



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ  
και ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**



**«Χωροταξική Απεικόνιση Φωσφόρου, Βορίου, Νιτρικών και Νιτρωδών  
ιόντων των εδαφών περιοχής Αλμυρού Μαγνησίας με χρήση τηλεπισκόπησης,  
DGPS και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών.»**

**Μαλκάκης Γ. Κωνσταντίνος**

**ΒΟΛΟΣ 2006**



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

Αριθ. Εισ.: 3591/1  
Ημερ. Εισ.: 27-03-2008  
Δωρεά: Συγγραφέα  
Ταξιθετικός Κωδικός: Δ  
631.43  
ΜΑΛ



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ  
και ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**



**«Χωροταξική Απεικόνιση Φωσφόρου, Βορίου, Νιτρικών και Νιτρωδών  
ιόντων των εδαφών περιοχής Αλμυρού Μαγνησίας με χρήση τηλεπισκόπισης,  
DGPS και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών.»**

**Μαλκάκης Γ. Κωνσταντίνος**

**ΒΟΛΟΣ 2006**

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ και  
ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

**«Χωροταξική Απεικόνιση Φωσφόρου, Βορίου, Νιτρικών και Νιτρωδών ιόντων των εδαφών περιοχής Αλμυρού Μαγνησίας με χρήση τηλεπισκόπισης, DGPS και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. »**

**Μαλκάκης Γ. Κωνσταντίνος**

**ΒΟΛΟΣ 2006**

**Επιβλέπων Καθηγητής**  
**Ι.Κ. Μήτσιος**  
**Καθηγητής Πανεπιστημίου Θεσσαλίας**  
**Γνωστικό αντικείμενο Εδαφολογία – Χημεία και Γονιμότητα εδάφους**

**Επιβλέπουσα Καθηγήτρια από 25/11/2005**

**Μ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη**  
**Καθηγήτρια Πανεπιστημίου Θεσσαλίας**  
**Γνωστικό αντικείμενο: Υδραυλική, Αρδεύσεις, Στραγγίσεις**

**Μέλη Συμβουλευτικής Επιτροπής**

**Θεοχαρόπουλος Σίδερης**  
**Ερευνητή Α του ΕΘ.Ι.Α.Γ.Ε.**

**Φλωράς Α. Σταμάτης**  
**Αναπληρωτής Ερευνητής ΕΘ.Ι.Α.Γ.Ε**

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θεωρώ υποχρέωση μου να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα Καθηγήτριά μου Μαρία Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Καθηγήτρια του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος και διευθύντρια του Εργαστηρίου Γεωργικής Υδραυλικής 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 μεταπτυχιακής διατριβής.

Ευχαριστίες απευθύνω στον κ. Σίδηρη Θεοχαρόπουλο, Ερευνητή Α του ΕΘ.Ι.Α.Γ.Ε για την ουσιαστική συμβολή του στην συγγραφή της παρούσας διατριβής με τις χρήσιμες και πολύτιμες πληροφορίες, καθώς και υποδείξεις, διορθώσεις της μεταπτυχιακής μου διατριβής.

Θερμά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Αναπληρωτή Ερευνητή του ΕΘ.Ι.Α.Γ.Ε Δρ. Σταμάτη Φλωρά για την πολύτιμη και ουσιαστική βοήθεια που μου παρείχε όλα αυτά χρόνια με τη διδασκαλία και εκπαίδευση στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών καθώς και για τις σημαντικές διορθώσεις και επισημάνσεις που ήταν απαραίτητες για την ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής. Επίσης, η παρούσα διατριβή θα ήταν ανέφικτη χωρίς την συνδρομή του Δρ. Σταμάτη Φλωρά κατά την διαδικασία της λήψης των εδαφικών δειγμάτων.

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

Θεωρώ υποχρέωσή μου να ευχαριστήσω τα μέλη του εργαστηρίου Εδαφολογίας και ιδιαίτερα την Δρ. Ευαγγελία Γκόλια που μου συμπαραστάθηκε και ήταν δίπλα μου σε όλη την διάρκεια των σπουδών μου και με τις χρήσιμες συμβουλές, μου παρείχε πολύτιμη βοήθεια.

Ευχαριστώ θερμά τους γονείς μου και τον αδερφό μου για την ηθική υποστήριξη και συμπαράσταση κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Φυσικά δε θα μπορούσα να μην αναφερθώ και στον αείμνηστο Καθηγητή μου Ι. Μήτσιο. Ο αιφνίδιος θάνατός του, αποτέλεσε λόγο να μείνουν ανολοκλήρωτα τα σχέδια του. Τον ευχαριστώ για όλα όσα μου προσέφερε κατά τη διάρκεια των σπουδών μου και για τη στήριξη και ουσιαστική συμπαράσταση που μου παρείχε.

**στους γονείς μου και  
στον αδερφό μου Βαγγέλη**

## Περίληψη

Στην περιοχή του Αλμυρού του νομού Μαγνησίας πραγματοποιήθηκε έρευνα κατά την άνοιξη του έτους 2005 με σκοπό την εκτίμηση της χωρικής παραλλακτικότητας του φωσφόρου, του βορίου, των νιτρικών και νιτρωδών ιόντων, του pH, της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και της οργανικής ουσίας καλλιεργούμενων εδαφών με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS). Η περιοχή μελέτης καταλαμβάνει έκταση περίπου 150.000 στρέμματα.

Επειτα από την μελέτη αεροφωτογραφιών της περιοχής καθορίστηκαν οι θέσεις λήψης εδαφικών δειγμάτων και συνελέγησαν 100 δείγματα εδάφους σε βάθος 0-30cm. Οι θέσεις δειγματοληψίας ορίστηκαν με την μέθοδο της τυχαίας δειγματοληψίας.

Στην συνέχεια ακολούθησαν εργαστηριακές αναλύσεις για τον προσδιορισμό: της τιμής του pH, της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ( $EC_{1:1}$ ), της οργανικής ουσίας(%) και της συγκέντρωσης του διαθέσιμου φωσφόρου (Olsen), βορίου (Azomethine-H procedure) και νιτρικών και νιτρωδών ιόντων (ιοντική χρωματογραφία).

Η ανάγκη για βέλτιστη διαχείριση των εδαφικών πόρων, αλλά και για την πληρέστερη παρουσίαση των αποτελεσμάτων της παρούσας μελέτης, οδήγησε στη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) για την δημιουργία ψηφιακών θεματικών χαρτών, οι οποίοι μπορούν να περιλάβουν μεγάλο αριθμό δεδομένων και πληροφοριών που αφορούν μία περιοχή. Με τους ψηφιακούς θεματικούς χάρτες επιτυγχάνεται η μελέτη της διαθεσιμότητας του θρεπτικού στοιχείου στο χώρο και στον χρόνο, καθώς η βάση των χαρτών μπορεί να εμπλουτίζεται διαρκώς με την προσθήκη νέων στοιχείων.

Το έδαφος της περιοχής ήταν πολύ ισχυρώς όξινο έως ελαφρώς αλκαλικό ( $pH = 4,7 - 8,5$ ), μη αλατούχο στην πλειονότητα των δειγμάτων ( $EC_{1:1} = 52 - 867 \mu S cm^{-1}$ ), χαμηλά ως μέτρια εφοδιασμένο σε οργανική ουσία (0,3 – 4,9%) και ικανοποιητικά εφοδιασμένο σε διαθέσιμο Βόριο (1,1 – 22) και επαρκώς εφοδιασμένο σε διαθέσιμο φώσφορο (index: 0 – 5).

Από την μελέτη των αποτελεσμάτων διαπιστώνεται ότι τα εδάφη περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις σε διαθέσιμο φώσφορο. Η συγκέντρωση του διαθέσιμου φωσφόρου κυμάνθηκε από 3,9 έως 134,4mg kg<sup>-1</sup> ξ.ε. με μέση τιμή 28 mg kg<sup>-1</sup> ξ.ε. Οι



ποσότητες αυτές του φωσφόρου θεωρούνται επαρκείς για να καλύψουν τις ανάγκες των καλλιεργειών της περιοχής (καλαμπόκι, καπνός, μηδική, αμπέλι).

Η συγκέντρωση του Βορίου των εδαφικών δειγμάτων σε βάθος 0-30cm κυμάνθηκε από 1,13 έως 22mg kg<sup>-1</sup> ξ.ε. (ξηρού εδάφους) με μέση τιμή τα 4,07 mg kg<sup>-1</sup> ξ.ε. Δεν υπάρχει κίνδυνος να παρουσιαστούν συμπτώματα τροφοπενίας βορίου στα φυτά, αντιθέτως υπάρχει η πιθανότητα ύπαρξης τοξικότητας βορίου αφού σε ποσοστό 20% των δειγμάτων η συγκέντρωση βορίου βρέθηκε πάνω από 5mg kg<sup>-1</sup>.

Από την μελέτη των αποτελεσμάτων διαπιστώνεται ότι τα εδάφη περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις σε νιτρικά ιόντα. Η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων κυμάνθηκε από 0 ως 421,1 mg kg<sup>-1</sup> ξ.ε. με μέση τιμή 53,4 mg kg<sup>-1</sup> ξ.ε. Η συγκέντρωση των νιτρωδών ιόντων κυμάνθηκε από 0 ως 2,185 mg kg<sup>-1</sup> ξ.ε. με μέση τιμή 0,107 mg kg<sup>-1</sup> ξ.ε.

Οι υψηλές συγκεντρώσεις του διαθέσιμου φωσφόρου και των νιτρικών ιόντων οφείλεται στην αλόγιστη χρήση των φωσφορικών λιπασμάτων και αζωτούχων λιπασμάτων, με σκοπό την αύξηση της παραγωγής. Λόγω της ταχείας προσρόφησης του φωσφόρου από τα συστατικά του εδάφους, το πλεόνασμα του δεν μπορεί να αξιοποιηθεί κατάλληλα από τα φυτά αμέσως με την προσθήκη του στο έδαφος, με αποτέλεσμα τη συσσώρευση του στα εδάφη. Η συσσώρευση του φωσφόρου στα καλλιεργούμενα εδάφη και η υψηλές συγκεντρώσεις των νιτρικών ιόντων δημιουργεί έναν ορατό πλέον περιβαλλοντικό κίνδυνο, λόγω της μετακίνησης τους από το έδαφος, διαμέσου της επιφανειακής και υποεπιφανειακής απορροής αλλά και διαμέσου της έκπλυσης, προς τους υδάτινους αποδέκτες, με αποτέλεσμα την δημιουργία ευτροφικών καταστάσεων καθώς και τη ρύπανση των υπόγειων και επιφανειακών υδάτων.

## Περιεχόμενα

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

1.1 Διαθεσιμότητα του φωσφόρου στο έδαφος	1
1.1.1 Φώσφορος στο έδαφος	1
1.1.2 Περιεκτικότητα των εδαφών σε φώσφορο	1
1.1.2.1 Οργανικός Φώσφορος	2
1.1.2.2 Ανόργανος φώσφορος	4
1.1.3 Αντιδράσεις των φωσφορικών λιπασμάτων στο έδαφος	6
1.1.4 Παράγοντες που επηρεάζουν τη συγκράτηση του φωσφόρου στα εδάφη	9
1.1.5 Διάχυση του φωσφόρου στο έδαφος - Πρόσληψη του φωσφόρου από τα φυτά	12
1.1.6 Επιδράσεις του φωσφόρου στο περιβάλλον	15
1.1.7 Φώσφορος, ποιότητα ύδατος και ευτροφισμός	15
1.1.8 Απομάκρυνση του φωσφόρου από τα εδάφη	16
1.1.9 Μέθοδοι προσδιορισμού του φωσφόρου στο έδαφος	18
1.2 Το βόριο	20
1.2.1 Το βόριο στο έδαφος	22
1.2.2 Μορφές βορίου στο έδαφος	24
1.2.3 Προσρόφηση βορίου από τα κολλοειδή του εδάφους	25
1.2.4 Παράγοντες που επηρεάζουν την διαθεσιμότητα του βορίου του εδάφους	27
1.2.5 Εδάφη με μικρή περιεκτικότητα σε βόριο	30
1.2.6 Το βόριο στην ανάπτυξη των φυτών	31
1.2.7 Απαιτήσεις των φυτών σε βόριο	34
1.2.8 Συμπτώματα τροφοπενίας βορίου	37
1.2.9 Πρόληψη τροφοπενιών βορίου	42
1.2.10 Λιπάνσεις με βόριο	43
1.2.11 Τοξικότητα βορίου	44
1.2.12 Αντιμετώπιση των προβλημάτων τοξικότητας	46
1.2.13 Προσδιορισμός του διαθέσιμου βορίου στο έδαφος	49
1.3 Το άζωτο του εδάφους	50
1.3.1 Ο κύκλος του αζώτου	50

1.3.2.1 Μη βιολογική δέσμευση του αζώτου	52
1.3.2.2 Βιολογική δέσμευση του αζώτου	53
1.3.3 Βελτίωση της αποτελεσματικότητας της αζωτοδέσμευσης	55
1.3.4 Η δυναμική του αζώτου στο έδαφος	56
1.3.5 Συμπεριφορά των αμμωνιακών ιόντων στο έδαφος-δέσμευση των αμμωνιακών ιόντων από τη στερεή φάση του εδάφους	59
1.3.6 Απώλειες αζώτου	61
1.3.7 Έκπλυση νιτρικών στα εδάφη	62
1.3.8 Αναστολείς Νιτροποίησης	62
1.3.9 Εισροές και εκροές αζώτου στο έδαφος – Οι δυσμενείς επιπτώσεις του αζώτου στο περιβάλλον	64
1.3.10 Ποιότητα νερού, νιτρορύπανση υδατικών οικοσυστημάτων	69
1.3.11.1 Νιτρορύπανση και Ευτροφισμός	70
1.3.11.2 Επιδράσεις στον τύπο της φυσικής χλωρίδας	70
1.3.11.3 Δυσμενείς επιδράσεις των νιτρικών στην υγεία του ανθρώπου	71
1.3.12 Οι απαιτήσεις των φυτών σε άζωτο	73
1.3.13.1 Έκπλυση των νιτρικών και απώλειες αζώτου	74
1.3.13.2 Έκπλυση νιτρικών – φυτοκάλυψη	75
1.3.13.3 Έκπλυση νιτρικών – Τύπος καλλιέργειας	76
1.3.13.4 Έκπλυση νιτρικών – Επίδραση του τύπου εδάφους	77
1.3.14 Κανόνες ορθής Γεωργικής Πρακτικής	77
1.3.15 Προσδιορισμός των νιτρικών και νιτροδών ιόντων του εδάφους	78
1.3.16 Εκτίμηση της διαθεσιμότητας του αζώτου του εδάφους	82
1.3.17 Ανόργανες μορφές αζώτου	83
1.3.18 Δυναμικό ανοργανοποίησης του αζώτου του εδάφους	84
1.3.19 Μειονεκτήματα των υφισταμένων μεθόδων για την εκτίμηση διαθεσιμότητας του εδαφικού αζώτου	84
1.4 Δειγματοληψία και εργαστηριακές αναλύσεις	86
1.4.1 Ανάλυση του εδάφους για την εκτίμηση της περιεκτικότητάς του σε διαθέσιμα θρεπτικά στοιχεία	86

1.4.2 Προϋποθέσεις και στόχοι της εδαφικής ανάλυσης	86
1.4.3 Προγράμματα ανάλυσης του εδάφους	87
1.5 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.)	94
1.5.1 Ορισμός του Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών	96
1.5.2 Αναφορά σε πρότυπα διαχείρισεως βάσεων δεδομένων, ArcGIS	99
1.5.3 Μεθοδολογία σχεδιασμού βάσεως δεδομένων	100
1.5.4 Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών απαντούν σε ερωτήματα	103
1.5.5 Vector και Raster Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών	106
1.5.6 Μετάβαση από τις βάσεις δεδομένων στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών στους χάρτες	109
1.5.7 Ψηφιοποίηση και προεργασία δεδομένων	109
1.5.8 Δημιουργία συνεχούς επιφάνειας με Γεωστατιστικές μεθόδους	111
1.5.9 Τεχνικές χωρικής μεταβλητότητας	111
1.5.10 Κατανόηση των προτύπων Kriging	112
1.5.11 Πρότυπο σημείων	113
1.5.12 Παγκόσμιο Σύστημα Καθορισμού Θέσης (Global Positioning system, GPS)	115

## **Κεφάλαιο 2 – ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ**

2.1 Περιοχή δειγματοληψίας	118
2.1.1 Γεωμορφολογία – Γεωλογία – Υδρομορφία	118
2.2 Δειγματοληψία και εργαστηριακές αναλύσεις	125
2.2.1 Δειγματοληψία	125
2.2.2 Εργαστηριακές αναλύσεις των εδαφικών δειγμάτων	128
2.2.3 Στατιστική Επεξεργασία Αποτελεσμάτων	144
2.2.4 Εφαρμογή της τηλεπισκόπησης	144
2.2.5 Ψηφιακοί θεματικοί χάρτες	144
2.2.6 Προσδιορισμός λαθών από την ψηφιοποίηση	145
2.2.7 Σύστημα προβολής χαρτών	146
2.2.8 Εφαρμογή του ArcGIS 9.1 Desktop	147
2.2.9 ArcGIS Geostatistical Analyst	148

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ**

3.1 Αποτελέσματα αναλύσεων των εδαφικών δειγμάτων	152
3.2 Ψηφιακοί θεματικοί χάρτες	180
3.3 Χάρτες	181

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

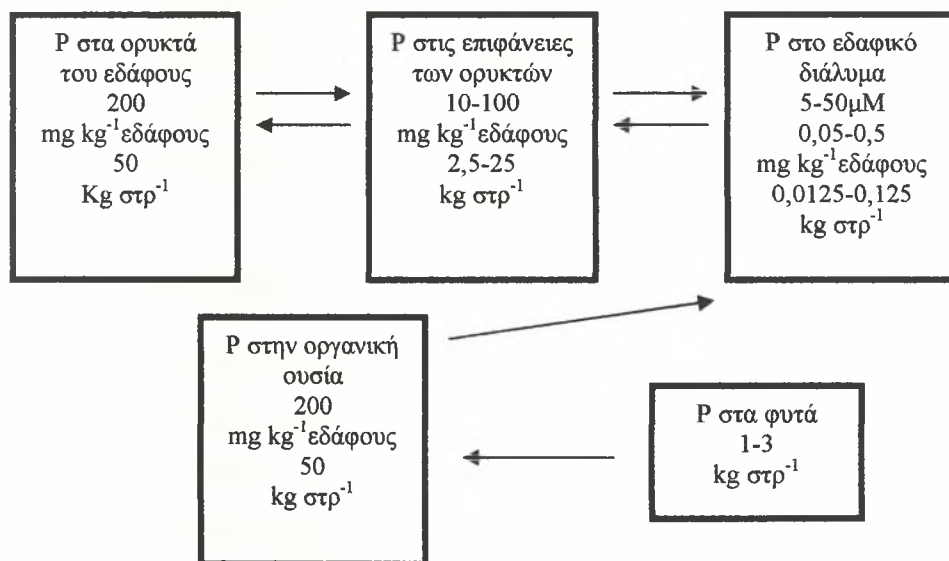
### 1.1 Διαθεσιμότητα του φωσφόρου στο έδαφος

#### 1.1.1 Φώσφορος στο έδαφος

Ο φώσφορος είναι στοιχείο της λιθόσφαιρας σε αναλογία 0,12% του μανδύα της γης (Cathcart B.J., 1980). Εμφανίζεται σε όλα τα πετρώματα, στο νερό και στα φυτικά και ζωικά υπολείμματα και δημιουργεί σύνθετα σύμπλοκα με μεγάλο αριθμό στοιχείων. Περίπου 170 από τα γνωστά ορυκτά περιέχουν τουλάχιστον 0,44% P (Holford, I.C.R., 1997). Στο έδαφος εμφανίζεται σε δύο μορφές ως οργανικός και ως ανόργανος.

#### 1.1.2 Περιεκτικότητα των εδαφών σε φώσφορο

Η κατανομή του φωσφόρου μεταξύ των διαφόρων κλασμάτων αυτού παρουσιάζεται στην εικόνα 1.1 .



*Εικόνα 1.1. Ποσότητες φωσφόρου σε γόνιμο έδαφος. Οι τιμές αναφέρονται στο επιφανειακό στρώμα και σε βάθος 0-20cm (250 t στρ<sup>-1</sup>). Οι ποσότητες του οργανικού φωσφόρου αναφέρονται για ένα έδαφος που περιέχει 1,7% οργανική ουσία (OM) και 12g P kg<sup>-1</sup> OM. Ο φώσφορος στο εδαφικό διάλυμα υπολογίστηκε θεωρώντας ότι 1 kg εδάφους περιέχει 300mL διάλυμα. Τα τόξα δείχνουν τις μετατροπές του φωσφόρου μεταξύ διαφόρων κλασμάτων αυτού. Τα δεδομένα της εικόνας προέρχονται από την εργασία του Wild (1988)*

1. *Ορυκτά του φωσφόρου.* Τα πρωτογενή ορυκτά του φωσφορικού ασβεστίου, φωσφορικού σιδήρου και φωσφορικού αργιλίου.

2. *Επιφάνειες των ορυκτών.* Ο φώσφορος δεσμεύεται από τα οξειδία και υδροξειδία του Al και Fe. Τα ορυκτά της αργίλου συγκρατούν το φώσφορο με μηχανισμούς που δεν έχουν ακόμα διερευνηθεί αρκετά. Οι μηχανισμοί αυτοί περιλαμβάνουν δεσμούς με -OH ομάδες στις ακμές του καολινίτη και τον σχηματισμό στις επιφάνειες των ορυκτών πολύ μικρών σωματιδίων από φωσφορικά ορυκτά. Ο φώσφορος δεν φαίνεται να συγκρατείται στα ορυκτά του τύπου 2:1 εκτός αν στις επιφάνειες των ορυκτών αυτών έχουν σχηματισθεί οξειδία ή υδροξειδία του Al και Fe. Σε ασβεστόχα εδάφη ο φώσφορος προσροφάται στις επιφάνειες του ασβεστίτη οπότε σχηματίζεται φωσφορικό ασβέστιο. Ο φώσφορος επίσης εμφανίζεται να σχηματίζει δεσμούς με το Al στις επιφάνειες του χούμου.

3. *Εδαφικό διάλυμα.* Ο φώσφορος στο εδαφικό διάλυμα βρίσκεται κυρίως με τη μορφή  $H_2PO_4^-$  και  $HPO_4^{2-}$  σ' ένα εύρος τιμών του pH του εδάφους.

4. *Ο φώσφορος στα φυτά.* Ο φώσφορος στα φυτά βρίσκεται κυρίως με την μορφή των οργανικών εστέρων όπου ο P συνδέεται με τον C διαμέσου του  $O_2$ .

5. *Οργανική ουσία.* Η μορφή του οργανικού φωσφόρου αντανακλά τη μορφή του στα φυτά και στους μικροοργανισμούς όπου βρίσκεται κυρίως με τη μορφή οργανικών εστέρων

### 1.1.2.1 Οργανικός Φώσφορος

Η οργανική μορφή του P απαντάται στα εδάφη ως συστατικό του χούμου. Ο φώσφορος στην οργανική του μορφή αποτελεί ένα μεγάλο μέρος του συνολικού φωσφόρου στο έδαφος και κυμαίνεται από <10% σε εδάφη με χαμηλή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία έως και 90% σε εδάφη με υψηλή (Harrison, 1987).

Ο φώσφορος προστίθεται στο έδαφος με τα φυτικά υπολείμματα και με την ανοργανοποίηση της οργανικής ουσίας μετατρέπεται σε ανόργανη μορφή.

Για ένα έδαφος που η περιεκτικότητά του σε οργανική ουσία δε μεταβάλλεται, για παράδειγμα σε καλλιεργούμενες περιοχές, ο λόγος της ποσότητας φωσφόρου στο έδαφος προς την ποσότητα του φωσφόρου που εισρέει ετησίως κυμαίνεται μεταξύ 0,4 και 0,8 kg P στρ<sup>-1</sup>. Ο εφοδιασμός του εδάφους με ποσότητες φωσφόρου από αυτήν την πηγή είναι μεγαλύτερος σε συνθήκες κατά τις οποίες μεγάλες ποσότητες οργανικής ουσίας αποσυντίθενται. (Μήτσιος, 2004).

Οι ποσότητες του οργανικού φωσφόρου διαφέρουν σημαντικά μεταξύ των εδαφών. Οι ποσότητες αυτές χονδρικά συνδέονται με την περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ουσία τόσο μεταξύ των εδαφών όσο και στην εδαφική κατατομή. Η περιεκτικότητα της οργανικής ουσίας σε φώσφορο ποικίλλει. Οι λόγοι του επί τοις εκατό ποσοστού του άνθρακα προς το επί τοις εκατό ποσοστό του αζώτου προς του επί τοις εκατό ποσοστού του οργανικού φωσφόρου ποικίλλουν σημαντικά, αν και συνήθως ο λόγος του N : οργανικός P κυμαίνεται μεταξύ 10:1 και 10:2 (Barrow, 1961).

Έχει παρατηρηθεί ότι ο λόγος C:P ποικίλλει περισσότερο από το λόγο C:N με πιθανή εξήγηση ότι τα άτομα του αζώτου χημικά συνδέονται με το χουμικό οξύ εντός της δομής του, σε αντίθεση με τον οργανικό φώσφορο που βρίσκεται περιφερειακά στη δομή του χουμικού οξέος. (Μήτσιος, 2004)

Οι χημικές μορφές του οργανικού φωσφόρου περιλαμβάνουν ένα μεγάλο εύρος από φωσφορικούς εστέρες φωσφορολιπιδίων, νουκλεονικών οξέων και φωσφόρου χημικά συνδεδεμένου με το άμυλο (Black and Goring, 1953).

Οι εστέρες του φωσφορικού ινοσίτη προέρχονται από τα διάφορα μικρόβια και μόνο πολύ μικρός αριθμός φωσφορικών ινοσίτη προέρχεται από τα φυτικά υπολείμματα. Οι εστέρες του φωσφορικού ινοσίτη υπερισχύουν και αποτελούν σε μερικές περιπτώσεις περισσότερο από το 50% του συνολικού οργανικού φωσφόρου (Turner et al., 2002). Τα νουκλεονικά οξέα περιλαμβάνουν περίπου το 3% (Dalal, 1977), του οργανικού φωσφόρου, ενώ τα φωσφορολιπίδια περιλαμβάνουν περίπου το 1% (Anderson and Malcolm, 1974). Τα φωσφορολιπίδια προέρχονται από τα φυτά, ζώα και μικρόβια. Επομένως οι μορφές του οργανικού φωσφόρου στο έδαφος δεν είναι μόνο το αποτέλεσμα της συσσώρευσης του οργανικού φωσφόρου από τα φυτά τα οποία ανθίσταται στην ανοργανοποίηση αλλά μπορεί να προέρχονται και από βιοχημικές μετατροπές οι οποίες μέχρι σήμερα είναι άγνωστες.

Γενικά θεωρείται ότι ο οργανικός φώσφορος στο έδαφος προέρχεται κατευθείαν ή μετά από βιοχημικές μετατροπές από τα φυτικά υπολείμματα και φύλλα στα οποία μέρος του φωσφόρου βρίσκεται με τη μορφή οργανικών ενώσεων.

Η συγκέντρωση του οργανικού φωσφόρου στο έδαφος επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένου του κλίματος, του εδάφους, της καλλιέργειας και του οργώματος (Stevenson and Cole, 1999).



### 3.1.1.1 Ανόργανος φώσφορος

Η ισχυρή προσρόφηση του φωσφόρου στις επιφάνειες των ορυκτών και η μικρή διαλυτότητα των φωσφορικών ορυκτών σύμφωνα με τον I. Μήτσιο έχει ως αποτέλεσμα την ύπαρξη μικρών συγκεντρώσεων φωσφόρου στο εδαφικό διάλυμα οι τιμές των οποίων κυμαίνονται μεταξύ 1 και 50μM. Οι τιμές των συγκεντρώσεων του φωσφόρου είναι το ένα δέκατο σε σχέση με τις τιμές του καλίου και το ένα εκατοστό των τιμών των συγκεντρώσεων των  $\text{NO}_3^-$ . Ο διαλυτός φώσφορος μετράται με φασματοφωτόμετρο ή χρωματομετρικά μετά την ανάπτυξη του μπλε χρώματος μετά του φωσφορο μολυβδαινικού αμμωνίου

Με την ανόργανη μορφή, ο P δημιουργεί ενώσεις με τα στοιχεία Ca, Fe και Al. Οι ανόργανες ενώσεις του φωσφόρου στο έδαφος κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες:

- Ενώσεις με ασβέστιο (Ca-P)
- Ενώσεις με σίδηρο και αργίλιο (Fe-P και Al-P).

Στη συνέχεια αναφέρονται οι ενώσεις το φωσφόρου του εδάφους που σχηματίζονται ως προϊόντα αντίδρασης φωσφορικών λιπασμάτων με συστατικά του εδάφους.

#### Ενώσεις με Ca

$3 \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaF}$	Φθοριοαπατίτης
$3 \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaCO}_3$	Ανθρακικός απατίτης
$3 \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$	Υδροξυαπατίτης
$3 \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaO}$	Οξυαπατίτης
$3 \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	Φωσφορικό τριασβέστιο
$\text{Ca}_8\text{H}_2(\text{PO}_4)_6 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Φωσφορικό οκτασβέστιο
$\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Φωσφορικό διασβέστιο
$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	Φωσφορικό μονοασβέστιο

#### Ενώσεις με Fe και Al

$\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Στρεγκίτης
$\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	Βιβιανίτης
$\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Βαρισκίτης
$\text{Al}_3(\text{NH}_4)_3 \cdot \text{H}_6(\text{PO}_4)_8 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	$\text{NH}_4$ - Ταρανακίτης
$\text{Al}_3\text{K}_3\text{H}_6(\text{PO}_4)_8 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	K-Ταρανακίτης

(Clellan και Gremillion, 1980)

Οι απατίτες είναι το δέκατο πιο άφθονο ορυκτό στη φύση. Στους απατίτες συγκαταλέγονται τα βασικότερα ασβεστο-φωσφορικά ορυκτά (Phosphate Rocks, PR) με κυριότερα φωσφορικά σύμπλοκα τον φθοριοαπατίτη  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ , τον υδροξυαπατίτη  $\text{Ca}_{10}(\text{OH})_2(\text{PO}_4)_6$  και τον οξυαπατίτη  $\text{Ca}_{10}\text{O}(\text{PO}_4)_6$ . Τα πιο σπουδαία συστατικά των PR είναι ο χριστοβαλίτης, ο αταπουλγκίτης, ο ασβεστίτης και ο μαγνησίτης, ο αιματίτης και ο μαγνητίτης, ο γκαιτίτης, ο λειμονίτης, ο γκιβίτης, ο μοπεμίτης, ο συλβίτης, ο υλμενίτης και διάφορα άλλα.

Από τα πλέον πιο δυσδιάλυτα φωσφορικά ορυκτά είναι οι απατίτες. Ενώ αντίθετα οι απλούστερες ενώσεις Ca-P, δηλαδή το φωσφορικό μονοασβέστιο, και το φωσφορικό διασβέστιο είναι οι πλέον ευδιάλυτες και διαθέσιμες στα φυτά, βρίσκονται όμως σε ελάχιστες ποσότητες, με εξαίρεση τα προσφάτως λιπανθέντα εδάφη. Τα φωσφορικά λιπάσματα περιέχουν το φώσφορο κατά το μεγαλύτερο ποσοστό στη μορφή του υδατοδιαλυτού φωσφορικού μονοασβεστίου. Στο έδαφος οι ευδιάλυτες ενώσεις Ca-P μεταπίπτουν σταδιακά σε πιο δυσδιάλυτες μορφές. Οι ενώσεις των Fe-P και Al-P επικρατούν σε όξινα εδάφη. Τα ορυκτά στρεγκίτης και βαρισκίτης βρίσκονται σε ισχυρώς όξινα εδάφη, σχηματίζονται δε και ως προϊόντα αντίδρασης των φωσφορικών λιπασμάτων με υδροξείδια του Fe και Al.

Το ολικό ποσοστό του φωσφόρου στο έδαφος είναι σχετικά μικρό σε σχέση με τα υπόλοιπα βασικά στοιχεία και κυμαίνεται από 50 έως 1100 mg P ανά Kg εδάφους, ενώ 20-80% των ποσοτήτων του P εντοπίζονται στον οργανικό P των εδαφών (Tisdale et al., 1985, Brady, 1990). Οι μικρές συγκεντρώσεις του φωσφόρου στο εδαφικό διάλυμα, οι τιμές των οποίων κυμαίνονται μεταξύ 1 και 50  $\mu\text{M}$ , οφείλονται στην ισχυρή προσρόφηση του φωσφόρου από τις επιφάνειες των ορυκτών και στη μικρή διαλυτότητα των φωσφορικών ορυκτών. Ο φώσφορος βρίσκεται στο έδαφος σε μεγάλο αριθμό χημικών μορφών. Η ποσότητα του διαθέσιμου P δεν είναι μια διακριτή τιμή για κάθε συγκεκριμένο έδαφος, αλλά διαφέρει ανάλογα με τις συνθήκες του περιβάλλοντος καθώς αυτές επηρεάζουν τις εδαφικές και τις φυτικές παραμέτρους. Το μητρικό υλικό, τα πρωτογενή και δευτερογενή ορυκτά που βρίσκονται στο έδαφος καθώς και το pH, επηρεάζουν τις μορφές με τις οποίες εμφανίζεται ο φώσφορος στο έδαφος.

Η πρόσληψη του φωσφόρου από τα φυτά γίνεται κυρίως με τη μορφή των ιόντων  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  και  $\text{HPO}_4^{2-}$  με την οποία βρίσκεται στο εδαφικό διάλυμα. Αυτό εξαρτάται από την τιμή του εδαφικού pH. Σε τιμές  $\text{pH} < 7$  ο P προσλαμβάνεται ως  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , σε τιμές  $\text{pH} = 7$  προσλαμβάνεται και με τις δύο μορφές  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  και  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,

ενώ σε τιμές pH>7 προσλαμβάνεται με τη μορφή  $PO^{3-}$ . (Oldham L., Mississippi State University, 2003)

Η χαμηλή περιεκτικότητα του εδαφικού διαλύματος σε φώσφορο και η μικρή διαλυτότητα των φωσφορικών συμπλόκων του εδάφους, είναι οι κυριότεροι παράγοντες που μειώνουν τη διαθεσιμότητα του P του εδάφους. Τις τελευταίες δεκαετίες, η συστηματική λίπανση με ανόργανα φωσφορικά λιπάσματα και με οργανικά υπολείμματα, έχει ανυψώσει τα επίπεδα του φωσφόρου στα περισσότερα καλλιεργούμενα εδάφη. Τα φωσφορικά πετρώματα που προαναφέρθηκαν είναι η κύρια πηγή για την παρασκευή των φωσφορικών λιπασμάτων.

### 3.1.2 Αντιδράσεις των φωσφορικών λιπασμάτων στο έδαφος

Με την εφαρμογή των φωσφορικών λιπασμάτων στο έδαφος και την υδρόλυση που υφίστανται, απελευθερώνεται φώσφορος, ο οποίος αντιδρά με πολλά από τα συστατικά του εδάφους και δημιουργεί δυσδιάλυτες χημικές ενώσεις. Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή ως ακινητοποίηση ή «συγκράτηση» του P (fixation-retention). Το φαινόμενο αυτό έχει μελετηθεί διεξοδικά και με μελέτες που έχουν γίνει προκύπτει ότι ανόργανος P συγκρατείται από το έδαφος με τους μηχανισμούς της φυσικής προσρόφησης, της χημικής προσρόφησης, της ανταλλαγής ανιόντων, της επιφανειακής κατακρήμνισης και της κατακρήμνισης διάφορων στερεών φάσεων. (Sample, E.C., Soper, R.J. και Racz, G.J., 1980; Morgan, M.A., 1997, Μήτσιος, I.K., 2004). Με τους προαναφερθέντες μηχανισμούς ο P δημιουργεί ενώσεις και συγκρατείται από τα ένυδρα οξείδια του Fe και του Al, από κάποια αργιλοπυριτικά ορυκτά και από τα ανθρακικά του εδάφους. Σύμφωνα με μελέτες αρκετών ερευνητών εδάφη με υψηλά ποσοστά Al, Fe και Ca μειώνουν σε μεγάλο βαθμό την διαλυτότητα του P στο έδαφος. (Soon and Bates, 1992; Corey, 1992; Lucas et al., 1994; Moore and Miller, 1994; Shreve et al., 1995; Peters and Basta, 1996; Moore et al., 1999; Codling et al., 2000; Hausteine et al., 2000; Maguire et al., 2000, 2001). Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τις παραπάνω μελέτες είναι:

A) Τα υδροξείδια του Fe και του Al είναι άφθονα σε έντονα αποσαθρωμένα εδάφη, με χαμηλή τιμή pH. Εμφανίζονται ως μεμονωμένες χημικές ενώσεις ή συνδεδεμένα με άλλα εδαφικά τεμαχίδια ως επικάλυψη και συγκρατούν στις επιφάνειές τους μεγάλες ποσότητες P (Wild, 1950). Ο μηχανισμός με τον οποίο συγκρατούν τον P είναι πιθανότατα η προσρόφηση.

Ο ερευνητής Bache (1964) μετά από έρευνες που πραγματοποίησε σε εδάφη με γκιβίτη και ένυδρα οξειδία Fe, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι ανάλογα με τη συγκέντρωση του P στο εδαφικό διάλυμα έχουμε τρία στάδια προσρόφησης: α) στο πρώτο στάδιο παρατηρείται χημική προσρόφηση μικρής ποσότητας P, με ενέργεια προσρόφησης υψηλή, β) στο δεύτερο στάδιο παρατηρείται κατακρήμνιση διαφόρων χημικών ενώσεων του P και γ) τέλος, στο τρίτο στάδιο, παρατηρείται προσρόφηση P πάνω στο κατακρήμνισμα, με χαμηλή ενέργεια προσρόφησης. Οι παραγόμενες μορφές έχουν γενικό τύπο  $(Al,Fe)(H_2PO_4)_n(OH)_{3-n}$  ( $n>1$  για τα περισσότερα εδαφικά συστήματα). Σε παραπλήσια αποτελέσματα κατέληξαν επίσης οι Hsu και Rennie (1962) και ο Muljadi et al. (1966a,b,c) μελετώντας όμως την προσρόφηση του P σε καολινίτη, γκιβίτη και ψευδομοπεμίτη.

Τελικά, ο φώσφορος συνδέεται πολύ ισχυρά με τα ένυδρα οξειδία του Fe και του Al και πλέον δεν γίνεται πρόσιτος για τα φυτά. Πολλοί ερευνητές (Hingston et al., 1967, 1968; Nakaru και Uehara, 1972; Sawhney, 1974; Reddy et al., 1998) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι σε εδάφη που περιέχουν μεγάλες ποσότητες ένυδρων οξειδίων του Fe και του Al, λόγω της προσρόφησης του φωσφόρου σε αυτά τα οξειδία, αυξάνεται το αρνητικό φορτίο των κολλοειδών του εδάφους και η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων. Οι περισσότεροι από τους ερευνητές που προαναφέρθηκαν, κατέληξαν επίσης στο συμπέρασμα ότι όταν ο P βρίσκεται σε χαμηλές συγκεντρώσεις, συγκρατείται από τα υδροξείδια με μηχανισμούς προσρόφησης, ενώ όταν βρίσκεται σε υψηλότερες συγκεντρώσεις, ο μηχανισμός συγκράτησης που κυριαρχεί είναι η κατακρήμνιση.

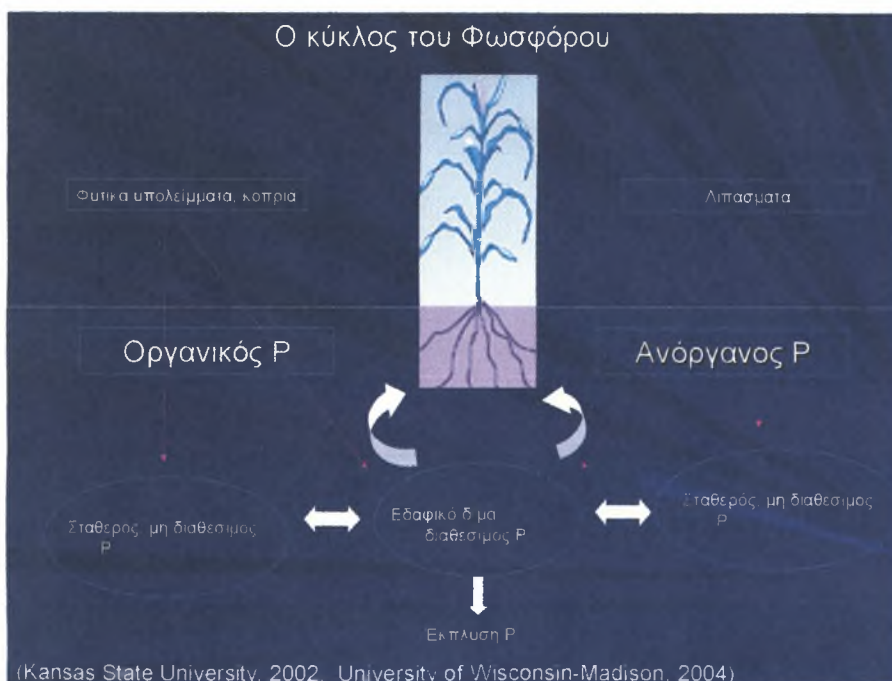
Β) Ο P συγκρατείται επίσης από κάποια άργιλο-πυριτικά ορυκτά. Ο καολινίτης, ο μοντμοριλλονίτης, ο ψευδομοπεμίτης, ο ιλλίτης και ο γκιβίτης, όταν περιβάλλονται από διάφορα κατιόντα, συγκρατούν μικρές ποσότητες P, ενώ τα κολλοειδή της αργίλου που περιβάλλονται από δισθενή ιόντα προσροφούν περισσότερο P από αυτά που περιβάλλονται από μονοσθενή ιόντα (Pissarides et al., 1968).

Γ) Τα ασβεστούχα εδάφη είναι πλούσια σε ανθρακικά ορυκτά. Ο βασικός μηχανισμός συγκράτησης του P από τα ανθρακικά είναι η κατακρήμνιση των ασβεστο-φωσφορικών ενώσεων. Οι κυριότερες ενώσεις του Ca με τον P είναι το φωσφορικό διασβέστιο  $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$ , το φωσφορικό οκτασβέστιο  $Ca_4H(PO_4)_3 \cdot 3H_2O$ , ο υδροξυαπατίτης  $Ca_5(PO_4)_3OH \cdot 3H_2O$ , το  $CaHPO_4$ , το  $Mg_3(NH_4)_2(HPO_4)_4 \cdot 8H_2O$ ,  $MgNH_4HPO_4 \cdot 6H_2O$ , το  $MgHPO_4 \cdot 3H_2O$ , το

$\text{Ca}_2(\text{NH}_4)_2(\text{HPO}_4)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , το  $\text{Ca}_8\text{H}_2(\text{PO}_4)_6 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , το  $\text{CaNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  και άλλα σύμπλοκα, ανάλογα με το φωσφορικό λίπασμα που προστίθεται στο έδαφος (Lindsay et al, 1962; Larsen et al, 1963; Boruvka and Rechcigl, 2003).

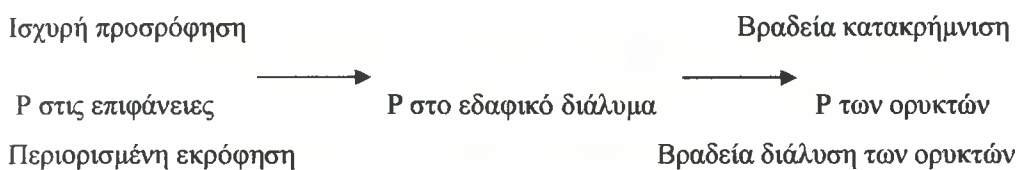
Η προσρόφηση (absorption) του P του εδάφους ακολουθείται από τη φάση της εκρόφησης (desorption), με κύριο χαρακτηριστικό την υστέρηση μεταξύ των δύο αυτών φάσεων (Uehara and Gillman, 1981), η οποία εξαρτάται από τον χρόνο, την αρχική αναλογία προσθήκης του P και τον τύπο των κολλοειδών (Barrow, 1980b).

Οι χαμηλές συγκεντρώσεις του P στο εδαφικό διάλυμα οδήγησαν τις έρευνες στην περιγραφή των σχέσεων του P του εδαφικού διαλύματος, της δεξαμενής δηλαδή από την οποία αντλεί η ρίζα τα θρεπτικά φωσφορικά στοιχεία, με τις άλλες δεξαμενές φωσφόρου που αλληλεπιδρούν με την φάση του P στο εδαφικό διάλυμα (Olsen et al., 1977; Sample et al., 1980). Γενικά, οι μετατροπές του φωσφόρου που εφαρμόζεται στο έδαφος σαν φωσφορικό λίπασμα, καταλήγουν στη δημιουργία μεγάλου αριθμού χημικών τύπων P στο έδαφος και άλλων χημικών αντιδράσεων, που μπορούν να περιγραφούν ως κύκλος του P (Smeck, 1985). Ένα παράδειγμα τέτοιου κύκλου παρουσιάζεται στην Εικόνα 1.2.



**Εικόνα 1.2.** Κύκλος του φωσφόρου

Προσρόφηση-εκρόφηση και κατακρήμνιση των ορυκτών-διάλυση των ορυκτών παρουσιάζονται παρακάτω



Μέχρι σήμερα το ενδιαφέρον επικεντρώνονται στις μετατροπές του ανόργανου P, όμως αρχίζει να αυξάνεται και το ενδιαφέρον για τον οργανικό P (Dalal, 1977; Anderson, 1980), στα πλαίσια της προσπάθειας να εξηγηθεί η διαθεσιμότητα του P του εδάφους σαν μέρος του αγρο-οικοσυστήματος (Smeck, 1985).

#### 1.1.4 Παράγοντες που επηρεάζουν τη συγκράτηση του φωσφόρου στα εδάφη

##### 1) Είδος και ποσότητες διαφόρων συστατικών στο έδαφος

Η ένταση με την οποία γίνονται οι αντιδράσεις προσρόφησης και εκρόφησης του εδαφικού φωσφόρου εξαρτάται από την φύση των επιφανειών οι οποίες έρχονται σε επαφή με τον φώσφορο που βρίσκεται στο εδαφικό διάλυμα.

##### Οξειδία του σιδήρου και του αργιλίου

Η ύπαρξη των ένυδρων οξειδίων σιδήρου, τα οποία βρίσκονται κυρίως σε έντονα αποσαθρωμένα εδάφη, έχουν την ικανότητα να προσλαμβάνουν πολύ μεγάλες ποσότητες φωσφόρου. Επιπλέον, σε εδάφη με σημαντική περιεκτικότητα σε οξειδία του Fe και του Al, όσο λιγότερο κρυσταλλικά είναι τα οξειδία, τόσο μεγαλύτερη είναι η ικανότητα δέσμευσης των φωσφορικών ιόντων από αυτά λόγω των μεγαλύτερων επιφανειών που παρουσιάζουν. Γενικά, τα κρυσταλλικά ένυδρα μεταλλικά οξειδία έχουν μεγαλύτερη δεσμευτική ικανότητα από τα αργιλοπυριτικά ορυκτά, όσον αφορά το φώσφορο που συγκρατούν.

### Ορυκτά της αργίλου

Εδάφη με καολινίτη έχουν την ικανότητα να δεσμεύουν ή να συγκρατούν μεγαλύτερες ποσότητες φωσφόρου από εδάφη που περιέχουν αργιλικά ορυκτά τύπου 2:1. Τα 1:1 αργιλικά ορυκτά δεσμεύουν μεγαλύτερες ποσότητες φωσφορικών και αυτό οφείλονται πιθανότατα στις μεγαλύτερες ποσότητες ένυδρων οξειδίων του Fe και του Al που συσχετίζονται με τις καολινιτικές αργίλους.

### Η περιεκτικότητα σε άργιλο

Στα εδάφη με μεγαλύτερες ποσότητες αργίλου ο φώσφορος δεσμεύεται περισσότερο συγκριτικά με εκείνα που περιέχουν μικρότερες. Επομένως, όσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια ενός συγκεκριμένου αργιλικού ορυκτού που είναι εκτεθειμένη στο εδαφικό διάλυμα, τόσο μεγαλύτερη είναι η τάση για συγκράτηση του φωσφόρου από αυτή.

### Ανθρακικό ασβέστιο

Το  $\text{CaCO}_3$  αποτελεί ένα ακόμα παράγοντα που σε μικρό ποσοστό αυξάνει την ικανότητα των εδαφών να προσροφούν P. Η προσρόφηση αυτή στο ανθρακικό ασβέστιο οφείλεται στις προσμίξεις του με ένυδρα οξείδια του σιδήρου.

Η ποσότητα και η ενεργότητα του  $\text{CaCO}_3$  επηρεάζουν τη δέσμευση του φωσφόρου. Μη καθαροί ασβεστίτες αλλά και εκείνοι που παρουσιάζουν μεγάλη ειδική επιφάνεια έχουν ως αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη προσρόφηση του φωσφόρου και τον εξαιρετικά ταχύ σχηματισμό άσβεστο – φωσφορικών κατακρημνισμάτων.

Η δραστηριότητα του φωσφόρου είναι μικρότερη σε εδάφη τα οποία περιέχουν υψηλά ποσοστά  $\text{Ca}^{+2}$ , σε εδάφη με υψηλή περιεκτικότητα σε πολύ ενεργό  $\text{CaCO}_3$  αλλά και σε εδάφη στα οποία η άργιλος είναι κατά ένα μεγάλο ποσοστό κορεσμένη με ασβέστιο.

### 2) Το pH του εδάφους

Η προσρόφηση του φωσφόρου από τα οξείδια του Fe και του Al μειώνεται, καθώς αυξάνεται του pH του εδαφικού διαλύματος. Ο γκιψίτης [ $\gamma\text{-Al(OH)}_3$ ] προσροφά τις μεγαλύτερες ποσότητες φωσφόρου σε τιμές pH μεταξύ 4 και 5. Η προσρόφηση του

φωσφόρου από το γκαιτίτη ( $\alpha\text{-FeOOH}$ ) ελαττώνεται συνεχώς μεταξύ των τιμών pH 3 και 12. Η διαθεσιμότητα του φωσφόρου στα περισσότερα εδάφη είναι μεγαλύτερη όταν το pH κυμαίνεται από 6 έως 6,5. Σε χαμηλές τιμές pH, η συγκράτηση του φωσφόρου είναι αποτέλεσμα της αντίδρασής του με τα ένυδρα οξείδια του Fe και του Al. Σε τιμές pH άνω του 7, τα ιόντα του Ca και του Mg προκαλούν κατακρήμνιση του προστιθέμενου φωσφόρου και η διαθεσιμότητα του ξανά ελαττώνεται.

### 3) Οργανική ουσία του εδάφους

Σε έρευνες που έχουν γίνει στη Καλιφόρνια αποδείχθηκε ότι οι ενώσεις του οργανικού φωσφόρου μπορούν να μετακινηθούν στα εδάφη σε μεγαλύτερα βάθη από ότι ο διαλυμένος ανόργανος φώσφορος. Ένα εύρος διαφόρων οργανικών ενώσεων του φωσφόρου μετακινήθηκε 4 με 6 φορές βαθύτερα σε αργιλοπηλώδες έδαφος από ότι μετακινήθηκε ο ανόργανος φώσφορος.

Ο Olsen (USDA, Colorado State University, 1977) παρατήρησε αξιόλογη κίνηση του φωσφόρου προς τα κάτω σε συνέπεια της προσθήκης κοπριάς σε ένα ιλοαργιλοπηλώδες έδαφος. Συγκεκριμένα, το δεύτερο έτος μετά την εφαρμογή της οργανικής λίπανσης παρατηρήθηκε αύξηση του φωσφόρου σε βάθος 30 έως 60 cm.

Οι Campbell και Racz (University of Manitoba, 1970) παρατήρησαν μεγαλύτερα επίπεδα εκχυλίσμου φωσφόρου, σε βάθη 120 έως 150 cm, σε ένα έδαφος πλούσιο σε οργανική ουσία από ότι σε παρακείμενο έδαφος.

Η επίδραση στη διαθεσιμότητα του εδαφικού φωσφόρου ορισμένων ενώσεων που προκύπτουν από την αποσύνθεση της οργανικής ουσίας, είναι μεγάλης σημασίας. Αρκετοί ερευνητές έχουν αναφέρει ότι ο χούμος του εδάφους αυξάνει τη διαλυτότητα του φωσφόρου. Αυτό έχει ποικιλοτρόπως αποδοθεί α) στο σχηματισμό φωσφοροχουμικών συμπλόκων τα οποία είναι πιο εύκολα αφομοιώσιμα από τα φυτά β) στην αντικατάσταση των φωσφορικών ανιόντων από τα ιόντα του χούμου, και γ) στην επικάλυψη των σχιστολιθικών τεμαχιδίων από το χούμο και στο σχηματισμό ενός προστατευτικού καλύμματος με αποτέλεσμα τη μείωση της δεσμευτικής (ως προς στο φώσφορο) ικανότητας του εδάφους.

Σε έρευνες στη Μασσαχουσέτη (1996) παρατηρήθηκε ότι συγκεκριμένα οργανικά ανιόντα που προκύπτουν από την αποσύνθεση της οργανικής ουσίας έχουν την ικανότητα να σχηματίζουν σταθερά σύμπλοκα με το Fe και το Al, εμποδίζοντας έτσι την αντίδραση τους με το φώσφορο. Επιπλέον διαπιστώθηκε ότι αυτά τα σύμπλοκα ανιόντα απελευθερώνουν φώσφορο δεσμευμένο από τα Fe και Al με τον ίδιο



ακριβώς μηχανισμό. Τα πλέον αποτελεσματικά ανιόντα στην αντικατάσταση των φωσφορικών ιόντων είναι τα κιτρικά, οξαλικά, ταρτρικά και μαλικά, μερικά εκ των οποίων μπορούν να παραχθούν κατά την αποικοδόμηση της οργανικής ουσίας.

Έχει βρεθεί ότι η προσρόφηση του φωσφόρου συνδέεται με την περιεκτικότητα των εδαφών σε οργανικό άνθρακα. Αρχικά υπήρχε η άποψη ότι η προσρόφηση ήταν συνδεδεμένη με την ανταλλαγή των φωσφορικών ιόντων με τις υδροξυλομάδες της οργανικής ουσίας. Πιο πρόσφατα ερευνητικά αποτελέσματα έδειξαν ότι είναι η παρουσία του αργιλίου και σε μικρότερο βαθμό του σιδήρου που είναι προσροφημένα στην οργανική ουσία του εδάφους και επιδρούν στη προσρόφηση του φωσφόρου.

#### 4) Θερμοκρασία

Σε υψηλές θερμοκρασίες αυξάνεται ελαφρώς η διαλυτότητα ενώσεων όπως οι απατίτης, υδροξυαπατίτης, φωσφορικό οκτασβέστιο, βαρισκίτης και στρεγκίτης. Η ορυκτοποίηση του φωσφόρου από την οργανική ουσία του εδάφους ή από τα φυτικά υπολείμματα εξαρτάται από τη μικροβιακή δραστηριότητα του εδάφους και συνεπώς αύξηση στη θερμοκρασία αναμένεται να προκαλέσει αύξηση αυτής της δραστηριότητας. Τα εδάφη σε θερμά κλίματα έχουν μεγαλύτερη δεσμευτική ικανότητα σε φώσφορο από ότι τα εδάφη μέσης θερμοκρασίας. Τα θερμότερα κλίματα επίσης παραπέμπουν σε εδάφη με μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε υδροξείδια του Fe και του Al.

#### 1.1.5 Διάχυση του φωσφόρου στο έδαφος - Πρόσληψη του φωσφόρου από τα φυτά

Ο φώσφορος του εδάφους μετακινείται προς τις ρίζες κυρίως με διάχυση (Nye and Tinker, 1977) και λιγότερο με μαζική ροή, 1% περίπου της συνολικής προσλαμβανόμενης ποσότητας (Barber, 1980). Η μετακίνησή του φωσφόρου στις ρίζες των φυτών με διάχυση επηρεάζεται από την ηλικία, το βάθος, το μήκος και την πυκνότητα των ριζών, από τα χαρακτηριστικά προσρόφησης της ρίζας, από τη συγκέντρωση του φωσφόρου στο εδαφικό διάλυμα, από την υγρασία και από το πορώδες του εδάφους και από τη δαιδαλώδη διαδρομή του εδάφους. Καθώς η διάχυση είναι ο κυρίαρχος μηχανισμός εφοδιασμού των φυτών με P, όλοι οι παράγοντες που επιδρούν στη διάχυση (υγρασία, δαιδαλώδες του εδάφους,

θερμοκρασία, ρυθμιστική ικανότητα) επιδρούν και στην πρόσληψη του P από τα φυτά (Rowell, et al., 1967). Η διάχυση των φωσφορικών ιόντων στο έδαφος περιγράφεται από την παρακάτω εξίσωση (Nye and Tinker, 1977):

$$D = D_i \theta f_i dC/dC$$

όπου,

$D$ , είναι ο συντελεστής διάχυσης του ιόντος στο εδαφικό διάλυμα ( $\text{cm}^2\text{s}^{-1}$ ),

$D_i$ , είναι ο συντελεστής διάχυσης του ιόντος σε ελεύθερο διάλυμα, ( $\text{cm}^2\text{s}^{-1}$ ),

$\theta$ , είναι το κλάσμα του εδαφικού όγκου που καταλαμβάνει το εδαφικό διάλυμα ( $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$ ),

$f_i$ , είναι ένας ανεξάρτητος παράγοντας που σχετίζεται με το δαιδαλώδες του εδάφους,

$\frac{dC_i}{dC} = \frac{1}{b}$ , όπου  $b$  η ρυθμιστική δύναμη του εδάφους όπως προκύπτει από την

ισόθερμη καμπύλη.

Ο συντελεστής διάχυσης του  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  στο καθαρό νερό είναι  $0,89 \times 10^{-5} \text{cm}^2\text{sec}^{-1}$ .

Ο συντελεστής διάχυσης του  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  στα εδάφη κυμαίνεται από  $5 \times 10^{-11} \text{cm}^2\text{sec}^{-1}$  έως  $1 \times 10^{-8} \text{cm}^2\text{sec}^{-1}$ . Τα εδάφη με μεγάλη ρυθμιστική ικανότητα και μικρή συγκέντρωση P στο εδαφικό διάλυμα έχουν τις μικρότερες τιμές συντελεστή διάχυσης (Barber, S., 1980).

Καθώς τα φυτά προσλαμβάνουν P από το εδαφικό διάλυμα διαταράσσεται η κατάσταση της χημικής ισορροπίας του φωσφόρου, οπότε για να αποκατασταθεί η ισορροπία αυτή πρέπει να αποδεσμευτούν ποσότητες P από τις επιφάνειες των ορυκτών στις οποίες είναι προσροφημένος. Δεδομένου όμως ότι ο συντελεστής διάχυσης του P στο εδαφικό διάλυμα λαμβάνει μικρές τιμές, η αποκατάσταση της ισορροπίας αυτής συμβαίνει σε μεγάλο χρονικό διάστημα.

Τα φυτά προσλαμβάνουν το P από το εδαφικό διάλυμα με τη μορφή φωσφορικού ιόντος και κυρίως με τη μορφή  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  και  $\text{HPO}_4^{2-}$ . Η συγκέντρωση και το είδος του φωσφορικού ιόντος εξαρτάται από την τιμή του pH. Σε pH=7,22 οι ποσότητες των δύο μορφών είναι ίσες, ενώ σε μικρότερες τιμές pH η κυρίαρχη μορφή είναι το  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  (Barber, S., 1980).

Ο ρυθμός πρόσληψης του  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  από το ριζικό σύστημα φαίνεται να ακολουθεί την εξίσωση κινητικής ενζυματικής κατάλυσης των Michaelis-Menten (Erstein, 1972). Η σχέση μεταξύ της συγκέντρωσης του  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  στο εδαφικό διάλυμα και της εισροής του  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  μέσα στη ρίζα, εκφράζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$I = I_{max} \frac{C}{K_m + C}$$

όπου,  $I$  είναι η ταχύτητα εισροής του P στις ρίζες,  $I_{max}$  είναι η μέγιστη ταχύτητα,  $C$  είναι η συγκέντρωση του ιόντος στο διάλυμα και  $K_m$  η σταθερά Michaelis-Menten που ισούται με  $C$  όταν  $I=0,5 I_{max}$ .

Η συγκέντρωση του P στο εδαφικό διάλυμα επηρεάζει σημαντικά τους ρυθμούς πρόσληψης του από τα φυτά. Η συγκέντρωση του P στο εδαφικό διάλυμα διαφέρει ευρέως στα διάφορα εδάφη. Σε πολύ φτωχά εδάφη η συγκέντρωση του P είναι μικρότερη από  $10^{-8}M$ , σε μέτρια και αποσαθρωμένα εδάφη είναι περίπου  $10^{-6}M$  και σε πλούσια, εφοδιασμένα εδάφη είναι μεγαλύτερη από  $10^{-4}M$  (Russel, E.W., 1973). Όταν η συγκέντρωση του P στα εδαφικά διάλυμα είναι  $10^{-5}M$  (0,3 ppm P) και όταν όλοι οι άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη του φυτού βρίσκονται σε ικανοποιητικά επίπεδα, τότε είναι ικανοποιητική η ανάπτυξη των περισσότερων φυτών. Αυτή η συγκέντρωση είναι προφανώς πολύ χαμηλή και δείχνει ότι ο P βρίσκεται σε μικρές ποσότητες στο εδαφικό διάλυμα, οπότε για να έχουμε σωστό εφοδιασμό των φυτών με P πρέπει ο P που απομακρύνεται με τα φυτά στη διάρκεια μιας καλλιεργητικής περιόδου να αντικαθίσταται με P προερχόμενο από τις άλλες διαθέσιμες μορφές του P στο έδαφος.

Η πρόσληψη των θρεπτικών στοιχείων από τη ρίζα του φυτού έχει ως αποτέλεσμα τη μεταβολή των χημικών ιδιοτήτων του εδάφους στη ριζόσφαιρα. Όταν το ριζικό σύστημα προσλαμβάνει περισσότερα κατιόντα απ'ότι ανιόντα τότε εκκρίνει  $H^+$  και η τιμή του pH στη ριζόσφαιρα μειώνεται, με αποτέλεσμα την αύξηση της διαλυτότητας του P, ενώ στην περίπτωση που η ρίζα προσλαμβάνει περισσότερα ανιόντα απ'ότι κατιόντα τότε εκκρίνει  $OH^-$  και  $HCO_3^-$  και η τιμή του pH υψώνεται με αποτέλεσμα την μείωση της διαλυτότητας του P (Barber, S., 1980, Μήτσιος, 2004).

Με τη λίπανση των καλλιεργειών με φωσφορικά λιπάσματα προστίθενται ποσότητες P στο έδαφος. Γενικά, οι ετήσιες καλλιέργειες προσλαμβάνουν P, σε ποσοστό περίπου 5-30% από τα φωσφορικά λιπάσματα. Οι ποσότητες του διαθέσιμου P στο έδαφος συγκεντρώνονται στο επιφανειακό στρώμα του εδάφους (5-30cm) λόγω της ισχυρής συγκράτησής του P από διάφορα εδαφικά σύμπλοκα, του μικρού συντελεστή διάχυσης και της απορροφητικής δύναμης των ριζών που αναπτύσσονται σε αυτό το βάθος. Ο P του εδάφους έχει υπολειμματική δράση για μεγάλο χρονικό διάστημα (Russel, E.W., 1973; Sample, E.C., et al, 1980; Barrow, N.J., 1980).

### 1.1.6 Επιδράσεις του φωσφόρου στο περιβάλλον

Οι αρνητικές επιπτώσεις του P στο περιβάλλον σχετίζονται με τη ρυπογόνο δράση του στοιχείου αυτού στα υδατικά οικοσυστήματα (λίμνες και παράκτιες θαλάσσιες περιοχές) καθώς και στην ποιότητα του πόσιμου νερού, όταν η συγκέντρωσή του υπερβεί ορισμένα όρια. Σε γεωργοκτηνοτροφικές εκμεταλλεύσεις οι εισροές φωσφόρου στο οικοσύστημα είναι αυξημένες προερχόμενες από την αλόγιστη χρήση των χημικών λιπασμάτων, τη ζωική κόπρο άλλα και τα κτηνοτροφικά απόβλητα. Τα βιομηχανικά φωσφορικά λιπάσματα ελέγχονται για την περιεκτικότητα αυτών σε βαρέα μέταλλα προερχόμενα από τις φυσικές πρώτες ύλες (φωσφορικά ορυκτά) παραγωγής των λιπασμάτων.

### 1.1.7 Φώσφορος, ποιότητα ύδατος και ευτροφισμός

Ο φώσφορος θεωρείται ότι είναι ένας παράγοντας ευτροφισμού των λιμναίων συστημάτων γλυκών νερών. Στον πίνακα 1.1 παρουσιάζονται παράγοντες ευτροφισμού μεγάλων λιμνών της Ελλάδος. Ο EOCED (1982) έχει καθορίσει τις μέσες περιεκτικότητες ολικού φωσφόρου στους σχηματισμούς γλυκού ύδατος στους οποίους αντιστοιχούν με αυξημένη πιθανότητα οι καταστάσεις ολιγοτροφισμού, μεσοτροφισμού, ευτροφισμού και υπερτροφισμού. Οι περιεκτικότητες είναι αντιστοίχως 25, 75, 90 και 1000  $\mu\text{g}$  ολικού P ανά λίτρο.

