρίζεται με 75 mL αποσταγμένο ύδωρ στο σωλήνα Kjeldahl ακολουθώντας την ίδια διαδικασία.

### Τιτλοδότηση

Μετά την απόσταξη, το απόσταγμα τιτλοδοτείται με διάλυμα HCl 0,1 M στη συσκευή τιτλοδότησης (digitrate). Η ογκομέτρηση αρχίζει με το τυφλό (blank) και σημειώνονται τα mL του οξέος που καταναλώθηκαν για κάθε δείγμα για το μεταχρωματισμό από διαυγές πράσινο σε έντονο ερυθρό χρώμα (pink). Η ίδια διαδικασία ακολουθείται μετά την απόσταξη κάθε δείγματος όλων των σωλήνων Kjeldahl.

### Υπολογισμοί

Η ποσότητα του ολικού αζώτου(%) και των πρωτεϊνών υπολογίζεται ως εξής:

$$14,01 * \text{ml HCl για την ογκομέτρηση δείγματος} - 0,1 * \text{mL 0.1 M HCl τυφλού}$$

$$N = \text{gr δείγματος} * 10$$

$$\text{Πρωτεΐνες} = N\% * 6,25$$

## 2.3 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).

## 2.4 Εφαρμογή της τηλεπισκόπισης

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.

## 2.5 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 tics και τις συντεταγμένες. Ακολουθεί προσδιορισμός και διόρθωση τυχόν λαθών της ψηφιοποίησης. (Φλωράς Σ., 2004)

## 2.6 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.

## 2.7 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.

## 2.8 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.

## 2.9 ArcGIS Geostatistical Analyst

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

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

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

Η διερευνητική χωρική ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιεί τις γνωστές τιμές των δεδομένων για μια συγκεκριμένη περιοχή και αναλύει στατιστικά τα δεδομένα αυτά δημιουργώντας το ιστόγραμμα, την ανάλυση της τάσης των τιμών των

μεταβλητών, το γράφημα των Quartiles, τα γραφήματα της ημιπαραλλακτικότητας (semivariogram) και της παραλλακτικότητας (covariance).

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

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

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

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

Το geostatistical analyst παρέχει ένα αριθμό συγκεκριμένων μοντέλων για την επιλογή του καταλληλότερου. Αυτά τα μοντέλα είναι τα: Spherical, Circular, Tetraspherical, Pentaspherical, Exponential, Gaussian, Rational quadratic, Hole effect, K-Bessel, J-Bessel και Stable. Η επιλογή του μοντέλου επηρεάζει τη πρόβλεψη των αγνώστων τιμών, ιδιαίτερα όταν το σχήμα της καμπύλης διαφέρει σημαντικά. Κάθε μοντέλο είναι σχεδιασμένο ώστε να προσεγγίζει διαφορετικούς τύπους φαινομένων όσο το δυνατό καλύτερα.

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

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



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

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

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ- ΣΥΖΗΤΗΣΗ

### 3.1 Αποτελέσματα των αναλύσεων των εδαφικών δειγμάτων

#### Α. Αλμυρός Μαγνησίας

Τα αποτελέσματα των εδαφολογικών αναλύσεων που έγιναν στην περιοχή του Αλμυρού Μαγνησίας παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον πίνακα 3.1, όπου φαίνονται οι μέσες, ελάχιστες και μέγιστες τιμές για τις εδαφικές ιδιότητες pH, οργανική ουσία, νιτρώδη ιόντα, νιτρικά ιόντα, αμμωνιακά ιόντα, ολικό άζωτο.

*Πίνακας 3.1 Μέση , μέγιστη και ελάχιστη τιμή των εδαφικών δειγμάτων.*

|      | pH   | Οργανική ουσία (%) | NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/kg) | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/kg) | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/kg) | N (mg/kg) |
|------|------|--------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------|
| mean | 6,88 | 2,996              | 1,893                                | 23,5                                 | 2,2                                  | 35,88     |
| max  | 8,24 | 4,376              | 3,600                                | 44,5                                 | 3,5                                  | 67,08     |
| min  | 5,19 | 1,294              | 0,245                                | 13,4                                 | 1,0                                  | 18,99     |

Η τιμή του pH των δειγμάτων κυμάνθηκε από 5,19 ως 6,88. Τα εδάφη κατατάσσονται σε κατηγορίες με βάση την τιμή του pH (πίνακας 3.2).

*Πίνακας 3.2. Κατάταξη των εδαφών σε κατηγορίες ανάλογα με την τιμή του pH*

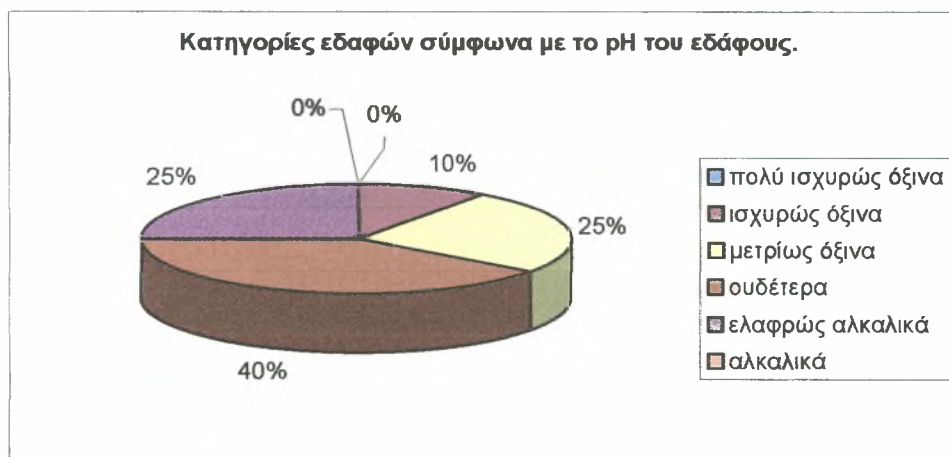
| Δείκτες Εδαφικού pH | Χαρακτηρισμός      |
|---------------------|--------------------|
| 4-5                 | Πολύ ισχυρώς όξινα |
| 5-5,8               | Ισχυρώς όξινα      |
| 5,8-6,5             | Μετρίως όξινα      |
| 6,5-7,5             | Ουδέτερα           |
| 7,5-8,5             | Ελαφρώς αλκαλικά   |
| >8,5                | Αλκαλικά           |

Το 10% των εδαφών βρέθηκαν να είναι ισχυρώς όξινα, το 25% μετρίως όξινα, το 40% ουδέτερα, το 40% ελαφρώς αλκαλικά ενώ δεν βρέθηκαν πολύ ισχυρώς όξινα και αλκαλικά εδάφη.

Η κατανομή των δειγμάτων σύμφωνα με την τιμή του εδαφικού PH εμφανίζεται στα γραφήματα 3.1 και 3.2.



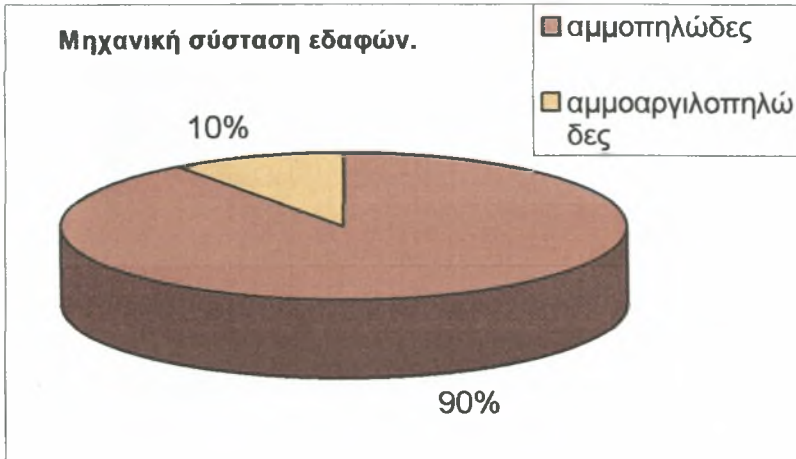
*Γράφημα 3.1 Κατάταξη των εδαφών της περιοχής του Αλμυρού σε κατηγορίες ανάλογα με την τιμή του pH.*



*Γράφημα 3.2 Κατάταξη εδαφών της περιοχής Αλμυρού Ν. Μαγνησίας σύμφωνα με το pH του εδάφους.*

Επίσης μετρήθηκε η μηχανική σύσταση των εδαφών και βρέθηκε ότι το 90% είναι αμμοπηλώδη και το 10% αργιλοπηλώδη.

Οι κατηγορίες των εδαφών σύμφωνα με την μηχανική τους σύσταση παρουσιάζονται στο γράφημα 3.3.



Γράφημα 3.3 Μηχανική σύσταση των εδαφών στην περιοχή του Αλμυρού Ν. Μαγνησίας.

Η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία των εδαφικών δειγμάτων κυμάνθηκε από 1,29 ως 4,38% με μέση τιμή 2,996%. Στον πίνακα 3.3 παρουσιάζονται σε κατηγορίες εδαφών με βάση τα ποσοστά σε οργανική ουσία.

Πίνακας 3.3. Κατηγορίες εδαφών με βάση τα ποσοστά σε οργανική ουσία.

| Κατηγορίες  | Οργανική ουσία % |
|-------------|------------------|
| Πολύ υψηλή  | >6               |
| Υψηλή       | 4,2-6            |
| Μέση        | 2-4,2            |
| Χαμηλή      | 1-2              |
| Πολύ χαμηλή | 0-1              |

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα το 72% των εδαφικών δειγμάτων στην περιοχή του Αλμυρού Ν. Μαγνησίας χαρακτηρίζονται από χαμηλή οργανική ουσία, το 25% από μέση και το 3% από υψηλή οργανική ουσία. Δεν βρέθηκαν εδαφικά δείγματα με πολύ υψηλή ή πολύ χαμηλή οργανική ουσία.

Στα γραφήματα 3.4 και 3.5 παρουσιάζεται η κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων σύμφωνα με τα ποσοστά σε οργανική ουσία.



*Γράφημα 3.4. Κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αλμυρού σύμφωνα με την περιεκτικότητα σε οργανική ουσία.*



*Γράφημα 3.5. Κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αλμυρού σύμφωνα με την περιεκτικότητα σε οργανική ουσία.*

### **Νιτρικά, Νιτρώδη και Αμμωνιακά ιόντα**

Οι συγκεντρώσεις των νιτρωδών ιόντων στα εδαφικά δείγματα κυμάνθηκαν από 0,245 ως 3,6 mg/kg με μέση τιμή 1,893 mg/kg ξηρού εδάφους. Η κατάταξη των εδαφών με βάση τη διαθεσιμότητα σε νιτρώδη ιόντα παρατίθεται στον πίνακα 3.6.



**Πίνακας 3.4.** Δείκτες διαθεσιμότητας σε νιτρώδη ιόντα.

| Δείκτες | mg / kg ξ.ε. |
|---------|--------------|
| 0       | <1           |
| 1       | 1-1,5        |
| 2       | 1,51-2       |
| 3       | 2,01-2,5     |
| 4       | >2,51        |

Σύμφωνα με τον πίνακα 3.4 τα δείγματα με βάση την περιεκτικότητα σε νιτρώδη ιόντα κατατάσσονται ως εξής: το 13% με δείκτη 0, το 15% με δείκτη 1, το 29% με δείκτη 2, το 25% με δείκτη 3 και το 18% των εδαφικών δειγμάτων με δείκτη 4. Στα γραφήματα 3.6 και 3.7 φαίνονται τα ποσοστά και η κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων με βάση την περιεκτικότητά τους σε νιτρώδη ιόντα.



**Γράφημα 3.6.** Ποσοστά των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αλμυρού με βάση την περιεκτικότητα σε νιτρώδη ιόντα.



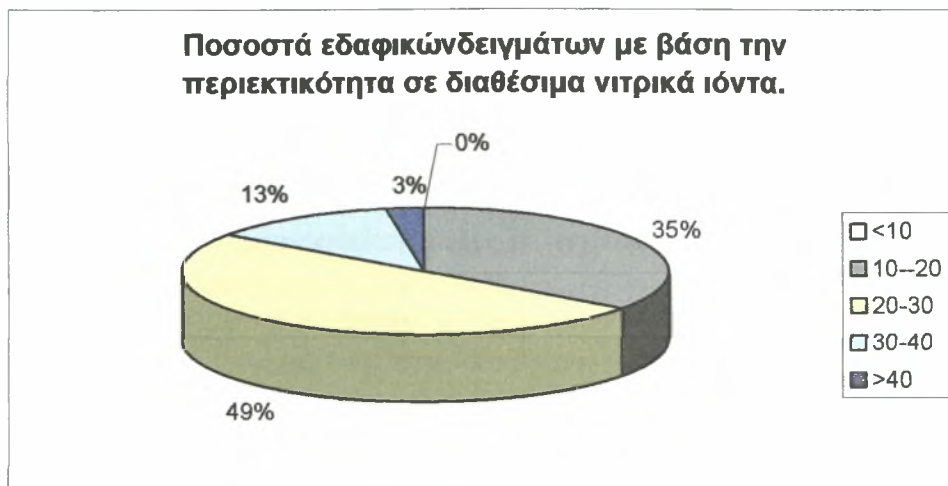
*Γράφημα 3.7. Κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αλμυρού με βάση την περιεκτικότητα σε νιτρώδη ιόντα.*

Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών ιόντων στα εδαφικά δείγματα κυμάνθηκαν από 13,4 ως 44,5 mg/kg με μέση τιμή 20,5 mg/kg ξηρού εδάφους. Η κατάταξη των εδαφών με βάση τη διαθεσιμότητα σε νιτρικά ιόντα παρατίθεται στον πίνακα 3.5.

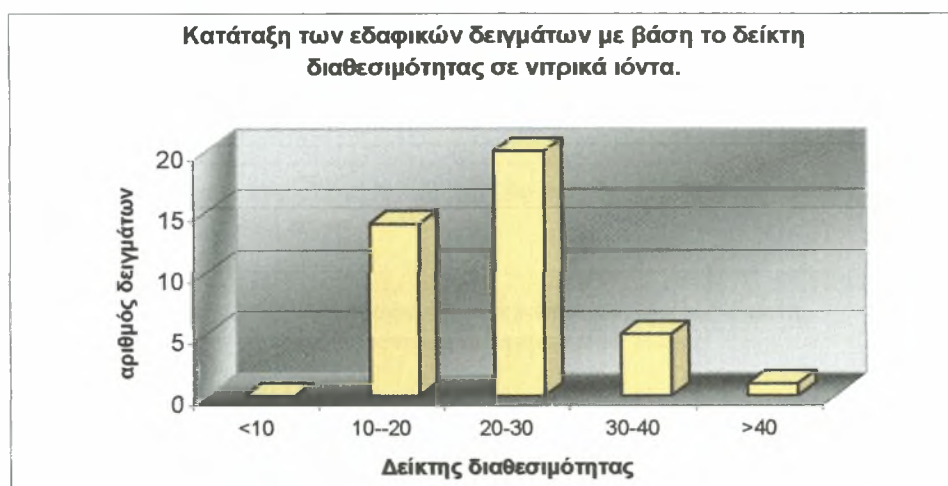
*Πίνακας 3.5. Δείκτες διαθεσιμότητας σε νιτρικά ιόντα.*

| Δείκτες | mg / kg ξ.ε. |
|---------|--------------|
| 0       | <10          |
| 1       | 10-20        |
| 2       | 20-30        |
| 3       | 30-40        |
| 4       | >40          |

Σύμφωνα με τον πίνακα 3.5 τα δείγματα με βάση την περιεκτικότητα σε νιτρικά ιόντα κατατάσσονται ως εξής: το 0% με δείκτη 0, το 35% με δείκτη 1, το 49% με δείκτη 2, το 13% με δείκτη 3 και το 3% των εδαφικών δειγμάτων με δείκτη 4. Στα γραφήματα 3.8 και 3.9 φαίνονται τα ποσοστά και η κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων με βάση την περιεκτικότητά τους σε νιτρικά ιόντα.



Γράφημα 3.8. Ποσοστά των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αλμυρού με βάση την περιεκτικότητα σε νιτρικά ιόντα.



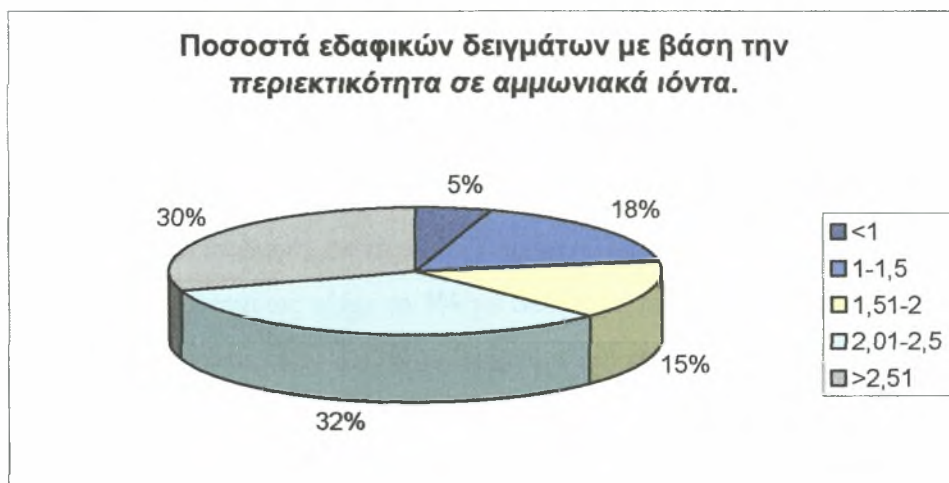
Γράφημα 3.9. Κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αλμυρού με βάση την περιεκτικότητα σε νιτρικά ιόντα.

Οι συγκεντρώσεις των αμμωνιακών ιόντων στα εδαφικά δείγματα κυμάνθηκαν από 1,0 ως 3,5 mg/kg με μέση τιμή 2,2 mg/kg ξηρού εδάφους. Η κατάταξη των εδαφών με βάση τη διαθεσιμότητα σε αμμωνιακά ιόντα παρατίθεται στον πίνακα 3.6.

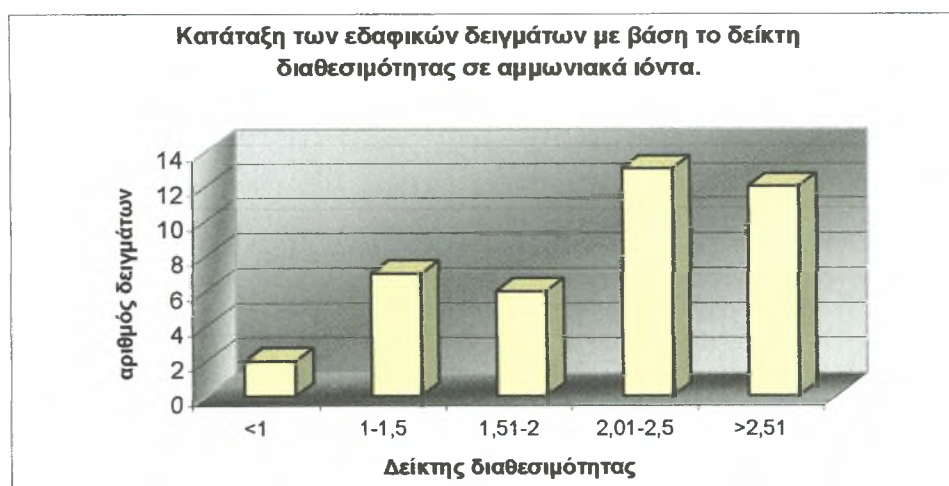
Πίνακας 3.6. Δείκτες διαθεσιμότητας σε αμμωνιακά ιόντα.

| Δείκτες | mg / kg ξ.ε. |
|---------|--------------|
| 0       | <1           |
| 1       | 1-1,5        |
| 2       | 1,51-2       |
| 3       | 2,01-2,5     |
| 4       | >2,51        |

Σύμφωνα με τον πίνακα 3.6 τα δείγματα με βάση την περιεκτικότητα σε αμμωνιακά ιόντα κατατάσσονται ως εξής: το 5% με δείκτη 0, το 18% με δείκτη 1, το 15% με δείκτη 2, το 32% με δείκτη 3 και το 30% των εδαφικών δειγμάτων με δείκτη 4. Στα γραφήματα 3.10 και 3.11 φαίνονται τα ποσοστά και η κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων με βάση την περιεκτικότητά τους σε αμμωνιακά ιόντα.



