



**ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΩΝ ΓΕΩΠΟΝΩΝ**



**Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών (ΠΜΣ)
«Καινοτόμα Συστήματα Αειφόρου Αγροτικής Παραγωγής»**

**Κατεύθυνση: Ορθολογική Διαχείριση Φυτικού Κεφαλαίου
και Εδαφοϋδατικών Πόρων**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ
ΟΞΙΝΩΝ ΕΛΑΦΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΓΑΛΛΙΚΟΥ ΚΙΑΚΙΣ**

της

ΧΑΪΔΩΣ ΚΑΛΟΓΙΑΝΝΗ

Επιβλέπων Καθηγητής :

Στέφανος Στεφάνου, Επίκουρος Καθηγητής

Θεσσαλονίκη, Νοέμβριος 2017



**ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΩΝ ΓΕΩΠΟΝΩΝ**



**Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών (ΠΜΣ)
«Καινοτόμα Συστήματα Αειφόρου Αγροτικής Παραγωγής»**

**Κατεύθυνση: Ορθολογική Διαχείριση Φυτικού Κεφαλαίου
και Εδαφοϋδατικών Πόρων**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ
ΟΞΙΝΩΝ ΕΛΑΦΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΓΑΛΛΙΚΟΥ ΚΙΑΚΙΣ**

της

ΧΑΪΔΩΣ ΚΑΛΟΓΙΑΝΝΗ

Επιβλέπων Καθηγητής :

Στέφανος Στεφάνου, Επίκουρος Καθηγητής

Θεσσαλονίκη, Νοέμβριος 2017

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θέλω να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου και επιβλέποντα αυτής της διπλωματικής εργασίας, Επίκουρο Καθηγητή του ΑΤΕΙΘ κ. Στέφανο Στεφάνου, για την πολύτιμη καθοδήγησή του και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε.

Εκφράζω τις ευχαριστίες μου και στα δυο άλλα μέλη της συμβουλευτικής επιτροπής, τον Καθηγητή του ΑΤΕΙΘ κ. Νικήτα Καραγιαννίδη και τον Καθηγητή και Διευθυντή του Perrotis College της Αμερικανικής Γεωργικής Σχολής κ. Αθανάσιο Γκέρτση για την κριτική ανάγνωση του κειμένου, τις διορθώσεις και τις υποδείξεις τους.

Ευχαριστίες θέλω να εκφράσω στην Υπηρεσία στην οποία εργάζομαι, το Ινστιτούτο Εδαφοϋδατικών Πόρων (πρώην Ινστιτούτο Εργείων Βελτιώσεων) του ΕΛΓΟ «ΔΗΜΗΤΡΑ» και σε όλο το προσωπικό για την δυνατότητα που μου έδωσαν για την εκπόνηση μεγάλου μέρους της διατριβής αυτής στις εγκαταστάσεις του με την αμέριστη συμπαράστασή του. Πιο συγκεκριμένα:

τον Αν. Ερευνητή του ΕΛΓΟ «ΔΗΜΗΤΡΑ» κ. Ευάγγελο Χατζηγιαννάκη για την άμεση και ουσιαστική βοήθεια που μου παρείχε κατά τη διάρκεια εκπόνησης αυτής της εργασίας, καθώς και για τις χρήσιμες υποδείξεις του,

τους συναδέλφους μου στο εργαστήριο κ. Γεωργία Καντουνάτου, κ. Δήμητρα Τσεκούρα, Χημικό Μηχανικό, κ. Βασιλική Κυνηγοπούλου, Χημικό - Υποψήφια Διδάκτορα και κ. Σάββα Τσολακίδη για την πολύτιμη βοήθειά τους στην προκατεργασία των εδαφικών δειγμάτων και στην εκτέλεση των εργαστηριακών προσδιορισμών.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Γιάννη Βρουχάκη, Γεωλόγο - Υποψήφιο Διδάκτορα, για την σημαντική συμβολή του στο σχεδιασμό των θεματικών χαρτών και την κ. Ελένη Αβραμίδου, Γεωλόγο για την προθυμία και το χρόνο που διέθεσε για μένα κατά τη διάρκεια των εδαφικών δειγματοληψιών.

Ευχαριστώ τέλος την οικογένειά μου, για την κατανόηση και υποστήριξη που μου έδειξε κατά την περίοδο αυτή.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην αγροτική περιοχή του Γαλλικού Κιλκίς και σε έκταση περίπου 4.000 στρεμμάτων, πραγματοποιήθηκε εδαφολογική μελέτη, σκοπός της οποίας ήταν ο εντοπισμός των προβληματικών εδαφών της περιοχής και η δημιουργία μιας βάσης δεδομένων για το μελλοντικό σχεδιασμό της παραγωγικής δραστηριότητας στον αγροτικό χώρο. Η μελέτη περιελάμβανε λήψη εδαφικών δειγμάτων από βάθος 0-30 εκ. και αναλύσεις στο εργαστήριο για τον προσδιορισμό της κοκκομετρικής σύστασης, του pH, της οργανικής ουσίας, της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC), της Ικανότητας Ανταλλαγής Κατιόντων (CEC), του ποσοστού εναλλακτικού νατρίου (ESP), καθώς και της περιεκτικότητας αυτών σε θρεπτικά στοιχεία όπως, ολικό άζωτο (N), νιτρικό άζωτο (NO₃-N), φώσφορο (P), ανταλλάξιμο κάλιο (K), μαγνήσιο (Mg) και ασβέστιο (Ca), χαλκό (Cu), μαγγάνιο (Mn), σίδηρο (Fe), ψευδάργυρο (Zn) και βόριο (B). Το σύνολο των αναλύσεων πραγματοποιήθηκε στο διαπιστευμένο εργαστήριο του Ινστιτούτου Εδαφοδατικών Πόρων (πρώην Ινστιτούτο Εγγείων Βελτιώσεων) του Ελληνικού Γεωργικού Οργανισμού «Δήμητρα». Τα αποτελέσματα των αναλύσεων έδειξαν ότι τα εδάφη της περιοχής μελέτης είναι μέσης κοκκομετρικής σύστασης (SL-SCL), με τιμές pH που κυμαίνονται από 4,3 έως 5,9. Πρόκειται, επομένως, για όξινα εδάφη εκ των οποίων περίπου το 77% έχει τιμές pH < 5,5 (όξινα προβληματικά). Τα επίπεδα οργανικής ουσίας είναι παρόμοια με αυτά των μέσων ελληνικών εδαφών, ενώ δεν υφίσταται πρόβλημα αλατότητας και νατρίωσης. Όσον αφορά τα θρεπτικά στοιχεία, τα κυριότερα προβλήματα εντοπίζονται στα χαμηλά επίπεδα ολικού N και NO₃-N στην πλειονότητα των εδαφών (γεγονός που μπορεί να αποδοθεί στα χαμηλά ποσοστά οργανικής ουσίας και στην έκπλυση λόγω των υψηλών ποσοστών άμμου, αντίστοιχα), στα χαμηλά επίπεδα αφομοιώσιμου P στο 30% των εδαφών και, όσον αφορά στα μικροθρεπτικά, στα ανεπαρκή επίπεδα Zn και B στο σύνολο των εδαφών. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος της οξύτητας και την αύξηση της παραγωγικότητας των εδαφών της περιοχής μελέτης, προτείνονται διάφορα εδαφοβελτιωτικά υλικά, των οποίων οι ποσότητες εφαρμογής στον αγρό θα πρέπει να εκτιμηθούν με βάση τις κατάλληλες εργαστηριακές μετρήσεις (καμπύλες εξουδετέρωσης). Επιπλέον, απαιτείται η εφαρμογή των κατάλληλων διαχειριστικών πρακτικών για την αύξηση της οργανικής ουσίας και την επακόλουθη αύξηση του ολικού N, όπως επίσης η εφαρμογή των κατάλληλων λιπαντικών τακτικών για την αντιμετώπιση των όποιων ελλείψεων

θρεπτικών στοιχείων και την αποφυγή της υπερλίπανσης για κάποια άλλα θρεπτικά. Η βελτίωση των όξινων προβληματικών εδαφών της περιοχής Γαλλικού Κιλκίς με σκοπό την αύξηση της παραγωγικότητάς τους και τη διατήρηση της αειφορίας τους, απαιτεί περισσότερο συστηματική έρευνα που θα περιλαμβάνει εδαφική ανάλυση όλων των αγροτεμαχίων της περιοχής και υπολογισμό της κατάλληλης ποσότητας εδαφοβελτιωτικού υλικού. Επομένως, η παρούσα διπλωματική εργασία μπορεί να αποτελέσει ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο και μία βάση για την συστηματική εξυγίανση των προβληματικών εδαφών της περιοχής.

ABSTRACT

In the agricultural area of Gallikos Kilkis, on an area of approximately 4,000 acres, a soil study was conducted to identify the problematic soils of the area and to create a database for the future planning of productive activity in the area. The study included soil samples from 0-30 cm deep and laboratory analyzes to determine the particle size composition, pH, organic matter, electrical conductivity (EC), Cation Exchange Capacity (CEC), the exchangeable sodium percentage (ESP), as well as the nutrient contents, such as total nitrogen (N), nitrate nitrogen (NO₃-N), phosphorus (P), exchangeable potassium (K), magnesium (Mg) and calcium (Ca), copper (Cu), manganese (Mn), iron (Fe), zinc (Zn) and boron (B). All the analyzes were carried out at the accredited laboratory of the Soil and Water Resources Institute (former Land Reclamation Institute) of the Hellenic Agricultural Organization "Demeter". The results of the analyzes showed that the soils of the study area were of average particle size composition (SL-SCL), with pH values ranging from 4.3 to 5.9. They are therefore acid soils, of which about 77% have pH values of < 5.5 (acidic problems). The levels of organic matter are similar to those of the average Greek soils, and there is no problem of salinity and sodicity. With regard to nutrients, the main problems are found in low levels of total N and NO₃-N in most of the soils (which can be attributed to washing due to high sand rates), low assimilable P levels in 30% of the soils and, with regard to micronutrients, insufficient levels of Zn and B in all soils. In order to face the problem of acidity and increase the productivity in the study area, various soil conditioners are proposed, the application rates of which, should be estimated based on laboratory measurements (neutralization curves). In addition, appropriate management practices are needed, to increase the organic matter and the resulting increase in total N, as well as the application of an appropriate fertilizing plan to overcome any nutrient deficiencies and to avoid over-fertilization for some other nutrients. Improving the acid soils of the area of Gallikos in order to increase their productivity and maintain their sustainability, more systematic research is required, including soil analysis of the whole area and calculating the proper amount of soil conditioners. Therefore, this diplomatic thesis can be a very useful tool and a basis for the systematic rehabilitation of the problematic soils of the area.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	σελ.
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	ii
ABSTRACT.....	iv
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΑ.....	viii
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ.....	ix
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ.....	x
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΙ ΧΑΡΤΕΣ.....	xi
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΕΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	xii
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	
1.1. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΙΚΑ ΕΔΑΦΗ – ΓΕΝΙΚΑ.....	1
1.2. ΟΞΙΝΑ ΕΔΑΦΗ.....	2
1.2.1. Εισαγωγή.....	2
1.2.2. Οξύτητα του εδάφους.....	2
1.2.3. Ρυθμιστική ικανότητα του εδάφους.....	4
1.3. ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΟΞΙΝΩΝ ΕΔΑΦΩΝ.....	5
1.4. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΟΞΙΝΙΣΗΣ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ.....	6
1.5. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΟΞΥΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ.....	9
1.6. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΟΞΥΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ.....	9
1.7. ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΟΞΙΝΩΝ ΕΔΑΦΩΝ.....	10
1.7.1. Μετρίως όξινα εδάφη.....	11
1.7.2. Ισχυρώς όξινα εδάφη.....	11
1.7.3. Όξινα θειικά εδάφη.....	11
1.8. ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΩΝ ΟΞΙΝΩΝ ΕΔΑΦΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	12
1.9. ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΟΞΙΝΩΝ ΕΔΑΦΩΝ.....	14
1.10. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	16
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	17
2.1. ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΥΠΑΙΘΡΟΥ.....	17
2.1.1. Περιοχή έρευνας και δειγματοληψία.....	17
2.1.2. Προκατεργασία εδαφικών δειγμάτων.....	19
2.2. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	20

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	σελ.
2.2.1. Προσδιορισμός κοκκομετρικής σύστασης (Μέθοδος Βουγιούκου).....	20
2.2.2. Προσδιορισμός οργανικού άνθρακα – οργανικής ουσίας (Μέθοδος υγρής οξειδωσης).....	21
2.2.3. Προσδιορισμός pH πάστας κορεσμού.....	22
2.2.4. Προσδιορισμός Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας (EC) στο εκχύλισμα κορεσμού.....	24
2.2.5. Προσδιορισμός Ικανότητας Ανταλλαγής Κατιόντων (CEC).....	26
2.2.6. Προσδιορισμός ολικού αζώτου (N _t) (Μέθοδος Kjeldahl).....	26
2.2.7. Προσδιορισμός διαθέσιμων νιτρικών (NO ₃ ⁻).....	27
2.2.8. Προσδιορισμός αφομοιώσιμου φωσφόρου (P).....	29
2.2.9. Προσδιορισμός ανταλλάξιμων κατιόντων (K, Na, Ca, Mg).....	30
2.2.10. Προσδιορισμός διαθέσιμων θρεπτικών μετάλλων (Cu, Fe, Mn, Zn)....	31
2.2.11. Προσδιορισμός βορίου (B).....	33
2.3. ΘΕΜΑΤΙΚΟΙ ΧΑΡΤΕΣ.....	35
2.4. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	36
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	37
3.1. ΒΑΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ.....	37
3.1.1. Κοκκομετρική σύσταση.....	37
3.1.2. Οργανική ουσία.....	40
3.1.3. pH.....	42
3.1.4. Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC).....	44
3.1.5. Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (CEC).....	46
3.1.6. Ποσοστό ανταλλάξιμου νατρίου (ESP).....	48
3.2. ΘΡΕΠΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	49
3.2.1. Ολικό άζωτο (N _t).....	49
3.2.2. Νιτρικό άζωτο (NO ₃ -N).....	51
3.2.3. Διαθέσιμος φώσφορος (P).....	53
3.2.4. Εναλλακτικό κάλιο (K).....	55
3.2.5. Εναλλακτικό ασβέστιο (Ca) και μαγνήσιο (Mg).....	57
3.2.6. Διαθέσιμος χαλκός (Cu).....	60
3.2.7. Διαθέσιμος σίδηρος (Fe).....	62

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	σελ.
3.2.8. Διαθέσιμος ψευδάργυρος (Zn).....	64
3.2.9. Διαθέσιμο μαγγάνιο (Mn).....	66
3.2.10. Διαθέσιμο βόριο (B).....	68
3.3. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΗΣ ΟΞΥΤΗΤΑΣ	
ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ.....	70
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	71
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	74
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	80

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΑ

	σελ.
Σχήμα 1.1. Επίδραση του pH στη βιοδιαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων.....	3
Σχήμα 1.2. Σχηματική παράσταση της ρυθμιστικής ικανότητας του εδάφους (Brady and Weil, 2007).....	5
Σχήμα 3.1. Τρίγωνο μηχανικής (κοκκομετρικής) σύστασης εδάφους.....	37

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ

	σελ.
Γράφημα 3.1. Ποσοστιαία κατανομή της κοκκομετρικής σύστασης των εδαφών.....	38
Γράφημα 3.2. Ποσοστιαία κατανομή των συγκεντρώσεων οργανικής ουσίας των εδαφών.....	40
Γράφημα 3.3. Ποσοστιαία κατανομή των τιμών pH των εδαφών.....	42
Γράφημα 3.4. Ποσοστιαία κατανομή των τιμών EC των εδαφών.....	44
Γράφημα 3.5. Ποσοστιαία κατανομή των τιμών Ικανότητας Ανταλλαγής Κατιόντων των εδαφών.....	46
Γράφημα 3.6. Ποσοστιαία κατανομή του ESP των εδαφών.....	48
Γράφημα 3.7. Ποσοστιαία κατανομή των συγκεντρώσεων του ολικού αζώτου (N_{total}) των εδαφών.....	49
Γράφημα 3.8. Ποσοστιαία κατανομή των συγκεντρώσεων του νιτρικού αζώτου (NO_3-N) των εδαφών.....	51
Γράφημα 3.9. Ποσοστιαία κατανομή των συγκεντρώσεων του διαθέσιμου φωσφόρου (P) των εδαφών.....	53
Γράφημα 3.10. Ποσοστιαία κατανομή των συγκεντρώσεων του εναλλακτικού καλίου (K) των εδαφών.....	55
Γράφημα 3.11. Ποσοστιαία κατανομή των συγκεντρώσεων του εναλλακτικού μαγνησίου (Mg) των εδαφών.....	58
Γράφημα 3.12. Ποσοστιαία κατανομή των συγκεντρώσεων του διαθέσιμου χαλκού (Cu) των εδαφών.....	60
Γράφημα 3.13. Ποσοστιαία κατανομή των συγκεντρώσεων του διαθέσιμου σιδήρου (Fe) των εδαφών.....	62
Γράφημα 3.14. Ποσοστιαία κατανομή των συγκεντρώσεων του διαθέσιμου ψευδαργύρου (Zn) των εδαφών.....	64
Γράφημα 3.15. Ποσοστιαία κατανομή των συγκεντρώσεων του διαθέσιμου μαγγανίου (Mn) των εδαφών.....	66
Γράφημα 3.16. Ποσοστιαία κατανομή των συγκεντρώσεων του διαθέσιμου βορίου (B) των εδαφών.....	68

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ

	σελ.
Πίνακας 1.1. Φυτά ευαίσθητα στην οξίνιση των εδαφών. Η ευαισθησία των φυτών εκφράζεται ως η τιμή του pH του εδάφους κάτω της οποίας η καλλιέργεια των φυτών είναι προβληματική (Μήτσιος, I., 1999).....	10
Πίνακας 1.2. Εκτάσεις όξινων εδαφών της Β. Ελλάδας (Κοροξενίδης, 1985).....	13
Πίνακας 3.1. Χαρακτηρισμός εδαφών με βάση την περιεκτικότητά τους σε οργανική ουσία.....	40
Πίνακας 3.2. Ταξινόμηση των εδαφών σε σχέση με το pH.....	42
Πίνακας 3.3. Χαρακτηρισμός εδαφών με βάση τις τιμές Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας (EC).....	44
Πίνακας 3.4. Χαρακτηρισμός εδαφών με βάση τις τιμές Ικανότητας Ανταλλαγής Κατιόντων (CEC).....	46
Πίνακας 3.5. Χαρακτηρισμός εδαφών με βάση τις τιμές Ποσοστού Εναλλακτικού Νατρίου (ESP).....	48
Πίνακας 3.6. Χαρακτηρισμός περιεκτικότητας εδαφών σε ολικό άζωτο (N_{total}).....	49
Πίνακας 3.7. Χαρακτηρισμός περιεκτικότητας εδαφών σε νιτρικό άζωτο (NO_3-N).....	51
Πίνακας 3.8. Χαρακτηρισμός περιεκτικότητας εδαφών σε διαθέσιμο φώσφορο (P).....	53
Πίνακας 3.9. Χαρακτηρισμός περιεκτικότητας εδαφών σε εναλλακτικό κάλιο (K).....	55
Πίνακας 3.10. Χαρακτηρισμός περιεκτικότητας εδαφών σε εναλλακτικό μαγνήσιο (Mg).....	57
Πίνακας 3.11. Χαρακτηρισμός περιεκτικότητας εδαφών σε διαθέσιμο χαλκό (Cu).....	60
Πίνακας 3.12. Χαρακτηρισμός περιεκτικότητας εδαφών σε διαθέσιμο σίδηρο (Fe).....	62
Πίνακας 3.13. Χαρακτηρισμός περιεκτικότητας εδαφών σε διαθέσιμο ψευδάργυρο (Zn).....	64
Πίνακας 3.14. Χαρακτηρισμός περιεκτικότητας εδαφών σε διαθέσιμο μαγγάνιο (Mn).....	66
Πίνακας 3.15. Χαρακτηρισμός περιεκτικότητας εδαφών σε διαθέσιμο βόριο (B).....	68

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΙ ΧΑΡΤΕΣ

	σελ.
Χάρτης 2.1.	Περιοχή μελέτης (αγροτική περιοχή Γαλλικού Κιλκίς)..... 17
Χάρτης 2.2.	Θέσεις δειγματοληψίας..... 18
Χάρτης 3.1.	Θεματικός χάρτης της κοκκομετρικής σύστασης των εδαφών.. 39
Χάρτης 3.2.	Θεματικός χάρτης της οργανικής ουσίας των εδαφών..... 41
Χάρτης 3.3.	Θεματικός χάρτης του pH εδαφών..... 43
Χάρτης 3.4.	Θεματικός χάρτης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) των εδαφών..... 45
Χάρτης 3.5.	Θεματικός χάρτης της Ικανότητας Ανταλλαγής Κατιόντων των εδαφών..... 47
Χάρτης 3.6.	Θεματικός χάρτης περιεκτικότητας των εδαφών σε ολικό άζωτο (N_{total})..... 50
Χάρτης 3.7.	Θεματικός χάρτης περιεκτικότητας των εδαφών σε νιτρικό άζωτο (NO_3-N)..... 52
Χάρτης 3.8.	Θεματικός χάρτης περιεκτικότητας των εδαφών σε διαθέσιμο φώσφορο (P)..... 54
Χάρτης 3.9.	Θεματικός χάρτης περιεκτικότητας των εδαφών σε ανταλλάξιμο κάλιο (K)..... 56
Χάρτης 3.10.	Θεματικός χάρτης περιεκτικότητας των εδαφών σε ανταλλάξιμο μαγνήσιο (Mg)..... 59
Χάρτης 3.11.	Θεματικός χάρτης περιεκτικότητας των εδαφών σε διαθέσιμο χαλκό (Cu)..... 61
Χάρτης 3.12.	Θεματικός χάρτης περιεκτικότητας των εδαφών σε διαθέσιμο σίδηρο (Fe)..... 63
Χάρτης 3.13.	Θεματικός χάρτης περιεκτικότητας των εδαφών σε διαθέσιμο ψευδάργυρο (Zn)..... 65
Χάρτης 3.14.	Θεματικός χάρτης περιεκτικότητας των εδαφών σε διαθέσιμο μαγγάνιο (Mn)..... 67
Χάρτης 3.15.	Θεματικός χάρτης περιεκτικότητας των εδαφών σε διαθέσιμο βόριο (B)..... 69

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΕΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ

	σελ.
Φωτογραφία 2.1.	Δειγματοληψία εδάφους με δειγματολήπτη..... 19
Φωτογραφία 2.2.	Μηχανικοί αναδευτήρες..... 20
Φωτογραφία 2.3.	Μέτρηση κοκκομετρικής σύστασης..... 21
Φωτογραφία 2.4.	Συσκευή προσδιορισμού οργανικής ουσίας..... 22
Φωτογραφία 2.5.	Παρασκευή εδαφικής πάστας..... 23
Φωτογραφία 2.6.	Μέτρηση pH στην εδαφική πάστα κορεσμού (JENWAY 3250 pH Meter)..... 24
Φωτογραφία 2.7.	Συσκευή φυγοκέντρησης δειγμάτων (Centrifuge 5810 erpendorf)..... 25
Φωτογραφία 2.8.	Μέτρηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο εκχύλισμα κορεσμού (CONDUCTIMETER GLP 32 CRISON)..... 25
Φωτογραφία 2.9.	Συσκευή Kjeldahl για τον προσδιορισμό του ολικού αζώτου (N_{total}) (Gerhardt Kjeldatherm)..... 27
Φωτογραφία 2.10.	Συσκευή στήλης καδμίου για τον προσδιορισμό των διαθέσιμων νιτρικών (NO_3^-)..... 28
Φωτογραφία 2.11.	Μέτρηση των διαθέσιμων νιτρικών (NO_3^-) στο φασματοφωτόμετρο (Perkin Elmer Lambda 35 UV/VIS Spectrometer)..... 28
Φωτογραφία 2.12.	Μέτρηση του αφομοιώσιμου φωσφόρου (P) στο φασματοφωτόμετρο (SHIMADZU UV-1204 UV-VIS Spectrophotometer)..... 29
Φωτογραφία 2.13.	Συσκευή για την ανακίνηση των δειγμάτων (Edmund Buhler GmbH SM-30 CONTROL)..... 30
Φωτογραφία 2.14.	Μέτρηση των κατιόντων νατρίου (Na) και καλίου (K) σε φλογοφωτόμετρο (Sherwood M410 Flame Photometer)..... 31
Φωτογραφία 2.15.	Μέτρηση των μετάλλων χαλκού (Cu), σιδήρου (Fe), μαγγανίου (Mn) και των ανταλλάξιμων ασβεστίου (Ca) και μαγνησίου (Mg) στο φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης (Perkin Elmer AAnalyst 700 Atomic Absorption Spectrometer)..... 32
Φωτογραφία 2.16.	Μέτρηση του διαθέσιμου ψευδαργύρου (Zn) στο φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης (Perkin Elmer AAnalyst 200 Atomic Absorption Spectrometer).. 32
Φωτογραφία 2.17.	Συσκευή προσδιορισμού βορίου (Gerhardt)..... 33
Φωτογραφία 2.18.	Αμμόλουτρο (Gerhardt Thermo) και πυριατήριο (Heraeus M110) για την ξήρανση και καύση των δειγμάτων..... 34

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

1.1. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΙΚΑ ΕΔΑΦΗ – ΓΕΝΙΚΑ

Ο χαρακτηρισμός «προβληματικά ή ευπαθή εδάφη» αναφέρεται σε εκείνες τις κατηγορίες εδαφών, τα οποία έχουν χάσει τη γονιμότητά τους, με αποτέλεσμα τον περιορισμό ή ακόμα και την αναστολή της ανάπτυξης των καλλιεργουμένων ειδών και τελικά τη μείωση της παραγωγής (Breemen et al., 1983; Μισοπολινός, 1991; Τσαπικούνης, 1997; Κουκουλάκης και Παπαδόπουλος, 2007).

Τα προβληματικά εδάφη κατατάσσονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- *αλατούχα*: είναι τα εδάφη που έχουν μεγάλη συγκέντρωση υδατοδιαλυτών αλάτων. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα υπερβαίνει τα 4 mS/cm στο εκχύλισμα κορεσμού, το ποσοστό του εναλλακτικού νατρίου είναι κάτω του 15% και το pH είναι μικρότερο του 8,5 (Αλιφραγκής, 2008),
- *αλατούχα - αλκαλιωμένα*: είναι τα εδάφη που έχουν ηλεκτρική αγωγιμότητα μεγαλύτερη των 4 mS/cm στο εκχύλισμα κορεσμού, το ποσοστό του εναλλακτικού νατρίου είναι πάνω από 15% και το pH είναι μικρότερο του 8,5 (Αλιφραγκής, 2008),
- *αλκαλιωμένα*: είναι τα εδάφη που έχουν χαμηλή συγκέντρωση υδατοδιαλυτών αλάτων. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι κάτω από 4 mS/cm στο εκχύλισμα κορεσμού, το ποσοστό του εναλλακτικού νατρίου είναι πάνω από 15% και το pH είναι μεγαλύτερο του 8,5 και σε ακραίες περιπτώσεις μπορεί να φτάσει το 10 ή και να το ξεπεράσει (Αλιφραγκής, 2008),
- *όξινα*: είναι τα εδάφη με pH μικρότερο του 7, παρουσιάζουν συνήθως ελλείψεις βασικών θρεπτικών στοιχείων και υψηλή περιεκτικότητα σε τοξικά για τα φυτά στοιχεία, όπως είναι το αργίλιο (Al) και το μαγγάνιο (Mn) (Αλιφραγκής, 2008),
- *ασβεστούχα*: είναι τα εδάφη που έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε ανθρακικό ασβέστιο ή ανθρακικό μαγνήσιο και το pH τους κυμαίνεται από 7,1 έως 8,4 (Κουκουλάκης και Παπαδόπουλος, 2007).

1.2. ΟΞΙΝΑ ΕΔΑΦΗ

1.2.1. Εισαγωγή

Όξινα εδάφη χαρακτηρίζονται εκείνα των οποίων η συγκέντρωση των ιόντων υδρογόνου (H^+) στο εδαφοδιάλυμα, είναι μεγαλύτερη από τη συγκέντρωση των ιόντων υδροξυλίου (OH^-), επομένως, το pH τους είναι μικρότερο από 7 (Σινάνης, 2016). Τα συναντούμε κυρίως σε τροπικές, υποτροπικές και ηπειρωτικές περιοχές και σε περιοχές με μεγάλες βροχοπτώσεις (Stell, 2000; Κουκουλάκης και Παπαδόπουλος, 2007). Ανάλογα με την τιμή του pH διακρίνονται οι εξής κατηγορίες:

- Υπερβολικά όξινα με pH < 4,4
- Πολύ ισχυρά όξινα με pH 4,5-5,0
- Ισχυρά όξινα με pH 5,1-5,5
- Μέτρια όξινα με pH 5,6-6,0
- Ασθενώς όξινα με pH 6,1-6,5

Η τιμή του pH του εδάφους επηρεάζει τη διαλυτότητα και, συνεπώς, τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων (Μισοπολινός, 1991; Κυριαφίνη-Κουστούδα, 2004). Στα ισχυρά όξινα εδάφη παρατηρείται σημαντική μείωση στη διαθεσιμότητα του μολυβδαινίου (Mo) και των βασικών στοιχείων του ασβεστίου (Ca), μαγνησίου (Mg) και καλίου (K), καθώς και αυξημένη διαλυτότητα του αργιλίου (Al), μαγγανίου (Mn) και χαλκού (Cu) (Σχήμα 1.1), σε συγκεντρώσεις που έχουν σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία τοξικών συνθηκών για την ανάπτυξη των φυτών (Αλεξιάδης, 1980; Πολυζόπουλος, 1985; Παναγιωτόπουλος, 2010). Το γεγονός αυτό έχει σαν συνέπεια την ισχυρή μείωση της παραγωγικότητας (Κουκουλάκης και Παπαδόπουλος, 2007).