Το κατώτατο όριο περιεκτικότητας σε P των λιμναίων υδάτων που ευνοεί τη γρήγορη αύξηση του φυτοπλαγκτού (φωτοσυνθετικών μονοκύτταρων φυκών) είναι τα 20  $\mu\text{g}$  ανά λίτρο αν η βιοδιαθεσιμότητα του P είναι επαρκής και με τη προϋπόθεση επάρκειας του αζώτου και των άλλων απαραίτητων θρεπτικών. Η βιοδιαθεσιμότητα του ολικού φωσφόρου των υδάτων εξαρτάται από τα φυσικοχημικά του κατάσταση και ειδικότερα από την υδατοδιαλυτότητα του.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θεσπίσει ποιοτικά κριτήρια του ύδατος για οικιακή χρήση με την οδηγία “πόσιμο ύδατος” (Drinking water Directive 80/778/EEC), η οποία καθορίζει ως το ανώτατο αποδεκτό όριο τα 5000  $\mu\text{g}$   $\text{P}_2\text{O}_5$  (ή 2200  $\mu\text{g}$  P ανά λίτρο) με συνιστώμενη τιμή τα 400  $\mu\text{g}$   $\text{P}_2\text{O}_5$ .

Οι Johnson και Roulton (1997), παρατηρούν ότι στα ύδατα αποστράγγισης των εδαφών που καλλιεργούνται, μια συγκέντρωση του ολικού φωσφόρου 20  $\mu\text{g}$   $\text{L}^{-1}$  (αρκετή για την έναρξη ευτροφισμού) είναι φαινόμενο σύνηθες, διότι αντιστοιχεί σε απώλεια μόνο 0,05 kg P  $\text{ha}^{-1}$  με όγκο αποστραγγιστικού ύδατος ύψους 250 mm.

Πίνακας 1.1. Παράμετροι ευτροφισμού μερικών μεγάλων λιμνών

Παράμετροι	Λίμνες			
	Ζάζαρη <sup>1</sup>	Κορώνια <sup>2</sup>	Καστοριά <sup>3</sup>	Κερκίνη <sup>4</sup>
Θερμοκρασία	0 - 23,7	0,5 - 20		6,5 – 27,5
Διαλυμένο O <sub>2</sub>	0 - 170	58 - 160	0,1 – 12,1	2,5 – 14,6
pH	7,52 - 8,56	8,1 – 9,5	5,9 – 9,5	7,2 – 9,3
Ηλεκτρική αγωγιμότητα (mmhos.cm <sup>-1</sup> )	0,135 - 9,217	0,8 – 1,88	50 - 310	
Διαφάνεια Secchi (m)	0,35 – 0,92	0,4 – 0,6	0,5 – 2,8	0,1 – 1,2
Χλωροφύλλη – α (mg/m <sup>3</sup> )	11,3 – 45,5	32 - 48	187	
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	3 - 5	134 - 193	7,4	
Θειικά ιόντα (mg/L)	2 - 4	18 - 24		10 – 17,5
BOD <sub>5</sub> (mg/L)	4 -7,6			1,2 – 6
NO <sub>3</sub> -N (mg/L)	20 - 400	147 - 166	5 - 1011	6 – 1477
NH <sub>4</sub> -N (mg/L)				0,05 – 0,48
Ολικός P (mg/L)	90* - 450**	100* - 170**	28,1 – 87,6	10 – 320
Κατάσταση ευτροφισμού	Υπερτροφική	Υπερτροφική	Υπερτροφική	Υπερτροφική

### 1.1.8 Απομάκρυνση του φωσφόρου από τα εδάφη

Η απομάκρυνση του φωσφόρου διαμέσου του ύδατος μπορεί να γίνει με τρεις τρόπους (Ryden et al., 1973, Morgan, 1997):

1. Υδατοδιαλυτός φώσφορος ή και τεμαχιδιακός φώσφορος που απομακρύνεται από το έδαφος με την επιφανειακή απορροή του ύδατος και με τη διάβρωση του εδάφους, έπειτα από έντονες βροχοπτώσεις.
2. Υδατοδιαλυτός φώσφορος ή και τεμαχιδιακός φώσφορος παρασυρόμενος με το καθοδικό ρεύμα του νερού των βροχοπτώσεων, το οποίο κινούμενο διαμέσου του εδάφους καταλήγει σε ρυάκια ή ποτάμια, χωρίς να φτάσει στον κύριο υπεδάφιο υδροφόρο ορίζοντα (υπεδάφια απορροή – subsurface runoff).
3. Υδατοδιαλυτός φώσφορος ή και τεμαχιδιακός φώσφορος, που απομακρύνεται με έκπλυση (leaching), δηλαδή παραλαμβάνεται από το καθοδικό ρεύμα του νερού

του εδάφους, φτάνει στον υδροφόρο ορίζοντα και διηθείται σε ρυάκια, ποτάμια ή λίμνες.

Τα ορθοφωσφορικά ιόντα που είναι προσροφημένα σε ανόργανα ή οργανικά τεμαχίδια παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ποσοστό (60-90%) του φωσφόρου που απομακρύνεται από τα εδάφη (Sharpley et al., 1992, Sharpley και Rekolainen, 1997). Το σύνολο των μορφών αυτών μαζί με τις δυσδιάλυτες χημικές ενώσεις του φωσφόρου αποτελούν το δυσδιάλυτο φώσφορο (Particulate P-PP) σε αντίθεση με το διαλυτό φώσφορο (Dissolved P-DP). Τα όρια του δυσδιάλυτου φωσφόρου που βρίσκονται στην υδρόβια μικροχλωρίδα κυμαίνεται, από 10% μέχρι και 90% (Sharpley και Rekolainen, 1997).

Διάφορες μελέτες έχουν εστιάσει στη μόλυνση των υδάτινων οδών από τον φώσφορο, μέσω της επιφανειακής απορροής και της διάβρωσης (Sharpley et al., 1994; Sharpley, 1995; Hawkins and Scholefield, 1996; Eghball and Gilley, 1999; Gburek et al., 2000). Ο φώσφορος συσσωρεύεται στο επιφανειακό έδαφος από την εφαρμογή των λιπασμάτων και την υπερβολική λίπανση και γίνεται πιο διαλυτός και κινητικός προς τους υδάτινους όρους (Hergert et al., 1981; Baker and Laflen, 1982; Sharpley et al., 1984; Sharpley and Smith, 1989; Gaynor and Bissonnette, 1992; Scott et al., 1998).

Οι μικρές τιμές του φωσφόρου στο εδαφικό διάλυμα από 0,5 έως 50μM (εικόνα 1.1) δείχνουν ότι μικρές ποσότητες φωσφόρου μπορούν να απομακρυνθούν με έκπλυση. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα πειραμάτων που έγιναν στη Δανία, η μετακίνηση του φωσφόρου στα βαθύτερα στρώματα της εδαφικής κατατομής είναι πολύ μεγαλύτερη σε αμμώδες έδαφος παρά σε αμμοπηλώδη εδάφη.

Η έκπλυση του υδατοδιαλυτού φωσφόρου είναι μεγάλη μετά από διαδοχικές λιπάνσεις, σε εδάφη που περιέχουν λίγη άργιλο (Daniel et al., 1998; Sims et al., 1998). Η συσσώρευση του φωσφόρου στο επιφανειακό έδαφος, μπορεί ενισχύσει την διήθησή του, προς τα κατώτερα στρώματα του εδάφους και τα υπόγεια νερά (Heckrath et al., 1995; Sharpley, 1995; Pote et al., 1996). Στα ελαφριάς σύστασης εδάφη, οι απώλειες του φωσφόρου από διήθηση αποδίδεται στην χαμηλή προσρόφηση του, λόγω της έλλειψης των υδροξειδίων του Fe και του Al στα εδάφη αυτά (Khiari et al., 2000).

Πολυετή πειράματα στο Rothamsted παρέχουν σαφείς ενδείξεις περί καθοδικής μετακίνησης του φωσφόρου με την πάροδο του χρόνου κάτωθεν του βάθους αρόσεως (Johnson και Poulton, 1997).

### 1.1.9 Μέθοδοι προσδιορισμού του φωσφόρου στο έδαφος

Για τον προσδιορισμό του διαθέσιμου P του εδάφους, πολλές μέθοδοι εκχύλισης του P έχουν αναπτυχθεί, με διάφορα εκχυλιστικά διαλύματα, που συσχετίζονται επαρκώς με την πρόσληψη του P σε ελεγχόμενα περιβάλλοντα και παρέχουν δείκτες του διαθέσιμου P (Kamparth and Watson, 1980). Υπάρχουν αρκετοί συμβατικοί μέθοδοι προσδιορισμού του φωσφόρου του εδάφους. Η κάθε μέθοδος έγκειται στη φύση του εκχυλιστικού διαλύματος που χρησιμοποιείται για παραλαβή του φωσφόρου από το έδαφος (πίνακας 1.2). η καταλληλότητα των μεθόδων για τον προσδιορισμό του φωσφόρου εξαρτάται από τις ιδιότητες του εδάφους (πίνακας 1.3)

Στη παρούσα εργασία η μέθοδος προσδιορισμού που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του φωσφόρου στο έδαφος είναι η μέθοδος Olsen (1954). Στην Ελλάδα επικρατούν κυρίως τα ουδέτερα και τα αλκαλικά εδάφη, η δε συνηθέστερη μορφή του φωσφόρου στο έδαφος είναι του φωσφορικού ασβεστίου. Η μέθοδος Olsen ανταποκρίνεται σε αυτές τις συνθήκες εδαφών καλύτερα από τις άλλες μεθόδους.

Επιπροσθέτως στη Ελλάδα έως τώρα ο προσδιορισμός του διαθέσιμου φωσφόρου γίνεται κυρίως με την μέθοδο Olsen. Επομένως για την καλύτερη σύγκριση των αποτελεσμάτων της παρούσας εργασίας με άλλες εργασίες, προτιμήθηκε να γίνει ανάλυση των εδαφικών δειγμάτων για τον προσδιορισμό του διαθέσιμου φωσφόρου με την μέθοδο Olsen.

*Πίνακας 1.2. Μέθοδοι προσδιορισμού του φωσφόρου του εδάφους και τα εκχυλιστικά διαλύματα αυτών(Μήτσιος 2004)*

<b>Μέθοδος</b>	<b>Εκχυλιστικά διαλύματα</b>
Morgan	0.7N CH <sub>3</sub> COONa + 0.54N CH <sub>3</sub> COOH, pH = 4.8
Bray P1	0.03N NH <sub>4</sub> F + 0.025N HCl
Bray P2	0.03N NH <sub>4</sub> F + 0.1N HCl
Mehlich No.1	0.05N HCl + 0.025N H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Olsen	0.5N NaHCO <sub>3</sub> , pH = 8.5
AB-DTPA	1M NH <sub>4</sub> CO <sub>3</sub> + 0.005M DTPA, pH = 7.6
Mehlich No.3	0.2N CH <sub>3</sub> COOH + 0.015N NH <sub>4</sub> F + 0.25N NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + 0.013N HNO <sub>3</sub> + 0.001M EDTA
Χλωριούχο ασβέστιο	0.01M CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O

Πίνακας 1.3. Η καταλληλότητα των μεθόδων για τον προσδιορισμό του φωσφόρου του εδάφους εξαρτάται από τις ιδιότητες του εδάφους (Μήτσιος 2004)

Μέθοδος	Έδαφος που εφαρμόζεται για τον προσδιορισμό του φωσφόρου
Morgan	Όξινα εδάφη με C.E.C. < 10meq/100g
Bray P1	Όξινα εδάφη ( $pH_{H_2O} < 6.8$ ) με μέτρια κοκκομετρική σύσταση
Bray P2	Όξινα εδάφη στα οποία η κύρια πηγή φωσφορικών λιπασμάτων είναι οι φωσφορίτες και το κύριο κλάσμα φωσφόρου του εδάφους είναι οι διάφορες μορφές φωσφορικού ασβεστίου
Mehlich No.1	Όξινα εδάφη ( $pH_{H_2O} < 6.5$ ) με C.E.C. < 10meq/100g και μικρή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία < 5%
Olsen	Ασβεστούχα, αλκαλικά ή ουδέτερα εδάφη στα οποία ο φώσφορος του εδάφους βρίσκεται σε διάφορες μορφές φωσφορικού ασβεστίου
AB-DTPA	Ο εκχυλίσσιμος φώσφορος με τη μέθοδο AB-DTPA έχει υψηλό συντελεστή συσχέτισης με τον εκχυλίσσιμο φώσφορο της μεθόδου Olsen
Mehlich No.3	Για μεγάλο εύρος όξινων εδαφών με εκχυλίσσιμο φώσφορο που συσχετίζεται πολύ καλά με τον εκχυλίσσιμο φώσφορο της μεθόδου Bray P1 σε ασβεστούχα, αλκαλικά και ουδέτερα εδάφη
Χλωριούχο ασβέστιο	Για όλες τις κατηγορίες εδαφών



## 1.2 Το βόριο

Το βόριο και το χλώριο είναι τα μοναδικά αμέταλλα μικροθρεπτικά στοιχεία των φυτών. Το βόριο ανιχνεύεται σε μικρές ποσότητες στον εξωτερικό φλοιό της γης (λιθόσφαιρα) και κυρίως σε πυριγενή πετρώματα. Όπως και το  $\text{Mo}^{6+}$ , έχει την ικανότητα να σχηματίζει σταθερούς δεσμούς εξαιτίας του πολύ μικρού του μεγέθους.

Το βόριο ανακαλύφθηκε το 1908 από τους L.J. Gay-Lussac, L.J. Thernar και Sir Humphry Davy. Ως στοιχείο είναι μια γκρίζα σκόνη η οποία όμως δεν βρίσκεται ελεύθερη στη φύση. Το βόριο βρίσκεται στη φύση στα ύδατα που αναβλύζουν από περιοχές που υπάρχουν ηφαιστειακά πετρώματα υπό μορφή ορθοβορικού οξέος, και ως βορικά άλατα στον βόρακα και στον κολεμανίτη. Η σημαντικότερη πηγή βορίου είναι ο ρασορίτης ο οποίος βρίσκεται σε αφθονία στην έρημο Μοχάβε στην Αμερική.

Ως γενικές χρήσεις εκτός από την γεωργία όπου χρησιμοποιείται ως λίπασμα, το βόριο βρίσκει εφαρμογές στην υαλουργία την πυροτεχνική και την ιατρική όπου το βορικό οξύ χρησιμοποιείται ως αντισηπτικό.

Το βόριο είναι απαραίτητο ακόμα και στον άνθρωπο. Ένας άνθρωπος βάρους 80 κιλών πρέπει να περιέχει 0,056 γραμμάρια βορίου περίπου. Οι ενώσεις του βορίου όμως μπορεί να είναι καρκινογόνες.

Πίνακας 1.4.: Συγκεντρώσεις βορίου (ppb) σε διάφορα συστήματα.

Σύμπαν	1
Ήλιος	2
Μετεωρίτες	1600
Φλοιός της γης	8700
Νερά της θάλασσας	4440
Νερά των ποταμών	10
Άνθρωπος	700

Το βόριο εμφανίζεται στη φύση και με την μορφή τεσσάρων ισοτόπων:



Το μεγαλύτερο ποσοστό βέβαια στη φύση καταλαμβάνει το βόριο με ατομικό αριθμό 11(80%) ενώ μεγάλο ποσοστό κατέχει και το ισότοπο με ατομικό αριθμό 10 που καταλαμβάνει το 18% περίπου.

Άλλες ενώσεις που σχηματίζει το βόριο είναι οι εξής :

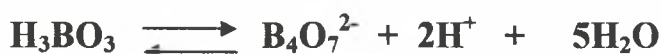
$\text{BF}_3$	Φθορίδια
$\text{B}_2\text{F}_4$	
$\text{BCl}_3$	Χλωρίδια
$\text{B}_2\text{Cl}_4$	
$\text{BBr}_3$	Βρωμίδια
$\text{BI}_3$	Ιωδίδια
$\text{B}_2\text{H}_6$	Υδρίδια
$\text{B}_4\text{H}_{10}$	
$\text{B}_5\text{H}_9$	
$\text{B}_5\text{H}_{11}$	
$\text{B}_6\text{H}_{10}$	
$\text{B}_{10}\text{H}_{14}$	
$\text{B}_2\text{O}_3$	Οξειδία
$\text{B}_2\text{S}_3$	Σουλφίδια

### 1.2.1 Το βόριο στο έδαφος

Το βόριο στο έδαφος βρίσκεται με τις μορφές  $(\text{H}_3\text{BO}_3)$ ,  $[\text{B}(\text{OH})_4^-]$ . Από γεωχημικής απόψεως το βόριο παρουσιάζει μια ιδιαίτερη συμπεριφορά καθώς πρόκειται για ένα ελαφρύ αμέταλλο στοιχείο ( $\text{B}^{3+}$ ). Έχει σταθερό σθένος +3 και πολύ μικρή ιοντική ακτίνα της τάξεως των  $0,88 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ . Το στοιχείο αυτό όχι μόνο δεν έχει βρεθεί ως  $\text{B}^+$ , αλλά δεν έχει εντοπιστεί ούτε και ως  $\text{B}^{3+}$ . Ο μη εντοπισμός του ως  $\text{B}^{3+}$  οφείλεται στο γεγονός ότι η ενέργεια που απαιτείται για την απομάκρυνση  $3e^-$  της εξωτερικής στοιβάδας του είναι πολύ μεγαλύτερη από την ενέργεια του κρυσταλλικού πλέγματος. Έτσι το βόριο βρίσκεται πάντα σε συνδυασμό με το οξυγόνο με τρεις δεσμούς και δίνει το οξείδιο του βορίου,  $\text{B}_2\text{O}_3$ , που διαλύεται στο ύδωρ και προκύπτει βορικό οξύ όπως φαίνεται στην παρακάτω εξίσωση:

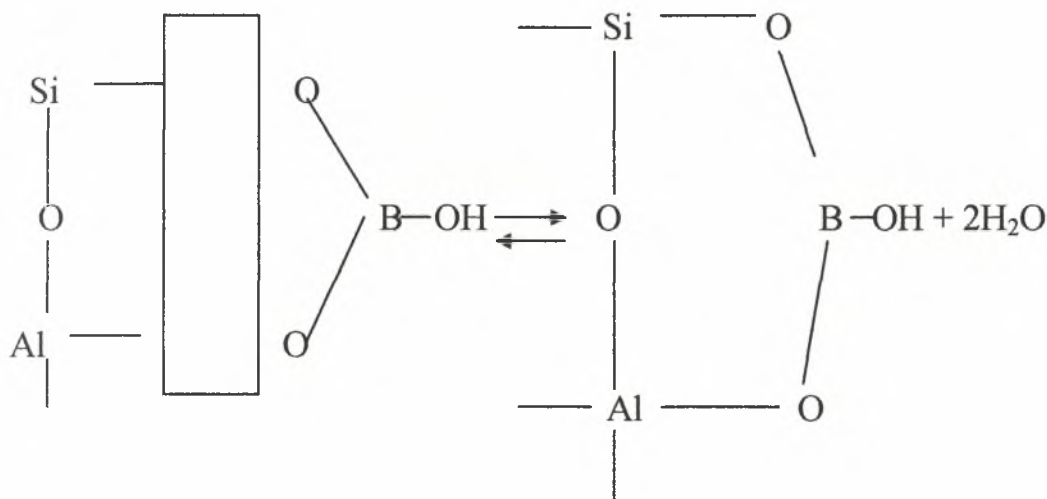


Το βόριο πιστεύεται ότι βρίσκεται ως αδιάστατο  $\text{H}_3\text{BO}_3$  ή ως ανιόν στο εδαφικό διάλυμα. Σε σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις (μικρότερες του 0,1M), το  $\text{H}_3\text{BO}_3$  διασπάται και γίνεται ένυδρη ουσία και σχηματίζει το υδροξείδιο του βορίου,  $\text{B}(\text{OH})_4^-$ , το οποίο είναι και το μοναδικό ιονικό είδος. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις του βορικού οξέος θα σχηματίσουν ιόντα βορίου με πολυμερή μορφή όπως το τετραβορικό ιόν το οποίο παρουσιάζεται παρακάτω:



Το βορικό οξύ έχει μεγάλη πτητικότητα ακόμα και σε χαμηλές θερμοκρασίες, είναι πολύ ευκίνητο κυρίως σε εδάφη που είναι φτωχά σε κολλοειδή της αργίλου και βρίσκεται σε μεγαλύτερες ποσότητες σε διαλύματα παρά σε ορυκτά. Σε τιμές pH κάτω από την τιμή 7, η μορφή του βορίου που συναντάται είναι αυτή του βορικού οξέος, αλλά καθώς η τιμή του pH αυξάνεται η συγκέντρωση των ιόντων  $\text{B}(\text{OH})_4^-$  αυξάνει.

Τα ιόντα  $B(OH)_4^-$  αντιδρούν και με τα επιφανειακά  $OH^-$  της αργίλου σχηματίζοντας ένα σύμπλοκο βορίου με δύο  $OH^-$  ως κατωτέρω:



(Σχήμα 1, αντίδραση ιόντων  $B(OH)_4^-$  με τα επιφανειακά  $OH^-$  της αργίλου) (Μήτσιος, 2003).

Το βόριο βρίσκεται στο έδαφος κυρίως στα ορυκτά του γρανίτη. Εκτός από τα ορυκτά των ιζηματογενών πετρωμάτων, οι μαρμαρυγίες έχουν την υψηλότερη περιεκτικότητα σε βόριο. Άλλα ορυκτά που περιέχουν βόριο είναι τα κατωτέρω:

- Κερνίτης, ένυδρο άλας του βορικού οξέος ( $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ )
- Κολεμανίτης, ( $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$ )
- Κοτοίτης, σύμπλοκα με Mg και Fe,  $Mg_2FeBO_5$  και  $Mg_3(BO_3)_2$
- Τουρμαλίνης, με πυριτικά σύμπλοκα βορίου.

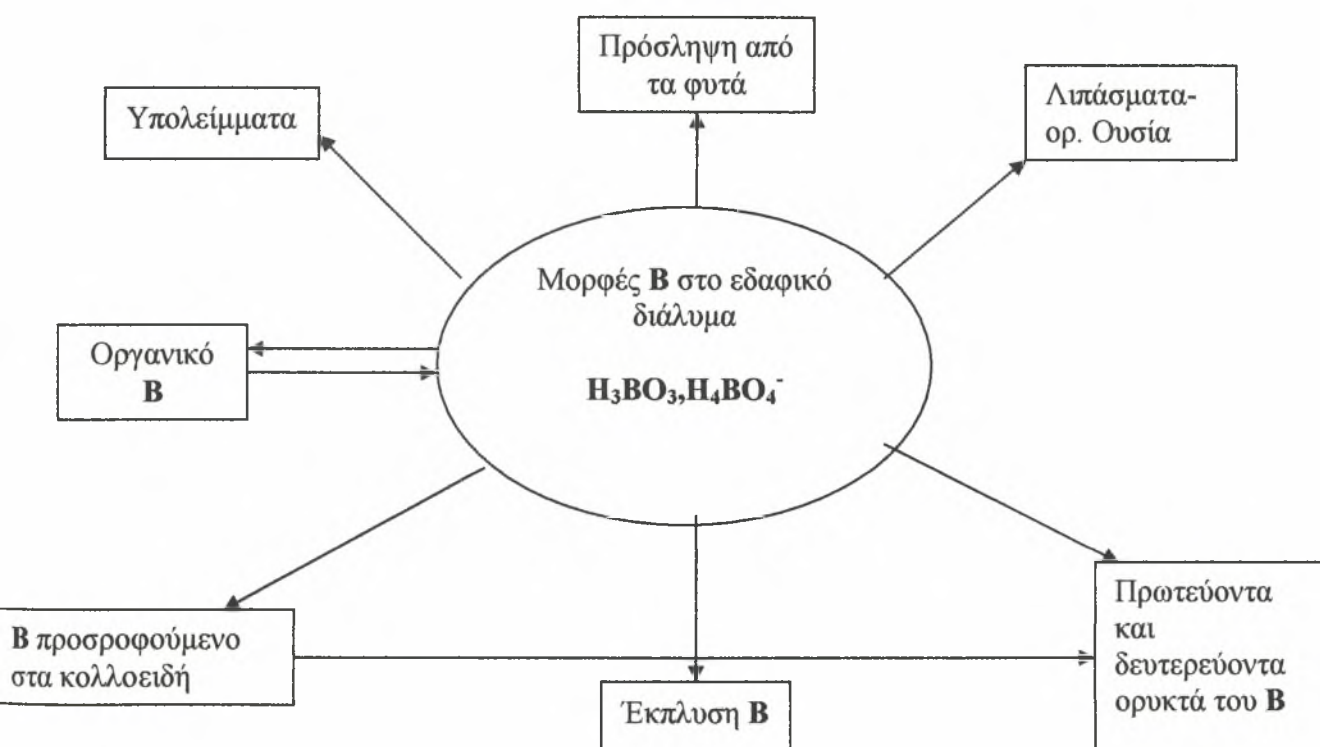
Ο τουρμαλίνης είναι το κυριότερο ορυκτό που βρίσκεται στα εδάφη και περιέχει βόριο 3-4%. Το ορυκτό αυτό είναι αδιάλυτο και ανθεκτικό στις κλιματικές μεταβολές (αποσάθρωση), με αποτέλεσμα η αποδέσμευση του μικροστοιχείου να είναι βραδεία και να μην έχει και πολύ μεγάλη γεωργική σημασία.

## 1.2.2 Μορφές βορίου στο έδαφος

Το βόριο όπως αναφέρεται στη βιβλιογραφία βρίσκεται στο έδαφος σε τέσσερις κύριες μορφές:

- Ενσωματωμένο σε ορυκτά και πετρώματα.
- Ως σύμπλοκο με στοιχεία των ορυκτών στα οποία είναι προσκολλημένο.
- Προσροφούμενο στις επιφάνειες τις αργίλου και συγκεκριμένα στα οξείδια του  $Fe^{2+,3+}$  και του  $Al^{3+}$ .
- Ως βορικό οξύ αλλά και με τη μορφή των ιόντων  $B(OH)_4^-$  στο εδαφικό διάλυμα.

Έχοντας υπόψη τα ανωτέρω και δεδομένης της ύπαρξης των μικρών ορίων μεταξύ της τοξικότητας και της ελλείψεως του βορίου, είναι απαραίτητο να γίνει κατανοητός ο κύκλος του βορίου μεταξύ της στερεής και της υγρής φάσης του εδάφους. Παρακάτω παρουσιάζεται ο κύκλος του βορίου στο έδαφος.



Εικόνα 1.3. Μορφές του βορίου στο έδαφος. (Μήτσιος, 2003).

Από την παραπάνω εικόνα προκύπτει ότι οι πηγές βορίου στο εδαφικό διάλυμα είναι τα ανόργανα και οργανικά υπολείμματα καθώς επίσης και τα λιπάσματα και το οργανικό βόριο που είναι προσροφημένο στα οργανικά κolloειδή.

Το βόριο μπορεί να μεταφερθεί στο ριζικό σύστημα των φυτών με μαζική ροή και διάχυση. Το ολικό βόριο που περιέχεται στα διάφορα εδάφη κυμαίνεται από 20 μέχρι 200 mg/Kg ξηρού βάρους. Το μεγαλύτερο ποσοστό του βορίου του εδάφους δεν είναι διαθέσιμο στα φυτά, διότι το διαθέσιμο βόριο (υδατοδιαλυτό) είναι χαμηλό και κυμαίνεται από 0,4 μέχρι 5mg/L (Gurta et al., 1985) και αντιστοιχεί σε λιγότερο από το 5% της συνολικής ποσότητας του Βορίου που βρίσκεται στο έδαφος (Corwin et al., 1999). Αυτό οφείλεται κυρίως στη συγκράτηση του από τα κolloειδή της αργίλου και τα οργανικά κolloειδή.

Το βόριο προσροφάται από το έδαφος με εντονότερους ρυθμούς από ότι το  $\text{Cl}^-$  και τα  $\text{NO}_3^-$  ιόντα. Ο ερευνητής Hodgson (1963) κατέληξε στο συμπέρασμα ότι το στοιχείο βόριο προσροφάται από αργιλώδεις επιφάνειες με τον τρόπο που προσροφούνται τα βαρέα μέταλλα.

### **1.2.3 Προσρόφηση βορίου από τα κolloειδή του εδάφους**

#### **1.2.3.1 Προσρόφηση βορίου από τα κolloειδή της αργίλου**

Το βόριο προσροφάται από:

- Τα οξείδια Fe και Al που υπάρχουν στα αργιλώδη εδάφη (Hatcher, Bower και Clark., 1967; Sims και Bingham, 1968).
- Τις ακμές των ορυκτών της αργίλου που έχουν υποστεί θραύση.
- Άμορφες δομές OH.
- Σύμπλοκα μίγματα Fe και Al καθώς και οξύ-ύδροξυ σύμπλοκα αυτών.

Όσο ανυψώνεται η τιμή του pH του εδάφους, η περιεκτικότητα σε Al, καθώς και η παρουσία συμπλόκων μιγμάτων Al, το βόριο προσροφάται με την μορφή  $\text{H}_4\text{BO}_4^-$ .

Η προσρόφηση του βορίου από τα ορυκτά της αργίλου εξαρτάται από την τιμή του pH, με μέγιστη προσρόφηση σε τιμές pH που κυμαίνονται από 7 έως 9 (Μήτσιος 2004). Η προσρόφηση αυτή γίνεται με ταχείς ρυθμούς και είναι εντονότερη σε όξινα περιβάλλοντα. Οι ερευνητές Sims και Bingham (1967, 1968, 1968) διεξήγαγαν έρευνα και διαπίστωσαν ότι η προσρόφηση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την τιμή του pH, και η μέγιστη προσρόφηση από τα υδροξείδια του Fe συμβαίνει σε pH από 8-9 και από τα υδροξείδια του Al σε pH 7.

Το πρόσφατο σχηματιζόμενο ίζημα  $Al(OH)_3$ , προσροφά μεγάλες ποσότητες Βορίου (Hatcher et. al., 1967), όμως η προσρόφηση αυτή μειώνεται σημαντικά μετά παρέλευση χρονικού διαστήματος 20 λεπτών.

Ο Μήτσιος Ι. αναφέρει πως παρατηρήθηκε ότι ο διοκταεδρικός υλίτης έχει μεγαλύτερη ικανότητα προσρόφησης σε βόριο από τον καολινίτη και το μοντμοριλονίτη, και ότι τα πολυπύρρηνα βορικά ιόντα συγκρατούνται ισχυρότερα από τα απλά ιόντα με αυξημένη συγκράτηση στους  $80^{\circ}C$  και μειούμενη στους  $15^{\circ}C$ .

Παρατηρήθηκε επίσης ότι το βόριο που δεσμεύεται από τα εδάφη μπορεί να συσχετισθεί ( $r=0,98$ ) με την μεταβολή στο ανταλλάξιμο Al κατά την ασβέστωση. Τούτο δεικνύει ότι το  $Al(OH)_3$  είναι μια από τις κυριότερες ενώσεις που προσροφούν βόριο στα εδάφη. Όλα τα υλικά ασβέστωσης αντιδρούν με τα όξινα κolloειδή του εδάφους με αποτέλεσμα το ασβέστιο και το μαγνήσιο να αντικαθιστούν το υδρογόνο και το αργίλιο των κolloειδών του εδάφους όπου συγκρατείται το βόριο.

### 1.2.3.2 Προσρόφηση του βορίου από τα οργανικά κolloειδή

Το βόριο μπορεί να συγκρατηθεί και από την οργανική ουσία με την προϋπόθεση ότι τα καρβοξυλικά οξέα των χουμικών κolloειδών θα ενωθούν με το βορικό οξύ. Ο Russel (1973), αναφέρει ότι ο δεσμός αυτός είναι πιθανότατα ισχυρότερος απ' ότι ο δεσμός του βορίου με τα εξαξείδια. Σε όξινες η κανονικές συνθήκες τα χουμικά κolloειδή δεσμεύουν ισχυρότερα το βόριο σε πολλά γεωργικά εδάφη.

Τα σύμπλοκα του βορίου είναι μια αρκετά δυναμική πηγή διαθεσιμότητας βορίου στα φυτά, η οποία αυξάνει καθώς ανυψώνεται η τιμή του pH του εδάφους. Τα μίγματα βορίου και οργανικής ουσίας του εδάφους είναι πιθανότατα μίγματα βορίου με ορυκτά. Στους σχιστόλιθους το βόριο μπορεί να αντικαταστήσει το  $Al^{3+}$  και το

$\text{Si}^{4+}$ . Το βόριο αν δεν συγκρατηθεί από τις επιφάνειες της αργίλου μπορεί να εκπλυθεί και να μετακινηθεί στους κατώτερους ορίζοντες της εδαφικής κατατομής και επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τη διαθεσιμότητα του στα ανώτερα φυτά.

#### 1.2.4 Παράγοντες που επηρεάζουν την διαθεσιμότητα του βορίου του εδάφους

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα του βορίου είναι οι εξής:

(Keren and Bingham, 1985; Keren et al., 1985)

- Μηχανική σύσταση του εδάφους.
- Ποσοστό και τύπος της αργίλου.
- Τιμή pH του εδάφους.
- Ασβέστωση των εδαφών.
- Σύμπλοκα βορίου με ορυκτά.
- Σχέσεις με άλλα μικροθρεπτικά και μακροθρεπτικά.
- Υγρασία του εδάφους.

##### 1.2.4.1 Μηχανική σύσταση του εδάφους

Τα αμμώδη εδάφη που είναι καλώς στραγγιζόμενα περιέχουν βόριο σε μικρές συγκεντρώσεις. Στα εδάφη αυτά το βόριο είναι πολύ ευκίνητο και εκπλύνεται στα κατώτερα στρώματα της εδαφικής κατατομής με έντονους ρυθμούς. Τα αργιλώδη εδάφη με καλή δομή συγκρατούν το προστιθέμενο βόριο για περισσότερο χρονικό διάστημα από τα αργιλώδη εδάφη με κακή δομή, των οποίων τα κολλοειδή τους προσροφούν το βόριο εντονότερα. (Goldberg 1993; Goldberg 1997)

Το γεγονός ότι τα κολλοειδή της αργίλου συγκρατούν το στοιχείο αυτό πιο έντονα δε σημαίνει ότι και τα φυτά θα προσλάβουν περισσότερο βόριο. Τα φυτά μπορεί να προσλάβουν μεγαλύτερες ποσότητες στα αμμώδη εδάφη παρά στα εδάφη με καλή δομή όταν η συγκέντρωση του βορίου στο εδαφικό διάλυμα είναι η ίδια.



#### 1.2.4.2 Τύπος αργίλου

Η προσρόφηση του βορίου είναι μεγαλύτερη στις μαρμαρυγίες, λίγο μικρότερη στο μοντμοριλονίτη και ελάχιστη στον καολινίτη. (Singh, 1970).

#### 1.2.4.3 Τιμή του pH του εδάφους

Η διαθεσιμότητα του Βορίου στο έδαφος μειώνεται σε τιμές pH 3 έως 9 και αυξάνεται σε τιμές pH 10 έως 11,5 (Goldberg 1993; Goldberg 1997). Η διαθεσιμότητα του βορίου στο έδαφος μειώνεται σημαντικά σε τιμές pH από 6,3 μέχρι 6,5. Η ασβέστωση στα όξινα εδάφη συχνά προκαλεί μια προσωρινή έλλειψη βορίου σε ευαίσθητα φυτά. Το πόσο ισχυρή θα είναι η έλλειψη αυτή εξαρτάται από την υγρασία του εδάφους, το είδος του φυτού και από την διάρκεια που διατηρείται το ασβέστιο στο έδαφος.

Η μείωση της διαθεσιμότητας του βορίου προκαλείται κυρίως από την επιφανειακή προσρόφηση του σε πρόσφατα κατακρημνιζόμενο  $Al(OH)_3$ , που σχηματίζεται από την εξουδετέρωση της οξύτητας, με μέγιστη συγκράτηση σε pH=7.

Όταν η ασβέστωση του εδάφους δεν είναι επαρκής, τότε παρατηρείται μείωση της διαθεσιμότητας του βορίου. Σημειώνεται ότι η έντονη ασβέστωση δεν οδηγεί πάντα σε αυξημένη προσρόφηση βορίου από το  $Al(OH)_3$ . Υψηλότερες τιμές pH ως αποτέλεσμα ασβέστωσης εδαφών πλούσιων σε σύμπλοκα βορίου, μπορεί να ενθαρρύνουν τη διάσπαση τους και να ελευθερώσουν βόριο.

#### 1.2.4.4 Οργανική ουσία

Μεγάλη ποσότητα διαθέσιμου βορίου συγκρατείται από την οργανική ουσία του εδάφους με αποτέλεσμα εδάφη πλούσια σε οργανική ουσία να παρουσιάζουν και υψηλή διαθεσιμότητα του στοιχείου αυτού. Τα επιφανειακά στρώματα του εδάφους που περιέχουν αυξημένη περιεκτικότητα σε οργανική ουσία να παρουσιάζουν υψηλή διαθεσιμότητα σε βόριο. Η προσθήκη οργανικών ουσιών στο έδαφος μπορεί να αυξήσει την πρόσληψη του από τα φυτά.

#### 1.2.4.5 Αλληλεπίδραση με άλλα στοιχεία

Η πρόσληψη του βορίου από τα φυτά εξαρτάται από τη συγκέντρωση και άλλων ιόντων στο εδαφικό διάλυμα όπως το ασβέστιο, το κάλιο και το άζωτο. Η παρουσία του  $\text{Ca}^{2+}$  σε αλκαλικά εδάφη, που προσφάτως υπέστησαν υπερβολική ασβέστωση, περιορίζει τη διαθεσιμότητα του βορίου.

Μεγάλη συγκέντρωση ιόντων  $\text{Ca}^{2+}$  μπορεί να προστατέψει τα φυτά από την τοξικότητα βορίου καθώς το  $\text{Ca}^{2+}$  αντικαθιστά τα ιόντα  $\text{Al}^{3+}$ , τα οποία αποδεσμευμένα συγκρατούν ποσότητες βορίου με αποτέλεσμα το βόριο να μην είναι πλέον διαθέσιμο στα φυτά. Η ικανότητα που παρουσιάζει το Ca να υποκινεί την προσρόφηση του Βορίου στα αλκαλικά έδαφος πολύ μεγαλύτερη από αυτήν του Na (Keren and O' Conner, 1982; Keren and Sparks, 1994). Οι αυξημένες αζωτούχες και καλιούχες λιπάνσεις μπορεί να εντείνουν την παρουσία τροφοπενιών Βορίου στα φυτά.

#### 1.2.4.6 Υγρασία του εδάφους

Η διαθεσιμότητα του βορίου του εδάφους μειώνεται με τη μείωση της εδαφικής υγρασίας. Για το λόγο αυτό, τροφοπενίες βορίου παρατηρούνται σε συνθήκες παρατεταμένης ξηρασίας. Αυτό οφείλεται στη μείωση της απελευθέρωσης του στοιχείου αυτού από τα σύμπλοκα με ορυκτά και στη μειωμένη κίνηση του βορίου στην περιοχή της ριζόσφαιρας προς τη ρίζα.

Όταν η συγκέντρωση του βορίου στα εδάφη είναι υψηλή και η εδαφική υγρασία είναι χαμηλή, τότε μειώνεται η διάχυση του βορίου και η μαζική ροή, με συνέπεια τη δυσχερή πρόσληψη του από τις ρίζες. (Perkins, 1995). Σε χαμηλά επίπεδα υγρασίας ο συντελεστής διάχυσης του στοιχείου αυτού μειώνεται σημαντικά. Χαμηλό ποσοστό εδαφικής υγρασίας είναι δυνατόν να προκαλέσει τροφοπενία βορίου είτε εξαιτίας δυσμενών συνθηκών που δημιουργούνται για την ανοργανοποίηση της οργανικής ουσίας είτε γιατί περιορίζεται η διαπνοή και συνεπώς και η είσοδος του ύδατος στο φυτό.

#### 1.2.4.7 Φυτικοί παράγοντες

Η ευαισθησία στην έλλειψη βορίου ποικίλει μεταξύ των διάφορων καλλιεργούμενων ειδών. Ορισμένα φυτά παρουσιάζουν ανθεκτικότητα στην έλλειψη και τοξικότητα του στοιχείου αυτού, ενώ άλλα φυτά είναι αρκετά ευαίσθητα.

#### 1.2.4.8 Επίδραση των παραγόντων του φυσικού περιβάλλοντος

Στον πίνακα 1.5. παρουσιάζεται η επίδραση του περιβάλλοντος στη διαθεσιμότητα του βορίου.

Πίνακας 1.5. Επίδραση των παραγόντων του φυσικού περιβάλλοντος στη διαθεσιμότητα του βορίου. (Μήτσιος, 2004).

<b>ΑΡΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗ</b>	<b>ΘΕΤΙΚΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗ</b>
Υψηλή σχετική υγρασία και μειωμένη αναπνοή	Αυξημένη αναπνευστική δραστηριότητα
Συμπίεση εδάφους	Καλή δομή του εδάφους και αερόβιες συνθήκες στις ρίζες των φυτών
Χαμηλή τιμή pH ή υψηλή τιμή pH	Ο χούμος του εδάφους
Εδάφη βαριάς συστάσεως που συγκρατούν υψηλό ποσοστό υγρασίας	Οι μικροοργανισμοί του εδάφους
Ξηρά εδάφη	Βέλτιστο pH του εδάφους
Κρύα εδάφη	Υγρασία του εδάφους
Εμπλουτισμός με CO <sub>2</sub>	Άριστη θερμοκρασία του εδάφους
Αναερόβιες συνθήκες	Εκτεταμένο και βαθύ ριζικό σύστημα των φυτών
Μειωμένη ανάπτυξη του ριζικού συστήματος	
Ασθένειες ριζών και ασθένειες του υπεργείου τμήματος	

#### 1.2.5 Εδάφη με μικρή περιεκτικότητα σε βόριο

Μεγάλες πιθανότητες εμφάνισης τροφωπενίας βορίου παρατηρούνται στα αμμώδη εδάφη, σε περιοχές με συχνές βροχοπτώσεις (Öztürk et al., 2003) και στα

εδάφη που περιέχουν μικρή περιεκτικότητα σε βόριο, καθώς και στα όξινα που έχουν υποστεί υπερβολική ασβέστωση.

Στα εδάφη με ελαφρά σύσταση, το βόριο βρίσκεται σε μικρές συγκεντρώσεις με αποτέλεσμα να παρατηρούνται τροφοπενίες του στοιχείου αυτού. Οι τροφοπενίες βορίου συχνά παρατηρούνται κατά τους καλοκαιρινούς ξηρούς μήνες, και αυτό γιατί οι επιφανειακοί ορίζοντες της εδαφικής κατατομής περιέχουν βόριο σε μικρές συγκεντρώσεις. Στους ορίζοντες αυτούς, τα οργανικά κολλοειδή δεσμεύουν το βόριο. (Pittiglio and Doner, 2001).

Στα αμμώδη εδάφη που περιέχουν μικρή συγκέντρωση βορίου, το διαθέσιμο βόριο δεν επαρκεί με αποτέλεσμα να παρατηρείται τροφοπενία βορίου. Σε εδάφη όμως με υψηλή περιεκτικότητα βορίου, η ξηρασία δεν οδηγεί σε εμφάνιση τροφοπενιών βορίου στα φυτά.

Σημειώνεται ότι τα φυτά προσλαμβάνουν περισσότερο βόριο από τα ελαφριάς συστάσεως εδάφη παρά από τα εδάφη βαριάς συστάσεως, και περισσότερο βόριο από τα όξινα παρά από τα ασβεστούχα. Το βόριο δεν είναι ευκίνητο εντός του φυτού, με αποτέλεσμα όταν αυτό προσλαμβάνεται από τα φυτά σχετικά νωρίς να μην μετακινείται αργότερα στα σημεία αυξήσεως του φυτού, με συνέπεια την εμφάνιση ορατών συμπτωμάτων έλλειψης του βορίου. Για τους λόγους αυτούς, προστίθενται στα εδάφη λιπάσματα βορίου ή γίνονται διαφυλλικοί ψεκασμοί ώστε να μην εμφανιστούν συμπτώματα τροφοπενίας βορίου.

### 1.2.6 Το βόριο στην ανάπτυξη των φυτών

Το βόριο συμμετέχει στη μεταφορά των σακχάρων κατά μήκος των κυτταρικών μεμβρανών. Τα ελεύθερα μόρια των σακχάρων λόγω πολικότητας, δεν διαπερνούν τις κυτταρικές μεμβράνες, και αυτό οφείλεται στο σχηματισμό χημικών ενώσεων με το βόριο. Όπως αναφέρει και ο Μήτσιος Ι. το βόριο διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη διαίρεση του κυττάρου, στη σύνθεση της πηκτίνης και στην δραστηριότητα της πολυφαινόλης.

Τονίζεται η καταλυτική συμπεριφορά του βορίου στη σύνθεση του DNA και του RNA καθώς και στη διαδικασία της γλυκόλυσης. Έχει αποδειχθεί ότι το βόριο

είναι απαραίτητο στο σχηματισμό αζωτούχων βάσεων, μεταξύ των οποίων είναι και η ουρακίλη η οποία αποτελεί βασικό συστατικό του RNA.

Το βόριο είναι ακόμα αναγκαίο σε ίχνη σε πολλές ενζυματικές διεργασίες όπως στη διαφοροποίηση ανθέων, στη βλάστηση της γύρης κ.λ.π. Περιέχεται στο στέλεχος ή στο στίγμα και γι' αυτό η έλλειψη του επηρεάζει αρνητικά το δέσιμο των καρπών.

Πρέπει να τονιστεί η σημασία του βορίου κυρίως στην αναπαραγωγική ανάπτυξη του φυτού όπου έχει και τη μεγαλύτερη σημασία. Πιο συγκεκριμένα σε πείραμα που διεξήχθη μελετήθηκε η συμπεριφορά δύο ευαίσθητων στην έλλειψη του βορίου φυτών, του ηλίανθου και της ελαιοκράμβης. Τα νεαρά φυτά τροφοδοτούνταν με τα απαραίτητα θρεπτικά με διαλύματα των οποίων η συγκέντρωση σε βόριο ήταν διαφορετική. Στις μικρότερες συγκεντρώσεις (0,9μM B για ελαιοκράμβη και 0,8μM B για ηλίανθο) τα τυπικά συμπτώματα έλλειψης βορίου εμφανίστηκαν 45 και 40 μέρες αντίστοιχα μετά την μεταφύτευση των νεαρών φυταρίων στα θρεπτικά διαλύματα.

*Πίνακας 1.6. Βάρος ξηρής ουσίας βλαστικών και αναπαραγωγικών φυτικών μερών της ελαιοκράμβης ύστερα από 75 μέρες σε διαλύματα τα οποία περιείχαν 0,8 έως 53 μM βορίου. (Asad et al, 2001).*

Συγκέντρωση βορίου	φύλλα	ρίζες	Σύνολο βλαστικών μερών	Σύνολο αναπαραγωγικών μερών
	(mg B/ Kg ξηρής βιομάζας)			
0,8	25,4	1,2	36,8	—
0,9	31,7	2	51,5	—
2,8	56,4	7,8	111,8	2,9
53	58	9,4	130,9	4,5

Σε συγκεντρώσεις <0,9μM B, σχηματίστηκαν λίγα άνθη τα οποία όμως δεν ήταν λειτουργικά ενώ τα περισσότερα από αυτά που σχηματίστηκαν έπεσαν. Η

βλαστική και ανθική ανάπτυξη στα φυτά που δέχθηκαν βόριο συγκέντρωσης 2,8μM φάνηκε κανονική αλλά καθυστέρησε 3-5 μέρες σε σχέση με τα αντίστοιχα φυτά των 53μM B. Κατά τη συλλογή των φυτών ο συνολικός αριθμός των ανθέων ήταν 11, 37 και 49 για 0,9, 2,8 και 53μM B αντίστοιχα. Επιπλέον το βάρος των αναπαραγωγικών μερών στα φυτά που αναπτύχθηκαν σε διάλυμα συγκέντρωσης 53μM B, ήταν μεγαλύτερο κατά 55% από την αμέσως μικρότερης συγκέντρωσης μεταχείριση την στιγμή που οι διαφορές στην βλαστική ανάπτυξη ήταν πολύ μικρότερες.

*Πίνακας 1.7. Συγκέντρωση βορίου στα βλαστικά και αναπαραγωγικά μέρη της ελαιοκράμβης μετά από 75 μέρες σε θρεπτικά διαλύματα που περιείχαν 0,8 έως 53 μM βορίου. (Asad et al, 2001).*

Συγκέντρωση Βορίου	φύλλα	ρίζες	Σύνολο βλαστικών μερών (mg B/ Kg ξηρής βιομάζας)	Σύνολο αναπαραγωγικών μερών
0,8	3,5	4,4	3,2	_____
0,9	9,5	8,3	8,7	_____
2,8	17,6	12,9	16,4	30,9
53	20,6	16,7	19,4	35,5

Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα η συγκέντρωση του βορίου στα αναπαραγωγικά τμήματα του φυτού είναι πολύ μεγαλύτερη με την αντίστοιχη των βλαστικών τμημάτων, κάτι που δείχνει την σημασία του βορίου στην άνθιση και κατά συνέπεια και στην παραγωγή. Αυτό φαίνεται και από το γεγονός ότι τα νεαρά φυτά δεν παρουσίασαν συμπτώματα στο βλαστικό στάδιο. Τέλος μεγάλης σημασίας είναι το γεγονός ότι ακόμα και σε μικρότερες συγκεντρώσεις παρ' όλο που δεν έδειξαν κανένα σύμπτωμα τα φυτά, εν' τούτοις υπήρξε διαφορά στη παραγόμενη φυτική μάζα και τον αριθμό των ανθέων.

Συνοψίζοντας, όπως αναφέρει και η βιβλιογραφία, το βόριο στα φυτά παίζει ρόλο στα παρακάτω:

- Αναπαραγωγή και ζωτικότητα της γύρης.
- Δημιουργία των σακχάρων και του αμύλου.
- Μεταφορά των παραπάνω στο φυτό.
- Συμμετέχει μαζί με το ασβέστιο στη δημιουργία των κυτταρικών τοιχωμάτων.
- Ρυθμίζει το μεταβολισμό των υδατανθράκων.
- Βοηθά στη σύνθεση του DNA στους μεριστοματικούς ιστούς.

Η πρόσληψη βορίου από τις ρίζες των φυτών γίνεται κυρίως με τη μορφή του βορικού οξέος ( $H_3BO_3$ ) γιατί το βορικό ανιόν  $\{B(OH)_4\}$  είναι παρόν σε μικρές συγκεντρώσεις σε συνηθισμένα pH. Πρόσφατα βρέθηκε από τους Dannel et al(2000) ότι η πρόσληψη του βορίου από τον ηλιάνθο είναι ενεργητική όταν η συγκέντρωση του στο εδαφικό διάλυμα είναι μικρή (1 $\mu$ M) και παθητική όταν η συγκέντρωση του βορίου στο διάλυμα είναι μεγάλη (100 $\mu$ M). Αποδείχθηκε ότι η ενεργητική πρόσληψη του βορικού οξέος στα φυτά γίνεται με τη βοήθεια πρωτεϊνών (ακουπορίνες) οι οποίες βρίσκονται στις πλασματικές μεμβράνες των κυττάρων και μπορούν να αποτελέσουν κανάλια για την είσοδο μη πολικών μορίων στο εσωτερικό των κυττάρων. Η δράση των πρωτεϊνών αυτών σταματά παρουσία ιόντων υδραργύρου. Το παραπάνω αποδείχθηκε και πειραματικά (Christos Dodras and Patrick H.Brown).

Πέρα από την άμεση επίδραση που έχει στα φυτά η σωστή τροφοδοσία τους με βόριο, το στοιχείο αυτό επηρεάζει και έμμεσα την ανάπτυξη των φυτών. Οι Mitchell et al (1987) ανέφεραν αύξηση του ξηρού βάρους των ριζών καθώς επίσης και αύξηση του αριθμού των μυκκόριζων μετά από προσθήκη βορίου ,ενώ σε πειράματα αγρού φάνηκε ότι ο σχηματισμός εκτομυκκόριζων σε κωνοφόρα αποτρεπόταν από την έλλειψη βορίου. Τα ίδια αποτελέσματα είχαν και σε καλλιέργειες τριφυλλιού και μηδικής.

### 1.2.7 Απαιτήσεις των φυτών σε βόριο

Οι ανάγκες των φυτών σε βόριο είναι μέγιστες κατά το στάδιο του σχηματισμού των φύλλων, της ανθοφορίας, καθώς και κατά το στάδιο σχηματισμού των καρπών . Όσον αφορά τις ανάγκες των φυτών σε βόριο παρατηρείται σημαντική

διαφορά μεταξύ των μονοκοτυλήδων και των δικοτυλήδων, η οποία αποδίδεται σε διαφορές του μεταβολισμού της φαινόλης των φυτών αυτών.

Έτσι, αν διαφορετικά είδη φυτών αναπτυχθούν στο ίδιο φυσικό περιβάλλον, θα παρατηρηθούν διαφορετικές συγκεντρώσεις βορίου στα φυτά αυτά. Η περιεκτικότητα των μονοκοτυλήδων σε βόριο είναι ιδιαίτερα χαμηλή, και συνήθως 2 μέχρι 6 mgBkg<sup>-1</sup> ξηρής ουσίας, σημαντικά λιγότερη από αυτή των δικοτυλήδων των οποίων η περιεκτικότητα βορίου είναι 20 μέχρι 200 mgBkg<sup>-1</sup> ξηρής ουσίας.

Τα κατωτέρω φυτά παρουσιάζουν ευαισθησία στην έλλειψη βορίου:

- Ζαχαρότευτλα
- Σέλινο και ηλίανθος
- Κουνουπίδι και μηδική
- Οπωροφόρα και ιδιαίτερα μηλοειδή

Ενώ τα φυτά:

- Κριθάρι
- Αγγουράκια και φασόλια
- Φράουλες και εσπεριδοειδή

είναι ανθεκτικά σε μικρές συγκεντρώσεις βορίου του εδάφους. Όπως συμβαίνει και με άλλα θρεπτικά στοιχεία των φυτών, οι διαφορετικές ποικιλίες του αυτού είδους δεν αντιδρούν με τον ίδιο τρόπο στην έλλειψη βορίου, δηλαδή όλες οι ποικιλίες του ίδιου είδους φυτού δεν είναι κατάλληλες για την ένδειξη της έλλειψης βορίου. Όταν το βόριο του εδάφους δεν είναι διαθέσιμο στα φυτά η για κάποιους άλλους λόγους δεν πραγματοποιείται επαρκής εφοδιασμός αυτών, τότε εμφανίζονται συμπτώματα έλλειψης του μικροθρεπτικού αυτού.

Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένες συγκεντρώσεις του βορίου σε κάποιες χαρακτηριστικές καλλιέργειες που έχουν διαφορετικές απαιτήσεις σε βόριο.



Πίνακας 1.8. Κρίσιμες συγκεντρώσεις του βορίου σε διάφορες καλλιέργειες.

Καλλιέργεια Μέρος του φυτού Χρο. Περίοδος Έλλειψη επάρκεια τοξικότητα

		-----ppm Βορίου-----			
Αραβόσιτος	Φύλλο	<2	6-40	41-55	
Σόγια	Όλο το φυτό	Πριν το σχ/σμο	<20	21-55	56-100
		Λοβού			
Τεύτλα	Φύλλο	<10	21-50	>50	
	Μίσχος	<8	16-200	>200	

( <http://www.extension.umn.edu/distribution/cropsystems/DC0723.html>)

Εκτός από τις διαφορές στις απαιτήσεις βορίου μεταξύ των διαφόρων φυτικών ειδών υπάρχει και μεταξύ των ποικιλιών ενός είδους διαφορετική αντίδραση στην διαθεσιμότητα του βορίου.

Πίνακας 1.9. Συγκέντρωση βορίου (mg) σε φυτικά προϊόντα

Αμύγδαλα	Καρύδια	Αχλάδια	Κόκκινα σταφύλια
15g 0.42 mg	25g 0.68 mg	150g 0.48 mg	100g 0.50 mg
Μήλα	Ακτινίδιο	Δαμάσκηνο	Σουλτανίνα
100g 0.32 mg	120g 0.31 mg	100g 0.45 mg	15g 0.24 mg

Χυμός μήλου	Πορτοκάλι	Δαμάσκηνα ξηρά
125g 0.29 mg	130g 0.33 mg	50g 0.94 mg
Βερίκοκα, ξηρά	Ροδάκινα	Σταφίδες
25g 0.53 mg	25g 0.81 mg	15g 0.67 mg
Αβοκάντο	Βούτυρο φιστικιού	Φασόλια
100g 2.06 mg	20g 0.38 mg	130g 1.82 mg

([www.jctonic.com/include/minerals/boron.html](http://www.jctonic.com/include/minerals/boron.html))

### 1.2.8 Συμπτώματα τροφοπενίας βορίου

Είναι γνωστό ότι το βόριο δε μετακινείται εντός του φυτού από τα παλαιότερα στα νεώτερα φύλλα, με αποτέλεσμα να παρατηρούνται συμπτώματα έλλειψης του στοιχείου αυτού. Η έλλειψη βορίου μπορεί να ανιχνευθεί στα νεώτερα φύλλα, στους βλαστούς και τις ρίζες.

Εξαιτίας της συμπεριφοράς αυτής, τα φυτά πρέπει να προσλαμβάνουν βόριο συνεχώς κατά την διάρκεια της ανάπτυξης. Όπως αναφέρεται και από τον Μήτσιο Ι. η έλλειψη βορίου εμφανίζεται σε ορισμένα είδη φυτών, μέσω πολλών ορατών χαρακτηριστικών, που διαπιστώνονται τόσο μικροσκοπικά όσο και μακροσκοπικά ως ακολούθως.:

- Κίτρινος μέχρι κοκκινωπός αποχρωματισμός των νεώτερων φύλλων, με η χωρίς επακόλουθες νεκρώσεις.
- Εμφάνιση νεωτέρων φύλλων με μορφή ροζέτας.
- Μικρά παραμορφωμένα φύλλα, συχνά με απλοποιημένο σχήμα φύλλου, με ασύμμετρο σχηματισμό των νεύρων.
- Σπασίματα και σχηματισμοί φελλού στο μίσχο των φύλλων.
- Κοτυληδόνες συχνά σε μεγέθυνση.
- Ξήρανση των αναπτυσσόμενων σημείων ή των μπουμπουκιών, και με αρκετή έλλειψη βορίου στα βλαστάρια ‘ οι βλαστοί εξαφανίζονται’ και το ίδιο και τα μπουμπουκία.
- Λόγω απουσίας της κυριαρχίας της κορυφής, παρατηρείται αύξηση των μασχαλιαίων οφθαλμών οι οποίοι αναπτύσσονται κανονικά η ξηραίνονται σύντομα (σκούπα της μάγισσας).
- Μείωση των αριθμών των μπουμπουκιών, των ανθέων και των σχηματιζόμενων καρπών, με πρόωρο διασκορπισμό του περικορπίου.
- Περιορισμένη ανάπτυξη του ριζικού συστήματος, με ανώμαλη αύξηση των πλευρικών ριζών, που προσδίδουν στη ρίζα αγκαθωτή εμφάνιση.
- Οι κοντές ρίζες παχαίνουν αποκτώντας μορφή ροπάλου, και γίνονται καφέ. Συχνά όμως γίνονται και πολύ λεπτές.
- Σχηματισμός καφέ κηλίδων, φαινόμενα ξηρής σήψης κατά τόπους.

- Τα παλαιότερα φύλλα εμφανίζουν συμπτώματα μόνο όταν υπάρξει συνεχής έλλειψη. (Μήτσιοι, 2003, [www.missouri.edu](http://www.missouri.edu)).

Τα συμπτώματα βέβαια διαφέρουν από καλλιέργεια σε καλλιέργεια εμφανίζοντας χαρακτηριστικά σημεία σε κάθε καλλιεργούμενο είδος. Έτσι στα κατωτέρω είδη φυτών παρατηρούνται τα εξής:

#### **1.2.8.1 Έλλειψη βορίου στα οπωροφόρα δέντρα**

Πέρα όμως από την τοξικότητα του βορίου που εμφανίζεται όχι και τόσο συχνά οι περισσότερες καλλιέργειες στην Ελλάδα αλλά και στον υπόλοιπο κόσμο υποφέρουν από έλλειψη του στοιχείου αυτού μειώνοντας σε μεγάλο ποσοστό την παραγωγή και το εισόδημα του καλλιεργητή. Όταν η διαθεσιμότητα είναι σε οριακό σημείο τότε τα φυτά δεν δίνουν πάντα τα χαρακτηριστικά συμπτώματα έλλειψης του ιχνοστοιχείου αυτού πράγμα που καθιστά δύσκολη την διάγνωση του.

Σύμφωνα με τον Μήτσιο η τροφοπενία βορίου είναι πολύ συνηθισμένη στη μηλιά. Εμφανίζεται κυρίως στους καρπούς που προκαλεί την ασθένεια που ονομάζεται φέλλωση. Τα πρώτα συμπτώματα στα μήλα εκδηλώνονται όταν έχουν διάμετρο 3-4 εκατοστά με την εμφάνιση στην επιφάνεια τους μιας ή περισσότερων υδατωδών κηλίδων κυκλικών ή ακανόνιστων χρώματος σκούρου πράσινου. Συχνά επί των κηλίδων υπάρχει καστανόχρους κομμώδης ουσίας που διαλύεται εύκολα με το νερό. Οι κηλίδες εξελίσσονται σε καστανές, νεκρωτικές ελαφρά βυθισμένες, φελλώδεις, οι οποίες με την συνένωση τους μπορεί να σχηματίζουν μεγαλύτερες φελλώδεις επιφάνειες. Λόγω της νεκρώσεως αυτής οι καρποί αναπτυσσόμενοι παρουσιάζουν ελαφρά ή έντονη παραμόρφωση. Οι έντονα παραμορφωμένοι καρποί συχνά πέφτουν πρόωρα από το δέντρο. Η σάρκα των καρπών κάτω από τις κηλίδες είναι καστανή λόγω αποφελλώσεως των ιστών σε βάθος 3-5mm. Τέτοιες κηλίδες συχνά εμφανίζονται και μέσα στον καρπό διάσπαρτες οι οποίες δεν είναι εξωτερικά αντιληπτές.

Τα συμπτώματα στο φύλλωμα εμφανίζονται σπάνια και συνήθως σε σοβαρές περιπτώσεις ελλείψεως βορίου. Τα φύλλα των ετήσιων βλαστών γίνονται αργά το καλοκαίρι κίτρινα με ερυθρόχρωμα νεύρα κυρτούνται και παρουσιάζουν

περιφερειακές νεκρώσεις του ελάσματος. Κοντά στην κορυφή ο φλοιός και το κάμβιο εμφανίζουν νεκρωτικές κηλίδες. Επιπλέον εμφανίζεται νέκρωση βλαστών που ξεκινά από την κορυφή και προχωρά προς τα κάτω. Πολλοί οφθαλμοί δεν εκπτύσσονται η δίνουν καχεκτική βλάστηση και ρόδακες φύλλων.

Παρόμοια είναι και τα συμπτώματα έλλειψης βορίου και στα πυρηνόκαρπα όπου αρχικά παρουσιάζεται μικροφυλλία και καρούλιασμα προς τα κάτω. Οι βλαστοί δεν εκπτύσσονται κανονικά, ενώ οι καρποί εμφανίζουν έντονες παραμορφώσεις και αποφελλωμένες κηλίδες.

Στα εσπεριδοειδή η επιφάνεια των καρπών εμφανίζεται σκληρή κατά θέσεις με ταυτόχρονη απόθεση κόμματος στο λευκό τμήμα του φλοιού ενώ δεν λείπουν και οι αποθέσεις κόμματος μέσα στον καρπό. Τα σπέρματα μπορεί να λείπουν. Οι καρποί μπορεί να είναι μικροί σκληροί και με λίγο χυμό. Επίσης παρατηρείται πτώση καρπών και σχίσσιμο φλοιού. Τα φύλλα μαραίνονται κιτρινίζουν και καρουλιάζουν προς τα κάτω. Σε πολλή σοβαρές ελλείψεις παρατηρείται σχίσσιμο και φέλλωση των νεύρων στην πάνω επιφάνεια των φύλλων. Οι κλαδίσκοι αποφυλλώνονται και στην κορυφή εμφανίζουν νεκρώσεις. Τα εσπεριδοειδή που είναι εμβολιασμένα σε νεραντζιά είναι πιο επιρρεπείς στην έλλειψη βορίου.

Στο αμπέλι η έλλειψη βορίου εμφανίζεται με βραχυγονάτωση, μεσονεύριο χλώρωση στα φύλλα, ενώ τα νεότερα φύλλα παραμορφώνονται, κατσαρώνουν και έχουν ασύμμετρη ανάπτυξη. Επιπλέον ο ακραίος οφθαλμός νεκρώνεται και στη συνέχεια εκπτύσσονται πολλοί πλάγιοι οι οποίοι είναι παραμορφωμένοι. Στους βότρες παρατηρείται μικρή καρπόδεση, μικροραγία και ανισοραγία. Πολλές ράγες στερούνται σπερμάτων, και συχνά εμφανίζεται εσωτερικά φέλλωση, ρωγμές, βυθισμένες θέσεις και ανώμαλη ωρίμανση.