*Γράφημα 3.10. Ποσοστά των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αλμυρού με βάση την περιεκτικότητα σε αμμωνιακά ιόντα.*



*Γράφημα 3.11. Κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αλμυρού με βάση την περιεκτικότητά σε αμμωνιακά ιόντα.*

### Ολικό Άζωτο.

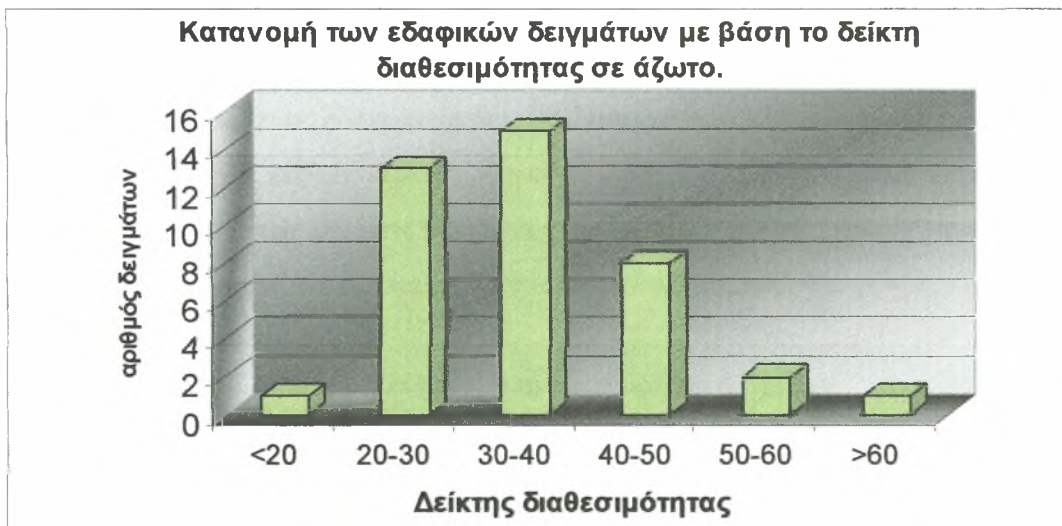
Η συγκέντρωση του ολικού αζώτου στα εδαφικά δείγματα κυμάνθηκε από 18,99 ως 67,08 mg/kg ξηρού εδάφους με μέση τιμή 35,88 mg/kg. Η κατάταξη των εδαφών με βάση το ολικό άζωτο παρατίθεται στον πίνακα 3.7.

Πίνακας 3.7 Δείκτες διαθεσιμότητας εδαφικού αζώτου.

| Δείκτες | mg / kg ξ.ε. |
|---------|--------------|
| 0       | <20          |
| 1       | 20-30        |
| 2       | 30-40        |
| 3       | 40-50        |
| 4       | 50-60        |
| 5       | >60          |

Με βάση την περιεκτικότητα σε ολικό άζωτο τα εδαφικά δείγματα της περιοχής του Αλμυρού κατατάσσονται ως εξής: το 3% με δείκτη 0, το 32% με δείκτη 1, το 37% με δείκτη 2, το 20% με δείκτη 3, το 5% με δείκτη 4 και το 3% των δειγμάτων με δείκτη 5.

Στα γραφήματα 3.12 και 3.13 φαίνονται τα ποσοστά και η κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων με βάση την περιεκτικότητα σε ολικό άζωτο.



Γράφημα 3.12. Κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αλμυρού με βάση την περιεκτικότητα σε ολικό άζωτο.





Γράφημα 3.13. Ποσοστά των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αλμυρού με βάση την περιεκτικότητα σε ολικό άζωτο.

## Β. Αερινό Μαγνησίας

Τα αποτελέσματα των εδαφολογικών αναλύσεων που έγιναν στην περιοχή του Αερινού Μαγνησίας παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον πίνακα 3.8, όπου φαίνονται οι μέσες, ελάχιστες και μέγιστες τιμές για τις εδαφικές ιδιότητες pH, οργανική ουσία, νιτρώδη ιόντα, νιτρικά ιόντα, αμμωνιακά ιόντα, ολικό άζωτο.

Πίνακας 3.8 Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των εδαφικών δειγμάτων.

|      | pH   | Οργανική ουσία (%) | NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/kg) | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/kg) | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/kg) | N (mg/kg) |
|------|------|--------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------|
| mean | 8,33 | 1,54               | 1,95                                 | 26,33                                | 1,83                                 | 39,14     |
| max  | 8,62 | 4,11               | 3,70                                 | 36,56                                | 3,60                                 | 57,02     |
| min  | 8,07 | 1,10               | 0,56                                 | 19,65                                | 0,25                                 | 26,59     |

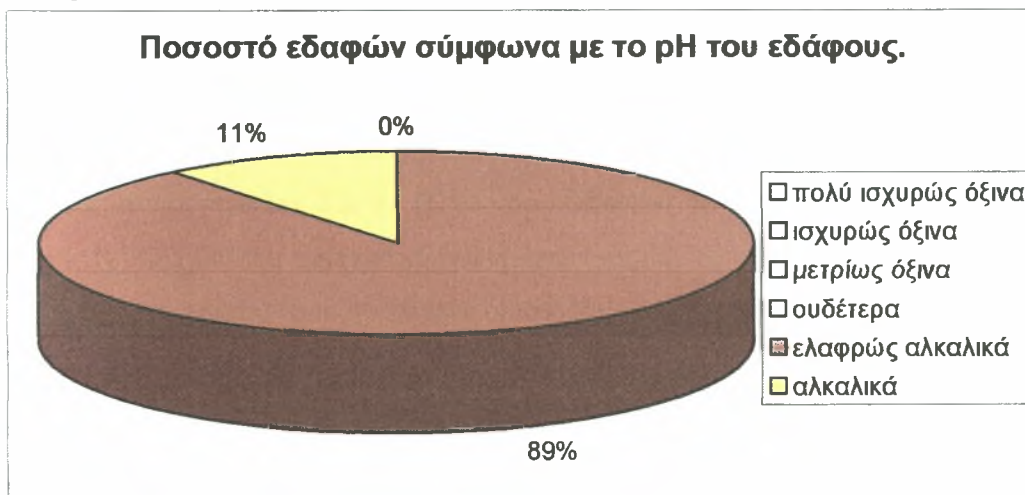
Η τιμή του pH των δειγμάτων κυμάνθηκε από 8,07 ως 8,62 με μέση τιμή 8,33. Τα εδάφη κατατάσσονται σε κατηγορίες με βάση την τιμή του pH (πίνακας 3.2).

Το 89% των εδαφών είναι ελαφρώς αλκαλικά και το 11% των εδαφών είναι αλκαλικά.

Η κατανομή των δειγμάτων σύμφωνα με την τιμή του εδαφικού PH εμφανίζεται στα γραφήματα 3.14 και 3.15.



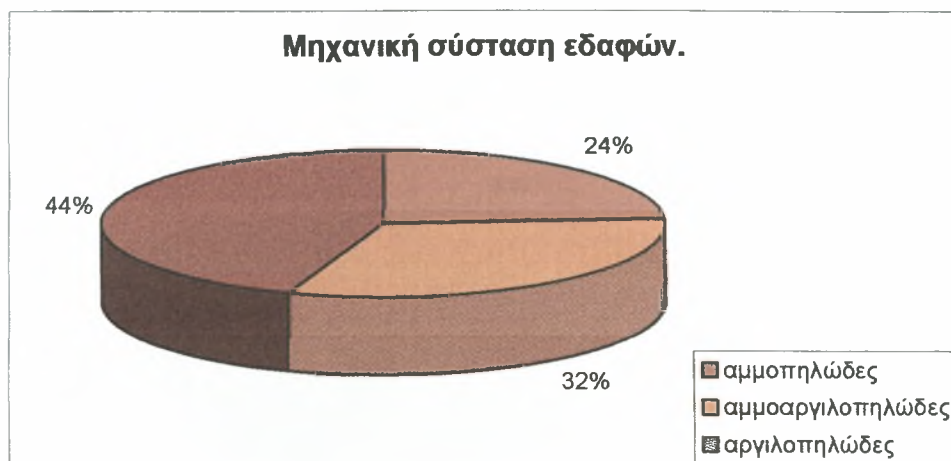
*Γράφημα 3.14 Κατάταξη των εδαφών της περιοχής του Αερινού σε κατηγορίες ανάλογα με την τιμή του pH.*



*Γράφημα 3.15. Κατάταξη εδαφών της περιοχής Αλμυρού Ν. Μαγνησίας σύμφωνα με το pH του εδάφους.*

Επίσης μετρήθηκε η μηχανική σύσταση των εδαφών και βρέθηκε ότι το 24% είναι αμμοπηλώδη και το 44% αργιλοπηλώδη και το 32% είναι αμμοαργιλοπηλώδη.

Οι κατηγορίες των εδαφών σύμφωνα με την μηχανική τους σύσταση παρουσιάζονται στο γράφημα 3.16.



*Γράφημα 3.16 Μηχανική σύσταση των εδαφών στην περιοχή του Αερινού Ν. Μαγνησίας*

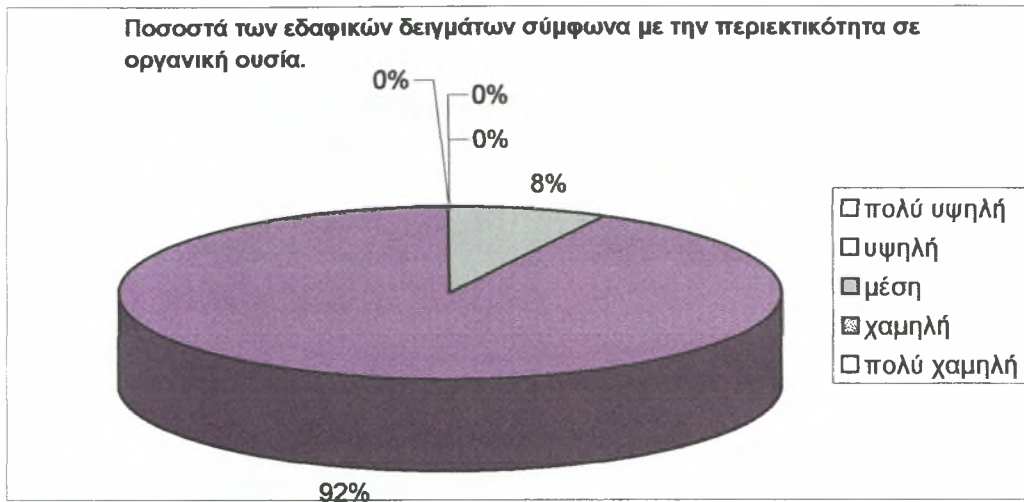
Η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία των εδαφικών δειγμάτων κυμάνθηκε από 1,10 ως 4,11% με μέση τιμή 1,54%. Στον πίνακα 3.3 παρουσιάζονται σε κατηγορίες εδαφών με βάση τα ποσοστά σε οργανική ουσία.

Σύμφωνα με τον πίνακα 3.3 το 92% των εδαφικών δειγμάτων στην περιοχή του Αερινού Ν. Μαγνησίας χαρακτηρίζονται από χαμηλή οργανική ουσία, το 8% από μέση οργανική ουσία. Δεν βρέθηκαν εδαφικά δείγματα με πολύ υψηλή ή πολύ χαμηλή οργανική ουσία.

Στα γραφήματα 3.17 και 3.18 παρουσιάζεται η κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων σύμφωνα με τα ποσοστά σε οργανική ουσία.



*Γράφημα 3.17. Κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αερινού σύμφωνα με την περιεκτικότητά σε οργανική ουσία*



Γράφημα 3.18. Κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αερινού σύμφωνα με την περιεκτικότητα σε οργανική ουσία

**Νιτρικά, Νιτρώδη και Αμμωνιακά ιόντα**

Οι συγκεντρώσεις των νιτρώδων ιόντων στα εδαφικά δείγματα κυμάνθηκαν από 0,56 ως 3,70 mg/kg με μέση τιμή 1,95 mg/kg ξηρού εδάφους. Η κατάταξη των εδαφών με βάση τη διαθεσιμότητα σε νιτρώδη ιόντα παρατίθεται στον πίνακα 3.4.

Σύμφωνα με τον πίνακα 3.4 τα δείγματα με βάση την περιεκτικότητα σε νιτρώδη ιόντα κατατάσσονται ως εξής: το 5% με δείκτη 0, το 27% με δείκτη 1, το 25% με δείκτη 2, το 26% με δείκτη 3 και το 17% των εδαφικών δειγμάτων με δείκτη 4. Στα γραφήματα 3.19 και 3.20 φαίνονται τα ποσοστά και η κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων με βάση την περιεκτικότητά τους σε νιτρώδη ιόντα.



Γράφημα 3.19. Ποσοστά των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αλμυρού με βάση την περιεκτικότητά τους σε νιτρώδη ιόντα.

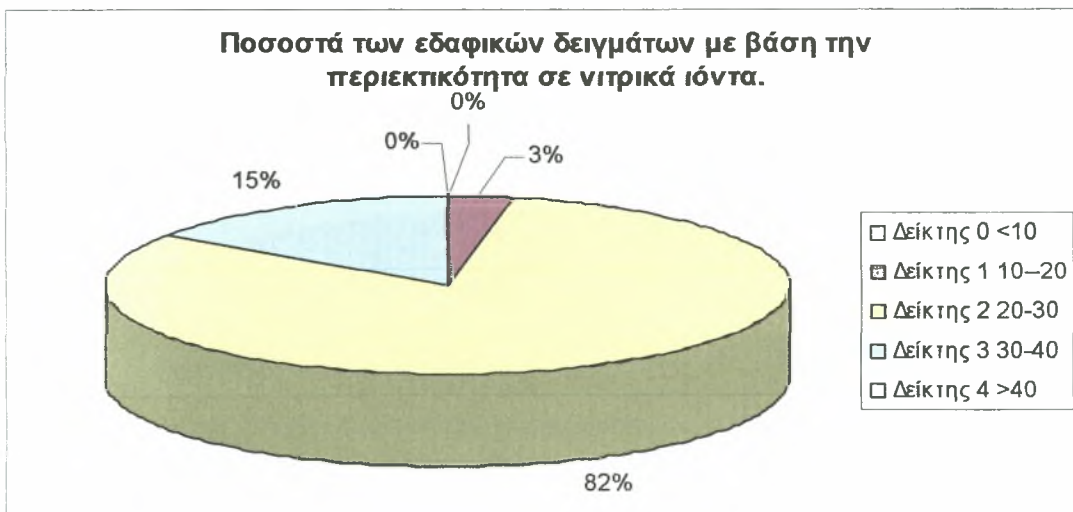




Γράφημα 3.20. Κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αερινού με βάση την περιεκτικότητα σε νιτρώδη ιόντα.

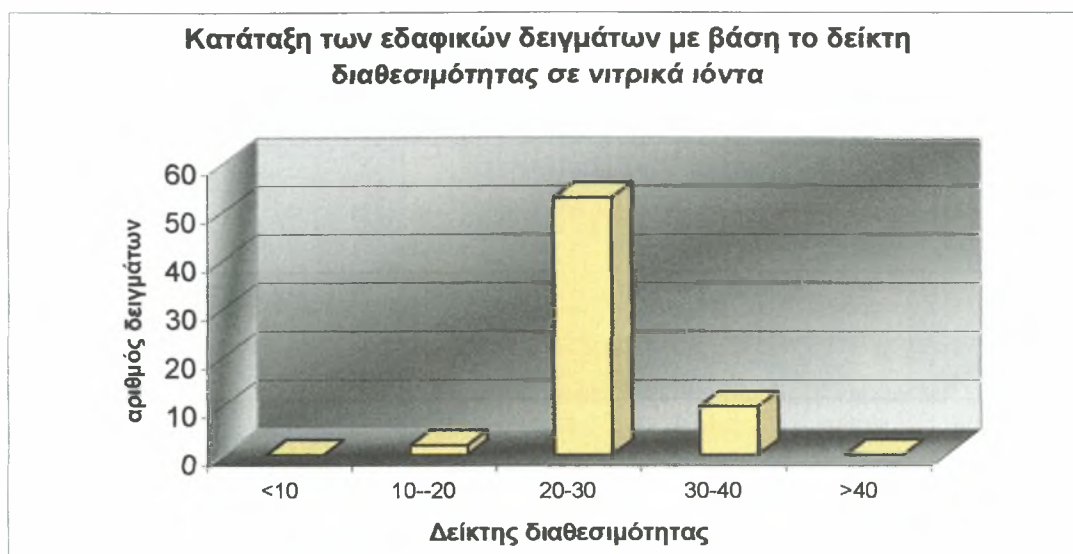
Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών ιόντων στα εδαφικά δείγματα κυμάνθηκαν από 19,65 ως 36,56 mg/kg με μέση τιμή 26,33 mg/kg ξηρού εδάφους. Η κατάταξη των εδαφών με βάση τη διαθεσιμότητα σε νιτρικά ιόντα παρατίθεται στον πίνακα 3.5.

Σύμφωνα με τον πίνακα 3.5 τα δείγματα με βάση την περιεκτικότητα σε νιτρικά ιόντα κατατάσσονται ως εξής: το 0% με δείκτη 0, το 3% με δείκτη 1, το 82% με δείκτη 2, το 15% με δείκτη 3 και το 0% των εδαφικών δειγμάτων με δείκτη 4. Στα γραφήματα 3.21 και 3.22 φαίνονται τα ποσοστά και η κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων με βάση την περιεκτικότητά τους σε νιτρικά ιόντα.



Γράφημα 3.21. Ποσοστά των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αερινού με βάση την περιεκτικότητά τους σε νιτρικά ιόντα



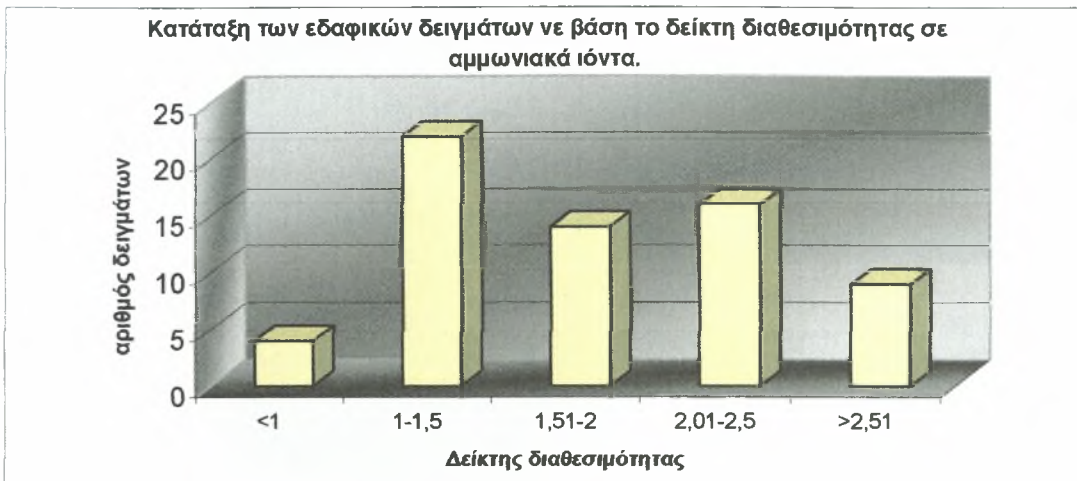


*Γράφημα 3.22. Κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αερινού με βάση την περιεκτικότητα σε νιτρικά ιόντα.*

Οι συγκεντρώσεις των αμμωνιακών ιόντων στα εδαφικά δείγματα κυμάνθηκαν από 0,25 ως 3,60 mg/kg με μέση τιμή 1,83 mg/kg ξηρού εδάφους. Η κατάταξη των εδαφών με βάση τη διαθεσιμότητα σε αμμωνιακά ιόντα παρατίθεται στον πίνακα 3.6. Σύμφωνα με τον πίνακα 3.6 τα δείγματα με βάση την περιεκτικότητα σε αμμωνιακά ιόντα κατατάσσονται ως εξής: το 6% με δείκτη 0, το 33% με δείκτη 1, το 22% με δείκτη 2, το 25% με δείκτη 3 και το 14% των εδαφικών δειγμάτων με δείκτη 4. Στα γραφήματα 3.23 και 3.24 φαίνονται τα ποσοστά και η κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων με βάση την περιεκτικότητά τους σε αμμωνιακά ιόντα.



*Γράφημα 3.23. Ποσοστά των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αερινού με βάση την περιεκτικότητά τους σε αμμωνιακά ιόντα.*



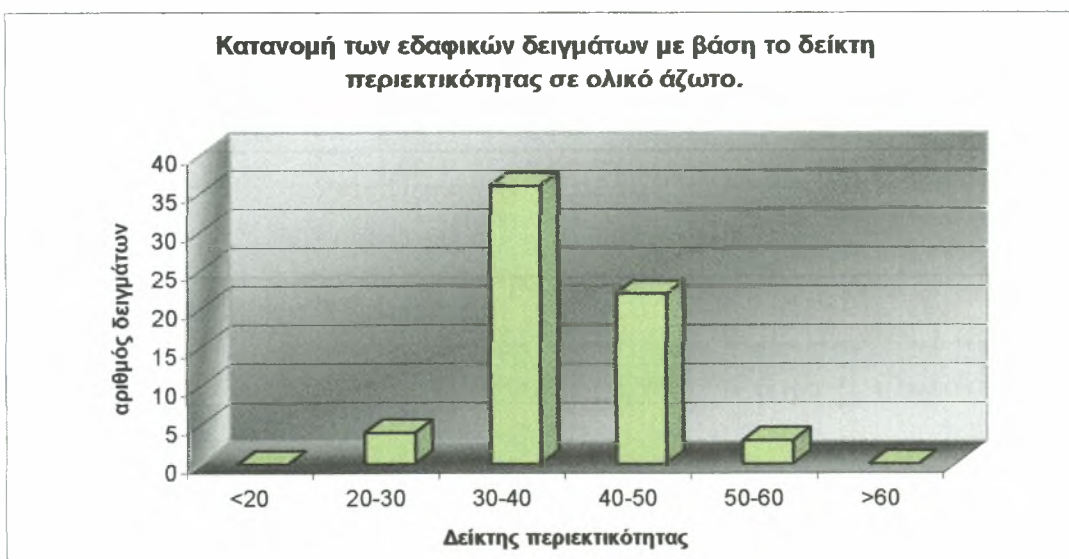
Γράφημα 3.24. Κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αερινού με βάση την περιεκτικότητα σε αμμωνιακά ιόντα.