1.2.2. Οξύτητα του εδάφους

Μια σημαντική χημική ιδιότητα του εδάφους που επηρεάζει την παραγωγικότητά του, είναι η *οξύτητα*. Συμβολίζεται ως pH και εκφράζει τη συγκέντρωση των ιόντων H^+ στο εδαφοδιάλυμα (Coleman and Thomas, 1967; Κουκουλάκης και Παπαδόπουλος, 2007; Παναγιωτόπουλος, 2010). Στην πραγματικότητα, η συγκέντρωση των ιόντων H^+ στο εδαφικό διάλυμα είναι αρκετά μικρή. Για παράδειγμα, όταν λέμε ότι ένα έδαφος έχει pH = 4,0, αυτό σημαίνει ότι η συγκέντρωση των ιόντων H^+ στο εδαφικό διάλυμα είναι 0,0001 moles/L (Αλεξιάδης, 1980; Πολυζόπουλος, 1985). Για να γίνει ευκολότερη

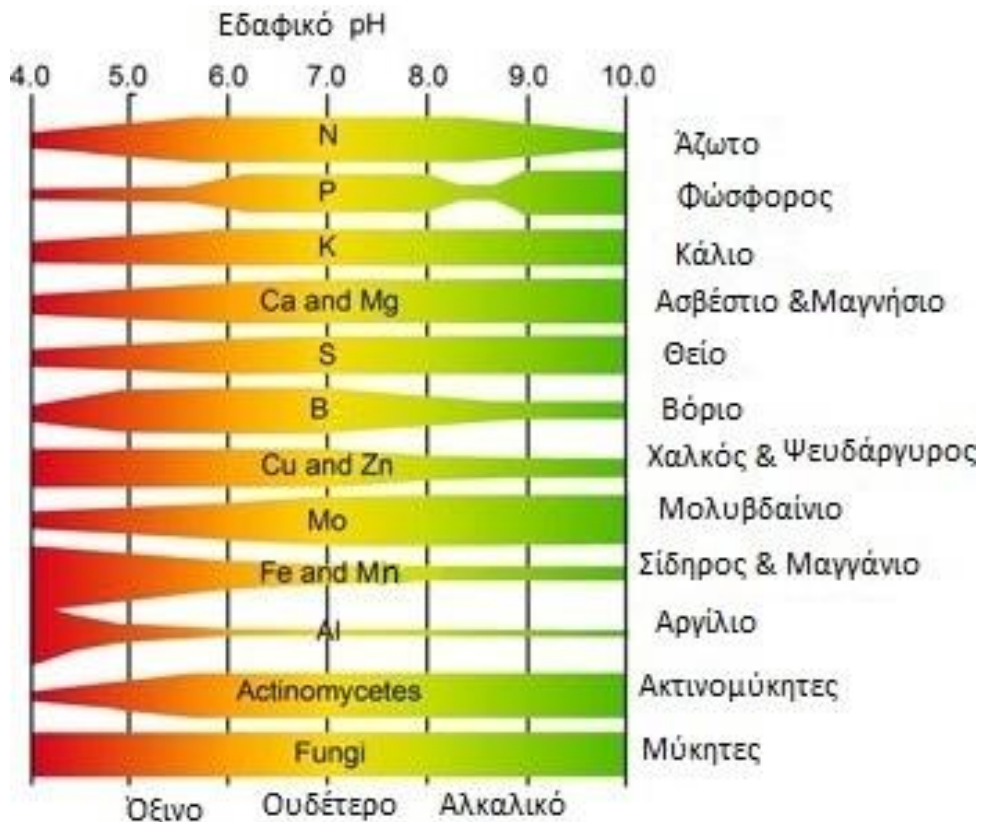
η διαχείριση αυτών των αριθμών, το pH εκφράζεται ως ο αρνητικός δεκαδικός λογάριθμος της συγκέντρωσης των ιόντων H^+ :

$$pH = -\log[H^+]$$

Το pH παίρνει τιμές από 0 έως 14. Κάθε φορά που η ποσότητα των ιόντων H^+ αυξάνεται, η τιμή του pH μειώνεται. Η αλλαγή ενός μόνο αριθμού στην κλίμακα του pH, σημαίνει δεκαπλάσια συγκέντρωση ιόντων H^+ (USDA, 1999). Η συγκέντρωση των ιόντων H^+ στο εδαφικό διάλυμα αντιπροσωπεύει την *ενεργή οξύτητα*, ενώ η ποσότητα των ιόντων H^+ και Al^{3+} που βρίσκονται προσροφημένα στην άργιλο και την οργανική ουσία, αντιπροσωπεύει την *ανταλλάξιμη οξύτητα*. Το άθροισμα της ενεργής και της ανταλλάξιμης οξύτητας ονομάζεται *ολική οξύτητα* (Μαυρουδής, 1999; Μήτσιος, 1999; Παναγιωτόπουλος, 2010).

Ολική οξύτητα = ανταλλάξιμη οξύτητα + ενεργή οξύτητα

Η ανταλλάξιμη οξύτητα είναι κατά πολύ μεγαλύτερη της ενεργής οξύτητας.

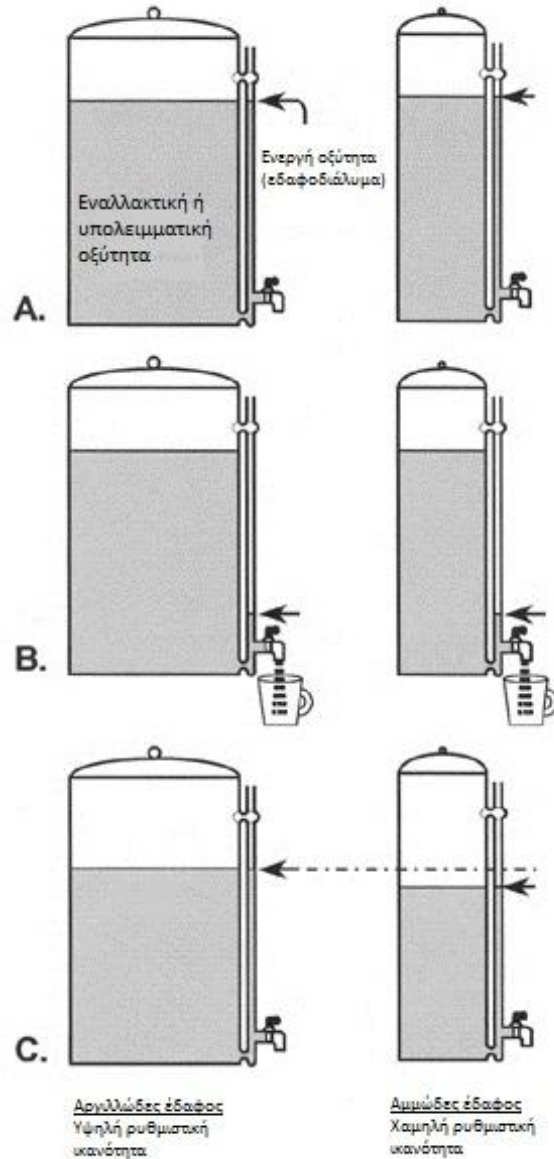


Σχήμα 1.1. Επίδραση του pH στη βιοδιαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων

Πηγή: http://www.terraGIS.bees.unsw.edu.au/terraGIS_soil/sp_soil_reaction_ph.html

1.2.3. Ρυθμιστική ικανότητα του εδάφους

Το έδαφος έχει την ικανότητα να αντιστέκεται σε οποιαδήποτε μεταβολή του pH, η οποία μπορεί να προκληθεί από την προσθήκη οξέος ή βάσης. Η ιδιότητα αυτή χαρακτηρίζεται ως *ρυθμιστική ικανότητα* του εδάφους (Αλιφραγκής, 2008). Η συγκέντρωση των κατιόντων που βρίσκονται προσροφημένα στη στερεά φάση βρίσκεται σε χημική ισορροπία με αυτά που βρίσκονται στο εδαφικό διάλυμα, τα οποία είναι σε πολύ μικρότερες ποσότητες. Η προσθήκη μιας βάσης στο έδαφος, εξουδετερώνει τα ιόντα H^+ που είναι διαλυμένα στο εδαφοδιάλυμα. Για να αποκατασταθεί η χημική ισορροπία, ιόντα H^+ προσροφημένα στα κolloειδή, μετακινούνται στο εδαφοδιάλυμα και με τον τρόπο αυτό το pH παραμένει σταθερό (Παναγιωτόπουλος, 2010). Επομένως, η ρυθμιστική ικανότητα ενός εδάφους εξαρτάται από την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (Σχήμα 1.2). Υψηλή ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων συνεπάγεται υψηλή ρυθμιστική ικανότητα και, συνεπώς, μεγαλύτερη αντίσταση στις μεταβολές του pH. Χωρίς την ικανότητα αυτή, οι μεταβολές που θα επέρχονταν στο έδαφος από τις απότομες αλλαγές στο pH, θα ήταν πολύ επιζήμιες για τα φυτά και τη βιολογική δραστηριότητά του (Κουκουλάκης και Παπαδόπουλος, 2007). Ένας ακόμη λόγος που καθιστά σημαντική τη ρυθμιστική ικανότητα, είναι γιατί καθορίζει την ποσότητα του υλικού βελτίωσης που θα προστεθεί στο έδαφος (Παναγιωτόπουλος, 2010).



Σχήμα 1.2. Σχηματική παράσταση της ρυθμιστικής ικανότητας του εδάφους (Brady and Weil, 2007)

1.3. ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΟΞΙΝΩΝ ΕΛΑΦΩΝ

Στα ασβεστούχα εδάφη, κατά την υδρόλυση του ανθρακικού ασβεστίου παράγονται ιόντα OH^- τα οποία εξουδετερώνουν τα ιόντα H^+ που παράγονται κατά τη διάσταση του νερού. Έτσι, τα ασβεστούχα εδάφη παραμένουν αλκαλικά έως ότου εξαντληθεί το ανθρακικό ασβέστιο. Αυτό μπορεί να συμβεί με σημαντικές ποσότητες νερού, το οποίο θα προκαλέσει διαλυτοποίηση και έκπλυση (Παναγιωτόπουλος, 2010).

Μετά την ολοκληρωτική απομάκρυνση των ανθρακικών αλάτων, αρχίζει η απομάκρυνση των προσροφημένων στα κolloειδή κατιόντων Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ και Na^+ . Τις θέσεις προσρόφησης αυτών των κατιόντων, τις καταλαμβάνουν τα ιόντα H^+ . Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη διάσπαση των οκταέδρων αργιλίου και την απελευθέρωση Al^{3+} . Τα κατιόντα Al^{3+} που απελευθερώνονται μετακινούνται στο εδαφικό διάλυμα, όπου υδρολύονται και παράγουν ιόντα H^+ (Thomas and Hargrove, 1984; Παναγιωτόπουλος, 2010). Σε τιμές pH κάτω του 5,5 το Al^{3+} αρχίζει να καταλαμβάνει θέσεις προσρόφησης και να αποτελεί ανταλλάξιμο κατιόν. Με τη συνεχή έκπλυση των εδαφών και τη σταδιακή μείωση του pH τους, η συγκέντρωση του ανταλλάξιμου Al^{3+} αυξάνεται σε βάρος των ανταλλάξιμων κατιόντων Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ και Na^+ . Ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας που συμβάλλει στην επιτάχυνση της διαδικασίας οξίνισης του εδάφους είναι οι επεμβάσεις του ανθρώπου στο έδαφος, κυρίως με την εφαρμογή αζωτούχων λιπασμάτων, καθώς επίσης και η όξινη βροχή (Παναγιωτόπουλος, 2010).

1.4. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΟΞΙΝΙΣΗΣ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

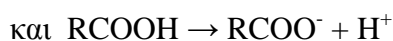
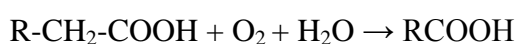
Τα ιόντα H^+ που προστίθενται στο έδαφος και προκαλούν μείωση του pH, με αποτέλεσμα την οξίνισή του, προέρχονται από τις παρακάτω πηγές (Μήτσιος, 1999; Κουκουλάκης και Παπαδόπουλος, 2007; Αλιφραγκής, 2008; Παναγιωτόπουλος, 2010):

- το CO_2 , το οποίο αντιδρώντας με το νερό παράγει ιόντα H^+ , σύμφωνα με την αντίδραση:



Το CO_2 παράγεται κατά την αναπνοή των ριζών, των ζωικών οργανισμών και των μικροοργανισμών του εδάφους. Μεγάλες ποσότητες CO_2 περιέχει, επίσης, και ο εδαφικός αέρας,

- την οργανική ουσία, η οποία με τη διάσπασή της παράγει διάφορα οργανικά οξέα, όπως: οξικό οξύ, αμινοξέα, ασκορβικό οξύ, βενζοϊκό οξύ, κ.ά., σύμφωνα με την αντίδραση:

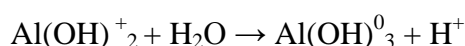
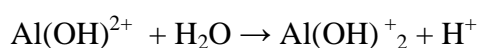
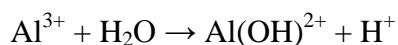


Επιπλέον, τα ιόντα H^+ που είναι προσροφημένα στην επιφάνειά της, εναλλάσσονται με βασικά κατιόντα, όπως το Ca^{2+} , το Mg^{2+} κ.ά., και μεταφερόμενα στο εδαφικό διάλυμα μειώνουν το pH. Τέλος, η οργανική ουσία περιέχει όξινη χαρακτήρα ομάδες, όπου με τη διάστασή τους απελευθερώνουν ιόντα H^+ (Hudson, 1994; Γκέρτσης, 1997; Κουκουλάκης κ.ά., 2000; Κουκουλάκης και Παπαδόπουλος, 2001),

- κατά τη διάσπαση των οργανικών υπολειμμάτων, σχηματίζονται τα ανοργανοποιημένα στοιχεία άζωτο και θείο, τα οποία οξειδώνονται βιολογικά προς νιτρικά και θειικά ανιόντα, αντίστοιχα, απελευθερώνοντας ιόντα H^+ που μειώνουν σημαντικά το pH του εδάφους (Κουκουλάκης και Παπαδόπουλος, 2007; Αλιφραγκής, 2008),
- κατά τη χημική αποσάθρωση και οξείδωση των ορυκτών που περιέχουν Fe^{2+} και Mn^{2+} προς Fe^{3+} και Mn^{4+} , σύμφωνα με τις παρακάτω αντιδράσεις:



- τα ιόντα Al^{3+} που είναι προσροφημένα στα κolloειδή του εδάφους, βρίσκονται σε χημική ισορροπία με αυτά του εδαφικού διαλύματος. Κατά τις αντιδράσεις ανταλλαγής, αυτά υδρολύονται και παράγουν σημαντικές ποσότητες H^+ που μειώνουν το pH του εδάφους σε τιμές που κυμαίνονται από 4,0 έως 5,5. Κάτω από αυτές τις συνθήκες μεγαλώνει ο βαθμός υδρόλυσης των πρωτογενών και δευτερογενών αργιλοπυριτικών ορυκτών ελευθερώνοντας μεγάλες ποσότητες Al^{3+} δημιουργώντας συμπτώματα τοξικότητας Al. Οι αντιδράσεις που παίρνουν μέρος είναι οι εξής (Κουκουλάκης και Παπαδόπουλος, 2007; Αλιφραγκής, 2008; Παναγιωτόπουλος, 2010):



- κάποιες δραστηριότητες του ανθρώπου οδηγούν στην παραγωγή σημαντικών ποσοτήτων ενώσεων που είναι υπεύθυνες για τη δημιουργία όξινης βροχής. Οι

ενώσεις αυτές οξειδώνονται και μέσω των βροχοπτώσεων εισέρχονται στο έδαφος με αποτέλεσμα τη μείωση του pH,

- η εφαρμογή αζωτούχων λιπασμάτων που περιέχουν ή παράγουν NH_4^+ , προκαλούν οξίνιση του εδάφους, καθώς κατά την οξείδωσή τους από τα βακτήρια που υπάρχουν στο έδαφος, παράγονται ισχυρά οξέα που με τη διάστασή τους δίνουν ιόντα H^+ . Τέτοια λιπάσματα είναι η θειική αμμωνία $((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)$, η νιτρική αμμωνία (NH_4NO_3) , η άνυδρη αμμωνία (NH_3) και η ουρία $(\text{CO}(\text{NH}_2)_2)$ (Barak et al., 1997; Μήτσιος, 1999; Κουκουλάκης και Παπαδόπουλος, 2007; Αλιφραγκής, 2008; Παναγιωτόπουλος, 2010).

Εκτός από τις πηγές που εφοδιάζουν το έδαφος με ιόντα H^+ και προκαλούν την οξίνισή του, υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που συμβάλλουν στην οξίνιση του εδάφους.

- Με τη συγκομιδή απομακρύνεται ένα σημαντικό μέρος των βάσεων που περιέχονται σ' αυτά και με την ανάπτυξη των φυτών συνεχίζεται αυτή η απομάκρυνση, με αποτέλεσμα τη μείωση του pH του εδάφους (Μήτσιος, 1999; Κουκουλάκης και Παπαδόπουλος, 2007).
- Οι βροχοπτώσεις οδηγούν στη δημιουργία όξινων εδαφών, καθώς σχετίζονται με την έκπλυση των βάσεων και την αντικατάστασή τους με ιόντα H^+ . Η ταχύτητα της πορείας αυτής εξαρτάται από τη μηχανική σύσταση του εδάφους και την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων. Τα ελαφριάς σύστασης εδάφη, οδηγούνται σε οξίνιση πιο γρήγορα από τα λεπτόκοκκα που χαρακτηρίζονται από μεγάλη ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (Μήτσιος, 1999; Κουκουλάκης και Παπαδόπουλος, 2007; Αλιφραγκής, 2008; Παναγιωτόπουλος, 2010).
- Τα διαλυτά άλατα που παράγονται κατά την αποσάθρωση των πετρωμάτων, τη διάσπαση της οργανικής ουσίας ή την προσθήκη λιπασμάτων στο έδαφος, μπορούν να μειώσουν το pH, λόγω της αντικατάστασής τους από προσροφημένα κατιόντα H^+ (Μήτσιος, 1999; Κουκουλάκης και Παπαδόπουλος, 2007; Παναγιωτόπουλος, 2010).

1.5. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΟΞΥΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ

Η επίδραση της αυξημένης οξύτητας στο έδαφος σχετίζεται με τη γονιμότητα και την παραγωγικότητα του εδάφους (Κεραμίδας, 1989). Σε συνθήκες χαμηλού pH, η βιολογική δραστηριότητα κάποιων μικροοργανισμών μειώνεται ή ακόμη αναστέλλεται, με αποτέλεσμα να περιορίζεται η αποσύνθεση των οργανικών υπολειμμάτων. Σε αυτές τις συνθήκες, η δράση των βακτηρίων και των ακτινομυκήτων που είναι υπεύθυνα για τη νιτροποίηση του αμμωνιακού αζώτου και τη συμβιωτική αζωτοδέσμευση μειώνεται σημαντικά, ενώ αυξάνεται ο πληθυσμός των μυκήτων. Μεγάλη είναι η επίδραση της αντίδρασης του εδάφους στη διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων που είναι απαραίτητα για τα φυτά. Πιο συγκεκριμένα, τα φωσφορικά ανιόντα H_2PO_4^- και HPO_4^{2-} , δεσμεύονται από το Mn, το Fe και το Al, τα οποία είναι πολύ διαλυτά σε όξινες συνθήκες, με συνέπεια οι διαθέσιμες ποσότητες P να μειώνονται. Επίσης, λόγω της αναστολής της νιτροποίησης, μειώνεται η διαθεσιμότητα των NO_3^- που είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών (Jackson, 1967). Τα βασικά κατιόντα Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ και Na^+ , λόγω της αυξημένης διαλυτότητάς τους στις όξινες συνθήκες, εκπλύνονται και απομακρύνονται από το έδαφος. Εξάλλου, και τα μικροθρεπτικά Fe^{2+} , Mn^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , είναι διαλυτά σ' αυτά τα εδάφη, αυξάνοντας τη συγκέντρωσή τους στο εδαφοδιάλυμα σε βαθμό που να τα καθιστά τοξικά για τα φυτά, σε αντίθεση με το Mo, του οποίου η διαθεσιμότητα μειώνεται με τη μείωση του pH. Τέλος, καθώς το Ca^{2+} αποτελεί παράγοντα συσσωμάτωσης του εδάφους, η απομάκρυνσή του λόγω έκπλυσης συνεπάγεται την αποδιοργάνωση της δομής του (Foy, 1984; Μήτσιος, 1999; Κουκουλάκης και Παπαδόπουλος, 2007).

1.6. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΟΞΥΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ

Οι αρνητικές επιπτώσεις της αυξημένης οξύτητας στην ανάπτυξη των φυτών, οφείλονται στην τοξικότητα των H^+ , Al^{3+} και Mn^{2+} , λόγω της αυξημένης συγκέντρωσής τους στο εδαφικό διάλυμα κατά τη διαλυτοποίησή τους κάτω από όξινες συνθήκες (Foy, 1984; Μήτσιος, 1999; Κουκουλάκης και Παπαδόπουλος, 2007). Επίσης, η αυξημένη διαλυτότητα των θρεπτικών στοιχείων Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , που έχει σαν

συνέπεια την έκπλυσή τους και την απομάκρυνσή τους από το έδαφος, οδηγεί σε μειωμένη διαθεσιμότητα των στοιχείων αυτών από τα φυτά επιδρώντας αρνητικά στην ανάπτυξή τους. Επιπλέον, μειώνεται και η διαθεσιμότητα των φωσφορικών ανιόντων, καθώς δεσμεύονται από τα διαλυτά ιόντα Al^{3+} , Mn^{2+} και Fe^{2+} . Ο βαθμός της επίδρασης της οξύτητας στην ανάπτυξη των φυτών, εξαρτάται από το είδος του φυτού (Πίνακας 1.1), την τιμή του pH, τον τύπο του εδάφους κ.ά. (Marschner, 1991; Κουκουλάκης και Παπαδόπουλος, 2007)

Πίνακας 1.1. Φυτά ευαίσθητα στην οξίνιση των εδαφών.

Η ευαισθησία των φυτών εκφράζεται ως η τιμή του pH του εδάφους κάτω της οποίας η καλλιέργεια των φυτών είναι προβληματική (Μήτσιος, Ι., 1999)

Καλλιεργούμενα		Καλλιεργούμενα	
Φυτά	pH	Φυτά	pH
Κριθάρι	5,9	Φασόλια	6,0
Σιτάρι	5,5	Παντζάρια	5,9
Ελαιοκράμβη	5,6	Μπιζέλια	5,9
Ρύζι	4,9	Πατάτες	4,9
Μηδική	6,2	Τριφύλλι λειμώνιο	5,9
Βίκος	5,9	Τριφύλλι έρπον	5,6
Ζαχαρότευτλα	5,9	Βρώμη	5,3
Καλαμπόκι	5,5	Λινάρι	5,4

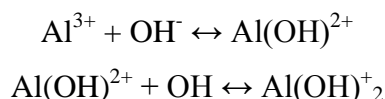
1.7. ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΟΞΙΝΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

Με βάση το βαθμό οξύτητάς τους, τα όξινα εδάφη κατατάσσονται στις παρακάτω κατηγορίες (FAO, 2000):

- μετρίως όξινα,
- ισχυρώς όξινα
- όξινα θειικά.

1.7.1. Μετρίως όξινα εδάφη

Εδάφη με pH μικρότερο του 6,5 και μεγαλύτερο του 5,0. Κατάλληλα για την καλλιέργεια φυτών που αναπτύσσονται σε εδάφη με ουδέτερο pH. Έχουν μεγαλύτερο ποσοστό κορεσμού με βάσεις από τα ισχυρώς όξινα εδάφη. Συνεπώς, το Al βρίσκεται στο εδαφοδιάλυμα ως ιόντα υδροξειδίου του Al, σύμφωνα με τις εξής αντιδράσεις (Brady and Weil, 2007):



Τα μετρίως όξινα εδάφη μπορούν να βελτιωθούν με ελαφρά ασβέστωση, καθώς οι δυσμενείς επιδράσεις της οξύτητας είναι μικρές. Απαντώνται στις ορεινές περιοχές της Ελλάδας και καλύπτονται από δάση (Κουκουλάκης και Παπαδόπουλος, 2007).

1.7.2. Ισχυρώς όξινα εδάφη

Εδάφη με pH κάτω του 5,5 και υψηλή συγκέντρωση Al^{3+} στο εδαφοδιάλυμα. Η συγκέντρωση αυτή δρα τοξικά στην ανάπτυξη των φυτών και αναστέλλει τις διάφορες μεταβολικές διεργασίες τους. Η ανθεκτικότητα των φυτών στα ισχυρώς όξινα εδάφη και κατά συνέπεια στο Al, εξαρτάται από:

- τη μορφολογία των ριζών,
- την ικανότητα του φυτού να αυξάνει το pH στη ζώνη του ριζοστρώματος,
- τους μηχανισμούς μεταφοράς του Al από τις ρίζες στους βλαστούς και
- το βαθμό συσσώρευσης του Al στα φύλλα και τους βλαστούς (Κουκουλάκης και Παπαδόπουλος, 2007).

1.7.3. Όξινα θειικά εδάφη

Εδάφη που περιέχουν πυρίτη, ο οποίος οξειδώνεται προς θειικό οξύ. Η οξείδωση του θείου στο έδαφος συμβαίνει συνήθως με τη δράση των βακτηριδίων *Thiobacillus ferrooxidans* και *Ferroplasma acidiphilum*. Απαντώνται σε ελώδεις περιοχές και μετά τη στράγγιση των νερών. Είναι ακατάλληλα για γεωργική χρήση λόγω της τοξικότητας του Al, του χαμηλού pH και της χαμηλής διαθεσιμότητας του P. Βρίσκονται στις παράκτιες περιοχές της Ινδονησίας, του Βιετνάμ, της Ταϊλάνδης, της Λιβερίας, της

Βενεζουέλας και της Γουιάνας (Freney, 1967; FAO, 2000). Στην Ελλάδα δεν έχει γίνει γνωστή η ύπαρξη τέτοιων εδαφών (Κουκουλάκης και Παπαδόπουλος, 2007).

1.8. ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΩΝ ΟΞΙΝΩΝ ΕΛΑΦΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Τα όξινα εδάφη καταλαμβάνουν περίπου το 30% των εδαφών παγκοσμίως (Baligar et al., 1998). Από αυτά, μόνο το 4,5% χρησιμοποιείται για τις αροτραίες καλλιέργειες. Τα εδάφη αυτά απαντούν στις τροπικές περιοχές, στην εύκρατη ζώνη και στις υγρές και ψυχρές περιοχές. Στην Ελλάδα, το ποσοστό των όξινων εδαφών υπολογίζεται στο 15% της συνολικής καλλιεργούμενης επιφάνειας (Κουκουλάκης και Παπαδόπουλος, 2007). Τα συναντούμε κυρίως:

- στις ορεινές περιοχές με υψόμετρο > 1000 μ.,
- στις ημιορεινές περιοχές με υψόμετρο 600 μ. – 1000 μ.,
- στις λοφώδεις περιοχές και παλιές πεδιάδες με υψόμετρο 50 μ. – 600 μ. και
- στις πεδινές περιοχές με υψόμετρο < 50 μ.

Τα όξινα εδάφη των ορεινών και ημιορεινών περιοχών οφείλουν την προέλευσή τους στα όξινα μητρικά υλικά, κυρίως στους γνεύσιους, στους γρανίτες, στους μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους και στους φυλλίτες. Ένας άλλος παράγοντας της δημιουργίας όξινων εδαφών στις ορεινές και ημιορεινές περιοχές, είναι οι υψηλές βροχοπτώσεις και η χαμηλή εξάτμιση, που σε συνδυασμό με τη μηχανική τους σύσταση (κατά κύριο λόγο ελαφριά SL, LS έως μέτρια βαριά SCL) ευνοούν την έκπλυση των βάσεων, με συνέπεια την οξίνισή τους.

Στις λοφώδεις περιοχές, η γένεση των όξινων εδαφών οφείλεται κυρίως σε ανθρωπογενείς παρεμβάσεις. Στις περιοχές αυτές, οι κλιματικές συνθήκες δεν δικαιολογούν την ύπαρξη φαινομένων οξύτητας και χαμηλών τιμών pH, λόγω των χαμηλών βροχοπτώσεων και της υψηλής εξάτμισης, που δεν ευνοούν την έκπλυση των βάσεων. Πρόκειται για εδάφη ελαφριάς (SL) έως μέτρια βαριάς (SCL) μηχανικής σύστασης, που προέρχονται από όξινα μητρικά πετρώματα και αποτελούν συνήθως παλιές ταράτσες ποταμών ή και λιμνών και παλιές πεδιάδες (Κοροξενίδης, 1985). Τέτοια εδάφη απαντούν σε διάφορες περιοχές κυρίως της Β. Ελλάδας (Πίνακας 1.2), δεν αρδεύονται και καλλιεργούνται στην πλειονότητά τους με σιτηρά. Οι παράγοντες που οδήγησαν στην οξίνιση των εδαφών αυτών σε τιμές pH που κυμαίνονται μεταξύ του 4,8 και του 5,5 και σε πολλές περιπτώσεις 4,3 με 4,4 είναι:

- η υπερβολική χρήση οξινοποιών αζωτούχων λιπασμάτων, όπως είναι η φωσφορική αμμωνία, η θειική αμμωνία και η νιτρική αμμωνία,
- η εφαρμογή υψηλών δόσεων αζωτούχων λιπασμάτων, ιδιαίτερα στις επιφανειακές λιπάνσεις (σε ότι αφορά στα σιτηρά, εφαρμογή της αζωτούχου λίπανσης σε μια δόση έναντι των δυο που είναι η ενδεδειγμένη),
- η μονοκαλλιέργεια με σιτηρά και η έλλειψη αμειψισποράς με κάποιο αζωτολόγο φυτό.