### 1.2.8.2 Καπνός

Οι επιδράσεις του βορίου στον καπνό μελετήθηκαν περισσότερο από οποιοδήποτε άλλο μικροθρεπτικό. Όπως αναφέρει και ο Μήτσιος Ι. υπό κανονικές συνθήκες παραγωγής καπνού, σπάνια παρατηρείται έλλειψη βορίου. Όταν όμως η ταχύτητα αύξησης της χλωρής μάζας του καπνού είναι πολύ μεγάλη και έντονη, ενδέχεται να παρατηρηθεί έλλειψη βορίου. Με την έλλειψη του στοιχείου αυτού τα κορυφαία φύλλα αποκτούν χρώμα ανοικτό πράσινο και είναι παραμορφωμένα. Σε περιπτώσεις

όμως έντονης έλλειψης βορίου παρατηρείται νέκρωση του κορυφαίου οφθαλμού του καπνού και τα υπάρχοντα φύλλα γίνονται σκούρα πράσινα. Οι πλάγιοι μασχαλιαίοι οφθαλμοί, οι οποίοι είναι πλησίον της κορυφής του φυτού, δεν αναπτύσσονται. Τα ανωτέρω συμπτώματα έλλειψης βορίου έχουν παρατηρηθεί σε καπνοφυτείες επικλινών εδαφών, οι οποίοι ισοπεδώθηκαν με τη μετακίνηση μεγάλου πάχους στρώματος εδάφους 30 μέχρι 80 cm.

### **Αντιμετώπιση της ελλείψεως βορίου στον καπνό**

Δεδομένου ότι το βόριο μετακινείται πολύ δύσκολα μέσα στο φυτό, χρειάζεται συνεχής τροφοδοσία της καπνοφυτείας με το στοιχείο αυτό από το έδαφος για ομαλή αύξηση - ανάπτυξη και παραγωγή καλής ποιότητας καπνού . Λίπανση καπνοφυτειών με 34-57 g B στρ<sup>-1</sup> , έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της απόδοσης και τη βελτίωση της ποιότητας του καπνού. Έχει επίσης βρεθεί ότι η λίπανση των αγρών πριν τη μεταφύτευση του καπνού με 1-2Kg βόρακα το στρέμμα , είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της στρεμματικής απόδοσης.

#### **1.2.8.3 Βαμβάκι**

Η έλλειψη του βορίου στο βαμβάκι εκδηλώνεται με νεκρώσεις της κορυφής των βλαστών και στη συνέχεια έκπτυξη των πλάγιων βλαστών, που έχουν κοντά μεσογονάτια διαστήματα, με αποτέλεσμα να προσδίδουν στο βαμβάκι όψη πυκνής βλάστησης. Τα νεαρά φύλλα είναι κιτρινοπράσινα, τα καρύδια είναι μικρά σε μέγεθος και έχουν ανοικτό πράσινο χρώμα. Παρατηρούνται ρωγμές στους μίσχους των λουλουδιών και μερικές φορές στη βάση των καρυδιών. Τα συμπτώματα εμφανίζονται στα κατώτερα τμήματα του φυτού.

#### **1.2.8.4 Ζαχαρότευτλα**

Η έλλειψη βορίου στα ζαχαρότευτλα προκαλεί τυπικά συμπτώματα που εκδηλώνονται όχι μόνο στα φύλλα αλλά και στους μίσχους, στις κορυφές των ριζών και σ' αυτές ακόμα τις ρίζες των ζαχαρότευτλων. Σύμφωνα με τον Μήτσιο Ι. όταν ο

εφοδιασμός των φυτών με βόριο είναι ανεπαρκής, τα πρώτα συμπτώματα εμφανίζονται στο πρωτογενές μερίστωμα και στα νεαρά φύλλα. Η έλλειψη βορίου κατ' αρχήν μειώνει τις αποδόσεις, ενώ στη συνέχεια επηρεάζει τις ρίζες υποβαθμίζοντας και την εμπορική τους αξία.

Όταν τα ζαχαρότευτλα καλλιεργούνται σε εδάφη ελαφριάς σύστασης και αλκαλικής αντίδρασης παρουσιάζονται σ' αυτά συμπτώματα τροφопενίας βορίου. Έλλειψη επίσης παρατηρείται συχνά κατά την περίοδο θερμών καλοκαιριών, ιδιαίτερα δε όταν έχει προηγηθεί ήπια και υγρή άνοιξη. Στις συνθήκες αυτές, τα φυτά αρχικά αναπτύσσονται ταχύτατα προσλαμβάνοντας αρκετό βόριο. Στη συνέχεια το ξηρό εδαφικό περιβάλλον μειώνει την διαθεσιμότητα του βορίου, με άμεση εμφάνιση συμπτωμάτων στην καρδιά των φυτών, παρά την υψηλή συγκέντρωση βορίου στα παλαιότερα φύλλα.

#### **Αντιμετώπιση της έλλειψης βορίου στα ζαχαρότευτλα**

Οι τροφопενίες βορίου στα ζαχαρότευτλα αντιμετωπίζονται με βόρακα ( $N_2B_4O_7 \times H_2O$  -11% B). Η λίπανση με βόρακα έχει δώσει πολύ καλά αποτελέσματα και θετική αντίδραση στη μάζα των ριζών και στον ζαχαρικό τίτλο. Παρόμοια αποτελέσματα έχουν επιτευχθεί με διαφυλλικές λιπάνσεις κατά την περίοδο Μαΐου – Ιουνίου (βόρακας solubor).

#### **1.2.8.5 Τροφопενία βορίου στην ελιά**

Η ελιά είναι από τις ευαίσθητες καλλιέργειες στην έλλειψη βορίου και γι' αυτό το λόγο έχει προταθεί ως φυτό δείκτης, για τον εντοπισμό εδαφών με μικρή συγκέντρωση βορίου. Η τροφопενία βορίου στην ελιά είναι από τις πιο σοβαρές τροφопενίες του ελαιόδεντρου, η οποία έχει εξαιρετικά δυσμενή επίδραση στην παραγωγή και την ανάπτυξη του φυτού.

Όπως αναφέρει και ο Μήτσιος Ι. τα ελαιόδεντρα συνήθως εμφανίζονται χλωρωτικά, ενώ σε σοβαρότερες ελλείψεις παρουσιάζουν μεγάλων αριθμό ξηρών κλάδων σ' ολόκληρη την κόμη. Τα κλαδιά έχουν την γνωστή μορφή ως σκούπα της μάγισσας λόγω της διαδοχικής εκπτώξεως πολλών πλάγιων βλαστών και κατόπιν αποξηράνσεως τους. Το πιο χαρακτηριστικό σύμπτωμα ελλείψεως βορίου από την

ελιά εμφανίζεται στα φύλλα και παρουσιάζεται ως χλώρωση του κορυφαίου τμήματος του ελάσματος. Αρχικά το χρώμα των χλωρωτικών ιστών είναι πρασινοκίτρινο και στη συνέχεια μετατρέπεται σε κίτρινο πορτοκαλί και καταλαμβάνει το 1/2-1/3 του φύλλου. Τα συμπτώματα εμφανίζονται πρώτα στα κορυφαία φύλλα των νέων βλαστών και στη συνέχεια στα κατώτερα. Τα συμπτώματα αυτά στα φύλλα μοιάζουν με αυτά της τροφопενίας καλίου. Η κύρια διαφορά είναι ότι στην τροφопενία βορίου η μετάβαση από το χλωρωτικό τμήμα του φύλλου στο υγιές γίνεται αμέσως χωρίς ενδιάμεση απόχρωση. Στα παλιότερα φύλλα ενίοτε παρατηρείτε και ξήρανση του χλωρωτικού αυτού τμήματος. Επιπλέον παρατηρείται μικροφυλλία, παραμόρφωση των φύλλων (ροπαλόμορφα) και φυλλόπτωση.

Στα ασθενή δέντρα καθυστερεί η έναρξη βλαστήσεως ενώ ο ακραίος οφθαλμός νεκρώνεται. Έτσι εκπτώσονται οι πλάγιοι οφθαλμοί οι οποίοι και αυτοί με τη σειρά τους νεκρώνονται δημιουργώντας χαρακτηριστικές σκούπες. Το καλοκαίρι παρατηρείται έντονη καρπόπτωση ενώ και η άνθηση είναι περιορισμένη. Έτσι η παραγωγή μειώνεται και σε σοβαρότερες προσβολές εκμηδενίζεται.

#### **Αντιμετώπιση τροφопενίας βορίου στην ελιά**

Στη χώρα μας, η αντιμετώπιση της έλλειψης βορίου στην ελιά πραγματοποιείται συνήθως με προσθήκη στο έδαφος βοριούχων λιπασμάτων (βόρακας, βορικό οξύ) κάθε 2 με 3 χρόνια ή με ψεκασμό του φυλλώματος με βοριούχα διαλύματα.

Κατά τη συνήθη πρακτική η ποσότητα του βοριούχου λιπάσματος καθορίζεται με βάση την ηλικία και ανάπτυξη των δέντρων, χωρίς κατά κανόνα να λαμβάνονται υπόψη οι εδαφικές συνθήκες, οι οποίες συμβάλουν άμεσα ή έμμεσα στην εμφάνιση των τροφопενιών.

Έτσι ανεξάρτητα από την καλλιέργεια, τις κλιματικές συνθήκες, την ευαισθησία – ανοχή – ανθεκτικότητα των φυτικών ειδών στη χορήγηση λιπασμάτων, κύριος παράγοντας που ρυθμίζει την περίσσεια ή την έλλειψη βορίου στα φυτά είναι το έδαφος.

#### **1.2.9 Πρόληψη τροφопενιών βορίου**

Η βέλτιστη λίπανση των φυτών με βόριο είναι απαραίτητη ώστε να αποφευχθούν ακραίες καταστάσεις στα φυτά (τροφопενίες – τοξικά συμπτώματα), οι

οποιές έχουν ως συνέπεια τη διατάραξη του μεταβολισμού τους και την εμφάνιση ανωμαλιών στην ανάπτυξή τους. Προληπτικά πραγματοποιούνται λιπάνσεις στο έδαφος καθώς και διαφυλλικοί ψεκασμοί.

### 1.2.10 Λιπάνσεις με βόριο

Σε περιοχές που οι τροφοπενίες βορίου είναι συνήθεις, συχνά χρησιμοποιείται ο βόρακας, (το λίπασμα αυτό περιέχει 10,6%B ) σε σύμπλοκα λιπασμάτων. Η προσθήκη βόρακα πρέπει να γίνεται προσεκτικά και ομοιόμορφα, κυρίως στο μέρος που βρίσκεται ο σπόρος. Αν προστεθεί μεγάλη ποσότητα λιπάσματος και ανομοιόμορφη διασπορά, τα φυτά ενδεχομένως θα υποστούν την τοξική δράση του βορίου και τούτο διότι υπάρχει μικρό εύρος μεταξύ των τοξικών ποσοτήτων και αυτών που οδηγούν σε τροφοπενία του στοιχείου αυτού.

Για τους λόγους αυτούς προτιμώνται τα υδατοδιαλυτά σπρέι βορίου διότι διασκορπίζονται πολύ πιο εύκολα από το στερεό βόριο. Παράδειγμα υδατοδιαλυτού είναι το σύμπλοκο που περιέχει 20% B, είναι γρήγορα διαλυόμενο και διατίθενται ως υδατικό διάλυμα που περιέχει 0,2 – 2,5% αυτού του μίγματος. Το διαλυτό βόριο είναι πολύ πυκνό, είναι πλήρης πηγή βορίου και μπορεί να εφαρμοστεί σαν σπρέι η σκόνη απευθείας σε οπωροφόρα δένδρα , λαχανικά και σιτηρά . Χρησιμοποιείται επίσης ως υγρό και διασπείρεται με μορφή λιπάσματος.

Το Solubor προτιμάται από το βόρακα επειδή διαλύεται πιο γρήγορα και υφίσταται λιγότερες αλλαγές στην κρυσταλλική δομή από τις θερμοκρασίες. Το ορυκτό Ca-βόρακας, κολεμανίτης, χρησιμοποιείται συχνά σε αμμώδη εδάφη γιατί είναι λιγότερο διαλυτό σε σχέση με τα νατριούχα λιπάσματα βορίου. Οι λιπάνσεις με βόριο εξαρτώνται από το είδος του φυτού, το βροχομετρικό ύψος, την ασβέστωση του εδάφους και από το εδαφικό σύμπλοκο B – οργανικής ουσίας του εδάφους . Σημειώνεται ότι οι ποσότητες του βορίου που προστίθενται στο έδαφος εξαρτώνται και από την μέθοδο εφαρμογής. Λιπάσματα βορίου με κοκκώδη μορφή πρέπει να αποφεύγονται σε ξηρά εδάφη.

Το βορικό οξύ εκτός από τη χρήση του στη γεωργία ως λιπαντικό για πρόληψη τροφοπενιών βορίου σε άλλες χώρες όπως στην Νότια Αμερική χρησιμοποιείται και ως εντομοκτόνο εναντίον κατσαριδών και μυρμηγκιών.



Πίνακας 1.10. Κυριότερα λιπάσματα βορίου.(Μήτσιος ,2005)

Πηγή	Χημικός τύπος	Περιεκτικότητα % σε βόριο
Βόρακας	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$	11
Πενταβορικό νάτριο	$\text{Na}_2\text{B}_{10}\text{O}_{16} \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$	18
Τετραβορικό νάτριο	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$	14
Βορικό οξύ	$\text{H}_3\text{BO}_3$	20
Κολεμανίτης (ορυκτό)	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$	17
Frist βορίου		10
Solubor	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5 \text{H}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{B}_{10}\text{O}_{16} \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$	20
Bortrac		15
Profit		15
Vytel Boron		15
Χηλικό Β (EDTA)		4
Πολυβόρ	(12-12-18 + +0,5 Β)	0,5

### 1.2.11 Τοξικότητα βορίου

Το βόριο είναι απαραίτητο θρεπτικό στοιχείο για τα φυτά. Όταν όμως βρίσκεται σε μεγάλες ποσότητες στο έδαφος ή το ύδωρ αρδεύσεως, τότε το στοιχείο αυτό προκαλεί τοξικά συμπτώματα στα φυτά. Το ύδατα αρδεύσεως που περιέχει περισσότερο από 0,75mg/L βόριο πρέπει να χρησιμοποιείται με μεγάλη προσοχή. Το βόριο στο ύδωρ άρδευσης σε συγκέντρωση 0,2mg/L παρέχεται στα φυτά ως θρεπτικό στοιχείο και δεν προκαλεί τοξικά συμπτώματα στα φυτά. Αντίθετα συγκέντρωση 1-2 mg/L είναι επιβλαβής στα φυτά.

Τα επιφανειακά ύδατα σπάνια περιέχουν ποσότητα βορίου που θα προκαλούσε τοξικά συμπτώματα στα φυτά. Το ύδωρ αρδεύσεως που προέρχεται από πηγάδια ή από πηγές σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να περιέχει βόριο σε τέτοιες συγκεντρώσεις που να προκαλεί τοξικά συμπτώματα. Τα τοξικά συμπτώματα του βορίου στα φύλλα των φυτών αρχικά παρουσιάζονται στα παλιά φύλλα ως κίτρινες κηλίδες, ή ακόμα ξηραίνονται οι κορυφές των ελασμάτων των φύλλων. Στα φυτά που είναι ευαίσθητα στην παρουσία βορίου στα ύδατα αρδεύσεως όπως η κερασιά και η δαμασκηλιά, δεν παρουσιάζονται τα τυπικά συμπτώματα στο έλασμα των φύλλων,

αλλά είναι εμφανής η παρουσία κολλωδών εκκρίσεων στον κορμό και τους κλάδους. Όμως τα συμπτώματα αυτά δεν είναι χαρακτηριστικά της τοξικότητας βορίου στα φυτά αυτά (πυρηνόκαρπα), καθώς αποτελεί συνηθισμένη αντίδραση του φυτού σε διάφορα παράσιτα και ασθένειες. Σ' αυτές τις περιπτώσεις η καλύτερη λύση είναι ο υπολογισμός του βορίου σε φυτικούς ιστούς η εδαφολογική μελέτη.

Τα τοξικά συμπτώματα στα φύλλα των φυτών εμφανίζονται όταν η συγκέντρωση του βορίου στα φύλλα υπερβεί τα 250-300 mg/L ξηρής ουσίας αυτών. Στα δέντρα δαμασκηλιά, ροδακινιά, αχλαδιά, αμυγδαλιά κ.α. δεν παρουσιάζονται τοξικά συμπτώματα στα φύλλα γι' αυτό η φυλλοδιαγνωστική είναι μια απαραίτητη μέριμνα για τον παραγωγό. Παρακάτω παρουσιάζεται η ανοχή ορισμένων καλλιεργούμενων φυτών στο βόριο που βρίσκεται στα ύδατα αρδεύσεως. Η ανοχή βέβαια του κάθε φυτού στις παρακάτω συγκεντρώσεις βορίου ποικίλουν και εξαρτώνται από τον τύπο του εδάφους τις κλιματικές συνθήκες κ.α.

Γενικά λόγω του κινδύνου της τοξικότητας του βορίου, για ετήσιες καλλιέργειες (π.χ. καλαμπόκι) ακόμα και σε πολύ φτωχά εδάφη δεν εφαρμόζεται βοριούχο λίπασμα ποτέ στη γραμμή.

Επίσης έχουν αναφερθεί συμπτώματα τοξικότητας βορίου και σε εδάφη τα οποία είχαν υποστεί ασβέστωση. Σε πείραμα που πραγματοποιήθηκε βρέθηκε ότι τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σε βόριο από τα υλικά ασβέστωσης είχε η τέφρα[σαν τέφρα ορίζεται το υπόλειμμα από την καύση του λιγνίτη που χρησιμοποιείται ως καύσιμη ύλη για παραγωγή ενέργειας. Περιέχει σίδηρο, ασβέστιο, πυρίτιο, κάλιο, βόριο καθώς και άλλα μικροστοιχεία σε ικανοποιητικές ποσότητες, ενώ και το pH του είναι αλκαλικό. Πολλές εργασίες έχουν δείξει ότι η ουσία αυτή μπορεί να βελτιώσει τη δομή, την ικανότητα συγκράτησης ύδατος και τη γονιμότητα των εδαφών (Chang et al., 1977). Επιπλέον συχνά προκαλεί προβλήματα τοξικότητας βορίου, σεληνίου και μολυβδαινίου καθώς και κάποια άλλα υλικά πλούσια σε  $\text{CaSO}_4$  (431 και 175 mgB/Kg αντίστοιχα), ενώ το  $\text{CaO}$  είχε την μικρότερη συγκέντρωση μεταξύ των υλικών αυτών (<1mgB/Kg). Παρ' όλα αυτά με την αύξηση του pH μειώνεται η διαθεσιμότητα του βορίου και συνεπώς και η ικανότητα των φυτών να συγκεντρώνουν βόριο στους ιστούς τους.

Όμως σε πείραμα που έγινε βρέθηκε ότι σε εδάφη στα οποία είχαν προστεθεί υλικά με σκοπό την άνοδο του pH το καλαμπόκι είχε αρκετή ποσότητα βορίου στους ιστούς του. Ενώ για νεαρά φυτά καλαμποκιού συγκέντρωση >25mgB/Kg ξηρής ουσίας είναι πολύ, και >100 mgB/Kg είναι τοξική, συγκεντρώσεις 50-100mgB/Kg

είναι οριακές γι' αυτήν τη καλλιέργεια. Το  $\text{CaSO}_4$  αύξησε τη συγκέντρωση του βορίου στους ιστούς του καλαμποκιού σε αντίθεση με τα  $\text{CaCO}_3$  και  $\text{CaSO}_3$ . Παρ' όλα αυτά δεν παρουσιάστηκε σημαντική μείωση της παραγωγής αλλά ούτε και εμφανή συμπτώματα τοξικότητας στα φυτά καλαμποκιού. Επιπλέον συνεχής προσθήκη τέτοιων ουσιών ίσως να μειώσει τα προβλήματα από την μεγάλη συγκέντρωση του βορίου στα φυτά (R.B. Clarck et al, 1998).

*Πίνακας 1.11. Συγκέντρωση βορίου σε ξηρή βιομάζα σίκαλης (mg/Kg) σε σχέση με την ποσότητα τέφρας στο έδαφος. (V.Z. Keramidas et al, 1998).*

	Ποσότητα τέφρας gr/ Kg εδάφους			
	0	5	20	50
Έδαφος 1	0,46	0,68	0,94	1,56
Έδαφος 2	0,55	0,71	0,85	1,26

#### 1.2.12 Αντιμετώπιση των προβλημάτων τοξικότητας

Η πλέον αποτελεσματική μέθοδος αποφυγής της τοξικής δράσης του βορίου είναι η επιλογή ύδατος αρδεύσεως που δεν προκαλεί τοξικά συμπτώματα στα φυτά. Η τοξική δράση των  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$  και βορίου μπορεί να μειωθεί με έκπλυση αυτών. Σε περιπτώσεις που η έκπλυση γίνεται υπερβολική, πολλοί γεωργοί εφαρμόζουν το σύστημα αμειψισποράς με μια πιο ανθεκτική στην έλλειψη βορίου καλλιέργεια. Σε περιπτώσεις όπου τα προβλήματα τοξικότητας δεν είναι τόσο συχνά, σχετικά μικρές αλλαγές στην καλλιέργεια μπορεί να δώσουν λύση στο πρόβλημα.

Πρέπει στο σημείο αυτό να τονιστεί ότι το βόριο είναι πολύ πιο δύσκολο να εκπλυθεί σε σχέση με τα ιόντα χλωρίου και νατρίου. Το βόριο κινείται αργά στο εδαφικό διάλυμα και απαιτείται περίπου τρεις φορές περισσότερο ύδωρ έκπλυσης απ' ότι απαιτείται για τα ιόντα  $\text{Cl}^-$  και  $\text{Na}^+$ . Γι' αυτό και ο κίνδυνος μετακίνησης του Βορίου στα υπόγεια ύδατα είναι αμελητέος. Για τον έλεγχο της τοξικότητας απαιτείται καλής ποιότητας ύδατος για την άρδευση της καλλιέργειας και στη συνέχεια να γίνει έκπλυση του εδάφους με το ύδωρ αυτό για να μειωθούν οι τυχόν υψηλές συγκεντρώσεις του βορίου στο έδαφος.

Πίνακας 1.12. Ανθεκτικότητα των φυτών στο βόριο των υδάτων αρδεύσεως. (Μήτσιος, 2003).

<b>Πολύ ευαίσθητα φυτά (&lt;0,5mg/L)</b>	
<b>Βοτανικό είδος</b>	<b>Ελληνικό όνομα</b>
<i>Citrus limon</i>	Λεμονιά
<i>Rubus spp</i>	Βατόμουρο
<b>Ευαίσθητα φυτά (0,5-0,75mg/L)</b>	
<b>Βοτανικό είδος</b>	<b>Ελληνικό όνομα</b>
<i>Persea americana</i>	Αβοκάντο
<i>Citrus paradisi</i>	Γκρεϊπ φρουτ
<i>Citrus sinensis</i>	Πορτοκαλιά
<i>Prunus americana</i>	Βερικοκιά
<i>Prunus persica</i>	Ροδακινιά
<i>Prunus avium</i>	Κερασιά
<i>Prunus domestica</i>	Δαμασκηλιά
<i>Diospyros kali</i>	Διόσπυρος
<i>Ficus carica</i>	Συκιά η κοινή
<i>Vitis vinifera</i>	Αμπέλι
<b>Ευαίσθητα φυτά (0,5-0,75mg/L)</b>	
<b>Βοτανικό είδος</b>	<b>Ελληνικό όνομα</b>
<i>Junglans regia</i>	Καρυδιά
<i>Allium cepa</i>	Κρεμμύδι
<b>Ευαίσθητα φυτά (0,75-1mg/L)</b>	
<b>Βοτανικό είδος</b>	<b>Ελληνικό όνομα</b>
<i>Allium sativum</i>	Σκόρδο
<i>Iponomea batatas</i>	Γλυκοπατάτα
<i>Triticum aestivum</i>	Σιτάρι
<i>Hordeum vulgare</i>	Κριθάρι
<i>Helianthus annus</i>	Ηλίανθος
<i>Sesamum indicum</i>	Σουσάμι
<i>Lupinus hartwegii</i>	Λούπινα
<i>Fragaria spp</i>	Φράουλα
<i>Phaseolus vulgaris</i>	Φασολιά
<i>Arachis hypogaea</i>	Αραχίδα

<b>Μέτρια ανθεκτικά (1-2mg/L)</b>	
<b>Βοτανικό είδος</b>	<b>Ελληνικό όνομα</b>
<i>Capsicum annuum</i>	Πιπεριά
<i>Pisum sativum</i>	Μπιζέλια
<i>Daucus carota</i>	Καρότα
<i>Raphanus sativus</i>	Ραπανάκι
<i>Solanum tuberosum</i>	Πατάτα
<i>Cucumis sativus</i>	Αγγούρι
<b>Μέτρια ανθεκτικά(2-4mg/L)</b>	
<b>Βοτανικό είδος</b>	<b>Ελληνικό όνομα</b>
<i>Lactuca sativa</i>	Μαρούλι
<i>Brassica rapa</i>	Γογγύλη
<i>Apium graveolens</i>	Σέλινο
<i>Avena sativa</i>	Βρώμη
<i>Zea mays</i>	Καλαμπόκι
<i>Cynara scolymus</i>	Αγκινάρα
<i>Nicotiana tabacum</i>	Καπνός

<b>Ανθεκτικά φυτά (4-6mg/L)</b>	
<b>Βοτανικό είδος</b>	<b>Ελληνικό όνομα</b>
<i>Sorghum bicolor</i>	Σόργο
<i>Lycopersicum esculentum</i>	Τομάτα
<i>Medicago sativa</i>	Μηδική
<i>Vicia benhgalensis</i>	Βίκος
<i>Petroselinum crispum</i>	Μαϊντανός
<i>Beta vulgaris</i>	Ζαχαρότευτλα
<b>Πολύ ανθεκτικά φυτά (6-15mg/L)</b>	
<b>Βοτανικό είδος</b>	<b>Ελληνικό όνομα</b>
<i>Gossypium hirsutum</i>	Βαμβάκι
<i>Asparagus officinalis</i>	Σπαράγγι
<i>Cucurbita pepo</i>	Κολοκύθι
<i>Cucurbita melo</i>	Πεπόνι

### 1.2.13 Προσδιορισμός του διαθέσιμου βορίου στο έδαφος

Ο προσδιορισμός του διαθέσιμου βορίου του εδάφους γίνεται με τις παρακάτω μεθόδους:

1. Η τροποποιημένη μέθοδος της κουρκουμίνης που χρησιμοποιεί 2-ethyl-1,3-hexanediol (Goldman et al., 1975) και
2. Η μέθοδος της Αζωμεθίνης.

#### Μέθοδος Αζωμεθίνης

Η μέθοδος της Αζωμεθίνης αναπτύχθηκε από τους Berger and Truog (1939), χρησιμοποιείται ευρύτατα και παρέχει αξιόπιστα αποτελέσματα. Η μέθοδος της αζωμεθίνης είναι αυτή που χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον στο εργαστήριο εδαφολογίας του πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει δύο στάδια στο τέλος των οποίων καθίσταται δυνατός ο προσδιορισμός του διαθέσιμου βορίου. Αρχικά πραγματοποιείται εκχύλιση του στοιχείου από το έδαφος με κατάλληλα εκχυλιστικά διαλύματα και ακολουθεί ο φασματοφωτομετρικός προσδιορισμός του έγχρωμου πλέον συμπλόκου που σχηματίζεται ανάμεσα στο βορικό οξύ σε υδατικό περιβάλλον και στο αντιδραστήριο της Αζωμεθίνης.

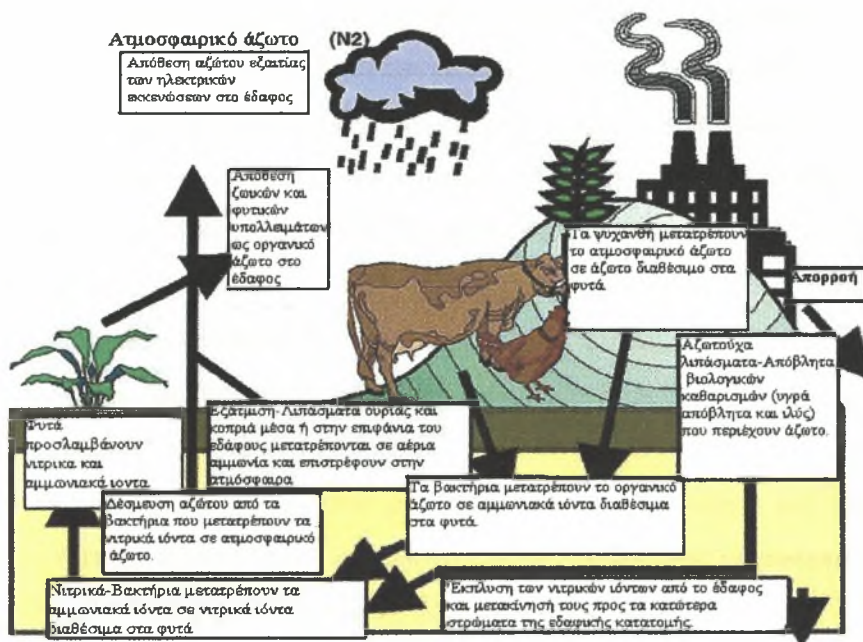
Για την εκχύλιση του βορίου από τα εδάφη χρησιμοποιείται η μέθοδος της εκχύλισης με ζεστό νερό. Προκειμένου να ελευθερωθεί το βόριο από τα ορυκτά, όπου είναι προσροφημένο, χρησιμοποιείται  $\text{CaCl}_2$  το οποίο αντικαθιστά το στοιχείο αυτό στις επιφάνειες των ορυκτών με αποτέλεσμα να παρατηρείται μεγαλύτερη συγκέντρωσή του στο εκχυλιστικό διάλυμα. Το εκχυλιζόμενο βόριο στο διάλυμα αυτό μπορεί να προσδιοριστεί φασματοφωτομετρικά.

Η εκχύλιση πραγματοποιείται σε ειδική συσκευή πέψης του οίκου Gerhardt των έξι θέσεων. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται ειδικές γυάλινες σφαιρικές φιάλες (SCHOTT DURAN 250 mL), απαλλαγμένες βορίου και κάθετοι ψυκτήρες επαναρροής.

## 1.3 Το άζωτο του εδάφους

### 1.3.1 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 1.4. 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 αφότου έχει δεσμευτεί ή ενωθεί με άλλα στοιχεία, όπως  $O_2$  ή  $H_2$ . Σήμερα η δέσμευση πραγματοποιείται στις βιομηχανίες με σύνθεση της αμμωνίας από υδρογόνο και ατμοσφαιρικό άζωτο.

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

Η αζωτοδέσμευση μπορεί να είναι μη βιολογική με τη βοήθεια των ηλεκτρικών εκκενώσεων ή της μεθόδου Haber και βιολογική με τη βοήθεια μικροοργανισμών. Η βιολογική δέσμευση αζώτου παγκοσμίως δίνεται στον πίνακα 1.13

**Πίνακας 1.13. Η βιολογική δέσμευση του αζώτου παγκοσμίως**

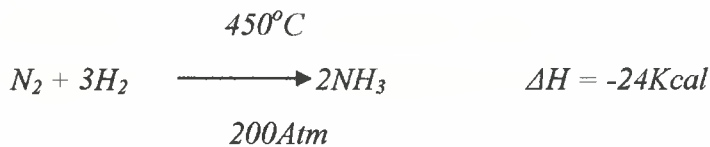
<b>Βιολογική δέσμευση <math>N_2</math></b>	<b><math>\epsilon.10^6</math> <math>\epsilon\tau\omicron\varsigma^{-1}</math></b>
α) Στη ξηρά	
Ψυχανθή	35
Μη ψυχανθή	5
Ορυζώνες	5
Λιβάδια κλπ.	45
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>90</b>
β) Στο νερό	30
γ) Αστραπές	7
δ) Βιομηχανική δέσμευση $N_2$	40
ε) Λουτά	28
<b>ΟΛΙΚΗ ΔΕΣΜΕΥΣΗ <math>N_2</math></b>	<b>195</b>
Απονιτροποίηση	
α) Στη ξηρά	120
β) Στο νερό	40
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΠΟΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ</b>	<b>160</b>



### 1.3.2.1 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 άζωτο είναι πάρα πολύ σταθερό γραμμομόριο.

Η αζωτοδέσμευση είναι μια δυσχερής διεργασία, οι δε συνθήκες για τη δέσμευση του αζώτου παρουσιάζονται με τη διεργασία Haber. Η διεργασία αυτή αφορά την αντίδραση του  $N_2$  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.



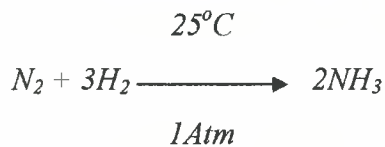
Ένας δεύτερος τρόπος με τον οποίο το ατμοσφαιρικό άζωτο μπορεί να δεσμευτεί είναι διαμέσου των ηλεκτρικών εκκενώσεων που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια καταιγίδων. Κατά τη διάρκεια των ηλεκτρικών εκκενώσεων σχηματίζονται οξείδια αζώτου που στη συνέχεια ενυδατώνονται με υδρατμούς και πέφτουν στο έδαφος ως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



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

### 1.3.2.2 Βιολογική δέσμευση του αζώτου

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



Η βιολογική δέσμευση του αζώτου πραγματοποιείται είτε με μη συμβιωτικούς μικροοργανισμούς που ζουν ελεύθερα ή με ορισμένα βακτήρια, που συμβιούν με τα ανώτερα φυτά. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει αερόβιους μικροοργανισμούς του εδάφους (π.χ. *Azotobacter*), αναερόβιους μικροοργανισμούς (π.χ. *Clostridium* sp), φωτοσυνθετικά βακτήρια (π.χ. *Rhodospirillum rubrum*) και φύκη (π.χ. *Mycophyceae*).

#### 1.3.2.2.1 Μη συμβιωτική αζωτοδέσμευση

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

Τα φύκη όμως αυτά μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως λίπασμα ή ζωοτροφή. Επίσης πολλά ελευθέρως ζώντα βακτήρια έχουν την ικανότητα να δεσμεύουν άζωτο. Εδώ υπάγονται είδη του γένους ***Clostridium*** που είναι **αναερόβια**. Επίσης είδη του γένους *Klebsiella* αναπτύσσονται με ή χωρίς O<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.

### 1.3.2.2.2 Συμβιωτική αζωτοδέσμευση

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

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

Το *Rhizobium* εισέρχεται στις ρίζες των ψυχανθών διαμέσου ριζικών τριχιδίων. Το κυτταρικό τοίχωμα των ριζικών τριχιδίων σχηματίζει μια κλωστή μόλυνσης που περιέχει πολλά κύτταρα *Rhizobium*. Αυτές οι κλωστές μόλυνσης αναπτύσσονται και εισέρχονται στα κύτταρα του φλοιώδους παρεγχύματος της ρίζας. Η κορυφή της κλωστής του μολύσματος θραύεται και απελευθερώνονται τα βακτήρια στο φλοιώδες παρέγχυμα, όπου σχηματίζουν μια βολβοειδή προεξοχή αποκαλούμενη **φυμάτιο**.

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

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

Έτσι για το τριφύλλι βρέθηκε ότι η πρωτεΐνη *trifoliin* ενώνεται με το *Rhizobium trifolii*, όχι όμως και με άλλα είδη *Rhizobium*. Η *trifoliin* πιθανώς ενεργεί ως σύνδεσμος μεταξύ βακτηρίων και φυτών. Τα συμβιωτικά βακτήρια περιλαμβάνουν βακτήρια (*Rhizobia*) που 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 myrsinacearum*, *Xanthomonas hortoricola*, *Mycobacterium rubiacearum*, *Klebsiella rubiacearum* και *Chromobacterium lindum*.

### 1.3.3 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.

### 1.3.4 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.

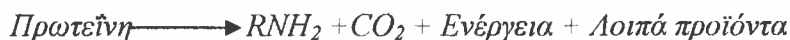
Αν  $C/N = 20-30$ , τότε το άζωτο ούτε ακινητοποιείται ούτε απελευθερώνεται.

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:



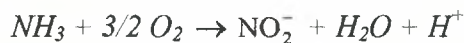
Στη συνέχεια η αμμωνιακή μορφή του αζώτου νιτροποιείται, δηλαδή μετατρέπεται σε  $\text{NO}_3$  και  $\text{NO}_2$ , που απορροφούνται από τα φυτά ή δεσμεύονται από τα ορυκτά της αργίλου.

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  $\text{NO}_3^-$ .

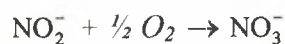
γ) *Νιτροποίηση*. Παρά το γεγονός ότι το αμμωνιακό ιόν ( $\text{NH}_4^+$ ) είναι η μορφή του αζώτου που προστίθεται στο έδαφος, ελάχιστη αμμωνιακή μορφή αζώτου βρίσκεται σ' αυτό. Η αμμωνιακή μορφή του αζώτου γρήγορα οξειδώνεται σε νιτρική μορφή.

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  $9-10^\circ\text{C}$  παρατηρείται πλήρης νιτροποίηση εντός 9 εβδομάδων. Η νιτροποίηση αναστέλλεται σε θερμοκρασία  $45^\circ\text{C}$ .
- ❖ **pH.** Νιτροποίηση παρατηρείται σε  $\text{pH}=5,5-10$ , με άριστο  $\text{pH}=8,5$ . Αναφέρθηκε όμως και νιτροποίηση σε  $\text{pH}=4,5$  ή και ακόμα και σε  $\text{pH}=3,8$ .
- ❖ **Ύπαρξη  $\text{NH}_4$  στο έδαφος και νιτροποιητικών βακτηρίων.**
- ❖ **Επαρκής εφοδιασμός του εδάφους σε Ca, P, Fe, Mn και Cu.**

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

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

Η νιτροποίηση αναστέλλεται σε θερμοκρασία 45°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.

### **1.3.5 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.

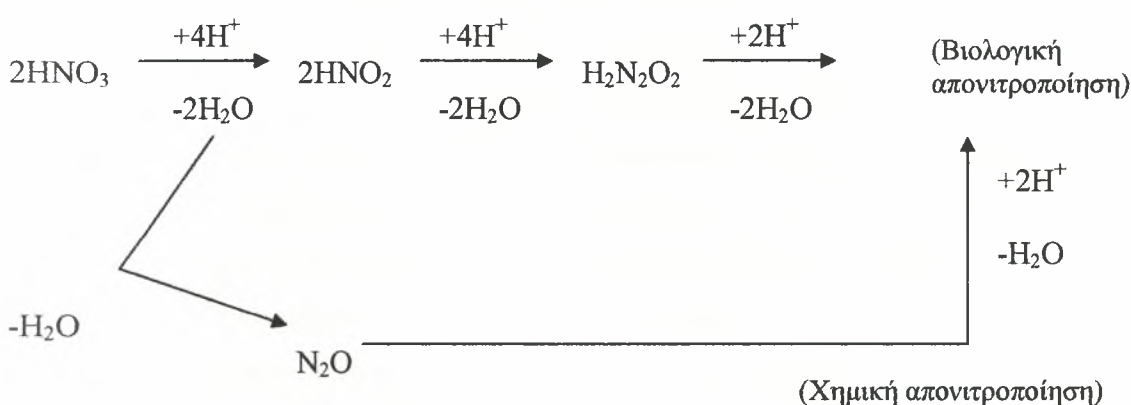
Στο έδαφος επίσης μπορεί να γίνει βιολογική δέσμευση του αμμωνίου από μικροοργανισμούς που ακινητοποιούν το χορηγούμενο άζωτο. Οι μικροοργανισμοί προτιμούν  $\text{NH}_4^+$  αντί  $\text{NO}_3^-$ , όταν υπάρχει δυνατότητα επιλογής.

### 1.3.6 Απώλειες αζώτου

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

- **Η απονιτροποίηση**, η βιοχημική αναγωγή των νιτρικών κάτω από αναερόβιες συνθήκες, συμβάλλει στην απώλεια  $N_2$  στην ατμόσφαιρα.

Η απονιτροποίηση παρίσταται με την παρακάτω εξίσωση:



Οι απώλειες αζώτου με απονιτροποίηση παρατηρούνται με την παρουσία μικροοργανισμών *Pseudomonas*, *Achromobacter* και *Micrococcus* σε  $pH=4,9-5,6$  (απώλεια ως  $N_2O$ ) ή  $pH=7,3-7,9$  ( $N_2$ ). Το άζωτο επίσης μπορεί να εξαερωθεί με τη μορφή αμμωνίας.

Σε αναγωγικές συνθήκες τα  $NO_3^-$  ιόντα υφίστανται απονιτροποίηση ήτοι βιολογική απονιτροποίηση σε υψηλό  $pH$  και χημική απονιτροποίηση σε χαμηλό  $pH$ . Οι απώλειες του αζώτου με απονιτροποίηση, είναι μεγαλύτερες με την παρουσία φυτών.

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

- **Απώλειες με τη μορφή αμμωνίας (NH<sub>3</sub>).** Παρατηρείται σε αλκαλικά εδάφη σύμφωνα με τη σχέση:



Επίσης απώλεια NH<sub>3</sub> παρατηρείται ανεξάρτητα από την τιμή του pH του εδάφους, μετά από επιφανειακή χορήγηση ουρίας.

- **Απώλειες με τη μορφή νιτρικού οξέος (HNO<sub>3</sub>).** Παρατηρείται σε εδάφη με υψηλή περιεκτικότητα αργιλίου και υδρογόνου (όξινα εδάφη).
- **Πυρκαγιές:** Οι πυρκαγιές επηρεάζουν τον κύκλο του αζώτου άμεσα, γιατί μεγάλες ποσότητες αζώτου χάνονται με την καύση της οργανικής ουσίας και έμμεσα εξαιτίας των φυσικοχημικών μεταβολών που υφίσταται το έδαφος από τις πυρκαγιές. Με την καύση της οργανικής ουσίας παράγονται μικρές ποσότητες NH<sub>3</sub> και μεγάλες ποσότητες αερίου N<sub>2</sub> ή οξειδίων του αζώτου, που επιστρέφουν στην ατμόσφαιρα. Σε παγκόσμια κλίμακα η απώλεια N από τις πυρκαγιές ανέρχεται σε 20-100 x 10<sup>6</sup> t ετησίως. Το N<sub>2</sub>O αντιπροσωπεύει 13 εκατομμύρια τόννους. Μετά από πυρκαγιές επηρεάζεται και η ταχύτητα νιτροποίησης.

### 1.3.7 Εκπλυση νιτρικών στα εδάφη

Τα νιτρικά ιόντα (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) εύκολα εκπλύνονται, διότι τα πλείστα εδάφη της εύκρατης ζώνης έχουν αρνητικό φορτίο στα κolloειδή τους και δε συγκρατούν τα NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ιόντα. Τα NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ιόντα μπορεί να μεταφερθούν στα κατώτερα στρώματα της εδαφικής κατατομής με το νερό στράγγισης. Σε τροπικά εδάφη τα NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ιόντα προσροφούνται από τη στερεά φάση του εδάφους η δε προσρόφηση εξαρτάται από το pH και από τη συγκέντρωση των NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ιόντων. Τα εδάφη αυτά περιέχουν άμορφα ανόργανα υλικά και κυρίως οξείδια Al και Si.

### 1.3.8 Αναστολείς Νιτροποίησης

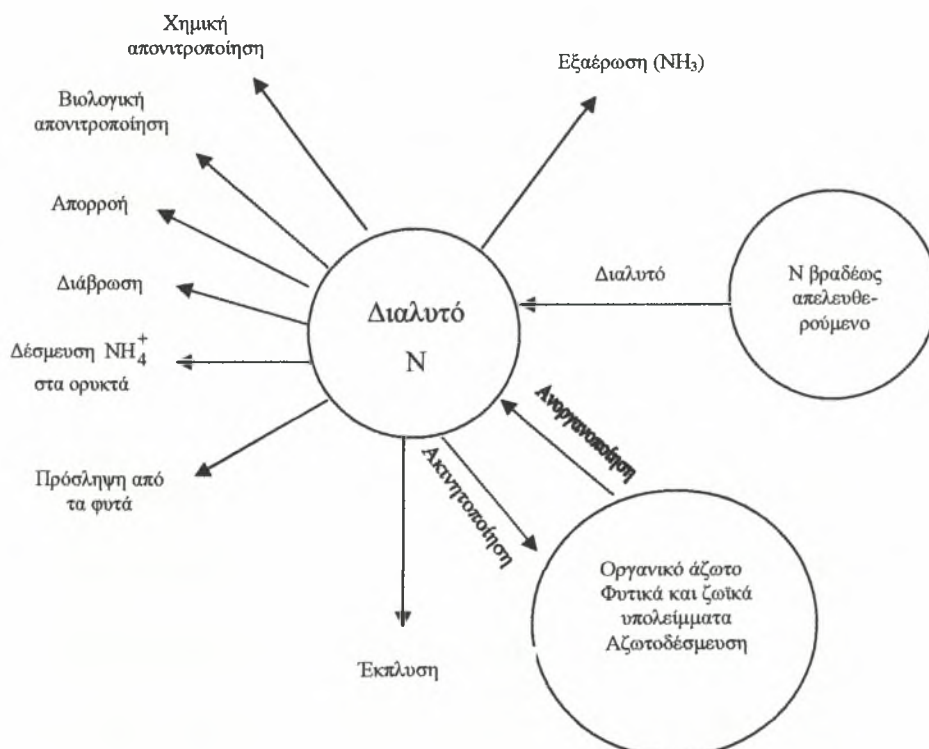
Σε πολλά εδάφη δε δεσμεύονται μεγάλες ποσότητες NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ιόντων. Εξάλλου τα NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ιόντα είναι διαλυτά στο νερό. Τα NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ιόντα γρήγορα απονιτροποιούνται κάτω από αναγωγικές συνθήκες. Έτσι σε βαριά εδάφη σημαντικές ποσότητες αερίου N<sub>2</sub> 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 1.5. Οι μετατροπές που υφίστανται στο έδαφος τα αζωτούχα λιπάσματα μετά την εφαρμογή τους, ιδιαίτερα μετά από κορεσμό του εδάφους.*

### 1.3.9 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  $90-140 \times 10^6$  t αζώτου το χρόνο, ενώ παράλληλα οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες προσθέτουν στο έδαφος και την ατμόσφαιρα  $140 \times 10^6$  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  $2,66 \times 10^6$  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 έκπλυσης  $20-30 \text{ kg N ha}^{-1}$  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. (Μήτσιοι και συνεργάτες, 1996).

*Πίνακας 1.14. Μέσο ετήσιο ισοζύγιο αζώτου καλλιέργειας καλαμποκιού 1989-1993 (Μήτσιοι και συνεργάτες 1996).*

<b>1.Εισροές</b>	<b>Kg N.στρ.<sup>-1</sup></b>					
<i>Επεμβάσεις αζώτου</i>	0	8	16	24	32	40
<i>Ανοργανοποίηση αζώτου</i>	27	27	27	27	27	27
<b>Σύνολο:</b>	<b>27</b>	<b>35</b>	<b>43</b>	<b>51</b>	<b>59</b>	<b>67</b>
<b>2.Εκροές</b>						
<i>Απομάκρυνση αζώτου από καρπό</i>	12,94	16,10	17,98	18,87	20,40	21,30
<i>Έκπλυση</i>	2,88	3,88	5,14	6,59	7,90	9,36
<i>Εξαέρωση</i>	1,26	1,70	2,25	2,89	3,47	4,12
<i>Απονιτροποίηση</i>	3,20	6,40	10,46	15,50	19,98	24,83
<b>3. Υπολειμματικό άζωτο</b>	<b>6,72</b>	<b>6,88</b>	<b>7,17</b>	<b>7,16</b>	<b>7,18</b>	<b>7,39</b>
<b>Σύνολο:</b>	<b>27,00</b>	<b>35,00</b>	<b>43,00</b>	<b>51,00</b>	<b>59,00</b>	<b>67,00</b>

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, έκπλυση αζώτου, εξαέρωση και απονιτροποίηση. Οι καρποί απομάκρυναν ποσότητες αζώτου που κυμαίνονται από 12,94kg Nστρ<sup>-1</sup> σε έδαφος που δε δέχτηκε άζωτο, μέχρι 21,30kg Nστρ<sup>-1</sup> όταν το καλαμπόκι λιπάνθηκε με 40kg Nστρ<sup>-1</sup>. Οι απώλειες N εξαιτίας της έκπλυσης ανέρχονται σε 2,88 kg Nστρ<sup>-1</sup> μέχρι 9,4 kg Nστρ<sup>-1</sup>. Οι δε απώλειες εξαιτίας της εξαέρωσης της αμμωνίας κυμαίνονται μεταξύ 1,26kg Nστρ<sup>-1</sup> μέχρι 4,12kg Nστρ<sup>-1</sup>. Η απονιτροποίηση κυμάνθηκε σε υψηλά επίπεδα, 3,20-24,8kg Nστρ<sup>-1</sup> και εξαρτάται από τις ποσότητες του αζώτου που προστέθηκαν για τη λίπανση του καλαμποκιού.

Οι ερευνητές Theocharopoulos et.al., (1993) υποστηρίζουν ότι στην Κωπαΐδα οι απώλειες NO<sub>3</sub> -N εξαιτίας της έκπλυσης σε καλλιέργεια καλαμποκιού κυμάνθηκαν από 2,44kg Nστρ<sup>-1</sup> μέχρι 5,29kg Nστρ<sup>-1</sup>. Οι απώλειες αυτές μεταβάλλονται ανάλογα με τη μηχανική σύσταση του εδάφους και την προστιθέμενη ποσότητα αζώτου με τη μορφή NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Σε εργασία ο Θεοχαρόπουλος και οι συνεργάτες (1995) υποστηρίζουν ότι στο Κωπαϊδικό πεδίο έκτασης 190.290στρ. οι ελάχιστες απώλειες NO<sub>3</sub> - N εξαιτίας της έκπλυσης κυμάνθηκαν σε όλο το Κωπαϊδικό πεδίο από 175.911 μέχρι 783.564kg ανά εξάμηνο ή 0,92 - 4,11kg NO<sub>3</sub> - Nστρ<sup>-1</sup>. Πειράματα με λυσίμετρα έδειξαν ότι με αζωτούχο λίπανση 0-12kg Nστρ<sup>-1</sup> στα σιτηρά, οι απώλειες αζώτου με έκπλυση έφθασαν μέχρι και 5kg Nστρ<sup>-1</sup>. Όταν όμως η δόση της αζωτούχου λίπανσης αυξήθηκε σε 18kg Nστρ<sup>-1</sup> οι απώλειες αυτές έφθασαν τα 7,5kg Nστρ<sup>-1</sup>. (M.E.L.U.F., 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  $\text{NH}_3$  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  $\text{NO}_3 - \text{N}$  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  $\text{NH}_3$  ανέρχονται σε  $62 \times 10^6$  t το χρόνο, εκ των οποίων, οι εκπομπές προερχόμενες από ανθρωπογενείς δράσεις ανέρχονται σε  $43 \times 10^6$  t. Υπολογίζεται ότι η απόθεση  $\text{NH}_3$  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  $\text{NH}_3$  στη Δ.Ευρώπη οφείλεται στα αζωτούχα λιπάσματα (συμπεριλαμβάνονται και τα σύνθετα λιπάσματα, τα οποία περιέχουν  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  και  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ) ενώ το 74% προέρχεται από την κτηνοτροφία. Στη ΒΔ Ευρώπη (Ολλανδία, Βέλγιο, Γερμανία) οι πυκνοί ζωικοί πληθυσμοί προκαλούν αυξημένη εκπομπή και απόθεση στα εδάφη  $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$  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  $\text{N}_2\text{O}$  με συμμετοχή σε ποσοστό 65% στο σύνολο των εκπομπών (Prather et.al., 1995). Η συγκέντρωση του  $\text{N}_2\text{O}$  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  $N_2O$  το χρόνο εκ των οποίων  $9,5 \times 10^4$  t  $N_2O$  το χρόνο οφείλονται σε φυσικές πηγές, και το υπόλοιπο  $4,5 \times 10^4$  t  $N_2O$  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  $N_2O$  συμβάλλει στο "φαινόμενο θερμοκηπίου" καθώς και στην καταστροφή του όζοντος της στρατόσφαιρας. Η ατμοσφαιρική συγκέντρωση του  $N_2O$  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  $N_2O$  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  $N_2O$  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  $N_2O$ . 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  $N_2O$ . 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<sub>2</sub>O, υπάρχει γραμμική σχέση η οποία εκφράζεται με την εξίσωση:

$$E = 1 + 0,0125 \times F$$

όπου E είναι ο ρυθμός της εκπομπής σε kg N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> και F είναι η δόση των αζωτούχων λιπασμάτων σε kg ha<sup>-1</sup> το χρόνο. Επομένως για κάθε 100kg προστιθέμενου αζώτου εκλύονται στην ατμόσφαιρα κατά μέσο όρο 1,25kg N με τη μορφή του N<sub>2</sub>O.

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<sub>2</sub>O που οφείλονται στα αζωτούχα λιπάσματα παρουσιάζουν εύρος 1,25±1% και ότι 0,25 και 2,25 kg N-N<sub>2</sub>O σε κάθε 100 kg προστιθέμενου αζώτου.

Τα ερευνητικά αποτελέσματα των ερευνητών Cole et.al., (1996) και Smith et.al., (1997) δείχνουν ότι το ποσοστό των εκπομπών του N<sub>2</sub>O 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).

### 1.3.10 Ποιότητα νερού, νιτρορύπανση υδατικών οικοσυστημάτων

Μεγάλες συγκεντρώσεις  $\text{NO}_3^-$  στο πόσιμο νερό και στα υδατικά συστήματα, αποτελούν ρύπο, στο πόσιμο δε νερό εγκυμονεί κινδύνους στον άνθρωπο και τη δημόσια υγεία. Ο παγκόσμιος οργανισμός υγείας (WHO) στα μέσα της 10ετίας 1980 συνέστησε την καθιέρωση ανωτάτου ορίου συγκέντρωσης νιτρικών τα  $50\text{mg NO}_3^- \text{ L}^{-1}$  πόσιμου νερού. Η εντατικοποίηση της γεωργικής και κτηνοτροφικής παραγωγής συνέβαλε σημαντικά στη νιτρορύπανση των υδάτων. Με την οδηγία 80/778/EOK η Ευρωπαϊκή Ένωση υποχρέωσε όλα τα κράτη μέλη της να ακολουθήσουν τα ποιοτικά κριτήρια του πόσιμου νερού και υιοθέτησε το όριο των νιτρικών  $50\text{mg NO}_3^- \text{ L}^{-1}$ . Η Ε.Ε. το Δεκέμβριο 1991 θέσπισε την **Οδηγία Νιτρικών** (*Nitrates Directive*) 91/696/EEC η οποία αναφέρεται στην προστασία των νερών "από διάχυτες πηγές γεωργικής προέλευσης" με ανώτατο όριο νιτρικών τα  $50\text{mg NO}_3^- \text{ L}^{-1}$ . Με την οδηγία αυτή αναγνωρίζεται η αναγκαιότητα χρησιμοποίησης αζωτούχων λιπασμάτων και ζωικής κόπρου στη γεωργία, επισημαίνει όμως τους οικολογικούς κινδύνους τους οποίους προκαλεί η υπερβολική χρήση των υλικών αυτών. Μεταξύ των άλλων η οδηγία επισημαίνει ότι τα Κράτη-Μέλη οφείλουν να καθιερώσουν έναν Κώδικα "μέτρων ορθής Γεωργικής Πρακτικής" και να προβούν σε οριοθέτηση των ευπρόσβλητων με νιτροποίηση περιοχών εντός των οποίων θα ληφθούν ειδικά μέτρα προστασίας. Η Ελλάδα με βάση την έκθεση που υπέβαλλε στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή το Νοέμβριο 1996 ανέφερε ότι έχει προσδιορίσει τις εξής τέσσερις (4) "δυνάμει" ευπρόσβλητες ζώνες (Δυτική και Ανατολική Θεσσαλία, λεκάνη του Πηνειού ποταμού στην Ηλεία, αργολικό πεδίο και πεδιάδα της Κοπαΐδας). Σε έκθεσή της το 1998 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή προς το Συμβούλιο και το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο αναφέρει ότι στις χώρες της Κεντροδυτικής Ευρώπης το πρόβλημα έχει λάβει πολύ μεγάλες διαστάσεις.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση με την "Agenda 2000" θέτει ως βασική προϋπόθεση αγροτικής ανάπτυξης η προτεραιότητα στην προστασία του περιβάλλοντος.

### 1.3.11.1 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.

### 1.3.11.2 Επιδράσεις στον τύπο της φυσικής χλωρίδας

Στη φύση υπάρχουν φυτά που είναι ευαίσθητα σε ακραίες συνθήκες θρέψεως και δεν αναπτύσσονται αν οι συνθήκες θρέψεως είναι μη ιδεώδεις. Οι υπερβολικές λιπάνσεις διαταράσσουν την ισορροπία μεταξύ των βοτανικών ειδών. Λαμβανομένου υπόψη τη γονιμότητα του εδάφους η αυτοφυής χλωρίδα περιλαμβάνει είδη, **ανταγωνιστικά**, **αδιάφορα** και **ανθεκτικά**. Σε μικτή φυτοκοινωνία τα ανταγωνιστικά είδη (competitors) αναπτύσσονται σε βάρος των υπολοίπων όταν βελτιωθεί η γονιμότητα του εδάφους ενώ στα άγονα εδάφη υπερτερούν τα ανθεκτικά είδη φυτών (stress tolerators). Όταν το αρχικό επίπεδο γονιμότητας του εδάφους είναι χαμηλό οι λιπάνσεις προκαλούν τις κατάλληλες συνθήκες για μεγαλύτερη επίδραση στη βιοποικιλότητα. Από οικολογικής άποψης οι μεταβολές στη βιοποικιλότητα είναι ανεπιθύμητες, διότι οι αλλαγές στη σύνθεση της φυσικής χλωρίδας μπορεί να επιφέρουν αλλαγές και στη σύνθεση της πανίδας. Όταν σε μια φυσική φυτοκοινωνία το άζωτο είναι ο περιοριστικός παράγοντας, οι συνέπειες αυτές αίρονται σχετικά γρήγορα αν διακοπεί η προσθήκη λιπασμάτων (Tinker, 1991).

### 1.3.11.3 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  $100 \text{ mgL}^{-1}$ , χωρίς να εκδηλωθεί έστω και ένα κρούσμα μεθαιμογλοβιναιμίας. (Owen και S.Jurgens-Gschwind, 1986). Αναφέρθηκε ότι η μεθαιμογλοβιναιμία στα βρέφη δεν προκαλείται από τα νιτρικά αλλά από τα νιτρώδη που παράγονται με αναγωγή των νιτρικών από βακτήρια. Η αναγωγή συμβαίνει όταν το πόσιμο νερό ή τα σκεύη διατροφής ή και οι τροφές των νεογνών δεν πληρούν βασικές προϋποθέσεις υγιεινής. (L' Hirdndel, 1994).

Πίνακας 1.15 Περιπτώσεις μεθαιμογλοβιναιμίας και οι σχετικές συγκεντρώσεις των νιτρικών ιόντων στο νερό (Addiscott et al. 2005).

Πηγή	Χώρα	Περιπτώσεις	Συγκέντρωση νιτρικών ιόντων mg.L <sup>-1</sup>
Comly (1945)	Η.Π.Α.	2	388, 619
Choquette (1980)	Η.Π.Α.	1	1200
Busch and Meyer (1982)	Η.Π.Α.	1	545
Johnson et al. (1987)	Η.Π.Α.	1	665
Ewing and Mayon – White (1951)	Ηνωμένο Βασίλειο	2	200, 95
Acheson (1985)	Ηνωμένο Βασίλειο	14	>100
Deak (1985)	Ουγγαρία	95 1258	40 -100 100
Hye-Knudsen (1985)	Δανία	1	200

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 Ν-νιτροζαμινών, από την αντίδραση εντός του στομάχου μεταξύ νιτρωδών αλάτων αφενός και αφετέρου δευτερογενών αμινών. (Dunkam, et.al., 1997, Vermeer, et.al., 1998). Για τους λόγους αυτούς επεβλήθησαν περιορισμοί στην περιεκτικότητα νιτρικών και νιτρωδών σε επεξεργασμένα είδη τροφίμων (Scientific Committee for food, European Commission, 1995). Πρόσφατες 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.).

**Πίνακας 1.16** Θνησιμότητα από καρκίνο του στομάχου και άλλα αίτια μεταξύ αρσενικών εργατών εργοστασίου παρασκευής νιτρικών λιπασμάτων, από 1 Ιανουαρίου 1946 έως 28 Φεβρουαρίου 1981. Ο αριθμός των παρατηρηθέντων θανάτων (Π) μεταξύ εκείνων που ήταν βαριά και λιγότερο εκτεθειμένοι στα νιτρικά ιόντα καθώς και ο αριθμός των αναμενόμενων θεωρητικά θανάτων σύμφωνα με τοπικά πληθυσμιακά στατιστικά στοιχεία (AI – Dabbagh et al., 1986).

Ασθένειες	Αριθμός θανάτων					
	Βαριά εκτεθειμένοι		Λιγότερο εκτεθειμένοι		Συνολικός αριθμός	
	Π	Θ	Π	Θ	Π	Θ
Καρκίνος του στομάχου	7	7,22	5	4,84	12	12,06
Διάφοροι καρκίνοι	59	51,36	32	35,47	91	86,83
Αναπνευστικά προβλήματα	21	30,97	15	20,07	36	51,04
Καρδιακές παθήσεις	56	67,64	36	45,98	92	113,72
Άλλα αίτια	193	219,78	111*	148,33	304	368,11

### 1.3.12 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 1.15 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 1.15 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> 600kg σπόροι 450kg καλαμιά+	-	50	9	24	6	4	5
<b>Πατάτες</b> 5 t κόνδυλοι	-	60	8	96	4	4	6
<b>Γρασίδια</b> 5 t χόρτο	-	100	12	72	16	5	5
<b>Ελαιοκράμβη</b> για σπόρους 300kg σπόροι	-	40	8	12	4,5	2,8	12

### 1.3.13. Έκπλυση των νιτρικών και απώλειες αζώτου

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

Τα νιτρικά ιόντα ( $\text{NO}_3^-$ ) 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.

### 1.3.13.2 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 (Theochaoropoulos et al., 1994) μετακίνηση νιτρικών προς την επιφάνεια μαζί με το εδαφικό νερό λόγω της τριχοειδούς ανύψωσης κατά τους θερινούς μήνες.

### 1.3.13.3 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  $6-12\text{kgN ha}^{-1}$ . Όταν όμως τα παρθένα λειμώνια εδάφη καλλιεργούνται με αροτραίες καλλιέργειες τότε παρατηρείται έντονη νιτροποίηση και μεγάλες απώλειες νιτρικού αζώτου.

Όταν γίνει η συγκομιδή των ετήσιων καλλιεργειών τότε εξαιτίας της διακοπής της πρόσληψης του αζώτου από τα φυτά ο ρυθμός έκπλυσης των νιτρικών αυξάνει. Σε αυτό συνεπικουρεί και η νιτροποιητική ικανότητα του εδάφους. Για τον περιορισμό της έκπλυσης των νιτρικών προτείνονται τα εξής μέτρα:

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

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

καλλιέργειας. Η ενδιάμεση καλλιέργεια μπορεί να περιορίσει την έκπλυση του αζώτου κατά 40-50%.

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

#### 1.3.13.4 Έκπλυση νιτρικών – Επίδραση του τύπου εδάφους

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

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

#### 1.3.14 Κανόνες ορθής Γεωργικής Πρακτικής

Για την αντιμετώπιση της νιτρορύπανσης των υδάτινων πόρων η Ευρωπαϊκή Ένωση υιοθέτησε την οδηγία 91/676 (ΕΟΚ) περί 'προστασίας των υδάτων από ρύπανση που προκαλείται από νιτρικά γεωργικής προέλευσης'. Η οδηγία αυτή προβλέπει την εφαρμογή ενός Κώδικα Ορθής Γεωργικής Πρακτικής (Code of Good Agricultural Practice). Ο Κώδικας αυτός περιλαμβάνει κανόνες στα εξής σημεία:

- Εποχές κατά τις οποίες πρέπει να αποφεύγεται η προσθήκη λιπασμάτων στους αγρούς.
- Προϋποθέσεις προσθήκης λιπασμάτων σε αγρούς κορεσμένους με ύδωρ, ή παγωμένους ή καλυμμένους με χιόνι.

- Προϋποθέσεις για την εφαρμογή λιπασμάτων σε αγρούς που γειτνιάζουν με υδάτινους αποδέκτες, όπως ποτάμια και λίμνες.
- Μεθοδολογία εφαρμογής στον αγρό, τόσο των ανόργανων λιπασμάτων όσο και της ζωικής κόπρου και να λαμβάνεται μέριμνα για τον κανονικό ρυθμό και ομοιομορφία διασποράς, με σκοπό τον περιορισμό της έκλυσης νιτρικών σε αποδεκτά επίπεδα.
- Τα ζωικά απόβλητα να τοποθετούνται σε στεγανές δεξαμενές, ώστε να αποφεύγεται η διαρροή τους στον υπεδάφιο υδροφόρο ορίζοντα.

**Επίσης συμπληρωματικά να λαμβάνονται υπόψη και κανόνες επί των εξής θεμάτων:**

Συστήματα ορθής καλλιεργητικής διαχείρισης, σχετικά με τον τύπο αμειψισποράς και την κατανομή των ποσοστών μονίμων φυτειών και ετήσιων καλλιεργειών.

Πρόβλεψη για ενδιάμεσες καλλιέργειες (intercropping), ώστε στη διάρκεια της βροχερής περιόδου το έδαφος να μην παραμένει γυμνό, αλλά να διατηρείται μια φυτοκάλυψη για να απορροφάται το διαθέσιμο νιτρικό άζωτο.