### Ολικό Άζωτο.

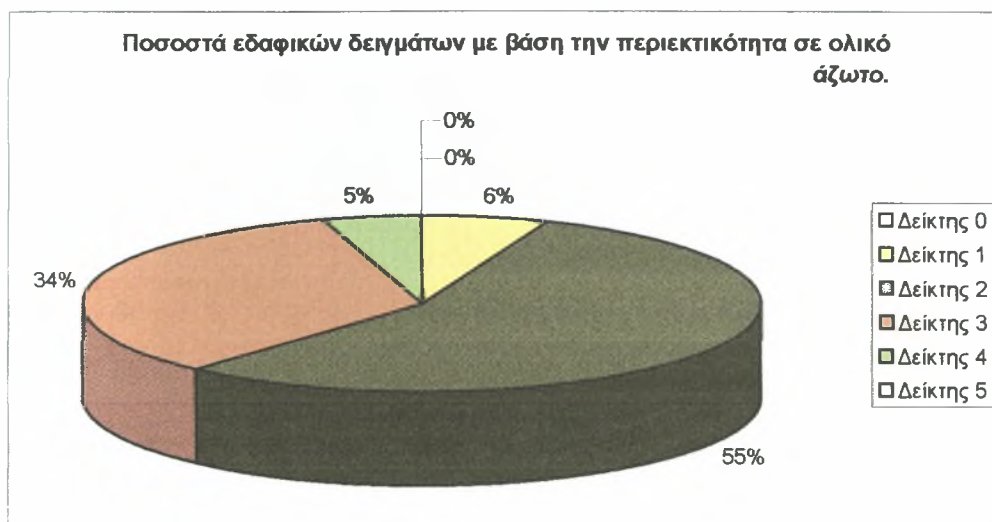
Η συγκέντρωση του ολικού αζώτου στα εδαφικά δείγματα κυμάνθηκε από 26,59 ως 57,02 mg/kg ξηρού εδάφους με μέση τιμή 39,14 mg/kg. Η κατάταξη των εδαφών με βάση το ολικό άζωτο παρατίθεται στον πίνακα 3.7.

Με βάση την περιεκτικότητα σε ολικό άζωτο τα εδαφικά δείγματα της περιοχής του Αερινού κατατάσσονται ως εξής: το 6% με δείκτη 1, το 55% με δείκτη 2, το 34% με δείκτη 3, το 5% με δείκτη 4 και το 0% των δειγμάτων με δείκτη 5.

Στα γραφήματα 3.25 και 3.26 φαίνονται τα ποσοστά και η κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων με βάση την περιεκτικότητα σε ολικό άζωτο.



Γράφημα 3.25. Κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αερινού με βάση την περιεκτικότητα σε ολικό άζωτο.



Γράφημα 3.26. Ποσοστά των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αερινού με βάση την περιεκτικότητα σε ολικό άζωτο.

### Γ. Άγιος Δημήτριος Μαγνησίας

Τα αποτελέσματα των εδαφολογικών αναλύσεων που έγιναν στην περιοχή του Αγίου Δημητρίου Ν.Μαγνησίας παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον πίνακα 3.12, όπου φαίνονται οι μέσες, ελάχιστες και μέγιστες τιμές για τις εδαφικές ιδιότητες pH, οργανική ουσία, νιτρώδη ιόντα, νιτρικά ιόντα, αμμωνιακά ιόντα, ολικό άζωτο.

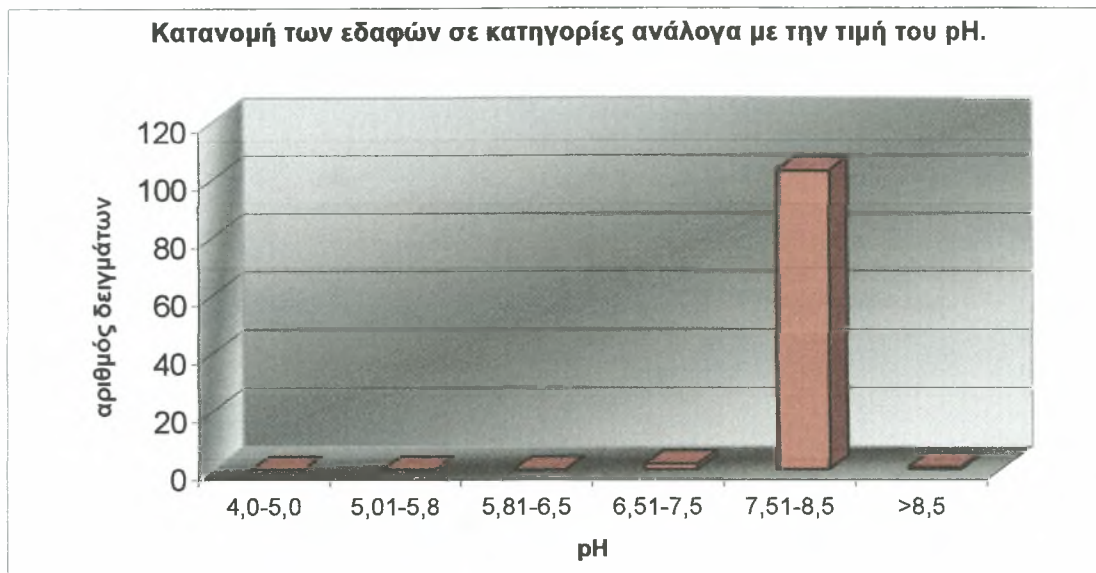
Πίνακας 3.9 Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των εδαφικών δειγμάτων

|      | pH   | Οργανική ουσία (%) | NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/kg) | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/kg) | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/kg) | N (mg/kg) |
|------|------|--------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------|
| mean | 8,03 | 1,93               | 2,14                                 | 28,42                                | 2,27                                 | 42,68     |
| max  | 8,56 | 2,20               | 4,13                                 | 40,12                                | 3,58                                 | 62,18     |
| min  | 7,45 | 1,55               | 0,85                                 | 12,50                                | 1,04                                 | 18,70     |

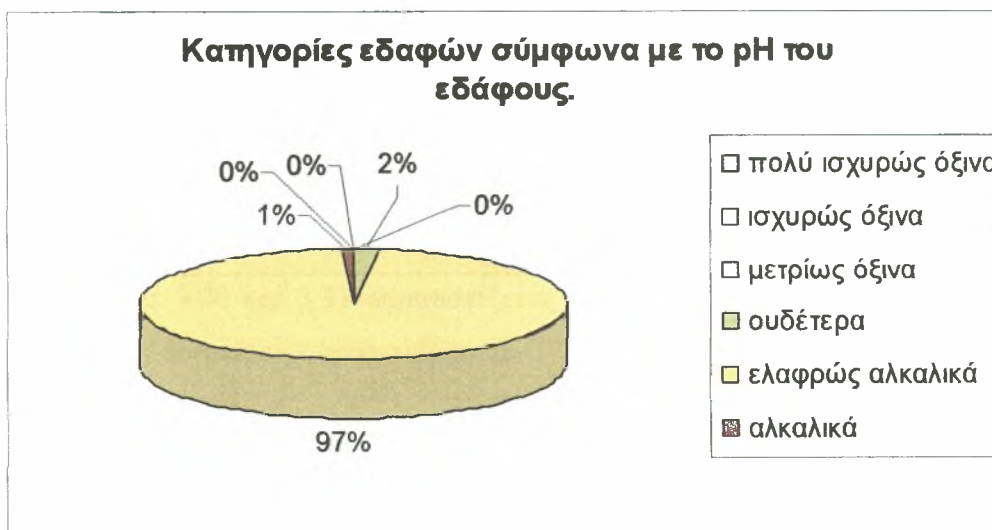
Η τιμή του pH των δειγμάτων κυμάνθηκε από 7,45 ως 8,56 με μέση τιμή 8,03. Τα εδάφη κατατάσσονται σε κατηγορίες με βάση την τιμή του pH (πίνακας 3.2).

Το 2% των εδαφών βρέθηκαν να είναι ουδέτερα, το 97% ελαφρώς αλκαλικά ενώ το 1% αλκαλικά εδάφη.

Η κατανομή των δειγμάτων σύμφωνα με την τιμή του εδαφικού PH εμφανίζεται στα γραφήματα 3.27 και 3.28.



Γράφημα 3.27 Κατάταξη των εδαφών της περιοχής του Αγ. Δημητρίου σε κατηγορίες ανάλογα με την τιμή του pH.

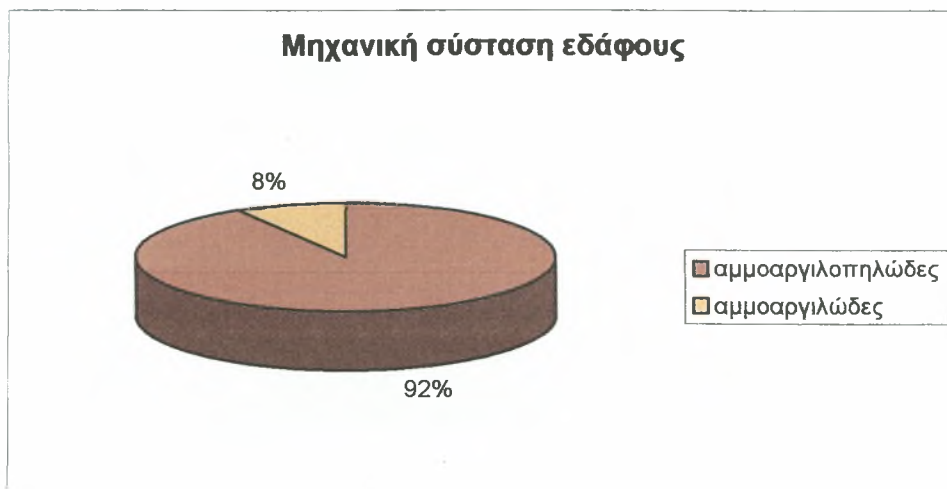


Γράφημα 3.28. Κατάταξη εδαφών της περιοχής Αγ. Δημητρίου Ν. Μαγνησίας σύμφωνα με το pH του εδάφους.

Επίσης μετρήθηκε η μηχανική σύσταση των εδαφών και βρέθηκε ότι το 92% είναι αμμοαργιλοπυλιώδες και το 8% αμμοαργιλώδες.

Οι κατηγορίες των εδαφών σύμφωνα με την μηχανική τους σύσταση παρουσιάζονται στο γράφημα 3.29.





Γράφημα 3.29 Μηχανική σύσταση των εδαφών στην περιοχή του Αγ. Δημητρίου Ν. Μαγνησίας.

Η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία των εδαφικών δειγμάτων κυμάνθηκε από 1,55 ως 4,13% με μέση τιμή 2,20%. Στον πίνακα 3.3 παρουσιάζονται σε κατηγορίες εδαφών με βάση τα ποσοστά σε οργανική ουσία.

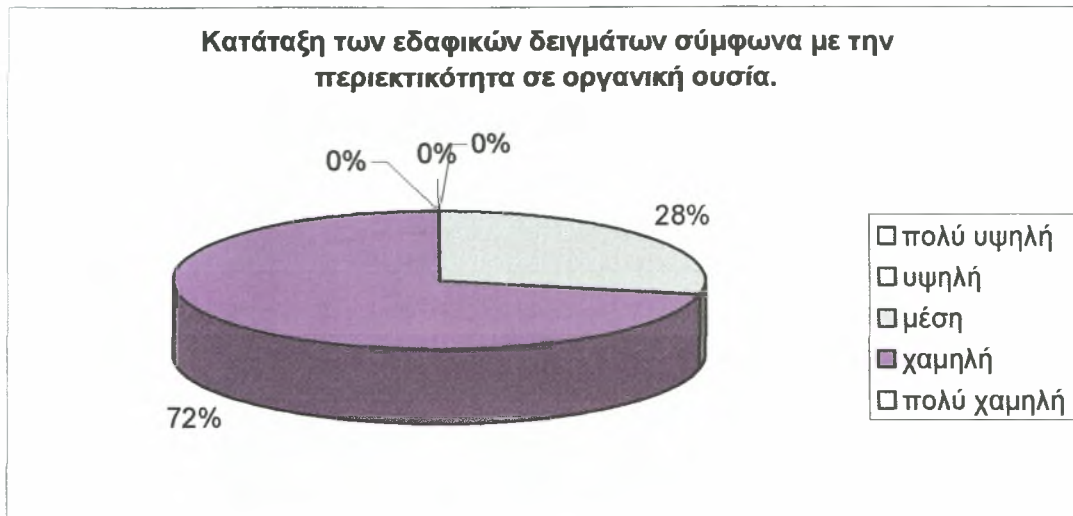
Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα το 28% των εδαφικών δειγμάτων στην περιοχή του Αγ. Δημητρίου Ν. Μαγνησίας χαρακτηρίζονται από μέση οργανική ουσία, και το 72% από υψηλή οργανική ουσία. Δεν βρέθηκαν εδαφικά δείγματα με πολύ υψηλή ή πολύ χαμηλή οργανική ουσία.

Στα γραφήματα 3.30 και 3.31 παρουσιάζεται η κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων σύμφωνα με τα ποσοστά σε οργανική ουσία.



Γράφημα 3.30. Κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αγ. Δημητρίου σύμφωνα με την περιεκτικότητα σε οργανική ουσία.





*Γράφημα 3.31. Κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αγ. Δημητρίου σύμφωνα με την περιεκτικότητα σε οργανική ουσία.*

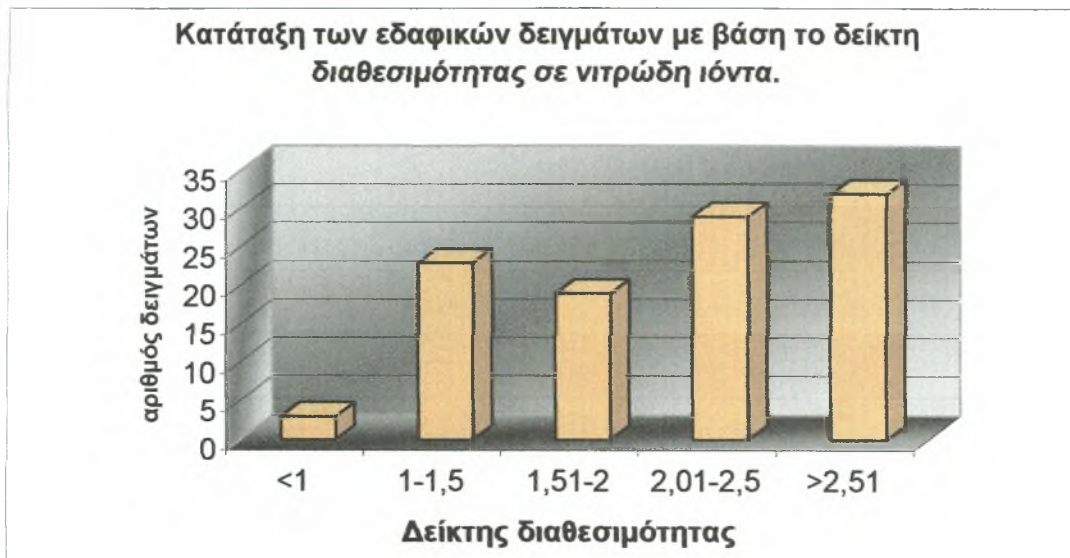
### Νιτρικά, Νιτρώδη και Αμμωνιακά ιόντα

Οι συγκεντρώσεις των νιτρώδων ιόντων στα εδαφικά δείγματα κυμάνθηκαν από 0,85 ως 4,13 mg/kg με μέση τιμή 2,14 mg/kg ξηρού εδάφους. Η κατάταξη των εδαφών με βάση τη διαθεσιμότητα σε νιτρώδη ιόντα παρατίθεται στον πίνακα 3.4.

Σύμφωνα με τον πίνακα 3.4 τα δείγματα με βάση την περιεκτικότητα σε νιτρώδη ιόντα κατατάσσονται ως εξής: το 13% με δείκτη 0, το 15% με δείκτη 1, το 29% με δείκτη 2, το 25% με δείκτη 3 και το 18% των εδαφικών δειγμάτων με δείκτη 4. Στα γραφήματα 3.32 και 3.33 φαίνονται τα ποσοστά και η κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων με βάση την περιεκτικότητά τους σε νιτρώδη ιόντα.



*Γράφημα 3.32. Ποσοστά των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αγ. Δημητρίου με βάση την περιεκτικότητά τους σε νιτρώδη ιόντα.*



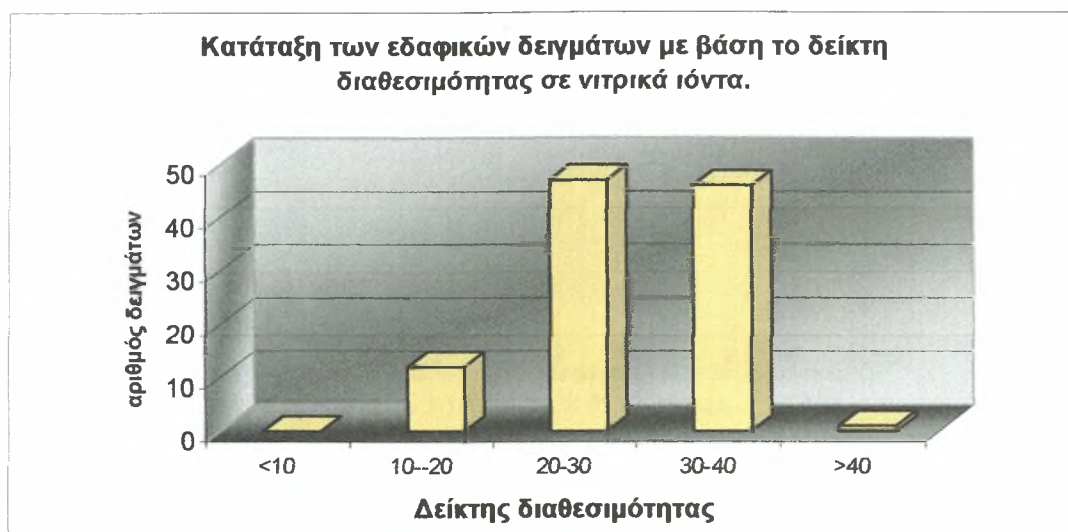
*Γράφημα 3.33. Κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αγ. Δημητρίου με βάση την περιεκτικότητα σε νιτρώδη ιόντα.*

Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών ιόντων στα εδαφικά δείγματα κυμάνθηκαν από 12,50 ως 40,12 mg/kg με μέση τιμή 28,42 mg/kg ξηρού εδάφους. Η κατάταξη των εδαφών με βάση τη διαθεσιμότητα σε νιτρικά ιόντα παρατίθεται στον πίνακα 3.5.

Σύμφωνα με τον πίνακα 3.5 τα δείγματα με βάση την περιεκτικότητα σε νιτρικά ιόντα κατατάσσονται ως εξής: το 1% με δείκτη 0, το 11% με δείκτη 1, το 45% με δείκτη 2, το 43% με δείκτη 3 και το 1% των εδαφικών δειγμάτων με δείκτη 4. Στα γραφήματα 3.34 και 3.35 φαίνονται τα ποσοστά και η κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων με βάση την περιεκτικότητά τους σε νιτρικά ιόντα.