Στις πεδινές περιοχές κυριαρχούν εδάφη που προέρχονται από βασικά πετρώματα και κυρίως τους ασβεστόλιθους. Σε ορισμένες όμως περιπτώσεις, όξινα εδάφη δημιουργούνται και σε ασβεστόλιθους, καθώς και σε βασικά πετρώματα (π.χ. λεκανοπέδιο Ιωαννίνων) (Κοροξενίδης, 1985) και η δημιουργία τους οφείλεται στην έκπλυση των βασικών κατιόντων εξαιτίας των υψηλών βροχοπτώσεων.

Σε μικρότερη έκταση απαντούν εδάφη με προβλήματα οξύτητας η οποία οφείλεται στην έλλειψη μιας ορθολογικής διαχείρισης των καλλιεργειών και των εδαφών, με αποτέλεσμα την υπερβολική λίπανση με αζωτούχα λιπάσματα και την αλόγιστη χρήση του αρδευτικού νερού.

Πίνακας 1.2. Εκτάσεις όξινων εδαφών της Β. Ελλάδας (Κοροξενίδης, 1985)

Νομός	Έκταση (στρ.)	Νομός	Έκταση (στρ.)
Θεσσαλονίκης	180.000	Καβάλας	30.000
Χαλκιδικής	120.000	Δράμας	70.000
Κιλκίς	500.000	Σερρών	16.000
Ημαθίας	25.000	Ξάνθης	90.000
Πέλλας	40.000	Ροδόπης	70.000
Πιερίας	30.000	Έβρου	120.000
Κοζάνης	35.000	Καστοριάς	100.000
Γρεβενών	50.000	Φλώρινας	60.000

1.9. ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΟΞΙΝΩΝ ΕΛΛΑΦΩΝ

Όταν η τιμή του pH είναι μικρότερη από 5,0, η ανάπτυξη των φυτών περιορίζεται αφού μειώνεται η διαλυτότητα ορισμένων θρεπτικών στοιχείων. Στις περιπτώσεις αυτές συνίσταται αύξηση της τιμής του pH σε επιθυμητά επίπεδα. Αυτό επιτυγχάνεται με την προσθήκη στο έδαφος ασβεστούχων υλικών. Η πρακτική αυτή ονομάζεται *ασβέστωση* και τα υλικά που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι ενώσεις του ασβεστίου που απαντώνται σε φυσικές συνθήκες. Τέτοια υλικά είναι ο ασβεστόλιθος (CaCO_3), το οξείδιο του ασβεστίου (CaO), το υδροξείδιο του ασβεστίου [$\text{Ca}(\text{OH})_2$], ο δολομίτης ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), το ανθρακικό πυρίτιο (CaSiCO_3) και η ασβεστοϊλός (παραπροϊόν της βιομηχανίας ζάχαρης που περιέχει 60% CaCO_3 και 12% MgCO_3) (Μαυρουδής, 1999; Κουκουλάκης και Παπαδόπουλος, 2007; Αλιφραγκής, 2008; Παναγιωτόπουλος, 2010).

Καθώς η προσθήκη των ασβεστούχων υλικών γίνεται σε μεγάλες ποσότητες, θα πρέπει το κόστος τους να είναι προσιτό από τον παραγωγό. Η ποσότητα του ασβεστούχου υλικού που θα εφαρμοστεί για την αύξηση της τιμής του pH, εξαρτάται από την καλλιέργεια, από την περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ουσία, από την περιεκτικότητα του εδάφους σε άργιλο και την ορυκτολογική της σύσταση και από τη ρυθμιστική ικανότητα του εδάφους. Για τον ακριβή υπολογισμό της ποσότητας του υλικού που θα προστεθεί στο έδαφος, γίνονται εργαστηριακοί προσδιορισμοί (κατασκευή καμπύλης εξουδετέρωσης) (Μαυρουδής, 1999; Παναγιωτόπουλος, 2010). Με τον τρόπο αυτό αποφεύγουμε την πιθανότητα να εφαρμόσουμε μικρότερη ποσότητα ασβεστούχου υλικού στο έδαφος, με αποτέλεσμα να μην έχουμε την αύξηση του pH στην επιθυμητή τιμή ή αντίθετα να προσθέσουμε μεγαλύτερη ποσότητα, με αποτέλεσμα την αύξηση του pH σε υψηλότερη τιμή και τη δημιουργία ανεπιθύμητων συνθηκών, όπως είναι η αδιαλυτοποίηση πολλών θρεπτικών στοιχείων και ιχνοστοιχείων με συνέπεια την παρουσία συμπτωμάτων τροφοπενιών των στοιχείων αυτών. Στην περίπτωση αυτή μιλάμε για υπερασβέστωση (Παναγιωτόπουλος, 2010).

Για να είναι εξασφαλισμένη η αποτελεσματικότητα των εφαρμοζόμενων ασβεστούχων υλικών, πρέπει αυτά να είναι λεπτόκοκκα για να μπορούν να διασκορπιστούν εύκολα και να ενσωματωθούν γρήγορα από το έδαφος (Meyer and Volk, 1952; Barber, 1984). Ένας άλλος παράγοντας που θα εξασφαλίσει την αποτελεσματικότητα της προσθήκης ενός ασβεστούχου υλικού στο έδαφος, είναι ο συνδυασμός της με ένα ορθολογικό πρόγραμμα λίπανσης (Troeh and Thomson, 1993). Η συχνότητα των ασβεστώσεων εξαρτάται από το ύψος των βροχοπτώσεων, τις

ανάγκες της καλλιέργειας για πρόσληψη Ca, τις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους και το είδος των λιπασμάτων που εφαρμόζονται. Συνήθως κάθε 3 - 4 χρόνια γίνεται έλεγχος του εδάφους και τα αποτελέσματα κρίνουν το πότε ακριβώς θα επαναληφθεί η ασβέστωση.

Εκτός από την προσθήκη ασβεστούχων υλικών στο έδαφος, ένας άλλος τρόπος αύξησης του pH είναι με τη βαθιά άροση η οποία στόχο έχει να φέρει στην επιφάνεια εδαφικό υλικό με μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε άργιλο και υψηλότερο pH. Η ενέργεια αυτή βελτιώνει τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους και, κυρίως, τη δομή του. Αυτό που κρίνεται απαραίτητο πριν προβούμε σε αυτή την ενέργεια, είναι να γνωρίζουμε τα χαρακτηριστικά του εδάφους στα διάφορα βάθη (Μαυρουδής, 1999).

Επιτακτική κρίνεται και η αποφυγή χρήσης όξινων λιπασμάτων και η αντικατάστασή τους με ασβεστόχα λιπάσματα, όπως η ασβεστόχος νιτρική αμμωνία στις επιφανειακές λιπάνσεις, οι οποίες πρέπει να εφαρμόζονται σε πολλές δόσεις (Κοροξενίδης, 1985).

1.10. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο οικισμός Γαλλικός του Δήμου Κιλκίς είναι μια αγροτική περιοχή, στα νότια της πόλης του Κιλκίς. Μεγάλο ποσοστό των καλλιεργούμενων εδαφών της περιοχής αυτής έχουν αυξημένη οξύτητα (χαμηλό pH). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα εδάφη αυτά καλλιεργούνται στην πλειονότητά τους με σιτηρά εδώ και πολλά χρόνια, χωρίς τη χρήση κάποιου προγράμματος αμεινισποράς, καθώς και στη μακροχρόνια χρησιμοποίηση οξινοποιών λιπασμάτων, τα οποία εφαρμόζονται επιφανειακά σε μια δόση.

Ο σκοπός της εργασίας αυτής ήταν να εντοπιστούν τα όξινα εδάφη της περιοχής σε καλλιεργούμενη έκταση περίπου 4.000 στρεμμάτων, να μελετηθούν οι ιδιότητές τους και, στη συνέχεια, να προταθούν μέτρα για τη βελτίωση και την αύξηση της παραγωγικότητάς τους στο πλαίσιο μίας αειφόρου ανάπτυξης.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

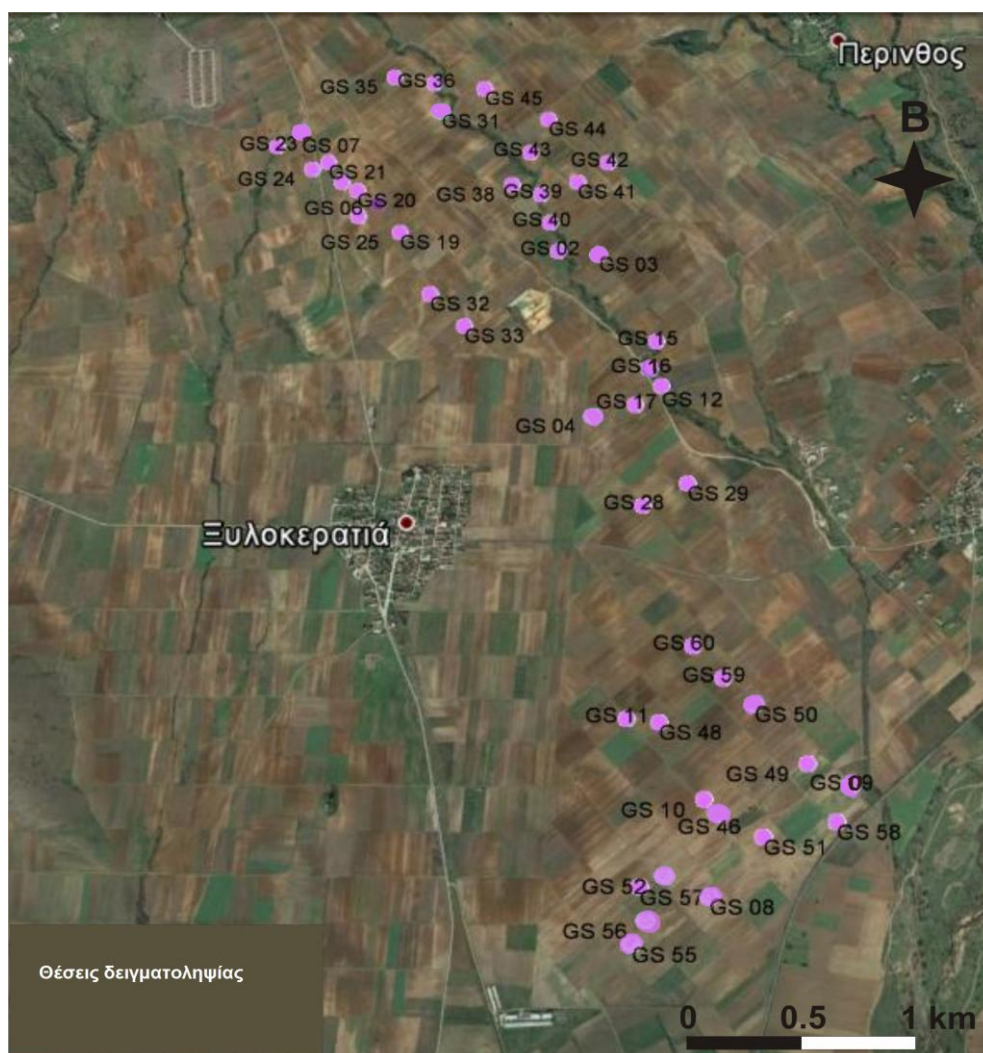
2.1. ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΥΠΑΙΘΡΟΥ

2.1.1. Περιοχή έρευνας και δειγματοληψία

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στις αρχές του Σεπτεμβρίου 2016 στην αγροτική περιοχή Γαλλικού του Ν. Κιλκίς (Χάρτης 2.1), πριν ξεκινήσουν οι καλλιεργητικές εργασίες της περιόδου. Η περιοχή κάλυψης ήταν περίπου 4.000 στρέμματα και τα σημεία δειγματοληψίας (Χάρτης 2.2) επιλέχθηκαν ύστερα και από συζητήσεις με τους καλλιεργητές της περιοχής.



Χάρτης 2.1. Περιοχή μελέτης (αγροτική περιοχή Γαλλικού Κιλκίς)



Χάρτης 2.2. Θέσεις δειγματοληψίας

Συνολικά συλλέχθηκαν 47 σύνθετα εδαφικά δείγματα από βάθος 0-30 εκ. από αντίστοιχα αγροτεμάχια.

Πιο συγκεκριμένα, επιλέχθηκαν 47 αγροί εκτάσεως 10-20 στρεμμάτων, από τους οποίους ελήφθησαν δείγματα εδάφους από βάθος 0-30 εκ. με δειγματολήπτη (Φωτογραφία 2.1), σε 4-8 θέσεις ανάλογα με την έκταση του αγρού, συνθέτοντας ένα μικτό δείγμα. Τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε πλαστικά σακουλάκια με τις ανάλογες σημάνσεις και στάλθηκαν στο διαπιστευμένο εργαστήριο του Ινστιτούτου Εδαφοδατικών Πόρων (πρώην Ινστιτούτο Εγγείων Βελτιώσεων) του Ελληνικού Γεωργικού Οργανισμού «Δήμητρα» για προκατεργασία και εκτέλεση φυσικο-χημικών προσδιορισμών.



Φωτογραφία 2.1. Δειγματοληψία εδάφους με δειγματολήπτη

2.1.2. Προκατεργασία εδαφικών δειγμάτων

Πριν σταλούν τα δείγματα στο εργαστήριο, ήταν απαραίτητη η προκατεργασία τους σύμφωνα με το ISO 11464, 2006 (Προκατεργασία δειγμάτων για φυσικοχημικούς προσδιορισμούς). Τα στάδια που εφαρμόστηκαν κατά την προκατεργασία ήταν τα εξής:

- ξήρανση,
- λειοτριβήση,
- κοσκίνισμα και
- αποθήκευση.

Πιο συγκεκριμένα, τα δείγματα απλώθηκαν σε καθαρούς, πλαστικούς δίσκους και αεροξηράνθηκαν έως ότου η υγρασία τους ήλθε σε ισορροπία με αυτή του περιβάλλοντος. Στη συνέχεια, μεταφέρθηκε μια ποσότητα του δείγματος σε γουδί από πορσελάνη και λειοτριβήθηκε, αφού πρώτα απομακρύνθηκαν χαλίκια, ρίζες, απορρίμματα και άλλες ξένες ύλες. Η ποσότητα που λειοτριβήθηκε, πέρασε από κόσκινο οπής 2mm. Αυτό που συγκρατήθηκε από το κόσκινο απορρίφθηκε, ενώ το υπόλοιπο δείγμα αποθηκεύτηκε σε πλαστική σακούλα και παραλήφθηκε από το εργαστήριο για τους απαιτούμενους εργαστηριακούς προσδιορισμούς.

2.2. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.2.1. Προσδιορισμός κοκκομετρικής σύστασης (Μέθοδος Βουγιούκου)

Για τον προσδιορισμό της κοκκομετρικής σύστασης, ζυγίστηκαν 50g εδαφικού δείγματος και τοποθετήθηκαν σε κατάλληλο δοχείο. Προστέθηκε ποσότητα απιονισμένου νερού (περίπου 250 ml) και ποσότητα διαμεριστικού διαλύματος (40 ml μεταφωσφορικού νατρίου $(\text{NaPO}_3)_6$). Το δοχείο μεταφέρθηκε στο μηχανικό αναδευτήρα Βουγιούκου (Φωτογραφία 2.2) όπου αναδεύονταν για 10 λεπτά. Μετά το πέρας της ανάδευσης, το αιώρημα μεταφέρθηκε σε ογκομετρικό κύλινδρο του 1 λίτρου. Μετά από καλή ανακίνηση του αιωρήματος, έγινε ανάγνωση της πρώτης ένδειξης μετά από 40'' και της δεύτερης μετά από 2 ώρες, με το πυκνόμετρο Βουγιούκου (Bouyoucos, 1962) (Φωτογραφία 2.3). Παράλληλα με την ανάγνωση των ενδείξεων, έγινε καταγραφή τη θερμοκρασίας και, στη συνέχεια, διόρθωση των τιμών αυτών (για κάθε 0,5°C πάνω από τους 20°C προστέθηκαν 0,2 μονάδες στην αρχική ένδειξη, ενώ για κάθε 0,5°C κάτω από τους 20°C αφαιρέθηκαν 0,2 μονάδες). Οι διορθωμένες τιμές με τους κατάλληλους υπολογισμούς έδωσαν την κοκκομετρική σύσταση.



Φωτογραφία 2.2. Μηχανικοί αναδευτήρες



Φωτογραφία 2.3. Μέτρηση κοκκομετρικής σύστασης

2.2.2. Προσδιορισμός οργανικού άνθρακα - οργανικής ουσίας (Μέθοδος υγρής οξείδωσης)

Για τον προσδιορισμό του οργανικού άνθρακα και της οργανικής ουσίας, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της υγρής οξείδωσης που περιγράφεται από τους Nelson and Sommers (1996). Σύμφωνα με αυτή, ζυγίστηκε 1g εδαφικού δείγματος και τοποθετήθηκε σε κωνική φιάλη των 500 ml. Προστέθηκαν 10 ml διαλύματος διχρωμικού καλίου ($K_2Cr_2O_7$) και 20 ml διάλυμα πυκνού θειικού οξέος (H_2SO_4) του εμπορίου. Μετά από 30' σε ηρεμία προστέθηκαν περίπου 200 ml απιονισμένου νερού. Το δείγμα ογκομετρήθηκε με διάλυμα 0,5N $FeSO_4$ και δείκτη διφαινυλαμίνης, μέχρις ότου απέκτησε σκούρο πράσινο χρώμα από σκούρο μπλε που ήταν αρχικά (Φωτογραφία 2.4).

Για τον υπολογισμό του οργανικού άνθρακα χρησιμοποιήθηκε η σχέση:

$$OC (\%) = 10(ml) \times 0,3 \times 1,3 \times [Vo(ml) - V(ml)]/Vo(ml)/W(g)=$$

$$= 3,9 \times (Vo-V)/Vo/W$$

όπου:

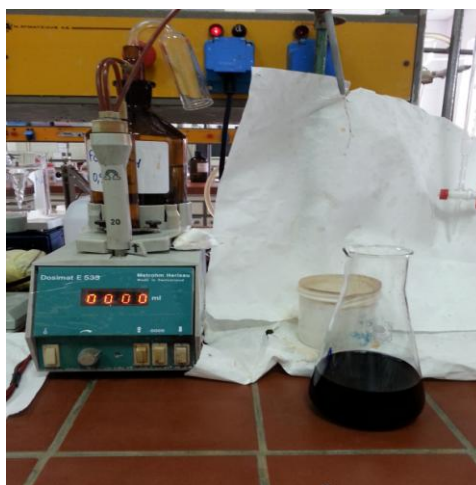
- V_o : ο όγκος του διαλύματος 0,5N $FeSO_4$ σε ml που καταναλώθηκε για το λευκό προσδιορισμό (χωρίς εδαφικό δείγμα)

- V: ο όγκος του διαλύματος 0,5N FeSO₄ σε ml που καταναλώθηκε για το δείγμα
- W: το βάρος του δείγματος σε g
- 0,3: συντελεστής μετατροπής 1 ml διαλύματος 1N K₂Cr₂O₇ σε άνθρακα
- 1,3: συντελεστής αναφερόμενος στο ποσοστό του άνθρακα που οξειδώνεται με αυτή τη μέθοδο (μέσος όρος 77%).

Η οργανική ουσία υπολογίστηκε από τη σχέση:

$$\text{OO (\%)} = 2 \times \text{OC (\%)}$$

Αν μετά την προσθήκη του H₂SO₄ το δείγμα αποκτούσε σκούρο πράσινο χρώμα, τότε προσθέτονταν διπλάσια ποσότητα K₂Cr₂O₇. Με τις κατάλληλες διορθώσεις στη σχέση, υπολογίζονταν το ποσοστό της οργανικής ουσίας. Αν μετά και από αυτή την προσθήκη το χρώμα παρέμενε σκούρο πράσινο, τότε η διαδικασία επαναλαμβανόταν με μικρότερη ποσότητα δείγματος.



Φωτογραφία 2.4. Συσκευή προσδιορισμού οργανικής ουσίας

2.2.3. Προσδιορισμός pH πάστας κορεσμού

Για τον προσδιορισμό του pH πάστας κορεσμού, εφαρμόστηκε η μέθοδος που περιγράφεται από τον Thomas (1996). Σύμφωνα με αυτή, μέσα σε πλαστικό δοχείο, ζυγίστηκε σε διακριβωμένο ψηφιακό ζυγό, ποσότητα ίση με 100 g εδαφικού δείγματος.

Προστέθηκε απιονισμένο νερό και αναμίχθηκε με σπάτουλα σταδιακά μέχρι το σημείο κορεσμού (Φωτογραφία 2.5). Το σημείο κορεσμού διαπιστώθηκε ως εξής:

- δεν υπήρχε ελεύθερο νερό στην επιφάνεια της πάστας,
- η πάστα απομακρύνθηκε γλιστρώντας από τη σπάτουλα,
- η επιφάνεια της πάστας ήταν λεία και γυαλιστερή,
- μπορούσε να ενοποιηθεί αφού προηγουμένως είχε ανοιχτεί ένα αυλάκι με τη βοήθεια της επίπεδης πλευράς της σπάτουλας.

Στη συνέχεια, το δοχείο κλείστηκε με καπάκι και έμεινε 12 h για να επιτευχθεί ισορροπία. Αν την επόμενη μέρα το δείγμα δεν παρουσίαζε τα χαρακτηριστικά του κορεσμού, τότε προσθέτονταν νερό ή έδαφος, προκειμένου να παρατηρηθούν τα επιθυμητά χαρακτηριστικά. Η μέτρηση του pH έγινε με τη βοήθεια pH-μέτρου (JENWAY 3250 pH Meter), βυθίζοντας το ηλεκτρόδιο στην κορεσμένη πάστα, αφού πρώτα είχε αναμιχθεί καλά με τη σπάτουλα (Φωτογραφία 2.6).



Φωτογραφία 2.5. Παρασκευή εδαφικής πάστας



**Φωτογραφία 2.6. Μέτρηση pH στην εδαφική πάστα κορεσμού
(JENWAY 3250 pH Meter)**

2.2.4. Προσδιορισμός Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας (EC) στο εκχύλισμα κορεσμού

Ο προσδιορισμός της ηλεκτρικής αγωγιμότητας έγινε στο εκχύλισμα της κορεσμένης εδαφικής πάστας (Rhoades, 1996). Μετά τη μέτρηση του pH, η πάστα μεταφέρθηκε σε κατάλληλο πλαστικό δοχείο και τοποθετήθηκε στη φυγόκεντρο (Centrifuge 5810 erpendorf) (Φωτογραφία 2.7). Στο εκχύλισμα που παραλήφθηκε, μετρήθηκε η ηλεκτρική αγωγιμότητα στο αγωγιμόμετρο (CONDUCTIMETER GLP 32 CRISON) (Φωτογραφία 2.8).



**Φωτογραφία 2.7. Συσκευή φυγοκέντρησης δειγμάτων
(Centrifuge 5810 eppendorf)**



**Φωτογραφία 2.8. Μέτρηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο εκχύλισμα
κορεσμού (CONDUCTIMETER GLP 32 CRISON)**

2.2.5. Προσδιορισμός Ικανότητας Ανταλλαγής Κατιόντων (CEC)

Για τον προσδιορισμό της Ικανότητας Ανταλλαγής Κατιόντων εφαρμόστηκε η μέθοδος που περιγράφεται από τους Sumner and Miller (1996). Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, ζυγίστηκαν 4g εδαφικού δείγματος και τοποθετήθηκαν σε πλαστικούς σωλήνες φυγοκέντρωσης των 50 ml. Έγινε τρεις φορές κορεσμός του δείγματος με 33 ml διαλύματος 1N CH₃COONa pH 8,5 ή 7, ανακίνηση για 5' στις 125 στροφές/λεπτό, φυγοκέντρωση και απόχυση του υπερκείμενου. Ακολούθησαν τρεις ενδιάμεσες εκπλύσεις με 33 ml διαλύματος ακετόνης 80%, ανακίνηση για 5' στις 125 στροφές/λεπτό, φυγοκέντρωση και απόχυση του υπερκείμενου. Τέλος, έγινε τρεις φορές αποκορεσμός του δείγματος με 33 ml διαλύματος 1N CH₃COONH₄ pH 8,5 ή 7, ανακίνηση στις 125 στροφές/λεπτό, φυγοκέντρωση και παραλαβή του υπερκείμενου καθαρού αιωρήματος σε ογκομετρικές φιάλες των 100 ml όπου προσδιορίστηκε το Na (και επομένως η CEC), σε φλογοφωτόμετρο (Sherwood M410 Flame Photometer).

2.2.6. Προσδιορισμός ολικού αζώτου (N_t) (Μέθοδος Kjeldahl)

Ο προσδιορισμός του ολικού αζώτου έγινε σύμφωνα με το ISO 11261, 1995, (Soil quality - Determination of total nitrogen - Modified Kjeldahl Method). Για την πέψη που είναι το πρώτο στάδιο της μεθόδου, ζυγίστηκε από 0,5 έως 1g εδαφικού δείγματος και τοποθετήθηκε σε σωλήνα πέψης. Μεταφέρθηκε στην απαγωγό αερίων και προστέθηκαν με dispenser ή ρυθμιζόμενη πιπέτα 4 ml σαλικυλικού/θειικού οξέος. Την επόμενη μέρα, προστέθηκε 0,5g θειοσουλφονικό νάτριο και θερμάνθηκε προσεκτικά το μίγμα πάνω στο μπλοκ αλουμινίου (Gerhardt Kjeldatherm) μέχρι που σταμάτησε να αφρίζει. Μόλις κρύωσε ο σωλήνας προστέθηκε 1,1g μίγματος καταλύτη και ακολούθησε θέρμανση μέχρι που έγινε διαυγές. Στη συνέχεια ακολούθησε θέρμανση στους 380°C ± 20°C για 3 ώρες περίπου. Μετά το τέλος του σταδίου της πέψης, ο σωλήνας έμεινε σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για να κρυώσει. Στο δεύτερο στάδιο της μεθόδου, έγινε απόσταξη στην ειδική συσκευή απόσταξης (Gerhardt VaroDest) και κατόπιν προσδιορισμός με ογκομέτρηση με διάλυμα 0,005M θειικού οξέος (Φωτογραφία 2.9).



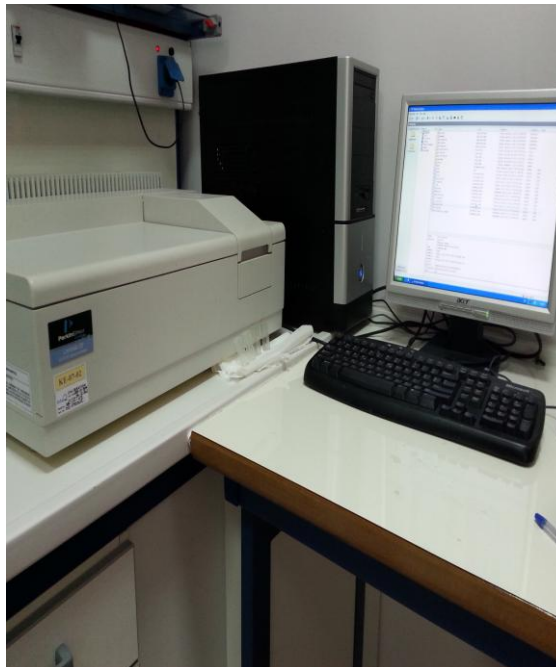
Φωτογραφία 2.9. Συσκευή Kjeldahl για τον προσδιορισμό του ολικού αζώτου (N_{total}) (Gerhardt Kjeldatherm-Gerhardt Vapodest)

2.2.7. Προσδιορισμός διαθέσιμων νιτρικών (NO_3^-)

Για την εκχύλιση και τον προσδιορισμό των διαθέσιμων νιτρικών χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος που περιγράφεται από τον Mulvaney (1996). Ζυγίστηκαν 4g εδαφικού δείγματος και τοποθετήθηκαν σε πλαστικούς σωλήνες φυγοκέντρησης με πώμα. Προστέθηκαν 40 ml εκχυλιστικό διάλυμα 2M KCl και ανακινήθηκαν για 1 ώρα στις 125 ± 5 στροφές/λεπτό. Στη συνέχεια, τα δείγματα μεταφέρθηκαν στη φυγόκεντρο (Centrifuge 5810 Eppendorf) στις 2000 στροφές/λεπτό για 5'. Ακολούθησε διήθηση του υπερκείμενου καθαρού υγρού και μεταφορά τους στη στήλη καδμίου - αναγωγής νιτρικών (Φωτογραφία 2.10). Με τη διέλευση των δειγμάτων από τη στήλη επιχαλωμένου καδμίου, τα νιτρικά ανάγονται σε νιτρώδη (NO_2^-). Ο προσδιορισμός τους έγινε σε φασματοφωτόμετρο ορατού υπεριώδους (Perkin Elmer Lambda 35 UV/VIS Spectrometer), στο μήκος κύματος των 540 nm (Φωτογραφία 2.11).