### **Σχέδια λιπαντικής διαχείρισης χωριστά για κάθε γεωργική εκμετάλλευση**

Στις αρδευόμενες καλλιέργειες να λαμβάνονται μέτρα για την πρόληψη της επιφανειακής διαρροής και για την αποφυγή καθοδικής μετακίνησης του αρδευτικού μετώπου κάτωθεν του ριζοστρώματος.

Οι παραπάνω γενικοί κανόνες εξειδικεύονται σε κάθε κράτος-μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ώστε να λαμβάνονται υπόψη οι τοπικές συνθήκες κλίματος, εδαφών, καλλιεργειών και χρησιμοποιούμενων τύπων λιπασμάτων, ανόργανων και οργανικών.

### **1.3.15 Προσδιορισμός των νιτρικών και νιτρωδών ιόντων του εδάφους**

Οι κυριότερες μέθοδοι προσδιορισμού των νιτρικών και των νιτρωδών ιόντων σε δείγματα εδάφους είναι η χρήση αναγωγικής στήλης καδμίου, η χρήση ιοντικής χρωματογραφίας και η χρήση ηλεκτροδίου νιτρικών.

### 1.3.15.1 Προσδιορισμός των νιτρικών και νιτρωδών ιόντων του εδάφους με τη μέθοδο καδμίου.

#### Αρχή της μεθόδου

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, τα νιτρικά ιόντα ( $\text{NO}_3^-$ ) του εδαφικού δείγματος ανάγονται σε  $\text{NO}_2^-$  μετά τη διέλευσή τους από στήλη επιχαλωμένου καδμίου παρουσία  $\text{NH}_4\text{Cl}$  και pH μεταξύ 5 και 10. Στη συνέχεια τα  $\text{NO}_3^-$  προσδιορίζονται χρωματομετρικά, μετρώντας την ένταση του αζω-χρωμοφόρου (azo-chromophore), η οποία είναι ανάλογος της ποσότητας των  $\text{NO}_3^-$  στο έδαφος και η οποία προέκυψε από την προσθήκη σουλφαναμίνης και N-1-ναφθύλαιθυλενοδιαμίνης (N-(1-naphthyl) ethylenediamine) στα  $\text{NO}_2^-$ .

### 1.3.15.2 Προσδιορισμός των νιτρικών και νιτρωδών ιόντων με ιοντική χρωματογραφία.

#### Χρωματογραφικοί μέθοδοι διαχωρισμού.

Ο όρος χρωματογραφία αναφέρθηκε αρχικά για το διαχωρισμό των τριών χρωμάτων της χλωροφύλλης. Είναι ένας γενικός ορισμός για ένα ευρύ φάσμα φυσικοχημικών διαχωρισμών. Ο διαχωρισμός των συστατικών ενός μίγματος με χρωματογραφικές μεθόδους είναι αποτέλεσμα της σχετικής κίνησης δύο φάσεων, μιας στατικής και μιας κινούμενης σε σχέση με τη στατική. Τα συστατικά που πρόκειται να διαχωριστούν κινούνται κατά μήκος της στατικής φάσης με τη βοήθεια της κινούμενης με διαφορετικές ταχύτητες. Την ταχύτητα με την οποία κινείται κάθε συστατικό την καθορίζει ο συντελεστής κατανομής  $K$  ο οποίος δίνεται από τη σχέση  $K = C_s / C_m$  όπου  $C_s$ ,  $C_m$  η συγκέντρωση του συστατικού στη στατική και κινούμενη φάση αντίστοιχα.

Η κατανομή των συστατικών στις δύο φάσεις οφείλεται σε φυσικοχημικές ιδιότητες όπως η διαλυτότητα, η πτητικότητα, η προσρόφηση, η ιοντοανταλλαγή, το μέγεθος και το σχήμα των μορίων, οπότε προκύπτουν ανάλογα και τα διάφορα είδη χρωματογραφίας όπως:

- Χρωματογραφία κατανομής
- Χρωματογραφία προσρόφησης
- Χρωματογραφία ιοντοανταλλαγής
- Χρωματογραφία μοριακών ηθμών.

Η στατική φάση μπορεί να είναι στερεή ή υγρή και να έχει μορφή στήλης, φύλλου διηθητικού ηθμού ή πλάκας επιστρωμένης με κατάλληλο υλικό. Η κινούμενη φάση μπορεί να είναι υγρή ή αέρια οπότε προκύπτει η υγρή ή η αέρια χρωματογραφία αντίστοιχα.

Οι συνδυασμοί ιδιοτήτων και φάσεων οδηγούν στις διάφορες χρωματογραφικές μεθόδους διαχωρισμού όπως φαίνεται παρακάτω.

### Χρωματογραφία

- Προσρόφησης, στερεή στατική φάση
- Κατανομής, υγρή στατική φάση
- Ιοντοανταλλαγής
- Μοριακών ηθμών

### Χρωματογραφία προσρόφησης

Στη χρωματογραφία προσρόφησης η κινούμενη φάση μπορεί να είναι αέρια ή υγρή. Όταν η κινούμενη φάση είναι αέρια τότε ονομάζεται χρωματογραφία αερίου–στερεού. Στην υγρή κινούμενη φάση υπάρχουν δύο τύποι, χρωματογραφία στήλης (HPLC-High Pressure Liquid Chromatography) και χρωματογραφία λεπτής στοιβάδας (TLC- Thin Layer Chromatography).

### Χρωματογραφία κατανομής

Σ' αυτόν τον τύπο η κινούμενη φάση μπορεί να είναι αέρια ή υγρή. Στην πρώτη περίπτωση ονομάζεται χρωματογραφία αερίου – υγρού και στη δεύτερη χρωματογραφία στήλης, χάρτου.

## Χρωματογραφία ιοντοανταλλαγής

Δύο τύποι υπάρχουν σ' αυτήν την κατηγορία η χρωματογραφία ιοντοανταλλαγής σε στήλη και η χρωματογραφία ιοντοανταλλαγής σε λεπτή στοιβάδα.

### **Ανάπτυξη χρωματογραφήματος με τη χρωματογραφία ιοντοανταλλαγής.**

Η ιοντική χρωματογραφία χρησιμοποιήθηκε το 1975 και σε μικρό διάστημα εξελίχθηκε σε μια ανεξάρτητη αναλυτική τεχνική που σήμερα περιλαμβάνει όλες τις HPLC μεθόδους για τον προσδιορισμό ανόργανων και οργανικών ιόντων.

Ο διαχωρισμός των συστατικών του μίγματος που τοποθετείται στη μια άκρη της στατικής φάσης επιτυγχάνεται όπως προαναφέρθηκε με την επίδραση της κινούμενης φάσης και η όλη διεργασία αποτελεί την ανάπτυξη του χρωματογραφήματος. Καθένα από τα συστατικά που διαχωρίζεται είναι διασκορπισμένο μεταξύ στάσιμης και κινητής φάσης. Η ταξινόμηση των διαφόρων τύπων της χρωματογραφίας εξαρτάται από την κατάσταση του συνόλου των δύο παραπάνω φάσεων.

Η χρωματογραφία ιοντοανταλλαγής βασίζεται στο γεγονός ότι η εκλεκτικότητα ενός ιοντοανταλλάκτη δεν είναι ίδια για όλα τα ιόντα με αποτέλεσμα αυτά να κινούνται μέσα στην ιοντοανταλλακτική στήλη με διαφορετική ταχύτητα, ανάλογα με τους συντελεστές εκλεκτικότητας. Οι συντελεστές εκλεκτικότητας εκφράζουν την εκλεκτικότητα ενός ιοντοαντάλακτη για ένα κατιόν σε σχέση με τα υδρογονοκατιόντα ή για ένα ανιόν σε σχέση με τα υδροξυλιόντα. Η εκλεκτικότητα για τα διάφορα ιόντα εκφράζεται και από το μοριακό συντελεστή κατανομής που ορίζεται από τη σχέση :  $K_d = M_r / M$  όπου  $M_r$  και  $M$  η ποσότητα του ιόντος για κάθε γραμμάριο ρητίνης και για κάθε mL διαλύματος αντίστοιχα.

Ο διαχωρισμός των ιόντων επιτυγχάνεται ως εξής: Στην κορυφή της στήλης τοποθετείται το μίγμα των ιόντων και στη συνέχεια γίνεται η ανάπτυξη του χρωματογραφήματος με διαβίβαση του υγρού ανάπτυξης, της υγρής φάσης. Όταν η ανάπτυξη γίνεται με έκλυση το εκκλουστικό διάλυμα μετακινεί τα ιόντα προς τα κάτω, καθώς διέρχεται από τη στήλη δηλαδή από τη στερεά φάση. Η ταχύτητα έκλυσης είναι αντιστρόφως ανάλογη με το συντελεστή κατανομής του κάθε ιόντος. Όταν η ανάπτυξη γίνεται με αντικατάσταση τότε στο διάλυμα ανάπτυξης περιέχεται ένα τουλάχιστον ιόν με συντελεστή κατανομής μεγαλύτερο από τους συντελεστές

κατανομής των ιόντων που διαχωρίζονται. Έτσι τα ιόντα καθώς εκτοπίζονται από τον ιοντοανταλλάκτη μετακινούνται προς τα κάτω με ταχύτητα αντιστρόφως ανάλογη με το συντελεστή κατανομής τους.

Πολλοί φυσικοί άργιλοι μπορούν να δράσουν σαν ιοντοανταλλάκτες, επειδή είναι αδιάλυτα πολυμερή υλικά με χαλαρή δομή και με πολλά μεταλλικά ιόντα, που μπορούν να αντικατασταθούν από άλλα. Μεταξύ αυτών των αργιλικών υλικών και του νερού που διέρχεται μέσα από αυτά γίνεται μια συνεχής ανταλλαγή ιόντων. Η λεπτομερής πορεία της ανταλλαγής τροποποιείται και περιπλέκεται από το pH και από διάφορες άλλες φυσικές παραμέτρους. Αυτά τα υλικά έχουν ποικίλες και απρόβλεπτες ιδιότητες και μόνο με την εισαγωγή συνθετικών ιοντοανταλλακτών επιτεύχθηκε μια νέα τεχνική.

### 1.3.16 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.

### 1.3.17 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.

### 1.3.18 Δυναμικό ανοργανοποίησης του αζώτου του εδάφους

Με τη μέθοδο των Standford and Smith (1972), προσδιορίζονται τα ανόργανα παραγόμενα κλάσματα μετά από αερόβια επώαση του εδαφικού δείγματος στους 35°C, επί 12 εβδομάδες. Στη συνέχεια υπολογιστικά εκτιμάται η ανοργανοποίηση που αντιστοιχεί σε χρόνο επώασης 30 εβδομάδων. Οι ανωτέρω ερευνητές δέχονται ότι η ταχύτητα ανοργανοποίησης ακολουθεί αντίδραση πρώτης τάξεως της μορφής:

$$dN/dt = kN$$

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

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

Όπου,

$N_f$  = η αθροιστική ποσότητα ανοργανοποιημένου N,

$t$  = ο χρόνος

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

$k$  = σταθερά

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

### 1.3.19 Μειονεκτήματα των υφισταμένων μεθόδων για την εκτίμηση διαθεσιμότητας του εδαφικού αζώτου.

Τα τελευταία χρόνια έγιναν σημαντικές πρόοδοι στην εδαφοανάλυση ως εφαρμοσμένη μεθοδολογία εκτίμησης των αναγκών αζωτούχου λίπανσης των καλλιεργειών. Όμως οι μέθοδοι αυτές παρουσιάζουν μειονεκτήματα, συγκριτικά, περισσότερα από ότι η εδαφοανάλυση για το φώσφορο και το κάλιο.

Αναφέρθηκε ότι η διαθεσιμότητα του εδαφικού αζώτου αποτελεί συνισταμένη των δύο κλασμάτων, υπολειμματικού ανόργανου,  $N (N_{\min})$  και ανοργανοποιήσιμου  $N$ . Τα μειονεκτήματα των υφισταμένων μεθόδων είναι:

- Η δυσχέρεια λήψεως ενός αντιπροσωπευτικού δείγματος εδάφους, λόγω της μεγάλης χωροταξικής παραλλακτικότητας που συνήθως παρουσιάζει η κατανομή του  $NO_3-N$  στο στρώμα του εδάφους που καλλιεργείται.
- Δεν ικανοποιούνται εύκολα στην πράξη ιδίως όταν πρόκειται για πρώιμες εαρινές καλλιέργειες, οι χρονικές απαιτήσεις της δειγματοληψίας εδάφους (πλησιέστερα προς την ημερομηνία σποράς) και της άμεσης κατά το δυνατόν εκτέλεσης του αναλυτικού προσδιορισμού.
- Η εγκυρότητα εκτίμησης του ανοργανοποιήσιμου  $N$ . Οι περισσότερες μέθοδοι έχουν εμπειρικό χαρακτήρα και ισχύουν μόνο σε μικρό εύρος συνθηκών.

Οι εργαστηριακές συνθήκες επώασης του εδάφους δεν είναι ίδιες με τις φυσικές συνθήκες ανοργανοποίησης του αζώτου στον αγρό. Τούτο γιατί, τόσο ο ρυθμός ανοργανοποίησης, όσο και η συνολική ποσότητα του ανόργανου αζώτου που απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου δεν είναι μόνο συνάρτηση του ποσοστού και της φύσεως της οργανικής ουσίας αλλά και από τις κλιματικές συνθήκες κατά τη διάρκεια του έτους κυρίως της θερμοκρασίας και της υγρασίας. Η ακριβής εξέλιξη της θερμοκρασίας και της υγρασίας δεν είναι προβλέψιμη για να είναι δυνατή η ακριβής εργαστηριακή τους προσομοίωση.

Ο προσδιορισμός του ανοργανοποιήσιμου  $N$  *in situ* στον αγρό παρέχει ασφαλέστερη εκτίμηση των λιπαντικών αναγκών, αλλά οι τεχνικές προϋποθέσεις του προσδιορισμού αυτού περιορίζουν την εφαρμογή του μόνο σε πειραματικούς αγρούς. Μια πρακτική μεθοδολογία που αποδίδει θετικά αποτελέσματα και εφαρμόζεται σε μεγάλη κλίμακα σε ετήσιες καλλιέργειες όπως τα σιτηρά, βασίζεται στον συνδυασμό της ανάλυσης του εδάφους και της φυλλοδιαγνωστικής. Αρχικά με τον προσδιορισμό και ερμηνεία του  $N_{\min}$  γίνεται η εκτίμηση των αναγκών βασικής αζωτούχου λίπανσης προ της σποράς.

## 1.4 Δειγματοληψία και εργαστηριακές αναλύσεις

### 1.4.1 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 ή 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.

### 1.4.2 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)

### 1.4.3 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).

#### 1.4.3.1 Δειγματοληψία εδάφους στον αγρό

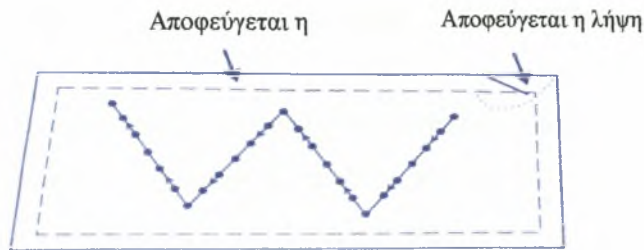
Βασικός σκοπός της δειγματοληψίας του εδάφους είναι η συγκέντρωση των απαραίτητων πληροφοριών για τη μελέτη της γονιμότητας του εδάφους και ειδικότερα για τη συγκέντρωση όλων εκείνων των επιστημονικών πληροφοριών που αφορούν τη μελέτη των προβλημάτων θρέψης των φυτών, της λίπανσης των καλλιεργειών, τη 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, Ni, Hg, κ.λ.π. (Rowell, 1995; Μήτσιος, 2004).

Έτσι τα δείγματα του εδάφους λαμβάνονται με ειδικούς δειγματολήπτες που διαφέρουν στο μέγεθος και στη σχεδιάσή 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 1.6).



*Εικόνα 1.6. Λήψη δειγμάτων εδάφους στον αγρό*

Οι Wagner, Theocharopoulos et al. (2001) μελέτησαν τα λάθη σε διάφορα στάδια δειγματοληψίας και μεταχείρισης του εδαφικού δείγματος ενώ οι Theocharopoulos 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 από 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 επεξεργασία. Στην ιδανική περίπτωση, τα δείγματα για τη χαρτογράφηση θα πρέπει να είναι ακανόνιστα κατανομημένα 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, κάθε 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, η 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.

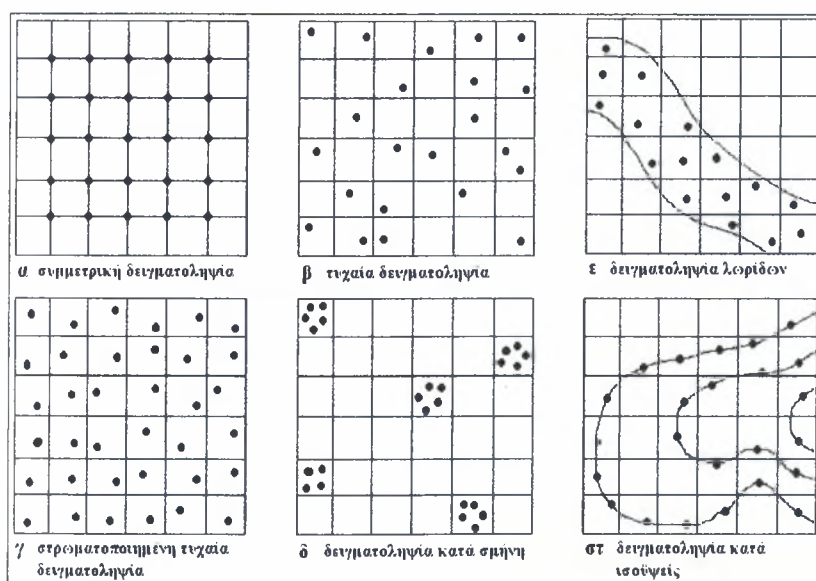
Δεύτερον, τέλεια τυχαιοποίηση μπορεί να οδηγήσει σε μη επιθυμητή κατανομή των σημείων, εκτός αν μετρηθούν πάρα πολλά σημεία, γεγονός απαγορευτικό λόγω κόστους.

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. Κυρία η μέθοδος και το σχήμα δειγματοληψίας καθορίζονται από το σκοπό της δειγματοληψίας (Theocharopoulos 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. (Theocharopoulos et al., 1996)



Εικόνα 1.7. 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,  $\text{CaCO}_3$ , pH κ.λ.π.).

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. Zn, Mn, 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 A.E.I. της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

#### 1.4.3.2 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 θα πρέπει να λαµβάνονται υπόψη και άλλοι εδαφικοί και 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:

- την ποσότητα του θρεπτικού στοιχείου που παραλαμβάνει η ίδια καλλιέργεια ανά μονάδα επιφανείας, η οποία εξαρτάται από το ύψος της παραγωγής και
- 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:

- Η επίτευξη μιας οριακής τιμής επάρκειας των θρεπτικών στοιχείων με απλή αναπλήρωση των θρεπτικών απωλειών, ή
- 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.

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

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας και της επιστήμης άνοιξε νέους δρόμους τόσο στην καταγραφή 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 τηλεπισκόπησης
- 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 Βαϊόπουλος Δ., Βασιλοπούλου Α., Ευελπίδου Ν. (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.

### **1.5.1 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.

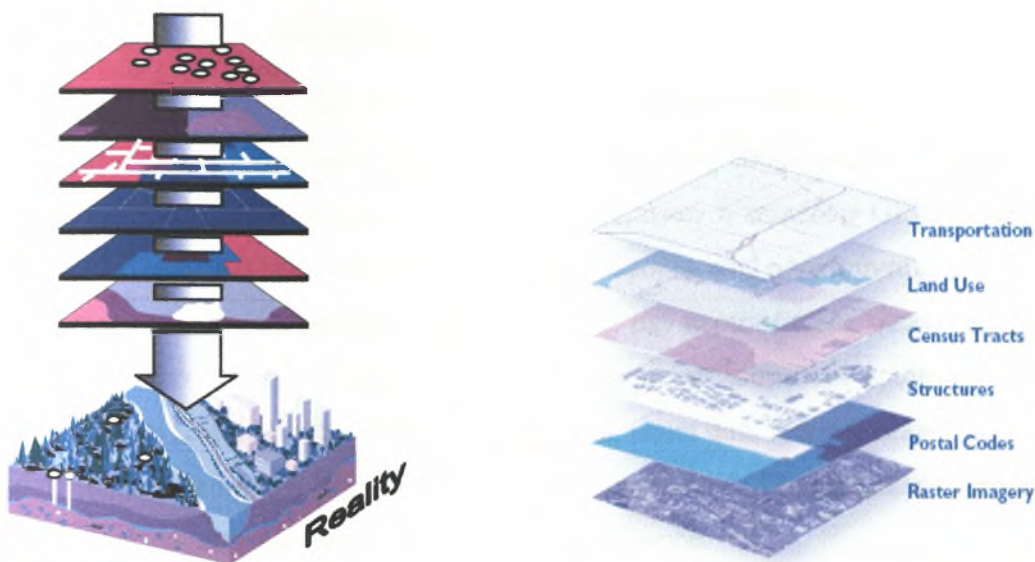
Η πληροφορία αυτή έχει τις εξής τρεις μορφές : 1) τη χωρική ή γεωγραφική, 2) την κωδικοποιημένη και 3) αυτή με τη μορφή εικόνας (image data). Η χωρική πληροφορία περιέχει τις περιοχές και τα σχήματα των χαρακτηριστικών των χαρτών. Η κωδικοποιημένη πληροφορία συλλέγεται και παρουσιάζεται για συγκεκριμένες 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).

Η παρακάτω εικόνα απεικονίζει μια τυπική γεωγραφική βάση δεδομένων.



Εικόνα 1.8. Απεικόνιση της δομής μιας γεωγραφικής βάσεως δεδομένων.

Η γεωγραφική βάση δεδομένων προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα όσον αφορά στα πρότυπα κάθε επιπέδου, καθώς :

1) Η γεωγραφική πληροφορία (vector, raster, address, measures, αρχεία CAD κ.λ.π.) αποθηκεύεται συνολικά σε ένα θεματικό επίπεδο. Προσωπικές βάσεις δεδομένων αποθηκεύονται σε περιβάλλον Microsoft ενώ οι βάσεις δεδομένων με πολλούς χρήστες αποθηκεύονται σε IBM DB2, Informix, Oracle ή Microsoft Access και SQL server.

2) Η γεωγραφική βάση δεδομένων απευθύνεται σε πολλούς χρήστες και δίδεται η δυνατότητα μιας δυναμικής βάσεως δεδομένων. Πολλοί χρήστες μπορούν να διαβάσουν και να γράψουν σε κοινή βάση υπό τον περιορισμό όμως της άδειας διαχείρισης της βάσεως.

3) Η γεωγραφική βάση δεδομένων έχει δυνατότητες διαχείρισης των δεδομένων όπως γεωμετρικές εφαρμογές, πρόβλεψη φαινομένων, κ.α.

### 1.5.2 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.



### 1.5.3 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.

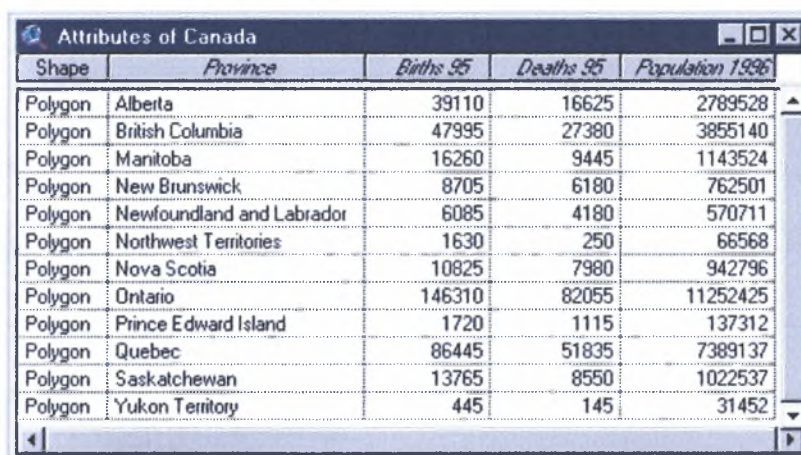
### Τι υπάρχει σε ένα σχεδιασμό βάσεως δεδομένων

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών έχουν τη δυνατότητα να οργανώσουν την πληροφορία σε θεματικά επίπεδα ορίζοντας τη γεωγραφική θέση. Σε αρχικό στάδιο, η βάση δεδομένων σ' ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών περιέχει θεματικά επίπεδα που χρησιμοποιούνται για να απαντήσουν σε μια συγκεκριμένη σειρά ερωτημάτων.

Αυτά περιλαμβάνουν τον τρόπο με τον οποίο τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά παρουσιάζονται, το πώς οργανώνεται η πληροφορία και ποιοι είναι οι κανόνες δημιουργίας βάσεων δεδομένων.

Σε πολύ αρχικό στάδιο ένας τυπικός σχεδιασμός γεωγραφικής βάσεως δεδομένων περιλαμβάνει τον καθορισμό των κλάσεων και πινάκων για τη δημιουργία κατηγοριών των δεδομένων. Κάθε κλάση διαχειρίζεται ως ένας απλός πίνακας. Στο σχήμα που ακολουθεί απεικονίζεται το εσωτερικό μιας βάσεως δεδομένων.

Οι πληροφορίες στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών περιλαμβάνουν όλους τους συνήθεις τύπους αποθήκευσης των δεδομένων (πίνακες, συσχετίσεις) καθώς και ειδικό μενού GIS.



Shape	Province	Births 95	Deaths 95	Population 1996
Polygon	Alberta	39110	16625	2789528
Polygon	British Columbia	47995	27380	3855140
Polygon	Manitoba	16260	9445	1143524
Polygon	New Brunswick	8705	6180	762501
Polygon	Newfoundland and Labrador	6085	4180	570711
Polygon	Northwest Territories	1630	250	66568
Polygon	Nova Scotia	10825	7980	942796
Polygon	Ontario	146310	82055	11252425
Polygon	Prince Edward Island	1720	1115	137312
Polygon	Quebec	86445	51835	7389137
Polygon	Saskatchewan	13765	8550	1022537
Polygon	Yukon Territory	445	145	31452

Εικόνα 1.9 Απεικόνιση των στοιχείων από τα οποία αποτελείται μια βάση δεδομένων.

Όλα τα πρότυπα του Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών ArcGIS για το σχεδιασμό βάσεων δεδομένων αποτελούνται από τα παρακάτω στοιχεία:

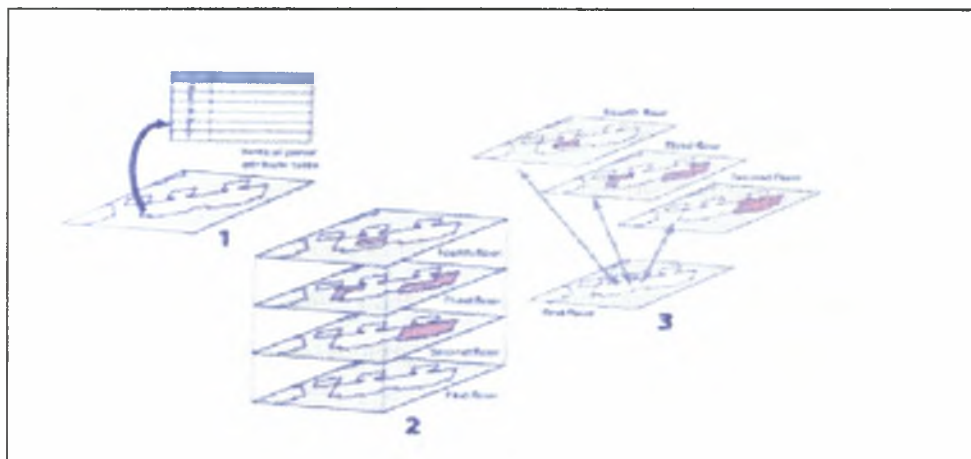
- Feature classes- συλλογές από σημεία, γραμμές και πολύγωνα που διαχειρίζονται ως feature tables.
- Raster data sets-ανεξάρτητες εικόνες που παρουσιάζονται με τη μορφή πινάκων.
- Tables-σύνολο πεδίων ή στηλών που χρησιμοποιούνται για να παραστήσουν μη γραφικά αντικείμενα.
- Relationships- ένας μηχανισμός που συλλέγει στοιχεία από έναν πίνακα και βρίσκει αντίστοιχα στοιχεία σε πίνακες αναφοράς.
- Domains-μια λίστα από τιμές για κάθε στήλη

- Subtypes-κατάταξη των χαρακτηριστικών των πινάκων σε κατηγορίες με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και κανόνες.
- Spatial relationships-καθορίζονται τοπολογικά. Ένας τοπολογικός σχεδιασμός αποτελεί τον τρόπο με τον οποίο μια βάση δεδομένων σχεδιάζεται γεωμετρικά σε συνάρτηση με άλλα χαρακτηριστικά.

### Παρουσίαση των αποτελεσμάτων

Τρεις δυνατοί συνδυασμοί παρουσίασης των δεδομένων μπορεί να χρησιμοποιηθούν όπως διαπιστώνεται στην εικόνα 1.10:

1. με τη μορφή πίνακα με ένα record για κάθε μονάδα (unit)
2. με τη μορφή πολυγώνων για κάθε επίπεδο
3. Χρησιμοποιώντας συσχετίσεις με τα πολύγωνα



Εικόνα 1.10 Τρεις διαφορετικοί τρόποι απεικόνισης των προτύπων σχεδιασμού βάσεων δεδομένων

Τα στοιχεία σε μια βάση δεδομένων μπορεί να :

- αποθηκεύονται και να τοποθετούνται σε ειδική βάση δεδομένων
- αποθηκεύονται με ομοιόμορφο, δομημένο και καθορισμένο τρόπο
- διαχωρίζονται και να αναθεωρούνται

Στα παροδοσιακά συστήματα βάσης δεδομένων τα δεδομένα :

- αποθηκεύονται από διαφορετικές υπηρεσίες
- σε διάφορα αρχεία κοινής πρόσβασης
- σε χάρτες με διαφορετικές κλίμακες και συστήματα συντεταγμένων γεγονός που καθιστά δύσκολη τη συνεργασία με αποτέλεσμα να

- διαχωρίζονται με δυσκολία

Ο σχεδιασμός μιας βάσεως δεδομένων είναι ένας δυναμικός σχεδιασμός καθώς μπορεί κανείς να προσθέσει νέα στοιχεία ή να απορρίψει ορισμένα. Υπάρχει η δυνατότητα να διαχωριστούν τα δεδομένα ή να δημιουργηθούν συνδυασμοί δεδομένων εφόσον έχουν κάποια κοινά χαρακτηριστικά.

#### **1.5.4 Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών απαντούν σε ερωτήματα**

Το πιο σημαντικό στοιχείο των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών είναι η δυνατότητα υποβολής ερωτημάτων στη γεωγραφική βάση δεδομένων και η λήψη απαντήσεων για την αιφροική διαχείριση του περιβάλλοντος. Αυτό σημαίνει ότι ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να υποβάλλει ερωτήματα και να λάβει απαντήσεις που αφορούν τα δεδομένα του. Τα αποτελέσματα των ερωτήσεων αποκτούν έντονα κίτρινα χρώματα και στη βάση δεδομένων και στο χάρτη.

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών μπορούν να αποθηκευτούν χωρικά και μη δεδομένα σε μια βάση δεδομένων και δίδεται η δυνατότητα να συνδεθούν δύο τύποι πληροφοριών έτσι ώστε να υπάρξει η δυνατότητα ερωτήσεων και απαντήσεων.

Το πεδίο εφαρμογής των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών είναι τόσο ευρύ που πολλές επιστήμες συμπεριλαμβάνονται, με πολλά δεδομένα και διάφορους χρήστες όπως :

Επιστήμες: Εδαφολογία, Γένεση, Ταξινόμηση και Χαρτογράφηση Εδαφών, Χαρτογραφία, Τοπογραφία, Τηλεπισκόπηση, Μετεωρολογία κ.α.

Χρήσεις: Λειτουργία και συντήρηση δικτύων. Διαχείριση φυσικών πόρων, κτηματολόγιο, χαρτογράφηση, κ.α.

Δεδομένα: Ψηφιακοί χάρτες, ψηφιακές φωτογραφίες, δορυφορικά δεδομένα.

Χρήστες: Εδαφολόγοι, Περιβαλλοντολόγοι, Μηχανικοί, Πολεοδόμοι, Γεωλόγοι, Τοπογράφοι, Χαρτογράφοι, Γεωπόνοι, Ιχθυολόγοι, κ.α.

Στις πρώτες εφαρμογές, τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών είχαν πολλές ομοιότητες με τα σχεδιαστικά προγράμματα (CAD ή Computer Aided Design). Έτσι μπορεί να αναφερθεί ότι τα πρώτα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών ήταν διαφοροποιήσεις συστημάτων CAD.

Στα τέλη όμως της δεκαετίας του 1980, τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών παρουσίαζαν διαφορετικό προφίλ. Αυτό πραγματοποιήθηκε γιατί δόθηκε η δυνατότητα ανάλυσης των δεδομένων και όχι απλής καταγραφής και παρουσίασης τους.

Με τη βοήθεια των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών μπορούν να αναλυθούν ολοκληρωμένες σειρές δεδομένων και να δημιουργηθεί μια νέα σειρά δεδομένων ενώ τα συστήματα CAD δεν έχουν τη δυνατότητα αυτή.

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών μπορούν να διαδραματίσουν πολύ σημαντικό ρόλο στην :

1. καταγραφή φυσικών συνθηκών
2. καταγραφή της καταλληλότητας των φυσικών πόρων για διάφορες χρήσεις
3. αποκάλυψη των σχέσεων αιτίου αποτελέσματος
4. πρόβλεψη φαινομένων

Η επιστήμη και τεχνολογία σήμερα επιτρέπει τη μετάδοση πληροφοριών μέσω δημοσίων και μη τηλεπικοινωνιακών δικτύων καθώς και ηλεκτρονικών χαρτών οι οποίοι μπορούν να συνδυαστούν με σήματα ραντάρ και παγκόσμια συστήματα (Global Positioning Systems, G.P.S. ) θέσεως για τον εντοπισμό της θέσεως των φαινομένων.

Έτσι τα μοντέρνα στρατιωτικά συστήματα είναι για παράδειγμα, όλα αυτοματοποιημένα. Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι τους. Τα οφέλη από τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών συνήθως εκφράζονται με την αύξηση της αποδοτικότητας, σε όρους που αναφέρονται στη μείωση του χρόνου, στην άμεση αύξηση εισοδήματος καθώς και στη μείωση του κόστους. Έτσι τα οφέλη αναφέρονται ως :

- ✓ Αυξημένη αποδοτικότητα εξαιτίας μαζικότερης παραγωγής με το ίδιο προσωπικό
- ✓ Μειωμένο κόστος δεδομένης της ύπαρξης καλύτερων βάσεων διαχείρισης δεδομένων, καλύτερες μεταφορές και συγκοινωνίες
- ✓ Αύξηση εισοδήματος λόγω καλύτερης και σαφέστερης καταγραφής προϊόντων, ακίνητης περιουσίας, φυσικών πόρων κ.α.
- ✓ Καλύτερη και εγκυρότερη λήψη αποφάσεων, σωστότερη ενημέρωση και πιο καλή παρουσίαση των σχεδίων των επιπτώσεων τους.

Τα ανωτέρω οφέλη παρουσιάζονται από του Theocharopoulos et al., 1995A, 1995B.

Η συστηματική δόμηση και οργάνωση των δεδομένων ορίζει τη μεγάλη αναγκαιότητα τους και καθορίζει και την επιτυχία εφαρμογής των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών.

Προκειμένου να αναπαρασταθούν τα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος χώρου από τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών είναι αναγκαίο να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό, πρότυπα απεικόνισης του πραγματικού κόσμου και ένα πρότυπο δεδομένων. Πρόκειται για διαδικασία γνωστή με τον όρο <<προσομοίωση φαινομένων>>.

Ένα πρότυπο της πραγματικότητας διευκολύνει τη μελέτη μιας συγκεκριμένης εφαρμογής καθώς μειώνει την πολυπλοκότητα. Το πρότυπο αυτό για να είναι χρήσιμο, πρέπει να δομείται σε μια βάση δεδομένων. Το τελευταίο πραγματοποιείται με το πρότυπο δεδομένων. Οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές μπορούν να επεξεργαστούν γεωμετρικά αντικείμενα, όπως σημεία, γραμμές και περιοχές όπως χρησιμοποιούνται στα πρότυπα δεδομένων.

Τα γεωμετρικά αντικείμενα χαρακτηρίζονται από διαφορετικό :

- τύπο
- χαρακτηριστικά
- σχέσεις
- γεωμετρία και
- ποιότητα

Τα αντικείμενα σε ένα πρότυπο δεδομένων των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών περιγράφονται σε βάση το είδος, τα γεωμετρικά στοιχεία, τα χαρακτηριστικά, τις σχέσεις και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά.

Η ταυτότητα κάθε αντικειμένου αναπαρίσταται με αριθμούς και είναι μοναδική. Έτσι δεν υπάρχουν δύο αντικείμενα με την ίδια ταυτότητα. Ένα αντικείμενο μπορεί να ταξινομηθεί με ένα μόνο κωδικό.

Τα πρότυπα δεδομένων μπορούν να σχεδιαστούν για να περιλαμβάνουν :

- φυσικά αντικείμενα όπως δρόμους, ιδιοκτησίες

- ταξινομημένα αντικείμενα όπως βλάστηση, κλιματικές ζώνες, ηλικιακές ομάδες
- γεγονότα όπως πλημμύρες, ατυχήματα
- συνεχώς μεταβαλλόμενα αντικείμενα όπως όρια θερμοκρασίας, στάθμη ύδατος, κ.α.
- τεχνητά αντικείμενα όπως ισούψείς καμπύλες, πυκνότητα πληθυσμού
- τεχνητά αντικείμενα για παρουσίαση βάσεων δεδομένων

Σε ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών τα χαρακτηριστικά της επιφανείας της Γης δεν παρουσιάζονται μόνο με τη μορφή εικόνων, όπως στους αναλογικούς χάρτες αλλά και με τη μορφή πληροφοριών και δεδομένων. Τα δεδομένα αυτά περιλαμβάνουν όλες τις χωρικές πληροφορίες των συνήθων χαρτών με μόνη τη διαφορά ότι όταν αποθηκεύονται σε κάποιο ηλεκτρονικό υπολογιστή υπάρχει η δυνατότητα παρουσίασή τους με ποικίλους τρόπους.

Τα χωρικά δεδομένα σ' ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών μπορούν να απεικονιστούν όπως ακριβώς στους κλασικούς χάρτες, δηλαδή με το οδικό δίκτυο, το στραγγιστικό δίκτυο, τους δείκτες βλάστησης καθώς και αλλά χαρακτηριστικά που παρουσιάζονται με γραμμές σε ένα χάρτη με υπόμνημα και τίτλο ή με τη μορφή πίνακα καθώς και με το σύνολο των στατιστικών πινάκων που μπορούν να μετασχηματιστούν σε διαγράμματα και γραφήματα.

Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό στοιχείο των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών είναι η αποθήκευση της χωρικής πληροφορίας σε μια βάση δεδομένων με μια συγκεκριμένη δομή που είναι γνωστή ως χωρική βάση δεδομένων.

### 1.5.5 Vector και Raster Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών

Δύο είναι οι κύριες μέθοδοι αποθήκευσης στους χάρτες. Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών που αποθηκεύουν χαρακτηριστικά χαρτών σε vector μορφή χρησιμοποιούν σημεία, πολύγωνα και γραμμές με μεγάλη ακρίβεια. Προτιμώνται σε αγροτικές μελέτες με διακριτά όρια επιφανειών.

Τα Raster Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, αποθηκεύουν χαρακτηριστικά από αναλογικούς χάρτες σε raster ή grid μορφή διαχωρίζοντας την επιφάνεια μελέτης σε σύνολο κυψελίδων. Η μορφή αυτή των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών

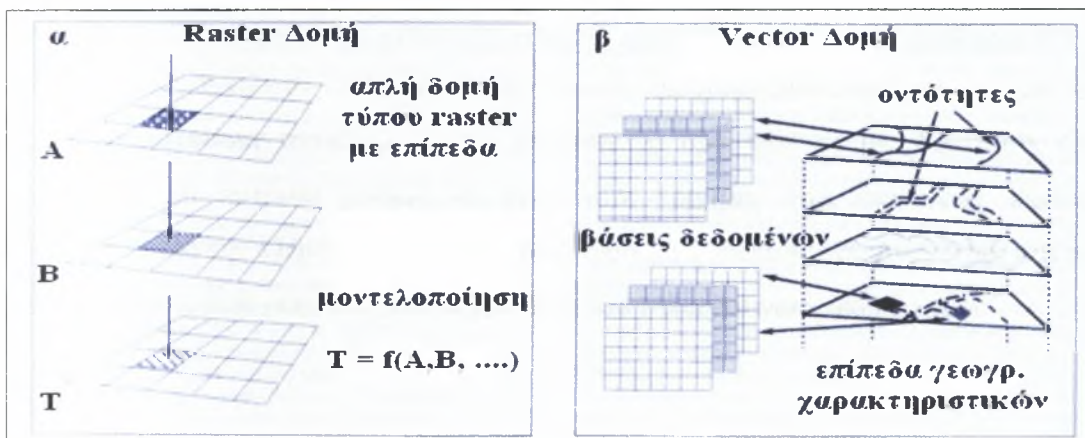
χρησιμοποιείται κυρίως σε περιπτώσεις ψηφιακής μοντελοποίησης, στατιστικής ανάλυσης, προσομοίωσης προτύπων και εφαρμογές διαχείρισης φυσικών πόρων. Τα σύγχρονα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών έχουν τη δυνατότητα μετατροπής από raster σε vector και αντίστροφα.

#### Δημιουργία θεματικών χαρτών

Οι χάρτες στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών απεικονίζονται θεματικά. Ένας τυπικός τοπογραφικός χάρτης μπορεί να απεικονίσει δρόμους, ποτάμια, υψόμετρα, δείκτες βλάστησης και άλλα χαρακτηριστικά σ' ένα απλό φύλλο χαρτί.

Σ' ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών τα χαρακτηριστικά αυτά τίθενται σε κατηγορίες ξεχωριστά και αποθηκεύονται σε διαφορετικά θεματικά επίπεδα.

Ο τρόπος αυτός οργάνωσης των δεδομένων δίδει τη δυνατότητα ευελιξίας στην παρουσίαση των δεδομένων καθώς τα επίπεδα μπορούν να συνδυαστούν με οποιονδήποτε τρόπο. Το σχήμα που ακολουθεί, απεικονίζει τον τρόπο με τον οποίο οι χάρτες αποθηκεύονται ως θέματα σε ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών.



Εικόνα 1.11. Απεικόνιση του τρόπου αποθήκευσης χαρτών ως θεματικά επίπεδα σε ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών. (Πηγή: Φλωράς Σ., 2004)

Κάθε θέμα αποθηκεύεται σε διαφορετικό επίπεδο. Τα επίπεδα στο αριστερό μέρος του σχήματος παρουσιάζουν ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών που απεικονίζεται με τη vector μορφή ενώ στο δεξί τμήμα του σχήματος το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών παρουσιάζει raster δεδομένα με τη μορφή κυψελίδων.

Το πιο σημαντικό στοιχείο που θα πρέπει να γνωρίζει ο χρήστης των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών αναφέρεται στην εισαγωγή της γραφικής πληροφορίας αντικειμένων. Η εισαγωγή αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί με :



- σημεία (αδιάστατα)
- γραμμές (μονοδιάστατα)
- επιφάνεια (δισδιάστατα)
- μέσω scanning (digitization)

### *Σημεία*

Πρόκειται για την απλούστερη γραφική απεικόνιση ενός αντικειμένου. Τα σημεία δεν έχουν διαστάσεις αλλά μπορούν να απεικονιστούν σε χάρτες χρησιμοποιώντας σύμβολα. Η γωνία μιας ιδιοκτησίας είναι ένα τυπικό σημείο, όπως οι συντεταγμένες ενός κτιρίου. Το αν ένα αντικείμενο φαίνεται σαν σημείο ή σαν μια περιοχή αυτό καθορίζεται από την κλίμακα.

Σε μια μεγάλη κλίμακα η αναπαράσταση ενός κτιρίου μπορεί να είναι μια επιφάνεια, ενώ σε μια μικρή κλίμακα μπορεί να είναι μόνο ένα σημείο.

### *Γραμμές*

Οι γραμμές συνδέουν τουλάχιστον δύο σημεία και χρησιμοποιούνται προκειμένου να αναπαραστήσουν αντικείμενα που μπορούν να ορισθούν σε μία διάσταση. Οι δρόμοι και τα ποτάμια μπορεί να είναι είτε γραμμές είτε επιφάνειες καθώς εξαρτώνται από την κλίμακα. Τα όρια ιδιοκτησιών είναι τυπικές γραμμές, όπως και οι γραμμές ηλεκτρικού ρεύματος και οι γραμμές του τηλεπικοινωνιακού δικτύου.

### *Επιφάνειες*

Οι επιφάνειες χρησιμοποιούνται για να ορίσουν αντικείμενα δύο διαστάσεων. Μία λίμνη, μία πόλη ή μία δασική έκταση, μπορεί να παρασταθεί με μια επιφάνεια (πολύγωνο). Το φυσικό μέγεθος όπως είναι το επόμενο καθορίζεται από την κλίμακα. Στις βάσεις δεδομένων, οι επιφάνειες αναπαριστώνται με πολύγωνα, δηλαδή με επιφανειακά σχήματα που περικλείονται από τουλάχιστον τρεις ευθείες γραμμές που τέμνονται σε ισάριθμα σημεία. Για το λόγο αυτό ο όρος πολύγωνο χρησιμοποιείται αντί της επιφάνειας.

Η πραγματικότητα συχνά περιγράφεται με διαίρεση σε απλά τετράγωνα ή παραλληλόγραμμα με αποτέλεσμα όλα τα σημεία να περιγράφονται σε όρους επιφανείας. Δίκτυο ή πλέγμα ονομάζεται αυτή η δομή των δεδομένων. Κάθε

τετράγωνο ή παραλληλόγραμμο είναι γνωστό φατνίο ή κυψελίδα και αναπαριστάνει μια ομοιόμορφη πυκνότητα ή τιμή.

### **1.5.6 Μετάβαση από τις βάσεις δεδομένων στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών στους χάρτες**

Όταν ένα πρότυπο δεδομένων ορισθεί ακολουθεί η απλή χρονοβόρα διαδικασία εισαγωγής των δεδομένων σε ένα ηλεκτρονικό υπολογιστή. Το πρόβλημα που ανακύπτει είναι η επιλογή κατάλληλης, ικανοποιητικής βάσεως δεδομένων (Theochaoroulos et al., 1992) με σκοπό:

- τη συλλογή και τον έλεγχο των δεδομένων
- τη δομή
- την αναθεώρηση και τη διαφοροποίηση
- τη διαχείριση την εισαγωγή/εξαγωγή
- την ανάκτηση και την παρουσίαση και
- τις αναλύσεις και τους πιθανούς συνδυασμούς δεδομένων

Ένα καλά οργανωμένο πρότυπο δεδομένων είναι απαραίτητο για να καθοριστεί η τελική επιτυχία των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών.

### **1.5.7 Ψηφιοποίηση και προεργασία δεδομένων**

Η χωρική πληροφορία παρουσιάζεται με δύο τρόπους :

1. ως διανυσματικά δεδομένα με τη μορφή σημείων, γραμμών και πολυγώνων ή
2. ως δεδομένα ψηφιδωτού με τη μορφή ομοιόμορφων, συστηματικά οργανωμένων φατνίων ή κυψελίδων

Ο λεγόμενος <<ψηφιακός χάρτης>> αποτελείται από νούμερα (ψηφία). Οι χάρτες είναι από τη φύση τους αναλογικοί, ανεξάρτητα αν σχεδιαστούν με το χέρι ή με τον υπολογιστή ή αν παρουσιάζονται σε χαρτί ή σε οθόνη. Με απλά λόγια τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών δεν παράγουν <<ψηφιακούς χάρτες>> αλλά αναλογικούς χάρτες από ψηφιακά δεδομένα.

*Συνδυασμός ψηφιακών χαρτών και πληροφοριών από καταγραφές*

Συνήθως χρησιμοποιούνται αναγνωριστικοί κωδικοί στα δεδομένα χαρτών και χαρακτηριστικών ώστε να μετακινούμαστε από τα δεδομένα χαρτών στα δεδομένα

χαρακτηριστικών και αντίστροφα. Δεδομένα χαρακτηριστικών που δεν αναφέρονται στο χώρο μπορούν να συνδεθούν με τη γεωγραφία. Πρόκειται για μια από τις ιδιαίτερες δυνατότητες των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών.

Δεδομένα που αρχικά δεν περιέχουν καμιά γεωγραφική πληροφορία μπορούν να αποκτήσουν γεωγραφικές διαστάσεις και να χρησιμοποιηθούν ώστε να παρουσιαστούν να δεδομένα με νέους τρόπους σε χάρτες.

Η επικάλυψη ανόμοιων δεδομένων, όπως γεωλογικά δεδομένα και δεδομένα βλάστησης πολλές φορές γίνεται δύσκολη εξαιτίας της έλλειψης συγγενείας μεταξύ των παρατηρήσεων στο πεδίο. Το γεγονός αυτό δείχνει ότι οι περιοχές παρατήρησης που βρίσκονται στους αντίστοιχους πίνακες χαρακτηριστικών, δεν είναι δυνατόν να μπουν μαζί καθώς αναφέρονται σε διαφορετικές περιοχές.

Με τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, το πρόβλημα αυτό μπορεί να λυθεί με τη χαρτογραφική ολοκλήρωση. Με την τεχνική αυτή, χρησιμοποιούνται μέθοδοι επικάλυψης για να συνδυαστούν οι γεωμετρίες των δύο ανόμοιων θεματικών περιοχών σε ένα θεματικό χάρτη.

Ο νέος συνθετικός χάρτης περιέχει πολλά νέα αντικείμενα και περιοχές που αναφέρονται στους δύο αρχικούς θεματικούς χάρτες. Τα νέα αυτά αντικείμενα ονομάζονται <<Μονάδες Ελάχιστης Χαρτογράφησης, ΜΕΧ>>. Η χαρτογραφική ολοκλήρωση είναι απλή όταν οι περιοχές των αρχικών χαρτογραφικών δεδομένων περιέχουν ομοιογενή δεδομένα, όπως δεδομένων ιδιοκτησιών, χρήσεως γης, βλάστησης, γεωλογίας, εδαφικών χαρτογραφικών μονάδων κ.α.

### *Ψηφιακά Πρότυπα Εδάφους*

Η ψηφιακή αναπαράσταση της επιφάνειας μιας γεωμορφής ή ενός ολοκληρωμένου τοπίου ονομάζεται <<Ψηφιακό Πρότυπο Εδάφους>> ή <<Πρότυπο Ψηφιακού Υψομέτρου>>. Οι επιφάνειες των γεωμορφών ή τοπίων είναι συνεχόμενες επιφάνειες με συνεχώς μεταβαλλόμενο ανάγλυφο και τοπογραφία. Ουσιαστικά τα πρότυπα εδάφους αποτελούνται από διάφορους συνδυασμούς σημείων με χ-ψ-ζ συντεταγμένες.

### 1.5.8 Δημιουργία συνεχούς επιφάνειας με Γεωστατιστικές μεθόδους

Οι Ντετερμινιστικές μέθοδοι χρησιμοποιούν την ήδη υπάρχουσα διάταξη των σημείων για να δημιουργήσουν μια συνεχή επιφάνεια (Inverse Distance Weighted) ή διαφορετικά προσαρμόζουν ένα μαθηματικό πρότυπο στα παρατηρούμενα σημεία (global-local polynomial and radial basis functions).

Όπως το δηλώνει και το όνομα τους, οι γεωστατιστικές τεχνικές χωρικής μεταβλητότητας, δημιουργούν συνεχείς επιφάνειες συνδυάζοντας τις στατιστικές ιδιότητες των παρατηρήσεων. Δεδομένου ότι οι γεωστατιστικές μέθοδοι βασίζονται στη στατιστική, δεν παράγουν μόνο επιφάνειες πρόβλεψης αλλά και συνεχείς επιφάνειες του λάθους πρόβλεψης (error prediction maps) ή αβεβαιότητας, δίδοντας έτσι ένα δείκτη επιτυχίας της μεθόδου πρόβλεψης.

Οι μέθοδοι που σχετίζονται με τη Γεωστατιστική ανάλυση είναι πολλές και όλες ανήκουν σε περιβάλλον Kriging. Οι μέθοδοι Kriging δημιουργούν συνεχείς επιφάνειες πρόβλεψης καθώς και επιφάνειες που δείχνουν το ποσοστό λάθους στην πρόβλεψη με χάρτες πιθανότητας.

Η μέθοδος Kriging αποτελείται από δύο κύρια μέρη:

- την απεικόνιση της χωρικής μεταβλητότητας των δεδομένων και
- την παραγωγή χαρτών πρόβλεψης των χαρακτηριστικών των δεδομένων.

Εξετάζοντας τη μορφή του βαριογράμματος ή γραφήματος της παραλλακτικότητας μπορούμε να προσαρμόσουμε ένα πρότυπο στη βάση δεδομένων. Προκειμένου να γίνει για μια άγνωστη τιμή σε μια συγκεκριμένη θέση, η μέθοδος Kriging χρησιμοποιεί το πρότυπο που προσαρμόζεται καλύτερα από το βαριογράμμα ή γράφημα της παραλλακτικότητας και τις τιμές των μετρηθέντων σημείων γύρω από την περιοχή πρόβλεψης. (Theocharopoulos at al., 1996)

### 1.5.9 Τεχνικές χωρικής μεταβλητότητας

Η Γεωστατιστική αναφέρεται σε στατιστικά στοιχεία της επιφάνειας της Γης, όπως είναι τα γεωγραφικά και γεωλογικά στοιχεία. Σήμερα η γεωστατιστική χρησιμοποιείται σε πολλά πεδία έρευνας και συνθέτει πολλά χωρικά στατιστικά στοιχεία.

Μέχρι πρόσφατα, σε όρους στατιστικούς, η γεωστατιστική ήταν συνώνυμη με τη μέθοδο Kriging (η μέθοδος ονομάστηκε έτσι από τον Dr.Krige, ο οποίος την

εφήρμοσε για πρώτη φορά για τον ποσοτικό προσδιορισμό των πολύτιμων λίθων) η οποία είναι συνώνυμη σχεδόν με το στατιστικό όρο της χωρικής μεταβλητότητας. Η έννοια έχει διευρυνθεί τόσο ώστε δεν περιλαμβάνει μόνο τη μέθοδο Kriging αλλά και πολλές άλλες τεχνικές χωρικής μεταβλητότητας.

Ένα από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της γεωστατιστικής είναι ότι το φαινόμενο που εξετάζεται λαμβάνει τιμές σε όλη της περιοχή μελέτης και όχι μόνο σε συγκεκριμένα σημεία, όπως για παράδειγμα η συγκέντρωση του αζώτου σ' έναν αγρό ή η συγκέντρωση όζοντος στην ατμόσφαιρα. Είναι πολύ σημαντικό να αναγνωριστούν οι τύποι της βάσεως δεδομένων που μπορούν να αναλυθούν χρησιμοποιώντας τη γεωστατιστική.

#### 1.5.10 Κατανόηση των προτύπων Kriging

Η μέθοδος Kriging στηρίζεται σε μαθηματικά και στατιστικά πρότυπα. Η προσθήκη ενός στατιστικού προτύπου που περιέχει πιθανότητα, διαχωρίζει τη μέθοδο Kriging από τις Ντετερμινιστικές μεθόδους. Με τη μεθοδολογία αυτή, υπάρχει συσχέτιση των προβλέψεων των πιθανοτήτων τους. Βασίζεται στην αίσθηση της αυτοσυσχέτισης (autocorellation). Η συσχέτιση θεωρείται κυρίως ως μια τάση των δύο μεταβλητών να συνδυαστούν.

Στη γεωστατιστική, η πληροφορία από τα χωρικά δεδομένα δίδει τη δυνατότητα να προσδιοριστούν οι αποστάσεις μεταξύ των παρατηρήσεων και να μοντελοποιηθεί η συσχέτιση ως μια λειτουργία της απόστασης.

Η Kriging και η co- Kriging είναι μέθοδοι πρόβλεψης δεδομένων και κύριος σκοπός τους είναι να παράγουν μια συνεχή επιφάνεια (χάρτης πρόβλεψης) με προβλεπόμενες τιμές. Είναι πολύ σημαντικό να δίδονται απαντήσεις σε ερωτήματα, όπως για παράδειγμα <<πόσο καλές είναι οι προβλέψεις>>.

Τρεις διαφορετικού είδους χάρτες είναι δυνατό να παραχθούν και δύο από αυτούς συνοδεύονται και από χάρτη του λάθους στην πρόβλεψη. Με το χάρτη του λάθους πρόβλεψης, δίδεται η δυνατότητα να γνωρίζει ο χρήστης με ακρίβεια τις περιοχές με τη μεγαλύτερη και μικρότερη πιθανότητα λάθους στην πρόβλεψη.

Η μέθοδος Kriging ως μέθοδος πρόβλεψης δεν απαιτεί τα δεδομένα να ακολουθούν κανονική κατανομή. Βασίζεται στην παραδοχή ότι τα τυχαία λάθη είναι δευτερεύουσας σημασίας, έχουν δηλαδή μηδενικό μέσο όρο και ότι η παραλλακτικότητα μεταξύ δύο οποιονδήποτε τυχαίων σημείων εξαρτάται μόνο από την απόσταση και από τη μεταξύ τους διεύθυνση και όχι από τις ακριβείς τους θέσεις.

Μετασχηματισμοί και τάση πρόβλεψης μπορεί να βοηθήσουν έτσι ώστε να γίνουν δεκτές οι παραδοχές της κανονικής κατατομής και της σταθερότητας. Η πρόβλεψη που χρησιμοποιεί η Κανονική (Ordinary), η Απλή (Simple) και η Universal Kriging για μετασχηματισμούς Box-Cox, ονομάζεται Transgaussian Kriging.

Οι μετασχηματισμοί που χρησιμοποιούν λογαριθμικές μεταβλητές (log-transformation) αποτελούν ειδική περίπτωση των Box-Cox μετασχηματισμών, αλλά έχουν ειδικές ιδιότητες πρόβλεψης και είναι γνωστοί ως Lognormal Kriging.

### Κατανόηση της Ordinary Kriging

Η Ordinary Kriging στηρίζεται στο ακόλουθο πρότυπο,

$$Z(s) = \mu + \varepsilon(s)$$

Όπου  $\mu$  είναι η άγνωστη μεταβλητή. Ένα σημείο ιδιαίτερης προσοχής αφορά στο εάν και σε πιο βαθμό η παραδοχή του σταθερού όρου είναι αιτιολογημένη. Μερικές φορές υπάρχουν τεκμηριωμένες επιστημονικές αντιρρήσεις για να απορριφθεί η παραδοχή. Ωστόσο πρόκειται για μια απλή μέθοδο πρόβλεψης που έχει αξιοσημείωτη προσαρμοστικότητα.

Η Ordinary Kriging μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις περιπτώσεις εκείνες στις οποίες τα δεδομένα φαίνεται να εμφανίζουν τάση πρόβλεψης. Είναι αρκετά δύσκολο να ληφθεί απόφαση βασιζόμενη μόνο στη βάση δεδομένων καθώς η παρατηρούμενη περιοχή μελέτης είναι αποτέλεσμα της συσχέτισης μεταξύ των δεδομένων του παραπάνω προτύπου.

Η Ordinary Kriging μπορεί να χρησιμοποιήσει διαγράμματα είτε παραλλακτικότητας, είτε ημιπαραλλακτικότητας, τα οποία αποτελούν τις μαθηματικές μορφές έκφρασης συσχέτισεως και ακόμη να εφαρμόσει μετασχηματισμούς και τάσεις που μπορεί να οδηγήσουν σε πρόβλεψη λαθών.

#### 1.5.11 Πρότυπο σημείων

Συχνά για να περιγραφούν τα εξωτερικά χαρακτηριστικά του εδάφους, όπως είναι το ανάγλυφο και η τοπογραφία χρησιμοποιείται ένα πλέγμα από υψόμετρα σε καθορισμένες αποστάσεις. Το υψόμετρο θεωρείται σταθερό για κάθε φατνίο ή κυψελίδα του πλέγματος με αποτέλεσμα τα μικρότερα φατνία να είναι πιο ακριβή από τα μεγαλύτερα. Το μέγεθος των φατνίων είναι συνήθως σταθερό σε ένα πρότυπο.

Έτσι οι περιοχές με μεγαλύτερη διαφοροποίηση του αναγλύφου και/ή της τοπογραφίας περιγράφονται με μικρότερη ακρίβεια από τις περιοχές με μικρότερη διαφοροποίηση του αναγλύφου και/ή της τοπογραφίας.

Οι γεωμορφές και/ή τα τοπία μπορούν να περιγραφούν με τυχαία επιλεγμένα σημεία (σμήνος σημείων). Θεωρητικά τα χαρακτηριστικά των γεωμορφών και/ή των τοπίων μεταξύ των σημείων είναι άγνωστα και έτσι είναι αναγκαίο η πυκνότητα των σημείων να είναι μεγαλύτερη σε περιοχές όπου το ανάγλυφο και η τοπογραφία μεταβάλλεται περισσότερο.

#### *Το πρότυπο μίας επιφάνειας (TIN)*

Το πρότυπο μίας επιφάνειας είναι ένα σύνολο τριγωνικών επιφανειών με τις κορυφές τους σε συγκεκριμένα σημεία ιδιαίτερης σημασίας με γνωστό υψόμετρο. Σε κάθε τρίγωνο η κλίση της επιφάνειας της γεωμορφής και/ή του τοπίου θεωρείται σταθερή. Η έκταση των τριγώνων μπορεί να διαφέρει και μικρότερα τρίγωνα να αντιστοιχούν σε περιοχές όπου το ανάγλυφο μεταβάλλεται γρήγορα. Το πρότυπο που προκύπτει ονομάζεται Τριγωνικό Ανόμοιο Πλέγμα (Triangular Irregular Network, TIN).

Είναι επιθυμητό να υπάρχουν όσο το δυνατό μικρά ισόπλευρα τρίγωνα. Το TIN πρότυπο είναι ικανό να αποθηκεύσει χαρακτηριστικά τριγώνων όπως η κλίση και η διεύθυνση καθώς και περιοχές της επιφάνειας της γεωμορφής και/ή του τοπίου με λιγότερες λεπτομέρειες περιγράφονται με λιγότερα δεδομένα από ότι όμοιες περιοχές με μεγαλύτερη διαφοροποίηση.

#### *Πρακτικές παρατηρήσεις*

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών που βασίζονται σε τοπολογικό πρότυπο μπορεί να χρησιμοποιήσουν TIN δεδομένα.

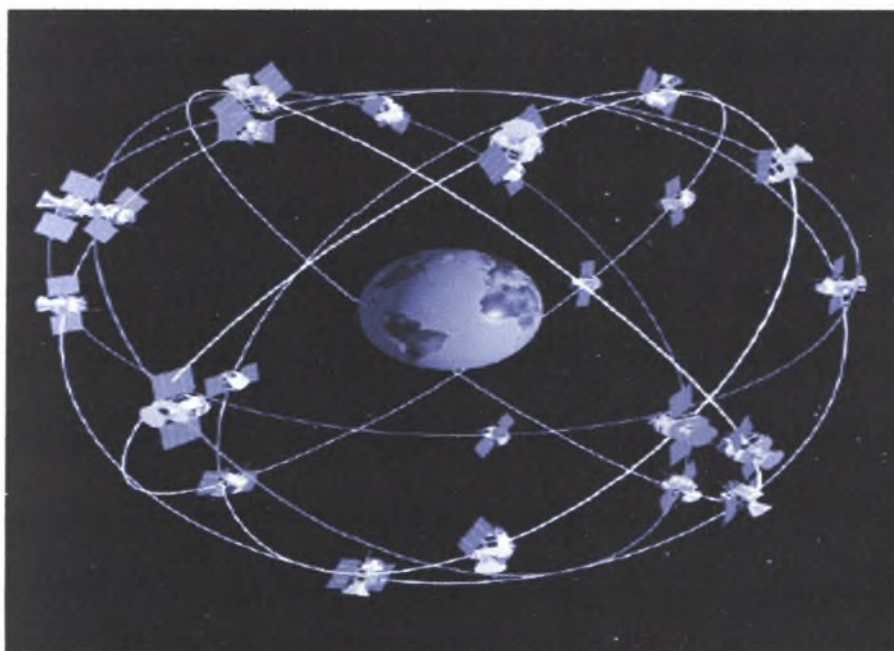
Τα δεδομένα των επιφανειών των γεωμορφών και/ή των τοπίων, συνήθως διαμορφώνονται από τοπογραφήσεις, από ψηφιοποίηση ισοϋψών καμπύλων σε χάρτες ή από φωτογραμμετρική ανάλυση και φωτοερμηνεία. Διάφορα προγράμματα εσωεκτίμησης υπολογίζουν τις νέες Z συντεταγμένες για νέες X-Y συντεταγμένες με αποτέλεσμα να διευκολύνουν ειδικούς υπολογισμούς όπως είναι οι εφαρμογές στις τηλεπικοινωνίες, στις εγκαταστάσεις παροχής ηλεκτρικής ενέργειας κ.α.

Ο τρόπος με τον οποίο παρουσιάζονται και αποθηκεύονται τα δεδομένα είναι ιδιαίτερα σημαντικός για το είδος και την απόδοση των υπολογισμών. Έτσι για παράδειγμα ψηφιακές ισούψεις καμπύλες δε χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό κλίσεων, ενώ από την άλλη μεριά υπολογισμοί για την επιφανειακή απορροή γίνονται πολύ γρήγορα χρησιμοποιώντας TIN πρότυπο.