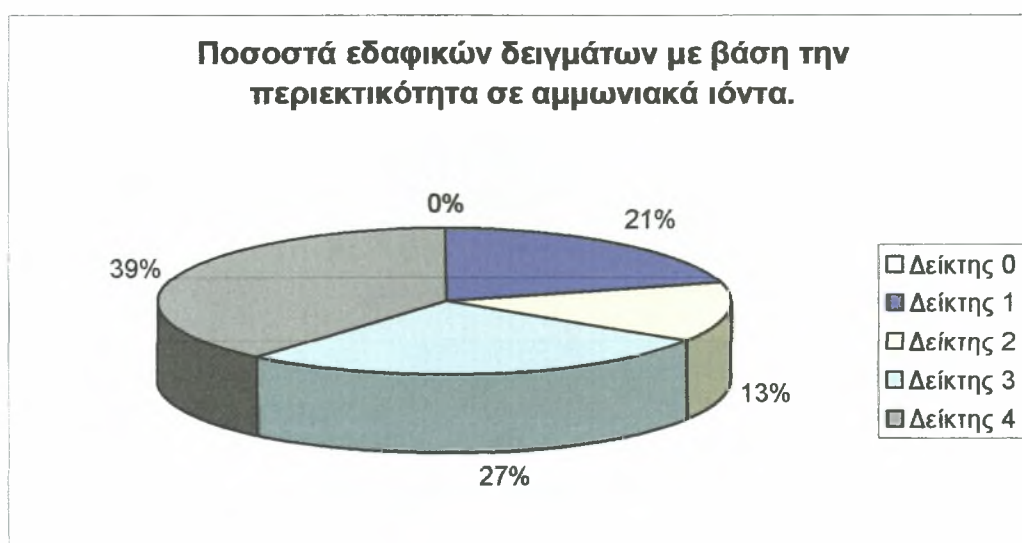


*Γράφημα 3.34. Ποσοστά των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αγ. Δημητρίου με βάση την περιεκτικότητά τους σε νιτρικά ιόντα.*

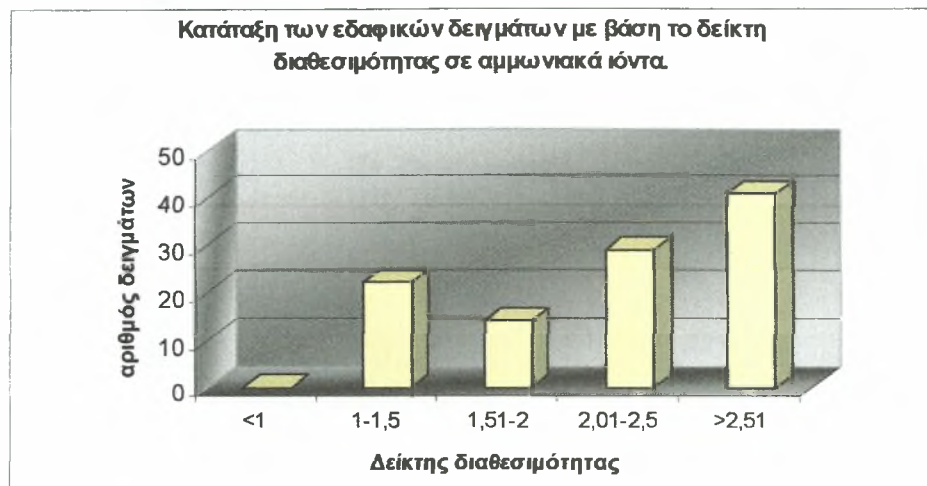


*Γράφημα 3.35. Κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αγ. Δημητρίου με βάση την περιεκτικότητα σε νιτρικά ιόντα.*

Οι συγκεντρώσεις των αμμωνιακών ιόντων στα εδαφικά δείγματα κυμάνθηκαν από 1,04 ως 3,58 mg/kg με μέση τιμή 2,27 mg/kg ξηρού εδάφους. Η κατάταξη των εδαφών με βάση τη διαθεσιμότητα σε αμμωνιακά ιόντα παρατίθεται στον πίνακα 3.6. Σύμφωνα με τον πίνακα 3.6 τα δείγματα με βάση την περιεκτικότητα σε αμμωνιακά ιόντα κατατάσσονται ως εξής: το 0% με δείκτη 0, το 21% με δείκτη 1, το 13% με δείκτη 2, το 27% με δείκτη 3 και το 39% των εδαφικών δειγμάτων με δείκτη 4. Στα γραφήματα 3.36 και 3.37 φαίνονται τα ποσοστά και η κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων με βάση την περιεκτικότητά τους σε αμμωνιακά ιόντα.



*Γράφημα 3.36. Ποσοστά των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αγ. Δημητρίου με βάση την περιεκτικότητά τους σε αμμωνιακά ιόντα.*

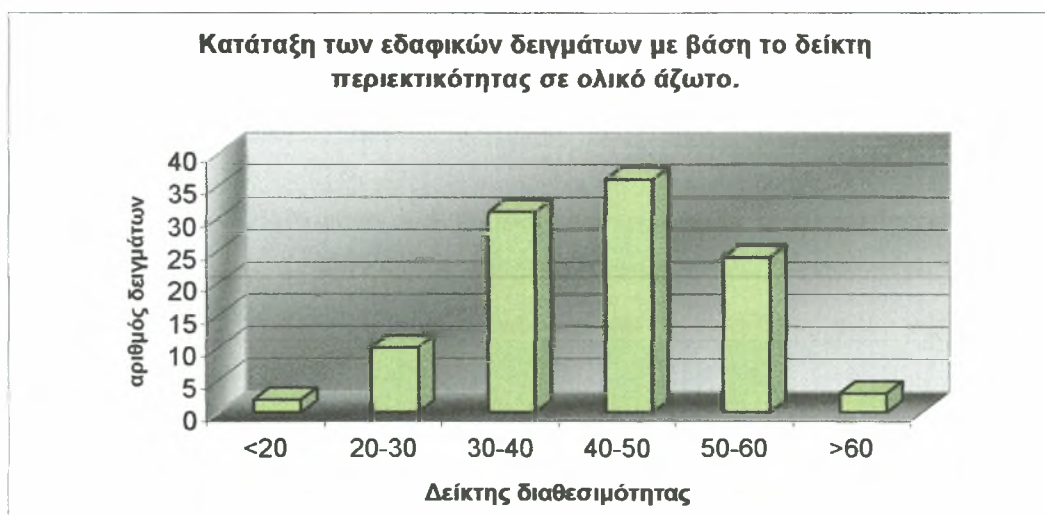


Γράφημα 3.37. Κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αγ. Δημητρίου με βάση την περιεκτικότητα σε αμμωνιακά ιόντα.

### Ολικό Άζωτο.

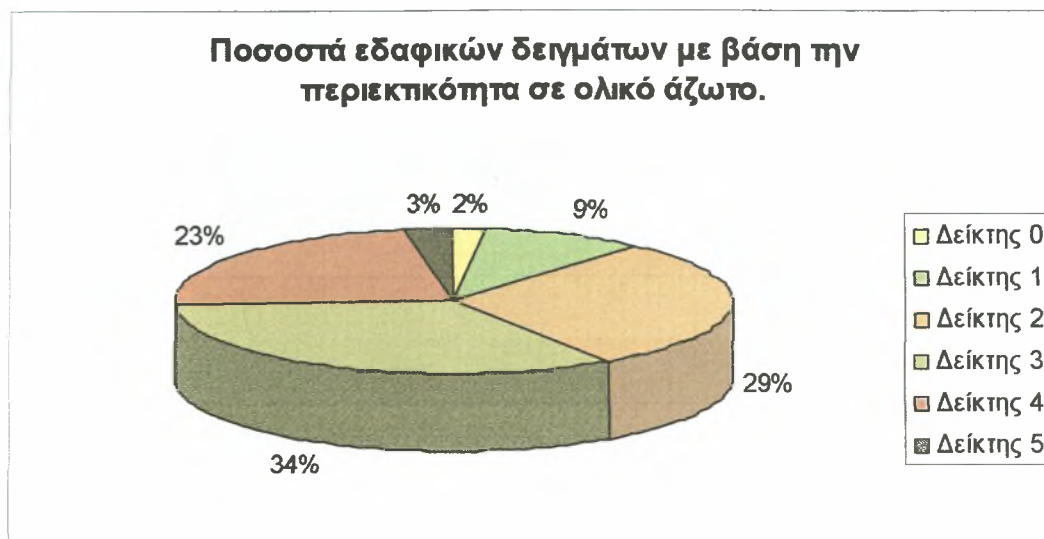
Η συγκέντρωση του ολικού αζώτου στα εδαφικά δείγματα κυμάνθηκε από 18,70 ως 62,18 mg/kg ξηρού εδάφους με μέση τιμή 42,68 mg/kg. Η κατάταξη των εδαφών με βάση το ολικό άζωτο παρατίθεται στον πίνακα 3.7.

Με βάση την περιεκτικότητα σε ολικό άζωτο τα εδαφικά δείγματα της περιοχής του Αγ. Δημητρίου κατατάσσονται ως εξής: το 2% με δείκτη 0, το 9% με δείκτη 1, το 29% με δείκτη 2, το 34% με δείκτη 3, το 23% με δείκτη 4 και το 3% των δειγμάτων με δείκτη 5. Στα γραφήματα 3.38 και 3.39 φαίνονται τα ποσοστά και η κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων με βάση την περιεκτικότητα σε ολικό άζωτο.



Γράφημα 3.38. Κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αγ. Δημητρίου με βάση την περιεκτικότητα σε ολικό άζωτο.





*Γράφημα 3.39. Ποσοστά των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Αγ. Δημητρίου με βάση την περιεκτικότητα σε ολικό άζωτο.*

#### Δ. Δρυμόνας Μαγνησίας

Τα αποτελέσματα των εδαφολογικών αναλύσεων που έγιναν στην περιοχή του Δρυμόνα Μαγνησίας παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον πίνακα 3.13, όπου φαίνονται οι μέσες, ελάχιστες και μέγιστες τιμές για τις εδαφικές ιδιότητες pH, οργανική ουσία, νιτρώδη ιόντα, νιτρικά ιόντα, αμμωνιακά ιόντα, ολικό άζωτο.

*Πίνακας 3.13 Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των εδαφικών δειγμάτων.*

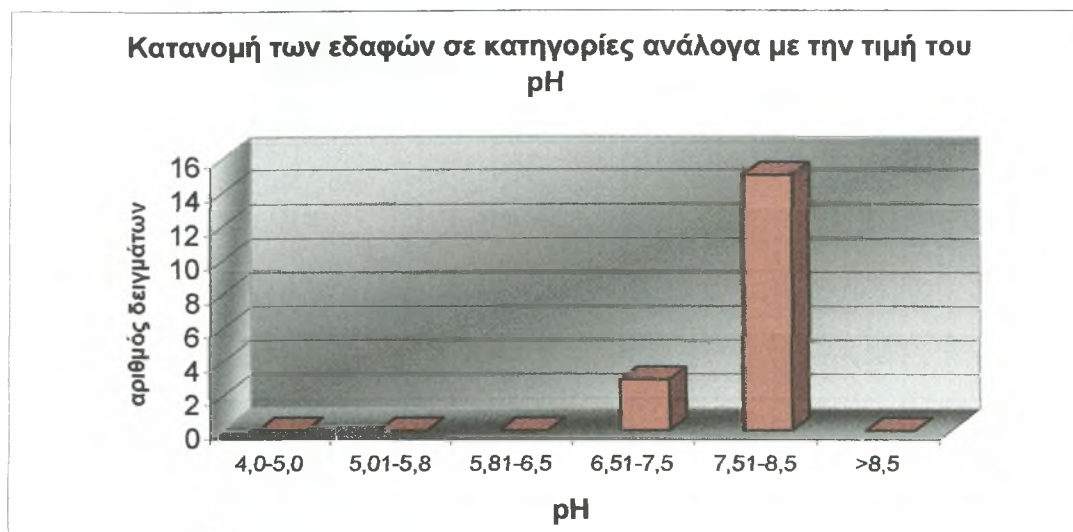
|      | pH   | Οργανική ουσία (%) | NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/kg) | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/kg) | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/kg) | N (mg/kg) |
|------|------|--------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------|
| mean | 7,70 | 1,76               | 1,90                                 | 35,25                                | 2,86                                 | 51,87     |
| max  | 8,31 | 1,92               | 2,90                                 | 62,86                                | 5,50                                 | 92,64     |
| min  | 7,11 | 1,59               | 1,05                                 | 18,56                                | 1,59                                 | 27,56     |

Η τιμή του pH των δειγμάτων κυμάνθηκε από 7,11 ως 8,31 με μέση τιμή 7,70. Τα εδάφη κατατάσσονται σε κατηγορίες με βάση την τιμή του pH (πίνακας 3.2).

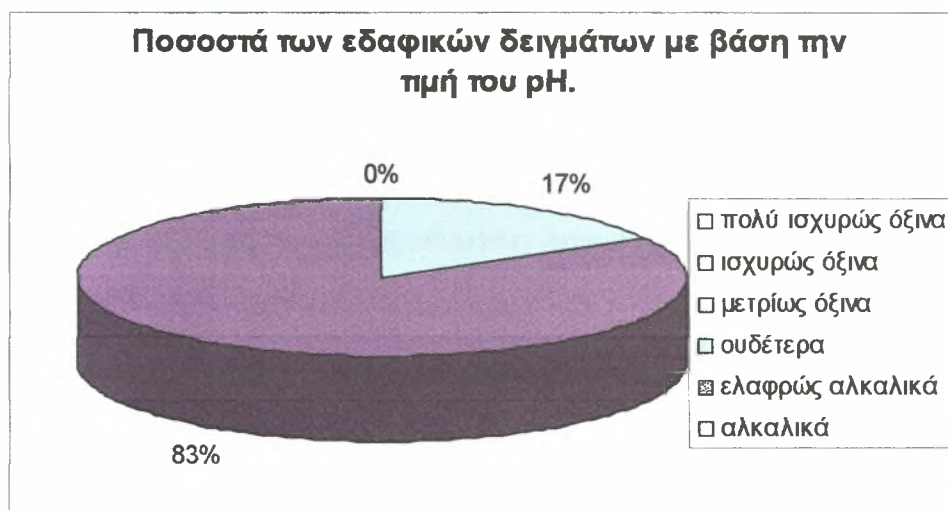
Το 17% ουδέτερα, το 83% ελαφρώς αλκαλικά ενώ δεν βρέθηκαν πολύ ισχυρώς όξινα και αλκαλικά εδάφη.

Η κατανομή των δειγμάτων σύμφωνα με την τιμή του εδαφικού PH εμφανίζεται στα γραφήματα 3.40 και 3.41.





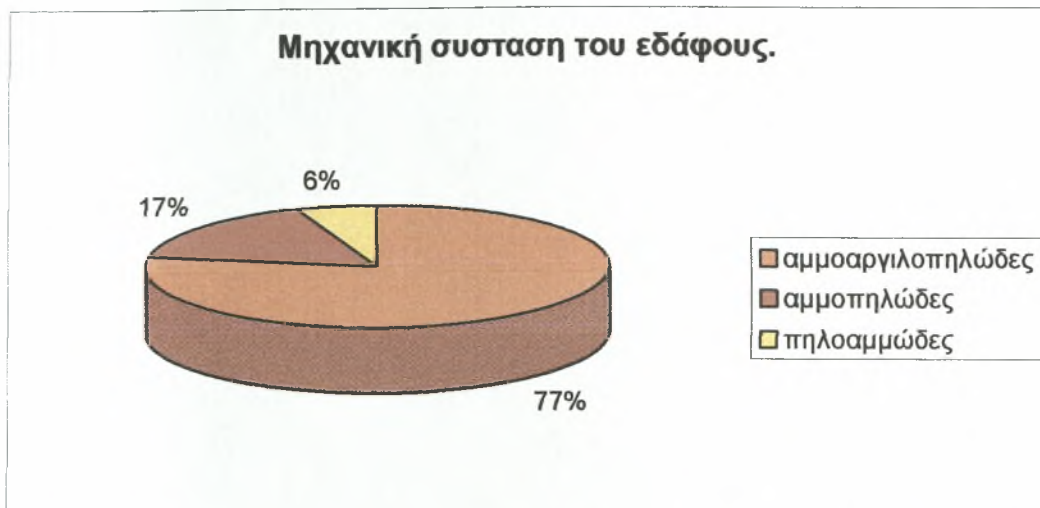
Γράφημα 3.40. Κατάταξη των εδαφών της περιοχής του Δρυμόνα σε κατηγορίες ανάλογα με την τιμή του pH.



Γράφημα 3.41. Κατάταξη εδαφών της περιοχής Δρυμόνα Ν. Μαγνησίας σύμφωνα με το pH του εδάφους.

Επίσης μετρήθηκε η μηχανική σύσταση των εδαφών και βρέθηκε ότι το 17% είναι αμμοπηλώδη το 77% αμμοαργιλοπηλώδη και το 6% πηλώδη.

Οι κατηγορίες των εδαφών σύμφωνα με την μηχανική τους σύσταση παρουσιάζονται στο γράφημα 3.42.



Γράφημα 3.42. Μηχανική σύσταση των εδαφών στην περιοχή του Δρυμόνα Ν. Μαγνησίας.

Η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία των εδαφικών δειγμάτων κυμάνθηκε από 1,59 ως 1,92% με μέση τιμή 2,996%. Στον πίνακα 3.3 παρουσιάζονται σε κατηγορίες εδαφών με βάση τα ποσοστά σε οργανική ουσία.

Σύμφωνα με τον πίνακα 3.3 το 100% των εδαφικών δειγμάτων στην περιοχή του Δρυμόνα Ν. Μαγνησίας χαρακτηρίζονται από χαμηλή οργανική ουσία. Στο γράφημα 3.43 παρουσιάζεται η κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων σύμφωνα με τα ποσοστά σε οργανική ουσία.



Γράφημα 3.43. Κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Δρυμόνα σύμφωνα με την περιεκτικότητα σε οργανική ουσία.

### Νιτρικά, Νιτρώδη και Αμμωνιακά ιόντα

Οι συγκεντρώσεις των νιτρώδων ιόντων στα εδαφικά δείγματα κυμάνθηκαν από 1,05 ως 2,90 mg/kg με μέση τιμή 1,90 mg/kg ξηρού εδάφους. Η κατάταξη των εδαφών με βάση τη διαθεσιμότητα σε νιτρώδη ιόντα παρατίθεται στον πίνακα 3.4.

Σύμφωνα με τον πίνακα 3.4 τα δείγματα με βάση την περιεκτικότητα σε νιτρώδη ιόντα κατατάσσονται ως εξής: το 34% με δείκτη 1, το 22% με δείκτη 2, το 33% με δείκτη 3 και το 11% των εδαφικών δειγμάτων με δείκτη 4. Στα γραφήματα 3.44 και 3.45 φαίνονται τα ποσοστά και η κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων με βάση την περιεκτικότητά τους σε νιτρώδη ιόντα.



Γράφημα 3.44. Ποσοστά των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Δρυμόνα με βάση την περιεκτικότητά σε νιτρώδη ιόντα.



Γράφημα 3.45. Κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Δρυμόνα με βάση την περιεκτικότητά σε νιτρώδη ιόντα.

Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών ιόντων στα εδαφικά δείγματα κυμάνθηκαν από 18,56 ως 62,68 mg/kg με μέση τιμή 35,25 mg/kg ξηρού εδάφους. Η κατάταξη των εδαφών με βάση τη διαθεσιμότητα σε νιτρικά ιόντα παρατίθεται στον πίνακα 3.5.

Σύμφωνα με τον πίνακα 3.5 τα δείγματα με βάση την περιεκτικότητα σε νιτρικά ιόντα κατατάσσονται ως εξής: το 22% με δείκτη 1, το 22% με δείκτη 2, το 17% με δείκτη 3 και το 39% των εδαφικών δειγμάτων με δείκτη 4. Στα γραφήματα 3.46 και 3.47 φαίνονται τα ποσοστά και η κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων με βάση την περιεκτικότητά τους σε νιτρικά ιόντα.



Γράφημα 3.46. Ποσοστά των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Δρυμόνα με βάση την περιεκτικότητα σε νιτρικά ιόντα.



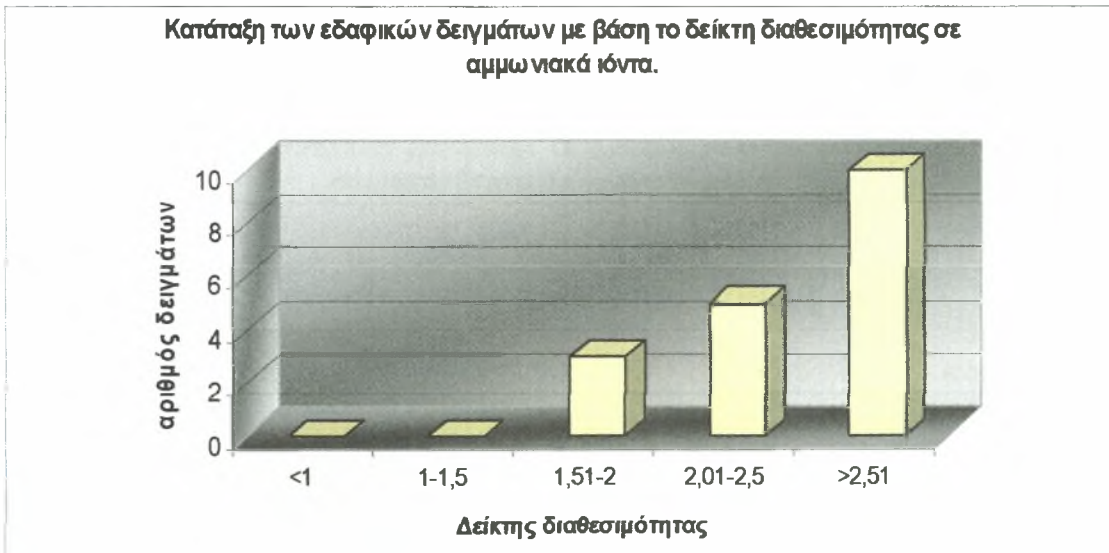
Γράφημα 3.47. Κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Δρυμόνα με βάση την περιεκτικότητά τους σε νιτρικά ιόντα.



Οι συγκεντρώσεις των αμμωνιακών ιόντων στα εδαφικά δείγματα κυμάνθηκαν από 1,59 ως 5,50 mg/kg με μέση τιμή 2,86 mg/kg ξηρού εδάφους. Η κατάταξη των εδαφών με βάση τη διαθεσιμότητα σε αμμωνιακά ιόντα παρατίθεται στον πίνακα 3.6. Σύμφωνα με τον πίνακα 3.6 τα δείγματα με βάση την περιεκτικότητα σε αμμωνιακά ιόντα κατατάσσονται ως εξής: το 17% με δείκτη 2, το 28% με δείκτη 3 και το 55% των εδαφικών δειγμάτων με δείκτη 4. Στα γραφήματα 3.48 και 3.49 φαίνονται τα ποσοστά και η κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων με βάση την περιεκτικότητά τους σε αμμωνιακά ιόντα.



Γράφημα 3.48. Ποσοστά των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Δρυμόνα με βάση την περιεκτικότητα σε αμμωνιακά ιόντα.