Φωτογραφία 2.10. Συσκευή στήλης καδμίου για τον προσδιορισμό των διαθέσιμων νιτρικών (NO_3^-)



Φωτογραφία 2.11. Μέτρηση των διαθέσιμων νιτρικών (NO_3^-) στο φασματοφωτόμετρο (Perkin Elmer Lambda 35 UV/VIS Spectrometer)

2.2.8. Προσδιορισμός αφομοιώσιμου φωσφόρου (P)

Η εκχύλιση και ο προσδιορισμός του αφομοιώσιμου φωσφόρου πραγματοποιήθηκαν με τη μέθοδο Olsen (Kuo, 1996). Σύμφωνα με αυτή, ζυγίστηκαν 5 g εδαφικού δείγματος και τοποθετήθηκαν σε κωνικές φιάλες των 250 ml. Προστέθηκαν 100 ml εκχυλιστικού διαλύματος 0,5M NaHCO₃ pH 8,5. Ακολούθησε ανακίνηση στον ανακινητήρα (Edmund Buhler GmbH SM-30 CONTROL) στις 125 στροφές/λεπτό για 30' και διήθηση με διπλό διηθητικό χαρτί ή μαλακό ηθμό. Ο προσδιορισμός του αφομοιώσιμου φωσφόρου έγινε σε φασματοφωτόμετρο ορατού υπεριώδους (SHIMADZU UV-1204 UV-VIS Spectrophotometer), στο μήκος κύματος των 882 nm (Φωτογραφία 2.12).



Φωτογραφία 2.12. Μέτρηση του αφομοιώσιμου φωσφόρου (P) στο φασματοφωτόμετρο (SHIMADZU UV-1204 UV-VIS Spectrophotometer)

2.2.9. Προσδιορισμός ανταλλάξιμων κατιόντων (K, Na, Ca, Mg)

Για την εκχύλιση και τον προσδιορισμό των ανταλλάξιμων κατιόντων K και Na εφαρμόστηκε η μέθοδος που αναφέρεται από τους Helmke and Sparks (1996) και για τα ανταλλάξιμα κατιόντα Ca και Mg, η αντίστοιχη που αναφέρεται από τον Suarez (1996). Σύμφωνα με αυτές, ζυγίστηκαν 5 g εδαφικού δείγματος και τοποθετήθηκαν σε κωνικές φιάλες των 250 ml. Προστέθηκαν 50 ml εκχυλιστικού διαλύματος 1N CH₃COONH₄ pH 8,5 ή 7. Ακολούθησε ανακίνηση στον ανακινητήρα (Edmund Buhler GmbH SM-30 CONTROL) (Φωτογραφία 2.13) στις 125 στροφές/λεπτό για 30' και διήθηση με διπλό μαλακό ή σκληρό ηθμό. Ο προσδιορισμός των ανταλλάξιμων K και Na έγινε στο φλογοφωτόμετρο Sherwood M410 Flame Photometer (Φωτογραφία 2.14), ενώ των Ca και Mg έγινε στο φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης Perkin Elmer Analyst 700 Atomic Absorption Spectrometer (Φωτογραφία 2.15).



Φωτογραφία 2.13. Συσκευή για την ανακίνηση των δειγμάτων (Edmund Buhler GmbH SM-30 CONTROL)



Φωτογραφία 2.14. Μέτρηση των κατιόντων νατρίου (Na) και καλίου (K) σε φλογοφωτόμετρο (Sherwood M410 Flame Photometer)

2.2.10. Προσδιορισμός διαθέσιμων θρεπτικών μετάλλων (Cu, Fe, Mn, Zn)

Για την εκχύλιση και τον προσδιορισμό των διαθέσιμων ιχνοστοιχείων του χαλκού, σιδήρου, μαγγανίου και ψευδαργύρου, χρησιμοποιήθηκαν οι μέθοδοι που αναφέρονται από τους Loerppert and Inskeep (1996) για τον Fe, Gambrell (1996) για το Mn και Reed and Martens (1996) για τον Cu και τον Zn. Σύμφωνα με αυτές, ζυγίστηκαν 20 g εδαφικού δείγματος και τοποθετήθηκαν σε κωνικές φιάλες των 250 ml. Προστέθηκαν 40 ml εκχυλιστικού διαλύματος DTPA (0,005M DTPA, 0,01M $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 0,1M TEA pH 7,3). Ακολούθησε ανακίνηση στον ανακινητήρα (Edmund Buhler GmbH SM-30 CONTROL) στις 125 στροφές/λεπτό για 2 ώρες και διήθηση με διπλό διηθητικό χαρτί ή μαλακό ηθμό. Ο προσδιορισμός του Cu, Fe και Mn έγινε στο φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης Perkin Elmer AAnalyst 700 Atomic Absorption Spectrometer (Φωτογραφία 2.15), ενώ ο προσδιορισμός του Zn έγινε στο φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης Perkin Elmer AAnalyst 200 Atomic Absorption Spectrometer (Φωτογραφία 2.16).



Φωτογραφία 2.15. Μέτρηση των μετάλλων χαλκού (Cu), σιδήρου (Fe), μαγγανίου (Mn) και των ανταλλάξιμων ασβεστίου (Ca) και μαγνησίου (Mg) στο φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης (Perkin Elmer AAAnalyst 700 Atomic Absorption Spectrometer)



Φωτογραφία 2.16. Μέτρηση του διαθέσιμου ψευδαργύρου (Zn) στο φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης (Perkin Elmer AAAnalyst 200 Atomic Absorption Spectrometer)

2.2.11. Προσδιορισμός βορίου (B)

Για την εκχύλιση και τον προσδιορισμό του βορίου εφαρμόστηκε η μέθοδος που αναφέρεται από τον Keren (1996). Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, ζυγίστηκαν 30 g εδαφικού δείγματος και τοποθετήθηκαν σε κωνικές φιάλες των 250 ml με εσφυρισμένο λαιμό. Προστέθηκαν 60 ml απιονισμένο νερό και τοποθετήθηκαν σε εστίες για βρασμό (Gerhardt) για 5' (Φωτογραφία 2.17). Έγινε διήθηση με πτυχωτούς ηθμούς, παραλήφθηκαν 20 ml από το διήθημα και τοποθετήθηκαν μέσα σε χωνευτήρι. Προστέθηκαν 2 ml κορεσμένο διάλυμα $\text{Ca}(\text{OH})_2$ και μεταφέρθηκαν στο αμμόλουτρο (Gerhardt Thermo) (Φωτογραφία 2.18) σε θερμοκρασία $\approx 80^\circ\text{C}$ μέχρι ξηρού. Ακολούθησε καύση στο πυριατήριο (Heraeus M110) στους 500°C για 4 ώρες τουλάχιστον, προσθήκη 5ml διαλύματος 0,1N HCl και διήθηση με μαλακό ηθμό. Ο προσδιορισμός του βορίου έγινε σε φασματοφωτόμετρο ορατού υπεριώδους (SHIMADZU UV-1204 UV-VIS Spectrophotometer) σε μήκος κύματος 420 nm.



Φωτογραφία 2.17. Συσκευή προσδιορισμού βορίου (Gerhardt)



Φωτογραφία 2.18. Αμμόλουτρο (Gerhardt Thermo) και πυριατήριο (Heraeus M110) για την ξήρανση και καύση των δειγμάτων

2.3. ΘΕΜΑΤΙΚΟΙ ΧΑΡΤΕΣ

Το πρώτο στάδιο για τη δημιουργία των θεματικών χαρτών ήταν ο ακριβής προσδιορισμός των θέσεων λήψης των δειγμάτων στην περιοχή μελέτης. Ο προσδιορισμός αυτός πραγματοποιήθηκε με όργανο δορυφορικού εντοπισμού θέσης (GPS) της εταιρίας GARMIN και οι συντεταγμένες των σημείων ορίστηκαν βάσει του προβολικού συστήματος ΕΓΣΑ 87. Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΠΣ) και συγκεκριμένα το λογισμικό ArcGIS 10.0, για την αποτύπωση των σημείων στο χώρο και την παραγωγή των θεματικών χαρτών.

Πριν τη δημιουργία κάθε θεματικού χάρτη, κατασκευάστηκε ένα αρχείο excel με τις εξής πληροφορίες: κωδικός σημείου δειγματοληψίας, συντεταγμένες του σημείου δειγματοληψίας και τιμή της παραμέτρου που απεικονίζεται στον κάθε θεματικό χάρτη. Το επόμενο βήμα ήταν η εισαγωγή των δεδομένων αυτών στο ArcGIS και η δημιουργία ενός shape αρχείου, το οποίο περιείχε πλέον όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για τη δημιουργία του θεματικού χάρτη. Στη συνέχεια έγινε κατηγοριοποίηση των τιμών κάθε παραμέτρου και ορίστηκε το σύμβολο με το οποίο απεικονίστηκε κάθε θέση ανάλογα με την τιμή που είχε η παράμετρος στη θέση αυτή. Τα παραπάνω έγιναν μέσω των ιδιοτήτων των shape αρχείου ακολουθώντας τη διαδρομή “Symbology – Quantities – Graduated Symbols”, απ’ όπου ορίστηκε το εύρος και το σύμβολο, όπως αναφέρθηκαν παραπάνω.

Σαν υπόβαθρο των θεματικών χαρτών επιλέχθηκε το πραγματικό ανάγλυφο το οποίο πάρθηκε από το Google Earth. Για το λόγο αυτό μετατράπηκαν τα αρχεία shape που δημιουργήθηκαν στο ArcGIS, σε αρχεία kml, έτσι ώστε να είναι συμβατά με το Google Earth. Η μετατροπή αυτή ήταν εφικτή μέσω του εργαλείου ArcToolbox που διαθέτει το ArcGIS, ακολουθώντας τη διαδρομή ArcToolbox – Conversion Tools – To KML – Layer to KML. Δηλαδή χρησιμοποιήθηκε το σημαντικό πλεονέκτημα του συγκεκριμένου λογισμικού, που επιτρέπει την απευθείας μετατροπή των δικών του αρχείων σε αρχεία άλλης μορφής έτσι ώστε αυτά να μπορούν να χρησιμοποιηθούν από πληθώρα άλλων εφαρμογών, αλλά και λογισμικών.

Μετά την ολοκλήρωση της μετατροπής των αρχείων, έγινε άνοιγμα του αρχείου kml μέσω του Google Earth, έτσι ώστε να εμφανιστεί ο θεματικός χάρτης στην τελική του μορφή και στη συνέχεια εξήχθη σαν εικόνα, η οποία ενσωματώθηκε στη διατριβή.

2.4. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Το σύνολο των εργαστηριακών προσδιορισμών πραγματοποιήθηκε στο διαπιστευμένο κατά ISO 17025 εργαστήριο του Ινστιτούτου Εδαφοϋδατικών Πόρων (πρώην Ινστιτούτο Εγγείων Βελτιώσεων) του Ελληνικού Γεωργικού Οργανισμού «Δήμητρα».

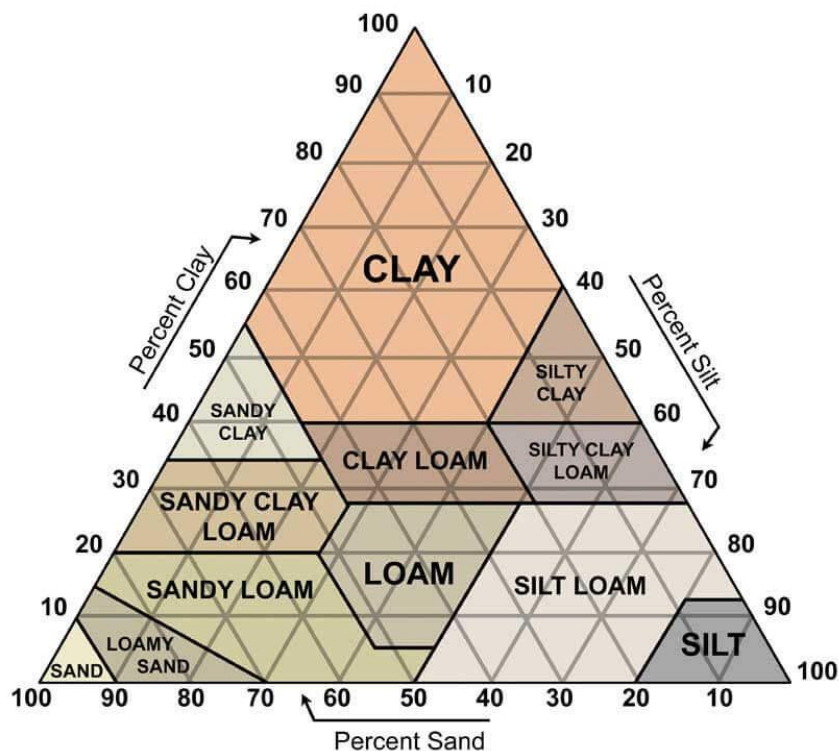
Η ταξινόμηση και γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων των εδαφολογικών προσδιορισμών έγινε με το υπολογιστικό φύλλο Microsoft Office Excel 2007. Επίσης, τα κρίσιμα όρια που χρησιμοποιήθηκαν για κάθε μελετούμενη εδαφική παράμετρο και για τον αντίστοιχο χαρακτηρισμό των εδαφών, προήλθαν από αναφορές στη διεθνή και ελληνική βιβλιογραφία (Paco, B.V., 1985; Κεραμίδα, 2007), καθώς και από εδαφολογικές μελέτες περιοχών της Ελλάδας (Καλφούντζος, 1997; Χατζηγιαννάκης και Πανώρας, 2011).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1. ΒΑΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΕΛΑΦΩΝ

3.1.1. Κοκκομετρική σύσταση

Η κατάταξη των εδαφών με βάση τη μηχανική τους σύσταση έγινε με τη χρήση του τριγώνου μηχανικής σύστασης (USDA, 1951) που παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.1.



Σχήμα 3.1. Τρίγωνο μηχανικής (κοκκομετρικής) σύστασης εδάφους

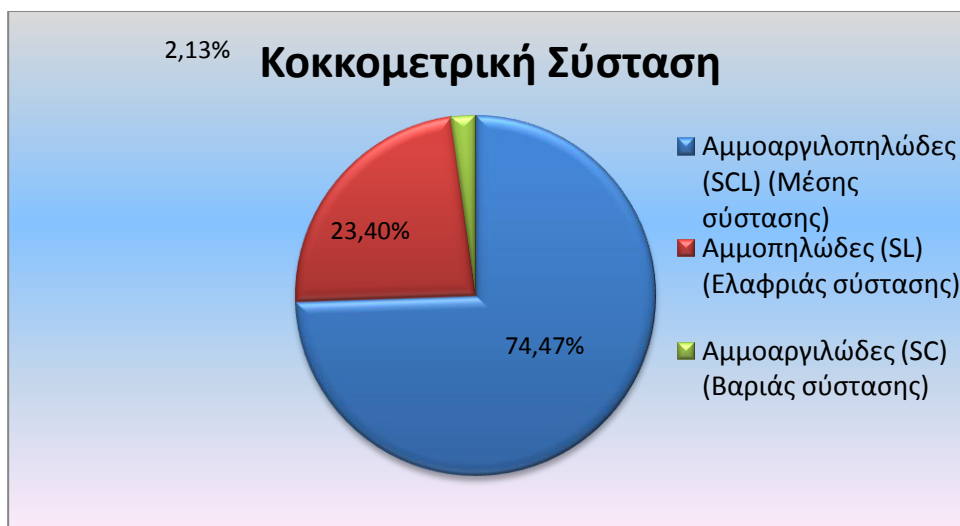
Σύμφωνα με αυτό, τα εδάφη ταξινομούνται στις παρακάτω κατηγορίες:

Εδάφη ελαφριάς σύστασης: αμμώδες (Sandy), πηλοαμμώδη (Loamy Sand), αμμοπηλώδη (Sandy Loam).

Εδάφη μέσης σύστασης: αμμοαργιλοπηλώδη (Sandy Clay Loam), πηλώδη (Loam), ιλοπηλώδη (Silty Loam), ιλοαργιλοπηλώδη (Silty Clay Loam), ιλώδη (Silty).

Εδάφη βαριάς σύστασης: αργιλοπηλώδη (Clay Loam), ιλοαργιλώδη (Silty Clay), αμμοαργιλώδη (Sandy Clay), αργιλώδη (Clay).

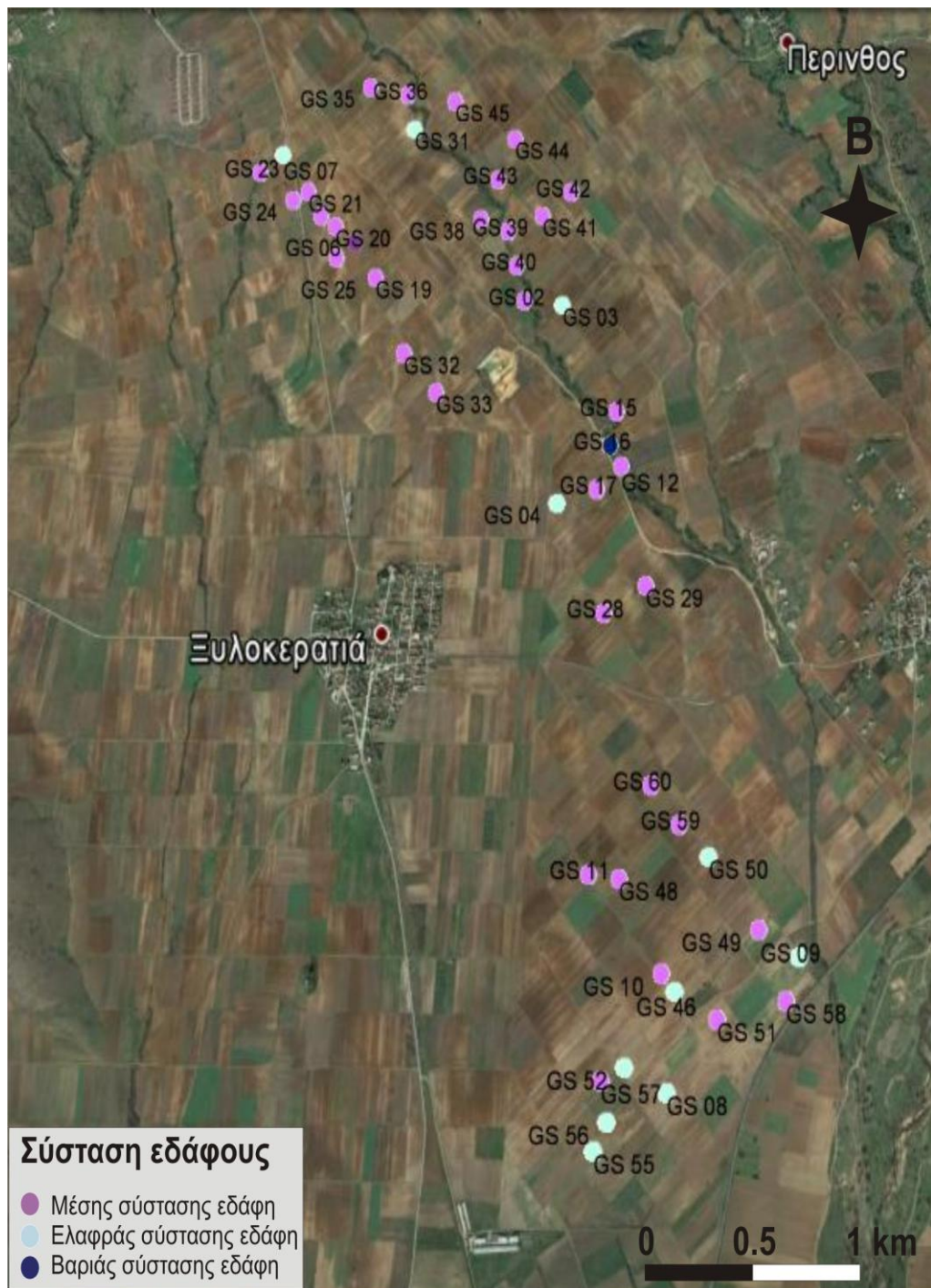
Τα αποτελέσματα των αναλύσεων έδειξαν ότι το 74,5% των δειγμάτων είναι μέσης σύστασης, το 23,4% είναι ελαφριάς σύστασης και μόνο το 2,1% είναι βαριάς σύστασης, όπως φαίνεται και στο Γράφημα 3.1.



Γράφημα 3.1. Ποσοστιαία κατανομή της κοκκομετρικής σύστασης των εδαφών.

Το κύριο χαρακτηριστικό των εδαφών της περιοχής μελέτης είναι πως τα ποσοστά άμμου κυμαίνονται από 47% έως περίπου 72%. Πρόκειται, επομένως, για εδάφη με υψηλά ποσοστά άμμου, γεγονός που επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό ορισμένες από τις ιδιότητές τους, όπως θα εξηγηθεί σε επόμενες παραγράφους.

Στον θεματικό Χάρτη 3.1 παρουσιάζεται, επίσης, η ταξινόμηση των εδαφών στα σημεία δειγματοληψίας με βάση τη μηχανική τους σύσταση.



Χάρτης 3.1. Θεματικός χάρτης της κοκκομετρικής σύστασης των εδαφών

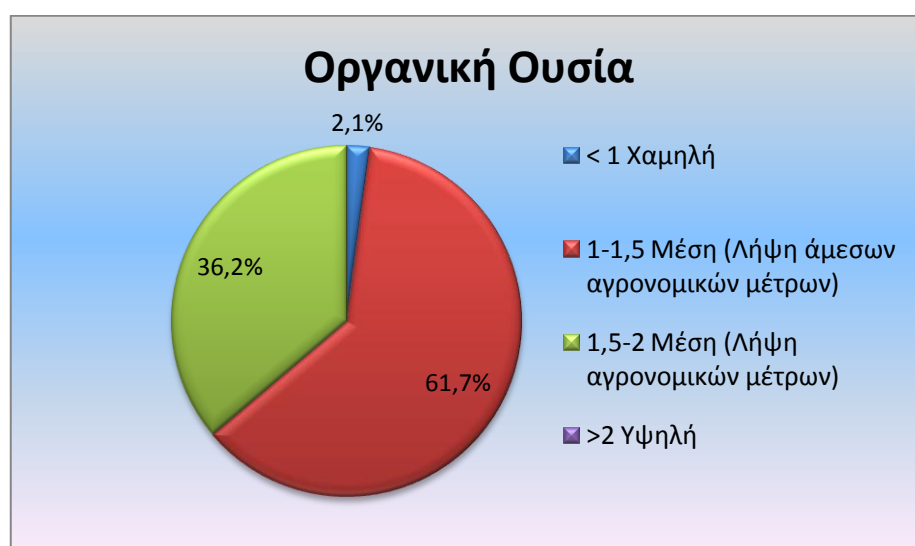
3.1.2. Οργανική ουσία

Οι συγκεντρώσεις οργανικής ουσίας κυμαίνονται από 0,84% έως 1,99% ($1,39 \pm 0,23$) και είναι αντιπροσωπευτικές των ελληνικών συνθηκών. Λαμβάνοντας υπόψη τον χαρακτηρισμό των εδαφών με βάση την περιεκτικότητά τους σε οργανική ουσία (Πίνακας 3.1), τα αποτελέσματα των προσδιορισμών έδειξαν ότι το 97,9% των δειγμάτων έχουν μέση περιεκτικότητα (1-2%), ενώ μόνο το 2,1% έχουν χαμηλή περιεκτικότητα (< 1%).

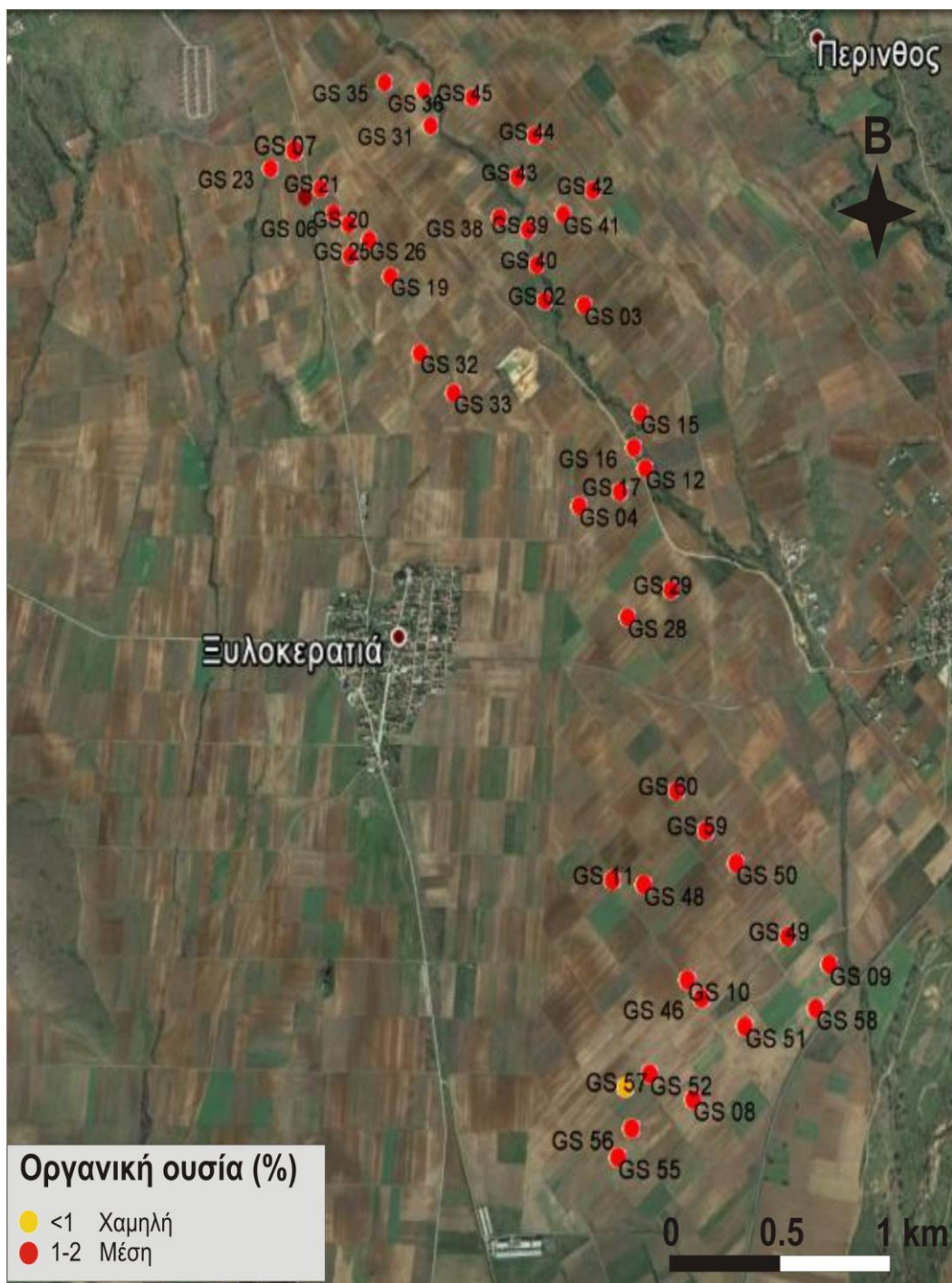
Η γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων παρουσιάζεται στο Γράφημα 3.2, όπως επίσης ο αντίστοιχος θεματικός χάρτης (Χάρτης 3.2).

Πίνακας 3.1. Χαρακτηρισμός εδαφών με βάση την περιεκτικότητά τους σε οργανική ουσία

Οργανική Ουσία, %	Χαρακτηρισμός
> 2	Υψηλή
1,5 - 2	Μέση (λήψη αγρονομικών μέτρων)
1 - 1,5	Μέση (λήψη άμεσων αγρονομικών μέτρων)
< 1	Χαμηλή



Γράφημα 3.2. Ποσοστιαία κατανομή των συγκεντρώσεων οργανικής ουσίας των εδαφών



Χάρτης 3.2. Θεματικός χάρτης της οργανικής ουσίας των εδαφών

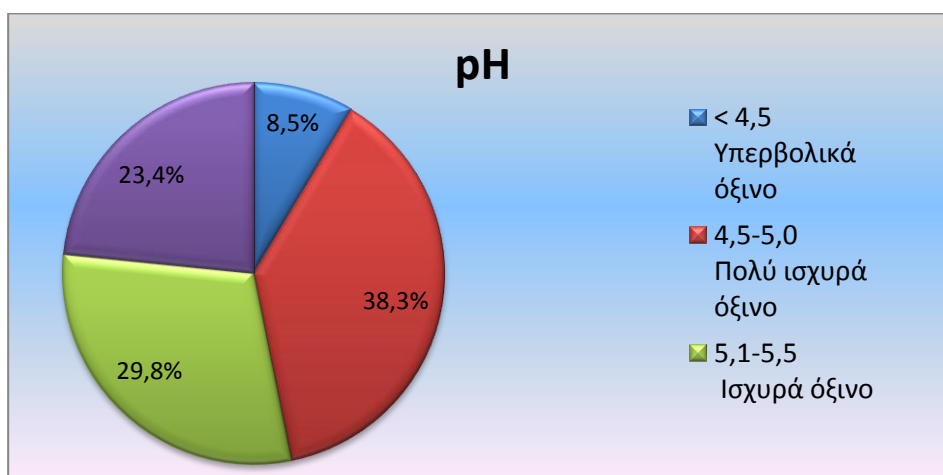
3.1.3. pH

Το pH των εδαφικών δειγμάτων κυμαίνεται από 4,3 έως 5,9 ($5,09 \pm 0,44$). Με βάση το χαρακτηρισμό των εδαφών ως προς το pH που παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.2, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το 8,5% των δειγμάτων είναι υπερβολικά όξινα, το 38,3% είναι πολύ ισχυρώς όξινα, το 29,8% είναι ισχυρώς όξινα και το 23,4% είναι μετρίως όξινα. Πρόκειται, επομένως, για μία περιοχή με σημαντικό πρόβλημα οξύτητας στο σύνολο των εδαφών της.