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τις επιφάνειες των γεωμορφών και/ή των τοπιών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να περιγράψουν συνεχώς μεταβαλλόμενα φαινόμενα. Η πυκνότητα του πληθυσμού, οι θερμοκρασίες, η παραγωγή βιομάζας, και τα κατακρημνίσματα, μπορούν να περιγράψουν αν αντί του υψομέτρου στον άξονα Z οριστεί η αντίστοιχη παράμετρος

#### 1.5.12 Παγκόσμιο Σύστημα Καθορισμού Θέσης (Global Positioning system, GPS)

Παγκόσμιο Σύστημα Καθορισμού Θέσης (Global Positioning system, GPS) ονομάζεται ο σχηματισμός των 24 συνολικά δορυφόρων που αναπτύχθηκε από το Αμερικανικό Υπουργείο Αμύνης και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του γεωγραφικού στίγματος οποιουδήποτε σημείου πάνω στην επιφάνεια της γης. Οι δορυφόροι αυτοί βρίσκονται σε τροχιά σε ύψος είκοσι χιλιάδων χιλιομέτρων από την επιφάνεια της γης, σε συγκεκριμένα γνωστά σημεία (Εικόνα 1.12).



Εικόνα 1.12. Σχηματική απεικόνιση των 24 δορυφόρων που αποτελούν το παγκόσμιο σύστημα καθορισμού θέσης (GPS).



Κάθε δορυφόρος εκπέμπει ένα κωδικοποιημένο ηλεκτρομαγνητικό σήμα, το οποίο λαμβάνεται από τους δέκτες GPS και χρησιμοποιείται για τον ακριβή υπολογισμό της γεωγραφικής θέσης του δέκτη. Το σήμα που εκπέμπεται από τον κάθε δορυφόρο περιέχει πληροφορίες για την ταυτότητα του δορυφόρου και την ακριβή χρονική στιγμή που έγινε η εκπομπή.

Ο δέκτης GPS λαμβάνει τα ηλεκτρομαγνητικά σήματα των δορυφόρων και υπολογίζει την χρονική υστέρηση στο σήμα που δέχεται, την οποία και χρησιμοποιεί για να μετρήσει την απόσταση του από κάθε δορυφόρο. Όταν δέχεται σήματα από τρεις δορυφόρους τουλάχιστον, ο δέκτης χρησιμοποιεί γεωμετρική ανάλυση για να καθορίσει την γεωγραφική του θέση (στίγμα) στην επιφάνεια της γης, που εκφράζεται σε γεωγραφικό μήκος (Longitude) και γεωγραφικό πλάτος (Latitude). Όταν λαμβάνει σήματα και από τέταρτο δορυφόρο μπορεί να υπολογίσει και το υψόμετρο (altitude, elevation) της θέσης που βρίσκεται.

Το GPS αποτελεί το μέσο που βοηθά στον καθορισμό θέσης οπουδήποτε στην επιφάνεια της γης, αρκεί να υπάρχει οπτική επαφή με τους δορυφόρους. Το GPS βρίσκει εφαρμογή σε πολυάριθμους τομείς, όπως η διαχείριση εναέριας κυκλοφορίας, η πλοήγηση πλοίων κλπ., ενώ άριστες είναι οι προοπτικές εφαρμογής του και στην Γεωργία.

#### 1.5.12.1 Ακρίβεια του GPS

Η ακρίβεια του GPS εξαρτάται από του εξής παράγοντες (Pfof et al., 1999):

- Την εγκατάσταση του.
- Την τεχνολογία του
- Τον αριθμό των δορυφόρων από τους οποίους λαμβάνει σήματα, καθώς και από τις σχετικές θέσεις τους
- Την επιλεκτική διαθεσιμότητα (Selective Availability)
- Τις παραμορφώσεις των δορυφορικών σημάτων που οφείλονται στον καιρό, στις επιδράσεις των ανώτερων στρωμάτων της ατμόσφαιρας (τροπόσφαιρας, ιονόσφαιρας), καθώς και σε ανακλάσεις των δορυφορικών σημάτων σε αντικείμενα της περιοχής, και τέλος
- Την διαφορική διόρθωση (Differential Correction)

### 1.5.12.2 Διαφορική διόρθωση (Differential Correction)

Η Διαφορική Διόρθωση είναι ένας τρόπος εξάλειψης του σφάλματος που προκαλείται από τους διάφορους περιοριστικούς παράγοντες της ακρίβειας του δέκτη GPS. Για το σκοπό αυτόν χρησιμοποιείται ένας σταθερός επίγειος δέκτης και ταυτόχρονα πομπός GPS (διαφορικός σταθμός), με γνωστή θέση. Εφόσον η θέση των δορυφόρων είναι επίσης γνωστή, είναι γνωστή και η απόσταση μεταξύ των δορυφόρων και του διαφορικού σταθμού. Ο σταθμός αυτός μετράει συνεχώς την επίδραση των παραγόντων που προκαλούν παραμορφώσεις στο σήμα των δορυφόρων με τους οποίους έχει επαφή. Στην συνέχεια στέλνει σήμα στον κινητό δέκτη GPS, ο οποίος λαμβάνοντας σήματα από τον σταθερό δέκτη και από τους δορυφόρους ταυτόχρονα, διορθώνει την ένδειξη του. Το GPS που χρησιμοποιεί την μέθοδο αυτή ονομάζεται Differentially Corrected GPS ή DGPS και είναι ακριβέστερο του απλού.

### 1.5.12.3 Σχέση ακριβείας προς κόστος

Είναι σαφές ότι η ακρίβεια που παρέχει ένας δέκτης GPS εξαρτάται από την τεχνολογία του. Ένας οικονομικός δέκτης, χωρίς διαφορική διόρθωση, παρέχει ακρίβεια 3 έως 5 μέτρων και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την καταγραφή επισημάνσεων – παρατηρήσεων στον αγρό.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

### 2.1 Περιοχή δειγματοληψίας

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε στην περιοχή του Αλμυρού του νομού Μαγνησίας. Ο νομός Μαγνησίας βρίσκεται στο ΝΑ τμήμα της Θεσσαλίας, συνορεύει βόρεια και δυτικά με το νομό Λαρίσης, νότια με το νομό Φθιώτιδας, ανατολικά βρέχεται από το Αιγαίο Πέλαγος και νοτιοανατολικά από το Παγασητικό κόλπο. Αποτελείται από τρεις επαρχίες: Βόλου, Αλμυρού και Σκοπέλου. Η συνολική έκταση του νομού Μαγνησίας ανέρχεται σε 2.636.300 στρέμματα που κατανέμονται ως εξής:

Πίνακας 2.1 Κατανομή της συνολικής έκτασης του Ν. Μαγνησίας

Καλλιεργούμενες εκτάσεις	898.800 στρέμματα
Βοσκότοποι	1.093.700 »
Δάση	505.200 »
Εδάφη υπό κάλυψη υδάτων	24.100 »
Οικισμοί	109.300 »
Λοιπές χρήσεις	5.200 »

(Πηγή: Στατιστική Υπηρεσία της Ελλάδος, 1991)

Ο Αλμυρός, πρωτεύουσα της επαρχίας Αλμυρού, βρίσκεται στο μέσο μιας πεδιάδας, η οποία διασχίζεται από χείμαρρους.

#### 2.1.1 Γεωμορφολογία – Γεωλογία – Υδρομορφία

##### 2.1.1.1 Γεωμορφολογία

Ο Νομός Μαγνησίας διακρίνεται για το ορεινό-ημιορεινό του ανάγλυφο με εξαίρεση τη περιοχή της λεκάνης της λίμνης Κάρλας, η οποία ήταν μία ρηχή λίμνη αλλά αποξηράνθηκε το 1962, καθώς και την υπολεκάνη του Αλμυρού. Το ανατολικό τμήμα του Νομού καταλαμβάνεται από τους ορεινούς όγκους Μαυροβούνιο (1014 μ.), Πήλιο (1551 μ.) και το Τισαίο όρος (644 μ.).

Το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής είναι πυκνό και οι χείμαρροι καταλήγουν στη πλευρά του Παγασητικού Κόλπου. Το δυτικό τμήμα της περιοχής καταλαμβάνεται από τον ασβεστολιθικό όγκο του όρους Όθρυσ (1726 μ.) και το υδρογραφικό δίκτυο είναι επίσης πυκνό, με τελικό αποδέκτη τον όρμο του Αλμυρού.

Η ευρύτερη πεδινή περιοχή της υπολεκάνης του Αλμυρού, αρχίζει νότια από τη περιοχή της Σούρπης και τελειώνει προς βορρά με τη Νέα Αγχίαλο και τις Μικροθήβες.

Το ανατολικό όριο της λεκάνης είναι ο όρμος του Αλμυρού και ο Παγασητικός Κόλπος και το δυτικό οι παρυφές του όρους Όθρυς. Η περιοχή χαρακτηρίζεται από χαμηλά υψόμετρα και από πλήθος επιφανειακών υδατορρεμάτων, ορισμένα από τα οποία παρουσιάζουν βασική ροή σχεδόν ολόκληρο το χρόνο, όπως το ρέμα του Ξεριά. Η περιοχή είναι καλλιεργήσιμη και αποτελεί σχεδόν μια επίπεδη επιφάνεια με μικρή κλίση προς τα Ανατολικά.

Αρκετά ιδιαίτερο είναι το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής, το οποίο είναι πυκνό και καλά αναπτυγμένο παρουσία δύο κύριων χειμάρρων, του Ξεριά και του Χολορέμματος. Επίσης, υπάρχουν και άλλα μικρά υδατορέματα όπως το Κρανόρεμμα, τα οποία ρέουν επιφανειακά, κατέρχονται από τις απότομες πλαγιές του όρους Όθρυς και συμβάλουν στην αύξηση του συντελεστή επιφανειακής απορροής.

Στην παρουσία αυτού του έντονου υδρογραφικού δικτύου καθοριστικό ρόλο παίζει η υδρολιθολογική συμπεριφορά των γεωλογικών σχηματισμών της λεκάνης.

#### **2.1.1.2 Γεωλογία της περιοχής**

Με βάση τη γεωτεκτονική διαίρεση του ελληνικού χώρου, η ευρύτερη περιοχή ανήκει στην πελαγονική ζώνη μεταμορφωμένων σχηματισμών, η οποία εμφανίζεται στις περιοχές της Ανατολικής και Βόρειας Θεσσαλίας και της Δυτικής Μακεδονίας (Μουντράκης Δ., Γεωλογία της Ελλάδος, 1986).

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται βορειοανατολικά του όρους Όθρυς, ο όγκος του οποίου συνίσταται από ασβεστόλιθους διαφόρων ηλικιών και φάσεων, διάφορες σχιστοκερατολιθικές διαπλάσεις με οφιολίθους και σερπεντίνες, δολομίτες και φλύσχη. Τα ανωτέρω ιζηματογενή πετρώματα, που περιγράφονται και εκτενέστερα στο υπόμνημα του γεωλογικού χάρτη που ακολουθεί, αποτελούν και το μητρικό υλικό των αλλουβιακών αποθέσεων της λεκάνης.

Ειδικότερα οι σχηματισμοί που επικρατούν είναι: Αλλουβιακές αποθέσεις (τεταρτογενές αδιαίρετο) : Δύλλούβιο και Αλλούβιο, διάφορες προσχώσεις και κορήματα όρεων, άργιλοι, άμμοι, λατύπες, κροκάλες. Παράκτια κροκκαλοπαγή. Ηπειρωτικές αποθέσεις.

Το πάχος των αλλουβιακών σχηματισμών είναι πολύ μεγάλο και έχει επιβεβαιωθεί από γεωτρήσεις που έχουν γίνει στη πεδιάδα του Αλμυρού (Υπουργείο Γεωργίας,

Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων και προέγκρισης χωροθέτησης λιμνοδεξαμενής ποταμού Ξεριά Ν. Μαγνησίας, 2001).

### 2.1.1.3 Υδρομορφία – ποιότητα ύδατος

Οι υδρογεωλογικοί χαρακτήρες των πετρωμάτων εξαρτώνται από τη λιθολογική τους σύσταση και τη τεκτονική τους κατάσταση. Στην ευρύτερη περιοχή του Αλμυρού υδροπερατοί σχηματισμοί είναι το σύνολο των αλλουβιακών αποθέσεων του Τεταρτογενούς οι οποίοι αναπτύσσουν πρωτογενές πορώδες μέσα στη μάζα των αμμοχαλικωδών ενστρώσεων που περιέχουν. Με βάση τη περατότητα τους χαρακτηρίζονται ως υδροπερατοί σχηματισμοί.

Την περιοχή διασχίζουν τέσσερα μεγάλα ρεύματα με μεγάλες λεκάνες απορροής και σημαντικές πλημμυρικές απορροές. Τα ρέματα αυτά είναι: Σούρπης, Πλατανόρεμα, Ξεριάς Αλμυρού, Χολόρεμα.

Οι μεγάλες απορροές οφείλονται στο ότι τα ρέματα αυτά συγκεντρώνουν το μεγαλύτερο μέρος των βροχοπτώσεων της Ανατολικής πλευράς του όρους Όθρυς. Υπάρχουν βέβαια και μικρότερα ρέματα με μικρότερες λεκάνες και μικρές απορροές που οφείλονται στην ασβεστολιθική σύσταση του εδάφους.

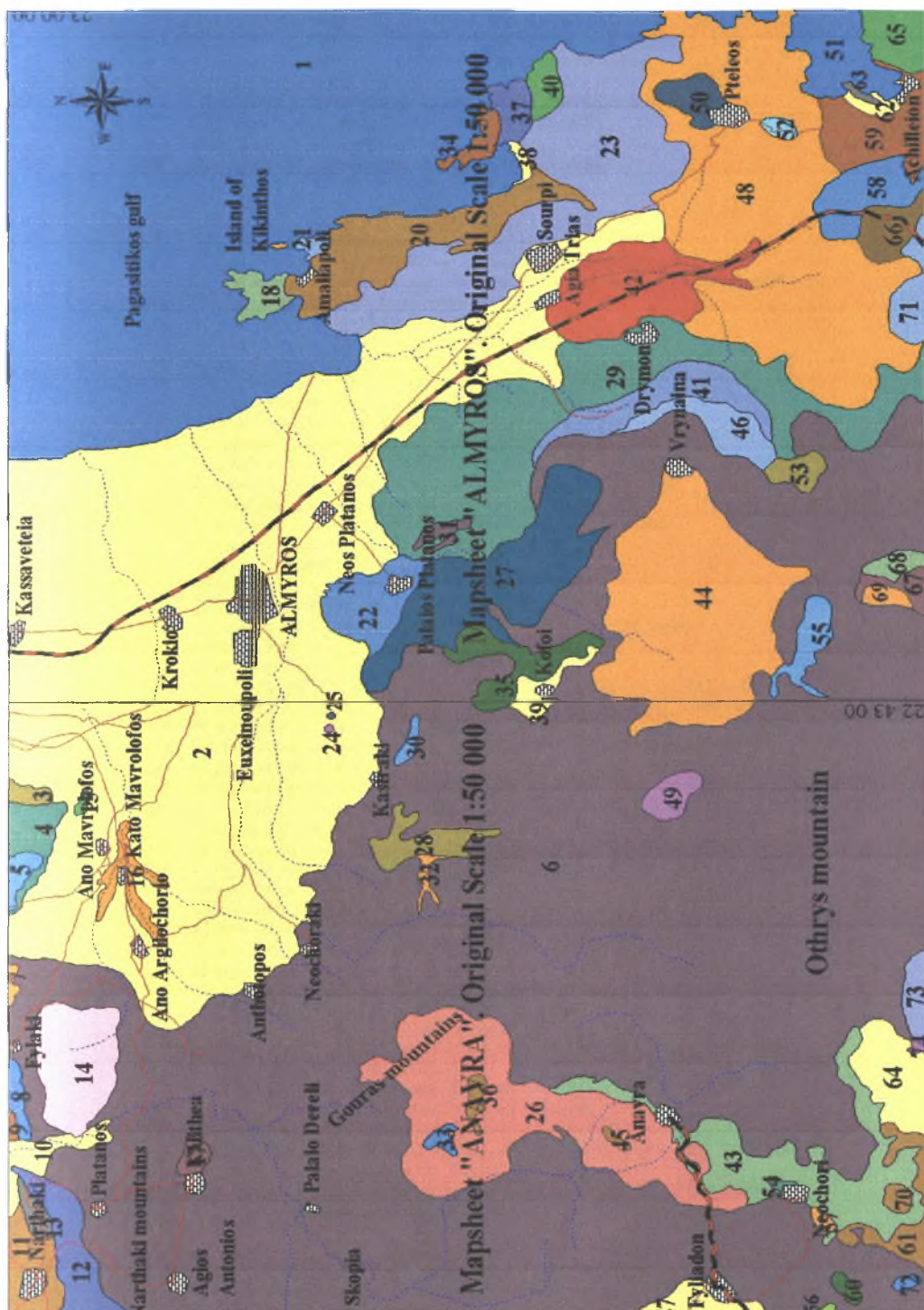
Οι αρδευόμενες εκτάσεις στην επαρχία Αλμυρού καταλαμβάνουν το 16,9 % του συνόλου των καλλιεργούμενων εκτάσεων και αντιστοιχούν σε 50.637 στρέμματα. Από αυτά, 44.000 στρέμματα ποτίζονται από αντλίες βαθέων φρεάτων, 5.000 στρέμματα από πηγάδια και απλές γεωτρήσεις και η υπόλοιπη αρδευτική έκταση (1400 στρέμματα) από τη πηγή Κεφάλωση.

Σε όλες τις πεδινές περιοχές λόγω υπεραντλήσεως του υδροφόρου ορίζοντα είναι χαρακτηριστική η κάθοδος της στάθμης του υπογείου ύδατος κάτω από τη στάθμη της θάλασσας με συνέπεια την ανάστροφη κίνηση των υπογείων νερών από τη θάλασσα προς τη στεριά και την υφαλμύρωση αυτών.

Η υφαλμύρωση συνεπάγεται υποβάθμιση των υπογείων νερών για άρδευση και ύδρευση, μείωση της επάρκειας των απαραίτητων υδατικών πόρων και σημαντική υποβάθμιση της ποιότητας του εδάφους. Η υπεράντληση λοιπόν των υπογείων νερών χωρίς παράλληλη εκμετάλλευση των επιφανειακών υδάτων (πηγή Κεφάλωση, Πλατανόρεμα, Χολόρεμα, Ξεριάς) και η μεγάλη ταπείνωση της στάθμης των υδροφόρων οριζόντων έχει μεγάλες αρνητικές επιπτώσεις τόσο στην άρδευση, το μικροκλίμα, το περιβάλλον και το οικοσύστημα, όσο και στην ύδρευση των γύρω

περιοχών. (Υπουργείο Γεωργίας, Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων και προέγκρισης χωροθέτησης λιμνοδεξαμενής ποταμού Ξεριά Ν. Μαγνησίας, 2001).

Στην εικόνα 2.1 φαίνεται ο γεωλογικός χάρτης της περιοχής Αλμυρού Μαγνησίας



Εικόνα 2.1. Γεωλογικός χάρτης :50000 της περιοχής Αλμυρού Μαγνησίας (Πηγή: Φλωράς Σ.)

## Geology

	1 Pagasitikos kolpos
	2 Quaternary undivided
	3 Peridotite
	4 Cretaceous limestone
	5 Uppercretaceous limestone
	6 Flysch, limestones, shales, ophiolites
	7 Uppercretaceous limestone
	8 Uppercretaceous limestone
	9 Shales, cherts, marly limestones
	10 Quaternary undivided
	11 Shales, cherts, marly limestones
	12 Uppercretaceous limestone
	13 diabase - dolerite
	14 Uppercretaceous limestone
	15 Uppercretaceous flysch
	16 Neogene undivided
	17 Uppercretaceous limestone
	18 Thin - bedded limestone
	19 Kikinthos isl. Thin bedded limestone
	20 Uppercretaceous flysch metamorphosed
	21 Thin bedded limestone
	22 Uppercretaceous flysch
	23 Dolomitic limestones and marbles
	24 Greater Zerelia lake
	25 Smaller Zerelia lake
	26 Uppercretaceous limestone
	27 Thin bedded limestones
	28 Cretaceous shales - cherts group
	29 Dolomitic limestone. M. Triassic-Jurassic
	30 Cretaceous shales - cherts group
	31 Shales - cherts formations
	32 Uppercretaceous conglomerates
	33 Uppercretaceous flysch
	34 Thin bedded limestones
	35 Uppercretaceous flysch
	36 Uppercretaceous flysch
	37 Uppercretaceous flysch formation
	38 Quaternary undivided
	39 Sandstony phase of flysch
	40 Diabase - dolerite with phyllites and shists
	41 Peridotite, dunite with serpentite, chlorite
	42 Neogene undivided
	43 Diabase-dolerite, Hornblentite, diorite
	44 Uppercretaceous flysch
	45 Uppercretaceous flysch
	46 Cretaceous shales - cherts formation
	47 Quaternary undivided
	48 Diabase-dolerite. Hornblentite, diorite
	49 Uppercretaceous limestone
	50 Neogene undivided
	51 Ormos Pteleos
	52 Neogene undivided
	53 Neogene undivided
	54 Uppercretaceous limestone
	55 Uppercretaceous conglomerates
	56 Uppercretaceous limestone
	57 Uppercretaceous limestone
	58 Dolomitic limestone. M. Triassic-Jurassic
	59 Neogene undivided
	60 Uppercretaceous limestone
	61 Uppercretaceous limestone
	62 Quaternary undivided
	63 Dolomitic limestone. M. Triassic-Jurassic
	64 Uppercretaceous flysch
	65 Dolomitic limestone. M. Triassic-Jurassic
	66 Cretaceous shales - cherts group
	67 Shales, cherts, marly limestones. Triassic-Jurassic
	68 Diabase, dolerite. Hornblentite, diorite
	69 Uppercretaceous conglomerates
	70 Uppercretaceous limestone
	71 Neogene undivided
	72 Uppercretaceous limestone
	73 Diabase, dolerite. Hornblentite, diorite
	74 Uppercretaceous limestone

Εικόνα 2.2. Υπόμνημα χάρτη περιοχής Αλμυρού Μαγνησίας (Πηγή: Φλωράς Σ.).

Πίνακας 2.2. Εκτάσεις και παραγωγή ανά καλλιέργεια σε στρέμματα και σε τόνους του νομού Μαγνησίας ( Πηγή: Εθνική Στατιστική Υπηρεσία της Ελλάδος, έτος 2002).

Α. Αροτραίες καλλιέργειες			Γ. Δενδρώδεις καλλιέργειες		
Καλλιέργεια	Έκταση στρέμματα	Παραγωγή σε τόνους	Καλλιέργεια	Έκταση στρέμματα	Παραγωγή σε τόνους
<b>α. Σιτηρά</b>			<b>α. Δενδρώδεις καλλιέργειες (πλην ελιάς)</b>		
Σίτος(σκληρός)	249523	43179	Μηλιές		13799
Σίτος(μαλακός)	6590	1939	Αχλαδιές		3973
Κριθάρι	19937	5983	Ροδακινιές		1556
Βρώμη	2065	481	Αμυγδαλιές		4528
Αραβόσιπος	8705	9559	Εσπεριδοειδή		1319
<b>Σύνολο</b>	<b>186820</b>		Κερασιές		585
<b>β. Βιομηχανικά φυτά</b>			Λοιπά καρποφόρα		377
Βαμβάκι	107533	37730	<b>Σύνολο</b>	95201	26173
Ζαχαρότευτλα	4711	28895	<b>β. Ελαιώνες</b>		
Καπνός	65	21	Ελιές βρώσιμες		12650
<b>Σύνολο</b>	<b>112309</b>		Ελιές Ελαιοποίησης		36547
<b>γ. Κτηνοτροφικά φυτά</b>			Ελαιόλαδο 2001/2002		6403
Μηδική -Σανά	35875		<b>Σύνολο</b>	227027	49197
Μηδική (τριφύλλι)		14814	<b>Σύνολο</b>	322228	
Σανά		4263	<b>Δ. Λαχανοκομικά</b>		
			<b>Καλλιέργεια</b>	<b>Έκταση στρέμματα</b>	<b>Παραγωγή σε τόνους</b>
Γρασιδία	10671		Τομάτα βιομηχανική	10148	57500
<b>Σύνολο</b>	<b>46546</b>		Τομάτα επιτραπέζια	2461	9246
<b>δ. Πεπονοειδή - Πατάτες</b>			Λάχανα Κουνουπίδια	1091	1844
Πατάτες	1036	1585	Λοιπά Λαχανικά	9533	2753
Καρπούζια	1045	2810	Θερμοκήπια Λαχανικών	285	
<b>Σύνολο</b>	<b>2081</b>		<b>Σύνολο</b>	<b>24097</b>	
<b>ε. Βρώσιμα όσπρια</b>			<b>Ε. Άμπελοι - Σταφιδάμπελοι</b>		
Φασόλια	165	32			
Λοιπά	56	13			
<b>Σύνολο</b>	<b>221</b>				
<b>στ. Αρωματικά φυτά</b>			<b>Καλλιέργεια</b>	<b>Έκταση στρέμματα</b>	<b>Παραγωγή σε τόνους</b>
<b>Σύνολο</b>	<b>590</b>		Άμπελια επιτραπέζια		260
<b>Σύνολο</b>	<b>448567</b>		Μούστος		1855
<b>Β. Αγροαπαύσεις</b>			<b>Σύνολο</b>	<b>4026</b>	
1-5 ετών					
<b>Σύνολο</b>	<b>63608</b>		<b>Σύνολο σε στρέμματα</b>		<b>862526</b>



Πίνακας 2.3. Εκτάσεις και παραγωγή ανά καλλιέργεια σε στρέμματα και τόνους του Δήμου Αλμυρού

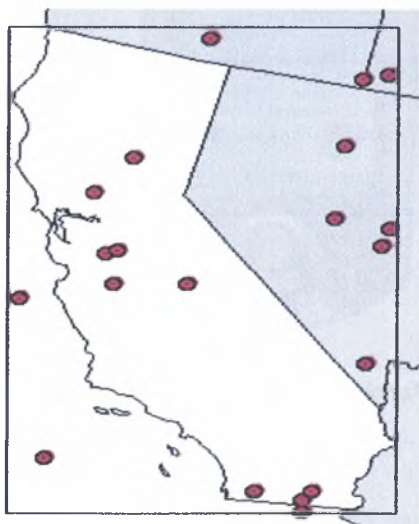
Α. Αροτραίες καλλιέργειες			Γ. Δενδρώδεις καλλιέργειες		
Καλλιέργεια	Έκταση στρέμματα	Παραγωγή σε τόνους	Καλλιέργεια	Έκταση στρέμματα	Παραγωγή σε τόνους
<b>α. Σιτηρά</b>			<b>α. Δενδρώδεις καλλιέργειες (πλην ελιάς)</b>		
Σίτος(σκληρός)	63000	9500	Μηλιές	10	25
Σίτος(μαλακός)	6500	1200	Αχλαδιές	5	6
Κριθάρι	6153	1170	Αμυγδαλιές	940	313
Βρώμη	200	30	Φιστικιές	15	12
Αραβόσιτος	1400	1700	Καρυδιές	60	25
<b>Σύνολο</b>	<b>77253</b>		Ακτινίδιο	50	75
<b>β. Βιομηχανικά φυτά</b>			Λοιπά καρποφόρα	5	4
Βαμβάκι	18000	5400	<b>Σύνολο</b>	1085	460
Ζαχαρότευτλα	300	2250	<b>β. Ελαιώνες</b>		
Καπνός	-	-	Ελιές βρώσιμες		40
<b>Σύνολο</b>	<b>18300</b>		Ελιές Ελαιοποιήσεως		1960
<b>γ. Κτηνοτροφικά φυτά</b>			Ελαιόλαδο 2001/2002		
Μηδική (τριφύλλι)	800	960	<b>Σύνολο</b>	<b>2000</b>	<b>2000</b>
Βίκος	500	250	<b>Σύνολο</b>	<b>3085</b>	
			<b>Δ. Λαχανοκομικά</b>		
Γρασιδία	-	-	<b>Καλλιέργεια</b>	<b>Έκταση στρέμματα</b>	<b>Παραγωγή σε τόνους</b>
Σανά	-	-	Τομάτα βιομηχανική	3000	24200
<b>Σύνολο</b>	<b>1300</b>		Τομάτα επιτραπέζια	80	500
<b>δ. Πεπονοειδή - Πατάτες</b>			Λάχανα	60	134
			Κουνουπίδια		
			Κρεμμύδια ξηρά	20	70
Καρπούζια - Πεπόνια	90	470	Λοιπά Λαχανικά	161	200,6
Πατάτες	80	200	Θερμοκήπια Λαχανικών	20	300
<b>Σύνολο</b>	<b>170</b>		<b>Σύνολο</b>	<b>3341</b>	
<b>ε. Βρώσιμα όσπρια</b>			<b>Ε. Αμπελοι - Σταφιδάμπελοι</b>		
Φασόλια	10	2			
Φακή	30	4,5			
Λοιπα	30	6			
<b>Σύνολο</b>	<b>70</b>				
<b>στ. Αρωματικά φυτά</b>			<b>Καλλιέργεια</b>	<b>Έκταση στρέμματα</b>	<b>Παραγωγή σε τόνους</b>
<b>Σύνολο</b>	-		Αμπέλια επιτραπέζια	5	35
<b>Σύνολο</b>	<b>97083</b>		Αμπέλια οιοπαραγωγής	86	120
<b>Β. Αγραναπαύσεις</b>			<b>Σύνολο</b>	<b>91</b>	<b>155</b>
1-5 ετών <b>Σύνολο</b>	-				
<b>Καλλιεργούμενες εκτάσεις</b>			<b>Σύνολο σε στρέμματα</b>		<b>103600</b>

## 2.2 Δειγματοληψία και εργαστηριακές αναλύσεις

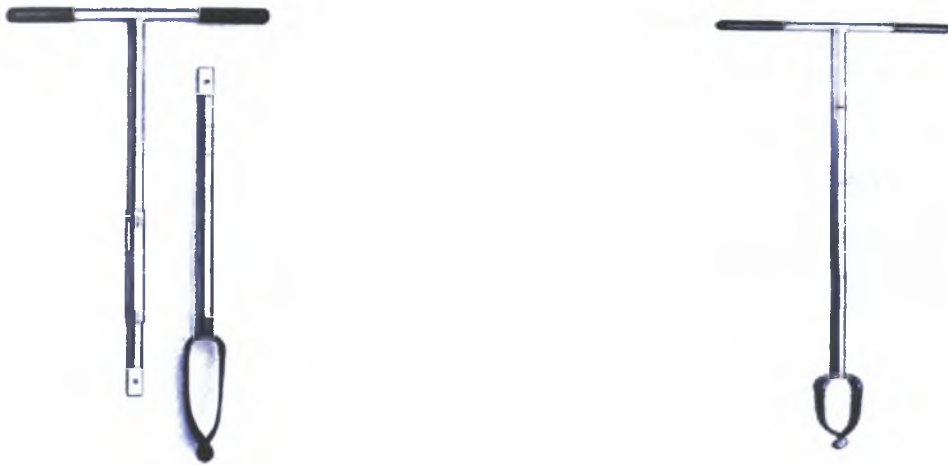
### 2.2.1 Δειγματοληψία

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

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



Εικόνα 2.3. Απεικόνιση τυχαίας δειγματοληψίας (Random Sampling). (E.S.R.I ArcGis)



*Εικόνα 2.4. 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 2.5 Συσκευή G.P.S. (Global Positioning System).*

Κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας έγινε χρήση D.G.P.S. με σκοπό τον ακριβή εντοπισμό των σημείων δειγματοληψίας και την καταγραφή των συντεταγμένων και του υψομετρικού σημείου αυτών. Ελήφθησαν 100 συνολικά εδαφικά δείγματα μάζας

περίπου 1 kg, τα οποία συλλέχθηκαν από βάθος 0–30 cm και από διάφορες καλλιέργειες (πίνακας 2.4). Ο κύριος όγκος των εδαφικών δειγμάτων προέρχεται από καλλιέργειες βάμβακος, σιταριού, μηδικής και ελιάς. Η λήψη των δειγμάτων εδάφους έγινε με τη χρήση εδαφολήπτη τύπου Edelman (εικόνα 2.4) και τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε πλαστικές σακούλες, ενώ ταυτόχρονα καταγράφηκαν στοιχεία που αφορούσαν τη δειγματοληψία όπως περιοχή δειγματοληψίας, αριθμός τομής, χρήση γης, γεωμορφή, φυσιογραφία, ημερομηνία δειγματοληψίας και γενικές παρατηρήσεις για κάθε δείγμα ξεχωριστά.

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

*Πίνακας 2.4. Κατανομή δειγμάτων σύμφωνα με τις χρήσεις γης (n=100)*

<b>Είδος καλλιέργειας</b>	<b>Αριθμός δειγμάτων από τη συγκεκριμένη καλλιέργεια</b>	<b>Ποσοστό εμφάνισης επί του συνόλου (%)</b>
Βαμβάκι	43	43%
Σιτάρι	24	24%
Μηδική	7	7%
Καλαμιές	2	2%
Ελιές	8	8%
Αμυγδαλιές	2	2%
Βίκος	1	1%
Αραβόσιτος	4	4%
Αλλόφυτα φυσική βλάστηση	5	5%
Ακαλλιεργητο	3	3%
Αμπέλι	1	1%
<b>Σύνολο</b>	<b>100</b>	<b>100%</b>

## 2.2.2 Εργαστηριακές αναλύσεις των εδαφικών δειγμάτων

### i) 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.

### ii) Προσδιορισμός της ηλεκτρικής αγωγιμότητας E.C. (Electrical Conductivity)

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

### **Αντιδραστήρια και όργανα.**

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

### **Βαθμονόμηση αγωγιμομέτρου**

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

### **Μέθοδος.**

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

### **iii) Προσδιορισμός της οργανικής ουσίας**

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

### **Όργανα - σκεύη**

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

### Αντιδραστήρια

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

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

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

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

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

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

### Μέθοδος

Ζυγίστηκαν 0,2-1,0g αεροξηραθέντος εδάφους, που είχε λειοτριβηθεί και κοσκινιστεί με κόσκινο (όχι μεταλλικό), διαμέτρου 0,5mm. Το δείγμα μεταφέρθηκε σε κωνική φιάλη των 500mL. Κατόπιν, προστέθηκαν 10mL διαλύματος  $K_2Cr_2O_7$  1N και ανακινήθηκε ελαφρά η φιάλη, έτσι ώστε να διασπαρθεί το δείγμα πλήρως στο διάλυμα. Στη συνέχεια, προστέθηκαν 20mL πυκνού  $H_2SO_4$ . Η φιάλη ανακινήθηκε για ένα λεπτό και αφέθηκε σε ηρεμία για 30 λεπτά της ώρας. Κατόπιν, προστέθηκαν 200mL αποσταγμένου νερού, 10mL  $H_3PO_4$  και 1mL δείκτη ο-φαινανθρολίνης. Τελικά, ογκομετρήθηκε η περίσσεια του  $K_2Cr_2O_7$  με το διάλυμα  $FeSO_4$  μέχρις αλλαγής του χρώματος του δείκτη από μπλε σε κόκκινο. Παράλληλα, πραγματοποιήθηκε και ο τυφλός προσδιορισμός της κανονικότητας του πρότυπου τιτλοδότη,  $FeSO_4$  0,5N. Όταν γίνονταν αναγωγή από τον οργανικό άνθρακα περισσότερο από 75% των ιόντων  $Cr_2O_7^{-2}$ , τότε ο προσδιορισμός επαναλαμβάνονταν χρησιμοποιώντας μικρότερη ποσότητα εδαφικού δείγματος.

## Υπολογισμοί

Ο οργανικός άνθρακας υπολογίστηκε από τον τύπο :

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

όπου : meq  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  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 :

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

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

### iv) Προσδιορισμός του φωσφόρου σε διάλυμα – μέθοδος Olsen (1954)

Οι περισσότεροι προσδιορισμοί εδαφικού φωσφόρου έχουν δύο χωριστές φάσεις. Πρώτον, τη προετοιμασία ενός δείγματος που να περιέχει τον εδαφικό φώσφορο ή το κλάσμα αυτού και δεύτερον τον ποσοτικό προσδιορισμό του εδαφικού φωσφόρου στο διάλυμα, τη συγκέντρωση άλλων στοιχείων και το συγκεκριμένο σύστημα οξέων που χρησιμοποιείται στην αναλυτική διαδικασία.

Οι «μπλε» μέθοδοι του μολυβδαινίου είναι αυτές με τη μεγαλύτερη ευαισθησία και έτσι χρησιμοποιούνται ευρέως τόσο στα εδαφικά αποστάγματα, που περιέχουν μικρές ποσότητες P, όσο και για τον προσδιορισμό του ολικού P. Αυτές οι μέθοδοι βασίζονται στην αρχή ότι σε ένα όξινο μολυβδαινικό διάλυμα που περιέχει ορθοφωσφορικά ιόντα, ένα φωσφορομολυβδαινικό σύμπλοκο που μπορεί να αναχθεί από ασκορβικό οξύ, από  $\text{SnCl}_2$ , και από άλλα αναγωγικά αντιδραστήρια σε ένα



«μπλε του μολυβδαινίου» χρώμα. Η ένταση του μπλε χρώματος ποικίλει ανάλογα με τη συγκέντρωση του P αλλά επηρεάζεται επίσης και από άλλους παράγοντες όπως η οξύτητα, τα αρσενικούχα και τα πυριτικά άλατα, και άλλα στοιχεία που επηρεάζουν το οξειδο-αναγωγικό περιβάλλον του συστήματος.

Η μέθοδος του Olsen χρησιμοποιείται κυρίως για εδάφη ασβεστούχα και για εδάφη που λιπάνθηκαν με φωσφορικό απατίτη αλλά δίνει αρκετά αξιόπιστα αποτελέσματα και σε όξινα εδάφη.

Ο προσδιορισμός του P κατά Olsen ακολουθεί δύο φάσεις, πρώτον την εκχύλιση με διάλυμα 0,5N NaHCO<sub>3</sub> και μετά τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης του P στο εκχύλισμα.

### **Μέθοδος – Αντιδραστήρια**

- Διάλυμα NaOH 5N: 40gr NaOH διαλύονται σε 800ml απεσταγμένου νερού και συμπληρώνεται μέχρι 1000ml.
- Διάλυμα NaHCO<sub>3</sub> 0,5N: 42gr NaHCO<sub>3</sub> διαλύονται σε 800ml απεσταγμένου νερού και συμπληρώνουμε μέχρις όγκου 1000ml. Ρυθμίζουμε το pH στο 8,5 με το διάλυμα NaOH 0,5N.
- Διάλυμα H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5N: Διαλύουμε 141ml π.H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 96% σε 800ml απεσταγμένου νερού και μετά από τη ψύξη του διαλύματος συμπληρώνουμε μέχρις όγκου 1000ml.
- Μολυβδαινικό αμμώνιο (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>·4H<sub>2</sub>O.
- Τρυγικό καλιοαντιμμόνιο KSbO<sub>3</sub>·C<sub>4</sub>H<sub>4</sub>O<sub>6</sub>.
- Διάλυμα A: Διαλύουμε 6g (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>·4H<sub>2</sub>O σε 125ml απεσταγμένο νερό σε ποτήρι ζέσεως 500ml, καθώς και 0,145gr KSbO<sub>3</sub>·C<sub>4</sub>H<sub>4</sub>O<sub>6</sub> με 50ml απεσταγμένο νερό σε ποτήρι ζέσεως 200ml. Μεταφέρουμε τα παραπάνω διαλύματα σε ογκομετρική φιάλη των 1000ml, προσθέτουμε 500ml διαλύματος H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5N και συμπληρώνουμε με νερό μέχρις όγκου 1000ml.
- Ασκορβικό οξύ (L(+)-Ascorbic acid).
- Διάλυμα B: Διαλύουμε 0,528gr ασκορβικό οξύ σε 100ml διαλύματος A (διατηρείται μόνο για 24 h).
- Δείκτης p-νιτροφαινόλη: Διαλύουμε 0,25gr p-νιτροφαινόλη σε 100ml απεσταγμένο νερό.

- α) Stock I (1mgP/ml): Ζυγίζουμε 1,099gr  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (105°C για 1 ώρα) και τα διαλύουμε σε 250ml απεσταγμένο νερό. Προσθέτουμε 4ml πυκνό  $\text{H}_2\text{SO}_4$  και διατηρώ στο ψυγείο σε σκούρα φιάλη.
- β) Stock II (100μgP/ml): Παίρνω 10ml από το Stock I σε ογκομετρική φιάλη των 100ml και συμπληρώνω με νερό μέχρι τη χαραγή.
- γ) Πρότυπο διάλυμα P (1μgP/ml): Παίρνω 5ml από το Stock II σε ογκομετρική φιάλη των 500ml και συμπληρώνω με νερό μέχρι τη χαραγή.

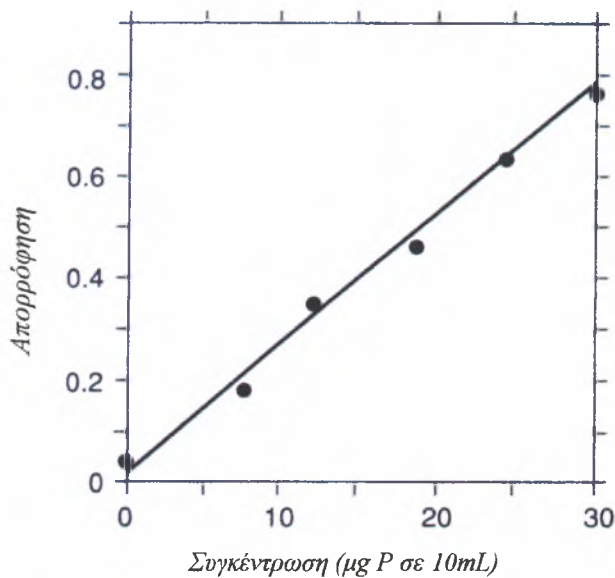
#### Βαθμονόμηση Φασματοφωτόμετρου - Κατασκευή της καμπύλης

Κατ'αρχήν λαμβάνονται 10ml από το εκχυλιστικό διάλυμα  $\text{NaHCO}_3$  0,5N (pH=8,5) σε ποτήρι ζέσεως των 50ml. Προσθέτουμε μια σταγόνα δείκτη p-νιτροφαινόλη και το διάλυμα αποκτά κίτρινο χρώμα. Στη συνέχεια προσθέτουμε με προχοΐδα διάλυμα  $\text{H}_2\text{SO}_4$  5N και ταυτόχρονα μετράμε το pH του διαλύματος. Συνεχίζουμε τη προσθήκη του οξέος μέχρι το pH να πάρει την τιμή 5 οπότε και παρατηρείται αποχρωματισμός του διαλύματος. Σημειώνουμε πόσα ml οξέος απαιτήθηκαν για την οξίνιση του διαλύματος.

Σε 6 ογκομετρικές φιάλες των 50ml μεταφέρουμε με σιφόνιο 10ml από το εκχυλιστικό διάλυμα και αντίστοιχα 0, 5, 10, 15, 20 και 30ml διαλύματος standard και κατόπιν προσθέτουμε την ίδια ποσότητα διαλύματος  $\text{H}_2\text{SO}_4$  5N που σημειώσαμε, οπότε το pH του κάθε διαλύματος θα ισούται με 5. Προσθέτουμε απεσταγμένο νερό και το διάλυμα αφήνεται για 30 λεπτά. Στη συνέχεια προσθέτουμε σε κάθε φιάλη 8ml αντιδραστήριο B, συμπληρώνω μέχρι τη χαραγή με νερό, πωματίζω και ανακινώ. Μετά από παραμονή 45min μετράμε την απορρόφηση στο φασματοφωτόμετρο στα 720nm ή 880nm με κυψελίδα 1cm και συμπληρώνω τη τελευταία στήλη του πίνακα που ακολουθεί.

Standard	μgP ανά 50ml	ppm P (μg/ml)	ABS
0	0	0	
1	5	0,1	
2	10	0,2	
3	15	0,3	
4	20	0,4	
5	30	0,6	

Το φασματοφωτόμετρο μηδενίζεται με το Standard 0 δηλαδή με το 'τυφλό', ενώ τα υπόλοιπα πρότυπα μετριοούνται με τη αύξουσα σειρά τους. Μετά από κάθε μέτρηση απορρόφησης προτύπου το όργανο μηδενίζεται εκ νέου με το 'τυφλό'. Τέλος, με τις δύο τελευταίες στήλες του πίνακα κατασκευάζω καμπύλη συγκέντρωσης-απορρόφησης βάση της οποίας θα υπολογίσω τη συγκέντρωση του P στα υπό μελέτη εδαφικά δείγματα



Εικόνα 2.6. Ενδεικτική καμπύλη βαθμονόμησης του φασματοφωτομέτρου για το φώσφορο.

### Εκχύλιση

Παράλληλα με τη κατασκευή της καμπύλης πραγματοποιείται και η διαδικασία της εκχύλισης. Ζυγίζουμε 5,0gr αεροξηραθέντος εδαφικού δείγματος και μαζί με 100ml διαλύματος  $\text{NaHCO}_3$  0,5N (pH=8,5) τοποθετούνται σε φιάλη ανακίνησης, οπότε και ανακινούμε για 30min. Διηθούμε το εκχύλισμα με ηθμό Whatman nr40. Εάν δεν έχουμε διαυγές διήθημα προσθέτουμε 1gr ενεργού άνθρακα, ανακινούμε αμέσως και επαναδιηθούμε (κυρίως σε οργανικά εδάφη).

Από το διήθημα λαμβάνουμε 10ml σε ογκομετρική φιάλη των 50ml. Προσθέτω λίγο απιονισμένο νερό. Μετά στη φιάλη προστίθεται διάλυμα  $\text{H}_2\text{SO}_4$  5N σε ποσότητα ίση με αυτή που υπολογίσαμε παραπάνω και το διάλυμα αφήνεται 30 λεπτά. Στη συνέχεια προσθέτω 8ml αντιδραστήριο B, συμπληρώνω μέχρι τη χαραγή με νερό,

πωματίζω και ανακινώ. Μετά από παραμονή 45min μετράμε την απορρόφηση στο φασματοφωτόμετρο στα 720nm ή 880nm με κυψελίδα 1cm. Οι μετρήσεις της απορρόφησης μέσω της καμπύλης που κατασκευάσαμε μας δίνουν μια τιμή συγκέντρωσης P. Αυτή η τιμή πολλαπλασιασμένη επί 100 (συντελεστής αραιώσης) μας δίνει την τελική τιμή του P κατά Olsen σε  $\mu\text{g}/\text{g}$  εδάφους.

#### ν) Προσδιορισμός του διαθέσιμου Βορίου στο έδαφος

Ο προσδιορισμός του διαθέσιμου βορίου του εδάφους δίνεται με τις παρακάτω μεθόδους:

- Η τροποποιημένη μέθοδος της Κουρκουμίνης (curcumin procedure) που χρησιμοποιεί 2-ethyl-1,3-hexanediol (Golzman et al., 1975) και
- Η μέθοδος της Αζωμεθίνης (Azomethine-H procedure)

Στην εργασία αυτή προσδιορίστηκε το εκχυλιζόμενο με ζέον ύδωρ Β με τη μέθοδο της Αζωμεθίνης. Η μέθοδος αυτή που αναπτύχθηκε από τους Berger και Truog (1939) είναι η ευρύτερα χρησιμοποιούμενη και έχει αποδειχθεί ότι δίνει τα πιο αξιόπιστα αποτελέσματα. Έχει την ικανότητα να παρουσιάζει υψηλή ευαισθησία σε οριακές τιμές βορίου έως και  $0,02 \text{ mgL}^{-1}$  (Lopez et al., 1993).

Η μέθοδος περιλαμβάνει δύο στάδια στο τέλος των οποίων καθίσταται δυνατός ο προσδιορισμός του διαθέσιμου Βορίου. Αρχικά πραγματοποιείται εκχύλιση του στοιχείου από το έδαφος με κατάλληλα εκχυλιστικά διαλύματα και ακολουθεί ο φασματοφωτομετρικός προσδιορισμός του έγχρωμου πλέον συμπλόκου που σχηματίζεται ανάμεσα στο βορικό οξύ σε υδατικό περιβάλλον και στο αντιδραστήριο της Αζωμεθίνης.

Όπως αναφέρθηκε για την εκχύλιση του Βορίου από τα εδάφη χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της εκχύλισης με ζεστό νερό. Προκειμένου να ελευθερωθεί το βόριο από τα ορυκτά, όπου είναι προσροφημένο, χρησιμοποιείται  $\text{CaCl}_2$  το οποίο αντικαθιστά το στοιχείο αυτό στις επιφάνειες των ορυκτών με αποτέλεσμα να παρατηρείται μεγαλύτερη συγκέντρωσή του στο εκχυλιστικό διάλυμα. Το εκχυλιζόμενο βόριο στο διάλυμα αυτό μπορεί να προσδιοριστεί φασματοφωτομετρικά.

Η εκχύλιση πραγματοποιείται σε ειδική συσκευή πέψης του οίκου Gerhardt των έξι θέσεων. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται ειδικές γυάλινες σφαιρικές φιάλες (SCHOTT DURAN 250 mL), απαλλαγμένες βορίου και κάθετοι ψυκτήρες

επαναρροής. Όλες οι διαδικασίες που αναφέρθηκαν πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο Εδαφολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας χρησιμοποιώντας τα κάτωθι αντιδραστήρια και όργανα. Τα χρησιμοποιούμενα αντιδραστήρια ήταν του Οίκου Merck, καθαρότητας pro analysis (p.a) και suprapur.

### Αντιδραστήρια – Όργανα

#### α) Εκχύλιση

- Αποσταγμένο νερό
- Χλωριούχο ασβέστιο ( $\text{CaCl}_2$ ) 0,01M: διαλύονται 1,11 gr άνυδρου χλωριούχου ασβεστίου (Calcium chloride dehydrated, καθαρότητας >97%) σε 900 mL αποσταγμένου νερού σε ογκομετρική φιάλη των 1000 mL και συμπληρώνεται το διάλυμα μέχρις όγκου 1000 mL.

#### β) Ανάπτυξη χρώματος

- Ρυθμιστικό διάλυμα (buffer solution): διαλύονται 250 g οξικού αμμωνίου ( $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ ) και 15 g  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  (EDTA disodium) σε 400 mL αποσταγμένο νερό. Σιγά-σιγά προστίθενται 125 mL οξικού οξέος ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) και ακολουθεί μηχανική ανάδευση.
- Υδροχλωρικό οξύ (HCl) 0,1 N: Προστίθενται 8,1 mL πυκνού HCl σε 900 mL αποσταγμένου νερού. Ακολουθεί ανακίνηση και ψύξη σε θερμοκρασία δωματίου. Το διάλυμα μεταφέρεται σε ογκομετρική φιάλη των 1000 mL και συμπλήρωση μέχρι τη χαραγή των 1000 mL με αποσταγμένο νερό.
- Υδροξείδιο του ασβεστίου ( $\text{CaH}_2\text{O}_2$ ): διαλύονται 0,4g της ουσίας σε 100 mL αποσταγμένου νερού.
- Ασκορβικό οξύ (L(+)) ascorbique,  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ ) 1%: διαλύεται 1g ασκορβικού οξέος σε 100 mL αποσταγμένου νερού.
- Αντιδραστήριο Αζωμεθίνης (Azomethine-H): διαλύονται 0,45g αζωμεθίνης (Pierce Chemistry Co., Rockford, 111. ) σε 100 mL 1% διαλύματος ασκορβικού οξέος.

### γ) Πρότυπη καμπύλη

- Πρότυπο διάλυμα βορίου συγκέντρωσης 10 ppm: διαλύονται 0,05725 g βορικού οξέος ( $H_3BO_3$ ) σε 900 mL αποσταγμένου νερού σε πλαστικό ποτήρι ζέσεως των 1000 mL. Ακολουθεί ανακίνηση και μεταφορά του διαλύματος σε ογκομετρική φιάλη των 1000 mL και συμπληρώνεται ο όγκος του διαλύματος μέχρι τη χαραγή των 1000 mL.
- Πρότυπο διάλυμα βορίου συγκέντρωσης 0,5 ppm: Σε ογκομετρική φιάλη των 100 mL μεταφέρονται 5 mL του διαλύματος των 10 ppm και συμπληρώνεται με αποσταγμένο νερό μέχρι της χαραγής.
- Πρότυπο διάλυμα βορίου συγκέντρωσης 1 ppm: Σε ογκομετρική φιάλη των 100 mL μεταφέρονται 10 mL του διαλύματος των 10 ppm και συμπληρώνεται με αποσταγμένο νερό μέχρι της χαραγής.
- Πρότυπο διάλυμα βορίου συγκέντρωσης 1,5 ppm: Σε ογκομετρική φιάλη των 100 mL μεταφέρονται 15 mL του διαλύματος των 10 ppm και συμπληρώνεται με αποσταγμένο νερό μέχρι της χαραγής.
- Πρότυπο διάλυμα βορίου συγκέντρωσης 2 ppm: Σε ογκομετρική φιάλη των 100 mL μεταφέρονται 20 mL του διαλύματος των 10 ppm και συμπληρώνεται με αποσταγμένο νερό μέχρι της χαραγής.
- Πρότυπο διάλυμα βορίου συγκέντρωσης 2,5 ppm: Σε ογκομετρική φιάλη των 100 mL μεταφέρονται 25 mL του διαλύματος των 10 ppm και συμπληρώνεται με αποσταγμένο νερό μέχρι της χαραγής.
- Πρότυπο διάλυμα βορίου συγκέντρωσης 3 ppm: Σε ογκομετρική φιάλη των 100 mL μεταφέρονται 30 mL του διαλύματος των 10 ppm και συμπληρώνεται με αποσταγμένο νερό μέχρι της χαραγής.

### Αναλυτική διαδικασία

Τοποθετούνται 20 g δείγματος αεροξηραθέντος εδάφους σε γυάλινη κωνική φιάλη (έξι συνολικά) των 250 mL, απαλλαγμένης βορίου, και προστίθενται 40 mL του διαλύματος 0,01M  $CaCl_2$ . Παράλληλα σε κάθε κωνική φιάλη για αποφυγή ατυχήματος από τις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται, προστίθενται πέτρες βρασμού. Στη συνέχεια προσαρμόζεται κάθετος σωλήνας επαναρροής σε κάθε κωνική φιάλη που αντιστοιχεί (η συσκευή διαθέτει έξι κωνικές φιάλες και τους αντίστοιχους κάθετους σωλήνες επαναρροής).

Κατόπιν ζεσταίνεται η κάθε κωνική μέχρι το σημείο βρασμού του περιέχοντος διαλύματος. Από την έναρξη του βρασμού και μετά από χρονικό διάστημα ακριβώς 5 λεπτών απομακρύνεται το σύστημα από τις εστίες και ψύχεται το διάλυμα. Έχει βρεθεί ότι στο διάστημα των 5 λεπτών ελευθερώνεται όλη η ποσότητα του Βορίου στο εδαφικό διάλυμα.

Μετά από τη ψύξη των φιαλών σε θερμοκρασία εργαστηρίου ακολουθεί διήθηση. Η τελευταία πραγματοποιείται με διηθητικό χαρτί σε γυάλινες κωνικές φιάλες ελεύθερες βορίου (Boro 3.3). Ο όγκος του διηθήματος ανέρχεται σε 25-28 mL.

Μεταφέρονται 20 mL του διηθήματος σε κάψες από πορσελάνη (HCT 126/63 DIN) και προστίθενται 2 mL του διαλύματος του υδροξειδίου του ασβεστίου ( $\text{CaH}_2\text{O}_2$ ). Το ανωτέρω μίγμα ζεσταίνεται μέχρι ξήρανσης. Η κάψα από πορσελάνη ζεσταίνεται προκειμένου να καταστραφεί η οργανική ουσία. Μετά τη ξήρανση και αφού η κάψα έχει αποκτήσει θερμοκρασία περιβάλλοντος, προστίθενται 5 mL διαλύματος 0,1 N HCl.

Για την ανάμιξη του διαλύματος χρησιμοποιούνται γυάλινες ράβδοι διαφορετικές για κάθε εδαφικό δείγμα. Λαμβάνεται 1 mL από το παραπάνω διάλυμα, μεταφέρεται σε πλαστικό μπουκαλάκι και ακολουθεί φασματοφωτομετρικός προσδιορισμός του βορίου.

Για την ανάπτυξη του χρώματος στο 1 mL του παραπάνω δείγματος προστίθενται 2 mL ρυθμιστικού διαλύματος ( $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  και  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) και 2 mL διαλύματος αζωμεθίνης (Azomethine-H) και ακολουθεί ανακίνηση.

Αποτέλεσμα της παραπάνω διαδικασίας είναι ο σχηματισμός συμπλόκου κίτρινου χρώματος, το οποίο μετά από χρονικό διάστημα 30 λεπτών μετράται φασματοφωτομετρικά σε μήκος κύματος 420nm με τη βοήθεια φασματοφωτομέτρου Shimadzu UV-120-01.

Οι διαβαθμίσεις του κίτρινου χρώματος (έντονο, κανονικό) μαρτυρούν και τη συγκέντρωση του διαθέσιμου βορίου στο διάλυμα. Έτσι αν το δείγμα έχει έντονο κίτρινο χρώμα αυτό σημαίνει ότι η συγκέντρωση του στοιχείου είναι μεγάλη, ενώ αν το χρώμα είναι ελάχιστα κίτρινο τότε η συγκέντρωση του βορίου είναι ιδιαίτερα χαμηλή. Βέβαια η παρατήρηση αυτή είναι εμπειρική και δεν μπορεί με ακρίβεια ν' αποδώσει τα ποσοστά του διαθέσιμου βορίου στο εδαφικό διάλυμα.

Προκειμένου οι τιμές της απορρόφησης που προσδιορίστηκαν με το φασματοφωτόμετρο να μετατραπούν σε μονάδες συγκέντρωσης (ppm) του μικροστοιχείου αυτού, πραγματοποιείται μέτρηση της απορρόφησης βορίου σε μια πρότυπη καμπύλη όπου η απορρόφηση συνδέεται με τη συγκέντρωση με γνωστή σχέση. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται τα πρότυπα διαλύματα των 0,5 ppm, 1 ppm, 1,5 ppm, 2 ppm, 2,5 ppm και 3 ppm και μετράται η απορρόφησή τους.

#### Πρότυπη καμπύλη

Λαμβάνεται 1 mL από κάθε ένα από τα ανωτέρω διαλύματα και μεταφέρεται σε πλαστικό μπουκαλάκι. Στη συνέχεια προστίθενται 2 mL ρυθμιστικού διαλύματος ( $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  και  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) και 2 mL διαλύματος αζωμεθίνης (Azomethine-H) και ανακινείται ελαφρά κάθε διάλυμα. Μετά από χρονικό διάστημα 30 λεπτών μετράται η απορρόφηση στο φασματοφωτόμετρο.

Με βάση τις τιμές που προκύπτουν κατασκευάζεται πρότυπη καμπύλη η οποία θα αποτελέσει τη βάση για την εύρεση της συγκέντρωσης του βορίου σε οποιοδήποτε εδαφικό εκχύλισμα. Χρησιμοποιείται πάντοτε και ένα διάλυμα που περιέχει 1 mL αποσταγμένου νερού, 2 mL ρυθμιστικού διαλύματος και 2 mL διαλύματος αζωμεθίνης. Αυτό θεωρείται ότι περιέχει 0 ppm βορίου και αποτελεί τη βάση για τον προσδιορισμό όλων των δειγμάτων καθώς σε αυτό η απορρόφηση είναι μηδενική.

#### vi) Προσδιορισμός της συγκέντρωσης των νιτρικών και νιτρωδών ιόντων

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

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

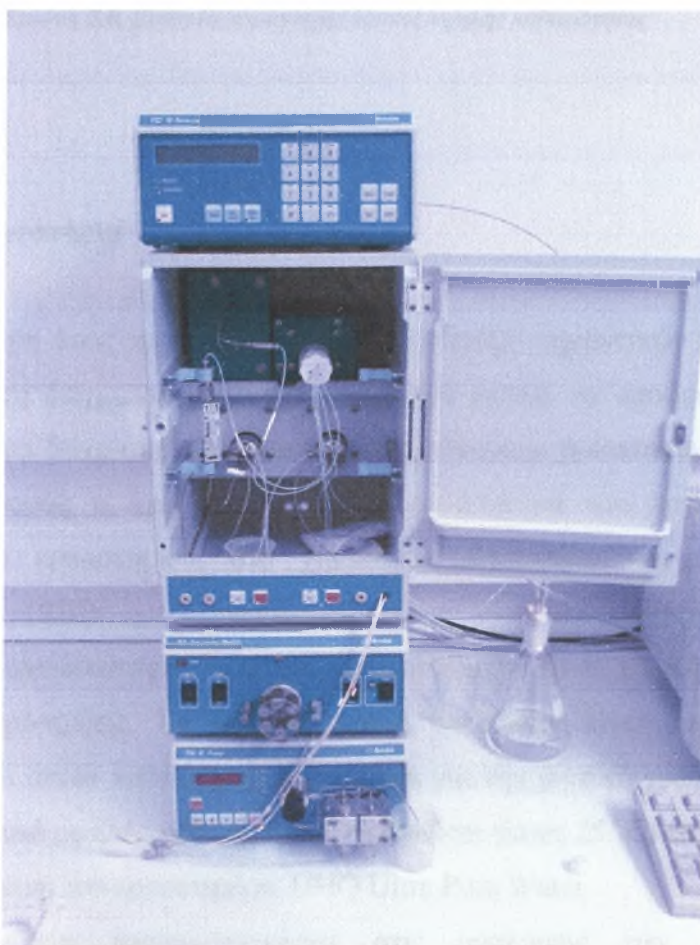
- Το βασικό θάλαμο, που περιέχει τις στήλες ιοντοανταλλαγής των ανιόντων, των κατιόντων και του σεληνίου.



- Τις αντλίες του ύδατος (753 Suppressor Module) και της κινητής φάσης (709 IC Pump)
- Τον ανιχνευτή αγωγιμόμετρο (732 IC Detector) .

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

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



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



*Εικόνα 2.8. 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).

### **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 ο

χρόνος αυτός μεγαλώνει κατά 1-1,5 λεπτά της ώρας. Ο χρόνος στον οποίο αποδίδεται κάθε στοιχείο καθορίστηκε με την πραγματοποίηση ανάλυσης πρότυπου διαλύματος για κάθε στοιχείο ή ένωση ξεχωριστά. Τα πρότυπα διαλύματα που χρησιμοποιήθηκαν περιέχουν μόνο το στοιχείο ή την ένωση που προσδιορίζεται. Έτσι το χρωματογράφημα που παράγεται είναι του στοιχείου.

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

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

### **Παρασκευή πρότυπων υδατικών διαλυμάτων των ανιόντων.**

Πρότυπα διαλύματα ανιόντων  $1000 \text{ mg L}^{-1}$  (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 4οC. Πριν από κάθε μέτρηση παρασκευάζονταν σειρά πρότυπων διαλυμάτων, μεταφέροντας σε ογκομετρικές φιάλες των 100mL τις κατάλληλες ποσότητες του πυκνού διαλύματος και συμπληρώνοντας με εκλουστικό διάλυμα μέχρι τη χαραγή. Τα διαλύματα αυτά χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή της πρότυπης καμπύλης. Σε τακτά χρονικά διαστήματα εφαρμοζόταν η μέθοδος της σταθερής προσθήκης, για να περιοριστούν οι παρεμποδίσεις των ποικίλων συστατικών των δειγμάτων.

### 2.2.3 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).

### 2.2.4 Εφαρμογή της τηλεπισκόπησης

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

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

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

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

### 2.2.6 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.

### 2.2.7 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.

#### **2.5.4 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.

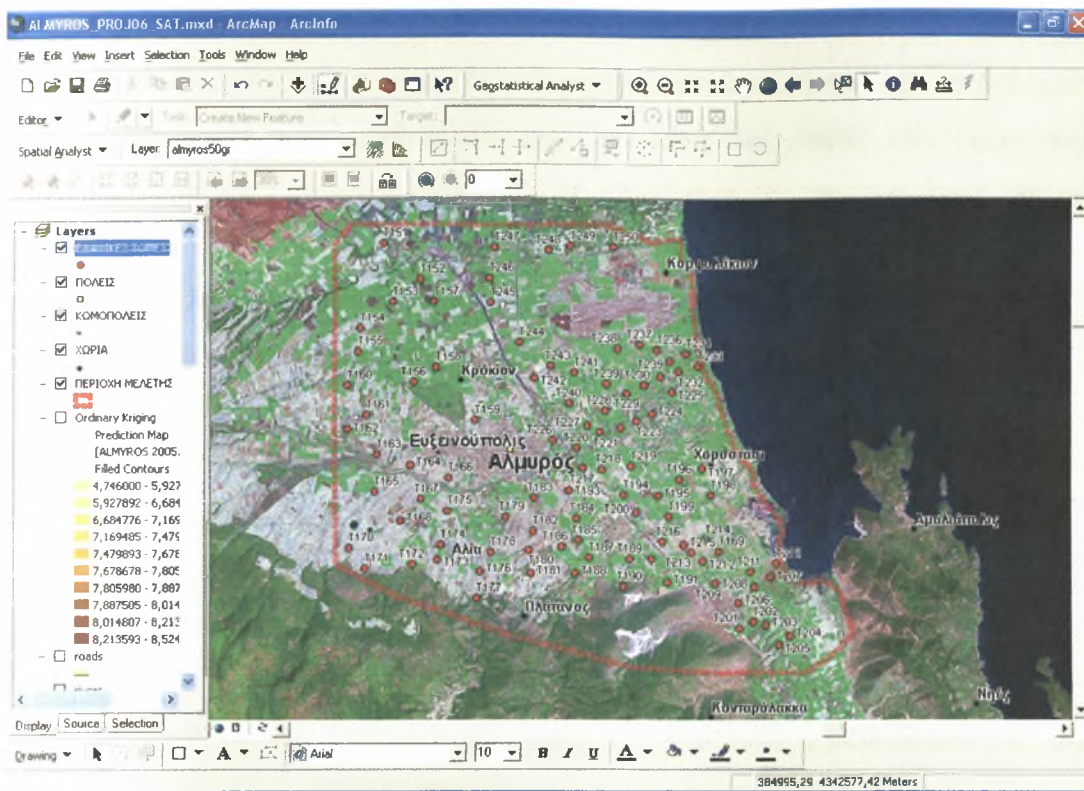
Το ArcMap είναι η κεντρική εφαρμογή του ArcGIS 9.1 Desktop. Είναι η εφαρμογή GIS η οποία χρησιμοποιείται για όλες τις εργασίες που έχουν να κάνουν με χάρτες, όπως η χαρτογραφία, η ανάλυση χαρτών και η παρουσίαση αυτών.