Γράφημα 3.49. Κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Δρυμόνα με βάση την περιεκτικότητά τους σε αμμωνιακά ιόντα.



**Ολικό Άζωτο.**

Η συγκέντρωση του ολικού αζώτου στα εδαφικά δείγματα κυμάνθηκε από 27,56 ως 92,64 mg/kg ξηρού εδάφους με μέση τιμή 51,87 mg/kg. Η κατάταξη των εδαφών με βάση το ολικό άζωτο παρατίθεται στον πίνακα 3.7.

Με βάση την περιεκτικότητα σε ολικό άζωτο τα εδαφικά δείγματα της περιοχής του Δρυμόνα κατατάσσονται ως εξής: το 17% με δείκτη 1, το 22% με δείκτη 2, το 17% με δείκτη 3, το 11% με δείκτη 4 και το 33% των δειγμάτων με δείκτη 5.

Στα γραφήματα 3.50 και 3.51 φαίνονται τα ποσοστά και η κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων με βάση την περιεκτικότητα σε ολικό άζωτο.



Γράφημα 3.50. Κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Δρυμόνα με βάση την περιεκτικότητα σε ολικό άζωτο.

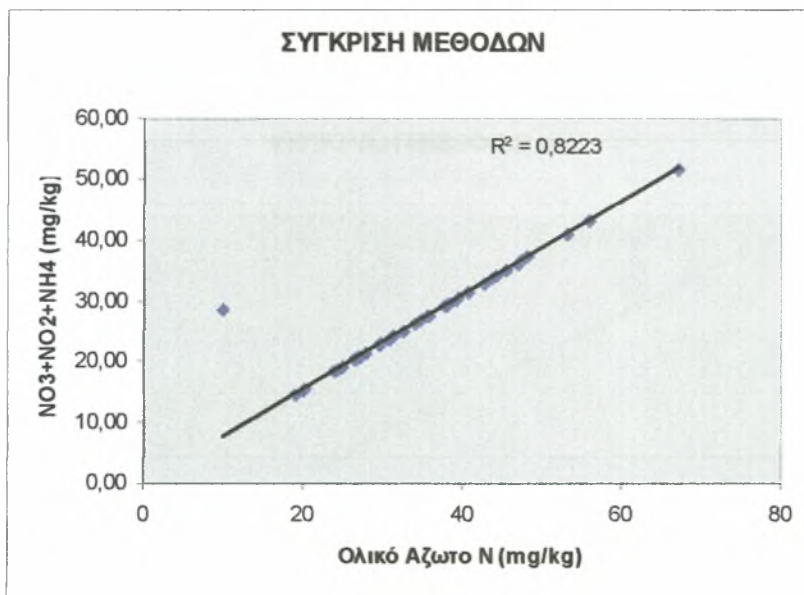


Γράφημα 3.51. Ποσοστά των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής του Δρυμόνα με βάση την περιεκτικότητα σε ολικό άζωτο.

### 3.2 Σύγκριση μεθόδων

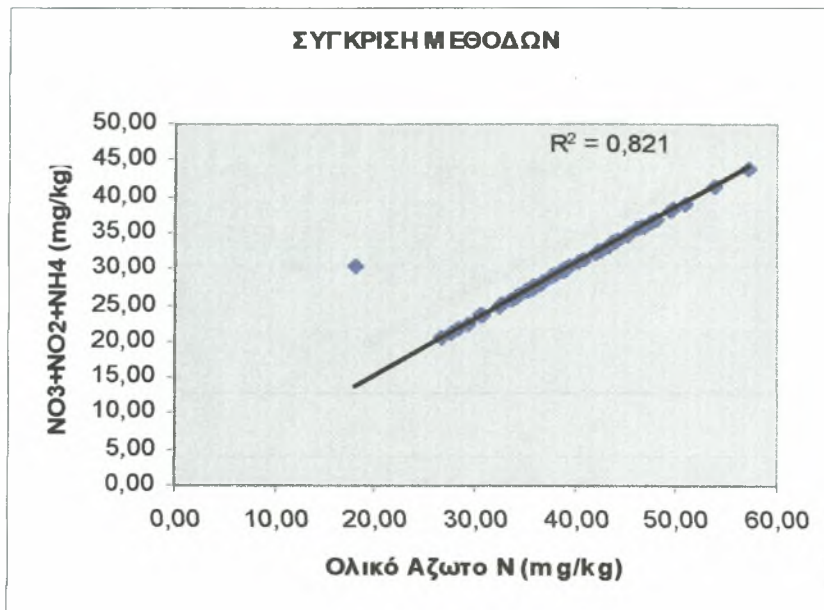
Για το σύνολο των δειγμάτων που συγκεντρώθηκαν από τις περιοχές μελέτης πραγματοποιήθηκε σύγκριση των συγκεντρώσεων των νιτρικών, νιτρωδών και αμμωνιακών ιόντων με τη συγκέντρωση του ολικού αζώτου που προσδιορίστηκε. Για το σκοπό αυτό, αθροίστηκε η συγκέντρωση των προαναφερθέντων ιόντων και στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε ανάλυση συσχέτισης προκειμένου να προσδιοριστεί ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ των συγκεντρώσεων αυτών.

Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η σύγκριση των μεθόδων υπολογισμού των συγκεντρώσεων των νιτρικών, νιτρωδών και αμμωνιακών ιόντων με τη συγκέντρωση του ολικού αζώτου για κάθε μία από τις περιοχές μελέτης.

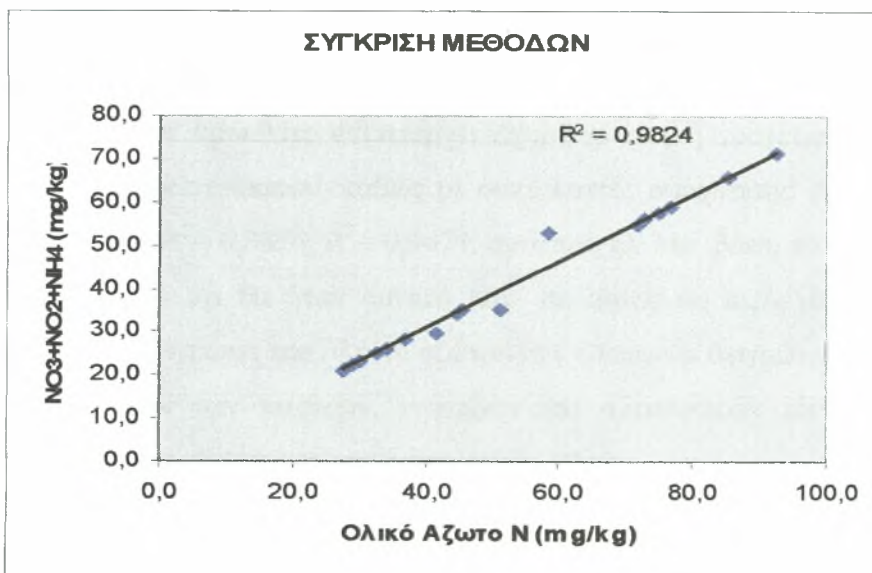


*Γράφημα 3.52 Σύγκριση συγκεντρώσεων των νιτρικών, νιτρωδών και αμμωνιακών ιόντων με τη συγκέντρωση του ολικού αζώτου στην περιοχή Αλμυρού.*

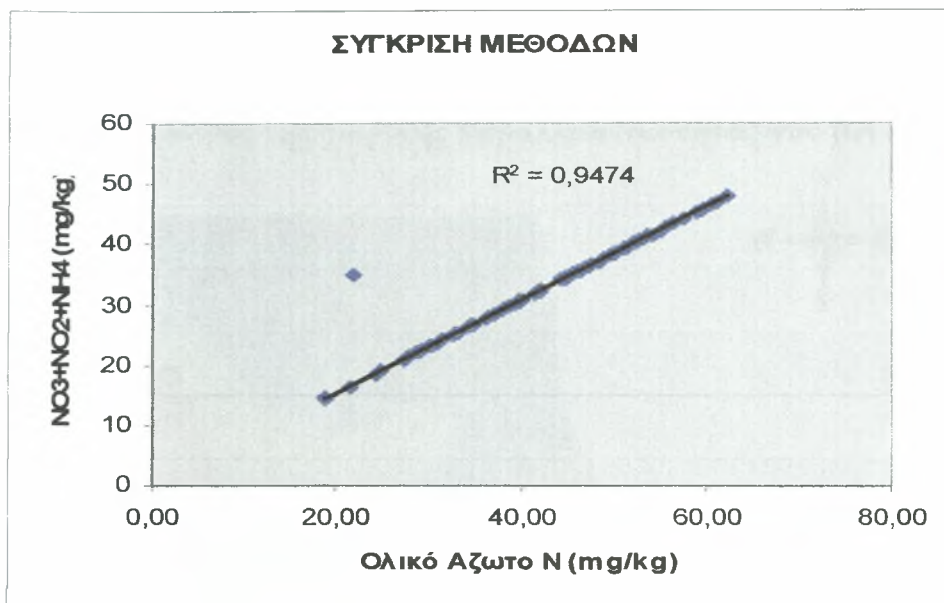
Από τη μελέτη του παραπάνω γραφήματος προκύπτει ότι υπάρχει ισχυρή γραμμική συσχέτιση μεταξύ των συγκρινόμενων συγκεντρώσεων, καθώς ο συντελεστής συσχέτισης είναι ιδιαίτερα υψηλός ( $R^2 = 0,8223$ ). Με βάση το γεγονός αυτό μπορεί να θεωρηθεί ότι θα ήταν δυνατό στην περιοχή μελέτης να υπολογιστεί η συγκέντρωση του ολικού αζώτου των εδαφικών δειγμάτων με μέτρηση των συγκεντρώσεων των νιτρικών, νιτρωδών και αμμωνιακών ιόντων και στη συνέχεια άθροιση των συγκεντρώσεων των ιόντων αυτών.



*Γράφημα 3.53 Σύγκριση συγκεντρώσεων των νιτρικών, νιτρωδών και αμμωνιακών ιόντων με τη συγκέντρωση του ολικού αζώτου στην περιοχή του Αερινού.*



*Γράφημα 3.54 Σύγκριση συγκεντρώσεων των νιτρικών, νιτρωδών και αμμωνιακών ιόντων με τη συγκέντρωση του ολικού αζώτου στην περιοχή του Δρυμόνα.*

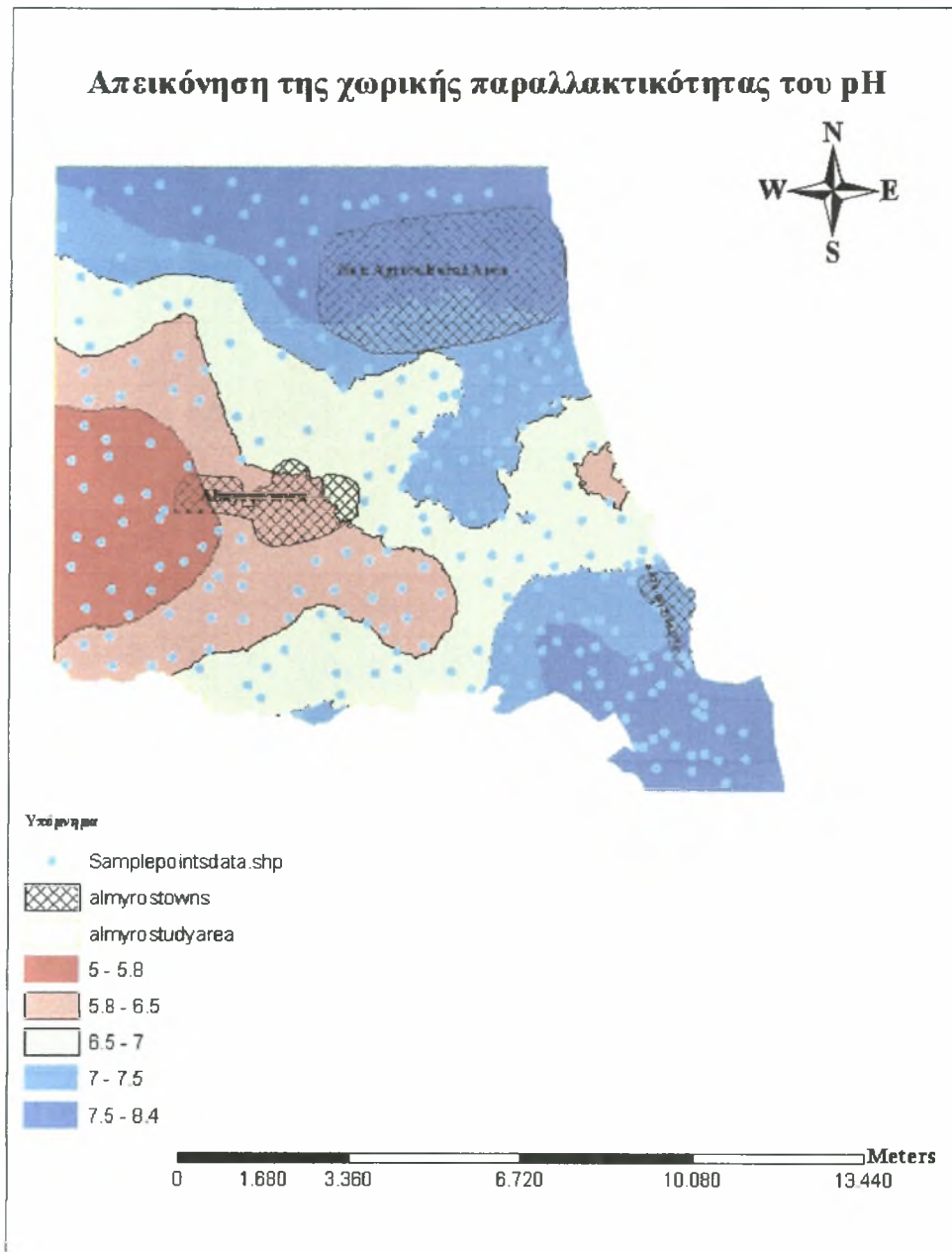


*Γράφημα 3.55 Σύγκριση συγκεντρώσεων των νιτρικών, νιτρωδών και αμμωνιακών ιόντων με τη συγκέντρωση του ολικού αζώτου στην περιοχή του Αγ. Δημητρίου.*

Από τη μελέτη των παραπάνω γραφημάτων για τις περιοχές του Αερινού, Δρυμόνα και Αγίου Δημητρίου προκύπτει ότι υπάρχει ισχυρή γραμμική συσχέτιση μεταξύ των συγκρινόμενων συγκεντρώσεων, καθώς οι συντελεστές συσχέτισης είναι ιδιαίτερα υψηλοί ( $R^2= 0,821$ ,  $R^2= 0,9824$ ,  $R^2= 0,9474$ , αντίστοιχα). Με βάση το γεγονός αυτό μπορεί να θεωρηθεί ότι θα ήταν δυνατό και σε αυτές τις περιοχές μελέτης να υπολογιστεί η συγκέντρωση του ολικού αζώτου των εδαφικών δειγμάτων με μέτρηση των συγκεντρώσεων των νιτρικών, νιτρωδών και αμμωνιακών ιόντων και στη συνέχεια άθροιση των συγκεντρώσεων των ιόντων αυτών.

### 3.3 Χάρτες

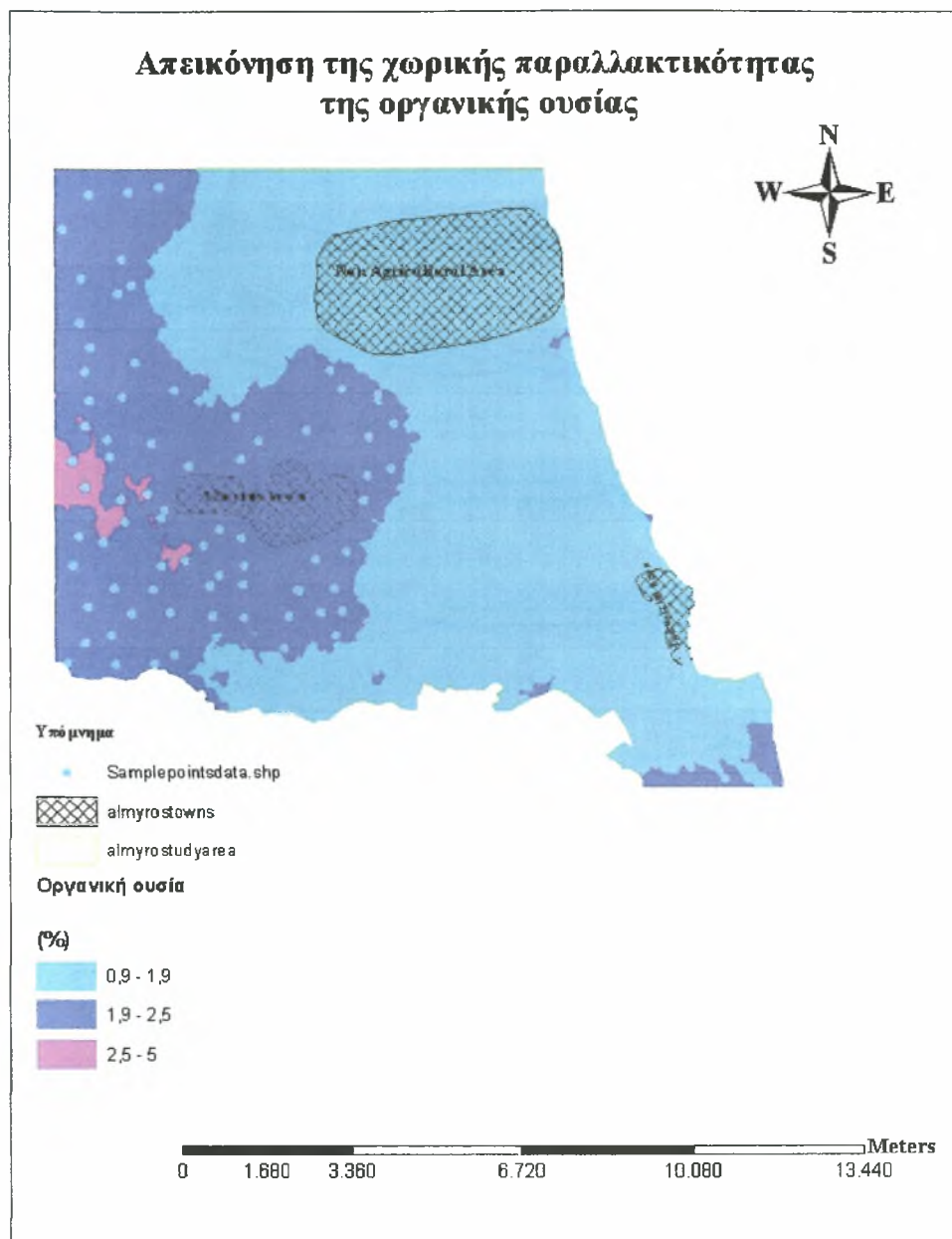
Μετά τον υπολογισμό των συγκεντρώσεων των νιτρικών, νιτρωδών και αμμωνιακών ιόντων, του ολικού αζώτου καθώς και των φυσικοχημικών ιδιοτήτων των εδαφικών δειγμάτων, τα αποτελέσματα τοποθετήθηκαν στη βάση δεδομένων η οποία είχε κατασκευαστεί με χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και έτσι κατασκευάστηκαν οι θεματικοί χάρτες που παρουσιάζονται στη συνέχεια.