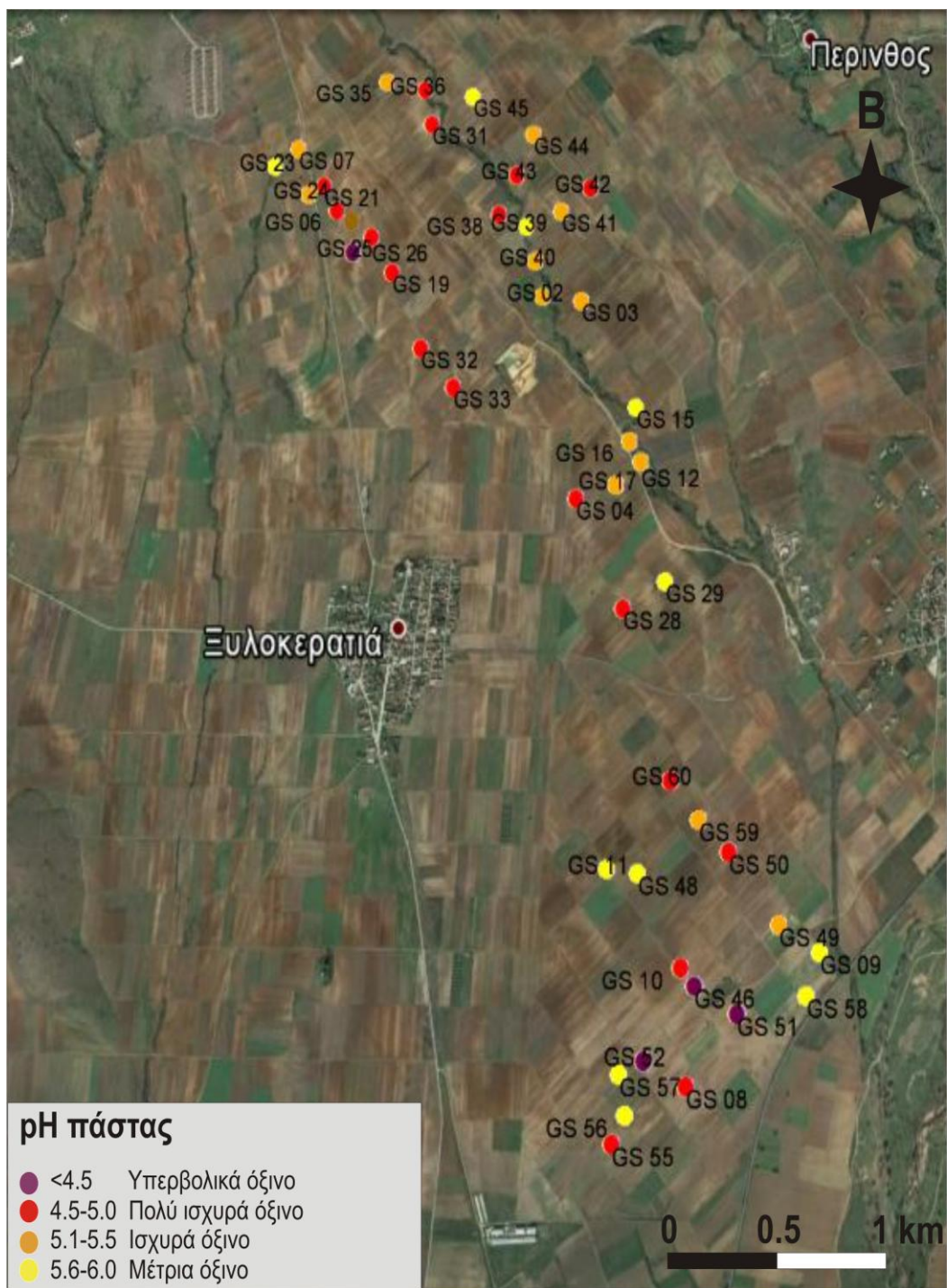
Η γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων παρουσιάζεται στο Γράφημα 3.3, όπως επίσης ο αντίστοιχος θεματικός χάρτης (Χάρτης 3.3).

Πίνακας 3.2. Ταξινόμηση των εδαφών σε σχέση με το pH

pH	Χαρακτηρισμός
< 4,5	Υπερβολικά όξινο
4,5 - 5,0	Πολύ ισχυρά όξινο
5,1 - 5,5	Ισχυρά όξινο
5,6 - 6,0	Μέτρια όξινο



Γράφημα 3.3. Ποσοστιαία κατανομή των τιμών pH των εδαφών



Χάρτης 3.3. Θεματικός χάρτης του pH εδαφών

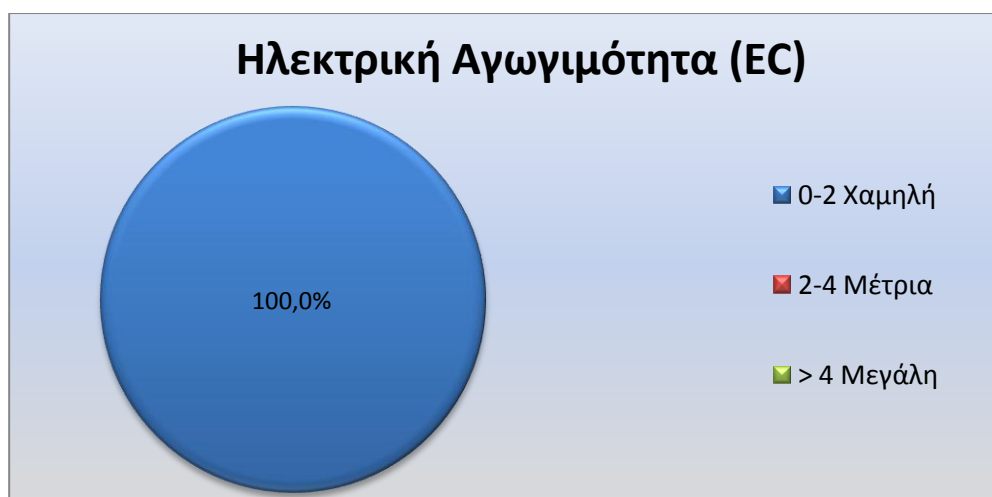
3.1.4. Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC)

Η EC των εδαφών κυμαίνεται από 0,106 mS/cm έως 0,742 mS/cm ($0,31 \pm 0,12$). Με βάση τον χαρακτηρισμό των εδαφών ως προς τις τιμές EC που παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.3, οι μετρήσεις EC στην περιοχή μελέτης έδειξαν ότι δεν υπάρχει πρόβλημα αλατότητας, καθώς όλες οι τιμές της βρέθηκαν μικρότερες από 2 mS/cm.

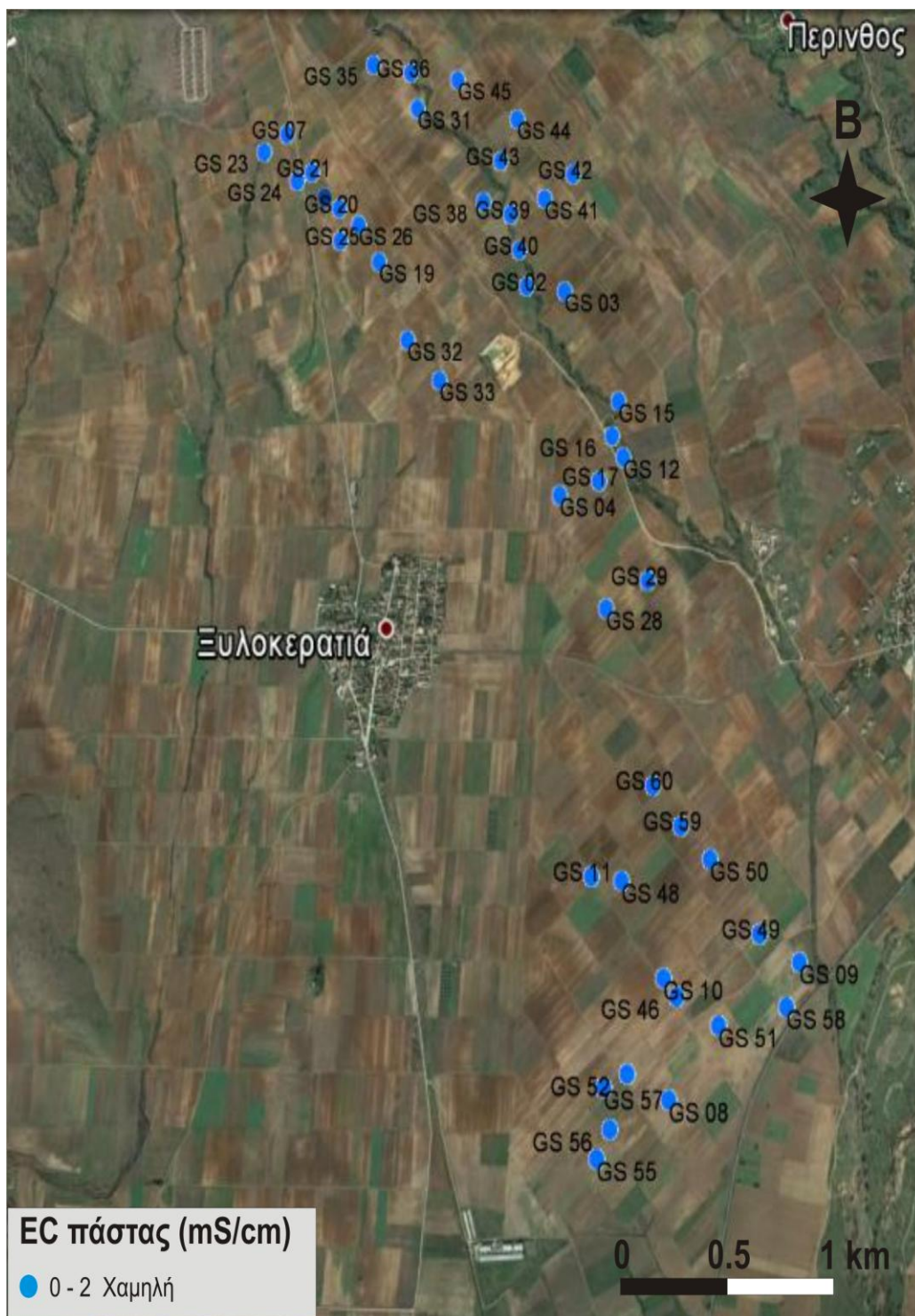
Η γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων παρουσιάζεται στο Γράφημα 3.4, όπως επίσης ο αντίστοιχος θεματικός χάρτης (Χάρτης 3.4).

Πίνακας 3.3. Χαρακτηρισμός εδαφών με βάση τις τιμές Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας (EC)

EC (mS/cm)	Χαρακτηρισμός
0 - 2	Χαμηλή
2 - 4	Μέτρια
> 4	Μεγάλη



Γράφημα 3.4. Ποσοστιαία κατανομή των τιμών EC των εδαφών



Χάρτης 3.4. Θεματικός χάρτης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) των εδαφών

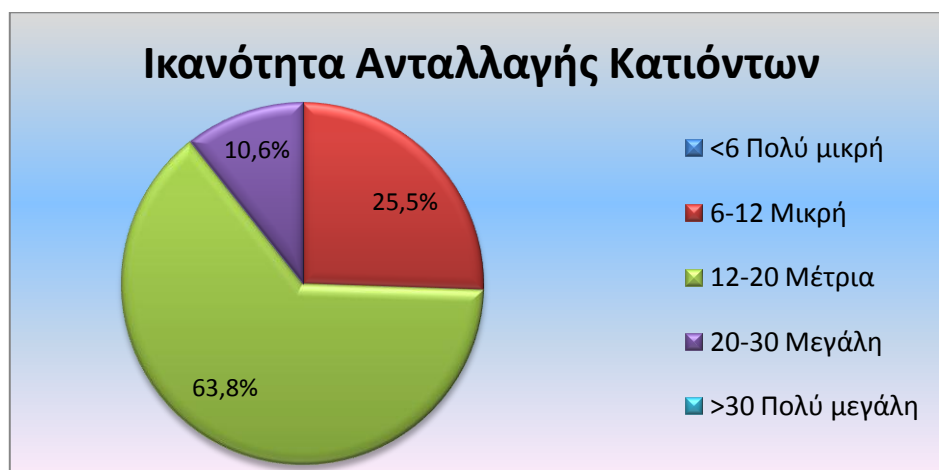
3.1.5. Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (CEC)

Οι τιμές CEC κυμαίνονται από 6,52 cmol₍₊₎/kg έως 23,37 cmol₍₊₎/kg (14,80 ± 4,21). Έχοντας υπόψη τα δεδομένα του Πίνακα 3.4, τα αποτελέσματα των προσδιορισμών έδειξαν ότι το 63,8% των δειγμάτων έχουν μέτρια Ι.Α.Κ., το 25,5% έχουν μικρή Ι.Α.Κ., ενώ το 10,6% έχουν μεγάλη Ι.Α.Κ.

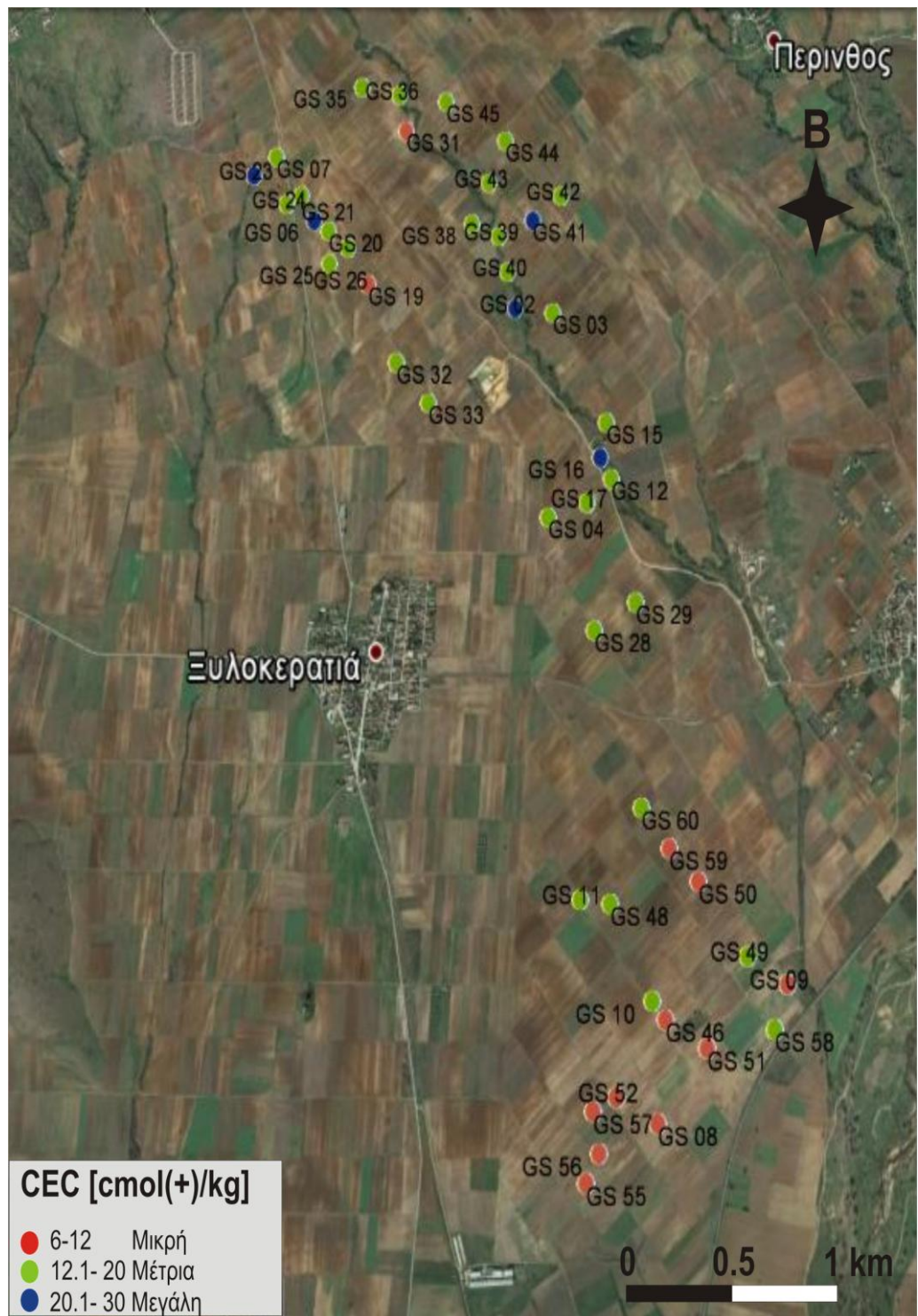
Η γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων παρουσιάζεται στο Γράφημα 3.5, όπως επίσης ο αντίστοιχος θεματικός χάρτης (Χάρτης 3.5).

Πίνακας 3.4. Χαρακτηρισμός εδαφών με βάση τις τιμές Ικανότητας Ανταλλαγής Κατιόντων (CEC)

Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (cmol ₍₊₎ /kg)	Χαρακτηρισμός
> 30	Πολύ μεγάλη
20 - 30	Μεγάλη
12 - 20	Μέτρια
6 - 12	Μικρή
< 6	Πολύ μικρή



Γράφημα 3.5. Ποσοστιαία κατανομή των τιμών Ικανότητας Ανταλλαγής Κατιόντων των εδαφών



Χάρτης 3.5. Θεματικός χάρτης της Ικανότητας Ανταλλαγής Κατιόντων των εδαφών

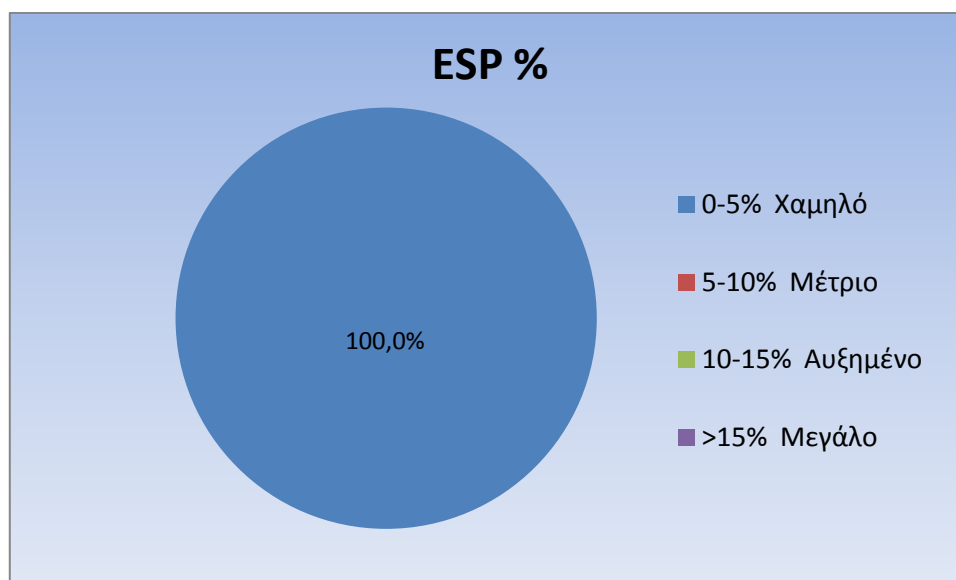
3.1.6. Ποσοστό εναλλακτικού νατρίου (ESP)

Οι τιμές ESP κυμαίνονται από 0,35% έως 2,67% ($0,89 \pm 0,60$). Σύμφωνα με τον πίνακα 3.5, το σύνολο των εδαφικών δειγμάτων έχουν χαμηλό ποσοστό εναλλακτικού νατρίου.

Η γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων παρουσιάζεται στο Γράφημα 3.6.

Πίνακας 3.5. Χαρακτηρισμός εδαφών με βάση τις τιμές Ποσοστού Εναλλακτικού Νατρίου (ESP)

Ποσοστό Εναλλακτικού Νατρίου, %	Χαρακτηρισμός
> 15	Μεγάλο
10 - 15	Αυξημένο
5 - 10	Μέτριο
0 - 5	Χαμηλό



Γράφημα 3.6. Ποσοστιαία κατανομή του ESP των εδαφών

3.2. ΘΡΕΠΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

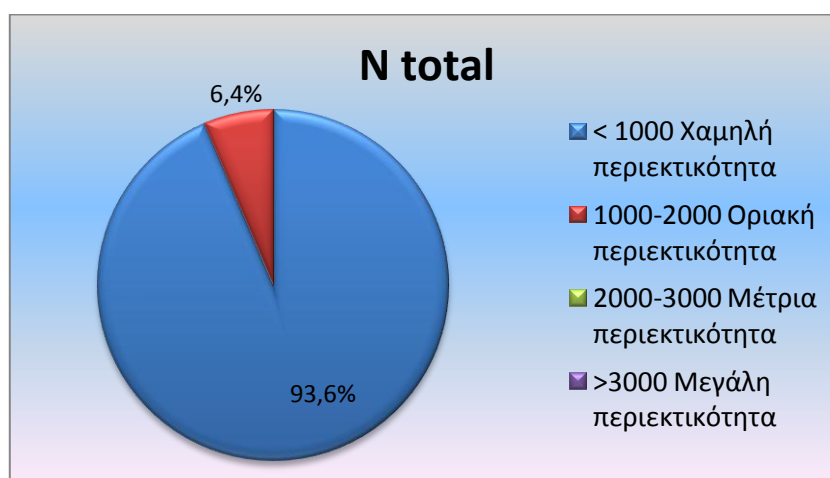
3.2.1. Ολικό Άζωτο (N_t)

Τα ποσοστά ολικού N κυμαίνονται από 0,101% έως 1,04% ($0,72 \pm 0,25$). Με βάση το χαρακτηρισμό περιεκτικότητας εδαφών σε ολικό N που παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.6, τα αποτελέσματα των προσδιορισμών έδειξαν ότι το 93,6% των δειγμάτων έχουν χαμηλή περιεκτικότητα, ενώ το 6,4% έχουν οριακή περιεκτικότητα. Η χαμηλή περιεκτικότητα σε ολικό N μπορεί να αποδοθεί στα χαμηλά, γενικά, ποσοστά οργανικής ουσίας που χαρακτηρίζει τα εδάφη ξηροθερμικών περιοχών (Σινάνης, 2016), όπως είναι και τα εδάφη της περιοχής μελέτης.

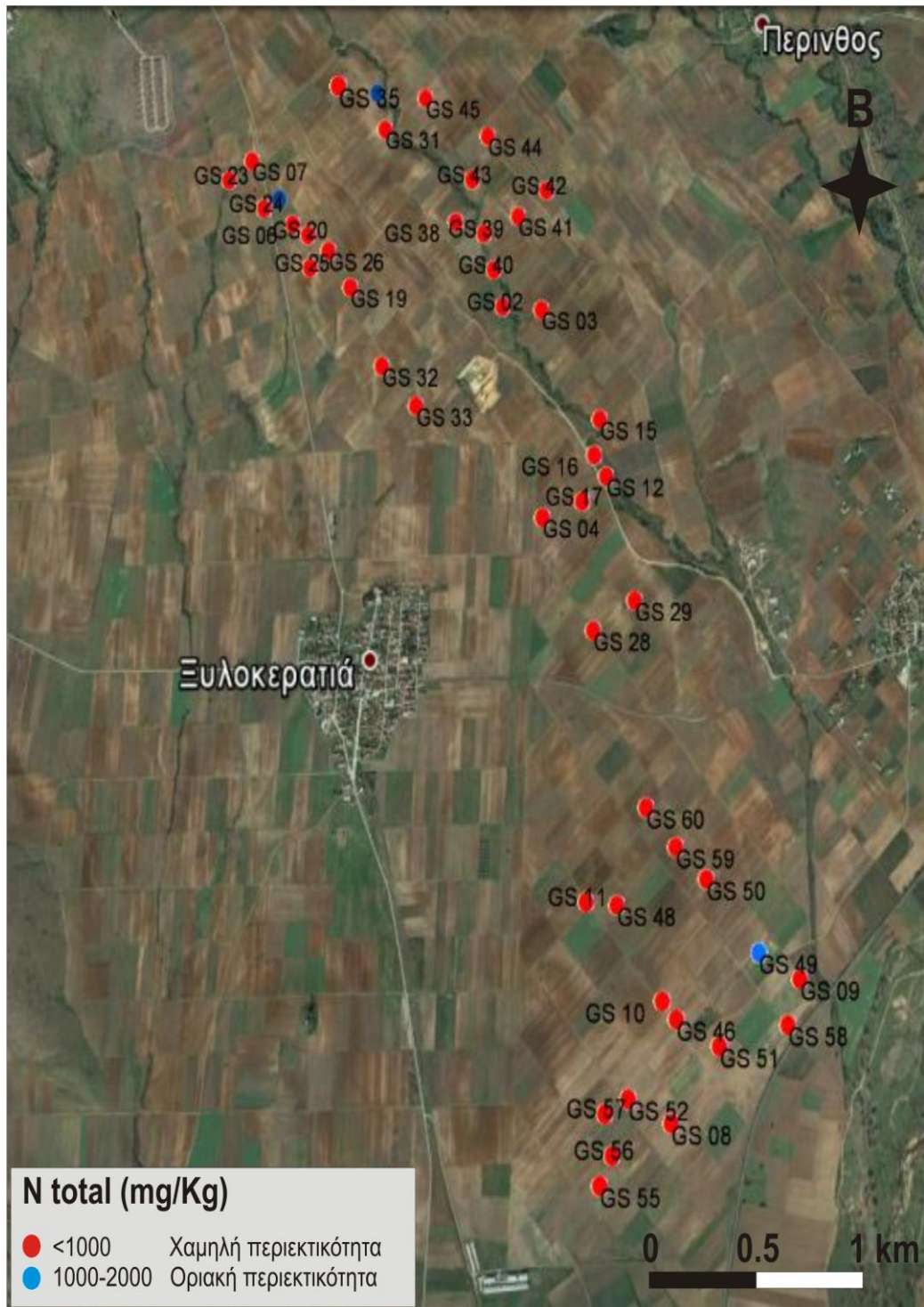
Η γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων παρουσιάζεται στο Γράφημα 3.7, όπως επίσης ο αντίστοιχος θεματικός χάρτης (Χάρτης 3.6).

Πίνακας 3.6. Χαρακτηρισμός περιεκτικότητας εδαφών σε ολικό άζωτο (N_{total})

Ολικό N (mg/kg)	Χαρακτηρισμός
< 1000	Χαμηλή περιεκτικότητα
1000 - 2000	Οριακή περιεκτικότητα
2000 - 3000	Μέτρια περιεκτικότητα
> 3000	Μεγάλη περιεκτικότητα



Γράφημα 3.7. Ποσοστιαία κατανομή των συγκεντρώσεων του ολικού αζώτου (N_{total}) των εδαφών



Χάρτης 3.6. Θεματικός χάρτης περιεκτικότητας των εδαφών σε ολικό άζωτο (N_t)

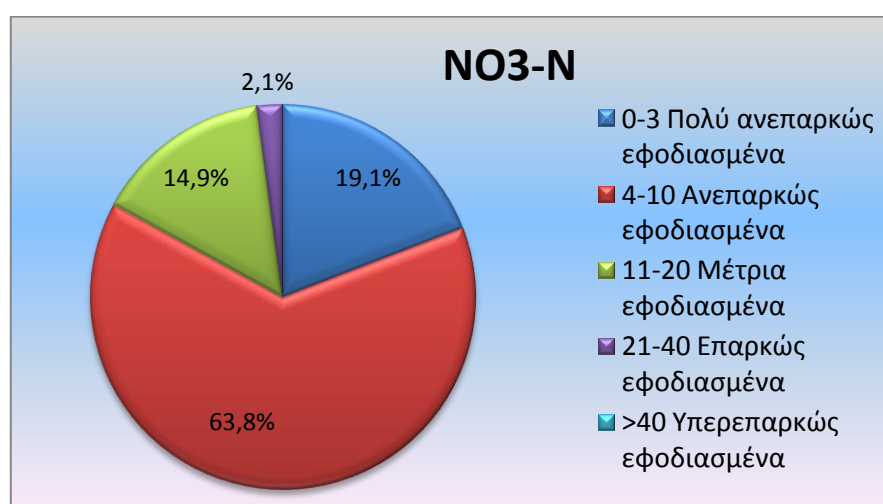
3.2.2. Νιτρικό Άζωτο (NO₃-N)

Οι συγκεντρώσεις NO₃-N κυμαίνονται από 0,7 mg/kg έως 31,65 mg/kg ($7,23 \pm 5,04$). Λαμβάνοντας υπόψη τον αντίστοιχο χαρακτηρισμό περιεκτικότητας εδαφών (Πίνακας 3.7), τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το 63,8% των δειγμάτων είναι ανεπαρκώς εφοδιασμένα, το 19,2% είναι πολύ ανεπαρκώς εφοδιασμένα, το 14,9% είναι μέτρια εφοδιασμένα, ενώ ένα ποσοστό 2,1% είναι επαρκώς εφοδιασμένα. Οι χαμηλές συγκεντρώσεις νιτρικών στην περιοχή μελέτης μπορούν να αποδοθούν, κατά κύριο λόγο, στην έκπλυση εξαιτίας των υψηλών ποσοστών άμμου που χαρακτηρίζει τα συγκεκριμένα εδάφη.