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.





Εικόνα 2.9 Απεικόνιση της περιοχής μελέτης μέσω του ArcMap

### 2.5.5 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 Probability 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.

#### **2.5.5.1 Εξέταση της χωρικής παραλλακτικότητας των δεδομένων**

##### *Ιστόγραμμα*

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

##### *Normal QQPlot*

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

##### *Cross Validation*

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

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

Η επιλογή του καταλληλότερου μοντέλου πραγματοποιείται λαμβάνοντας υπόψη τα ακόλουθα:

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

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

### 3.1 Αποτελέσματα αναλύσεων των εδαφικών δειγμάτων

Στους πίνακες 2,3 του παραρτήματος παρουσιάζονται οι φυσικοχημικές ιδιότητες των εδαφικών δειγμάτων (n=100) σε βάθος 0 – 30cm. της περιοχής Αλμυρού του νομού Μαγνησίας. Με βάση τους πίνακες αυτούς δημιουργήθηκε ο πίνακας 3.1 στον οποίο παρατηρούνται οι μέσες, ελάχιστες και οι μέγιστες τιμές, ο συντελεστής παραλλακτικότητας και η τυπική απόκλιση για τις εδαφικές ιδιότητες pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα EC<sub>1:1</sub> και οργανική ουσία σε βάθος 0-30cm.

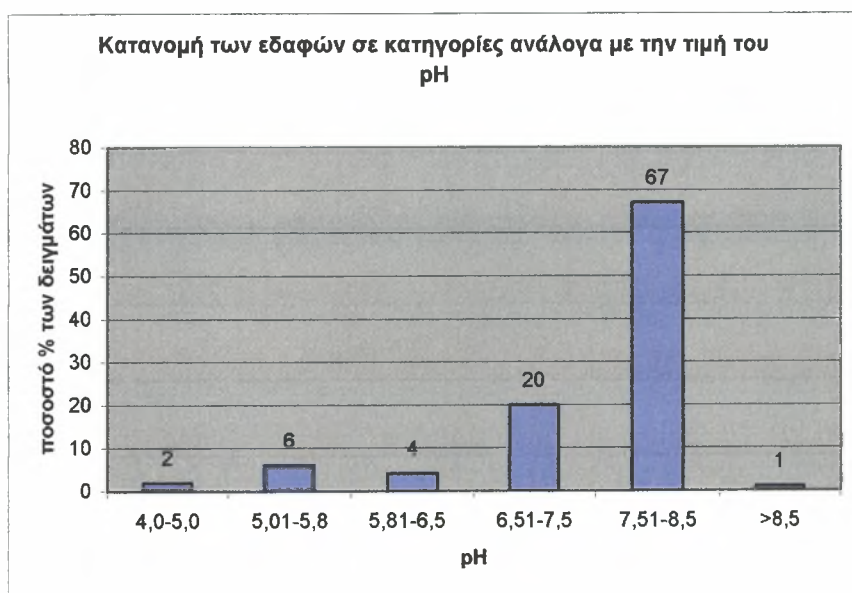
*Πίνακας 3.1. Μέση τιμή, μέγιστη και ελάχιστη τιμή, συντελεστής παραλλακτικότητας και τυπική απόκλιση των εδαφικών ιδιοτήτων*

	<b>pH</b>	<b>E.C.</b>	<b>Οργανική ουσία %</b>
<b>Ελάχιστη τιμή</b>	<b>4,7</b>	<b>51,7</b>	<b>0,34</b>
<b>Μέγιστη τιμή</b>	<b>8,5</b>	<b>866,9</b>	<b>4,98</b>
<b>Μέση τιμή</b>	<b>7,4</b>	<b>266,9</b>	<b>1,68</b>
<b>Συντελεστής παραλλακτικότητας (C.V.)</b>	<b>0,115</b>	<b>0,627</b>	<b>0,523</b>
<b>Τυπική απόκλιση (S.D.)</b>	<b>0,85</b>	<b>167,43</b>	<b>0,88</b>

Η τιμή του pH των δειγμάτων κυμάνθηκε από 4,7 ως 8,5. Τα εδάφη κατατάσσονται σε κατηγορίες με βάση την τιμή του pH (πίνακας 3.2). Το 2% των εδαφών βρέθηκαν να είναι πολύ ισχυρώς όξινα, το 6% ισχυρώς όξινα, το 4% μετρίως όξινα, το 20% ουδέτερα, το 67% ελαφρώς αλκαλικά και το 1% αλκαλιωμένα. Τα παραπάνω επιβεβαιώνονται από τη γεωλογία και τα μητρικά υλικά της περιοχής που περιλαμβάνουν κυρίως ασβεστόλιθους και ασβεστόχα υλικά διαφόρων ηλικιών και φάσεων. Η κατανομή των δειγμάτων (n=100) σύμφωνα με την τιμή του εδαφικού pH εμφανίζεται στα γραφήματα 3.1 και 3.2.

Πίνακας 3.2. Κατάταξη των εδαφών σε κατηγορίες ανάλογα με την τιμή του pH (MAFF, 1988; Rowell, 1995; Μήτσιος, 2000)

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



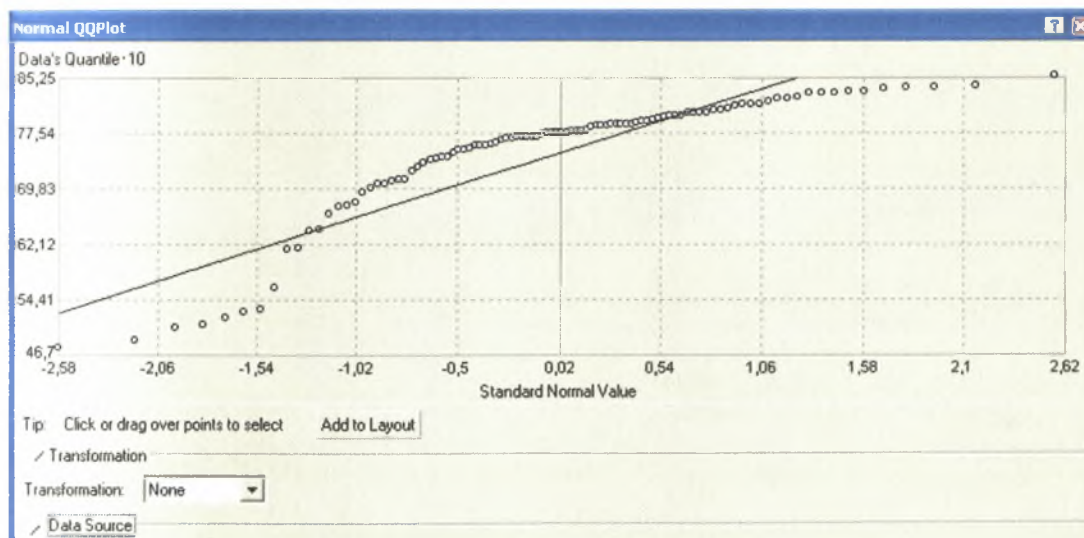
Γράφημα 3.1. Κατάταξη των εδαφών της περιοχής του Αλμυρούς σε βάθος 0-30 cm σε κατηγορίες ανάλογα με την τιμή του pH.

Οι κατηγορίες των εδαφών σύμφωνα με το εδαφικό pH παρουσιάζονται και σε διάγραμμα πίτας (γράφημα 3.2).

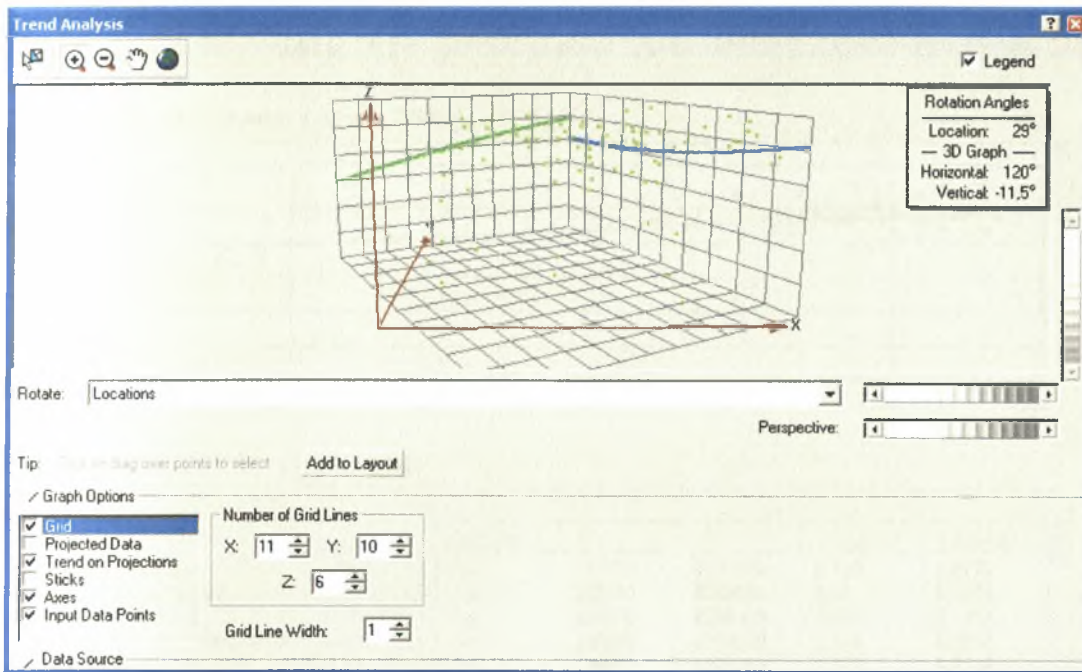


Γράφημα 3.2. Κατάταξη εδαφών της περιοχής Αλμυρού Ν. Μαγνησίας σύμφωνα με το pH του εδάφους.

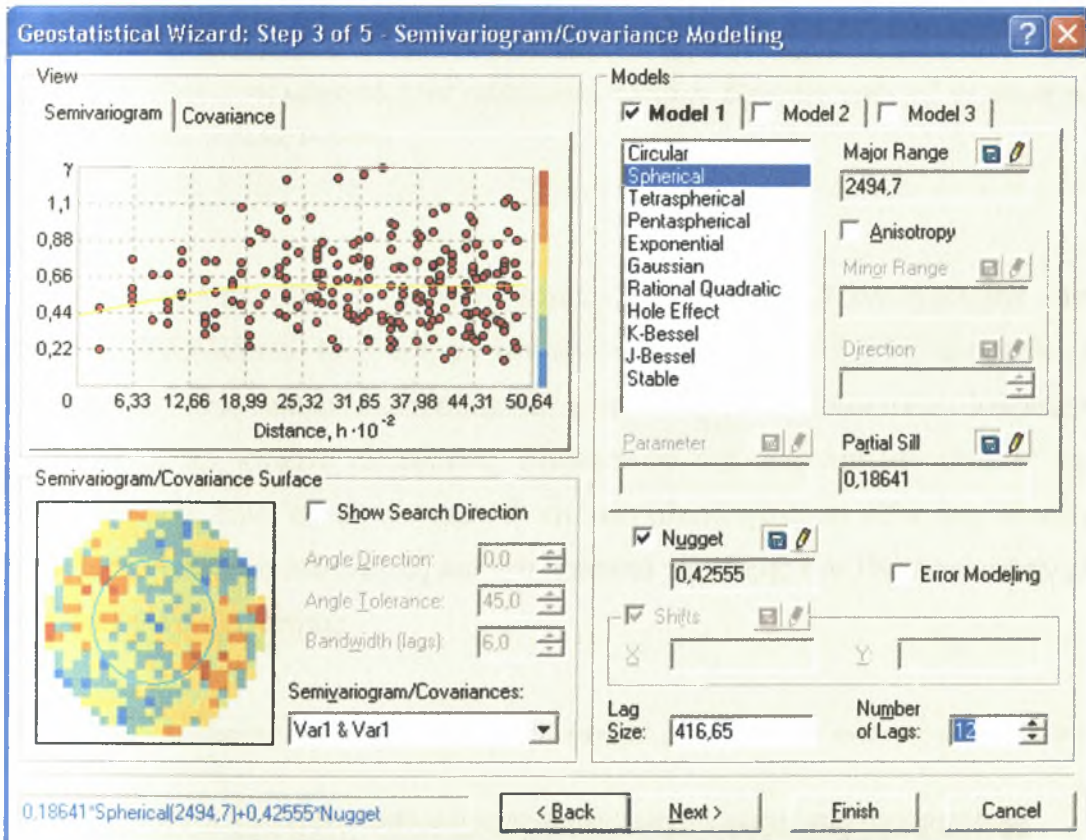
Στην περιοχή μελέτης και στα σημεία T212, T165 το pH είναι 4-5. Το ένα σημείο βρίσκεται στον όρμο μεταξύ του Νέου Πλατάνου και της Αμαλιάπολης, δηλαδή στον όρμο της Σούρπης, ενώ το άλλο σημείο βρίσκεται νοτιοδυτικά του Αλμυρού. Στα σημεία T162, T156, T155, T215, T170 το pH είναι 5,1-5,8. Αυτά τα σημεία βρίσκονται δυτικά του Αλμυρού.



Εικόνα 3.1. Διασπορά των τιμών pH σε εδάφη της περιοχής Αλμυρού σε βάθος 0-30cm

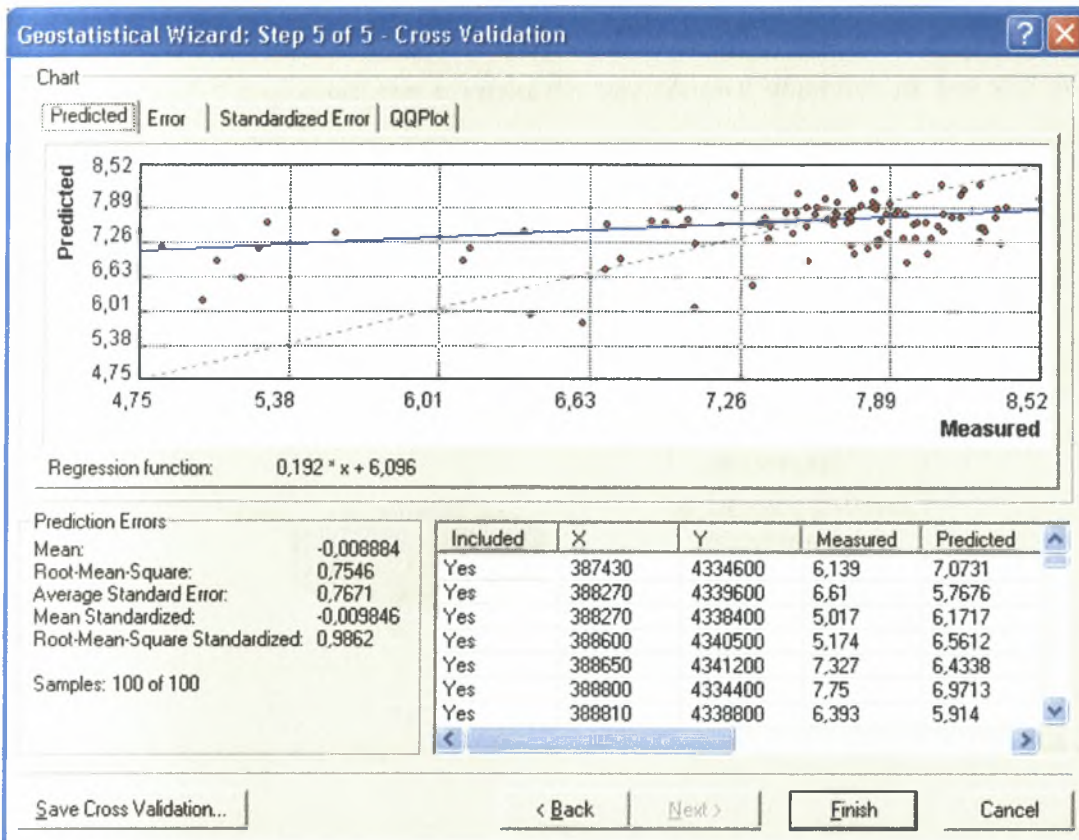


Εικόνα 3.2. Ανάλυση της τάσης των τιμών του pH σε εδάφη της περιοχής Αλμυρού σε βάθος 0-30cm.



Εικόνα 3.3. Διάγραμμα της ημιπαράλλακτικότητας των τιμών του pH εδάφη της περιοχής Αλμυρού σε βάθος 0-30cm.





Εικόνα 3.4. Έλεγχος της αξιοπιστίας του επιλεγόμενου προτύπου βάση των τιμών pH σε εδάφη της περιοχής Αλμυρού σε βάθος 0-30cm.

Η ελάχιστη τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ( $E.C_{1:1}$ ) ήταν 51,7, ενώ η μέγιστη τιμή της ήταν 866,9  $\mu S/cm$ . Με βάση με τον πίνακα 2 του παραρτήματος προκύπτει ο πίνακας 3.3 στον οποίο παρουσιάζεται η κατανομή των εδαφικών δειγμάτων σύμφωνα με τον κίνδυνο αλατότητας. Βρέθηκε ότι ένα ποσοστό των εδαφών της τάξης του 56% είναι εδάφη με χαμηλό κίνδυνο αλατότητας, το 43% των εδαφών έχουν μέτριο κίνδυνο αλατότητας και ένα ποσοστό της τάξης του 1% είναι εδάφη με υψηλό κίνδυνο αλατότητας.

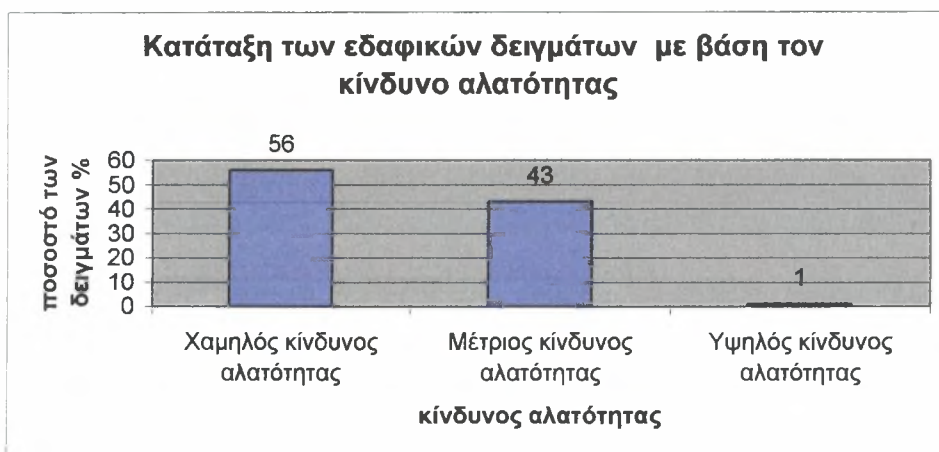
Πίνακας 3.3. Κατάταξη εδαφών της περιοχής Αλμυρού Ν. Μαγνησίας σε αναλογία με το κίνδυνο αλατότητας ( $n = 100$ )

EC ( $\mu S/cm$ )	Χαρακτηρισμός εδαφών	Ποσοστό %
0 - 250	Χαμηλός κίνδυνος αλατότητας	56
250 - 750	Μέτριος κίνδυνος αλατότητας	43
>750	Υψηλός κίνδυνος αλατότητας	1

Στο γράφημα 3.3 παρουσιάζεται η κατάταξη των εδαφών σύμφωνα με τον κίνδυνο αλατότητας και σε διάγραμμα πίτας.



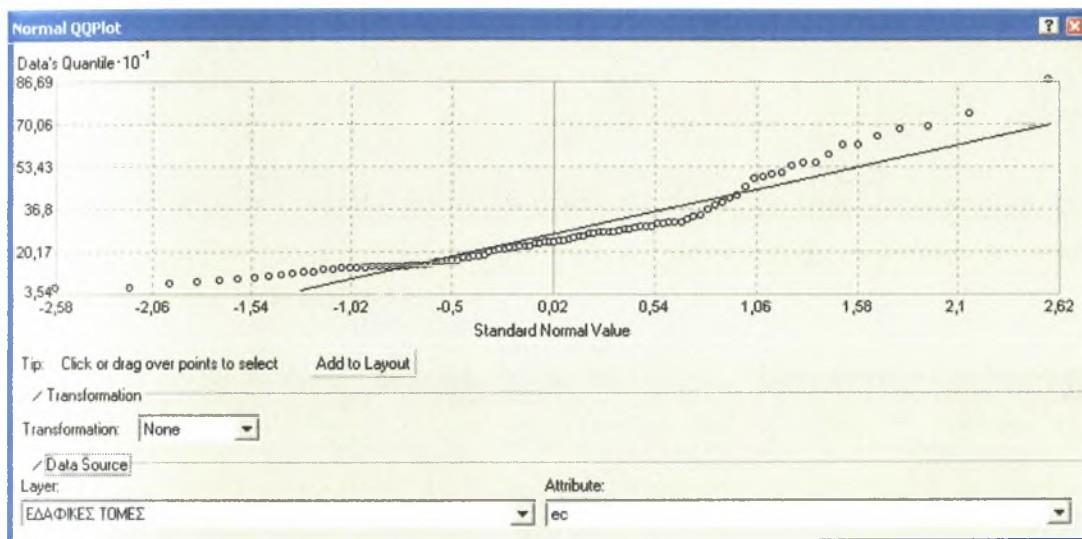
Γράφημα 3.3. Κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής Αλμυρού σύμφωνα με τον κίνδυνο αλατότητας



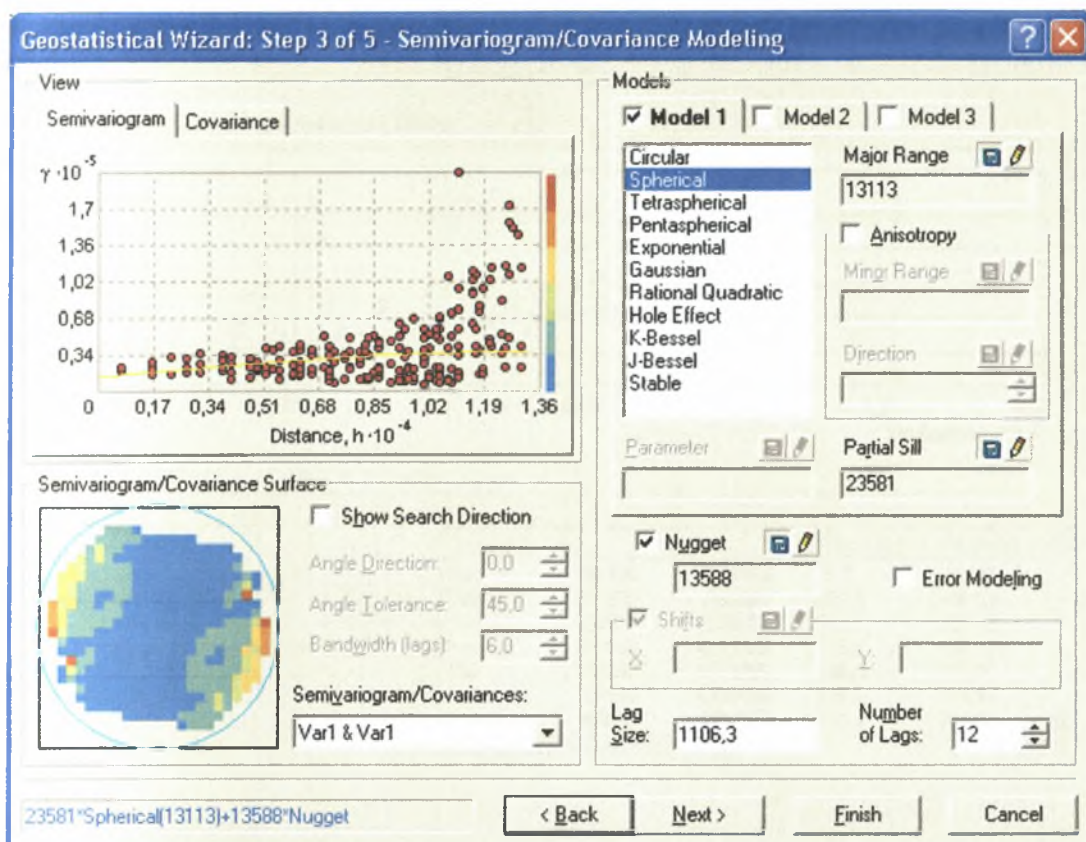
Γράφημα 3.4. Κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής Αλμυρού σύμφωνα με τον κίνδυνο αλατότητας

Υψηλές τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας βρέθηκαν στα σημεία T206, T202, T214, T205, T210, T203, T225 και T211. Τα σημεία αυτά βρίσκονται στον όρμο της Σούρπης και συγκεκριμένα στην περιοχή του «βάλτου». Οι υψηλές τιμές EC στη συγκεκριμένη περιοχή εξηγούνται λόγω της γεωγραφικής θέσης και της τοπογραφίας αφού πρόκειται για παραθαλάσσια χαμηλή περιοχή όπου τα εδάφη έρχονται σε

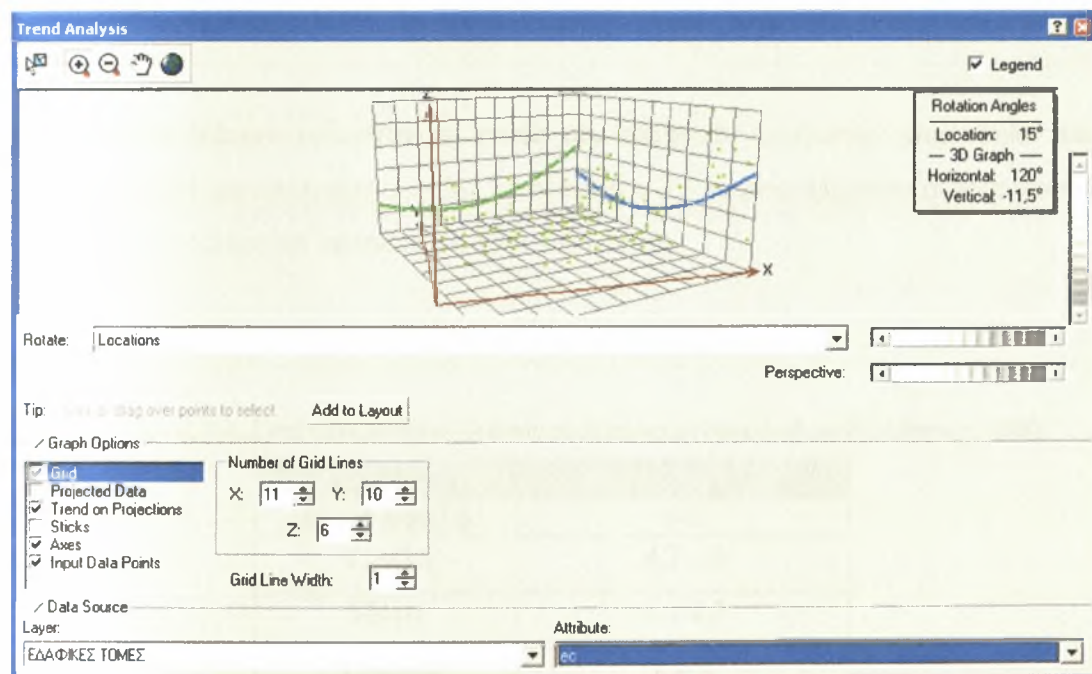
συνεχή επαφή με το νερό της θάλασσας, με αποτέλεσμα αρχικά να καθίστανται αλατούχα και στη συνέχεια νατριωμένα. Το γεγονός ότι ένα ποσοστό της τάξης του 44% έχει μέτριο ή και υψηλό κίνδυνο αλατότητας και μάλιστα σε περιοχές που βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση από τη θάλασσα καταδεικνύει το μέγεθος του προβλήματος. Φαίνεται λοιπόν ότι τα αρδευτικά νερά της περιοχής έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε άλατα, πράγμα που σημαίνει ότι έχει γίνει υπεράντληση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα με αποτέλεσμα την κάθοδο της στάθμης αυτού κάτω από τη στάθμη της θάλασσας και δημιουργία ανάστροφης κίνησης των υπογείων υδάτων από τη θάλασσα προς τη στεριά.



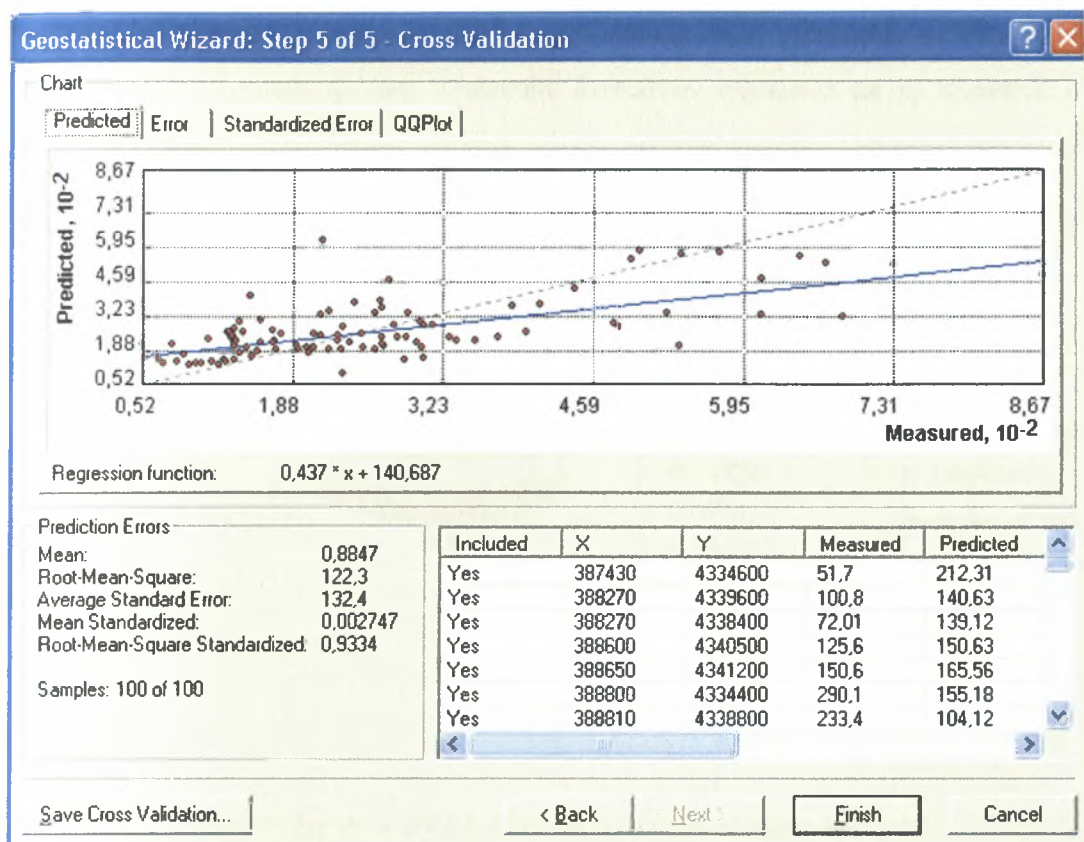
Εικόνα 3.5. Διασπορά των τιμών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας *ec* σε εδάφη της περιοχής Αλμυρού σε βάθος 0-30cm



Εικόνα 3.6. Διάγραμμα της ημιπαράλλακτικότητας των τιμών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε εδάφη της περιοχής Αλμυρού σε βάθος 0-30cm.



Εικόνα 3.7. Ανάλυση της τάσης των τιμών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας  $ec$  σε εδάφη της περιοχής Αλμυρού σε βάθος 0-30cm.



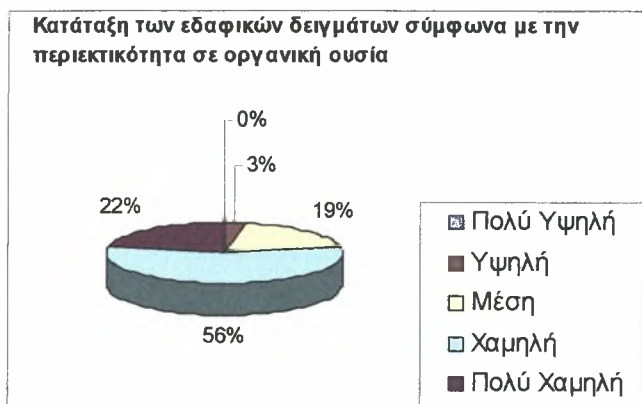
Εικόνα 3.8. Έλεγχος της αξιοπιστίας του επιλεγόμενου προτύπου βάση των τιμών εκ σε εδάφη της περιοχής Αλμυρού σε βάθος 0-30cm.

Η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία των εδαφικών δειγμάτων κυμάνθηκε από 0,34 ως 4,98% με μέση τιμή 1,68%. Στον πίνακα 3.4 παρουσιάζονται οι κατηγορίες των εδαφών με βάση τα ποσοστά σε οργανική ουσία

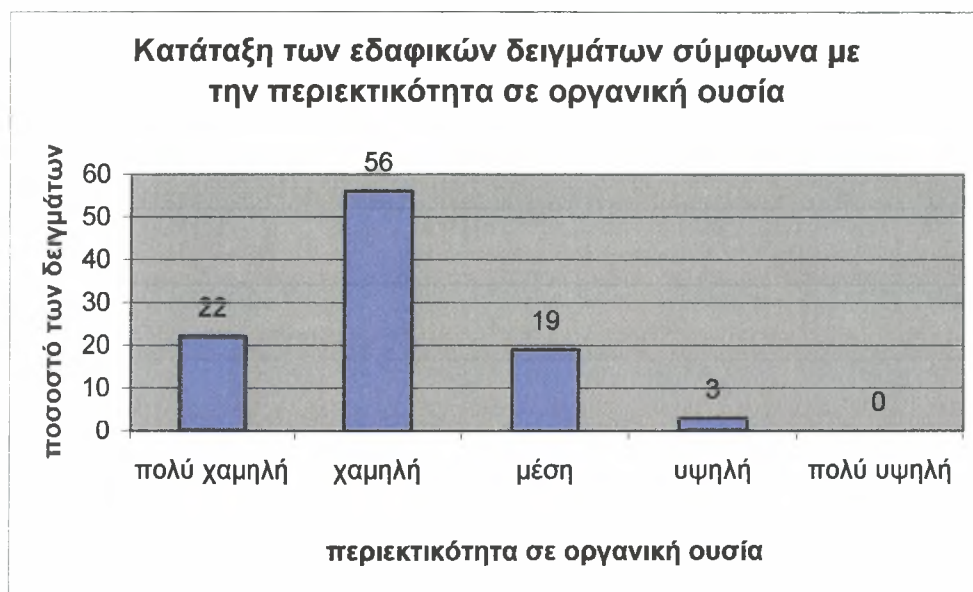
Πίνακας 3.4. Κατηγορίες εδαφών με βάση τα ποσοστά σε οργανική ουσία (Μήτσιος, 2000)

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

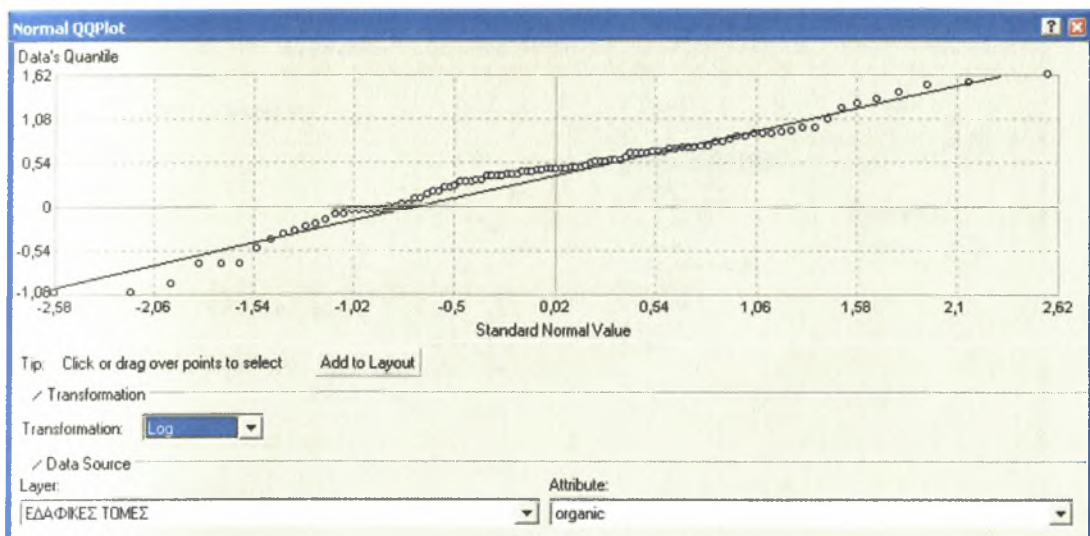
Με βάση τον πίνακα 2 του παραρτήματος προκύπτει το γράφημα 3.5 στο οποίο παρουσιάζεται η κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων σύμφωνα με το ποσοστό σε οργανική ουσία.



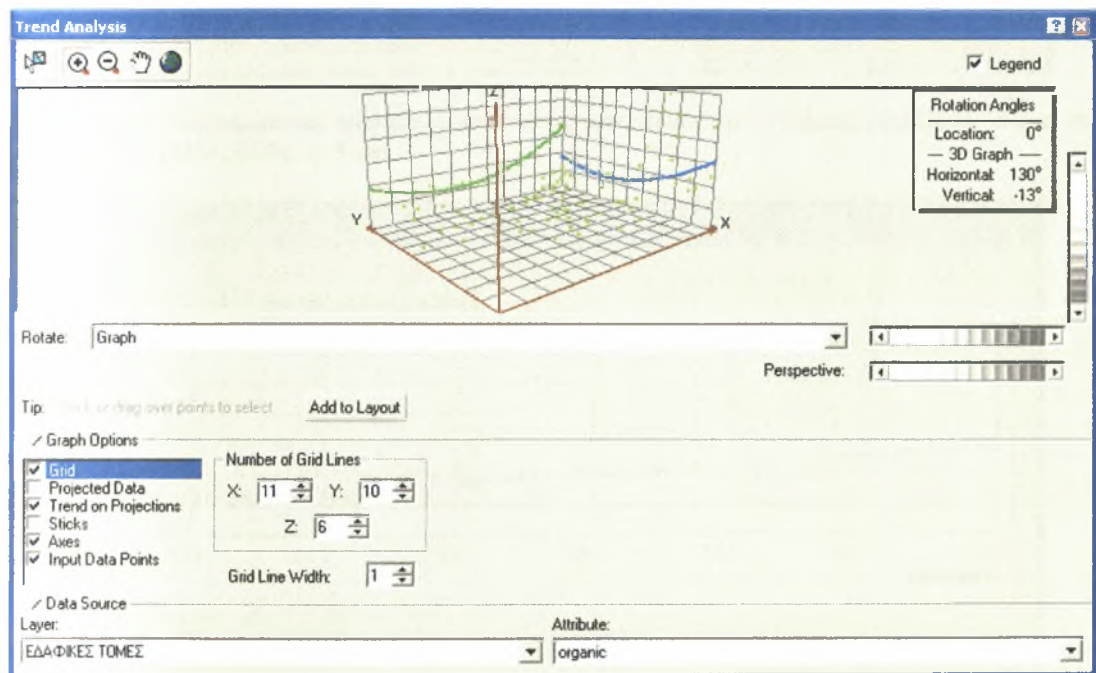
*Γράφημα 3.5. Κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής Αλμυρού Ν. Μαγνησίας σύμφωνα με την περιεκτικότητα σε οργανική ουσία*



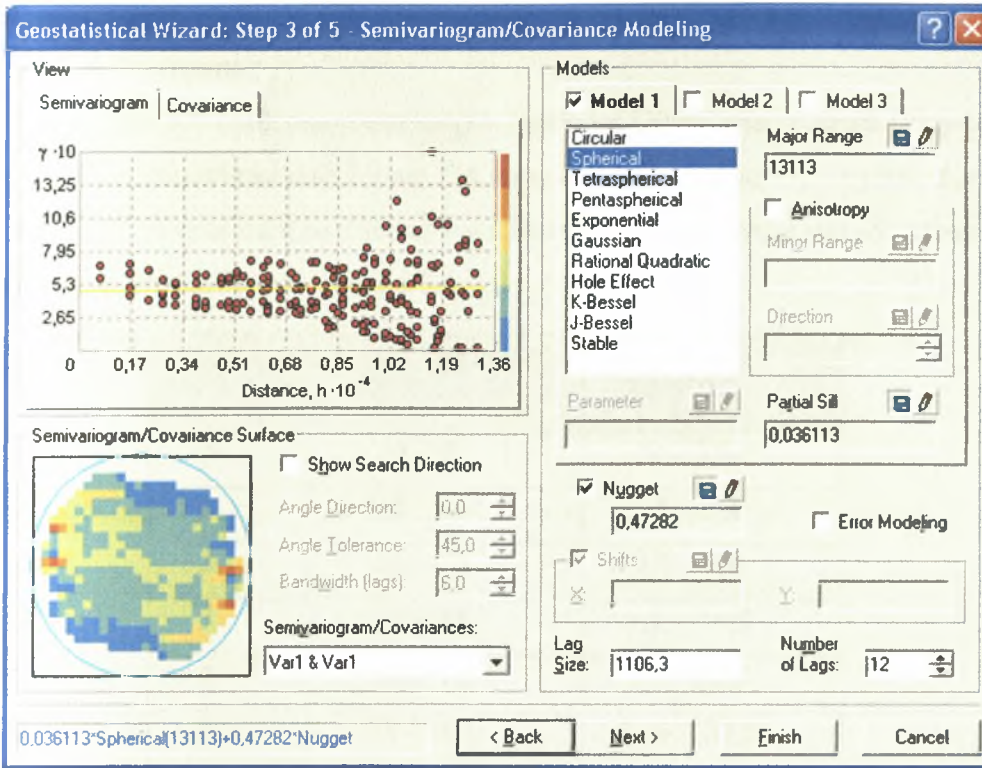
*Γράφημα 3.6. Κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων σύμφωνα με την περιεκτικότητα σε οργανική ουσία*



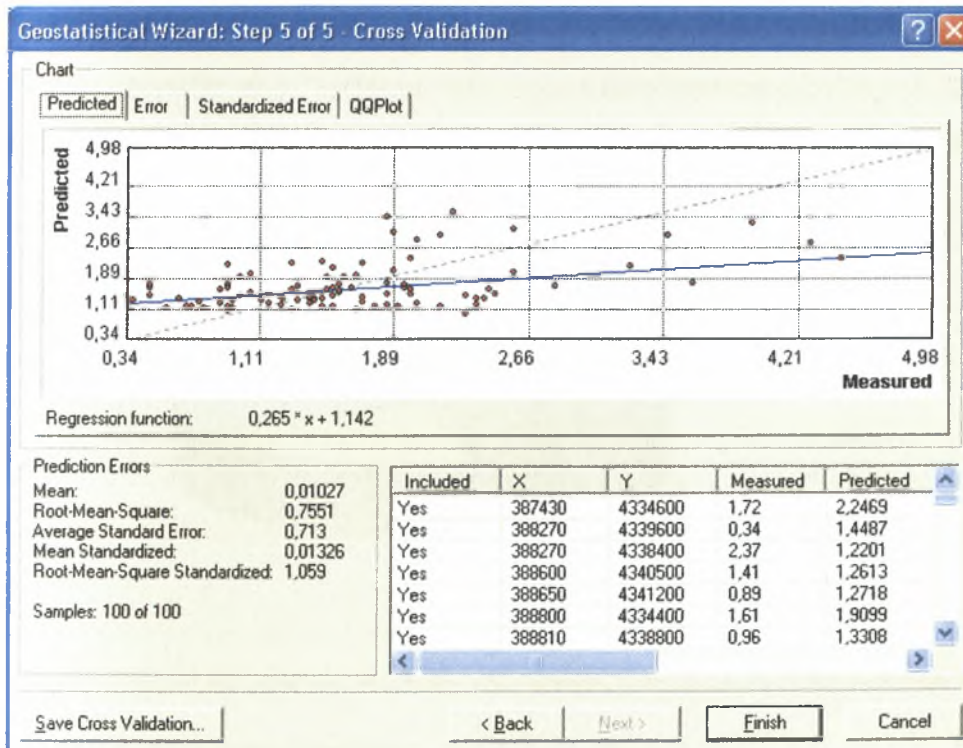
Εικόνα 3.9. Διασπορά των τιμών της οργανικής ουσίας σε εδάφη της περιοχής Αλμυρού σε βάθος 0-30cm.



Εικόνα 3.10. Ανάλυση της τάσης των τιμών της οργανικής ουσίας σε εδάφη της περιοχής Αλμυρού, σε βάθος 0-30cm.



Εικόνα 3.11. Διάγραμμα της ημιπαράλλακτικότητας των τιμών της οργανικής ουσίας σε εδάφη της περιοχής Αλμυρού σε βάθος 0-30cm.



Εικόνα 3.12. Έλεγχος της αξιοπιστίας του επιλεγόμενου προτύπου βάση των τιμών της οργανικής σε εδάφη της περιοχής Αλμυρού σε βάθος 0-30cm.



### Διαθέσιμος Φώσφορος

Η συγκέντρωση του διαθέσιμου φωσφόρου (μέθοδος Olsen) στα εδαφικά δείγματα σε βάθος 0-30cm κυμάνθηκε από 3,9 ως 134,4 mg kg<sup>-1</sup> ξηρού εδάφους, με μέση τιμή 27,94 mg kg<sup>-1</sup>. Η κατάταξη των εδαφών με βάση τη διαθεσιμότητα του εδαφικού φωσφόρου παρατίθεται στον πίνακα 3.5.

Πίνακας 3.5 Δείκτες διαθεσιμότητας εδαφικού φωσφόρου (0,5 M NaHCO<sub>3</sub>, pH = 8,5).

Δείκτης	mg kg <sup>-1</sup> ξ.ε.	kg στρ <sup>-1</sup> *
0	0 – 9	0 – 3,4
1	10 – 15	3,5 – 5,6
2	16 – 25	5,7 – 9,4
3	26 – 45	9,5 – 16,9
4	46 – 70	17 – 26,3
5	71 - 100	26,4 – 37,5

Η φαινόμενη πυκνότητα στα εδάφη αυτά λαμβάνεται ίση με 1,25 g/cm<sup>3</sup>, οπότε το στρέμμα σε βάθος 30 cm έχει μάζα 375 t.

Σύμφωνα με τον πίνακα 3 του παραρτήματος προκύπτει ότι τα εδαφικά δείγματα με βάση την περιεκτικότητα σε διαθέσιμο φώσφορο κατατάσσονται ως εξής: το 23% με δείκτη διαθεσιμότητας 0, το 15% με δείκτη 1, το 21% με δείκτη 2, το 24% με δείκτη 3, το 12% με δείκτη 4 και το 5% των δειγμάτων με δείκτη 5. (Γράφημα 3.5)



Γράφημα 3.7. Κατανομή των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής Αλμυρού με βάση την περιεκτικότητα σε διαθέσιμο φώσφορο.

Στο γράφημα παρατηρείται ότι το 38% (23+15) των εδαφικών δειγμάτων βρέθηκαν να έχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε διαθέσιμο φώσφορο (δείκτες 0 και 1). Στα εδάφη αυτά είναι απαραίτητη η εφαρμογή μεγάλων ποσοτήτων φωσφορικών

λιπασμάτων για πολλά χρόνια για να φθάσει το επίπεδο του διαθέσιμου φωσφόρου στο δείκτη 2. Στα εδάφη με δείκτες 4 και 5 δηλαδή ένα ποσοστό 17% (12+5) που περιέχουν μεγάλες ποσότητες διαθέσιμου φωσφόρου συνιστάται η αποφυγή φωσφορικών λιπάνσεων ώστε να μην υφίσταται επιβάρυνση του περιβάλλοντος με φωσφορικά. Οι υψηλές συγκεντρώσεις των εδαφών σε φώσφορο έχει ως αποτέλεσμα τη ρύπανση των εδαφών αυτών μέχρι και τους υδάτινους αποδέκτες με τις διαβρώσεις.

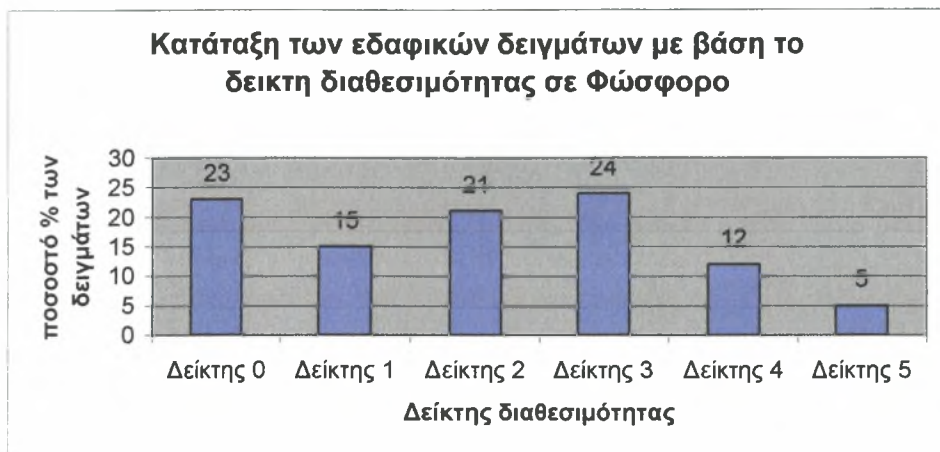
Το 41% των δειγμάτων της περιοχής (δείκτες 3,4 και 5) έχουν διαθέσιμο φώσφορο σε ποσότητες μεγαλύτερες από 9,4 kg στρ<sup>-1</sup> και θεωρούνται επαρκώς ως υπερβολικά εφοδιασμένα σε φώσφορο, επομένως δεν κρίνεται απαραίτητη η προσθήκη φωσφορικών λιπασμάτων. Η ποσότητα σε φώσφορο κρίνεται επαρκής ως υπερβολικές για την κάλυψη των αναγκών των καλλιεργειών της περιοχής (βαμβάκι, αραβόσιτος, ελιά, μηδική).

Πίνακας 3.6. Ελάχιστη, Μέγιστη και μέση τιμή της συγκέντρωσης του διαθέσιμου εδαφικού φωσφόρου.

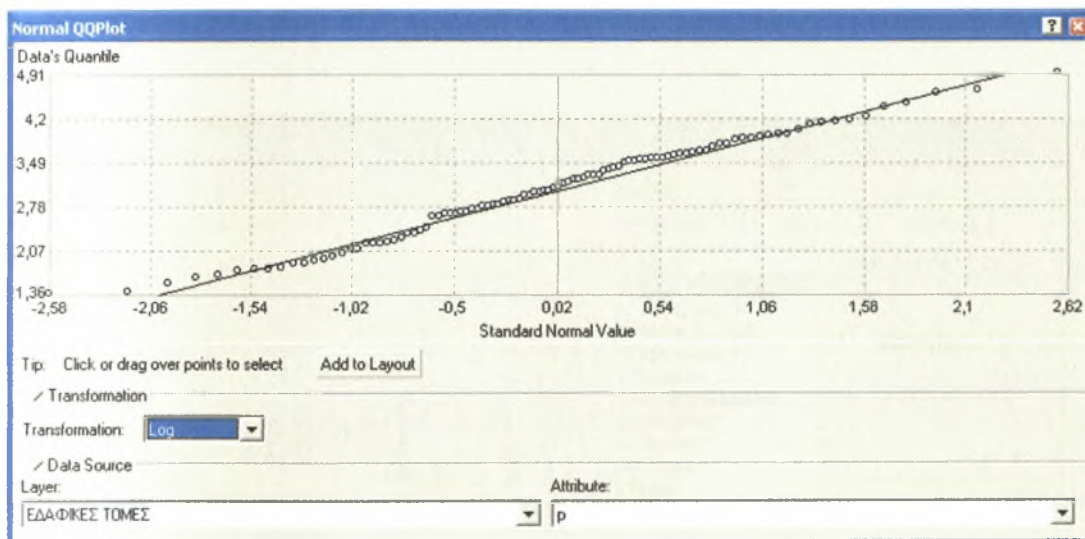
	<b>P mg kg<sup>-1</sup> ξηρού εδάφους</b>	<b>P kg στρ<sup>-1</sup> *</b>
<b>Ελάχιστη τιμή</b>	<b>3,9</b>	<b>1,46</b>
<b>Μέγιστη τιμή</b>	<b>134,4</b>	<b>50,4</b>
<b>Μέση τιμή</b>	<b>27,94</b>	<b>10,47</b>
<b>Συντελεστής παραλλακτικότητας (C.V.)</b>	<b>0,833</b>	<b>0,837</b>
<b>Τυπική απόκλιση (S.D.)</b>	<b>23,3</b>	<b>8,768</b>

Η φαινόμενη πυκνότητα στα εδάφη αυτά λαμβάνεται ίση με 1,25 g/cm<sup>3</sup>, οπότε το στρέμμα σε βάθος 30 cm έχει μάζα 375 t.

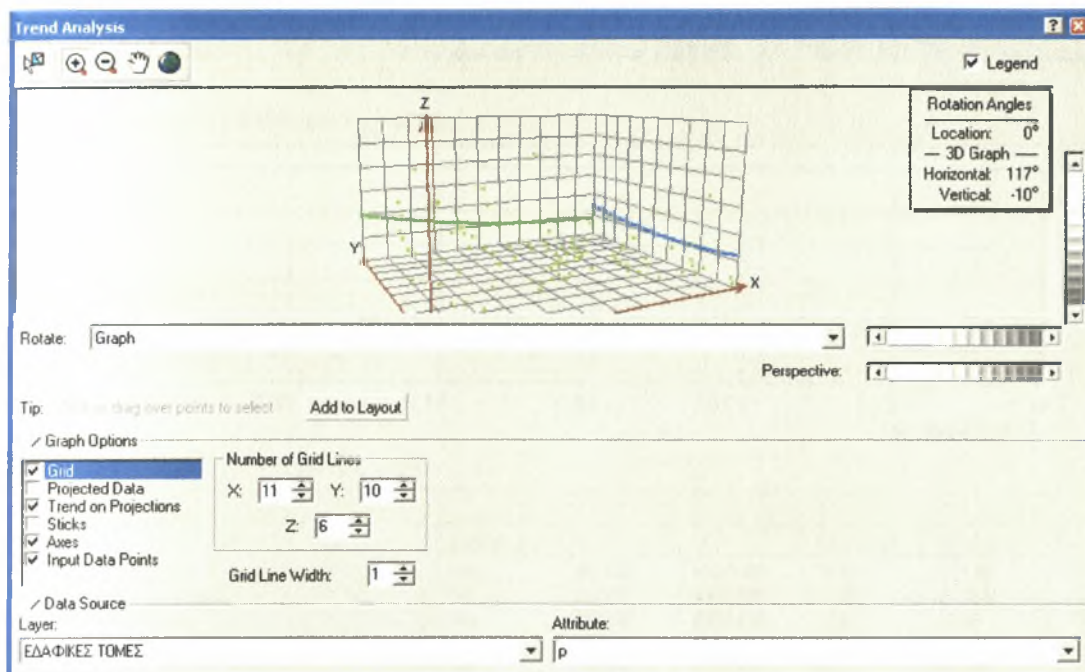
Οι μεγαλύτερες τιμές συγκέντρωσης διαθέσιμου φωσφόρου βρέθηκαν σε καλλιέργειες βαμβακιού και μηδικής. Στα σημεία T152, T240, T161, T166 παρατηρήθηκαν υψηλές συγκεντρώσεις διαθέσιμου φωσφόρου. Το pH στα σημεία αυτά κυμαίνεται από 6,201 ως 6,447. Αν ληφθεί υπόψη ότι η διαθεσιμότητα του φωσφόρου στα περισσότερα εδάφη είναι μεγαλύτερη όταν το pH κυμαίνεται από 6 έως 6,5 ενώ σε τιμές pH άνω του 7, τα ιόντα του Ca και του Mg προκαλούν κατακρήμιση του προστιθέμενου φωσφόρου και η διαθεσιμότητα του ξανά ελαττώνεται, τα παραπάνω αποτελέσματα επιβεβαιώνονται



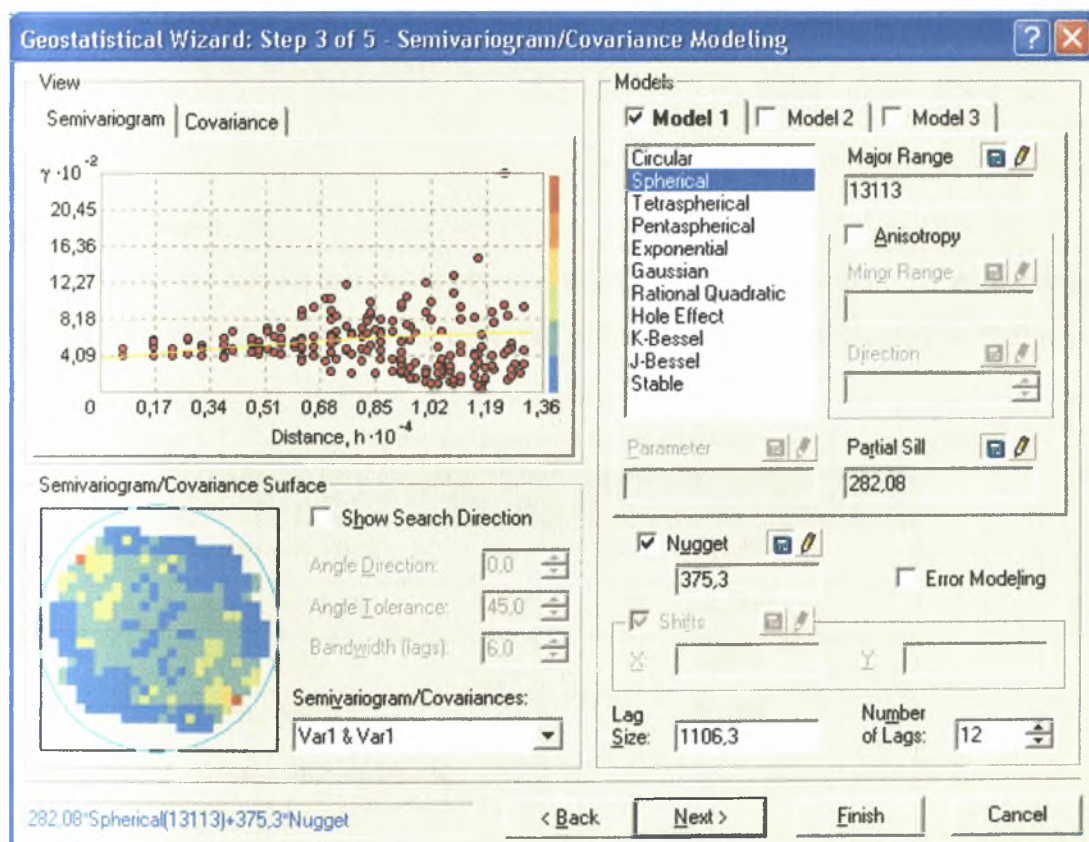
Γράφημα 3.8. Κατάταξη των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής Αλμυρού με βάση το δείκτη διαθεσιμότητας σε φώσφορο.



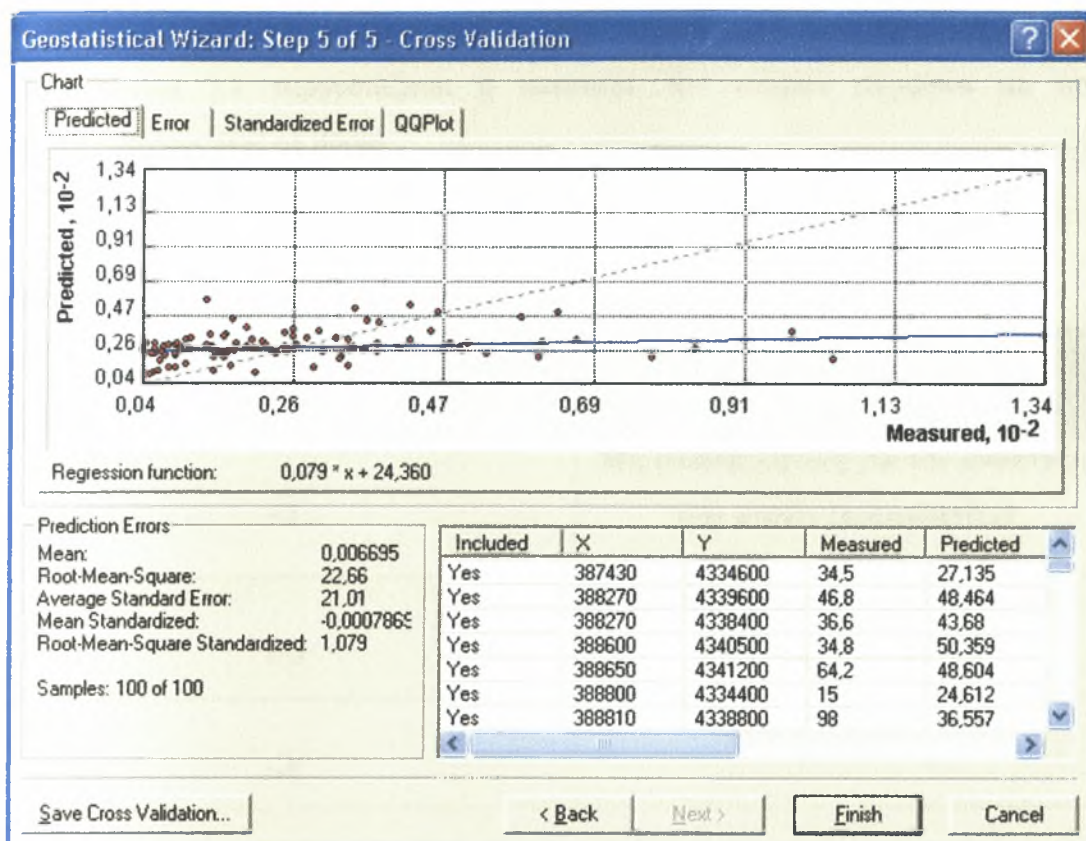
Εικόνα 3.13. Διασπορά των τιμών του διαθέσιμου φωσφόρου σε εδάφη της περιοχής Αλμυρού σε βάθος 0-30cm.



Εικόνα 3.14. Ανάλυση της τάσης των τιμών του διαθέσιμου φωσφόρου σε εδάφη της περιοχής Αλμυρού σε βάθος 0-30cm.



Εικόνα 3.15. Διάγραμμα της ημιπαράλλακτικότητας των τιμών του διαθέσιμου φωσφόρου σε εδάφη της περιοχής Αλμυρού σε βάθος 0-30cm.



Εικόνα 3.16. Έλεγχος της αξιοπιστίας του επιλεγόμενου προτύπου βάση των τιμών του διαθέσιμου φωσφόρου σε εδάφη της περιοχής Αλμυρού σε βάθος 0-30cm.

## Διαθέσιμο Βόριο

Με βάση τον πίνακα του παραρτήματος δημιουργήθηκε ο πίνακας 3.7 στον οποίο παρατηρούνται οι ελάχιστες και οι μέγιστες τιμές του διαθέσιμου Βορίου σε βάθος 0-30cm.

Πίνακας 3.7. Ελάχιστη, Μέγιστη και μέση τιμή της συγκέντρωσης του βορίου στο έδαφος

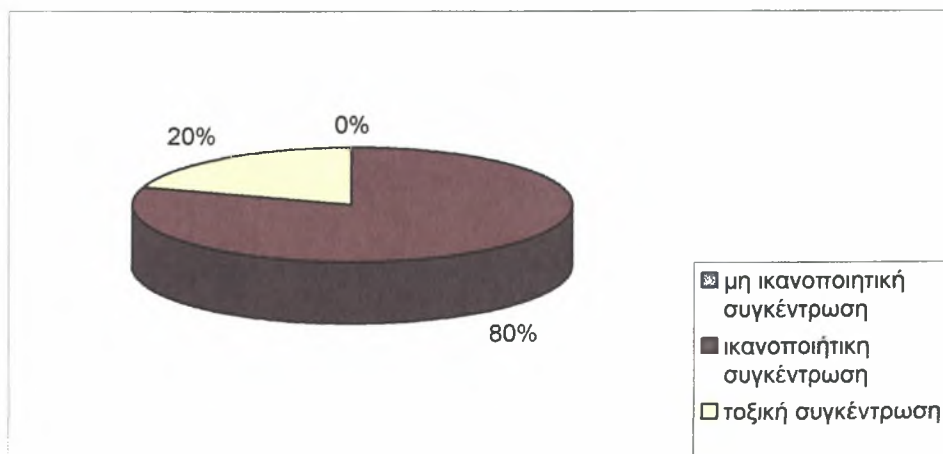
	B mg kgr <sup>-1</sup> ξ.ε.
Ελάχιστη τιμή	1,138
Μέγιστη τιμή	22,008
Μέση τιμή	4,074
Συντελεστής παραλλακτικότητας (C.V.)	0,698
Τυπική απόκλιση (S.D.)	2,8434

Στον πίνακα 3.8 παρουσιάζεται η κατάταξη των εδαφών σύμφωνα με την περιεκτικότητά τους σε βόριο.