Χάρτης 1: Απεικόνιση της χωρικής παραλλακτικότητας του pH

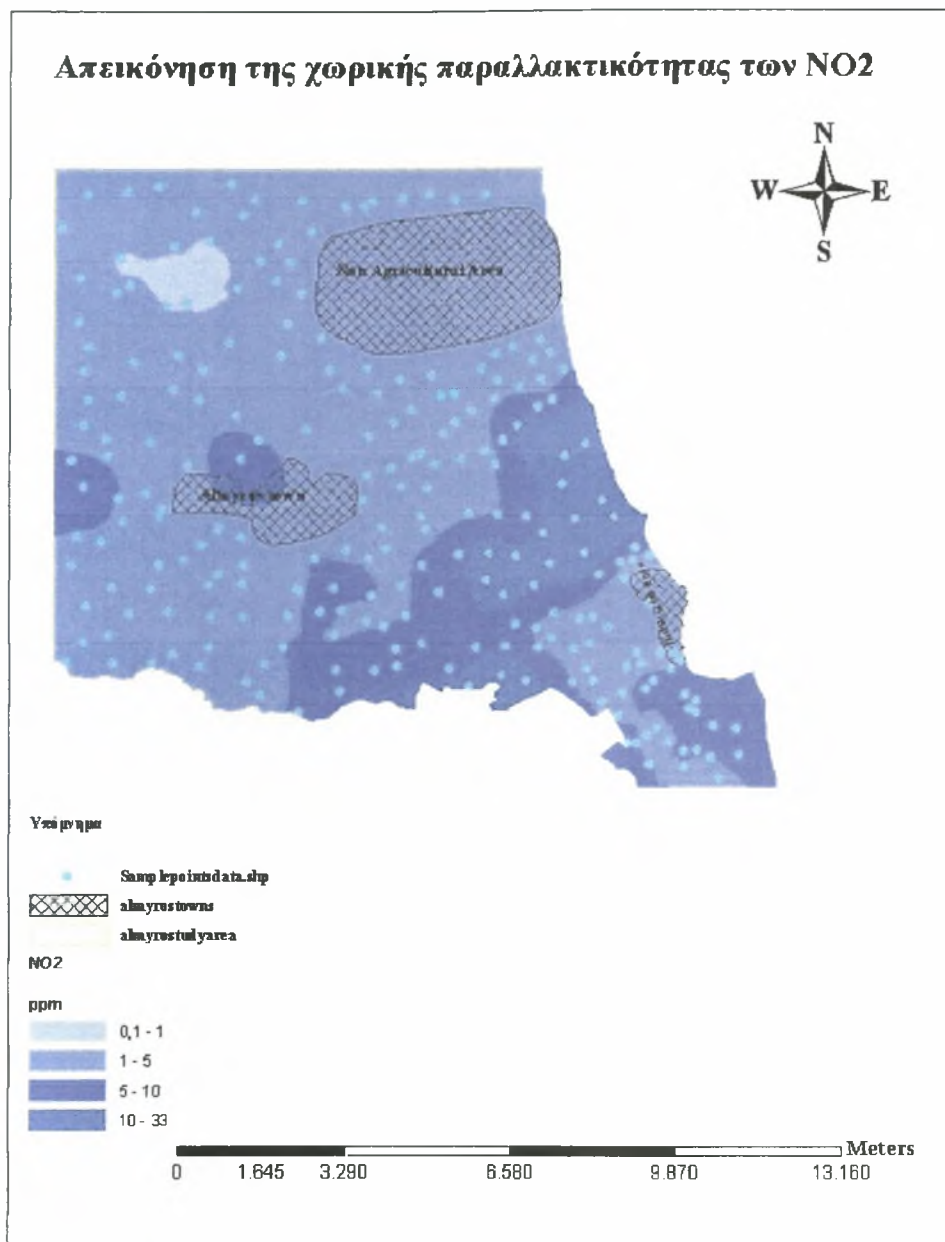
Στο χάρτη 1 απεικονίζεται η χωρική παραλλακτικότητα του pH. Βάσει αυτού παρατηρείται ότι δυτικά της περιοχής τα εδάφη είναι όξινα και ελαφρώς όξινα ενώ ανατολικά της περιοχής τα εδάφη χαρακτηρίζονται ως αλκαλικά και ελαφρώς αλκαλικά.





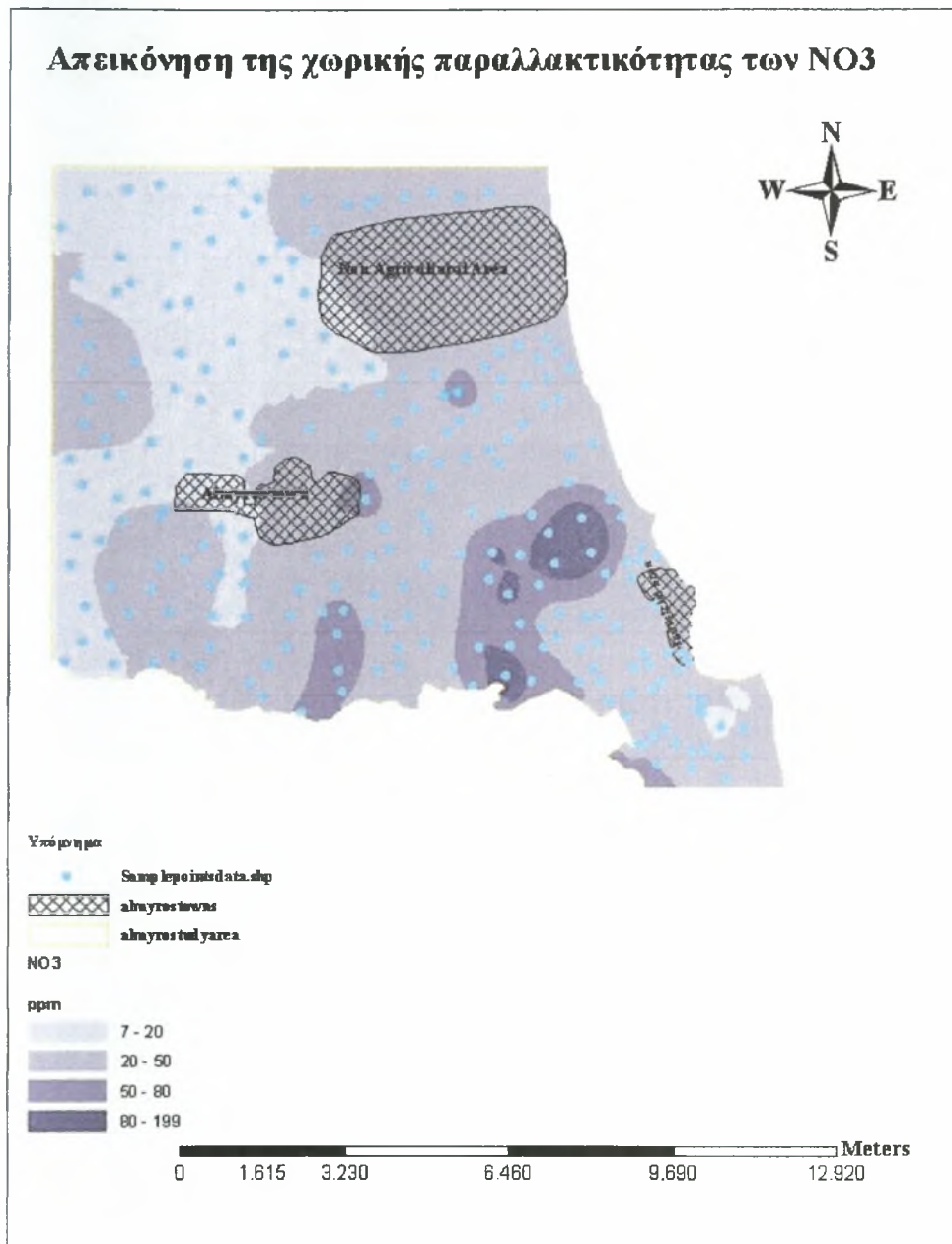
Χάρτης 2: Απεικόνιση της χωρικής παραλλακτικότητας της οργανικής ουσίας

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



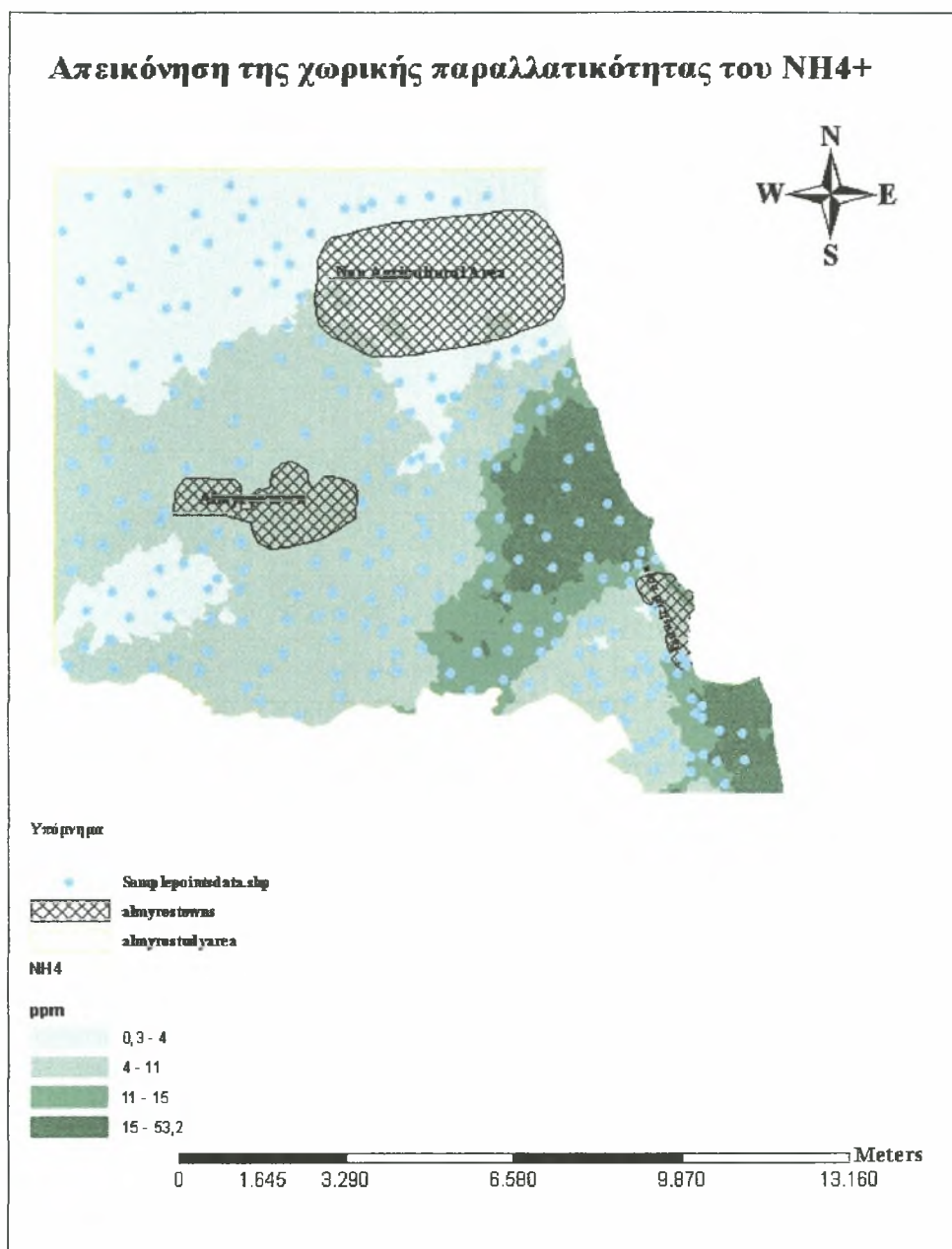
Χάρτης 3: Απεικόνιση της χωρικής παραλλακτικότητας των NO<sub>2</sub>

Στον χάρτη 3 απεικονίζεται η χωρική παραλλακτικότητα των NO<sub>2</sub>. Βάσει αυτού παρατηρείται ότι σχεδόν σε όλη την περιοχή η ποσότητα NO<sub>2</sub> είναι μικρή εκτός από μια περιοχή στα δυτικά όπου η ποσότητα NO<sub>2</sub> είναι μεγάλη.



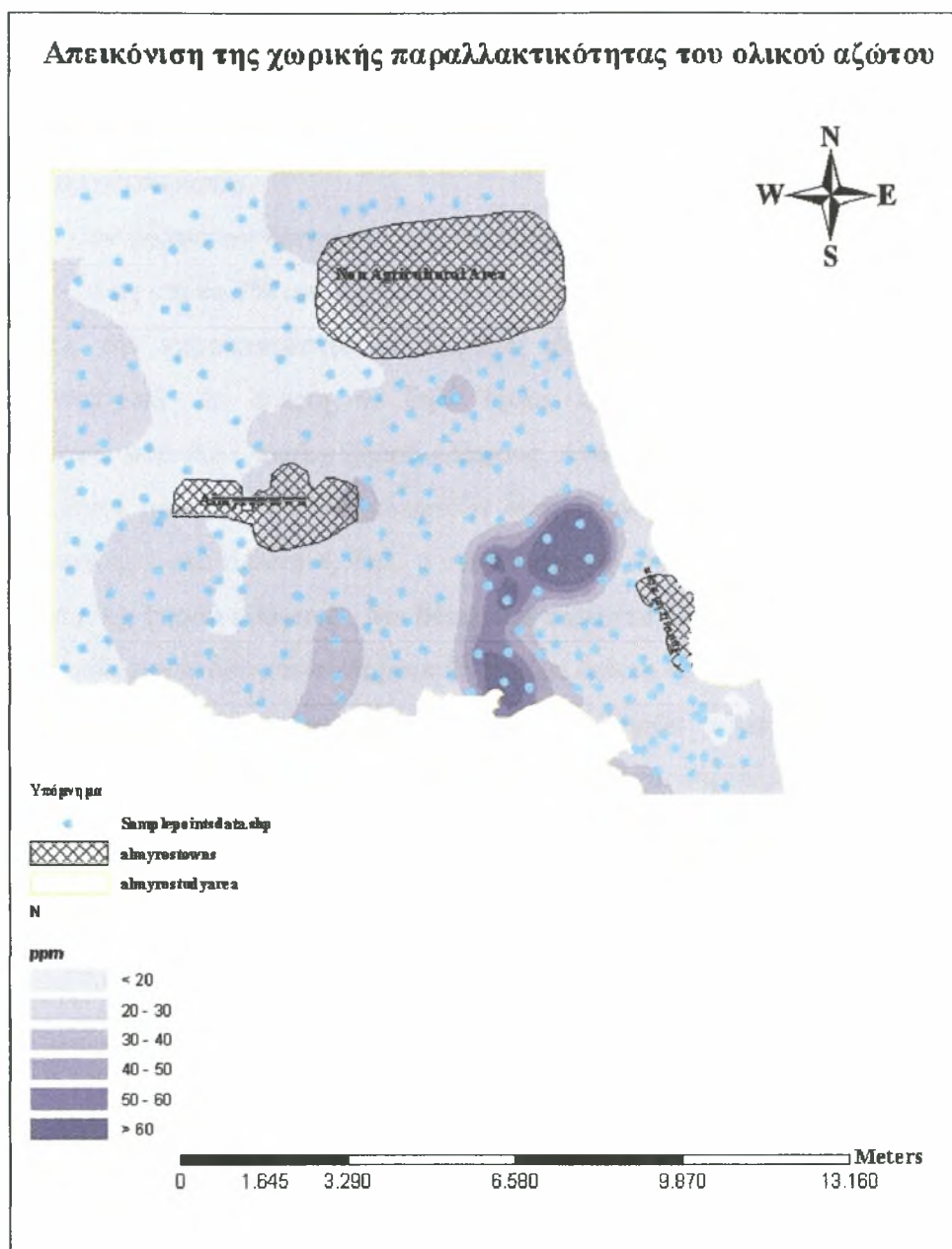
Χάρτης 4: Απεικόνιση της χωρικής παραλλακτικότητας των NO<sub>3</sub>

Στον χάρτη 4 απεικονίζεται η χωρική παραλλακτικότητα των NO<sub>3</sub>. Με βάση τον παραπάνω χάρτη παρατηρείται ότι σχεδόν σε όλη την περιοχή η ποσότητα NO<sub>3</sub> είναι μικρή εκτός από μια περιοχή στα ανατολικά όπου η ποσότητα NO<sub>3</sub> είναι μεγάλη. Πιθανώς στη συγκεκριμένη περιοχή να γίνεται εκτεταμένη χρήση αζωτούχων λιπασμάτων.



Χάρτης 5: Απεικόνιση της χωρικής παραλλακτικότητας του  $\text{NH}_4^+$

Στον χάρτη 5 απεικονίζεται η χωρική παραλλακτικότητα του  $\text{NH}_4^+$ . Βάσει αυτού παρατηρείται ότι σχεδόν σε όλη την περιοχή η ποσότητα  $\text{NH}_4^+$  είναι μικρή εκτός από μια περιοχή στα ανατολικά όπου η ποσότητα  $\text{NH}_4^+$  είναι μεγάλη.



Χάρτης 6: Απεικόνιση της χωρικής παραλλακτικότητας του ολικού αζώτου.

Από τη μελέτη του παραπάνω χάρτη προκύπτει ότι η συγκέντρωση του ολικού αζώτου είναι χαμηλή στο σύνολο της περιοχής μελέτης. Στο ανατολικό τμήμα παρατηρείται συγκέντρωση ολικού αζώτου που ξεπερνά τα 50 ppm η οποία οφείλεται στην υπερβολική χρήση αζωτούχων λιπασμάτων σε καλλιέργειες κηπευτικών στη δεδομένη περιοχή.



## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην περιοχή του Αλμυρού Μαγνησίας παρατηρήθηκαν τα εξής: Το 10% των εδαφών βρέθηκαν να είναι ισχυρώς όξινα, το 25% μετρίως όξινα, το 40% ουδέτερα, το 40% ελαφρώς αλκαλικά. Ποσοστό 90% των εδαφικών δειγμάτων είναι αμμοπηλώδη και το 10% αργιλοπηλώδη.

Το 72% των εδαφικών δειγμάτων χαρακτηρίζονται από χαμηλή οργανική ουσία, το 25% από μέση και το 3% από υψηλή οργανική ουσία.

Με βάση την περιεκτικότητα σε νιτρώδη ιόντα 18% των εδαφικών δειγμάτων παρουσιάστηκαν με δείκτη 4, δηλ. έχουν συγκέντρωση που αντιστοιχεί σε περισσότερα από 2,51 mg/kg ξηρού εδάφους. Αναφορικά με την περιεκτικότητα σε νιτρικά ιόντα μόνο το 3% των εδαφικών δειγμάτων φαίνεται να έχει συγκέντρωση που αντιστοιχεί στο δείκτη 4, δηλ. η συγκέντρωσή τους κυμαίνεται σε περισσότερα από 40 mg/kg ξηρού εδάφους. Με βάση την περιεκτικότητα σε αμμωνιακά ιόντα το 30% των εδαφικών δειγμάτων παρουσιάζεται με δείκτη 4, δηλ. έχει συγκέντρωση που κυμαίνεται σε περισσότερα από 2,51 mg/kg ξηρού εδάφους. Με βάση την περιεκτικότητα σε ολικό άζωτο τα εδαφικά δείγματα της περιοχής του Αλμυρού κατατάσσονται ως εξής: το 3% με δείκτη 0, το 32% με δείκτη 1, το 37% με δείκτη 2, το 20% με δείκτη 3, το 5% με δείκτη 4 και το 3% των δειγμάτων με δείκτη 5 δηλ. έχει συγκέντρωση που κυμαίνεται σε περισσότερα από 60 mg/kg ξηρού εδάφους. Επομένως, μόνο ποσοστό 8% των εδαφικών δειγμάτων παρουσίασε υψηλές συγκεντρώσεις ολικού αζώτου.

Στην περιοχή του Αερινού Μαγνησίας παρατηρήθηκαν τα εξής: Το 89% των εδαφών είναι ελαφρώς αλκαλικά και το 11% των εδαφών είναι αλκαλικά.

Το 24% των εδαφικών δειγμάτων είναι αμμοπηλώδη και το 44% αργιλοπηλώδη και το 32% είναι αμμοαργιλοπηλώδη.

Το 92% των εδαφικών δειγμάτων χαρακτηρίζονται φτωχά από οργανική ουσία, το 8% από μέση οργανική ουσία.

Με βάση την περιεκτικότητα σε νιτρώδη ιόντα 17% των εδαφικών δειγμάτων παρουσιάστηκαν με δείκτη 4, δηλ. έχουν συγκέντρωση που αντιστοιχεί σε περισσότερα από 2,51 mg/kg ξηρού εδάφους. Αναφορικά με την περιεκτικότητα σε νιτρικά ιόντα μόνο το 15% των εδαφικών δειγμάτων φαίνεται να έχει συγκέντρωση που αντιστοιχεί στο δείκτη 3, δηλ. η συγκέντρωσή τους κυμαίνεται από 30-40 mg/kg

ξηρού εδάφους . Με βάση την περιεκτικότητα σε αμμωνιακά ιόντα το 14% των εδαφικών δειγμάτων παρουσιάζεται με δείκτη 4, δηλ. έχει συγκέντρωση που κυμαίνεται σε περισσότερα από 2,51 mg/kg ξηρού εδάφους.

Με βάση την περιεκτικότητα σε ολικό άζωτο τα εδαφικά δείγματα της περιοχής του Αερινού κατατάσσονται ως εξής: το 6% με δείκτη 1, το 55% με δείκτη 2, το 34% με δείκτη 3, το 5% με δείκτη 4 που κυμαίνεται από 50-60 mg/kg ξηρού εδάφους και το 0% των δειγμάτων με δείκτη 5.

Επομένως, μόνο ποσοστό 14% των εδαφικών δειγμάτων παρουσίασε υψηλές συγκεντρώσεις ολικού αζώτου.

Στην περιοχή του Αγίου Δημητρίου Μαγνησίας παρατηρήθηκαν τα εξής: Το 2% των εδαφών βρέθηκαν να είναι ουδέτερα, το 97% ελαφρώς αλκαλικά ενώ το 1% αλκαλικά εδάφη.

Το 92% των εδαφικών δειγμάτων είναι αμμοαργιλοπλώδες και το 8% αμμοαργιλώδες.

Το 28% των εδαφικών δειγμάτων στην περιοχή του Αγ. Δημητρίου Ν. Μαγνησίας χαρακτηρίζονται από μέση οργανική ουσία, και το 72% από υψηλή οργανική ουσία.

Με βάση την περιεκτικότητα σε νιτρώδη ιόντα 18% των εδαφικών δειγμάτων παρουσιάστηκαν με δείκτη 4, δηλ. έχουν συγκέντρωση που αντιστοιχεί σε περισσότερα από 2,51 mg/kg ξηρού εδάφους. Αναφορικά με την περιεκτικότητα σε νιτρικά ιόντα μόνο το 1% των εδαφικών δειγμάτων φαίνεται να έχει συγκέντρωση που αντιστοιχεί στο δείκτη 4, δηλ. η συγκέντρωσή τους κυμαίνεται σε περισσότερα από 40 mg/kg ξηρού εδάφους . Με βάση την περιεκτικότητα σε αμμωνιακά ιόντα το 39% των εδαφικών δειγμάτων παρουσιάζεται με δείκτη 4, δηλ. έχει συγκέντρωση που κυμαίνεται σε περισσότερα από 2,51 mg/kg ξηρού εδάφους.