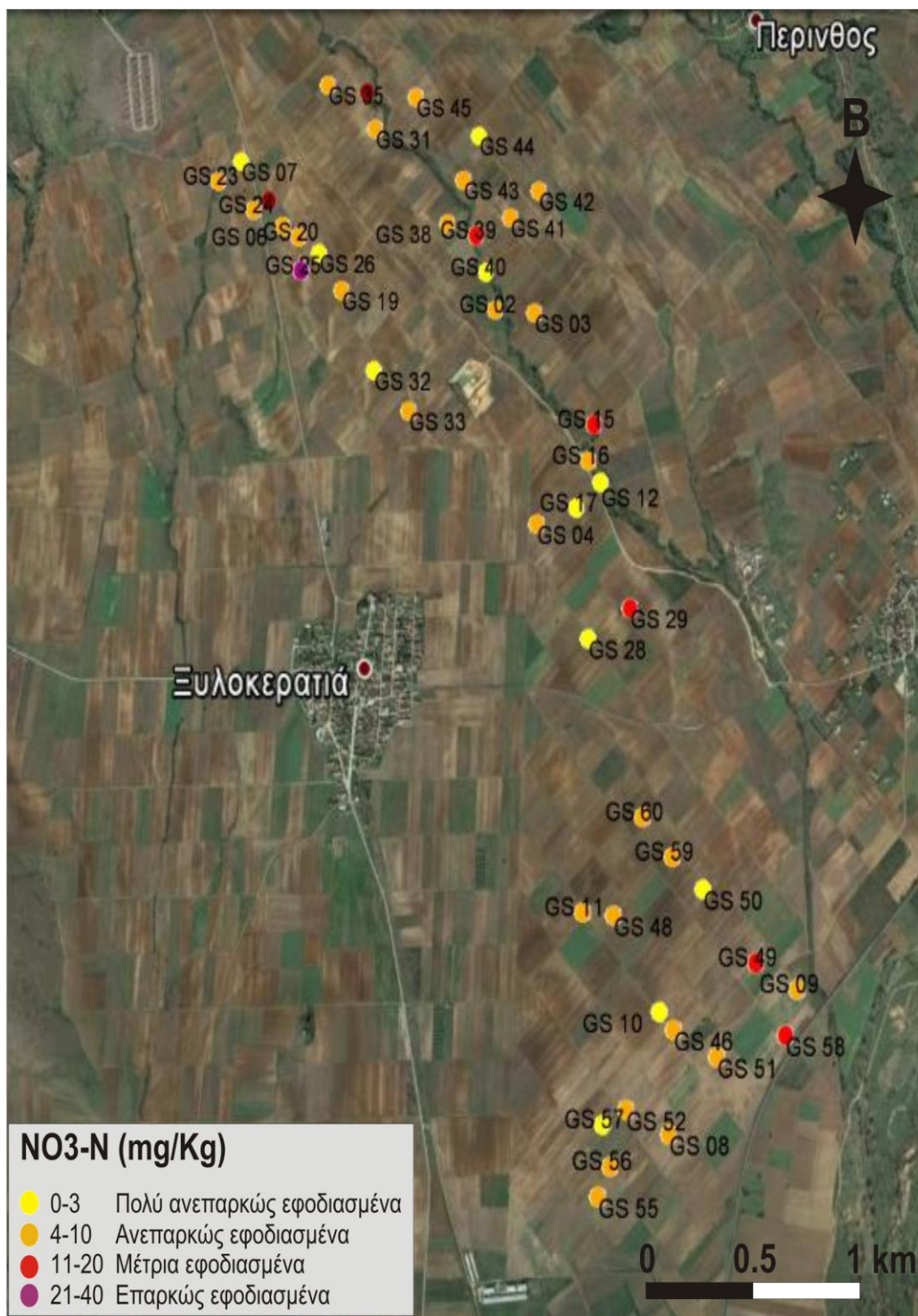
Η γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων παρουσιάζεται στο Γράφημα 3.8, όπως επίσης ο αντίστοιχος θεματικός χάρτης (Χάρτης 3.7).

Πίνακας 3.7. Χαρακτηρισμός περιεκτικότητας εδαφών σε νιτρικό άζωτο (NO₃-N)

NO ₃ -N (mg/kg)	Χαρακτηρισμός
0 - 3	Πολύ ανεπαρκώς εφοδιασμένα
4 - 10	Ανεπαρκώς εφοδιασμένα
11 - 20	Μέτρια εφοδιασμένα
21 - 40	Επαρκώς εφοδιασμένα
> 40	Υπερεπαρκώς εφοδιασμένα



Γράφημα 3.8. Ποσοστιαία κατανομή των συγκεντρώσεων νιτρικού αζώτου (NO₃-N) των εδαφών



Χάρτης 3.7. Θεματικός χάρτης περιεκτικότητας των εδαφών σε νιτρικό άζωτο (NO₃-N)

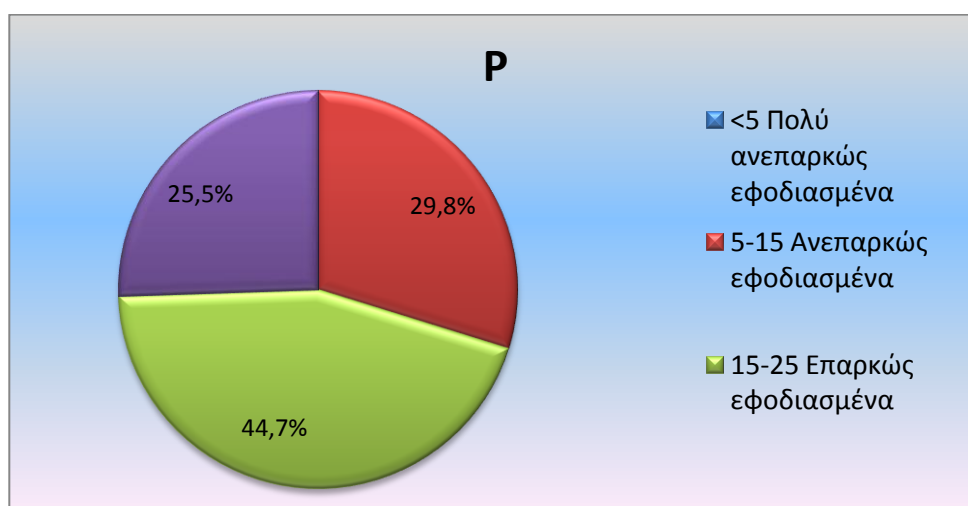
3.2.3. Διαθέσιμος φώσφορος (P)

Ο διαθέσιμος (αφομοιώσιμος) P κυμαίνεται σε συγκεντρώσεις από 7,11 mg/kg έως 44,52 mg/kg ($19,77 \pm 8,56$). Με βάση τα στοιχεία χαρακτηρισμού εδαφών σε διαθέσιμο P (Πίνακας 3.8), τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το 44,7% των εδαφών είναι επαρκώς εφοδιασμένα, το 25,5% είναι υπερεπαρκώς εφοδιασμένα, ενώ το 29,8% είναι ανεπαρκώς εφοδιασμένα.

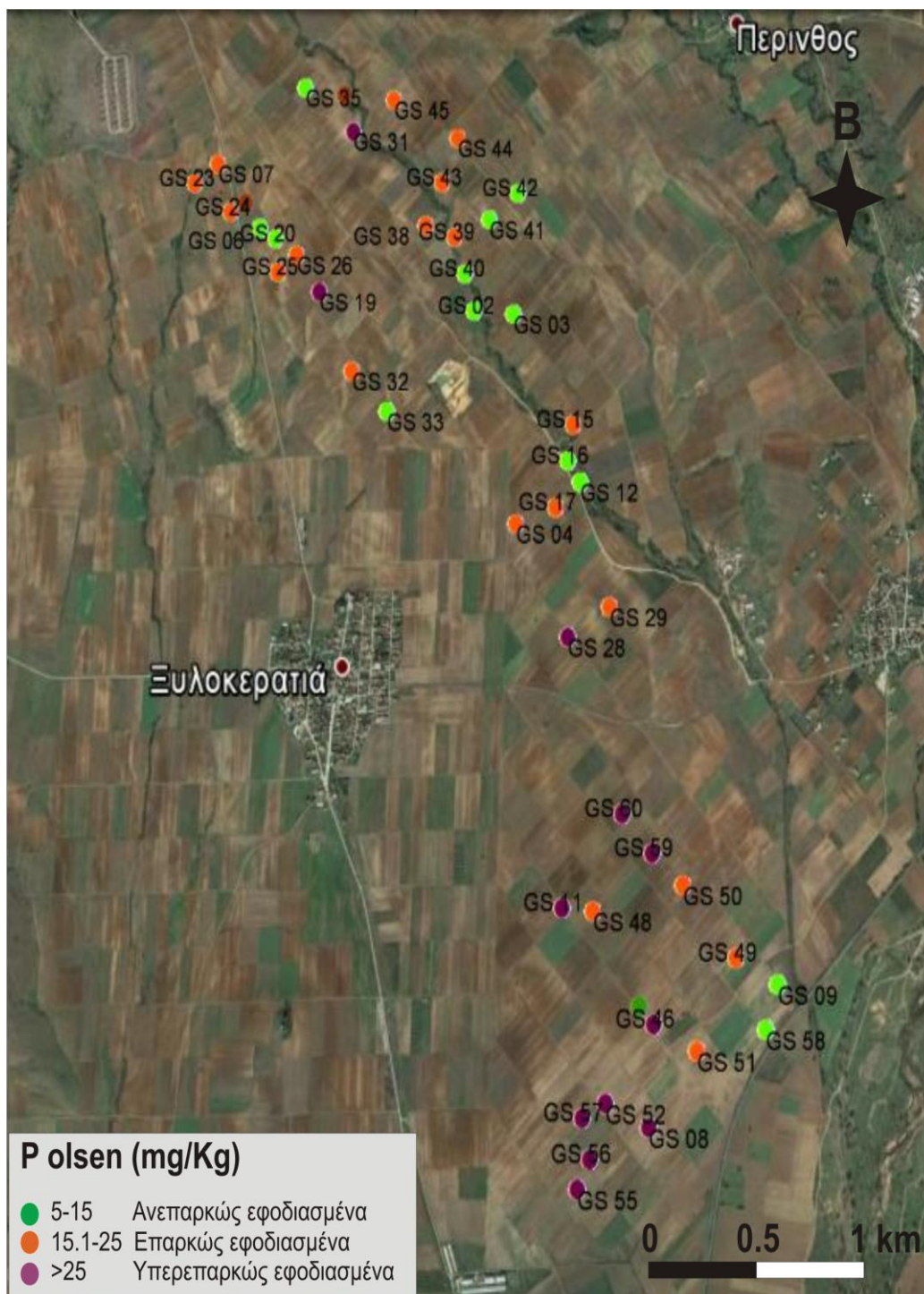
Η γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων παρουσιάζεται στο Γράφημα 3.9, όπως επίσης ο αντίστοιχος θεματικός χάρτης (Χάρτης 3.8).

Πίνακας 3.8. Χαρακτηρισμός περιεκτικότητας εδαφών σε διαθέσιμο φώσφορο (P)

Διαθέσιμος P (mg/kg)	Χαρακτηρισμός
> 25	Υπερεπαρκώς εφοδιασμένα
15 - 25	Επαρκώς εφοδιασμένα
5 - 15	Ανεπαρκώς εφοδιασμένα
< 5	Πολύ ανεπαρκώς εφοδιασμένα



Γράφημα 3.9. Ποσοστιαία κατανομή των συγκεντρώσεων του διαθέσιμου φωσφόρου (P) των εδαφών



Χάρτης 3.8. Θεματικός χάρτης περιεκτικότητας των εδαφών σε διαθέσιμο φώσφορο (P)

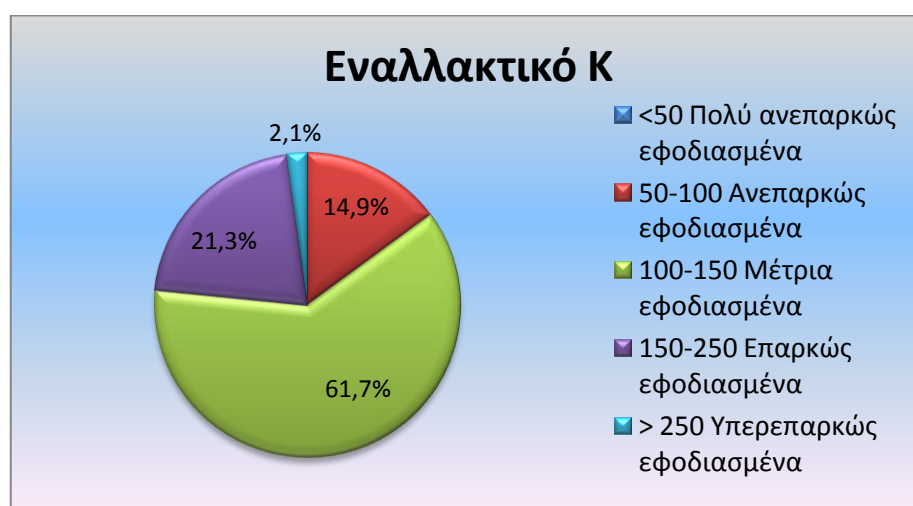
3.2.4. Εναλλακτικό κάλιο (K)

Οι συγκεντρώσεις εναλλακτικού K κυμαίνονται από 73 mg/kg έως 261 mg/kg ($134,6 \pm 39,5$). Στον Πίνακα 3.9 παρουσιάζεται ο χαρακτηρισμός των εδαφών ανάλογα με τις συγκεντρώσεις εναλλακτικού καλίου. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το 61,7% των δειγμάτων είναι μέτρια εφοδιασμένα, το 21,3% είναι επαρκώς εφοδιασμένα, το 14,9% είναι ανεπαρκώς εφοδιασμένα, ενώ ένα ποσοστό 2,1% είναι υπερεπαρκώς εφοδιασμένα.

Η γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων παρουσιάζεται στο Γράφημα 3.10, όπως επίσης ο αντίστοιχος θεματικός χάρτης (Χάρτης 3.9).

Πίνακας 3.9. Χαρακτηρισμός περιεκτικότητας εδαφών σε εναλλακτικό κάλιο (K)

Εναλλακτικό K (mg/kg)	Χαρακτηρισμός
> 250	Υπερεπαρκώς εφοδιασμένα
150 - 250	Επαρκώς εφοδιασμένα
100 - 150	Μέτρια εφοδιασμένα
50 - 100	Ανεπαρκώς εφοδιασμένα
< 50	Πολύ ανεπαρκώς εφοδιασμένα



Γράφημα 3.10. Ποσοστιαία κατανομή των συγκεντρώσεων του εναλλακτικού καλίου (K) των εδαφών



Χάρτης 3.9. Θεματικός χάρτης περιεκτικότητας των εδαφών σε εναλλακτικό κάλιο (Κ)

3.2.5. Εναλλακτικό ασβέστιο (Ca) και μαγνήσιο (Mg)

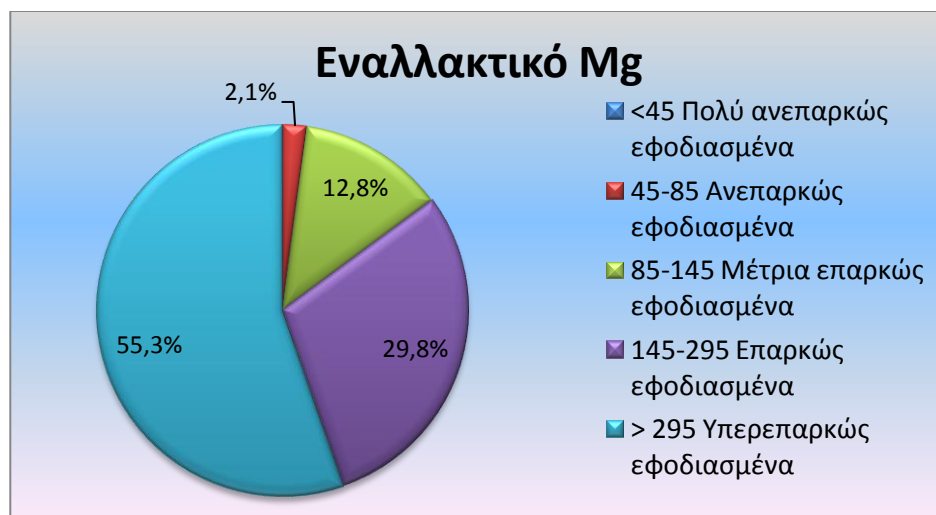
Οι συγκεντρώσεις του εναλλακτικού Ca κυμαίνονται από 565,5 mg/kg έως 3098 mg/kg ($1619,2 \pm 651$) που κρίνονται ως υπερεπαρκείς, καθώς σύμφωνα με τον Κεραμίδα (2007) το κρίσιμο όριο για το ανταλλάξιμο Ca είναι τα 250 mg/kg. Αν και ελλείψεις Ca είναι πιθανότερες σε ισχυρώς όξινα εδάφη ($\text{pH} < 5$), δεν παρατηρήθηκε παρόμοιο φαινόμενο στα όξινα εδάφη της περιοχής μελέτης.

Ως προς το εναλλακτικό μαγνήσιο Mg, οι συγκεντρώσεις του κυμαίνονται από 70 mg/kg έως 688 mg/kg (319 ± 161). Με βάση τον χαρακτηρισμό των εδαφών ως προς την περιεκτικότητά τους σε Mg (Πίνακας 3.10), τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το 55,3% των δειγμάτων είναι υπερεπαρκώς εφοδιασμένα, το 29,8% είναι επαρκώς εφοδιασμένα, το 12,8% είναι μέτρια επαρκώς εφοδιασμένα, ενώ μόλις το 2,1% είναι ανεπαρκώς εφοδιασμένα.

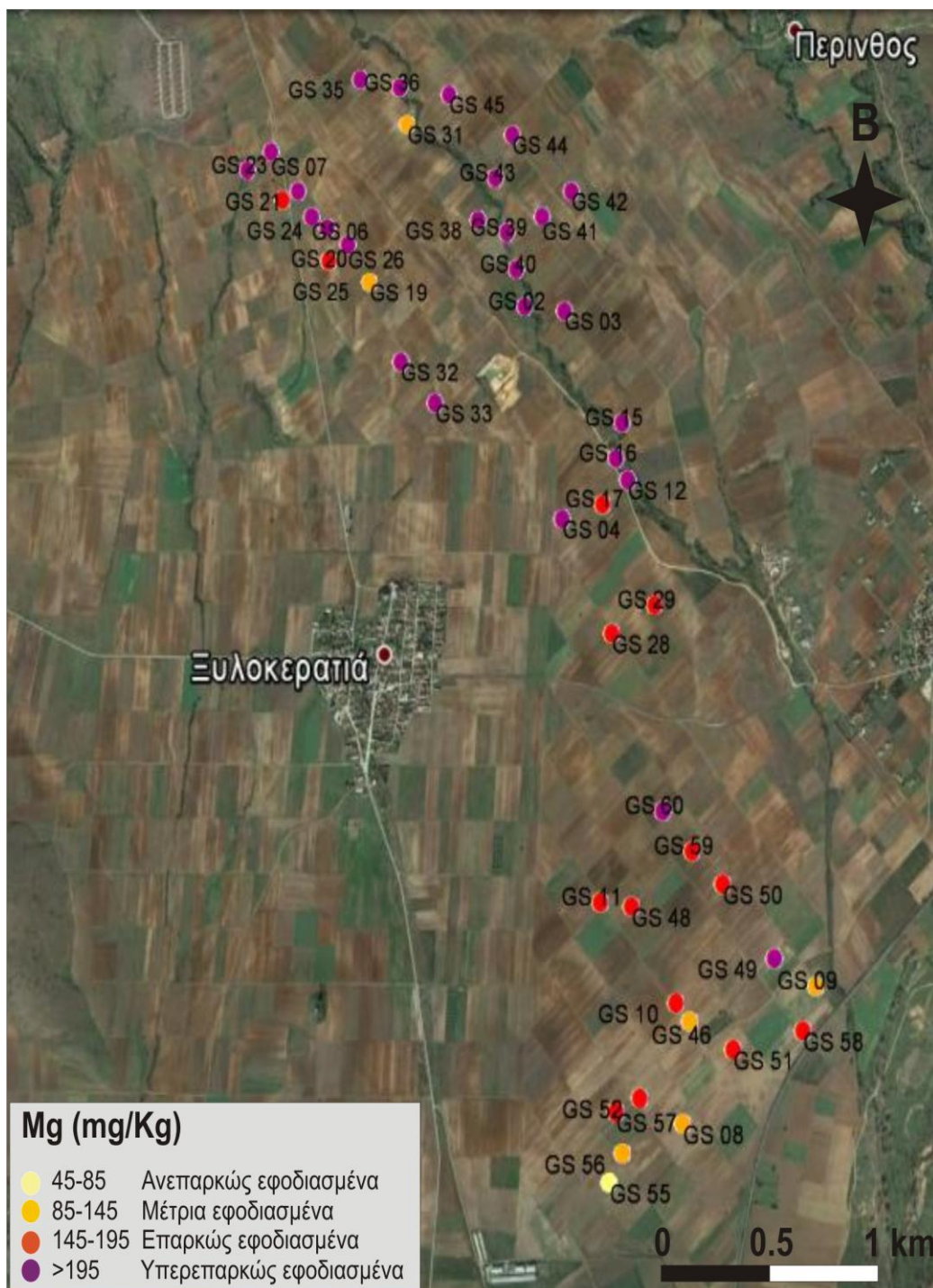
Η γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων για το Mg παρουσιάζεται στο Γράφημα 3.11, όπως επίσης ο αντίστοιχος θεματικός χάρτης (Χάρτης 3.10).

Πίνακας 3.10. Χαρακτηρισμός περιεκτικότητας εδαφών σε εναλλακτικό μαγνήσιο (Mg)

Εναλλακτικό Mg (mg/kg)	Χαρακτηρισμός
> 295	Υπερεπαρκώς εφοδιασμένα
145 - 295	Επαρκώς εφοδιασμένα
85 - 145	Μέτρια εφοδιασμένα
45 - 85	Ανεπαρκώς εφοδιασμένα
< 45	Πολύ ανεπαρκώς εφοδιασμένα



Γράφημα 3.11. Ποσοστιαία κατανομή των συγκεντρώσεων του εναλλακτικού μαγνησίου (Mg) των εδαφών



Χάρτης 3.10. Θεματικός χάρτης περιεκτικότητας των εδαφών σε ανταλλάξιμο μαγνήσιο (Mg)

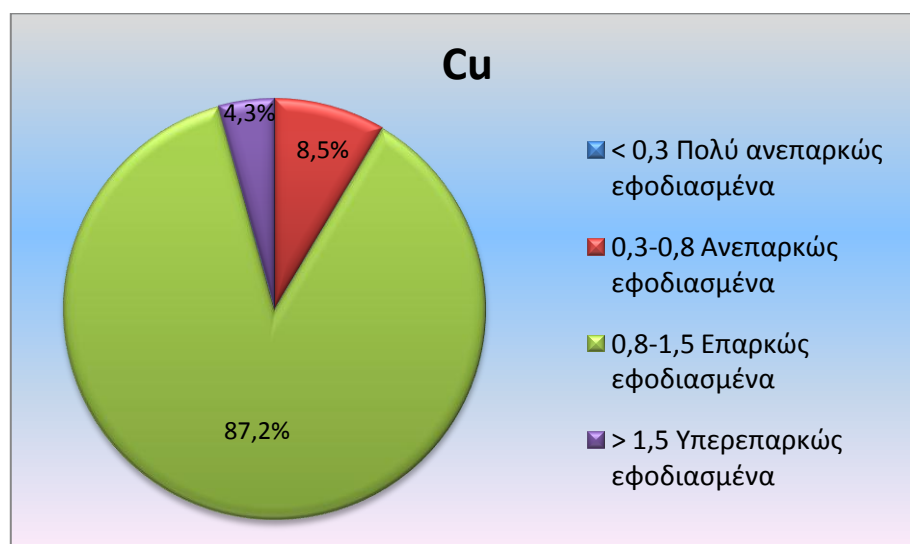
3.2.6. Διαθέσιμος χαλκός (Cu)

Οι συγκεντρώσεις Cu κυμαίνονται από 0,7 mg/kg έως 1,61 mg/kg ($1,03 \pm 0,21$). Με βάση το χαρακτηρισμό εδαφών ανάλογα με τις συγκεντρώσεις αυτού του θρεπτικού στοιχείου (Πίνακας 3.11), τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το 87,2% των δειγμάτων είναι επαρκώς εφοδιασμένα, το 8,5% είναι ανεπαρκώς εφοδιασμένα, ενώ το 4,3% είναι υπερεπαρκώς εφοδιασμένα.

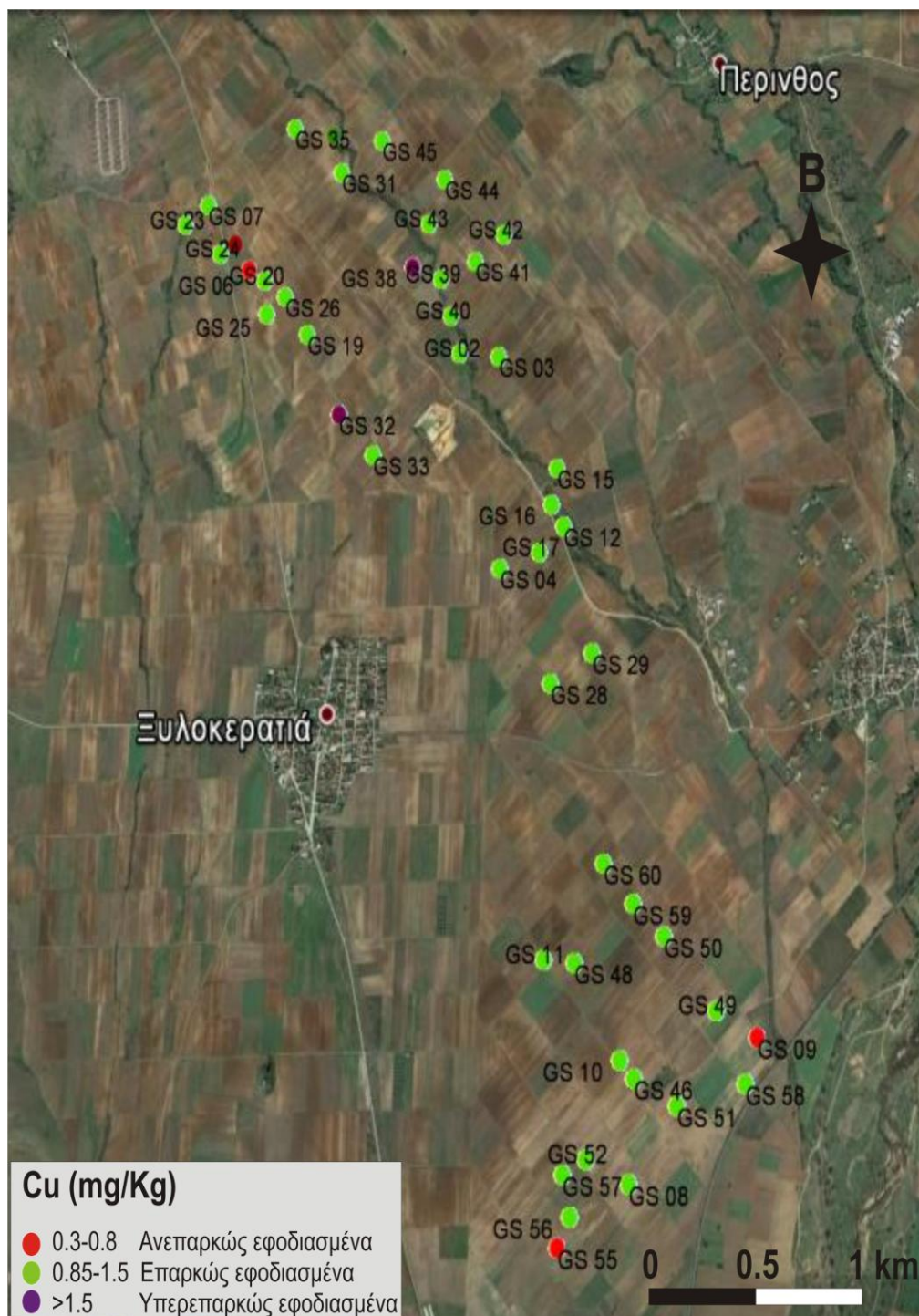
Η γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων παρουσιάζεται στο Γράφημα 3.12, όπως επίσης ο αντίστοιχος θεματικός χάρτης.