Πίνακας 3.8. Κατάταξη των εδαφών με βάση την τιμή του βορίου. (Reisenauer et al, 1973)

Συγκέντρωση Βορίου στο έδαφος mg kgr <sup>-1</sup> ξ.ε.	Χαρακτηρισμός
<1	Μη ικανοποιητική για την ανάπτυξη των φυτών (τροφοπενίες)
1-5	Συνήθως ικανοποιητική για την ανάπτυξη των φυτών
>5	Τοξική για όλα τα φυτά

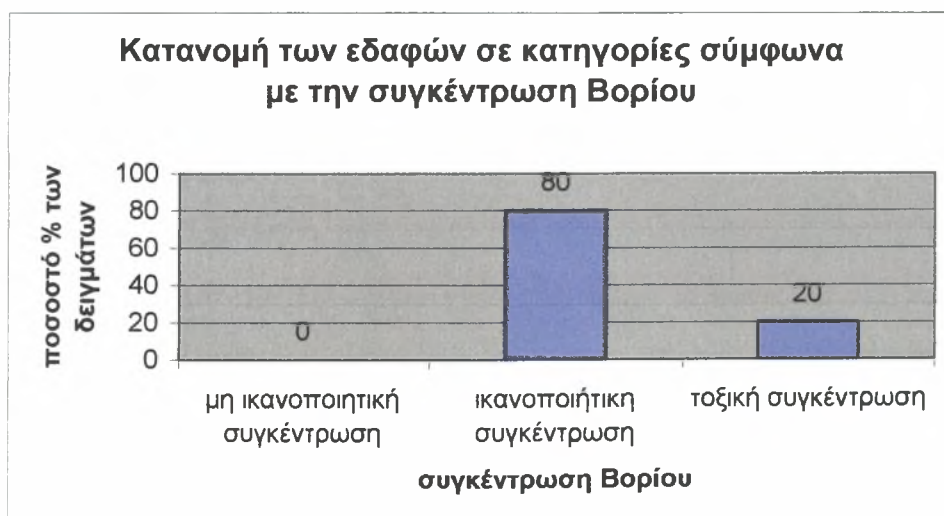
Σύμφωνα με τον πίνακα 3 του παραρτήματος δημιουργήθηκε το γράφημα στο οποίο παρουσιάζεται η κατανομή των εδαφικών δειγμάτων με βάση τη συγκέντρωση βορίου.



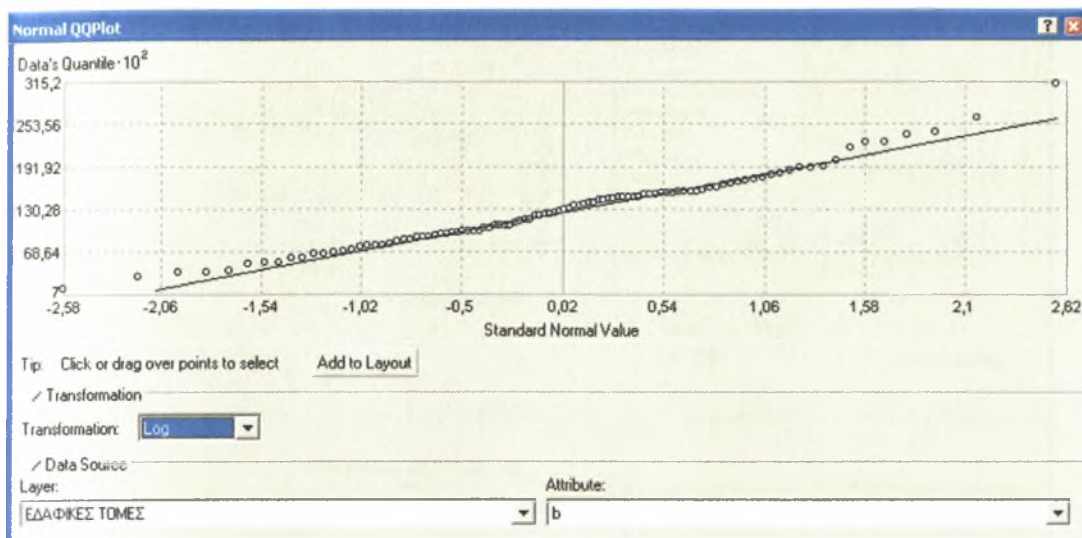
Γράφημα 3.8. Κατανομή των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής Αλμυρού με βάση την περιεκτικότητά σε βόριο

Στα σημεία T212 και T165 όπου τα εδάφη είναι πολύ ισχυρώς όξινα η ελάχιστη τιμή του Βορίου ήταν  $1,758 \text{ mg kg}^{-1}$  ξ.ε. και η μέγιστη  $2,607 \text{ mg kg}^{-1}$  ξ.ε. με μέσο όρο  $2,1825 \text{ mg kg}^{-1}$  ξ.ε.. Σε εδάφη με  $\text{pH}=5-5,8$  η ελάχιστη τιμή του Βορίου βρέθηκε ίση με  $1,422 \text{ mg kg}^{-1}$  ξ.ε. ενώ η μέγιστη ίση με  $4,27 \text{ mg kg}^{-1}$  ξ.ε. και μέσο όρο τιμών  $2,484 \text{ mg kg}^{-1}$  ξ.ε.. Στα μετρίως όξινα εδάφη η συγκέντρωση του Βορίου κυμάνθηκε από  $1,861$  έως  $5,913 \text{ mg kg}^{-1}$  ξ.ε.. Ο μέσος όρος του βρέθηκε ίσος με  $4,194 \text{ mg kg}^{-1}$  ξ.ε.. Σε εδάφη με  $\text{pH}=6,5-7,5$  ο μέσος όρος του Βορίου ήταν  $3,31 \text{ mg kg}^{-1}$  ξ.ε. με ελάχιστη  $1,422 \text{ mg kg}^{-1}$  ξ.ε. και μέγιστη  $6,289 \text{ mg kg}^{-1}$  ξ.ε. Τέλος στα αλκαλικά εδάφη που περιλαμβάνουν 64 εδαφικά δείγματα η ελάχιστη τιμή Βορίου ήταν  $1,138 \text{ mg kg}^{-1}$  ξ.ε., η μέγιστη  $22,008 \text{ mg kg}^{-1}$  ξ.ε. ενώ ο μέσος όρος  $4,423 \text{ mg kg}^{-1}$  ξ.ε..

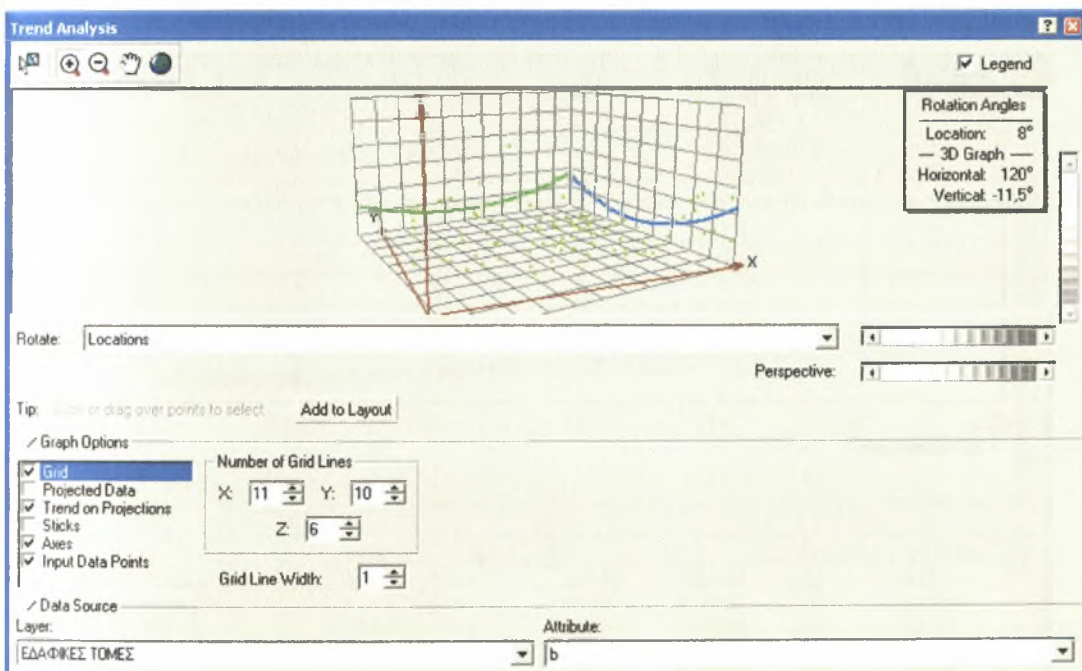
Από τις τιμές των συγκεντρώσεων Βορίου που υπολογίστηκαν προκύπτει ότι παρατηρείται υπέρβαση της τιμής των  $5 \text{ mg kg}^{-1}$  ξ.ε., οπότε αναμένεται να παρατηρηθούν προβλήματα τοξικότητας Βορίου στις καλλιέργειες στις οποίες βρέθηκαν οι υψηλές συγκεντρώσεις του βορίου της υπό μελέτης περιοχής. Δεν υπάρχει κίνδυνος να παρουσιαστούν συμπτώματα τροφопενίας των φυτών, αφού δεν βρέθηκε κανένα από τα δείγματα να έχει συγκέντρωση Βορίου κάτω από  $1 \text{ mg kg}^{-1}$ . Για το 80% των εδαφικών δειγμάτων η συγκέντρωση του Βορίου κρίνεται ικανοποιητική για την ανάπτυξη των φυτών.



*Γράφημα 3.7. Κατανομή των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής Αλμυρού με βάση την περιεκτικότητα σε βόριο.*

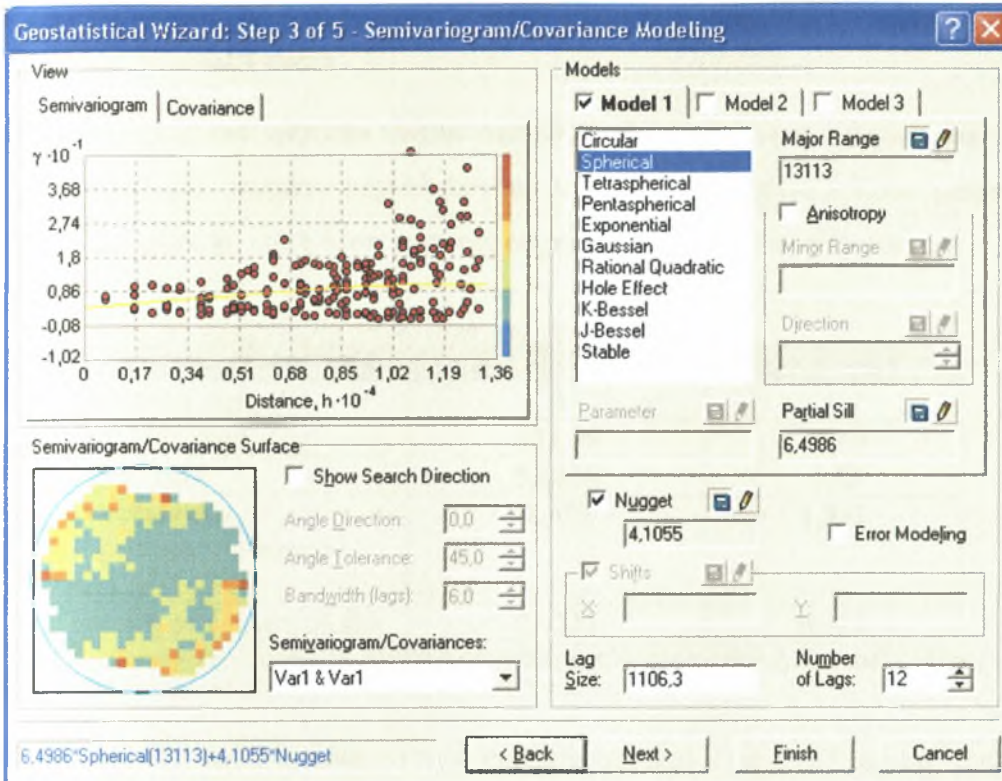


Εικόνα 3.17. Διασπορά των τιμών του διαθέσιμου Βορίου σε εδάφη της περιοχής Αλμυρού, σε βάθος 0-30cm.

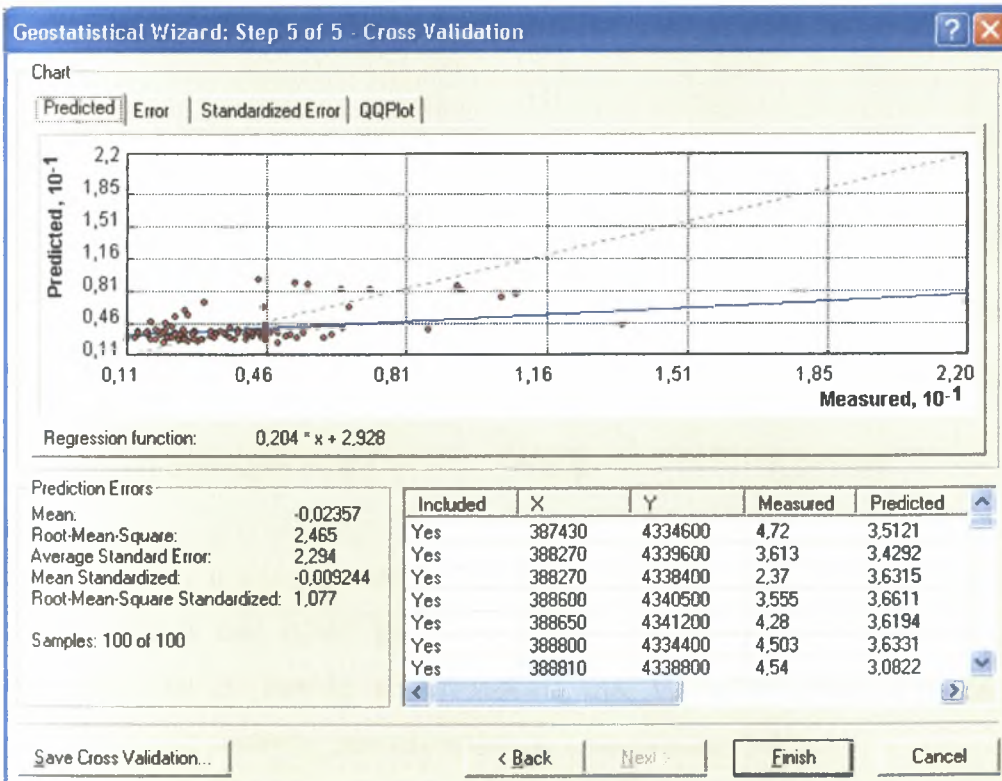


Εικόνα 3.18. Ανάλυση της τάσης των τιμών του διαθέσιμου Βορίου σε εδάφη της περιοχής Αλμυρού σε βάθος 0-30cm.





Εικόνα 3.19. Διάγραμμα της ημιπαράλλακτικότητας των τιμών του διαθέσιμου Βορίου σε εδάφη της περιοχής Αλμυρού σε βάθος 0-30cm.



Εικόνα 3.20. Έλεγχος της αξιοπιστίας του επιλεγόμενου προτύπου βάση των τιμών του διαθέσιμου Βορίου σε εδάφη της περιοχής Αλμυρού σε βάθος 0-30cm.

## Νιτρικά και Νιτρώδη ιόντα

Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών ιόντων στα εδαφικά δείγματα κυμάνθηκαν από 0 ως 421,09 mg kg<sup>-1</sup> ξ.ε. με μέση τιμή 53,416 mg kg<sup>-1</sup> ξ.ε. Στον πίνακα 3.9 αναγράφονται η ελάχιστη, η μέγιστη και η μέση τιμή της συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων.

Πίνακας 3.9. Ελάχιστη, μέγιστη και μέση τιμή νιτρικών ιόντων.

	NO <sup>-3</sup> mg kg <sup>-1</sup> ξ.ε.	kgf N στρ <sup>-1</sup>
Ελάχιστη τιμή	0	0
Μέγιστη τιμή	421,09	35,65
Μέση τιμή	53,416	4,52
Συντελεστής παραλλακτικότητας (C.V.)	1,333	1,332
Τυπική απόκλιση (S.D.)	71,222	6,024

\*Η φαινόμενη πυκνότητα του εδάφους στα εδάφη αυτά είναι περίπου 1,25gr cm<sup>-3</sup> εδάφους, οπότε το στρέμμα σε βάθος 30cm έχει μάζα 375t

Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών ιόντων κυμάνθηκαν από 0 ως 2,185 mg kg<sup>-1</sup> ξ.ε. με μέση τιμή 0,107 mg kg<sup>-1</sup> ξ.ε. Στον πίνακα 3.10 αναγράφονται η ελάχιστη, η μέγιστη και η μέση τιμή της συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων. Η ποσότητα του αζώτου που αντιστοιχεί στην συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων κυμάνθηκε από 0 έως 35,65 kgf N στρ<sup>-1</sup>, με μέση τιμή 4,52 kgf N στρ<sup>-1</sup>.

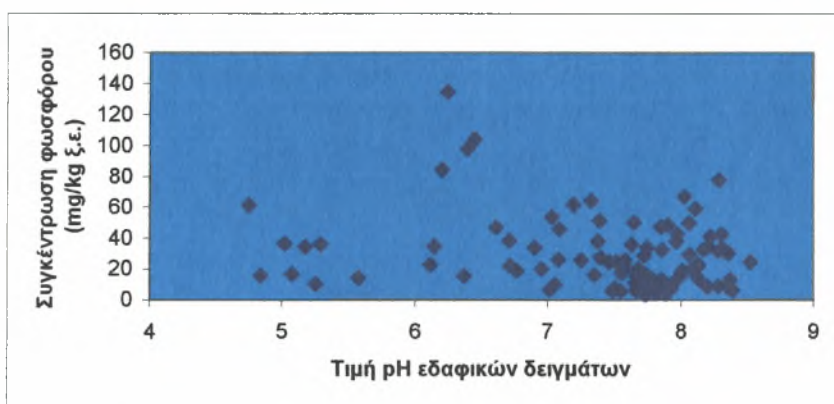
Πίνακας 3.10. Ελάχιστη, μέγιστη και μέση τιμή νιτρικών ιόντων.

	NO <sup>-3</sup> mg kg <sup>-1</sup> ξ.ε.	kgf N στρ <sup>-1</sup>
Ελάχιστη τιμή	0	0
Μέγιστη τιμή	2,185	0,249
Μέση τιμή	0,107	0,012
Συντελεστής παραλλακτικότητας (C.V.)	2,22	2,26
Τυπική απόκλιση (S.D.)	0,238	0,027188

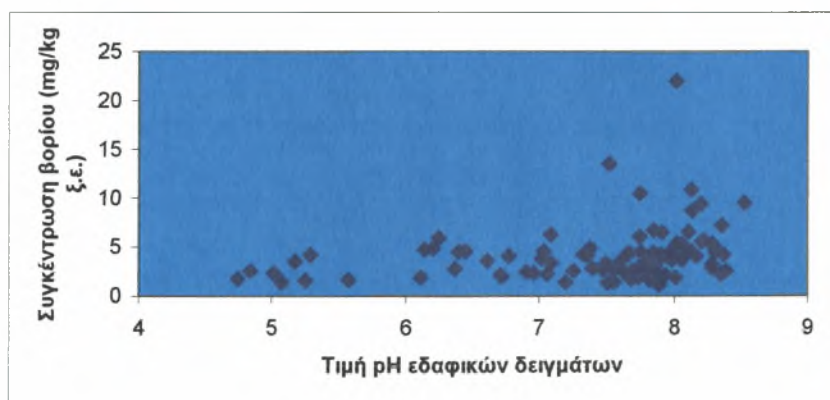
Η ποσότητα του αζώτου που αντιστοιχεί στην συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων κυμάνθηκε από 0 έως 0,249 kgf N στρ<sup>-1</sup>, με μέση τιμή 0,012 kgf N στρ<sup>-1</sup>. Επισημαίνεται ότι οι υψηλές συγκεντρώσεις των νιτρικών ιόντων δύναται να αποτελέσουν πηγές ρύπανσης των υπόγειων και επιφανειακών υδάτων.

Στον πίνακα 3 του παραρτήματος παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις του διαθέσιμου Βορίου, του διαθέσιμου Φωσφόρου και των νιτρικών και νιτρωδών ιόντων στα εδάφη της περιοχής του Αλμυρού σε βάθος 0-30 cm εκφρασμένες σε mg kg<sup>-1</sup> ξ.ε.. Επίσης παρουσιάζονται οι ποσότητες του διαθέσιμου Φωσφόρου και των νιτρικών και νιτρωδών ιόντων που αντιστοιχούν στις εκάστοτε συγκεντρώσεις σε κιλά ανά στρέμμα (kg N στρ<sup>-1</sup>). Οι ποσότητες αυτές μετατράπηκαν από mg kg<sup>-1</sup> ξ.ε. σε kg N στρ<sup>-1</sup> λαμβανομένου υπ'όψην ότι όταν η φαινομενική πυκνότητα του εδάφους είναι 1.25 gr cm<sup>-3</sup> σε βάθος 30cm η μάζα του εδάφους το στρέμμα ανέρχεται σε 375 τόνους.

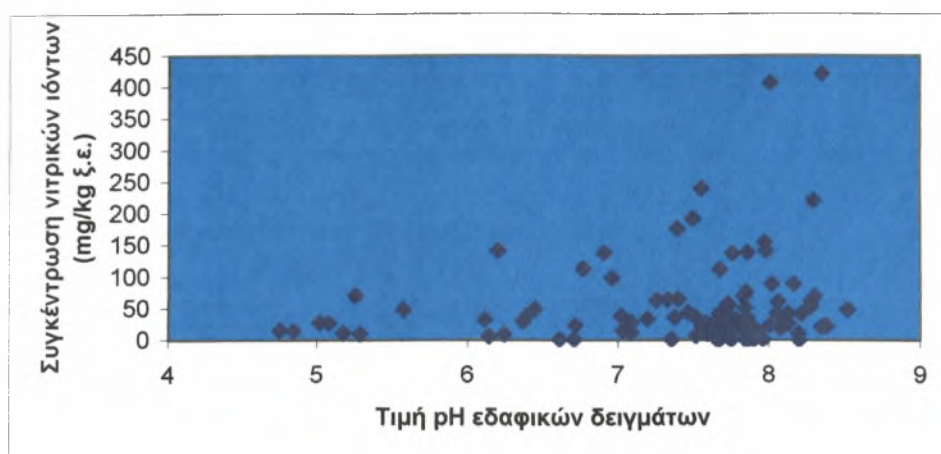
Στα γραφήματα που ακολουθούν αναπαριστώνται οι τιμές των συγκεντρώσεων του διαθέσιμου φωσφόρου, του διαθέσιμου βορίου, των νιτρικών ιόντων και των νιτρωδών ιόντων σε συνάρτηση με το pH. Δεν βρίσκεται καμία συσχέτιση μεταξύ των τιμών του pH των εδαφών και των συγκεντρώσεων σε φώσφορο, βόριο, νιτρικά και νιτρώδη ιόντα.



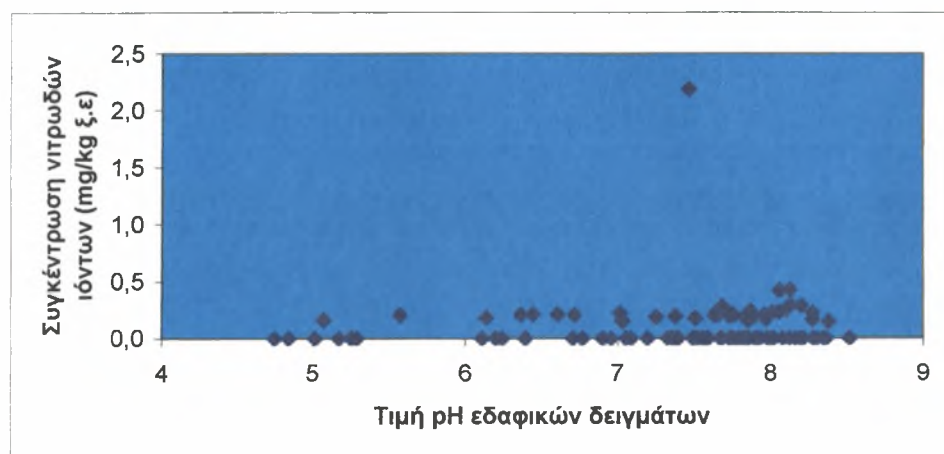
Γράφημα 3.8. Συγκεντρώσεις φωσφόρου των εδαφικών δειγμάτων σε συνάρτηση με τις τιμές pH αυτών.



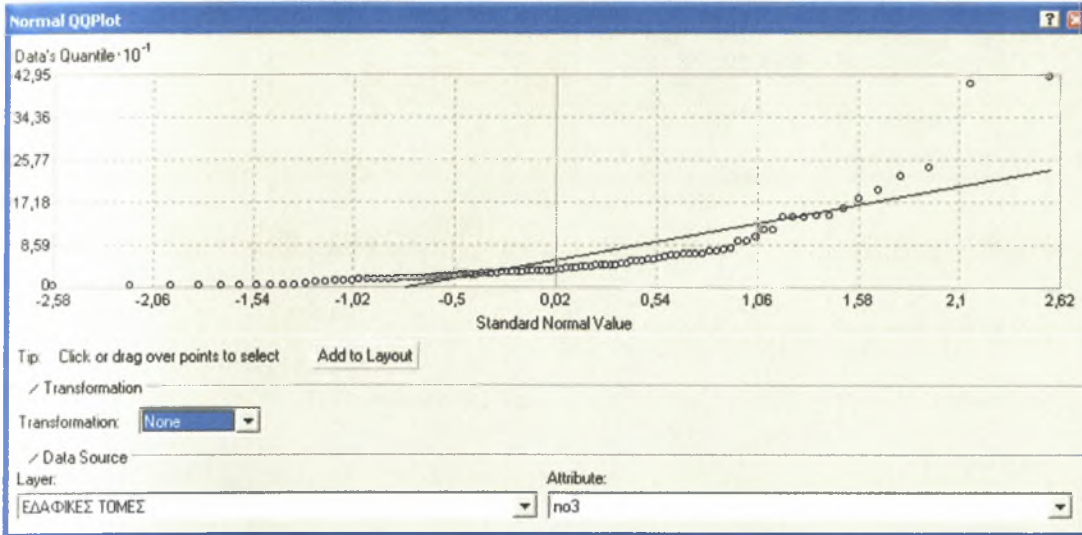
Γράφημα 3.9. Συγκεντρώσεις βορίου των εδαφικών δειγμάτων σε συνάρτηση με τις τιμές pH αυτών.



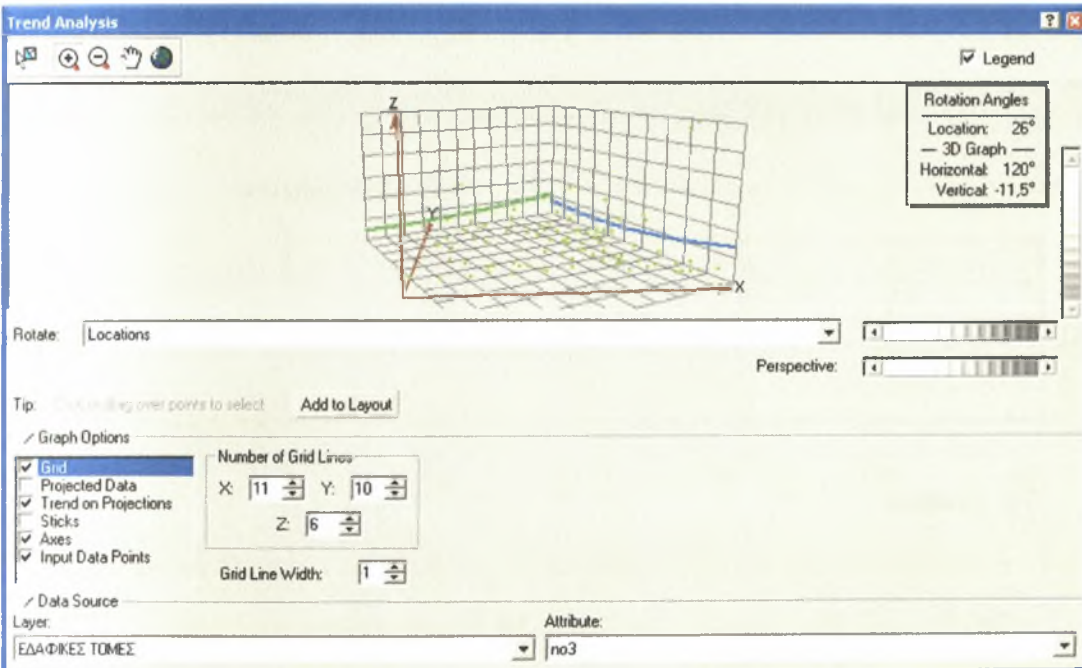
Γράφημα 3.8. Συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων των εδαφικών δειγμάτων σε συνάρτηση με τις τιμές pH αυτών.



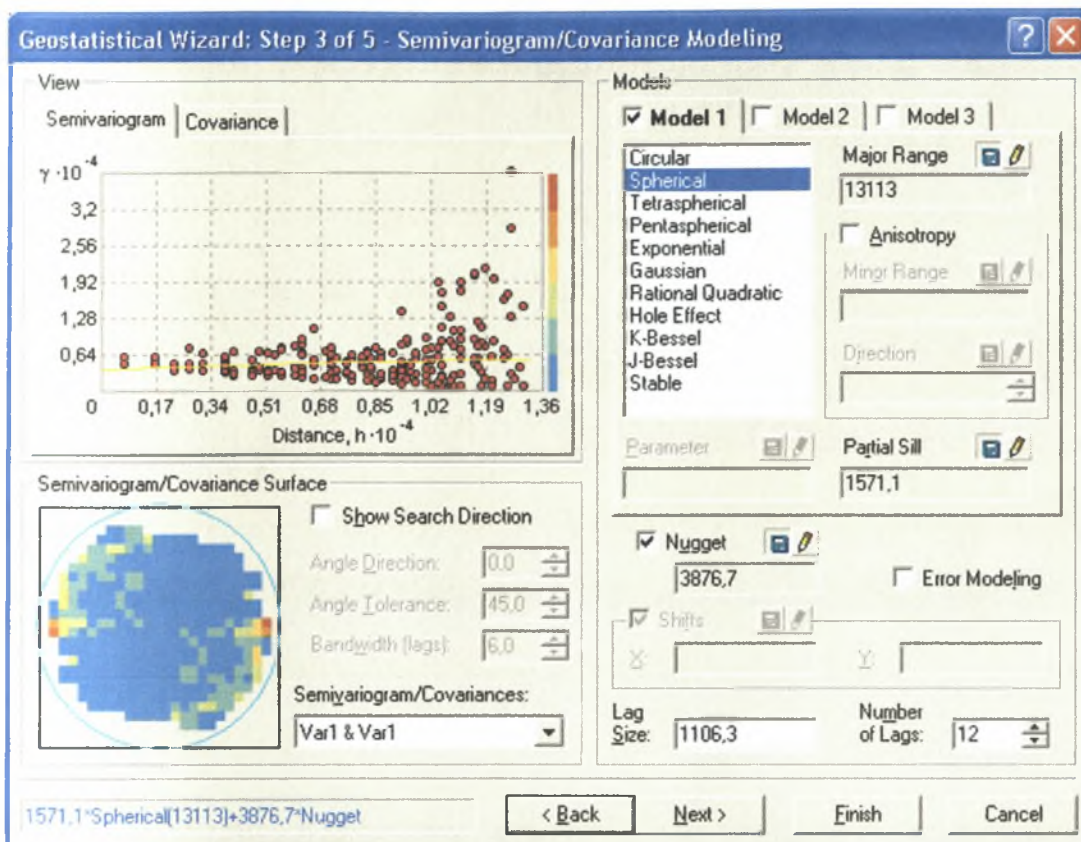
Γράφημα 3.9. Συγκεντρώσεις νιτρωδών ιόντων των εδαφικών δειγμάτων σε συνάρτηση με τις τιμές pH αυτών.



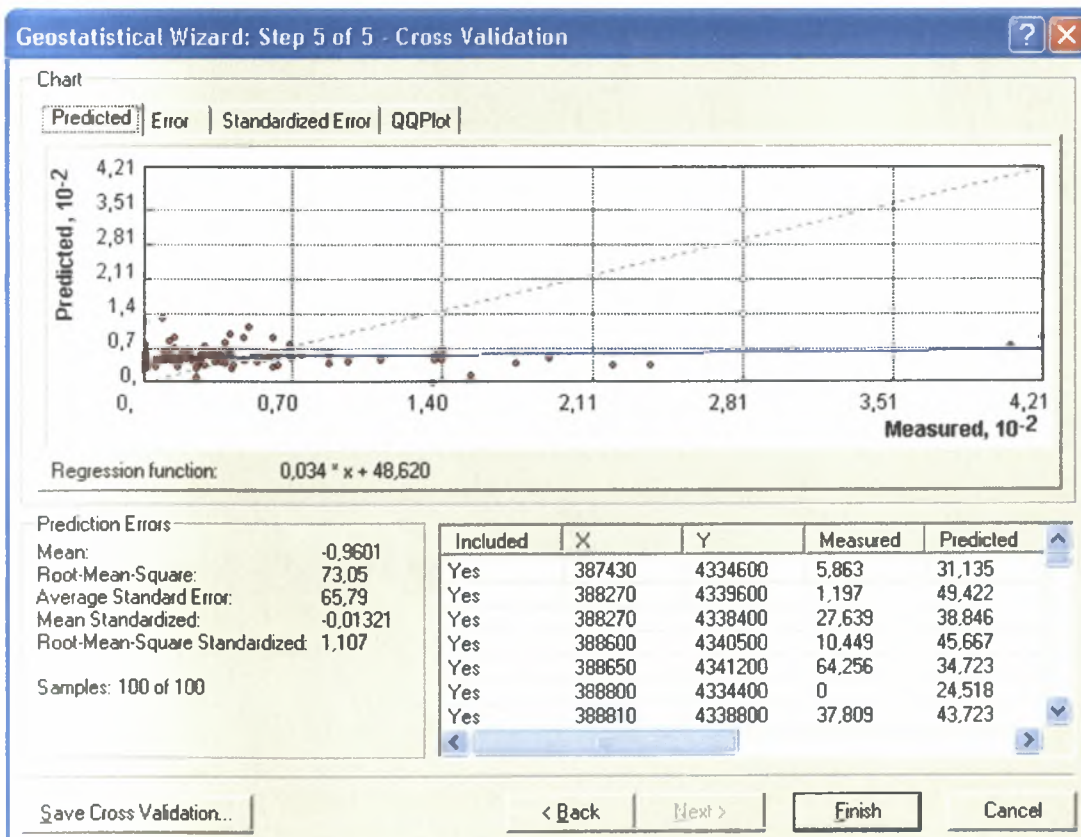
Εικόνα 3.21. Διασπορά των τιμών των συγκεντρώσεων των νιτρικών ιόντων σε εδάφη της περιοχής Αλμυρού, σε βάθος 0-30cm.



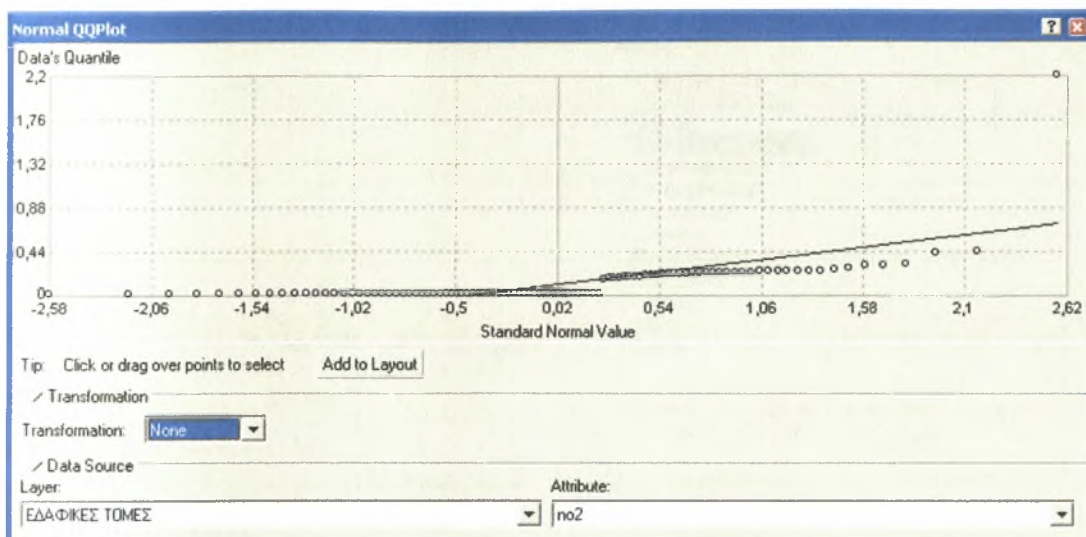
Εικόνα 3.22. Ανάλυση της τάσης των τιμών των συγκεντρώσεων των νιτρικών ιόντων σε εδάφη της περιοχής Αλμυρού σε βάθος 0-30cm.



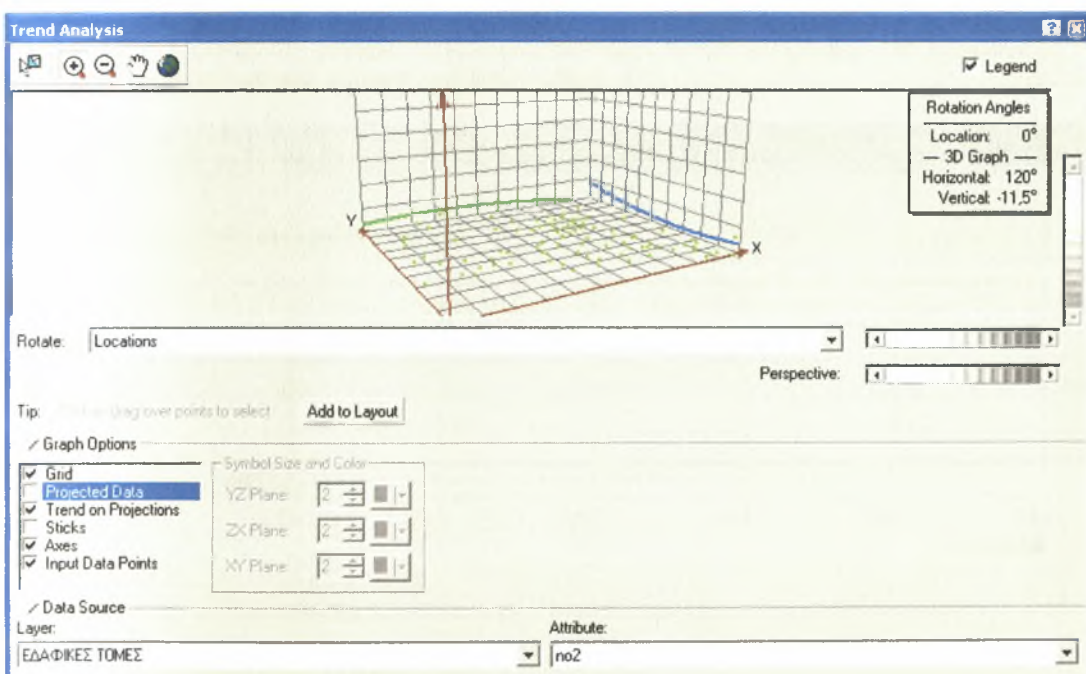
Εικόνα 3.23. Διάγραμμα της ημιπαράλλακτικότητας των τιμών των συγκεντρώσεων των νιτρικών ιόντων σε εδάφη της περιοχής Αλμυρού σε βάθος 0-30cm.



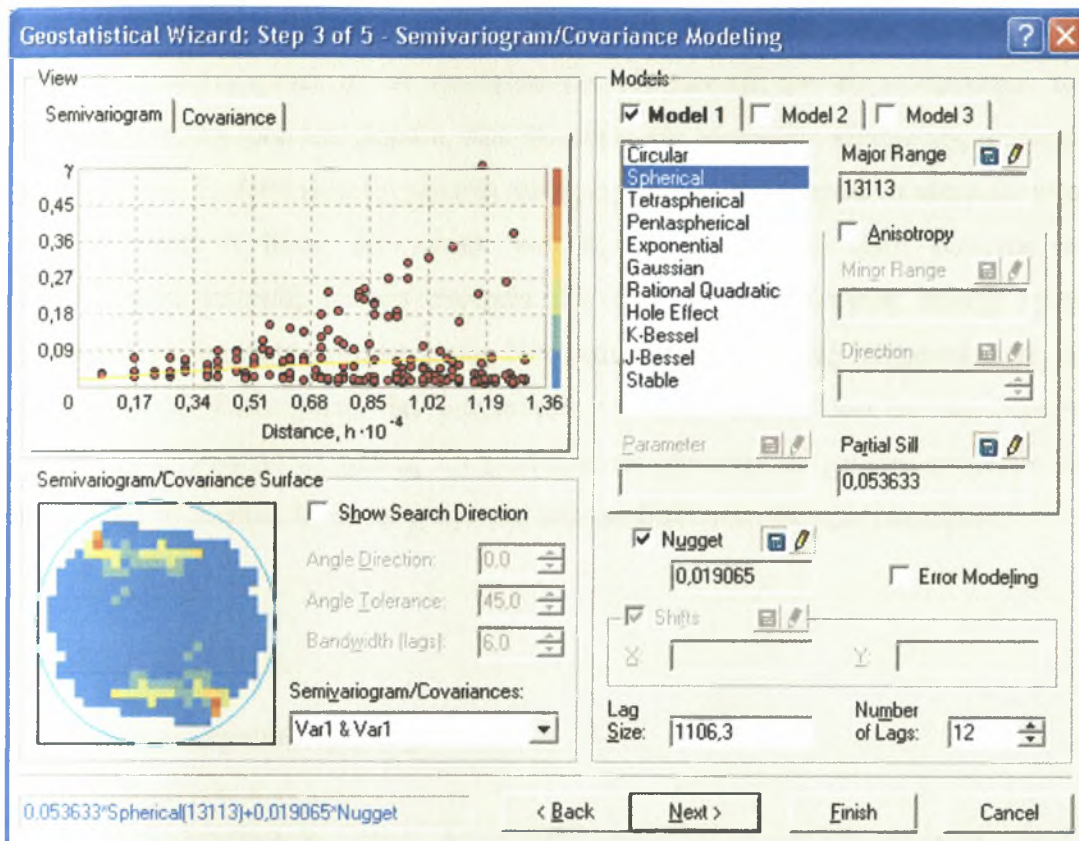
Εικόνα 3.24. Έλεγχος της αξιοπιστίας του επιλεγμένου προτύπου βάσει των τιμών των συγκεντρώσεων των νιτρικών ιόντων σε εδάφη της περιοχής Αλμυρού σε βάθος 0-30cm.



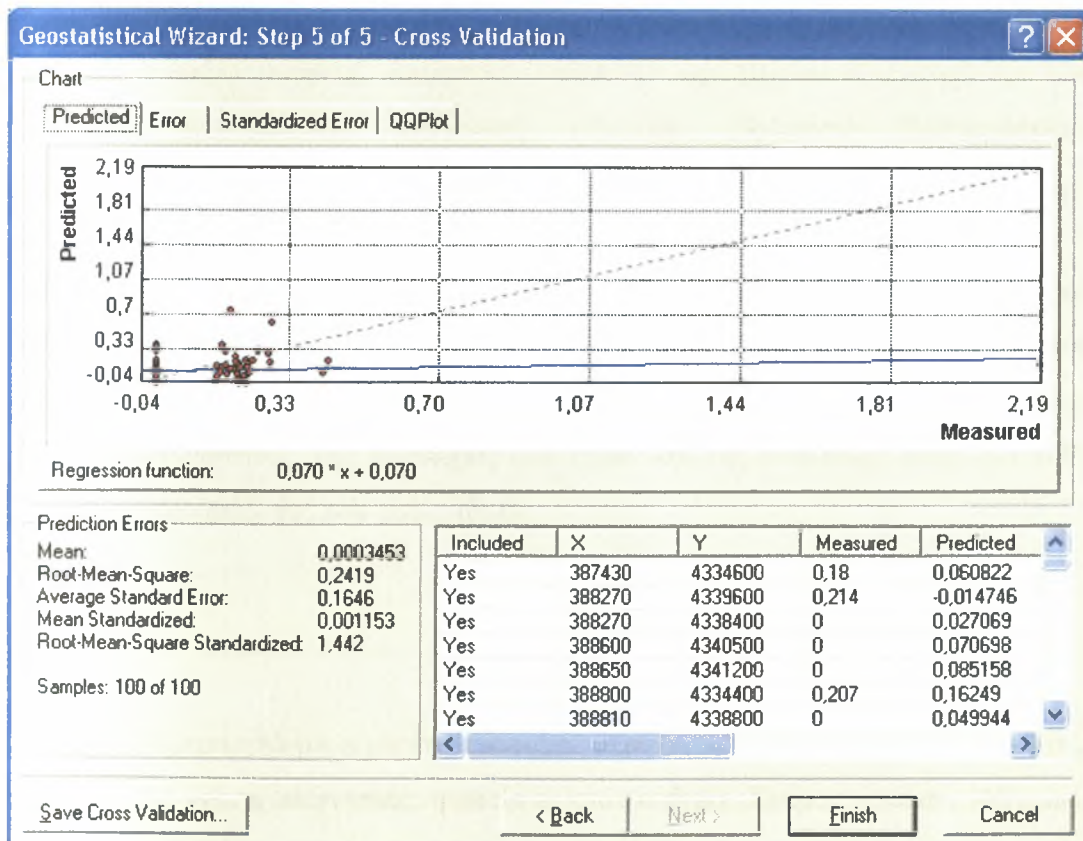
Εικόνα 3.25. Διασπορά των τιμών των συγκεντρώσεων των νιτροδίων ιόντων σε εδάφη της περιοχής Αλμυρού σε βάθος 0-30cm.



Εικόνα 3.26. Ανάλυση της τάσης των τιμών των συγκεντρώσεων των νιτροδίων ιόντων σε εδάφη της περιοχής Αλμυρού σε βάθος 0-30cm.



Εικόνα 3.27. Διάγραμμα της ημιπαρολλακτικότητας των τιμών των συγκεντρώσεων των νιτρικών ιόντων σε εδάφη της περιοχής Αλμυρού σε βάθος 0-30cm.



Εικόνα 3.28. Έλεγχος της αξιοπιστίας του επιλεγμένου προτύπου βάση των τιμών των συγκεντρώσεων των νιτρικών ιόντων σε εδάφη της περιοχής Αλμυρού σε βάθος 0-30cm.



Με τη δημιουργία των θεματικών χαρτών πραγματοποιήθηκε η απεικόνιση της χωρικής παραλλακτικότητα των ιδιοτήτων των εδαφών και των συγκεντρώσεων του διαθέσιμου φωσφόρου και βορίου, των νιτρικών και νιτρωδών ιόντων της περιοχής του Αλμυρού. Τα δεδομένα της έρευνα αυτής έχουν την δυνατότητα να ανανεώνονται διαρκώς, γιατί η βάση δεδομένων που έχει δημιουργηθεί είναι δυνατόν να εμπλουτίζεται συνεχώς με νέα στοιχεία. Οι θέσεις δειγματοληψίας επίσης έχουν καθοριστεί με ακριβείς συντεταγμένες. Νέες και ίσως πυκνότερες δειγματοληψίες, σε τακτά χρονικά διαστήματα, θα μπορούσαν να επαληθεύουν και να διορθώνουν συνεχώς τους ψηφιακούς χάρτες. Οι χάρτες αυτοί δύνανται να χρησιμοποιηθούν για την εφαρμογή σωστής λιπαντικής αγωγής και περιβαλλοντικών προγραμμάτων.

### 3.2 Ψηφιακοί θεματικοί χάρτες

Για τη δημιουργία των θεματικών χαρτών χρησιμοποιήθηκαν, όπως προαναφέρθηκε, γεωστατιστικές και προκαθοριστικές μέθοδοι. Για την επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου έγιναν δοκιμές και συγκρίσεις των μεθόδων παρεμβολής (ordinary, simple, universal, indicator, probability και disjunctive kriging) και των προτύπων (μαθηματικών μοντέλων) (Circular, Spherical, Tetraspherical, Pentaspherical, Exponential, Gaussian, Rational quadratic, Hole Effect, k-Bessel, j-Bessel και Stable). Για τη δημιουργία των θεματικών χαρτών τελικά επιλέχθηκε η μέθοδος εσωεκτίμησης Ordinary Kriging ενώ για την επιλογή του καταλληλότερου προτύπου εκτίμησης της συνεχούς παραλλακτικότητας κάθε παραμέτρου που μελετήθηκε, δημιουργήθηκαν και εξετάστηκαν τα γραφήματα της ημιπαραλλακτικότητας, της διασποράς των τιμών και της ανάλυσης τάσης για κάθε μία από τις παραμέτρους που μελετήθηκε.

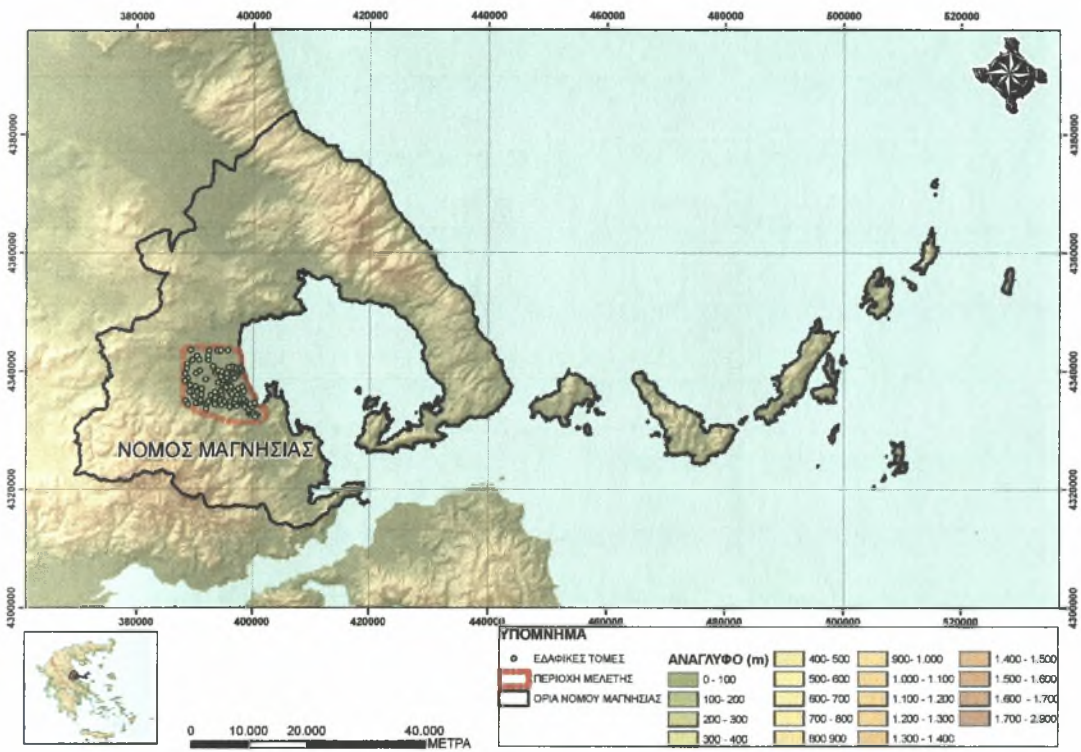
Αρχικά δημιουργήθηκε ο χάρτης αναφοράς στον οποίο φαίνεται όλη η περιοχή της Αλμυρού του νομού Μαγνησίας η οποία ψηφιοποιήθηκε (Σταματοπούλου, Μήτσιος και Φλωράς, 2002).

Στο χάρτη αναφοράς παρουσιάζεται το εδαφικό ανάγλυφο, το οδικό δίκτυο, αλλά και το υδρογραφικό δίκτυο, επίσης παρουσιάζονται οι οικισμοί από τους οποίους συνελέγησαν τα εδαφικά δείγματα σε βάθος 0-30 cm.

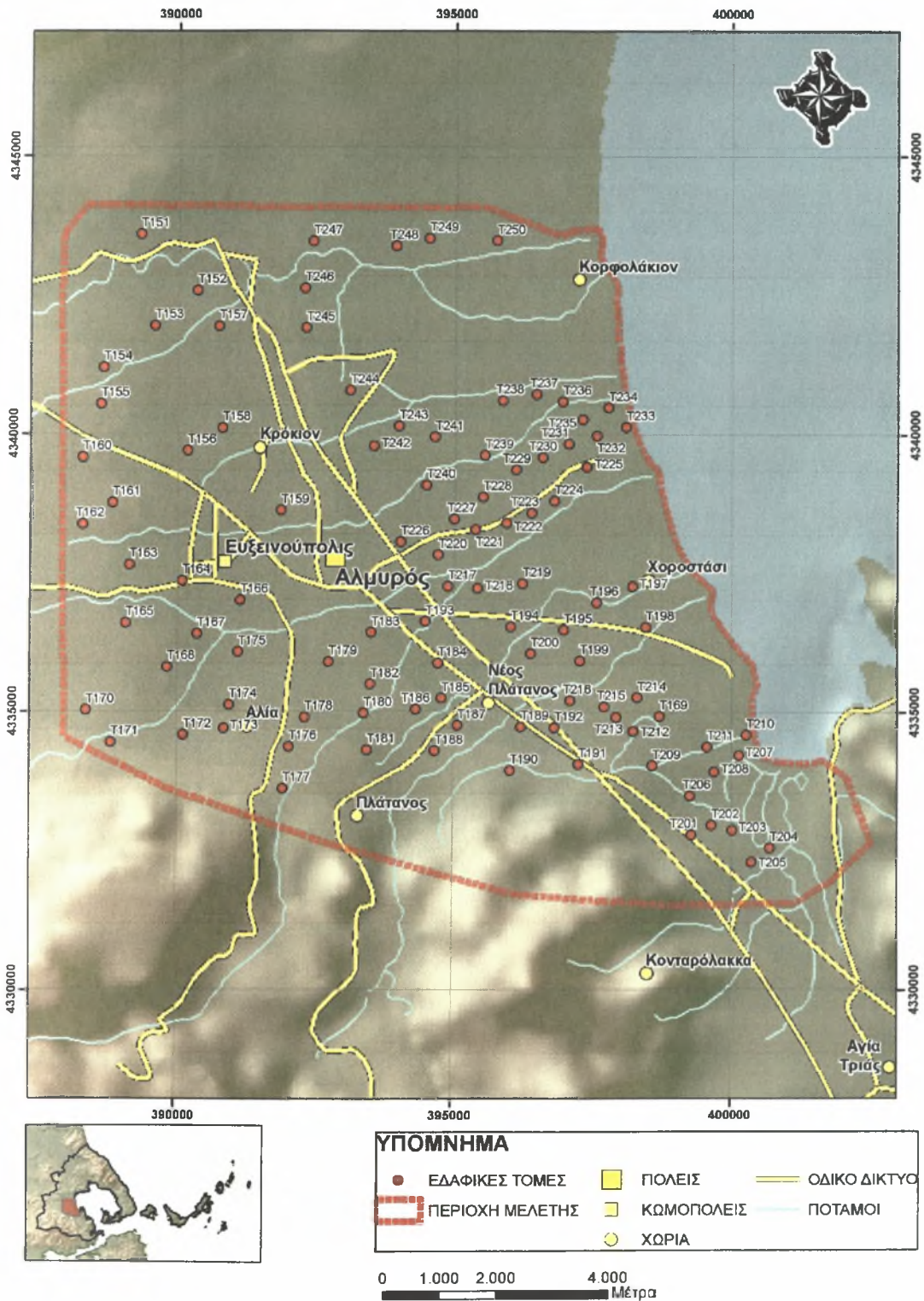
### 3.3 Χάρτες



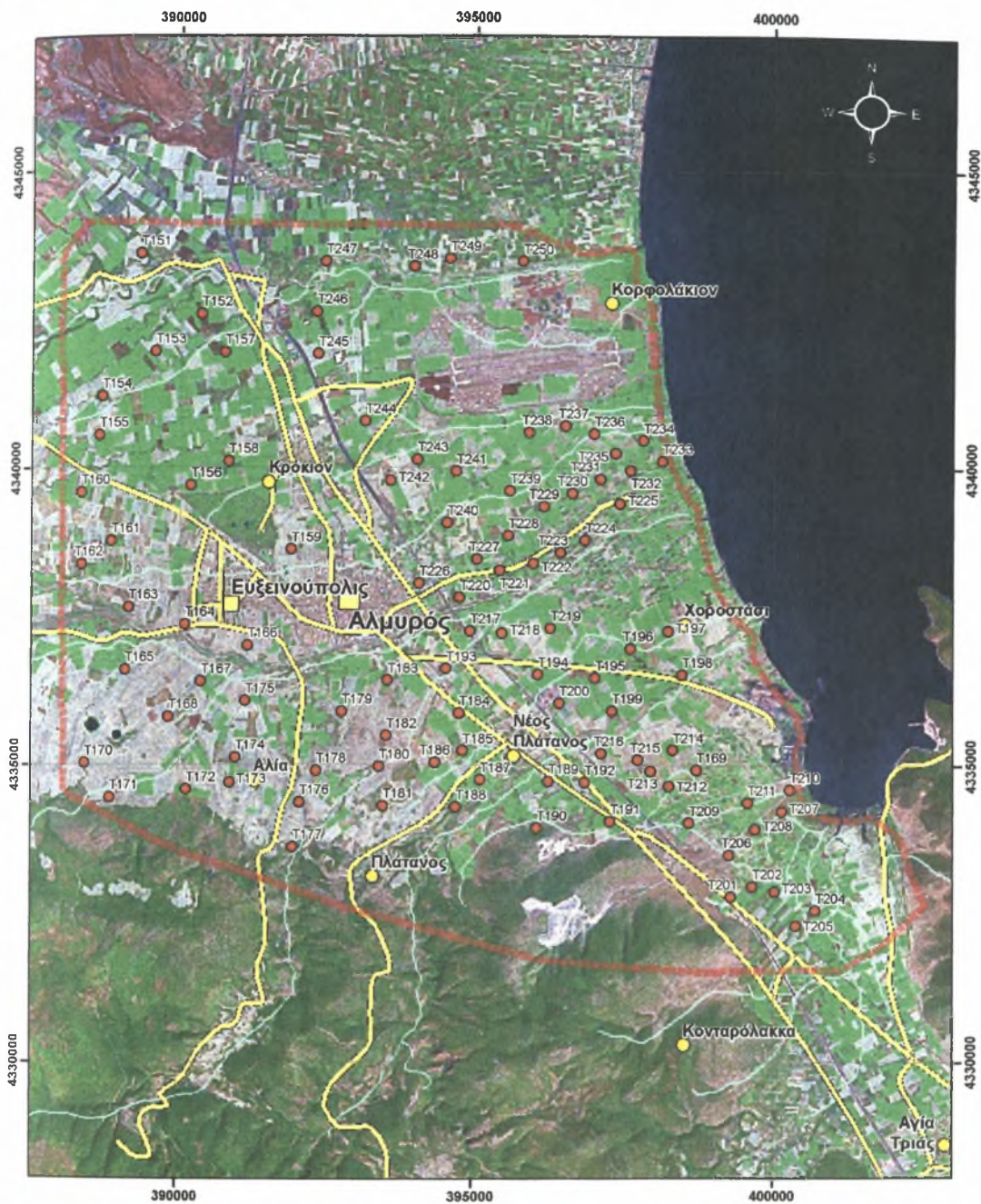
Εικόνα 3.29. Δορυφορική φωτογραφία του νομού Μαγνησίας.



Εικόνα 3.30. Χάρτης αναγλύφου του νομού Μαγνησίας.

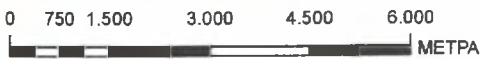


Εικόνα 3.31. Χάρτης αναγλύφου της περιοχής Αλμυρού



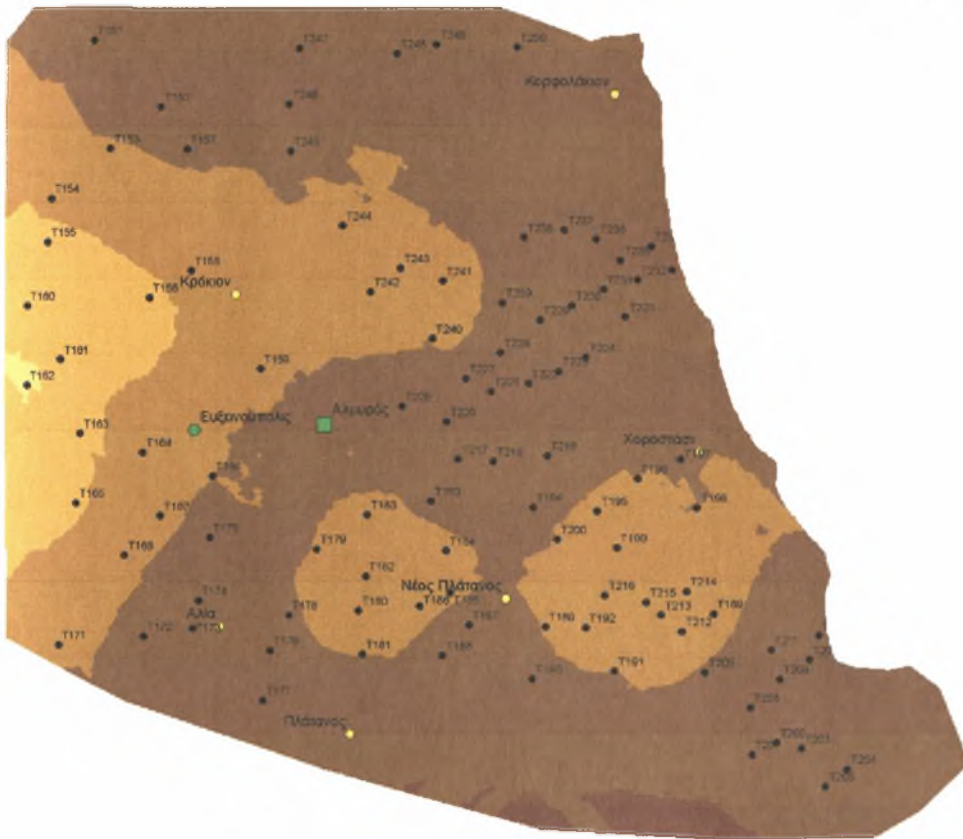
**ΥΠΟΜΝΗΜΑ**

- ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΤΟΜΕΣ
- ΠΟΛΕΙΣ
- == ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ
- ▭ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ
- ΚΩΜΟΠΟΛΕΙΣ
- ΠΟΤΑΜΟΙ
- ΧΩΡΙΑ



Εικόνα 3.32. Δορυφορική φωτογραφία της περιοχής Αλμυρού.