Με βάση την περιεκτικότητα σε ολικό άζωτο τα εδαφικά δείγματα της περιοχής του Αγ. Δημητρίου κατατάσσονται ως εξής: το 2% με δείκτη 0, το 9% με δείκτη 1, το 29% με δείκτη 2, το 34% με δείκτη 3, το 23% με δείκτη 4 και το 3% των δειγμάτων με δείκτη 5 που κυμαίνεται σε περισσότερα από 60 mg/kg ξηρού εδάφους.

Επομένως, μόνο ποσοστό 26% των εδαφικών δειγμάτων παρουσίασε υψηλές συγκεντρώσεις ολικού αζώτου.

Τέλος, στην περιοχή του Δρυμόνα Μαγνησίας παρατηρήθηκαν τα εξής: Το 17% ουδέτερα, το 83% ελαφρώς αλκαλικά ενώ δεν βρέθηκαν πολύ ισχυρώς όξινα και αλκαλικά εδάφη.

Επίσης μετρήθηκε η μηχανική σύσταση των εδαφών και βρέθηκε ότι το 17% είναι αμμοπηλώδη το 77% αμμοαργιλοπηλώδη και το 6% πηλώδη.

Το 100% των εδαφικών δειγμάτων στην περιοχή του Δρυμόνα Ν. Μαγνησίας χαρακτηρίζονται από χαμηλή οργανική ουσία.

Με βάση την περιεκτικότητα σε νιτρώδη ιόντα 11% των εδαφικών δειγμάτων παρουσιάστηκαν με δείκτη 4, δηλ. έχουν συγκέντρωση που αντιστοιχεί σε περισσότερα από 2,51 mg/kg ξηρού εδάφους. Αναφορικά με την περιεκτικότητα σε νιτρικά ιόντα μόνο το 39% των εδαφικών δειγμάτων φαίνεται να έχει συγκέντρωση που αντιστοιχεί στο δείκτη 4, δηλ. η συγκέντρωσή τους κυμαίνεται σε περισσότερα από 40 mg/kg ξηρού εδάφους. Με βάση την περιεκτικότητα σε αμμωνιακά ιόντα το 55% των εδαφικών δειγμάτων παρουσιάζεται με δείκτη 4, δηλ. έχει συγκέντρωση που κυμαίνεται σε περισσότερα από 2,51 mg/kg ξηρού εδάφους.

Με βάση την περιεκτικότητα σε ολικό άζωτο τα εδαφικά δείγματα της περιοχής του Δρυμόνα κατατάσσονται ως εξής: το 17% με δείκτη 1, το 22% με δείκτη 2, το 17% με δείκτη 3, το 11% με δείκτη 4 και το 33% των δειγμάτων με δείκτη 5 που κυμαίνεται σε περισσότερα από 60 mg/kg ξηρού εδάφους.

Επομένως, ποσοστό 44 % των εδαφικών δειγμάτων παρουσίασε υψηλές συγκεντρώσεις ολικού αζώτου.

Σχετικά με τη σύγκριση των συγκεντρώσεων των νιτρωδών, νιτρικών και αμμωνιακών ιόντων σε σχέση με τη συγκέντρωση του ολικού αζώτου, παρατηρήθηκε υψηλή συσχέτιση για όλες τις υποπεριοχές της μελέτης. Το γεγονός αυτό βέβαια, για να οδηγήσει σε ασφαλέστερα συμπεράσματα είναι αναγκαίο να επαληθευτεί με συνέχιση της μελέτης στο μέλλον.

Τέλος, με την κατασκευή των θεματικών χαρτών, απεικονίστηκε σε όλη την περιοχή της μελέτης η ρύπανση από άζωτο, αλλά και από τις συγκεντρώσεις των αζωτούχων ιόντων, οπότε δόθηκε μια ολοκληρωμένη εικόνα της νιτρορύπανσης στα πλαίσια της παρούσας διατριβής.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας 1: Αποτελέσματα εδαφολογικών αναλύσεων στην περιοχή του Αλμυρού Ν. Μαγνησίας.

| pH   | Οργανική ουσία (%) | NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/kg) | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/kg) | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/kg) | N (mg/kg) | Κοκκομετρική Σύσταση |
|------|--------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------|----------------------|
| 5,19 | 1,29               | 0,25                                 | 13,4                                 | 0,96                                 | 19,0      | αμμοαργιλοπηλώδες    |
| 5,65 | 1,34               | 0,9                                  | 13,5                                 | 0,99                                 | 20,0      | αμμοαργιλοπηλώδες    |
| 5,67 | 1,40               | 0,93                                 | 13,5                                 | 1,23                                 | 20,4      | αμμοαργιλοπηλώδες    |
| 5,72 | 1,52               | 0,97                                 | 16,23                                | 1,34                                 | 24,1      | αμμοαργιλοπηλώδες    |
| 5,87 | 1,54               | 0,99                                 | 16,5                                 | 1,36                                 | 24,5      | αμμοπηλώδες          |
| 5,89 | 1,55               | 1,06                                 | 16,8                                 | 1,36                                 | 25,0      | αμμοπηλώδες          |
| 5,98 | 1,60               | 1,2                                  | 17,8                                 | 1,45                                 | 26,6      | αμμοπηλώδες          |
| 5,98 | 1,64               | 1,3                                  | 17,8                                 | 1,47                                 | 26,7      | αμμοπηλώδες          |
| 5,98 | 1,78               | 1,36                                 | 17,85                                | 1,49                                 | 26,9      | αμμοπηλώδες          |
| 6,12 | 1,80               | 1,47                                 | 17,86                                | 1,58                                 | 27,2      | αμμοπηλώδες          |
| 6,23 | 2,33               | 1,48                                 | 18,4                                 | 1,65                                 | 28,0      | αμμοπηλώδες          |
| 6,44 | 2,34               | 1,56                                 | 19,58                                | 1,69                                 | 29,7      | αμμοπηλώδες          |
| 6,45 | 2,46               | 1,56                                 | 19,58                                | 1,78                                 | 29,8      | αμμοπηλώδες          |
| 6,47 | 2,48               | 1,56                                 | 19,6                                 | 1,89                                 | 30,0      | αμμοπηλώδες          |
| 6,65 | 2,52               | 1,56                                 | 20,3                                 | 1,96                                 | 31,0      | αμμοπηλώδες          |
| 6,78 | 2,54               | 1,56                                 | 20,6                                 | 2,09                                 | 31,5      | αμμοπηλώδες          |
| 6,85 | 2,64               | 1,56                                 | 21,4                                 | 2,14                                 | 32,6      | αμμοπηλώδες          |
| 6,87 | 2,85               | 1,56                                 | 22,56                                | 2,2                                  | 34,2      | αμμοπηλώδες          |
| 6,98 | 2,87               | 1,6                                  | 23,1                                 | 2,25                                 | 35,0      | αμμοπηλώδες          |
| 6,98 | 3,34               | 1,7                                  | 23,5                                 | 2,25                                 | 35,7      | αμμοπηλώδες          |
| 6,98 | 3,42               | 1,7                                  | 23,5                                 | 2,35                                 | 35,8      | αμμοπηλώδες          |
| 6,98 | 3,43               | 1,8                                  | 23,56                                | 2,36                                 | 36,0      | αμμοπηλώδες          |
| 6,98 | 3,58               | 1,9                                  | 24,39                                | 2,36                                 | 37,2      | αμμοπηλώδες          |
| 7,06 | 3,65               | 2,2                                  | 24,56                                | 2,36                                 | 37,9      | αμμοπηλώδες          |
| 7,16 | 3,67               | 2,2                                  | 24,65                                | 2,45                                 | 38,1      | αμμοπηλώδες          |
| 7,23 | 3,79               | 2,2                                  | 24,8                                 | 2,45                                 | 38,3      | αμμοπηλώδες          |
| 7,24 | 3,80               | 2,36                                 | 24,8                                 | 2,46                                 | 38,5      | αμμοπηλώδες          |
| 7,32 | 3,82               | 2,39                                 | 25,4                                 | 2,47                                 | 39,3      | αμμοπηλώδες          |
| 7,35 | 3,89               | 2,45                                 | 25,4                                 | 2,55                                 | 39,5      | αμμοπηλώδες          |
| 7,45 | 3,90               | 2,47                                 | 26,5                                 | 2,56                                 | 41,0      | αμμοπηλώδες          |
| 7,56 | 3,93               | 2,5                                  | 27,8                                 | 2,58                                 | 42,7      | αμμοπηλώδες          |
| 7,65 | 3,96               | 2,5                                  | 28,7                                 | 2,58                                 | 43,9      | αμμοπηλώδες          |
| 7,65 | 3,98               | 2,5                                  | 29                                   | 2,59                                 | 44,3      | αμμοπηλώδες          |
| 7,71 | 4,09               | 2,53                                 | 30                                   | 2,6                                  | 45,7      | αμμοπηλώδες          |
| 7,80 | 4,12               | 2,56                                 | 30,56                                | 2,99                                 | 46,9      | αμμοπηλώδες          |
| 7,96 | 4,12               | 2,7                                  | 30,9                                 | 2,99                                 | 47,6      | αμμοπηλώδες          |
| 7,98 | 4,12               | 2,9                                  | 31,22                                | 3,05                                 | 48,3      | αμμοπηλώδες          |
| 8,00 | 4,15               | 3,05                                 | 34,8                                 | 3,07                                 | 53,2      | αμμοπηλώδες          |
| 8,12 | 4,21               | 3,1                                  | 36,52                                | 3,5                                  | 56,1      | αμμοπηλώδες          |
| 8,24 | 4,38               | 3,6                                  | 44,5                                 | 3,5                                  | 67,1      | αμμοπηλώδες          |
| mean | 6,88               | 3,00                                 | 1,89                                 | 23,54                                | 2,17      | 35,9                 |
| max  | 8,24               | 4,38                                 | 3,60                                 | 44,50                                | 3,50      | 67,1                 |
| min  | 5,19               | 1,29                                 | 0,25                                 | 13,40                                | 0,96      | 19,0                 |



Πίνακας 2 : Αποτελέσματα εδαφολογικών αναλύσεων στην περιοχή του Αερινού Ν. Μαγνησίας.

| pH   | Οργανική ουσία (%) | NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/kg) | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/kg) | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/kg) | N (mg/kg) | Κοκκομετρική Σύσταση |
|------|--------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------|----------------------|
| 8,07 | 1,10               | 0,56                                 | 19,65                                | 0,25                                 | 26,59     | αμμοαργιλοπηλώδες    |
| 8,08 | 1,12               | 0,88                                 | 19,88                                | 0,42                                 | 27,54     | αμμοαργιλοπηλώδες    |
| 8,08 | 1,12               | 0,91                                 | 20,36                                | 0,60                                 | 28,43     | αμμοαργιλοπηλώδες    |
| 8,09 | 1,12               | 1,23                                 | 20,36                                | 0,9                                  | 29,24     | αμμοαργιλοπηλώδες    |
| 8,11 | 1,13               | 1,25                                 | 21,2                                 | 1,06                                 | 30,56     | αμμοαργιλοπηλώδες    |
| 8,12 | 1,20               | 1,25                                 | 21,2                                 | 1,24                                 | 30,80     | αμμοαργιλοπηλώδες    |
| 8,14 | 1,21               | 1,35                                 | 22,36                                | 1,25                                 | 32,45     | αμμοαργιλοπηλώδες    |
| 8,15 | 1,21               | 1,35                                 | 22,5                                 | 1,25                                 | 32,63     | αμμοαργιλοπηλώδες    |
| 8,15 | 1,22               | 1,35                                 | 23,2                                 | 1,25                                 | 33,54     | αμμοαργιλοπηλώδες    |
| 8,17 | 1,22               | 1,35                                 | 23,2                                 | 1,25                                 | 33,54     | αμμοαργιλοπηλώδες    |
| 8,19 | 1,23               | 1,36                                 | 23,2                                 | 1,25                                 | 33,55     | αμμοαργιλοπηλώδες    |
| 8,19 | 1,23               | 1,36                                 | 23,5                                 | 1,35                                 | 34,07     | αμμοαργιλοπηλώδες    |
| 8,19 | 1,23               | 1,36                                 | 23,50                                | 1,36                                 | 34,09     | αμμοαργιλοπηλώδες    |
| 8,20 | 1,23               | 1,42                                 | 23,56                                | 1,36                                 | 34,24     | αμμοαργιλοπηλώδες    |
| 8,21 | 1,25               | 1,45                                 | 23,56                                | 1,36                                 | 34,28     | αμμοαργιλοπηλώδες    |
| 8,21 | 1,27               | 1,46                                 | 23,6                                 | 1,4                                  | 34,40     | αμμοαργιλοπηλώδες    |
| 8,21 | 1,28               | 1,47                                 | 24                                   | 1,44                                 | 34,98     | αμμοαργιλοπηλώδες    |
| 8,21 | 1,28               | 1,47                                 | 24,15                                | 1,45                                 | 35,19     | αμμοαργιλοπηλώδες    |
| 8,21 | 1,28               | 1,47                                 | 24,47                                | 1,46                                 | 35,62     | αμμοαργιλοπηλώδες    |
| 8,22 | 1,29               | 1,47                                 | 24,5                                 | 1,47                                 | 35,67     | αμμοαργιλοπηλώδες    |
| 8,22 | 1,32               | 1,5                                  | 24,5                                 | 1,47                                 | 35,71     | αμμοαργιλοπηλώδες    |
| 8,23 | 1,32               | 1,56                                 | 24,50                                | 1,47                                 | 35,79     | αμμοπηλώδες          |
| 8,24 | 1,36               | 1,56                                 | 24,56                                | 1,47                                 | 35,87     | αμμοπηλώδες          |
| 8,24 | 1,37               | 1,56                                 | 24,56                                | 1,47                                 | 35,87     | αμμοπηλώδες          |
| 8,25 | 1,39               | 1,56                                 | 24,56                                | 1,48                                 | 35,88     | αμμοπηλώδες          |
| 8,25 | 1,40               | 1,59                                 | 24,65                                | 1,5                                  | 36,06     | αμμοπηλώδες          |
| 8,25 | 1,42               | 1,59                                 | 24,9                                 | 1,52                                 | 36,41     | αμμοπηλώδες          |
| 8,26 | 1,42               | 1,65                                 | 25                                   | 1,56                                 | 36,67     | αμμοπηλώδες          |
| 8,27 | 1,42               | 1,66                                 | 25                                   | 1,58                                 | 36,71     | αμμοπηλώδες          |
| 8,29 | 1,43               | 1,77                                 | 25,36                                | 1,58                                 | 37,32     | αμμοπηλώδες          |
| 8,32 | 1,43               | 1,8                                  | 25,5                                 | 1,58                                 | 37,54     | αμμοπηλώδες          |
| 8,32 | 1,43               | 1,84                                 | 25,63                                | 1,58                                 | 37,77     | αμμοπηλώδες          |
| 8,35 | 1,45               | 1,87                                 | 25,8                                 | 1,59                                 | 38,04     | αμμοπηλώδες          |
| 8,35 | 1,47               | 1,89                                 | 26,3                                 | 1,59                                 | 38,71     | αμμοπηλώδες          |
| 8,36 | 1,49               | 1,9                                  | 26,3                                 | 1,63                                 | 38,78     | αμμοπηλώδες          |
| 8,36 | 1,49               | 1,99                                 | 26,31                                | 1,65                                 | 38,94     | αμμοπηλώδες          |
| 8,38 | 1,49               | 1,99                                 | 26,35                                | 1,66                                 | 39,00     | αμμοπηλώδες          |
| 8,39 | 1,50               | 2,04                                 | 26,5                                 | 1,7                                  | 39,31     | αργιλοπηλώδες        |
| 8,39 | 1,51               | 2,05                                 | 26,5                                 | 1,7                                  | 39,33     | αργιλοπηλώδες        |
| 8,39 | 1,52               | 2,1                                  | 26,53                                | 1,77                                 | 39,52     | αργιλοπηλώδες        |
| 8,40 | 1,52               | 2,1                                  | 26,8                                 | 2,2                                  | 40,43     | αργιλοπηλώδες        |
| 8,40 | 1,53               | 2,2                                  | 27                                   | 2,2                                  | 40,82     | αργιλοπηλώδες        |
| 8,41 | 1,53               | 2,2                                  | 27                                   | 2,2                                  | 40,82     | αργιλοπηλώδες        |
| 8,41 | 1,54               | 2,2                                  | 27,8                                 | 2,3                                  | 41,99     | αργιλοπηλώδες        |
| 8,41 | 1,56               | 2,23                                 | 28                                   | 2,35                                 | 42,35     | αργιλοπηλώδες        |
| 8,42 | 1,59               | 2,3                                  | 28                                   | 2,35                                 | 42,45     | αργιλοπηλώδες        |

|      |      |      |       |       |       |               |
|------|------|------|-------|-------|-------|---------------|
| 8,42 | 1,62 | 2,36 | 28,5  | 2,35  | 43,17 | αργιλοπηλώδες |
| 8,43 | 1,62 | 2,4  | 28,9  | 2,36  | 43,76 | αργιλοπηλώδες |
| 8,43 | 1,63 | 2,4  | 28,9  | 2,36  | 43,76 | αργιλοπηλώδες |
| 8,44 | 1,65 | 2,4  | 29    | 2,45  | 44,01 | αργιλοπηλώδες |
| 8,47 | 1,70 | 2,47 | 29    | 2,45  | 44,10 | αργιλοπηλώδες |
| 8,47 | 1,70 | 2,5  | 29    | 2,47  | 44,16 | αργιλοπηλώδες |
| 8,48 | 1,77 | 2,5  | 29,8  | 2,47  | 45,20 | αργιλοπηλώδες |
| 8,48 | 1,79 | 2,5  | 29,84 | 2,49  | 45,28 | αργιλοπηλώδες |
| 8,48 | 1,86 | 2,56 | 29,85 | 2,5   | 45,38 | αργιλοπηλώδες |
| 8,49 | 1,87 | 2,69 | 30,25 | 2,5   | 46,07 | αργιλοπηλώδες |
| 8,49 | 1,88 | 2,69 | 30,6  | 2,58  | 46,63 | αργιλοπηλώδες |
| 8,50 | 1,92 | 2,7  | 30,65 | 2,58  | 46,71 | αργιλοπηλώδες |
| 8,51 | 1,96 | 2,78 | 31,25 | 2,6   | 47,62 | αργιλοπηλώδες |
| 8,51 | 1,99 | 2,78 | 31,45 | 2,69  | 48,00 | αργιλοπηλώδες |
| 8,52 | 2,12 | 2,88 | 32,4  | 2,69  | 49,36 | αργιλοπηλώδες |
| 8,54 | 2,14 | 2,9  | 32,5  | 2,8   | 49,66 | αργιλοπηλώδες |
| 8,59 | 2,24 | 3,47 | 32,58 | 3,01  | 50,78 | αργιλοπηλώδες |
| 8,61 | 2,38 | 3,5  | 34,56 | 3,3   | 53,77 | αργιλοπηλώδες |
| 8,62 | 4,11 | 3,7  | 36,56 | 3,6   | 57,02 | αργιλοπηλώδες |
| mean | 8,33 | 1,54 | 1,95  | 26,33 | 1,83  | 39,14         |
| max  | 8,62 | 4,11 | 3,70  | 36,56 | 3,60  | 57,02         |
| min  | 8,07 | 1,10 | 0,56  | 19,65 | 0,25  | 26,59         |

Πίνακας 3 : Αποτελέσματα εδαφολογικών αναλύσεων στην περιοχή του Δρυμόνα Ν. Μαγνησίας.

| pH   | Οργανική ουσία (%) | NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/kg) | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/kg) | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/kg) | N (mg/kg) | Κοκκομετρική Σύσταση |
|------|--------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------|----------------------|
| 7,11 | 1,59               | 1,05                                 | 18,6                                 | 1,59                                 | 27,6      | αμμοαργιλοπηλώδες    |
| 7,32 | 1,61               | 1,36                                 | 18,59                                | 1,59                                 | 28,0      | αμμοαργιλοπηλώδες    |
| 7,45 | 1,68               | 1,36                                 | 19,2                                 | 1,65                                 | 28,9      | αμμοαργιλοπηλώδες    |
| 7,56 | 1,69               | 1,45                                 | 19,6                                 | 2,01                                 | 30,0      | αμμοαργιλοπηλώδες    |
| 7,61 | 1,70               | 1,47                                 | 21,5                                 | 2,01                                 | 32,5      | αμμοαργιλοπηλώδες    |
| 7,62 | 1,72               | 1,48                                 | 22,36                                | 2,36                                 | 34,1      | αμμοαργιλοπηλώδες    |
| 7,66 | 1,73               | 1,56                                 | 24,56                                | 2,36                                 | 37,0      | αμμοαργιλοπηλώδες    |
| 7,68 | 1,73               | 1,56                                 | 25,69                                | 2,4                                  | 41,5      | αμμοαργιλοπηλώδες    |
| 7,69 | 1,75               | 1,78                                 | 30,1                                 | 2,56                                 | 44,8      | αμμοαργιλοπηλώδες    |
| 7,71 | 1,77               | 1,89                                 | 30,6                                 | 2,56                                 | 45,6      | αμμοαργιλοπηλώδες    |
| 7,72 | 1,77               | 2,09                                 | 30,69                                | 2,64                                 | 51,4      | αμμοαργιλοπηλώδες    |
| 7,74 | 1,78               | 2,2                                  | 48,0                                 | 2,78                                 | 58,3      | αμμοαργιλοπηλώδες    |
| 7,74 | 1,81               | 2,23                                 | 49,9                                 | 2,9                                  | 71,5      | αμμοαργιλοπηλώδες    |
| 7,76 | 1,84               | 2,36                                 | 50,7                                 | 2,99                                 | 72,9      | αμμοαργιλοπηλώδες    |
| 7,81 | 1,85               | 2,36                                 | 51,2                                 | 3,96                                 | 74,8      | αμμοπηλώδες          |
| 7,86 | 1,86               | 2,5                                  | 51,9                                 | 4,7                                  | 76,8      | αμμοπηλώδες          |
| 8,25 | 1,86               | 2,51                                 | 58,3                                 | 4,89                                 | 85,5      | αμμοπηλώδες          |
| 8,31 | 1,92               | 2,9                                  | 62,9                                 | 5,5                                  | 92,6      | πηλοαμμώδες          |
| mean | 7,70               | 1,76                                 | 1,90                                 | 35,25                                | 2,86      | 51,87                |
| max  | 8,31               | 1,92                                 | 2,90                                 | 62,86                                | 5,50      | 92,64                |
| min  | 7,11               | 1,59                                 | 1,05                                 | 18,56                                | 1,59      | 27,56                |