Πίνακας 3.11. Χαρακτηρισμός περιεκτικότητας εδαφών σε διαθέσιμο χαλκό (Cu)

Διαθέσιμος Cu (mg/kg)	Χαρακτηρισμός
> 1,5	Υπερεπαρκώς εφοδιασμένα
0,8 - 1,5	Επαρκώς εφοδιασμένα
0,3 - 0,8	Ανεπαρκώς εφοδιασμένα
< 0,3	Πολύ ανεπαρκώς εφοδιασμένα



Γράφημα 3.12. Ποσοστιαία κατανομή των συγκεντρώσεων του διαθέσιμου χαλκού (Cu) των εδαφών



Χάρτης 3.11. Θεματικός χάρτης περιεκτικότητας των εδαφών σε διαθέσιμο χαλκό (Cu)

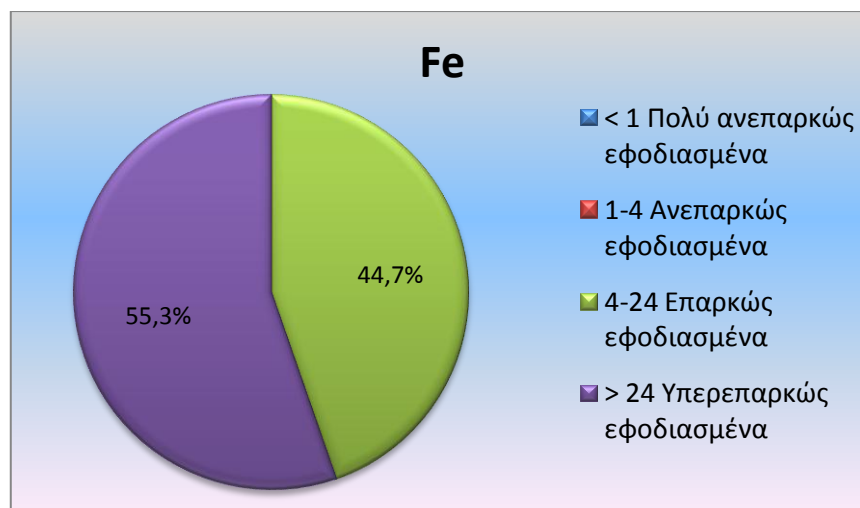
3.2.7. Διαθέσιμος σίδηρος (Fe)

Οι συγκεντρώσεις Fe κυμαίνονται από 10,78 mg/kg έως 48,8 mg/kg ($27,3 \pm 10,82$). Λαμβάνοντας υπόψη το χαρακτηρισμό των εδαφών ως προς τα επίπεδα αυτού του στοιχείου (Πίνακας 3.12), τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το 55,3% των δειγμάτων είναι υπερεπαρκώς εφοδιασμένα και το 44,7% είναι επαρκώς εφοδιασμένα. Γενικά, ελλείψεις Fe δεν είναι αναμενόμενες στην περιοχή μελέτης, καθώς λόγω των χαμηλών τιμών pH αναμένεται υψηλός βαθμός διαλυτοποίησης αυτού του στοιχείου.

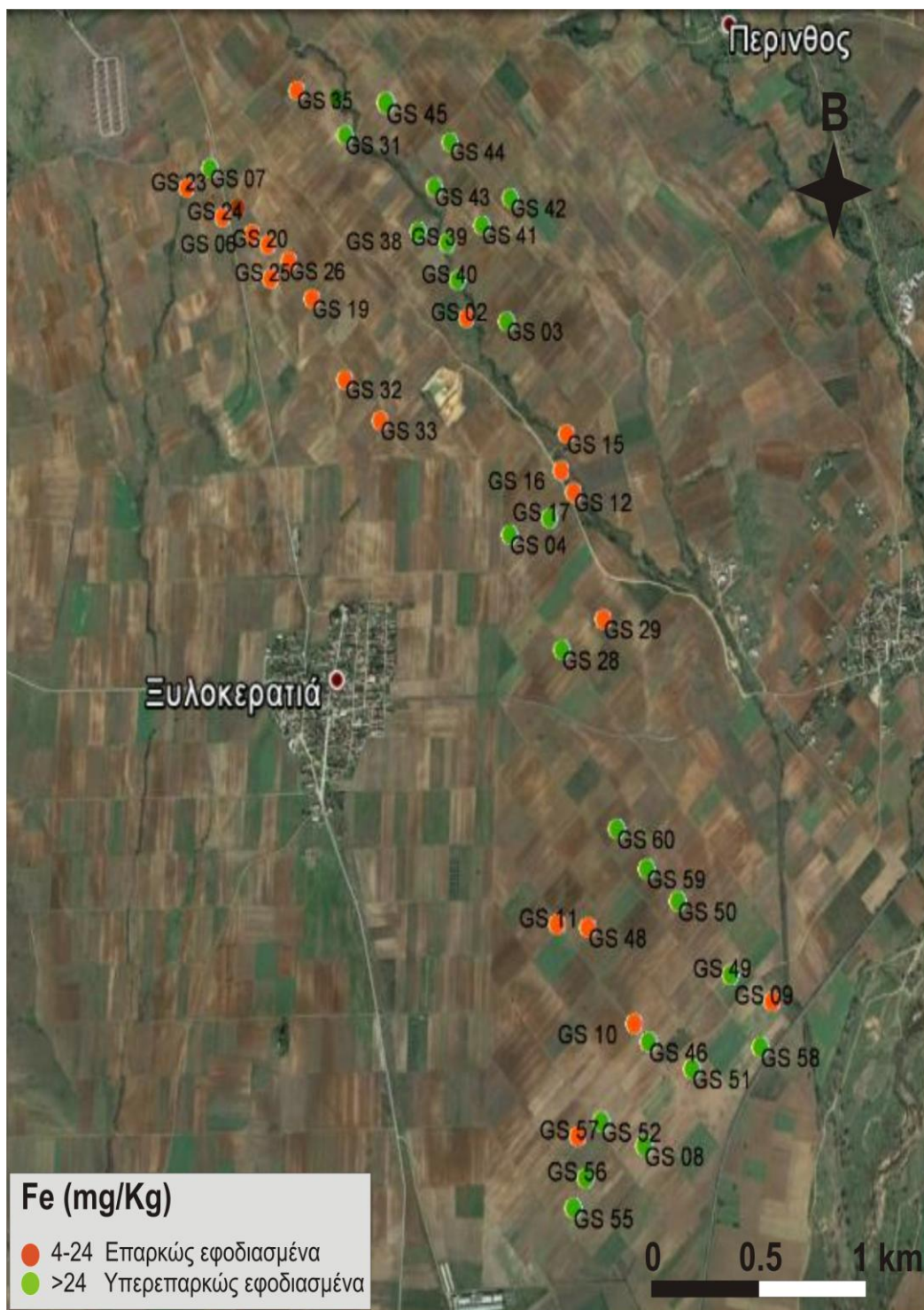
Η γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων παρουσιάζεται στο Γράφημα 3.13, όπως επίσης ο αντίστοιχος θεματικός χάρτης (Χάρτης 3.12).

Πίνακας 3.12. Χαρακτηρισμός περιεκτικότητας εδαφών σε διαθέσιμο σίδηρο (Fe)

Διαθέσιμος Fe (mg/kg)	Χαρακτηρισμός
> 24	Υπερεπαρκώς εφοδιασμένα
4 - 24	Επαρκώς εφοδιασμένα
1 - 4	Ανεπαρκώς εφοδιασμένα
< 1	Πολύ ανεπαρκώς εφοδιασμένα



Γράφημα 3.13. Ποσοστιαία κατανομή των συγκεντρώσεων του διαθέσιμου σιδήρου (Fe) των εδαφών



Χάρτης 3.12. Θεματικός χάρτης περιεκτικότητας των εδαφών σε διαθέσιμο σίδηρο (Fe)

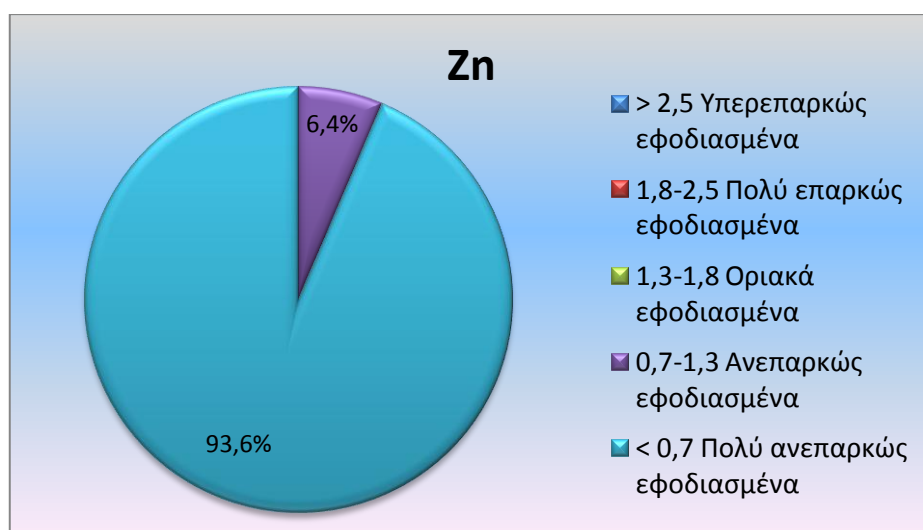
3.2.8. Διαθέσιμος ψευδάργυρος (Zn)

Οι συγκεντρώσεις Zn κυμαίνονται από 0,27 mg/kg έως 1,15 mg/kg ($0,48 \pm 0,16$). Με βάση τον χαρακτηρισμό περιεκτικότητας εδαφών σε διαθέσιμο ψευδάργυρο (Πίνακας 3.13), τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το 93,6% των δειγμάτων είναι πολύ ανεπαρκώς εφοδιασμένα, ενώ το 6,4% είναι ανεπαρκώς εφοδιασμένα. Αν και οι ελλείψεις Zn είναι συνηθέστερες στα εδάφη αλκαλικής αντίδρασης, στη συγκεκριμένη περίπτωση τα ανεπαρκή του επίπεδα στα όξινα εδάφη της περιοχής μελέτης θα μπορούσαν κυρίως να αποδοθούν στο γεγονός ότι πρόκειται για εδάφη που ήταν ευθύς εξ αρχής πτωχά σε Zn και καλλιεργήθηκαν εντατικά επί σειρά ετών (Σινάνης, 2016).

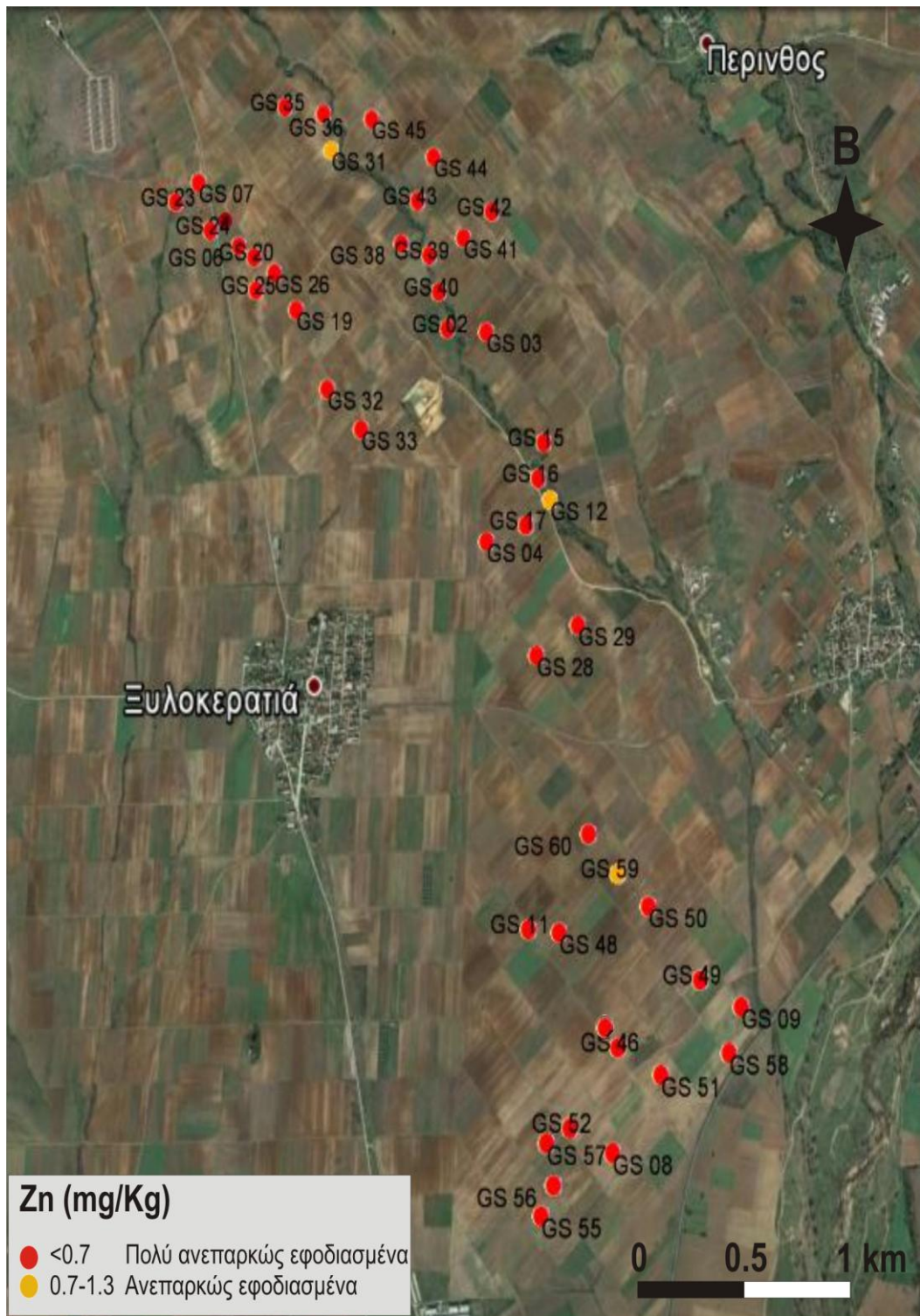
Η γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων παρουσιάζεται στο Γράφημα 3.14, όπως επίσης ο αντίστοιχος θεματικός χάρτης (Χάρτης 3.13).

Πίνακας 3.13. Χαρακτηρισμός περιεκτικότητας εδαφών σε διαθέσιμο ψευδάργυρο (Zn)

Διαθέσιμος Zn (mg/kg)	Χαρακτηρισμός
> 2,5	Υπερεπαρκώς εφοδιασμένα
1,8 - 2,5	Πολύ επαρκώς εφοδιασμένα
1,3 - 1,8	Οριακά εφοδιασμένα
0,7 - 1,3	Ανεπαρκώς εφοδιασμένα
< 0,7	Πολύ ανεπαρκώς εφοδιασμένα



Γράφημα 3.14. Ποσοστιαία κατανομή των συγκεντρώσεων του διαθέσιμου ψευδαργύρου (Zn) των εδαφών



Χάρτης 3.13. Θεματικός χάρτης περιεκτικότητας των εδαφών σε διαθέσιμο ψευδάργυρο (Zn)

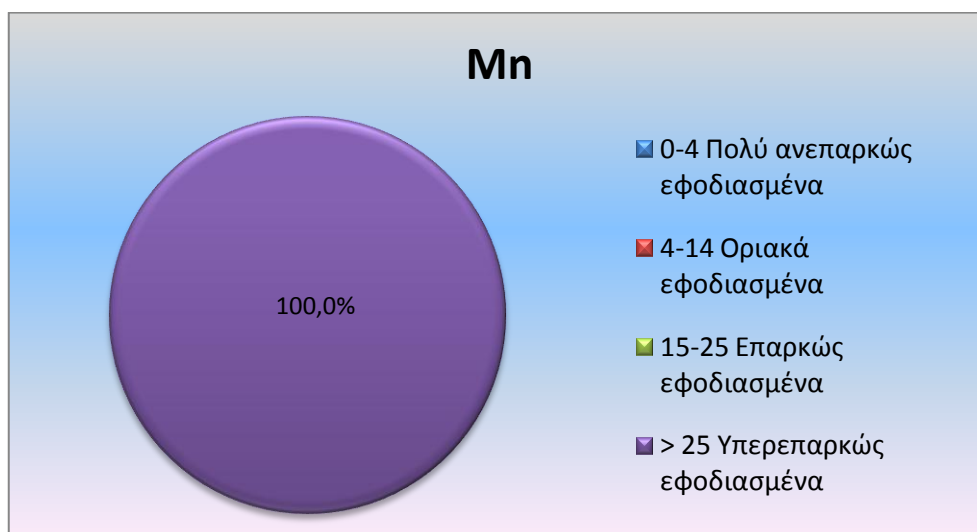
3.2.9. Διαθέσιμο μαγγάνιο (Mn)

Οι συγκεντρώσεις Mn κυμαίνονται από 26,02 mg/kg έως 85,16 mg/kg ($53,34 \pm 14,92$). Λαμβάνοντας υπόψη τον χαρακτηρισμό περιεκτικότητας εδαφών σε διαθέσιμο μαγγάνιο (Πίνακας 3.14), τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα εδάφη της περιοχής είναι υπερεπαρκώς εφοδιασμένα με αυτό το θρεπτικό στοιχείο. Όπως και στην περίπτωση του Fe, ελλείψεις Mn δεν είναι αναμενόμενες στα όξινα εδάφη της περιοχής, καθώς λόγω των χαμηλών τιμών pH αναμένεται υψηλός βαθμός διαλυτοποίησης αυτού του στοιχείου.

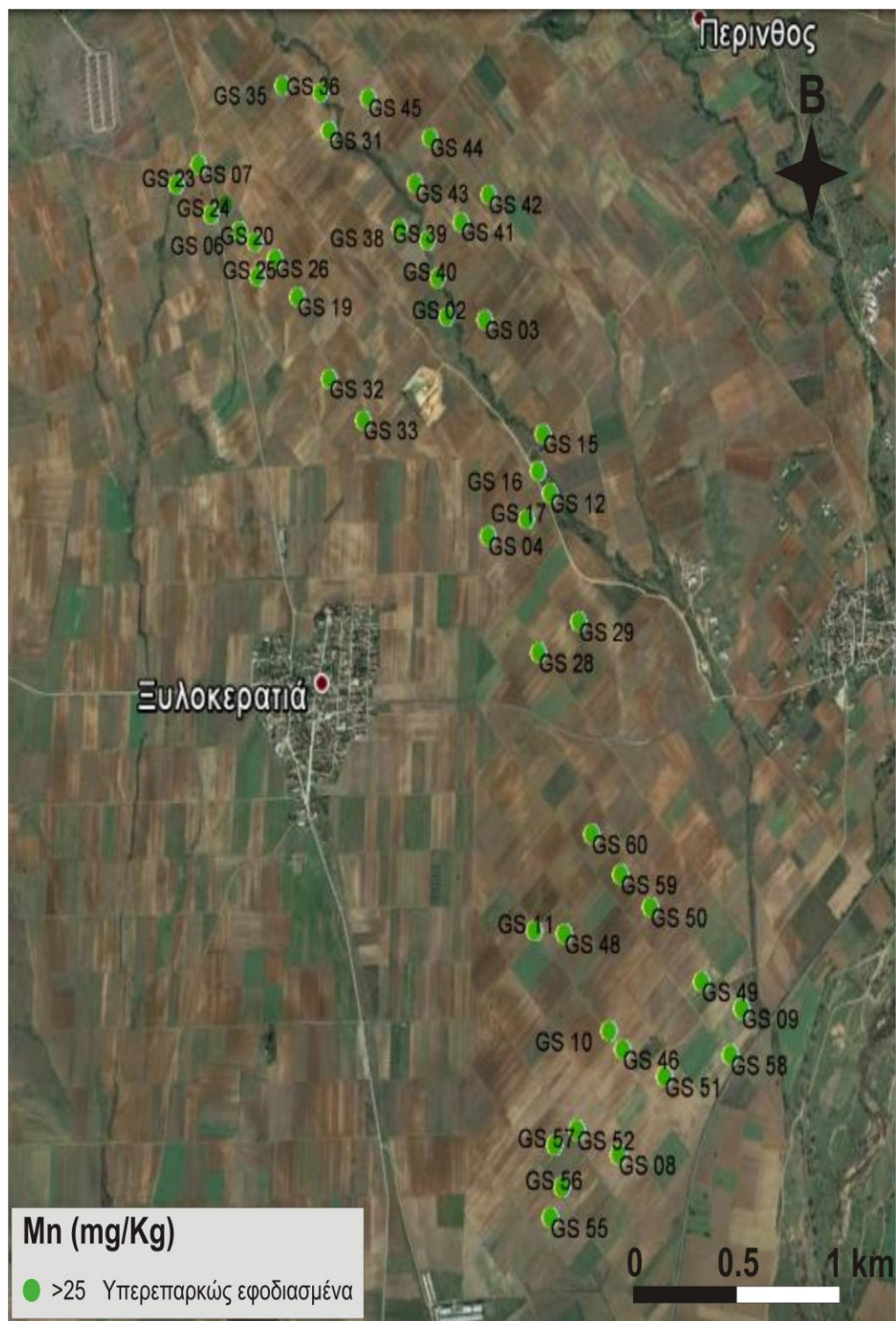
Η γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων παρουσιάζεται στο Γράφημα 3.15, όπως επίσης ο αντίστοιχος θεματικός χάρτης (Χάρτης 3.14).

Πίνακας 3.14. Χαρακτηρισμός περιεκτικότητας εδαφών σε διαθέσιμο μαγγάνιο (Mn)

Διαθέσιμο Mn (mg/kg)	Χαρακτηρισμός
0 - 4	Πολύ ανεπαρκώς εφοδιασμένα
4 - 14	Οριακά εφοδιασμένα
15 - 25	Επαρκώς εφοδιασμένα
> 25	Υπερεπαρκώς εφοδιασμένα



Γράφημα 3.15. Ποσοστιαία κατανομή των συγκεντρώσεων του διαθέσιμου μαγγανίου (Mn) των εδαφών



Χάρτης 3.14. Θεματικός χάρτης περιεκτικότητας των εδαφών σε διαθέσιμο μαγγάνιο (Mn)

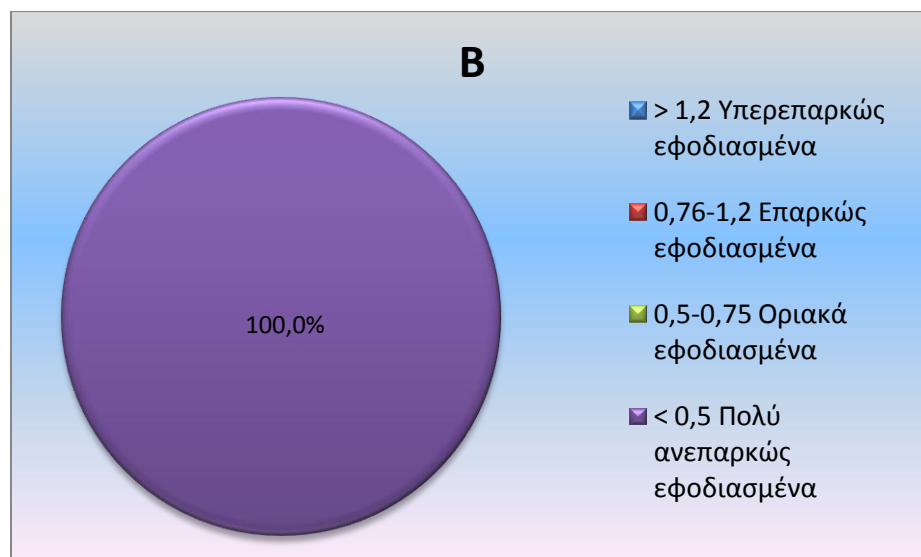
3.2.10. Διαθέσιμο Βόριο (B)

Οι συγκεντρώσεις του B κυμαίνονται από 0,001 mg/kg έως 0,37 mg/kg ($0,17 \pm 0,10$). Λαμβάνοντας υπόψη το χαρακτηρισμό περιεκτικότητας εδαφών ως προς αυτό το στοιχείο (Πίνακας 3.15), τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα εδάφη της περιοχής είναι πολύ ανεπαρκώς εφοδιασμένα. Σύμφωνα με τον Σινάνη (2016), η έλλειψη βορίου μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι τα εδάφη είναι ελαφριάς κοκκομετρικής σύστασης (μεγάλη περιεκτικότητα σε άμμο) και εκπλυμένα.

Η γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων παρουσιάζεται στο Γράφημα 3.16, όπως επίσης ο αντίστοιχος θεματικός χάρτης (Χάρτης 3.15).

Πίνακας 3.15. Χαρακτηρισμός περιεκτικότητας εδαφών σε διαθέσιμο βόριο (B)

Διαθέσιμο B (mg/kg)	Χαρακτηρισμός
> 1,2	Υπερεπαρκώς εφοδιασμένα
0,76 - 1,2	Επαρκώς εφοδιασμένα
0,5 - 0,75	Οριακά εφοδιασμένα
< 0,5	Πολύ ανεπαρκώς εφοδιασμένα



Γράφημα 3.16. Ποσοστιαία κατανομή των συγκεντρώσεων του διαθέσιμου βορίου (B) των εδαφών



Χάρτης 3.15. Θεματικός χάρτης περιεκτικότητας των εδαφών σε διαθέσιμο βόριο (B)

3.3. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΗΣ ΟΞΥΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος της οξύτητας των εδαφών της περιοχής Γαλλικού Κιλκίς και την αύξηση της παραγωγικότητας των καλλιεργήσιμων εδαφών, προτείνονται τα ακόλουθα:

- η χρήση κατάλληλου μίγματος ασβεστοπυριτικής σκωρίας χαλβουργίας (EINECS No: 266-004-1 • CAS No: 65996-71-6) της εταιρείας ΑΕΙΦΟΡΟΣ του ομίλου ΣΙΔΕΝΟΡ και αφυδατωμένης ύλης της εγκατάστασης επεξεργασίας αστικών λυμάτων Θεσσαλονίκης (ΕΕΛΘ),
- η εφαρμογή ασβεστοποιημένης ύλης (σε αναλογία 7:3 και pH 12) των εγκαταστάσεων επεξεργασίας αστικών λυμάτων (π.χ. βιολογικός καθαρισμός αστικών λυμάτων Αγγελοχωρίου),
- η χρήση της ασβεστολιθικής άμμου, ενός υποπροϊόντος εξόρυξης των λατομείων,
- η χρήση διαφόρων υλικών ασβέστωσης, όπως είναι ο ασβεστόλιθος (CaCO_3), ο δολομίτης ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), το οξείδιο του ασβεστίου (CaO), το υδροξείδιο του ασβεστίου (Ca(OH)_2), η ασβεστοίλυσ από τα εργοστάσια ζάχαρης κ.ά.,
- η χρήση ασβεστούχων λιπασμάτων, όπως είναι η ασβεστόχος νιτρική αμμωνία, αντί των οξινοποιών λιπασμάτων (νιτρική, φωσφορική, ή θειική αμμωνία),
- η χρήση ιπτάμενης και υγρής τέφρας, ζεόλιθου, κ.ά. (Γκέρτσης, 2011),
- η χρήση υπολειμματικού πολτού ανακυκλωμένου χαρτιού και αποβλήτων χαρτοβιομηχανίας (Γκέρτσης, 2010; Γκέρτσης, 2011),
- η εφαρμογή αμειψισποράς και βαθιών οργωμάτων τα οποία γίνονται μόνο μετά από δειγματοληψία και ανάλυση για την περιεκτικότητα των βαθύτερων στρωμάτων των εδαφών σε άργιλο.

Για τον υπολογισμό της κατάλληλης ποσότητας του επιλεγόμενου εδαφοβελτιωτικού υλικού, πρέπει να εξαχθούν καμπύλες εξουδετέρωσης, με τη μελέτη του εκάστοτε χρησιμοποιούμενου μίγματος από εδαφολογικό εργαστήριο. Εκτός αυτού, για να εξασφαλιστεί η αποτελεσματικότητα της βελτίωσης, πρέπει το υλικό να είναι λεπτόκοκκο και η διανομή και ενσωμάτωση στον αγρό να είναι ομοιόμορφη. Για καλύτερα αποτελέσματα συνιστάται, ειδικά, στην περίπτωση εδαφών με μεγάλες ανάγκες ασβέστωσης, η εφαρμογή του υλικού να γίνεται σε δύο ή τρεις δόσεις (Σινάνης, 2016).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα εδάφη της περιοχής μελέτης στο Γαλλικό Κιλκίς, εκτάσεως περίπου 4.000 στρεμμάτων, χαρακτηρίζονται από αυξημένη οξύτητα, καθώς το pH τους κυμαίνεται από 4,2 έως 5,9. Οι συνθήκες αυτές έχουν άμεση επίδραση στην ανάπτυξη των καλλιεργουμένων φυτών και, τελικά, στη μείωση της παραγωγής.

Σε αυτά τα εδάφη κυριαρχεί η μονοκαλλιέργεια με σιτηρά και η έλλειψη αμειψισποράς, γεγονός που τα κατέστησε φτωχά. Τα παραπάνω σε συνδυασμό με τη χρήση μεγάλων δόσεων οξινοποιών αζωτούχων λιπασμάτων σε μια δόση, είχε σαν αποτέλεσμα την υποβάθμιση των αποδόσεων των καλλιεργειών.

Η μηχανική τους σύσταση κυμαίνεται από ελαφριά έως μέση. Σε όλα τα εξεταζόμενα δείγματα εδαφών το κλάσμα της άμμου είναι αυτό που βρίσκεται σε μεγαλύτερα ποσοστά και αυτός είναι ένας από τους λόγους της οξίνισής τους, λόγω της μικρής ρυθμιστικής τους ικανότητας.

Η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία χαρακτηρίζεται, για τις ελληνικές συνθήκες, ως μέση (1-2%). Με βάση τις μετρήσεις οργανικής ουσίας, περίπου το 64% των εδαφών της περιοχής μελέτης χρήζουν άμεσης λήψης αγρονομικών μέτρων για την αύξηση των ποσοστών της, ενώ θα πρέπει να ληφθούν μέτρα και για το υπόλοιπο 36% για τη βελτίωση της γονιμότητάς τους.