Εκτίμηση της χωρικής παραλλακτικότητας του pH και κατάταξη των εδαφών σε κατηγορίες στην περιοχή του Αλμυρού σε βάθος 0-30cm



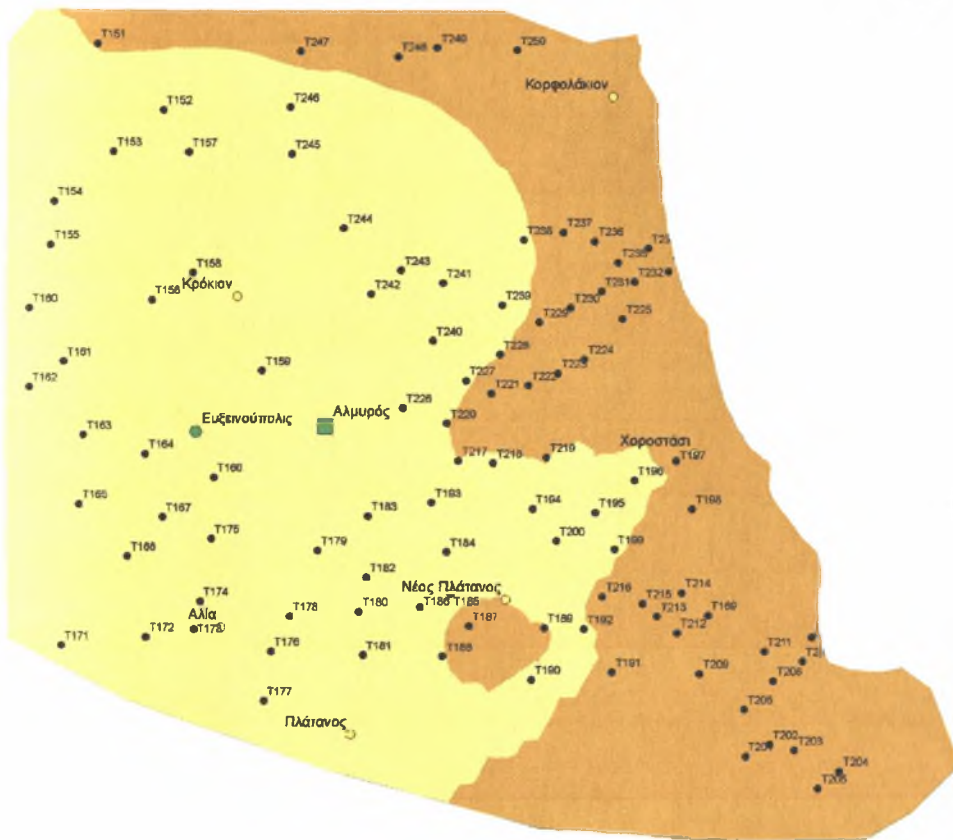
**ΥΠΟΜΝΗΜΑ**

- ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΤΟΜΕΣ ΚΛΑΣΕΙΣ pH
  - ΠΟΛΕΙΣ
  - ΚΩΜΟΠΟΛΕΙΣ
  - ΧΩΡΙΑ
- |  |           |
|--|-----------|
|  | 4 - 5     |
|  | 5 - 5,8   |
|  | 5,8 - 6,5 |
|  | 6,5 - 7,5 |
|  | > 8,5     |
|  | 8,5 - 9   |



Εικόνα 3.33. Χάρτης pH

Εκτίμηση της χωρικής παραλλακτικότητας της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και κατάταξη των εδαφών σε κατηγορίες στην περιοχή του Αλμυρού σε βάθος 0-30cm



**ΥΠΟΜΝΗΜΑ**

- ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΤΟΜΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ
  - ΠΟΛΕΙΣ
  - ΚΩΜΟΠΟΛΕΙΣ
  - ΧΩΡΙΑ
- | ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ<br>μS/cm |
|--------------------------------|
| 0 - 250                        |
| 250 - 750                      |
| > 750                          |



Εικόνα 3.34. Χάρτης ηλεκτρικής αγωγιμότητας

Εκτίμηση της χωρικής παραλλακτικότητας της οργανικής ουσίας και κατάταξη των εδαφών σε κατηγορίες στην περιοχή του Αλμυρού σε βάθος 0-30cm



**ΥΠΟΜΝΗΜΑ**

• ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΤΟΜΕΣ % ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΕ ΟΡΓΑΝΙΚΗ ΟΥΣΙΑ

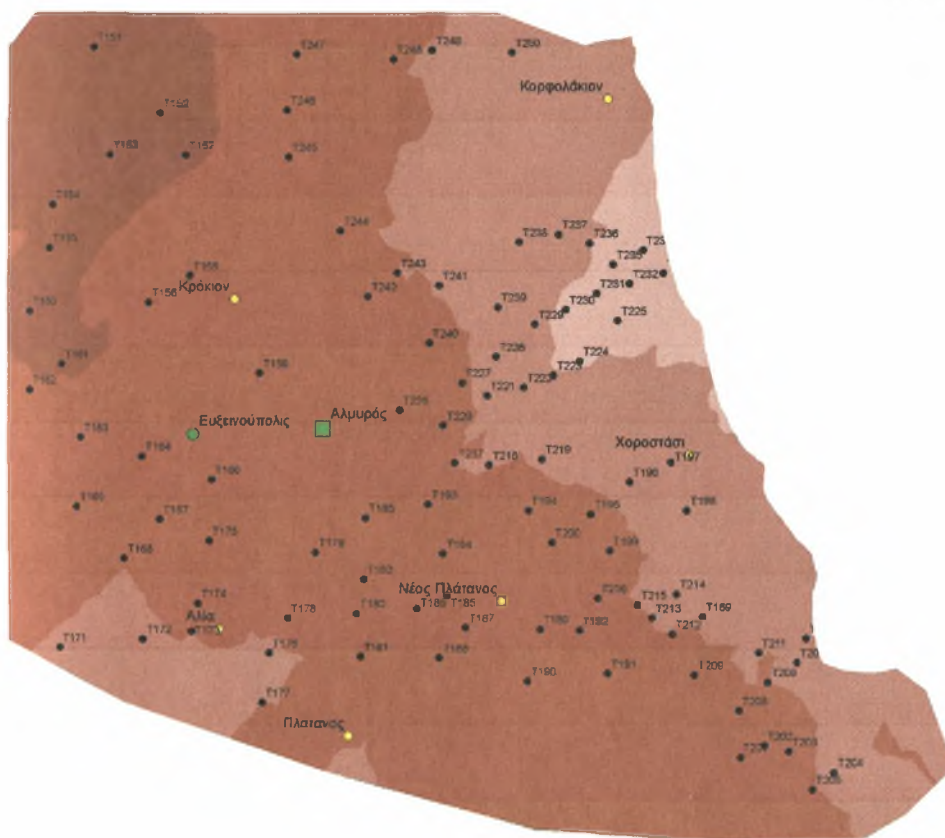
- ΠΟΛΕΙΣ
  - ΚΩΜΟΠΟΛΕΙΣ
  - ΧΩΡΙΑ
- |         |   |
|---------|---|
| 0 - 1   | ■ |
| 1 - 2   | ■ |
| 2 - 4,2 | ■ |
| 4,2 - 6 | ■ |
| 6 - 8   | ■ |



Εικόνα 3.35. Χάρτης οργανικής ουσίας



Εκτίμηση της χωρικής παραλλακτικότητας του διαθέσιμου φωσφόρου και κατάταξη των εδαφών σε κατηγορίες στην περιοχή του Αλμυρού σε βάθος 0-30cm



**ΥΠΟΜΝΗΜΑ**

• ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΤΟΜΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΦΩΣΦΟΡΟΥ

■ ΠΟΛΕΙΣ

● ΚΩΜΟΠΟΛΕΙΣ

▲ ΧΩΡΙΑ

ppm

0 - 9

9 - 15

15 - 25

25 - 45

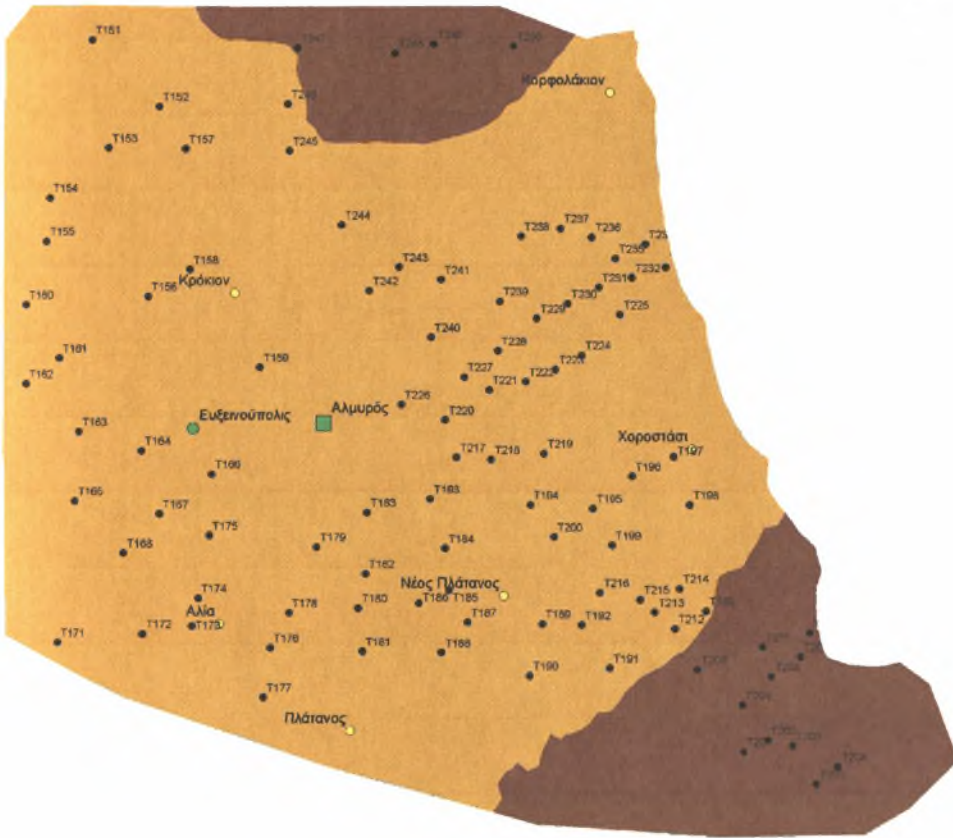
45 - 70

70 - 135



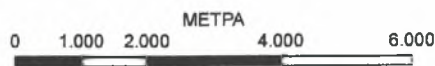
Εικόνα 3.36. Χάρτης διαθέσιμου φωσφόρου

Εκτίμηση της χωρικής παραλλακτικότητας του διαθέσιμου βορίου και κατάταξη των εδαφών σε κατηγορίες στην περιοχή του Αλμυρού σε βάθος 0-30cm



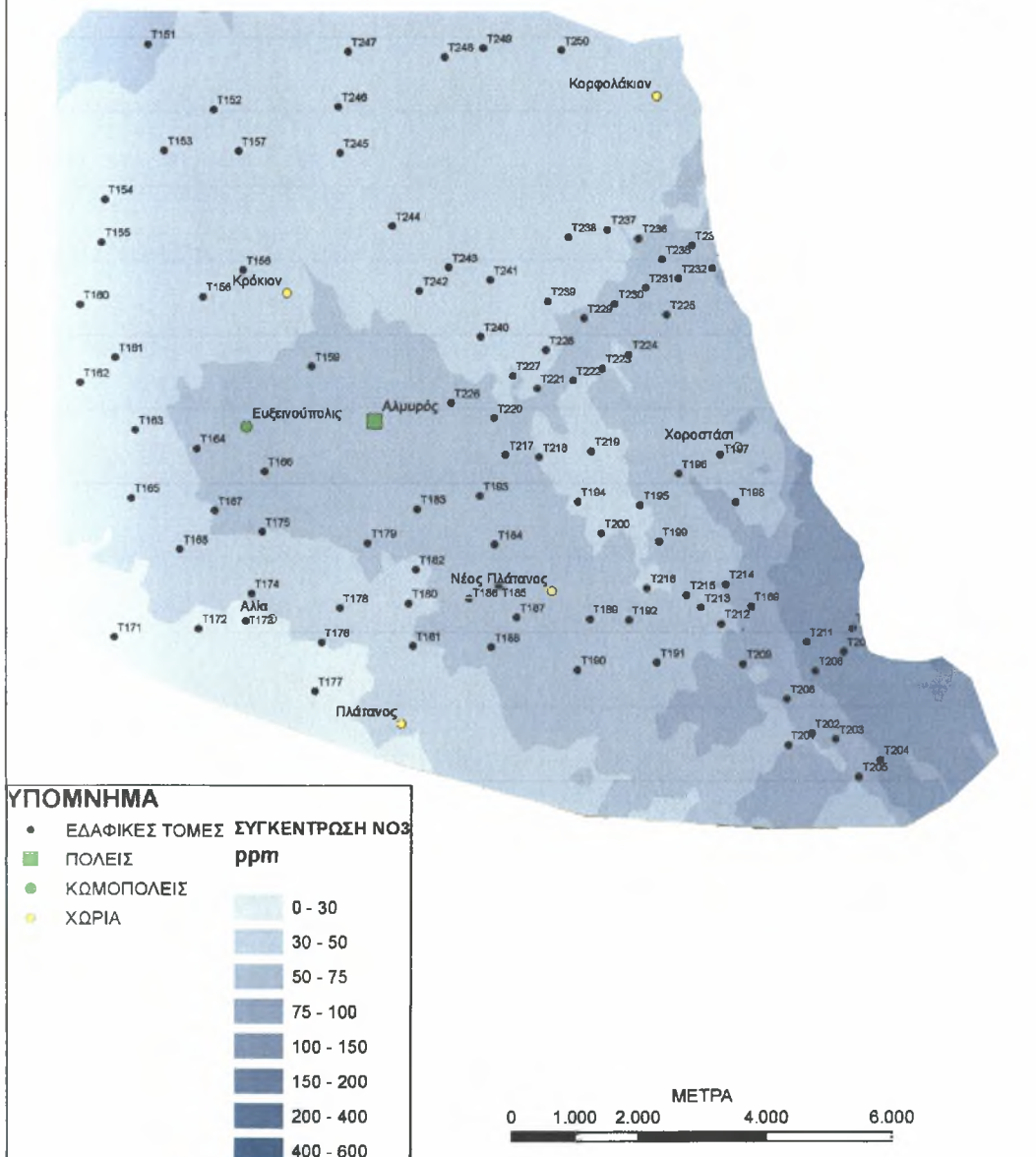
**ΥΠΟΜΝΗΜΑ**

- ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΤΟΜΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΒΟΡΙΟΥ
  - ΠΟΛΕΙΣ
  - ΚΩΜΟΠΟΛΕΙΣ
  - ΧΩΡΙΑ
- | ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΒΟΡΙΟΥ (ppm) | ΧΡΩΜΑ   |
|--------------------------|---------|
| 0 - 1                    | Λευκό   |
| 1 - 5                    | Κίτρινο |
| 5 - 25                   | Καφέ    |



Εικόνα 3.37. Χάρτης διαθέσιμου βορίου

Εκτίμηση της χωρικής παραλλακτικότητας των νιτρικών ιόντων και κατάταξη των εδαφών σε κατηγορίες στην περιοχή του Αλμυρού σε βάθος 0-30cm



Εικόνα 3.38. Χάρτης νιτρικών ιόντων

Εκτίμηση της χωρικής παραλλακτικότητας των νιτρωδών ιόντων και κατάταξη των εδαφών σε κατηγορίες στην περιοχή του Αλμυρού σε βάθος 0-30cm



**ΥΠΟΜΝΗΜΑ**

ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΤΟΜΕΣ	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ NO <sub>2</sub> ppm
•	0 - 2
■	2 - 5
●	5 - 10
○	10 - 15
	15 - 50
	50 - 200



Εικόνα 3.39. Χάρτης νιτρωδών ιόντων

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα συνοψίζονται ως ακολούθως:

Στα εδάφη στα οποία πραγματοποιήθηκε η έρευνα οι καλλιέργειες ως επί το πλείστον έχουν υψηλές απαιτήσεις σε άζωτο και φώσφορο (βαμβάκι, μηδική, σιτάρι κ.α.). Στη δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης το pH είναι πολύ ισχυρό όξινο επειδή το μητρικό υλικό των ιζημάτων είναι σχιστόλιθοι. Όσο προχωρούμε προς τα ανατολικά το pH αυξάνεται σαν αποτέλεσμα της ύπαρξης αλλουβιακών αποθέσεων και της αποσάθρωσης των μαρμάρων και των ασβεστόλιθων

Στην περιοχή μελέτης οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας κυμαίνονται σε χαμηλά ως μέτρια επίπεδα. Χαμηλός είναι ο κίνδυνος αλατότητας σε ένα ποσοστό 56%, ενώ μέτριος είναι ο κίνδυνος κατά ένα ποσοστό 43%. Οι υψηλότερες τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας βρέθηκαν στα ανατολικά της περιοχής μελέτης, στην περιοχή του Όρμου της Σούρπης και συγκεκριμένα στην περιοχή του «βάλτου». Αυτό εξηγείται αν λάβουμε υπόψη το γεγονός ότι πρόκειται για παραθαλάσσια περιοχή όπου τα εδάφη έρχονται σε διαρκή επαφή με το θαλασινό νερό με αποτέλεσμα την σταδιακή αλάτωση των εδαφών. Το γεγονός αυτό καθιστά απαραίτητη την αναδιάρθρωση των καλλιεργειών της περιοχής έτσι ώστε να δοθεί έμφαση σε καλλιέργειες σχετικά ανθεκτικές ή και ανθεκτικές στην αλατότητα των εδαφών. Τέτοιες καλλιέργειες είναι :

- α) από φυτά μεγάλης καλλιέργειας τα κριθάρι, βαμβάκι, ζαχαρότευτλα, κτηνοτροφικά μπιζέλια, βρώμη, σίκαλη, σαφράνα, σόργο, σόγια και σιτάρι, β) από λαχανικά : σπαράγγι, αγγινάρα, κολοκυθάκι, γ) από οπωροφόρα: η ελιά και η ροδιά, δ) από χορτοδοτικά: τα σιτάρι, φάλαρη, λόλιο το πολυετές και σόργο (Maas, 1985).

Επειδή όμως η περιοχή του βάλτου η οποία βρίσκεται πολύ κοντά θάλασσα και στα χαμηλότερα σημεία αυτής η θάλασσα σχεδόν μπαινοβγαίνει στην ξηρά (αποτελεί δηλαδή ένα estuary), είναι πάρα πολύ ευαίσθητη οικολογικά περιοχή, προτείνεται όπως συνταχθεί μια πολύ λεπτομερής εδαφολογική μελέτη, για την όσο το δυνατόν άριστη από κάθε πλευρά διαχείριση του πολύ ευαίσθητου οικοσυστήματος.

Η περιεκτικότητα της οργανικής ουσίας ήταν χαμηλή έως μέση (0,34-4,2 %). Η περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ουσία 4,29-4,98% παρατηρήθηκε μόνο σε

τρία σημεία δειγματοληψίας τούτο είναι το αποτέλεσμα της προσθήκης οργανικής ουσίας στο έδαφος.

Οι συγκεντρώσεις του διαθέσιμου φωσφόρου στα εδάφη της περιοχής μελέτης είναι υψηλές. Ο διαθέσιμος φώσφορος αυξάνεται προς τα δυτικά. Η συγκέντρωση του διαθέσιμου φωσφόρου κυμάνθηκε από 3,9 ως 134,4 mg kg<sup>-1</sup> ξηρού εδάφους, με μέση τιμή 27,94 mg kg<sup>-1</sup>. Το 23% των δειγμάτων χαρακτηρίζονται εδάφη με δείκτη διαθεσιμότητας 0, το 15% με δείκτη 1, το 21% με δείκτη 2, το 24% με δείκτη 3, το 12% με δείκτη 4 και το 5% των δειγμάτων με δείκτη 5. Τα εδάφη που παρουσιάζουν ποσότητα διαθέσιμου φωσφόρου μικρότερη από 15mg kg<sup>-1</sup>ξ.ε. χαρακτηρίζονται με δείκτη διαθέσιμου φωσφόρου από 0 έως 1. Γι αυτούς τους λόγους, στα εδάφη αυτά προτείνεται προσθήκη φωσφορικών λιπασμάτων ως βασική λίπανση μέχρι την αύξηση της συγκέντρωσης του διαθέσιμου P στο έδαφος σε ποσότητες > 25mg kg<sup>-1</sup> ξ.ε. Τα εδάφη που εμφανίζουν δείκτη διαθέσιμου φωσφόρου 2 (16-25 mg kg<sup>-1</sup> ξ.ε.) δεν αναμένεται να αντιμετωπίσουν πρόβλημα τροφοπενιών ωστόσο όμως συνίσταται προσθήκη φωσφορικών λιπασμάτων. Στα εδάφη που εμφανίζουν δείκτες διαθέσιμου φωσφόρου 3,4 και 5 (26-70 mg kg<sup>-1</sup>ξ.ε.), οι ποσότητες αυτές του P θεωρούνται επαρκείς για να καλύψουν τις ανάγκες των καλλιεργειών της περιοχής (αραβόσιτος, καπνός, μηδική και αμπέλι). Όπως προκύπτει και από τους χάρτες οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις φωσφόρου παρατηρήθηκαν σε εδάφη της περιοχή του Αλμυρού, όπου η τιμή του pH κυμαίνεται από 4 έως 5, δηλαδή σε πολύ όξινα εδάφη (δυτικό μέρος περιοχής μελέτης). Αντιθέτως μικρότερες συγκεντρώσεις εντοπίστηκαν σε αλκαλικά εδάφη με pH > 7,5. Οι μεγαλύτερες τιμές συγκέντρωσης διαθέσιμου φωσφόρου βρέθηκαν σε καλλιέργειες βαμβακιού και μηδικής.

Σε ένα ποσοστό 80% των δειγμάτων της περιοχής οι συγκεντρώσεις του βορίου είναι ικανοποιητικές. Οι υψηλότερες τιμές βορίου βρέθηκαν σε καλλιέργειες (μηδική, σιτάρι, βαμβάκι) και σε φυσική βλάστηση στην περιοχή του βάλτου. Η συγκέντρωση του Βορίου των εδαφικών δειγμάτων σε βάθος 0-30cm κυμάνθηκε από 1,13 έως 22mg kg<sup>-1</sup> ξ.ε. (ξηρού εδάφους) με μέση τιμή τα 4,07 mg kg<sup>-1</sup> ξ.ε. Δεν υπάρχει κίνδυνος να παρουσιαστούν συμπτώματα τροφοπενίας βορίου στα φυτά, αντιθέτως υπάρχει η πιθανότητα ύπαρξης τοξικότητας βορίου αφού σε ποσοστό 20% των δειγμάτων η συγκέντρωση βορίου βρέθηκε πάνω από 5mg kg<sup>-1</sup>.

Από την μελέτη των αποτελεσμάτων διαπιστώνεται ότι τα εδάφη περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις σε νιτρικά ιόντα. Η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων κυμάνθηκε από 0 ως 421,1 mg kg<sup>-1</sup> ξ.ε. με μέση τιμή 53,4 mg kg<sup>-1</sup> ξ.ε. Η συγκέντρωση των νιτροδών ιόντων κυμάνθηκε από 0 ως 2,185 mg kg<sup>-1</sup> ξ.ε. με μέση τιμή 0,107 mg kg<sup>-1</sup> ξ.ε..

Στα σημεία όπου οι συγκεντρώσεις φωσφόρου και νιτρικών ιόντων είναι μεγάλες κρίνεται απαραίτητη η περαιτέρω έρευνα και η διενέργεια νέας δειγματοληψίας, αν είναι εφικτό από τα ίδια εδάφη που παρουσιάζουν αυτές τις υψηλές συγκεντρώσεις. Σε μέρη όπου οι συγκεντρώσεις φωσφόρου είναι υψηλές υπάρχει κίνδυνος ρύπανσης των επιφανειακών υδάτων και ευτροφισμού.

Στα σημεία όπου οι συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων είναι υψηλές υπάρχει κίνδυνος ρύπανσης των υπογείων και επιφανειακών υδάτων ιδιαίτερα τους χειμερινούς μήνες, όπου το έδαφος μένει ακάλυπτο, υπάρχει μεγάλη πιθανότητα έκπλυσης των νιτρικών ιόντων στους υπόγειους ορίζοντες. Για το λόγο αυτό εφαρμόζονται προγράμματα ελέγχου και μείωσης της νιτρορύπανσης στην περιοχή.

Οι θεματικοί χάρτες του φωσφόρου,βορίου, των νιτρικών ιόντων και των νιτροδών δύναται να χρησιμοποιηθούν για περιβαλλοντικούς σκοπούς, να ληφθούν υπ' όψη για περαιτέρω έρευνα και να αποτελέσουν τη βάση για την ανάπτυξη της περιοχής και την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών κινδύνων από ρυπογόνες συγκεντρώσεις φωσφόρου, νιτρικών και νιτροδών ιόντων στα εδάφη. Επιπλέον, παρέχουν τη δυνατότητα συνεχούς ανανέωσης της βάσης δεδομένων τους αλλά και της διόρθωσης ή και ακόμη και βελτίωσης της πρόβλεψης του βαθμού ρύπανσης της περιοχής μελέτης.

## Παράρτημα

Πίνακας 1. Γενικά στοιχεία Δειγματοληψίας

Εδαφικές τομές	Γεωγραφικό μήκος (X)	Γεωγραφικό πλάτος (Y)	Υψόμετρο (m)	Περιοχή	Καλλιέργεια
T151	389313	4343597	84	ΜΑΥΡΟΛΟΦΟΣ	ΒΑΜΒΑΚΙ
T152	390342	4342580	81	ΜΑΥΡΟΛΟΦΟΣ	ΒΑΜΒΑΚΙ
T153	389570	4341950	95	ΜΑΥΡΟΛΟΦΟΣ	ΑΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΟ
T154	388646	4341198	109	ΜΑΥΡΟΛΟΦΟΣ	ΑΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΟ
T155	388598	4340539	117	ΚΡΟΚΙΟ	ΑΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΟ
T156	390184	4339690	96	ΚΡΟΚΙΟ	ΕΛΙΕΣ
T157	390736	4341936	73	ΚΡΟΚΙΟ	ΒΑΜΒΑΚΙ
T158	390808	4340101	78	ΚΡΟΚΙΟ	ΒΑΜΒΑΚΙ
T159	391894	4338612	70	ΔΑΣΟΣ ΚΟΥΡΙ	ΒΑΜΒΑΚΙ
T160	388272	4339575	126	ΕΥΞΕΙΝΟΥΠΟΛΗ	ΒΑΜΒΑΚΙ
T161	388810	4338760	115	ΕΥΞΕΙΝΟΥΠΟΛΗ	ΒΑΜΒΑΚΙ
T162	388274	4338373	129	ΕΥΞΕΙΝΟΥΠΟΛΗ	ΣΙΤΑΡΙ
T163	389123	4337639	116	ΕΥΞΕΙΝΟΥΠΟΛΗ	ΣΙΤΑΡΙ
T164	390093	4337348	98	ΕΥΞΕΙΝΟΥΠΟΛΗ	ΣΙΤΑΡΙ
T165	389065	4336588	118	ΕΥΞΕΙΝΟΥΠΟΛΗ	ΣΙΤΑΡΙ
T166	391159	4336994	86	ΕΥΞΕΙΝΟΥΠΟΛΗ	ΑΜΥΓΔΑΛΙΕΣ
T167	390370	4336391	87	ΕΥΞΕΙΝΟΥΠΟΛΗ	ΒΑΜΒΑΚΙ
T168	389824	4335798	107	ΕΥΞΕΙΝΟΥΠΟΛΗ	ΕΛΙΕΣ
T169	398691	4334913	147	ΖΕΡΕΛΙΑ	ΣΙΤΑΡΙ
T170	387433	4334564	200	ΖΕΡΕΛΙΑ	ΣΙΤΑΡΙ
T171	388799	4334443	154	ΖΕΡΕΛΙΑ	ΣΙΤΑΡΙ
T172	390126	4334572	136	ΟΘΡΥΣ (ΠΡΟΠ.)	ΒΑΜΒΑΚΙ
T173	390863	4334689	139	ΟΘΡΥΣ (ΠΡΟΠ.)	ΒΑΜΒΑΚΙ
T174	390957	4335113	105	ΟΘΡΥΣ (ΠΡΟΠ.)	ΒΑΜΒΑΚΙ
T175	391122	4336063	87	ΕΥΞΕΙΝΟΥΠΟΛΗ	ΒΑΜΒΑΚΙ
T176	392065	4334357	143	ΟΘΡΥΣ (ΠΡΟΠ.)	ΣΙΤΑΡΙ
T177	391957	4333610	156	ΟΘΡΥΣ (ΠΡΟΠ.)	ΣΙΤΑΡΙ
T178	392351	4334890	131	ΟΘΡΥΣ (ΠΡΟΠ.)	ΣΙΤΑΡΙ
T179	392775	4335886	91	ΑΛΜΥΡΟΣ	ΒΑΜΒΑΚΙ
T180	393408	4334959	102	ΑΛΜΥΡΟΣ	ΒΙΚΟΣ
T181	393472	4334301	104	ΟΘΡΥΣ (ΠΡΟΠ.)	ΣΙΤΑΡΙ
T182	393519	4335481	88	ΑΛΜΥΡΟΣ	ΣΙΤΑΡΙ
T183	393536	4336409	72	ΑΛΜΥΡΟΣ	ΕΛΙΕΣ
T184	394722	4335863	70	ΑΛΜΥΡΟΣ	ΒΑΜΒΑΚΙ
T185	394785	4335230	52	ΠΛΑΤΑΝΟΣ	ΒΑΜΒΑΚΙ
T186	394336	4335033	74	ΠΛΑΤΑΝΟΣ	ΣΙΤΑΡΙ
T187	395071	4334742	71	ΠΛΑΤΑΝΟΣ	ΒΑΜΒΑΚΙ
T188	394676	4334282	81	ΠΛΑΤΑΝΟΣ	ΣΙΤΑΡΙ
T189	396214	4334721	43	ΠΛΑΤΑΝΟΣ	ΒΑΜΒΑΚΙ
T190	396023	4333931	47	ΠΛΑΤΑΝΟΣ	ΒΑΜΒΑΚΙ
T191	397254	4334047	8	ΠΛΑΤΑΝΟΣ	ΒΑΜΒΑΚΙ
T192	396821	4334704	40	ΠΛΑΤΑΝΟΣ	ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΣ
T193	394496	4336612	45	ΠΛΑΤΑΝΟΣ	ΕΛΙΕΣ
T194	396022	4336521	40	ΑΛΜΥΡΟΣ	ΣΙΤΑΡΙ
T195	396986	4336468	20	ΑΛΜΥΡΟΣ	ΣΙΤΑΡΙ
T196	397575	4336960	21	ΑΛΜΥΡΟΣ	ΣΙΤΑΡΙ



Εδαφικές τομές	Γεωγραφικό μήκος (X)	Γεωγραφικό πλάτος (Y)	Υψόμετρο (m)	Περιοχή	Καλλιέργεια
T197	398208	4337251	6	ΑΛΜΥΡΟΣ	ΣΙΤΑΡΙ
T198	398446	4336520	21	ΑΛΜΥΡΟΣ	ΣΙΤΑΡΙ
T199	397276	4335909	35	ΑΛΜΥΡΟΣ	ΣΙΤΑΡΙ
T200	396390	4336038	34	ΑΛΜΥΡΟΣ	ΒΑΜΒΑΚΙ
T201	399271	4332779	22	ΒΑΛΤΟΣ	ΣΙΤΑΡΙ
T202	399643	4332956	24	ΒΑΛΤΟΣ	ΜΗΔΙΚΗ
T203	400017	4332868	23	ΒΑΛΤΟΣ	ΒΑΜΒΑΚΙ
T204	400709	4332551	15	ΒΑΛΤΟΣ	ΣΙΤΑΡΙ
T205	400381	4332290	21	ΒΑΛΤΟΣ	ΒΑΜΒΑΚΙ
T206	399244	4333488	14	ΒΑΛΤΟΣ	ΦΥΣΙΚΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ
T207	400139	4334217	9	ΒΑΛΤΟΣ	ΦΥΣΙΚΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ
T208	399689	4333920	12	ΒΑΛΤΟΣ	ΦΥΣΙΚΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ
T209	398567	4334024	16	ΒΑΛΤΟΣ	ΜΗΔΙΚΗ
T210	400278	4334582	1	ΒΑΛΤΟΣ	ΦΥΣΙΚΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ
T211	399556	4334366	3	ΒΑΛΤΟΣ	ΜΗΔΙΚΗ
T212	398232	4334645	18	ΒΑΛΤΟΣ	ΒΑΜΒΑΚΙ
T213	397925	4334896	20	ΒΑΛΤΟΣ	ΒΑΜΒΑΚΙ
T214	398297	4335252	20	ΠΛΑΤΑΝΟΣ	ΒΑΜΒΑΚΙ
T215	397707	4334582	20	ΠΛΑΤΑΝΟΣ	ΜΗΔΙΚΗ
T216	397099	4335193	30	ΠΛΑΤΑΝΟΣ	ΜΗΔΙΚΗ
T217	394889	4337245	37	ΑΛΜΥΡΟΣ	ΒΑΜΒΑΚΙ
T218	395419	4337210	34	ΑΛΜΥΡΟΣ	ΜΗΔΙΚΗ
T219	396231	4337301	24	ΑΛΜΥΡΟΣ	ΒΑΜΒΑΚΙ
T220	394714	4337812	35	ΑΛΜΥΡΟΣ	ΒΑΜΒΑΚΙ
T221	395380	4338268	32	ΑΛΜΥΡΟΣ	ΒΑΜΒΑΚΙ
T222	395941	4338394	30	ΑΛΜΥΡΟΣ	ΒΑΜΒΑΚΙ
T223	396397	4338576	25	ΑΛΜΥΡΟΣ	ΒΑΜΒΑΚΙ
T224	396805	4338789	20	ΑΛΜΥΡΟΣ	ΕΛΙΕΣ
T225	397387	4339407	14	ΑΛΜΥΡΟΣ	ΒΑΜΒΑΚΙ
T226	394053	4338046	42	ΑΛΜΥΡΟΣ	ΚΑΛΑΜΙΕΣ
T227	395001	4338462	34	ΑΛΜΥΡΟΣ	ΚΑΛΑΜΙΕΣ
T228	395513	4338859	27	ΑΛΜΥΡΟΣ	ΣΙΤΑΡΙ
T229	396112	4339353	19	ΑΛΜΥΡΟΣ	ΕΛΙΕΣ
T230	396592	4339575	16	ΑΛΜΥΡΟΣ	ΒΑΜΒΑΚΙ
T231	397061	4339822	13	ΑΛΜΥΡΟΣ	ΕΛΙΕΣ
T232	397562	4339969	9	ΑΛΜΥΡΟΣ	ΒΑΜΒΑΚΙ
T233	398087	4340126	3	ΑΛΜΥΡΟΣ	ΦΥΣΙΚΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ
T234	397770	4340475	5	ΑΛΜΥΡΟΣ	ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΣ
T235	397311	4340262	10	ΑΛΜΥΡΟΣ	ΒΑΜΒΑΚΙ
T236	396951	4340585	10	ΑΛΜΥΡΟΣ	ΒΑΜΒΑΚΙ
T237	396473	4340718	14	ΑΛΜΥΡΟΣ	ΒΑΜΒΑΚΙ
T238	395860	4340602	19	ΑΛΜΥΡΟΣ	ΒΑΜΒΑΚΙ
T239	395540	4339611	28	ΑΛΜΥΡΟΣ	ΜΗΔΙΚΗ
T240	394501	4339066	40	ΑΛΜΥΡΟΣ	ΣΙΤΑΡΙ
T241	394647	4339940	36	ΑΛΜΥΡΟΣ	ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΣ

Εδαφικές τομές	Γεωγραφικό μήκος (X)	Γεωγραφικό πλάτος (Y)	Υψόμετρο (m)	Περιοχή	Καλλιέργεια
T242	393563	4339776	51	ΑΛΜΥΡΟΣ	ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΣ
T243	394011	4340134	41	ΑΛΜΥΡΟΣ	ΒΑΜΒΑΚΙ
T244	393130	4340775	50	ΚΡΟΚΙΟ	ΒΑΜΒΑΚΙ
T245	392330	4341905	53	ΚΡΟΚΙΟ	ΑΜΥΓΔΑΛΙΕΣ
T246	392301	4342618	48	ΚΡΟΚΙΟ	ΒΑΜΒΑΚΙ
T247	392450	4343467	44	ΑΙΔΙΝΙΟ	ΒΑΜΒΑΚΙ
T248	393940	4343381	30	ΑΙΔΙΝΙΟ	ΕΛΙΕΣ
T249	394529	4343518	21	ΑΙΔΙΝΙΟ	ΑΜΠΕΛΙ
T250	395742	4343484	19	ΑΙΔΙΝΙΟ	ΒΑΜΒΑΚΙ

Πίνακας 2. Τιμές εδαφικών ιδιοτήτων

Εδαφικές τομές	pH	Ηλεκτρική Αγωγιμότητα E.C. (μS/cm)	Οργανική ουσία %
T151	7,97	301,8	0,89
T152	7,94	271,9	1,68
T153	7,86	193,4	1,68
T154	7,33	150,6	0,89
T155	5,17	125,6	1,41
T156	5,07	95,1	0,72
T157	8,10	146,9	0,96
T158	6,71	105,1	0,93
T159	8,06	127,8	0,69
T160	6,61	100,8	0,34
T161	6,39	233,4	0,96
T162	5,02	72,01	2,37
T163	7,09	121,7	1,72
T164	6,77	66,11	1,44
T165	4,84	54,22	1,55
T166	8,01	140,1	1,92
T167	7,39	306,8	1,44
T168	7,81	173,3	0,48
T169	7,74	444,3	1,99
T170	6,14	51,7	1,72
T171	7,75	290,1	1,61
T172	7,87	306,1	1,55
T173	7,63	240,6	1,41
T174	8,20	171,6	2,30
T175	7,66	232,1	1,41
T176	8,13	263,3	1,65
T177	7,68	135,7	1,86
T178	8,01	207,7	0,93
T179	7,96	221,2	1,24
T180	5,29	78,4	1,07
T181	8,08	135,6	1,96
T182	5,57	201,1	2,37
T183	7,49	252,3	2,03
T184	6,90	269,2	0,48
T185	7,20	128,5	1,00
T186	8,28	228,6	1,17
T187	8,02	539,7	1,31

Εδαφικές τομές	pH	Ηλεκτρική Αγωγιμότητα E.C. ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Οργανική ουσία %
T186	8,28	228,6	1,17
T187	8,02	539,7	1,31
T188	7,58	250,7	2,41
T189	7,40	292,6	1,58
T190	8,30	206,8	2,44
T191	8,37	213,2	0,93
T192	6,37	135,3	1,51
T193	8,28	133,5	1,17
T194	7,65	136,3	2,16
T195	7,03	112	1,72
T196	7,36	130,2	1,58
T197	7,67	158,1	1,99
T198	7,86	280,4	1,00
T199	7,09	177,8	1,96
T200	7,90	158,3	1,48
T201	8,12	495	1,89
T202	8,28	540,5	2,16
T203	8,22	670,2	1,86
T204	7,84	214,5	2,23
T205	7,75	612,85	3,95
T206	8,52	866,9	2,03
T207	8,20	503	3,47
T208	8,01	575,3	4,29
T209	8,31	276,6	4,47
T210	8,36	646,6	2,58
T211	7,90	733,7	4,98
T212	4,75	149,8	3,26
T213	6,11	263,4	2,58
T214	7,98	612,3	1,31
T215	5,25	303,9	1,07
T216	7,55	374,2	0,48
T217	7,67	354,7	1,24
T218	7,89	143,1	0,38
T219	8,17	283,9	1,13
T220	7,51	270,2	1,86
T221	7,67	399,5	0,76
T222	7,68	484,3	1,41
T223	7,73	479,1	2,47
T224	7,93	269,6	0,34
T225	7,55	686,7	1,48
T226	8,06	191,6	1,79
T227	7,38	229,8	0,65
T228	7,73	170,1	1,99
T229	7,02	140,8	1,51
T230	8,35	221,4	1,58
T231	7,59	387,1	1,68
T232	7,85	412,4	1,55
T233	7,83	245,45	1,89
T234	8,39	267,8	3,61
T235	7,78	528	2,82
T236	7,83	293	1,55

Εδαφικές τομές	pH	Ηλεκτρική Αγωγιμότητα E.C. ( $\mu\text{S/cm}$ )	Οργανική ουσία %
T237	7,74	315,7	0,93
T238	7,74	214,3	1,44
T239	7,72	169,5	1,31
T240	7,55	156,4	0,93
T241	6,96	90,8	0,82
T242	6,72	83,32	0,79
T243	7,86	114,5	0,58
T244	7,06	135	2,30
T245	8,13	202,3	1,55
T246	7,46	132,4	1,34
T247	7,25	337	1,34
T248	7,85	331,5	1,86
T249	7,52	233,5	1,48
T250	7,76	306,8	3,75

Πίνακας 3. Εργαστηριακές Αναλύσεις P, B,  $\text{NO}^3$ ,  $\text{NO}^2$

Τομές	P mg/kg ξ.ε.	P kg/στρ	B mg/kg ξ.ε.	$\text{NO}^3$ mg/kg ξ.ε.	$\text{N}(\text{NO}^3)$ kg/στρ.	$\text{NO}^2$ mg/kg ξ.ε.	$\text{N}(\text{NO}^2)$ kg/στρ.	Νολ kg/στρ.
T151	42,80	16,05	2,21	154,8	13,111	0,173	0,020	13,130
T152	134,38	50,39	3,69	8,7	0,739	0,000	0	0,739
T153	13,27	4,98	1,47	10,9	0,922	0,155	0,018	0,940
T154	64,15	24,06	1,25	64,3	5,441	0,000	0	5,441
T155	34,77	13,04	2,21	10,4	0,885	0,000	0	0,885
T156	17,10	6,41	2,46	26,3	2,227	0,162	0,018	2,246
T157	58,95	22,11	2,70	26,6	2,256	0,256	0,029	2,285
T158	38,41	14,40	2,95	1,1	0,094	0,000	0	0,094
T159	29,48	11,05	1,72	60,3	5,102	0,418	0,048	5,150
T160	46,81	17,56	2,46	1,2	0,101	0,214	0,024	0,126
T161	97,96	36,74	2,43	37,8	3,202	0,000	0	3,202
T162	36,64	13,74	4,67	27,6	2,340	0,000	0	2,340
T163	45,89	17,21	4,05	28,3	2,394	0,000	0	2,394
T164	19,07	7,15	1,97	112,6	9,534	0,000	0	9,534
T165	16,05	6,02	1,72	14,3	1,213	0,000	0	1,213
T166	84,09	31,53	3,44	141,3	11,963	0,000	0	11,963
T167	51,22	19,21	2,58	175,7	14,874	0,000	0	14,874
T168	4,58	1,72	1,47	17,5	1,482	0,000	0	1,482
T169	3,87	1,45	2,95	15,1	1,281	0,205	0,023	1,305
T170	34,54	12,95	2,28	5,9	0,496	0,180	0,021	0,517
T171	15,05	5,64	4,42	0,0	0,000	0,207	0,024	0,024
T172	5,89	2,21	2,33	1,2	0,104	0,241	0,028	0,131
T173	36,17	13,56	2,95	25,1	2,124	0,200	0,023	2,147
T174	34,68	13,00	2,70	0,0	0,000	0,286	0,033	0,033
T175	11,07	4,15	2,54	0,0	0,000	0,209	0,024	0,024
T176	23,41	8,78	2,46	42,7	3,612	0,430	0,049	3,661
T177	20,32	7,62	2,70	25,5	2,161	0,281	0,032	2,193
T178	19,07	7,15	3,19	23,6	2,000	0,225	0,026	2,025

Τομέας	P mg/kg ξ.ε.	P kg/στρ	B mg/kg ξ.ε.	NO <sup>-1</sup> mg/kg ξ.ε.	N(NO <sup>-3</sup> ) kg/στρ.	NO <sup>-1</sup> mg/kg ξ.ε.	N(NO <sup>-3</sup> ) kg/στρ.	Νολ kg/στρ.
T179	38,00	14,25	3,56	1,1	0,091	0,207	0,024	0,115
T180	36,41	13,65	3,69	10,0	0,845	0	0	0,845
T181	19,94	2,7	7,48	18,0	1,527	0	0	1,527
T182	14,12	5,30	16,05	48,1	4,070	0,209	0,024	4,094
T183	5,79	2,17	50,39	191,5	16,215	0	0	16,215
T184	33,93	12,72	4,98	137,7	11,661	0	0	11,661
T185	61,78	23,17	24,06	33,6	2,843	0	0	2,843
T186	32,00	12,00	13,04	52,9	4,476	0,225	0,026	4,502
T187	66,75	25,03	6,41	88,9	7,526	0	0	7,526
T188	25,79	9,67	22,11	27,8	2,354	0	0	2,354
T189	27,66	10,37	14,40	64,4	5,453	0	0	5,453
T190	42,77	16,04	11,05	220,9	18,706	0	0	18,706
T191	13,27	4,98	17,56	22,2	1,878	0	0	1,878
T192	15,75	5,91	36,74	29,1	2,466	0,207	0,024	2,489
T193	9,04	3,39	13,74	62,3	5,272	0,166	0,019	5,291
T194	50,39	18,90	17,21	16,8	1,422	0,234	0,027	1,449
T195	53,75	20,16	7,15	15,3	1,298	0,153	0,017	1,315
T196	16,15	6,06	6,02	1,0	0,089	0	0	0,089
T197	7,42	2,78	31,53	29,7	2,512	0,225	0,026	2,538
T198	32,51	12,19	19,21	138,7	11,748	0	0	11,748
T199	26,21	9,83	1,72	11,8	0,995	0	0	0,995
T200	48,55	18,21	1,45	10,0	0,850	0	0	0,850
T201	21,43	8,03	12,95	39,1	3,311	0	0	3,311
T202	77,77	29,16	5,64	61,6	5,212	0	0	5,212
T203	41,26	15,47	2,21	41,4	3,507	0	0	3,507
T204	7,14	2,68	13,56	50,3	4,259	0,207	0,024	4,283
T205	13,87	5,20	13,00	12,9	1,094	0	0	1,094
T206	24,60	9,22	4,15	48,0	4,068	0	0	4,068
T207	8,73	3,27	8,78	9,6	0,814	0	0	0,814
T208	17,34	6,50	7,62	406,8	34,448	0	0	34,448
T209	34,12	12,80	7,15	69,7	5,904	0	0	5,904
T210	30,15	11,31	14,25	421,1	35,657	0	0	35,657
T211	9,52	3,57	13,65	1,1	0,094	0	0	0,094
T212	61,50	23,06	7,48	14,6	1,232	0	0	1,232
T213	22,62	8,48	5,30	32,2	2,723	0	0	2,723
T214	14,32	5,37	2,17	141,5	11,984	0	0	11,984
T215	10,68	4,01	12,72	70,8	5,998	0	0	5,998
T216	17,46	6,55	23,17	20,6	1,741	0	0	1,741
T217	15,24	5,71	12,00	41,2	3,493	0,230	0,026	3,519
T218	3,97	1,49	25,03	22,1	1,875	0,189	0,022	1,897
T219	32,94	12,35	9,67	88,7	7,509	0	0	7,509
T220	7,94	2,98	10,37	37,2	3,146	0,176	0,020	3,166
T221	5,69	2,13	16,04	112,4	9,520	0	0	9,520
T222	8,79	3,29	4,98	13,6	1,152	0	0	1,152
T223	28,93	10,85	5,91	57,5	4,873	0	0	4,873
T224	7,94	2,98	3,39	14,0	1,184	0	0	1,184
T225	5,61	2,10	18,90	238,9	20,227	0	0	20,227
T226	49,98	18,74	20,16	41,4	3,503	0,229	0,026	3,529

Τομές	P mg/kg ξ.ε.	P kg/στρ	B mg/kg ξ.ε.	NO <sup>-3</sup> mg/kg ξ.ε.	N(NO <sup>-3</sup> ) kg/στρ.	NO <sup>-3</sup> mg/kg ξ.ε.	N(NO <sup>-3</sup> ) kg/στρ.	Νολ kg/στρ.
T227	38,15	14,30	6,06	35,3	2,991	0,194	0,022	3,013
T228	5,23	1,96	2,78	54,7	4,632	0	0	4,632
T229	6,64	2,49	12,19	37,9	3,211	0,220	0,025	3,236
T230	8,73	3,27	9,83	20,7	1,754	0	0	1,754
T231	20,42	7,66	18,21	10,3	0,869	0	0	0,869
T232	6,35	2,38	8,03	75,8	6,420	0	0	6,420
T233	5,05	1,89	3,69	68,9	5,836	0	0	5,836
T234	6,35	2,38	4,18	21,3	1,807	0,149	0,017	1,824
T235	14,28	5,36	3,44	32,1	2,722	0	0	2,722
T236	10,32	3,87	3,19	20,5	1,738	0	0	1,738
T27	33,81	12,68	3,19	11,4	0,969	0	0	0,969
T238	16,66	6,25	4,05	29,2	2,471	0	0	2,471
T239	15,79	5,92	3,44	39,5	3,343	0,203	0,023	3,367
T240	104,03	39,01	3,32	49,0	4,149	0,214	0,024	4,174
T241	20,01	7,51	2,95	97,6	8,264	0	0	8,264
T242	21,94	8,23	3,19	23,6	1,999	0,207	0,024	2,023
T243	8,73	3,27	7,86	34,4	2,914	0	0	2,914
T244	10,32	3,87	16,46	16,6	1,409	0	0	1,409
T245	13,87	5,20	3,07	25,5	2,161	0,292	0,033	2,194
T246	24,60	9,22	3,69	43,1	3,651	2,185	0,249	3,901
T247	25,91	9,71	4,55	62,1	5,262	0,189	0,022	5,284
T248	47,68	17,88	3,44	1,2	0,097	0,164	0,019	0,116
T249	24,69	9,26	6,51	6,2	0,529	0	0	0,529
T250	6,82	2,56	3,69	136,9	11,592	0,200	0,023	11,615

## **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.

**Anderson, G., (1980).** Assessing organic phosphorus in soils. p. 411-431. In F.E. **Khasawneh et al. (ed.)** *The Role of Phosphorus in Agriculture, ASA-CSSA-SSSA, USA.*

**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<sup>4+</sup>, NO<sup>3-</sup>, NO<sup>2-</sup>, 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.**



- Leifert, 1997.** Protection against Oral and Gastrointestinal Diseases; Importance of Dietary Intake, Oral Nitrate Reductions and Enterosalivary Nitrate Circulation. *Comp. Biochem Physiol.* 118A (4) : 939 – 948.
- ECETOC, 1994.** Ammonia Emissions to Air in Western Europe. Techn. Report No 62. European Centre for Ecotoxicology of Chemicals, Brussels.
- ECETOC, 1988.** Nitrate and Drinking Water. Techn. Report No 27. European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals, Brussels.
- Eghball, B. and J. E. Gilley, 1999.** Phosphorus and nitrogen in runoff following beef cattle manure or compost application. *J. Environ. Qual.* 28. pp. 1201-1210.
- Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, (1999)** Κλιματικά στοιχεία των σταθμών της Ε.Μ.Υ. Διεύθυνση Κλιματολογίας, Τμήμα Ελέγχου και Επεξεργασίας, Αθήνα.
- Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδος, (2003).** Εκτάσεις και παραγωγή γεωργικών και κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων για το 2002.
- Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδος, (1999).** Ετήσια γεωργική στατιστική κατά Δήμους και Κοινότητες για το έτος 1999.
- Environmental Health Investigations Branch, 2000.** Health Concerns Related to Nitrate and Nitrite in Private Well Water.
- ESRI, (2001).** What is ArcGIS? GIS by ESRI.
- Ewing, M.C and Mayon – White, R. M. (1951).** Cyanosis in infancy from nitrates in drinking water. *Lancet* 260, 931 – 934.
- Farina, M. P. W., Channon, P. (1979).** “A comparison of several phosphorus availability indexes”. *Gewasproduksie* 8:165 – 169. In *Soli Science Society of America, 1990: Soil Testing and Plant Analysis.* 3<sup>rd</sup> edition, SSSA.
- FAO., 2000.** Fertilizers and their use.
- FAO., 1999.** Fertilizer Strategies.
- FAO., 1989.** Fertilizers and Food Production.
- FAS, Foreign Agricultural Service, (1998).** Remote Sensing in the Foreign Agricultural Service, Available in: [http://www.fas.usda.gov/WAP/circular/1997/97-08/remote\\_sensing/rs\\_toc.html](http://www.fas.usda.gov/WAP/circular/1997/97-08/remote_sensing/rs_toc.html)
- Forman, D., Al – Dabbagh, A. and Doll, R. (1985).** Nitrate, nitrite and gastric cancer in Great Britain. *Nature* 313, 620 – 625.
- Fox, R. L., 1981.** “ Using phosphate sorption curves to determine P requirements.” *Better Crops Plant Food*, 66:24 (Winter 1981 – 1982).

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

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

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

**Göppen, W. (1931).** *Grundriss der Klimakunde*. 2<sup>nd</sup> Ed. Der W. Gründer. Berlin – Leibzig 1931.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Hsu, P.H., and Rennie, D.A., 1962.** Reactions of phosphate in aluminum systems. I. Adsorption of phosphate by x-ray amorphous aluminum oxide. *Can. J. Soil Sci.*

42:197-209. In F.E. Khasawneh et al. (ed.) *The Role of Phosphorus in Agriculture*, ASA-CSSA-SSSA, USA

**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 2004

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

**Μήτσιος Κ. Ιωάννης, (1999).** Εδαφολογία 2<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.

- Μήτσιος Ι.Κ., Μ.Γ. Τούλιος, Α. Χαρούλης, Φ. Γάτσιος και Στ. Φλωράς, 2000.** Εδαφολογική μελέτη και εδαφολογικός χάρτης του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στην Περιοχή Βελεστίνου. Εκδόσεις Zymel.
- Μήτσιος, Ι. Κ., Γκόλια, Ε .Ε., και Ρίζου, Ζ .Σ., 2000.** Επίπεδα συγκέντρωσης Βορίου σε εδάφη καλλιεργούμενα με καπνό και νερά άρδευσης της Θεσσαλίας. Πρακτικά 2<sup>ου</sup> Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής. Σελ. 263-270.
- Μήτσιος, Ι. Κ., Σταματοπούλου, Ι. Γ. και Τσάτσα, Α. Γ., 2000.** Διαθεσιμότητα εδαφικού φωσφόρου σε αντιπροσωπευτικές χαρτογραφικές μονάδες της Θεσσαλίας. Πρακτικά 2<sup>ου</sup> Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής. Σελ. 312-319.
- Μήτσιος, Ι.Κ., 2004.** Γονιμότητα Εδαφών, Θρεπτικά στοιχεία φυτών (μακροθρεπτικά μικροθρεπτικά) και Βαρέα μέταλλα Μέθοδο και Εφαρμογές. Εκδόσεις Zymel
- Moore, Jr., P. A., T. C. Daniel and D. R. Edwards, 1999.** Reducing phosphorus runoff and improving poultry production with alum. Poultry Sci. 78. pp. 692-698.
- Moore, Jr., P. A. and D. M. Miller, 1994.** Decreasing phosphorus solubility in poultry litter with aluminum, calcium and iron amendments. J. Environ. Qual. 23. pp. 325-330
- Morgan, M.A., 1997.** The Behaviour of Soil and Fertilizer Phosphorus. pp 137 – 149 In: Tunney et al. (eds). Phosphorus Loss from Soil to Water. CAB Intern, Oxon UK and New York, USA.
- Μουντράκης, Δ., 1986.** Γεωλογία της Ελλάδος. University Studio Press. Θεσσαλονίκη.
- Muljadi, D., Posner, A.M., Quirk, J.P., 1966a.** The mechanism of phosphate adsorption by kaolinite, gibbsite and pseudoboehmite. Part I. The isotherm and the affect of pH on adsorption. J. Soil Sci. 17: 212-229. In F.E. Khasawneh et al. (ed.) The Role of Phosphorus in Agriculture, ASA-CSSA-SSSA, USA.
- Muljadi, D., Posner, A.M., Quirk, J.P., 1966b.** The mechanism of phosphate adsorption by kaolinite, gibbsite and pseudoboehmite. Part II. The location of adsorption sites. J. Soil Sci. 17: 230-237. In F.E. Khasawneh et al. (ed.) The Role of Phosphorus in Agriculture, ASA-CSSA-SSSA, USA.
- Muljadi, D., Posner, A.M., Quirk, J.P., 1966c.** The mechanism of phosphate adsorption by kaolinite, gibbsite and pseudoboehmite. Part III. The effect of temperature on the adsorption. J. Soil Sci. 17: 238-247. In F.E. Khasawneh et al. (ed.) The Role of Phosphorus in Agriculture, ASA-CSSA-SSSA, USA
- Nelson, D. W. and L. E. Sommers, 1982.** Phosphorus. In A. L. Page, R. H. Miller, and D. R. Keeney (eds). Methods of soil analysis. Part 2 – Chemical and microbiological properties. Agronomy 9 (2): 403 – 430. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
- Nye, P.H. and Tinker, P.B. 1977.** *Solute movement in the Soil –Root System.* Blackwell Scientific Publications, Oxford.

**Olsen, S. R., C. V. Cole, F. S. Watanabe and L. N. Dean, 1954.** Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. U.S. Dep of Agric. Circ. 939.

**Olsen, S.R., Bowman, R.A., Watanabe F.S., 1977.** Behavior of phosphorus in the soil and interaction with other nutrients. Phosphorus Agrc. 70: 31-46. In Soil Science Society of America, 1990: Soil Testing and Plant Analysis, 3<sup>rd</sup> ed. SSSA.

**Peters, L. M. and N. T. Basta, 1996.** Reduction of excessive bioavailable phosphorus in soils by using municipal and industrial waste. J. Environ. Qual. 25. pp. 1236-1241.

**Pissarides, A., Stewart, J.W.B., Rennie, D.A., 1968.** Influence of cation saturation on phosphorus adsorption by selected clay minerals. Can. Soil Sci. 48: 151-157. In F.E. Khasawneh et al. (ed.) The Role of Phosphorus in Agriculture, ASA-CSSA-SSSA, USA.

**Pittiglio, S. and H.E. Doner, 2001.** The use of micro-FTIR to characterize soil minerals and Boron adsorption. Ecosystem Sciences Division. Environmental Science, Policy and Management.

**Prather, M., R. Derwent, D. Ehhalt, P. Fraser, E. Sanhueza, and X. Zhou, (1995).** Other trace gases and atmospheric chemistry. pp 73 -126 In J.T. Houghton et al (eds): Climate change 1994; Radiative forcing of climate change and an evaluation of the IPCC IS92 emission scenarios. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.

**Reddy, K. R., G. A. O'Connor and P. M. Gale, 1998.** Phosphorus sorption capacity of wetland soils and stream sediments impacted by dairy effluent. J. Environ. Qual. 27. pp. 438-447.

**Risch, H.A., Jain, M. and Cloi, N.W. (1985).** Dietary factors and the incidence of cancer of the stomach. American Journal of Epidemiology 122, 947 – 959.

**Rowell, D.L., (1995).** Soil Science, Methods and Applications. Longman Group UK Limited.

**Russel, E.W., (1973).** Soil Conditions and Plant Growth. Longman

**Russell, R.S., and Rickson, G.B. and Adams, S.N. 1954.** Isotopic equilibria between phosphates in soil and their significance in the assessment of fertility by tracer methods. J. Sci. 5, 85-105.

**Ryden, G.C., Syers, G.K. and Harris, R.F. 1973.** Phosphorus in runoff and streams. Advances in Agronomy, 25 1-45.

**Sample, E.C., R.G. Soper, and G.J. Racz, 1980.** Reaction of phosphate fertilizers in soils. Pp 263-310 in: F.E. Khasawneh et al. (eds). The Role of Phosphorus in Agriculture. ASA-CSSA-SSSA. Madison

- Sattelmacher P.G. (1962).** Methaemoglobinaemia durch nitrate in Trinkwasser. Schriflenreihe Verein, Wasser Boden Lufthyg. Berlin-Dahlen 20, Gustav Fisher Verlag, Stuttgart.
- Sawhney, B.L., 1974.** Charge characteristics of soils as affected by phosphate sorption. Soil Sc. Soc. Am. Proc. 28: 159-160. In F.E. Khasawneh et al. (ed.) The Role of Phosphorus in Agriculture, ASA-CSSA-SSSA, USA.
- Schroth G., Sinclair F.L., 2003.** Trees, Crops and Soil Fertility Concepts and Research Methods
- Sharpley, A. N., S. J. Smith, B. A. Stewart and A. C. Mathers, 1984.** Forms of phosphorus in soil receiving cattle feedlot waste. J. Environ. Qual. 13. pp. 211-215.
- Sharpley, A. N., 1995.** Identifying sites vulnerable to phosphorus loss on agricultural runoff. J. Environ. Qual. 24. pp. 947-951.
- Sharpley, A. N., 1995.** Dependence of runoff phosphorus on extractable soil phosphorus. J. Environ. Qual. 24. pp. 920-926.
- Sharpley, A.N., and J. Lemunyon, 1997.** Identifying Critical Sources of Phosphorus Export from Agriculture Catchments. Pp 391 – 394 in: Tunney et al. (eds). Phosphorus Loss from Soil to Water. CAB Intern. Oxon UK and New York, USA.
- Sharpley, A.N., and S. Rekolainen, 1997.** Phosphorus in Agriculture and Its Environmental Implications, pp 1 – 54 in: Tunney et al. (eds). Phosphorus Loss from Soil to Water. CAB Intern. Oxon UK and New York, USA.
- Sharpley, A. N. and S. J. Smith, 1989.** Prediction of soluble phosphorus transport in agricultural runoff. J. Environ. Qual. 18. pp. 313-316.
- Shreve, B. R., P. A. Moore, T. C. Daniel, D. R. Edwards and D. M. Miller, 1995.** Reduction of phosphorus in runoff from field applied poultry litter using chemical amendments. J. Environ. Qual. 24. pp. 106-111.
- Smeck, N.E., 1985.** Phosphorus dynamics in soils and landscapes. Geoderma 36: 185-199. In Soil Science Society of America, 1990: Soil Testing and Plant Analysis, 3<sup>rd</sup> ed. SSSA.
- Smith, K.A., I.P. Mc Taggar, and H. Tsuruta, 1997.** Emissions of N<sub>2</sub>O and NO associated with nitrogen fertilization in intensive agriculture and the potential for mitigation. Soil Use and Management. No 4: (Supplement: Soils and the Greenhouse Effect). 13:246 – 304.
- Smith T. and P.A Sanchez, 1982.** Phosphate rock dissolution availability in Cerrado soils affected by phosphorus sorption capacity. Soil Sci. Soc. Am. Pp 46 : 339 – 345.
- Soil Taxonomy, 1999.** A basic system of soil classification for making and interpreting Soil Surveys. USDA. Agric. Handb. 436 U.S. Government Printing Office, Washington D.C.

Stevenson, F. J. and M. A. Cole, 1999. Cycles of Soil: Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients, 2nd ed. John Wiley & Sons, New York

Storey J. Benton, 1997. Horticultural Crops Plant Nutrition Series

Tabatabai, M. A., and W. A. Dick, 1979. Distribution and stability of pyrophosphates in soils." *Soil Biol. Biochem.*, 11:655.

Theocharopoulos S.P., M. Karagianni – Christou, P. Galtzogianni, P. Papadopoulos, C. Paschalides, P. Dimitropoulos and G. Antonacopoulos, 1989. An approach to measure nitrate leaching in Kopaidis area in Greece. Preliminary results in : Management Systems to Reduce Impacts on Nitrates (ed. German G.C./ Elsevier Applied Sciences and C.E.C London and N. York).

Theocharopoulos, S.P., Karayianni, S., Gatzogianni, P., Afentaki, A., and Aggelides, S., 1994. Seasonal climatic variability and upward nitrate movement in Greek soils. In M. D. A. Rounsevell and P.J. Loveland (eds), **Soil Responses to Climate Change**", 245-248, Springer-Verlag. NATO ASI Series I: Global Environmental Change, Vol. 23.

Theocharopoulos , S.P., Wagner, G., Sprengart, J., Mohr, M-E, Desales, A., Muntau, H., Christou, M., Quevauviller, P., 2001. Comparative soil sampling in Dornach site (Switzerland) for soil three-dimensional pollution studies. **The Science of the Total Environment**, special issue, Vol. 264, Nos.1-2, 63-72.

Theocharopoulos, S. P., Wagner, G., Sprengart, J., Mohr, M-E., Desales, A., Muntau, H., Christou, M., Quevauviller, Ph., 2001. European soil sampling guidelines for soil pollution studies. **The Science of the Total Environment**, special issue, Vol. 264, Nos.1-2, 51-62.

Theocharopoulos, S.P., Davidson, D.A., Tsouloucha, F., and Trikatsoula, A., 1995. Soil Survey and Geographic Information Systems Technology. **Soil Survey Horizons**, Vol. 36, 1-4.

Theocharopoulos, S.P., Davidson, D.A., McArthur, J.N., and Tsouloucha, F., 1995. GIS as an aid to soil surveys and land evaluation in Greece. **Journal of Soil and Water Conservation** 50, 118-124,.

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 Environment**, special issue, Vol. 264, Nos.1-2, 73-101.

Wagner, G., Desales, A., Muntau, H., Theocharopoulos, S.P. Quevauviller P., 2001. Harmonization and quality assurance in pre-analytical steps of soil contamination studies – Conclusions and recommendations of the CEEM Soil project. **The Science of the Total Environment**, special issue, Vol. 264, Nos.1-2, 103-117

Wagner, G., Mohr, M-E., Sprengart, J., Desales, A., Muntau, H., Theocharopoulos, S.P. Quevauviller P., 2001. Objectives, concept and design of the



CEEM soil project. **The Science of the Total Environment**, special issue, Vol. 264, Nos.1-2, 3-15.

**Tisdale L. S., Nelson L. W. and Beaton D. J., 1985.** Soil Fertility and Fertilizers – Fourth Edition, New York.

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

**Turner, B., M. J. Paphazy, P. M. Haygarth and I. D. McKelvie, (2002).** Inositol phosphates in the environment. Philis. Trans. R. Soc. Lond. B 357. pp. 449-469

**UK DoE (1986).** Nitrate in Water. Department of the Environment. Pollution Paper 26, HMSO, London.

**Wild, A., 1950.** The retention of phosphate by soil. A review. J.Soil Sci. 1:221-238.

**Υπουργείο Γεωργίας (2001).** Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων και προέγκρισης χωροθέτησης λιμνοδεξαμενής ποταμού Ξεριά Ν. Μαγνησίας.

**Φλωράς Σταμάτης (2004),** Παραδόσεις του μαθήματος Τηλεπισκόπηση (RS), Βόλος 2004.

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

**Φλωράς Σταμάτης, (2003).** Παραδόσεις του μαθήματος Γένεση, Ταξινόμηση και Χαρτογράφηση Εδαφών, Βόλος 2003.

- 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<sup>4+</sup>, NO<sup>3-</sup>, NO<sup>2-</sup>, 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.**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**FAO., 2000.** Fertilizers and their use.

**FAO., 1999.** Fertilizer Strategies.

**FAO., 1989.** Fertilizers and Food Production.

**FAS, Foreign Agricultural Service, (1998).** Remote Sensing in the Foreign Agricultural Service, Available in: [http://www.fas.usda.gov/WAP/circular/1997/97-08/remote\\_sensing/rs\\_toc.html](http://www.fas.usda.gov/WAP/circular/1997/97-08/remote_sensing/rs_toc.html)

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

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

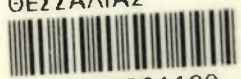


Faded text, likely bleed-through from the reverse side of the page. The text is illegible due to low contrast and blurring.

... P requirements ...



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000091190