Πίνακας 4: Αποτελέσματα εδαφολογικών αναλύσεων στην περιοχή του Αγ. Δημητρίου Ν. Μαγνησίας.

| ρΗ   | Οργανική<br>ουσία<br>(%) | NO <sub>2</sub> <sup>-</sup><br>(mg/kg) | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup><br>(mg/kg) | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup><br>(mg/kg) | N<br>(mg/kg) | Κοκκομετρική<br>Σύσταση |
|------|--------------------------|---|---|---|--------------|-------------------------|
| 7,45 | 1,55                     | 0,85                                    | 12,5                                    | 1,036                                   | 18,70        | αμμοαργιλοπηλώδες       |
| 7,45 | 1,56                     | 0,96                                    | 12,57                                   | 1,05                                    | 18,95        | αμμοαργιλοπηλώδες       |
| 7,56 | 1,63                     | 0,98                                    | 14,56                                   | 1,056                                   | 21,57        | αμμοαργιλοπηλώδες       |
| 7,78 | 1,69                     | 1,23                                    | 16,35                                   | 1,06                                    | 24,23        | αμμοαργιλοπηλώδες       |
| 7,78 | 1,73                     | 1,23                                    | 16,58                                   | 1,065                                   | 24,54        | αμμοαργιλοπηλώδες       |
| 7,81 | 1,76                     | 1,23                                    | 16,9                                    | 1,1                                     | 25,00        | αμμοαργιλοπηλώδες       |
| 7,81 | 1,76                     | 1,25                                    | 18,59                                   | 1,23                                    | 27,39        | αμμοαργιλοπηλώδες       |
| 7,82 | 1,76                     | 1,26                                    | 18,9                                    | 1,23                                    | 27,81        | αμμοαργιλοπηλώδες       |
| 7,82 | 1,78                     | 1,26                                    | 18,96                                   | 1,25                                    | 27,91        | αμμοαργιλοπηλώδες       |
| 7,84 | 1,79                     | 1,35                                    | 19,63                                   | 1,25                                    | 28,90        | αμμοαργιλοπηλώδες       |
| 7,84 | 1,79                     | 1,35                                    | 19,8                                    | 1,25                                    | 29,12        | αμμοαργιλοπηλώδες       |
| 7,85 | 1,81                     | 1,36                                    | 19,89                                   | 1,25                                    | 29,25        | αμμοαργιλοπηλώδες       |
| 7,85 | 1,82                     | 1,36                                    | 20,6                                    | 1,25                                    | 30,17        | αμμοαργιλοπηλώδες       |
| 7,86 | 1,82                     | 1,36                                    | 20,63                                   | 1,36                                    | 30,36        | αμμοαργιλοπηλώδες       |
| 7,86 | 1,84                     | 1,36                                    | 20,69                                   | 1,42                                    | 30,51        | αμμοαργιλοπηλώδες       |
| 7,86 | 1,84                     | 1,36                                    | 21                                      | 1,45                                    | 30,95        | αμμοαργιλοπηλώδες       |
| 7,87 | 1,84                     | 1,36                                    | 21,5                                    | 1,45                                    | 31,60        | αμμοαργιλοπηλώδες       |
| 7,88 | 1,84                     | 1,36                                    | 22,3                                    | 1,45                                    | 32,64        | αμμοαργιλοπηλώδες       |
| 7,88 | 1,84                     | 1,43                                    | 22,5                                    | 1,47                                    | 33,02        | αμμοαργιλοπηλώδες       |
| 7,88 | 1,84                     | 1,45                                    | 22,56                                   | 1,48                                    | 33,14        | αμμοαργιλοπηλώδες       |
| 7,88 | 1,84                     | 1,45                                    | 22,58                                   | 1,48                                    | 33,16        | αμμοαργιλοπηλώδες       |
| 7,89 | 1,84                     | 1,45                                    | 23,5                                    | 1,49                                    | 34,37        | αμμοαργιλοπηλώδες       |
| 7,89 | 1,85                     | 1,45                                    | 23,56                                   | 1,58                                    | 34,57        | αμμοαργιλοπηλώδες       |
| 7,89 | 1,85                     | 1,47                                    | 23,56                                   | 1,58                                    | 34,59        | αμμοαργιλοπηλώδες       |
| 7,89 | 1,85                     | 1,47                                    | 23,58                                   | 1,59                                    | 34,63        | αμμοαργιλοπηλώδες       |
| 7,90 | 1,85                     | 1,48                                    | 23,58                                   | 1,63                                    | 34,70        | αμμοαργιλοπηλώδες       |
| 7,91 | 1,86                     | 1,56                                    | 23,58                                   | 1,63                                    | 34,80        | αμμοαργιλοπηλώδες       |
| 7,91 | 1,86                     | 1,56                                    | 23,6                                    | 1,69                                    | 34,91        | αμμοαργιλοπηλώδες       |
| 7,91 | 1,86                     | 1,56                                    | 24,56                                   | 1,69                                    | 36,15        | αμμοαργιλοπηλώδες       |
| 7,91 | 1,86                     | 1,56                                    | 24,56                                   | 1,751                                   | 36,23        | αμμοαργιλοπηλώδες       |
| 7,93 | 1,87                     | 1,56                                    | 24,58                                   | 1,77                                    | 36,28        | αμμοαργιλοπηλώδες       |
| 7,93 | 1,87                     | 1,56                                    | 24,7                                    | 1,85                                    | 36,54        | αμμοαργιλοπηλώδες       |
| 7,94 | 1,87                     | 1,58                                    | 24,98                                   | 1,88                                    | 36,97        | αμμοαργιλοπηλώδες       |
| 7,95 | 1,87                     | 1,59                                    | 25,56                                   | 1,96                                    | 37,84        | αμμοαργιλοπηλώδες       |
| 7,95 | 1,88                     | 1,63                                    | 25,6                                    | 1,96                                    | 37,95        | αμμοαργιλοπηλώδες       |
| 7,95 | 1,88                     | 1,69                                    | 25,69                                   | 2                                       | 38,19        | αμμοαργιλοπηλώδες       |
| 7,95 | 1,88                     | 1,69                                    | 26                                      | 2,03                                    | 38,64        | αμμοαργιλοπηλώδες       |
| 7,95 | 1,88                     | 1,69                                    | 26                                      | 2,03                                    | 38,64        | αμμοαργιλοπηλώδες       |
| 7,96 | 1,88                     | 1,75                                    | 26,5                                    | 2,09                                    | 39,44        | αμμοαργιλοπηλώδες       |
| 7,96 | 1,88                     | 1,88                                    | 26,5                                    | 2,14                                    | 39,68        | αμμοαργιλοπηλώδες       |
| 7,96 | 1,89                     | 1,89                                    | 26,53                                   | 2,23                                    | 39,85        | αμμοαργιλοπηλώδες       |
| 7,97 | 1,89                     | 1,89                                    | 26,56                                   | 2,25                                    | 39,91        | αμμοαργιλοπηλώδες       |
| 7,98 | 1,89                     | 1,89                                    | 26,59                                   | 2,25                                    | 39,95        | αμμοαργιλοπηλώδες       |
| 7,98 | 1,89                     | 1,9                                     | 26,6                                    | 2,3                                     | 40,04        | αμμοαργιλοπηλώδες       |
| 7,98 | 1,91                     | 2                                       | 27,56                                   | 2,35                                    | 41,48        | αμμοαργιλοπηλώδες       |

|      |      |       |       |      |       |                   |
|------|------|-------|-------|------|-------|-------------------|
| 7,98 | 1,91 | 2,02  | 27,8  | 2,36 | 41,83 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,98 | 1,91 | 2,03  | 27,8  | 2,36 | 41,85 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,99 | 1,91 | 2,036 | 27,89 | 2,36 | 41,97 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,99 | 1,92 | 2,09  | 27,89 | 2,36 | 42,04 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 7,99 | 1,92 | 2,1   | 27,89 | 2,44 | 42,16 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,00 | 1,92 | 2,13  | 29,56 | 2,45 | 44,38 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,00 | 1,92 | 2,14  | 29,68 | 2,45 | 44,55 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,01 | 1,92 | 2,15  | 29,7  | 2,45 | 44,59 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,01 | 1,93 | 2,2   | 29,8  | 2,45 | 44,79 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,02 | 1,93 | 2,2   | 29,8  | 2,45 | 44,79 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,04 | 1,93 | 2,2   | 29,8  | 2,47 | 44,81 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,04 | 1,93 | 2,2   | 29,85 | 2,47 | 44,88 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,05 | 1,93 | 2,2   | 29,85 | 2,47 | 44,88 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,05 | 1,94 | 2,2   | 29,89 | 2,47 | 44,93 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,05 | 1,94 | 2,36  | 30,1  | 2,48 | 45,42 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,05 | 1,94 | 2,36  | 30,1  | 2,48 | 45,42 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,06 | 1,95 | 2,36  | 30,14 | 2,48 | 45,47 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,06 | 1,95 | 2,4   | 30,16 | 2,5  | 45,58 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,07 | 1,95 | 2,45  | 30,25 | 2,5  | 45,76 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,07 | 1,96 | 2,45  | 30,25 | 2,5  | 45,76 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,07 | 1,96 | 2,45  | 30,56 | 2,56 | 46,24 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,07 | 1,96 | 2,45  | 30,56 | 2,56 | 46,24 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,07 | 1,96 | 2,47  | 30,69 | 2,56 | 46,44 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,08 | 1,96 | 2,47  | 31    | 2,56 | 46,84 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,09 | 1,96 | 2,47  | 31,25 | 2,56 | 47,16 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,11 | 1,97 | 2,47  | 31,25 | 2,58 | 47,19 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,11 | 1,98 | 2,48  | 31,25 | 2,58 | 47,20 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,11 | 1,98 | 2,48  | 31,56 | 2,58 | 47,61 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,11 | 1,98 | 2,5   | 32,09 | 2,59 | 48,33 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,12 | 1,98 | 2,56  | 32,25 | 2,6  | 48,63 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,12 | 1,99 | 2,56  | 32,5  | 2,63 | 49,00 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,12 | 2,01 | 2,56  | 32,56 | 2,63 | 49,08 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,12 | 2,01 | 2,56  | 33,16 | 2,65 | 49,88 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,12 | 2,01 | 2,56  | 33,2  | 2,69 | 49,99 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,13 | 2,03 | 2,57  | 33,25 | 2,69 | 50,06 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,13 | 2,03 | 2,58  | 33,41 | 2,69 | 50,28 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,13 | 2,03 | 2,59  | 33,56 | 2,69 | 50,49 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,13 | 2,04 | 2,64  | 34    | 2,77 | 51,23 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,14 | 2,04 | 2,65  | 34,16 | 2,77 | 51,45 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,15 | 2,04 | 2,65  | 34,52 | 2,78 | 51,94 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,16 | 2,04 | 2,69  | 34,52 | 2,8  | 52,01 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,16 | 2,05 | 2,69  | 34,78 | 2,85 | 52,42 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,19 | 2,05 | 2,69  | 34,87 | 2,9  | 52,60 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,19 | 2,06 | 2,69  | 35    | 2,96 | 52,85 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,21 | 2,07 | 2,8   | 35,2  | 2,96 | 53,25 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,21 | 2,08 | 2,85  | 35,26 | 3    | 53,44 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,21 | 2,08 | 2,89  | 35,46 | 3,02 | 53,78 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,21 | 2,08 | 2,9   | 35,69 | 3,04 | 54,12 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,23 | 2,11 | 2,96  | 36,26 | 3,05 | 54,95 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,24 | 2,12 | 2,99  | 36,56 | 3,09 | 55,43 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,26 | 2,12 | 3,01  | 36,56 | 3,2  | 55,60 | αμμοαργιλοπηλώδες |
| 8,26 | 2,12 | 3,01  | 36,56 | 3,2  | 55,60 | αμμοαργιλοπηλώδες |



|      |      |      |      |       |      |       |               |
|------|------|------|------|-------|------|-------|---------------|
|      | 8,27 | 2,12 | 3,06 | 36,56 | 3,25 | 55,73 | αμμοαργιλώδες |
|      | 8,31 | 2,13 | 3,21 | 36,9  | 3,3  | 56,43 | αμμοαργιλώδες |
|      | 8,33 | 2,13 | 3,3  | 37,79 | 3,3  | 57,71 | αμμοαργιλώδες |
|      | 8,35 | 2,13 | 3,3  | 38,69 | 3,36 | 58,96 | αμμοαργιλώδες |
|      | 8,38 | 2,14 | 3,45 | 38,78 | 3,45 | 59,38 | αμμοαργιλώδες |
|      | 8,40 | 2,14 | 3,5  | 39    | 3,45 | 59,74 | αμμοαργιλώδες |
|      | 8,44 | 2,17 | 3,5  | 39,56 | 3,5  | 60,53 | αμμοαργιλώδες |
|      | 8,45 | 2,19 | 3,5  | 39,9  | 3,56 | 61,05 | αμμοαργιλώδες |
|      | 8,56 | 2,2  | 4,13 | 40,12 | 3,58 | 62,18 | αμμοαργιλώδες |
| mean | 8,03 | 1,93 | 2,14 | 28,42 | 2,27 | 42,68 |               |
| max  | 8,56 | 2,20 | 4,13 | 40,12 | 3,58 | 62,18 |               |
| min  | 7,45 | 1,55 | 0,85 | 12,50 | 1,04 | 18,70 |               |



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

**Addiscott T.M., Whitmore A.P., Powlson D.S.,** ‘Farming, Fertilizers and the Nitrate Problem’, CAB International – World services to agriculture, 7 – 9.

**Al – Dabbagh, S., Forman, D., Bryson, D., Stratton, I. and Doll, R. (1986).** Mortality of nitrate fertilizer workers. *British Journal of Industrial Medicine* 43, 507 – 515.

**Αναλογίδης Α. Δημήτριος 2000.** Έδαφος θρεπτικά στοιχεία και φυτική παραγωγή. Εκδόσεις Αγρότυπος Α.Ε. Αθήνα.

**Bache, B.W., (1964).** Aluminum and iron phosphate studies relating to soils. II. Reactions between phosphate and hydrous oxides. *J. Soil Sci.* 15:110-116

**Barber, S.A, (1980).** The Role of Phosphorus in Agriculture, Chapter 21. ASA-CSSA-SSSA, USA.

**Barrow, N.J., (1961).** ‘Phosphorus in soil organic matter’. *Soils Fert.*, 24:169.

**Barrow, N.J., (1980).** Evaluation and utilization of residual phosphorus in soils. In F.E. Khasawneh et al. (ed.) *The Role of Phosphorus in Agriculture*, ASA-CSSA-SSSA, USA.

**Barrow, N.J. (1983).** On the reversibility of phosphate sorption by soils. *J. Soil Sci.* 34: 751-758.

**Berger, K.C. and E. Truog, 1939.** Boron determination in soils and plants. *Ind. Eng. Chem. Anal. (II)*. pp. 540-545.

**Beresford, S.A. (1985).** Is nitrate in the drinking water associated with gastric cancer in the urban United Kingdom? *International Journal of Epidemiology* 14, 57 – 63.

**Bingham, F.T., (1962).** Chemical soil tests for available phosphorus. *Soil Sci.* 94: 87-95. In *Soil Science Society of America, 1990: Soil Testing and Plant Analysis*, 3<sup>rd</sup> ed. SSSA.

**Bockman O. C., (1994).** Best Agricultural Practice for the Protection of Air. *Proceedings No 360. The Fertilizer Society, Peterborough U.K.*

**Bouwman, A.F., (1996).** Direct emission of nitrous oxide from agricultural soils. *Nutrient cycling in Agrosystems* 46: 53 – 70.

**Bower, C. A. and L. V. Wilcox, (1965).** Soluble salts. In C. A. Black (ed.). *Methods of soils analysis. Agronomy.*

**Bhatnagar P.R., Sharma B.R., (2002),** *Groundwater Pollution through Agricultural Practices and Agro Industries in India.*

- Γκίζας Β. Δημήτριος., (2003).** Απεικόνιση της χωρικής παραλλακτικότητας των συγκεντρώσεων φωσφόρου, pH και ηλεκτρικής αγωγιμότητας καλλιεργούμενων εδαφών της Ελασσόνας με χρήση γεωγραφικών πληροφοριακών συστημάτων (GIS).
- Γούσιος Α. Βησσαρίων., (2006).** Χωροταξική απεικόνιση των  $E.C.$ ,  $NH_4^+$ ,  $NO_3^-$ ,  $NO_2^-$ , ολικού αζώτου και φωσφόρου των εδαφών της περιοχής Αλμυρού Μαγνησίας με χρήση Τηλεπισκόπησης, D.G.P.S. και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών.
- Cathcart.B.J., (1980).** The Role of Phosphorus in Agriculture, Chapter 1. ASA-CSSA-SSSA, USA
- Clough, P.W.L. (1983).** Nitrates and gastric carcinogenesis. Mineral and the Environment 5, 947 – 959.
- Codling, E. E., R. L. Chaney and C. L. Mulchi, 2000.** Use of aluminum- and iron-rich residues to immobilize phosphorus in poultry litter and litter-amended soils. J. Environ. Qual. 29. pp. 1924-1931
- Cole, V., C. Cerri, K. Minami, A. Mosier and N. Rosenberg, (1996).** Agricultural options for mitigation of greenhouse gas emissions. pp 745 – 771. In R.T. Watson et al (eds): Climate Change. 1995. Impacts adaptations and mitigation of climate change: Scientific – technical analysis. Cambridge Univ. Press, Cambridge, U.K.
- Colwell, Robert N., (1997).** History and Place of Photographic Interpretation, p. 3-47. In Manual of Photographic Interpretation, Second Edition, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.
- Corwin, D. L., G.Sabine and D.Anne, 1999.** Evaluation of a Functional Model for Simulating Boron Transport in Soil. Lippincott Williams & Wilkins, Inc.10. pp. 697-717.
- Dalal, R.C., (1977).** Soil organic phosphorus. Adv. Agron. 29: 83-117.
- Dalal, R.C., Hallsworth, E.G., (1976).** Evaluation of the parameters of soil phosphorus availability factors in predicting yield response and phosphorus uptake. Soil Sc. Plant An. J. 40: 541-545.
- Daniel, T. C., A. N. Sharpley and J. L. Lemunyon, 1998.** Agricultural phosphorus and eutrophication: A symposium overview. J. Environ. Qual. 27. pp. 251-257.
- Deak, S. (1985).** Quoted in WHO (1985). Health Hazards from nitrates in drinking water. Report on a WHO meeting. Copenhagen 5 – 9 March, 1984.
- Dible, W.T., E. Truog and K.C. Berger, 1954.** Boron determination in soils and plants. Anal. Chem. 26. pp. 418-421

**Duncan C., Li Hong, R. Frazer, P. Johnston, G. MacNight, L. Smith, Lamza Kathryn, H. McKenzie, Les Batt, D. Kelly, Golden M N. Benjamin, and C.**

**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. 2<sup>nd</sup> 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 . Εκδόσεις Zymel

**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<sup>η</sup> Έκδοση.

**Μήτσιος Ι. Κ., Π. Κουκουλάκης, Χ. Πασχαλίδης, Ε. Γκατζογιάννη, Ι. Μπριασούλη, Αρ. Παπαδόπουλος και Α. Γκέρτσης, 1996.** Ισοζύγιο αζώτου σε καλλιέργεια καλαμποκιού. 6<sup>ο</sup> 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.

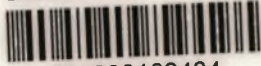
**Wagner, G., Lisher, P., Theocharopoulos, S.P., Muntau, H., De saules, A., Quevauviller Ph., 2001.** Quantitative Evaluation of the CEEM soil sampling Intercomparison. The Science of the total Enviroment, special issue, Vol. 264. Nos. 1-2 . 73-101.

**Τζώρτζιος Ι. Στέργιος, (1997).** Εισαγωγή στον γεωργικό πειραματισμό. Βόλος.

**Φλωράς Σταμάτης (2004).** Παραδόσεις του μαθήματος Γεωγραφικά συστήματα Πληροφοριών. Βόλος.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000102434