Δεν υφίσταται πρόβλημα αλάτωσης ή αλκαλίωσης.

Σε ότι αφορά στη γονιμότητα των εδαφών της περιοχής, περίπου το 89% των εξεταζόμενων δειγμάτων έχουν μικρή έως μέτρια Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (6-20 cmol₍₊₎/kg). Το γεγονός αυτό συνεπάγεται, γενικά, χαμηλές συγκεντρώσεις βασικών κατιόντων και αυξημένη διαλυτότητα των μικροθρεπτικών στοιχείων Fe και Mn.

Ειδικότερα, για τα θρεπτικά στοιχεία οι εδαφολογικές αναλύσεις έδειξαν ότι τα προβλήματα στην περιοχή μελέτης εντοπίζονται στα χαμηλά επίπεδα ολικού αζώτου και νιτρικού αζώτου, στην ανεπάρκεια ψευδαργύρου και βορίου και σε μικρότερο βαθμό στην ανεπάρκεια αφομοιώσιμου φωσφόρου. Πιο συγκεκριμένα:

Ολικό άζωτο (N): χαμηλή περιεκτικότητα στο 94% περίπου των εδαφών. Στη χαμηλή περιεκτικότητα σε ολικό N συμβάλλει, κυρίως, η μικρή περιεκτικότητα των ελληνικών καλλιεργήσιμων εδαφών σε οργανική ουσία.

Νιτρικό άζωτο ($\text{NO}_3\text{-N}$): περίπου το 83% των εδαφών είναι ανεπαρκώς έως πολύ ανεπαρκώς εφοδιασμένα. Η πλειονότητα των δειγμάτων (~ 98%) έχει περιεκτικότητα σε νιτρικό άζωτο από 0 έως 20 mg/kg παρά την εφαρμογή αζωτούχων λιπασμάτων, γεγονός που κύρια οφείλεται στον υψηλό βαθμό έκπλυσης των εδαφών της περιοχής εξαιτίας της μεγάλης τους περιεκτικότητας σε άμμο.

Διαθέσιμος φώσφορος (P): περίπου το 30% των δειγμάτων είναι ανεπαρκώς εφοδιασμένα.

Εναλλακτικό κάλιο (K): η πλειονότητα (85%) τα εδαφών της περιοχής είναι από μέτρια έως υπερεπαρκώς εφοδιασμένα.

Εναλλακτικό ασβέστιο (Ca): υπερεπάρκεια στο σύνολο (100%) των εδαφών.

Εναλλακτικό μαγνήσιο (Mg): δεν υφίσταται αξιόλογο πρόβλημα έλλειψης αυτού του στοιχείου.

Χαλκός (Cu): επάρκεια στο 87% των εδαφών.

Σίδηρος (Fe): επάρκεια έως υπερεπάρκεια στο 100% των εδαφών.

Ψευδάργυρος (Zn): ανεπάρκεια στο σύνολο (100%) των εδαφών.

Μαγγάνιο (Mn): υπερεπάρκεια στο σύνολο (100%) των εδαφών.

Βόριο (B): ανεπάρκεια στο σύνολο (100%) των εδαφών.

Για τη βελτίωση των όξινων εδαφών της περιοχής και την αύξηση της παραγωγικότητάς τους, προτείνεται η χρήση διαφόρων εδαφοβελτιωτικών υλικών όπως:

- μίγμα ασβεστοπυριτικής σκωρίας χαλυβουργίας,
- ασβεστοποιημένη ιλύς (σε αναλογία 7:3 και pH 12) των εγκαταστάσεων επεξεργασίας αστικών λυμάτων,
- ασβεστολιθική άμμος,
- ασβεστόλιθος (CaCO_3), δολομίτης ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), οξειδίο του ασβεστίου (CaO), υδροξείδιο του ασβεστίου (Ca(OH)_2), ασβεστοϊλύς από τα εργοστάσια ζάχαρης,
- ασβεστούχα λιπάσματα

Για τον υπολογισμό της κατάλληλης ποσότητας του επιλεγόμενου εδαφοβελτιωτικού υλικού, πρέπει να εξαχθούν καμπύλες εξουδετέρωσης, με τη μελέτη του εκάστοτε χρησιμοποιούμενου μίγματος σε εδαφολογικό εργαστήριο. Εκτός αυτού, για να εξασφαλιστεί η αποτελεσματικότητα της βελτίωσης, πρέπει το υλικό να είναι λεπτόκοκκο και η εφαρμογή στον αγρό να είναι ομοιόμορφη.

Επίσης, για την αντιμετώπιση του προβλήματος της έλλειψης ορισμένων θρεπτικών στοιχείων, θα πρέπει να ληφθεί ιδιαίτερη μέριμνα για την εφαρμογή των κατάλληλων διαχειριστικών πρακτικών προκειμένου να αυξηθούν τα ποσοστά της οργανικής ουσίας, όπως επίσης να εφαρμοστούν οι κατάλληλες λιπαντικές τακτικές λαμβάνοντας υπόψη τα ιδιαίτερα εδαφικά χαρακτηριστικά του κάθε αγρού.

Η μελέτη αυτή αποτελεί σημαντικό εργαλείο για οποιονδήποτε ασχοληθεί με τη βελτίωση των όξινων εδαφών της περιοχής Γαλλικού. Παρόλα αυτά, η βελτίωση του pH των εδαφών της περιοχής μελέτης με σκοπό την αύξηση της παραγωγικότητάς τους και τη διατήρηση της αειφορίας τους, απαιτεί περισσότερο συστηματική έρευνα που θα περιλαμβάνει εδαφική ανάλυση όλων των αγροτεμαχίων της περιοχής και υπολογισμό της κατάλληλης ποσότητας εδαφοβελτιωτικού υλικού με τη βοήθεια των καμπυλών εξουδετέρωσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική

Αλιφραγκής, Δ. (2008). Το Έδαφος. Γένεση – Ιδιότητες - Ταξινόμηση (Τόμος 1). Θεσσαλονίκη: Αϊβάζη.

Αλεξιάδης, Κ. Α. (1980). Φυσική και χημική ανάλυσις του εδάφους. Θεσσαλονίκη.

Γκέρτσης, Α. (1997). Αξιοποίηση των εδαφών. Ειδική έκδοση – Παράρτημα - Βοήθημα για το μάθημα (Β' Έκδοση). Θεσσαλονίκη.

Γκέρτσης, Α. (2010). Χρήση υπολειμματικού πολτού ανακυκλωμένου χαρτιού ως εδαφοβελτιωτικό υλικό. Πρακτικά 13ου Πανελληνίου Εδαφολογικού Συνεδρίου, Λάρισα 20-22 Οκτ, σ. 49-58.

Γκέρτσης, Α. (2011). Εφαρμογή αποβλήτων χαρτοβιομηχανίας για βελτίωση εδαφών και αύξηση απόδοσης σε καλλιέργεια λαχανικών. 25ο Συνέδριο Ελληνικής Εταιρείας Επιστήμης Οπωροκηπευτικών, 1-4 Νοεμβρίου 2011, Λεμεσός, Κύπρος, Τεύχος Περίληψεων, σ. 47.

Γκέρτσης, Κ. Α. (2011). Βελτίωση & Εκμετάλλευση Εδαφών. Θεωρία και Εργαστηριακές Ασκήσεις (3^η Έκδοση). Θεσσαλονίκη.

Καλφούντζος, Δ. (1997). Εδαφολογική μελέτη περιοχής Γαρέφι, Σκύδρας Ν. Πέλλας. Λάρισα.

Κεραμίδας, Ζ. Β. (1989). Σημειώσεις γονιμότητας εδαφών. Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη.

Κεραμίδας, Ζ.Β. (2007). Κρίσιμα όρια των θρεπτικών και ερμηνεία των εδαφολογικών αναλύσεων. Α.Π.Θ.

- Κοροξενίδης, Ν. (1985). Προβλήματα όξινων εδαφών. Α' Επιστημονική Συνάντηση Ε.Ε.Ε. Αξιοποίηση Εδαφικών Πόρων της χώρας. Προβληματισμός-Προτεραιότητες. σελ. 101-106.
- Κουκουλάκης, Π. Χ., Σιμώνης, Α. Δ., Γκέρτσης, Α. Κ. (2000). Οργανική ουσία του εδάφους. Το πρόβλημα των Ελληνικών Εδαφών. Αθήνα: Σταμούλης.
- Κουκουλάκης, Π. Χ. και Παπαδόπουλος, Α.Η. (2007). Τα προβληματικά εδάφη και η βελτίωσή τους. Αθήνα: Σταμούλης.
- Κουκουλάκης, Π. Χ. και Παπαδόπουλος, Α.Η. (2001). Η ερμηνεία της ανάλυσης του εδάφους. Αθήνα: Σταμούλης.
- Κυριαφίνη-Κουστούδα, Α. (2004). Εργαστήριο Εδαφολογίας. Θεσσαλονίκη: Τμήμα εκδόσεων Τ.Ε.Ι. Θεσσαλονίκης.
- Μαυρουδής, Ι. (1999). Όξινα εδάφη. Σίνδος Θεσσαλονίκης: Έκδοση ΙΕΒ.
- Μήτσιοι, Κ. Ι. (1999). Εδαφολογία. Αθήνα: Zymel.
- Μισοπολινός, Ν. Δ. (1991). Προβληματικά εδάφη. Μελέτη - Πρόληψη - Βελτίωση. Θεσσαλονίκη: Γιαχούδη-Γιαπούλη.
- Παναγιωτόπουλος, Κ. Π. (2010). Εδαφολογία. Θεσσαλονίκη: Γαρταγάνης.
- Πολυζόπουλος, Ν. Α. (1985). Εισαγωγή στην Εδαφολογία. Θεσσαλονίκη: Σάκκουλα.
- Σινάνης, Κ.Ν. (2016). Έδαφος – Διαχείριση – Περιβάλλον. Ηράκλειο Κρήτης.
- Τσαπικούνης, Φ. (1997). Θρέψη - Λίπανση των φυτών (Μέρος Γ'). Ορθολογική λίπανση. Παράγοντες - Βασικές αρχές. Αθήνα: Σταμούλης.

Χατζηγιαννάκης, Ε. Πανώρας, Α. (2011). Έκθεση αποτελεσμάτων STU, φυσικοχημικών και υδραυλικών χαρακτηριστικών εδάφους στη λεκάνη του Ανθεμούντα, Life SoS.

Ξενογλώσση

Baligar, V. C., Beaver, W. V., and Ahlrichs, J. L. (1998). Nature and distribution of acid soils in the world. In: Proceedings of a Workshop and Dissemination of Technology in Sustainable Crop Production in Acid Savannas and other problem Soil of the World. Schaffert, R. E. (Ed). Purdue University, pp. 1-12.

Barber, S.A. (1984). Liming Materials and Practices. In: American Society of Agronomy. (2nd ed). Crop Science Society of America. Soil Science Society of America, pp. 171-209.

Barak, P., Jobe, B. O., Krueger, A. R., Peterson, L. A., and Laird, D. A. (1997). Effects of long-term soil acidification due to nitrogen fertilizer inputs in Wisconsin. *Plant and Soil* 197: 61-69.

Bouyoukos, G. J. (1962). Hydrometer improved for making particle size analyses of soils. *Agronomy J.* 54: 464-465.

Brady, N. C. and Weil, R. R. (2007). *The nature and properties of soils.* 14th edition. Prentice Hall, New Jersey, USA.

Breemen, N. van, Mulder, J., and Driscoll, C. T. (1983). Acidification and alkalization of soils. *Plant and Soil* 75:283-308.

Coleman, N. T. and Thomas, G. W. (1967). The basic chemistry of soil acidity. In: *Soil acidity and liming* (eds) Pearson, R. W. and Adams, F., (No 12) Agronomy series, ASA., Madison, Wisconsin, USA.

FAO (2002). Prosoil - Problem Soils data base.

<http://www.fao.org/eg/AGL/agll/prosoil/psinto.htm>.

- Freney, J. R. (1967). Oxidation of sulphur in soils. *Mineralium Deposita* 2:181-187.
- Foy, C.D. (1984). Physiological Effects of Hydrogen, Aluminum, and Manganese Toxicities in Acid Soil. In: American Society of Agronomy. (2nd ed). Crop Science Society of America. Soil Science Society of America, pp. 57-97.
- Gambrell, R.P (1996). Manganese. In: Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods. (Ed. D.L. Sparks). Soil Science Society of America Book Series No. 5, pp. 665-682.
- Hudson, B. D. (1994). Soil organic matter and available water capacity. *J. Soil and Water Con.* 49:189-194.
- Helmke, P.A., Sparks, D.L. (1996). Lithium, Sodium, Potassium, Rubidium, and Cesium. In: Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods. (Ed. D.L. Sparks). Soil Science Society of America Book Series No. 5, pp. 551-574.
- Ilaco, B.V., (1985). (ed.). *Agricultural Compendium. For Rural Development in the Tropics and Subtropics.* Elsevier.
- ISO 11464, (2006). Soil quality - Pretreatment of samples for physic - chemical analysis.
- ISO 11261, (1995 (E)). Soil quality - Determination of total nitrogen - Modified Kjeldahl method.
- Jackson, W. A. (1967). Physiological Effects of Soil Acidity. In: Soil acidity and liming (eds) Pearson, R. W. and Adams, F., (No 12) Agronomy series, ASA., Madison, Wisconsin, USA.
- Keren, R. (1996). Boron. In: Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods. (Ed. D.L. Sparks). Soil Science Society of America Book Series No. 5, pp 603-626.

- Kuo, S. (1996). Phosphorus. In: *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods.* (Ed. D.L. Sparks). Soil Science Society of America Book Series No. 5, pp. 869-919.
- Loeppert, R.H., Inskeep, W.P. (1996). Iron. In: *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods.* (Ed. D.L. Sparks). Soil Science Society of America Book Series No. 5, pp. 639-664.
- Marschner, H. (1991). Mechanism of adaptation of plants to acids soils. *Plant and Soil* 134: 1-120.
- Meyer, T. A., and Volk, G. W. (1952). Effect of particle size of limestone on soil reaction, exchangeable cations and plant growth. *Soil Science* 73: 35-52.
- Mulvaney, R.L. (1996). Nitrogen-Inorganic Forms. In: *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods.* (Ed. D.L. Sparks). Soil Science Society of America Book Series No. 5, pp. 1123-1184.
- Nelson, D.W., Sommers, L.E. (1996). Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. In: *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods.* (Ed. D.L. Sparks). Soil Science Society of America Book Series No. 5, pp. 961-1010.
- Reed, S.T., Martens, D.C. (1996). Copper and Zinc. In: *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods.* (Ed. D.L. Sparks). Soil Science Society of America Book Series No. 5, pp. 703-722.
- Rhoades, J.D. (1996). Salinity: Electrical Conductivity and Total Dissolved Solids. In: *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods.* (Ed. D.L. Sparks). Soil Science Society of America Book Series No. 5, pp. 417-435.
- Sumner, M.E., Miller, W.P. (1996). Cation Exchange Capacity and Exchange Coefficients. In: *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods.* (Ed. D.L. Sparks). Soil Science Society of America Book Series No. 5, pp. 1201-1229.

Stell, E. P. (2000). Τα μυστικά του γόνιμου εδάφους. Αθήνα: Ψύχαλου.

Suarez, D.L. (1996). Beryllium, Magnesium, Calcium, Strontium, and Barium. In: Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods. (Ed. D.L. Sparks). Soil Science Society of America Book Series No. 5, pp. 575-601.

Thomas, G.W. (1996). Soil pH and Soil Acidity. In: Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods. (Ed. D.L. Sparks). Soil Science Society of America Book Series No. 5, pp. 475-490.

Thomas, G.W., Hargrove, W.L. (1984). The Chemistry of Soil Acidity. In: American Society of Agronomy. (2nd ed). Crop Science Society of America. Soil Science Society of America, pp. 3-56.

Troeh, F. R., and Thomson, L. M. (1993). Soils and Soil Fertility. (5th ed.). New York: Oxford University Press, NY.

United States Department of Agriculture (1999). Liming to Improve Soil Quality in Acid Soils. Natural Resources Conservation Service, Technical Note No 8.

United States Department of Agriculture (1951). Agriculture Handbook No 18, Soil Survey Manual, Washington D.C.

Ηλεκτρονικές πηγές

http://www.terragis.bees.unsw.edu.au/terraGIS_soil/sp_soil_reaction_ph.html

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΩΝ ΕΛΑΦΙΚΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

α/α	Κωδικός Δείγματος	Κοκκομετρική σύσταση			Χαρακτηρισμός	pH (πάστα)
		άμμος (%)	ίλος (%)	άργιλος (%)		
16/281	GS 02	56,0	16,4	27,6	sandy clay loam	5,3
16/282	GS 03	60,0	20,4	19,6	sandy loam	5,2
16/283	GS 04	63,6	18,8	17,6	sandy loam	4,6
16/285	GS 06	60,0	14,4	25,6	sandy clay loam	4,8
16/286	GS 07	64,0	18,4	17,6	sandy loam	5,1
16/287	GS 08	59,6	24,4	16,0	sandy loam	4,7
16/288	GS 09	71,6	18,4	10,0	sandy loam	5,9
16/289	GS 10	61,2	16,8	22,0	sandy clay loam	4,7
16/290	GS 11	60,8	14,8	24,4	sandy clay loam	5,6
16/291	GS 12	63,2	12,4	24,4	sandy clay loam	5,1
16/294	GS 15	57,2	22,4	20,4	sandy clay loam	5,8
16/295	GS 16	52,8	10,4	36,8	sandy clay	5,2
16/296	GS 17	56,8	20,4	22,8	sandy clay loam	5,1
16/298	GS 19	67,2	12,4	20,4	sandy clay loam	4,9
16/299	GS 20	61,2	16,4	22,4	sandy clay loam	5,1
16/300	GS 21	61,2	14,0	24,8	sandy clay loam	4,7
16/302	GS 23	56,8	14,4	28,8	sandy clay loam	5,5
16/303	GS 24	64,8	10,4	24,8	sandy clay loam	5,4
16/304	GS 25	56,4	17,6	26,0	sandy clay loam	4,3
16/305	GS 26	56,4	17,6	26,0	sandy clay loam	4,7
16/307	GS 28	56,8	21,2	22,0	sandy clay loam	4,8
16/308	GS 29	58,8	17,2	24,0	sandy clay loam	5,9
16/310	GS 31	58,8	21,6	19,6	sandy loam	4,7
16/311	GS 32	54,4	17,6	28,0	sandy clay loam	4,7
16/312	GS 33	52,4	17,6	30,0	sandy clay loam	4,9
16/314	GS 35	52,8	17,2	30,0	sandy clay loam	5,1
16/315	GS 36	54,8	23,2	22,0	sandy clay loam	4,7
16/317	GS 38	56,8	19,2	24,0	sandy clay loam	4,9
16/318	GS 39	50,0	20,0	30,0	sandy clay loam	5,5
16/319	GS 40	56,4	21,6	22,0	sandy clay loam	5,3
16/320	GS 41	50,0	19,6	30,4	sandy clay loam	5,0
16/321	GS 42	56,0	17,6	26,4	sandy clay loam	4,8
16/322	GS 43	54,4	17,2	28,4	sandy clay loam	4,9
16/323	GS 44	54,8	20,4	24,8	sandy clay loam	5,1
16/324	GS 45	54,8	20,0	25,2	sandy clay loam	5,8
16/325	GS 46	58,8	24,4	16,8	sandy loam	4,4
16/327	GS 48	52,8	18,4	28,8	sandy clay loam	5,8
16/328	GS 49	47,2	26,0	26,8	sandy clay loam	5,4
16/329	GS 50	62,8	18,4	18,8	sandy loam	4,7
16/330	GS 51	57,2	18,0	24,8	sandy clay loam	4,5
16/331	GS 52	60,8	20,4	18,8	sandy loam	4,5
16/334	GS 55	64,4	20,8	14,8	sandy loam	4,9
16/335	GS 56	62,4	18,8	18,8	sandy loam	5,6
16/336	GS 57	60,4	16,8	22,8	sandy clay loam	5,9
16/337	GS 58	49,2	24,0	26,8	sandy clay loam	5,9
16/338	GS 59	63,2	16,0	20,8	sandy clay loam	5,1
16/339	GS 60	55,2	18,0	26,8	sandy clay loam	4,8

α/α	Οργανική Ουσία	EC	Εναλλακτικό Να	ESP	CEC
	(%)	(mS/cm)	(cmol ₍₊₎ /kg)	(%)	(cmol ₍₊₎ /kg)
16/281	1,71	0,177	0,122	0,567	21,47
16/282	1,37	0,391	0,274	1,938	14,13
16/283	1,18	0,288	0,074	0,486	15,22
16/285	1,31	0,208	0,135	0,605	22,28
16/286	1,55	0,106	0,070	0,483	14,40
16/287	1,36	0,355	0,070	0,800	8,70
16/288	1,14	0,301	0,043	0,593	7,34
16/289	1,31	0,220	0,078	0,576	13,59
16/290	1,52	0,328	0,061	0,361	16,85
16/291	1,68	0,236	0,204	1,446	14,13
16/294	1,16	0,482	0,300	2,123	14,13
16/295	1,18	0,202	0,187	0,800	23,37
16/296	1,58	0,156	0,061	0,467	13,04
16/298	1,20	0,419	0,070	0,800	8,70
16/299	1,34	0,196	0,104	0,565	18,48
16/300	1,66	0,402	0,087	0,516	16,85
16/302	1,46	0,179	0,074	0,353	20,92
16/303	1,28	0,271	0,061	0,423	14,40
16/304	1,70	0,742	0,070	0,434	16,03
16/305	1,41	0,162	0,096	0,568	16,85
16/307	1,27	0,354	0,122	0,878	13,86
16/308	1,60	0,496	0,057	0,385	14,67
16/310	1,99	0,253	0,043	0,421	10,33
16/311	1,45	0,122	0,091	0,501	18,21
16/312	1,52	0,304	0,300	1,698	17,66
16/314	1,59	0,264	0,078	0,424	18,48
16/315	1,86	0,642	0,348	2,667	13,04
16/317	1,17	0,335	0,100	0,624	16,03
16/318	1,27	0,347	0,122	0,659	18,48
16/319	1,26	0,188	0,139	1,138	12,23
16/320	1,27	0,240	0,091	0,431	21,20
16/321	1,13	0,255	0,100	0,533	18,75
16/322	1,53	0,277	0,083	0,416	19,84
16/323	1,35	0,220	0,270	2,111	12,77
16/324	1,18	0,267	0,165	1,241	13,32
16/325	1,03	0,306	0,074	0,850	8,70
16/327	1,64	0,284	0,087	0,457	19,02
16/328	1,51	0,457	0,313	1,800	17,39
16/329	1,14	0,213	0,083	0,760	10,87
16/330	1,33	0,386	0,070	0,624	11,14
16/331	1,05	0,354	0,078	0,847	9,24
16/334	1,36	0,432	0,078	1,200	6,52
16/335	1,27	0,339	0,196	2,483	7,88
16/336	0,84	0,241	0,065	0,600	10,87
16/337	1,64	0,403	0,087	0,533	16,30
16/338	1,34	0,297	0,113	1,015	11,14
16/339	1,57	0,331	0,252	1,497	16,85

α/α	Εναλλακτικό	Εναλλακτικό	Εναλλακτικό
	K	Ca	Mg
	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
16/281	126,0	2629,5	540,0
16/282	112,0	958,5	528,0
16/283	107,0	1558,0	382,5
16/285	140,0	2709,0	424,5
16/286	142,0	1355,0	592,5
16/287	147,0	651,0	104,5
16/288	77,0	929,5	88,5
16/289	135,0	1132,0	242,5
16/290	186,0	2387,0	173,5
16/291	120,0	1375,0	356,0
16/294	118,0	1848,0	314,0
16/295	102,0	2742,0	610,5
16/296	222,0	1127,0	258,0
16/298	120,0	829,0	88,5
16/299	88,0	2192,0	484,0
16/300	138,0	1964,0	310,0
16/302	168,0	3098,0	346,0
16/303	94,0	1928,0	260,0
16/304	138,0	1648,0	219,0
16/305	124,0	1505,5	411,0
16/307	135,0	1342,0	250,0
16/308	103,0	1991,5	217,0
16/310	159,0	846,0	139,5
16/311	132,0	1906,0	478,5
16/312	159,0	1221,0	688,0
16/314	103,0	2137,5	367,0
16/315	84,0	983,0	327,0
16/317	135,0	1729,5	363,0
16/318	141,0	2158,0	588,0
16/319	101,0	1404,0	357,0
16/320	122,0	2310,5	552,0
16/321	147,0	2123,0	501,0
16/322	159,0	2219,5	354,0
16/323	104,0	1086,0	471,0
16/324	116,0	1756,0	340,0
16/325	82,0	565,5	95,0
16/327	261,0	2634,0	265,5
16/328	204,0	1851,5	340,0
16/329	73,0	983,0	168,5
16/330	162,0	913,5	170,0
16/331	144,0	686,5	147,5
16/334	135,0	628,0	70,0
16/335	116,0	967,5	88,5
16/336	98,0	1567,0	185,0
16/337	198,0	2248,5	286,0
16/338	216,0	1244,5	147,0
16/339	135,0	2031,5	310,0

α/α	N_t	NO₃-N	P-Olsen	Fe	Mn	Zn	Cu	B
	(g/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
16/281	0,787	5,45	10,71	19,98	37,00	0,39	0,95	0,291
16/282	0,804	8,60	12,65	34,65	53,80	0,37	1,01	0,370
16/283	0,745	9,00	18,05	31,27	67,32	0,30	0,82	0,205
16/285	0,280	5,60	10,02	13,15	37,56	0,32	0,70	0,213
16/286	0,213	1,70	16,11	26,20	68,20	0,36	1,15	0,160
16/287	0,778	7,95	35,93	31,17	66,80	0,48	1,09	0,172
16/288	0,101	5,80	14,59	10,78	32,88	0,54	0,78	0,179
16/289	0,207	2,65	13,07	19,01	66,48	0,47	1,46	0,239
16/290	0,328	9,45	25,68	10,91	36,96	0,36	0,97	0,131
16/291	0,260	3,25	10,99	23,85	58,40	0,78	1,37	0,273
16/294	0,333	11,45	15,14	15,40	44,80	0,44	0,84	0,344
16/295	0,689	5,20	7,11	16,05	47,24	0,27	0,98	0,336
16/296	0,848	0,70	15,84	24,82	68,04	0,40	1,09	0,347
16/298	0,174	6,45	33,02	19,06	56,16	0,57	1,09	0,284
16/299	0,686	4,55	12,65	17,92	31,32	0,40	0,82	0,205
16/300	1,011	14,95	16,53	22,95	48,60	0,43	0,79	0,160
16/302	0,827	3,65	19,72	12,26	34,12	0,38	0,81	0,089
16/303	0,652	4,90	22,07	13,71	29,40	0,42	0,87	0,089
16/304	0,694	31,65	18,47	18,59	72,04	0,45	0,96	0,295
16/305	0,776	2,15	15,14	21,56	46,12	0,62	1,06	0,093
16/307	0,815	3,25	32,05	25,75	49,16	0,49	1,10	0,119
16/308	0,774	14,20	19,30	12,69	33,24	0,55	0,84	0,078
16/310	0,970	6,25	31,77	43,60	80,76	1,15	1,36	0,119
16/311	0,753	1,15	15,28	22,68	53,88	0,67	1,61	0,239
16/312	0,840	5,45	12,93	21,19	57,96	0,56	1,01	0,194
16/314	0,885	6,55	14,04	17,50	54,28	0,39	0,96	0,123
16/315	1,040	10,60	15,14	32,17	85,16	0,41	1,19	0,097
16/317	0,696	9,10	19,30	33,38	63,00	0,59	1,54	0,093
16/318	0,934	11,90	16,67	31,44	41,60	0,46	0,97	0,306
16/319	0,738	3,00	12,37	33,08	39,98	0,38	0,92	0,097
16/320	0,813	8,45	11,13	30,46	56,88	0,31	0,96	0,157
16/321	0,811	8,90	11,13	44,28	47,08	0,31	1,06	0,239
16/322	0,966	5,85	19,30	27,94	70,00	0,32	0,88	0,142
16/323	0,784	2,40	15,01	48,22	62,24	0,38	0,98	0,045
16/324	0,774	5,30	16,25	27,04	47,12	0,50	0,98	0,131
16/325	0,764	6,55	30,25	48,80	81,04	0,53	1,29	0,063
16/327	0,988	9,95	24,29	23,60	50,32	0,42	1,02	0,217
16/328	1,008	10,60	16,39	46,06	64,40	0,59	1,43	0,059
16/329	0,871	2,95	23,32	31,00	67,44	0,46	1,01	0,138
16/330	0,825	8,50	22,90	43,16	72,76	0,33	0,86	0,134
16/331	0,939	6,50	27,89	35,18	71,04	0,40	0,98	0,003
16/334	0,907	9,35	38,56	43,76	39,08	0,45	0,70	0,001
16/335	0,673	4,30	30,11	38,96	39,52	0,50	0,85	0,001
16/336	0,532	2,80	27,06	17,25	26,02	0,62	1,07	0,048
16/337	0,963	13,45	9,46	27,38	49,28	0,53	1,14	0,295
16/338	0,748	8,55	44,52	28,70	46,80	0,91	1,01	0,160
16/339	0,869	8,70	29,28	44,72	53,88	0,54	1,20	0,123