



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



**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΣΤΗΝ
ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ ΦΩΣΦΟΡΟΥ ΣΕ 10 ΕΔΑΦΗ ΤΗΣ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

ΕΛΕΝΗ Β. ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΥ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΒΟΛΟΣ 2016



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ, ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ &
ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΛΑΦΟΛΟΓΙΑΣ

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΕΛΑΦΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΣΤΗΝ
ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ ΦΩΣΦΟΡΟΥ ΣΕ 10 ΕΛΑΦΗ ΤΗΣ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΕΛΕΝΗ Β. ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΥ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

ΒΟΛΟΣ 2016

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου διατριβής, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Αντωνιάδη Βασίλειο, επιβλέποντα καθηγητή της παρούσας διατριβής, για την υπόδειξη του θέματος, το ενδιαφέρον, την καίρια και συνεχή καθοδήγηση του τόσο κατά την διάρκεια όσο και κατά την συγγραφή αυτής. Επίσης τους καθηγητές Δημήτρου Ανθούλα (Καθηγήτρια Εδαφολογίας με Έμφαση στη Χημεία Εδάφους) και Δαναλάτο Νικόλαο (Καθηγητή Γεωργίας-Οικολογίας Φυτών Μεγάλης Καλλιέργειας)

Κατ' επέκταση, εκφράζω θερμές ευχαριστίες στο προσωπικό του Εργαστηρίου Εδαφολογίας, ιδιαίτερα στην Ευαγγελία Γκόλια και στην υποψήφια διδάκτορα Εύα Μπρόζου, οι οποίες με προθυμία και ευχαρίστηση προσέφεραν τη γνώση και εμπειρία τους, οι οποίες απεδείχθησαν πολύτιμες, για την εκπόνηση της πτυχιακής μου διατριβής. Τέλος την οικογένειά μου, για τη στήριξή της όλα αυτά τα χρόνια.

E. B. Ευστρατίου

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο P είναι ένα από τα σημαντικότερα θρεπτικά στοιχεία του εδάφους, καθώς είναι απαραίτητος σε μια σειρά φυσιολογικών λειτουργιών του φυτού, η κυριότερη από τις οποίες είναι η αποθήκευση και μεταφορά ενέργειας στο φυτό. Ο P στο έδαφος βρίσκεται σε ανόργανη και οργανική μορφή. Τα κύρια χαρακτηριστικά της χημικής του συμπεριφοράς είναι η ιδιαίτερα χαμηλή διαλυτότητα των φωσφορικών ορυκτών και η δέσμευση του P στις επιφάνειες των κolloειδών. Ο P δημιουργεί ισχυρούς δεσμούς στις επιφάνειες των οξειδίων Al, Fe και Mn, οπότε ιδίως σε όξινα εδάφη έχει χαμηλή διαθεσιμότητα, αλλά και σε ουδέτερα-αλκαλικά εδάφη τυπικά συγκρατείται από το CaCO_3 , με αποτέλεσμα πάλι την χαμηλή του διαθεσιμότητα. Αποτέλεσμα όλων αυτών είναι οι χαμηλές συγκεντρώσεις του P στο εδαφικό διάλυμα και η δυσκολία απορρόφησής του από τα φυτά. Η ποσότητα του P που θα απορροφηθεί από τα φυτά εξαρτάται από την προσρόφηση του φωσφόρου στα διάφορα εδαφικά κolloειδή, η οποία με τη σειρά της εξαρτάται από μία σειρά εδαφικών παραμέτρων, πιο σημαντικές από τις οποίες είναι το pH, η άργιλος, η οργανική ουσία, η IAK, τα άμορφα οξείδια οξειδία Fe, Al και Mn, όπως και το CaCO_3 . Σκοπός της εργασίας ήταν η εκτίμηση των εδαφικών παραγόντων που επηρεάζουν το μέγιστο της προσρόφησης P σε 10 εδάφη της Θεσσαλίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

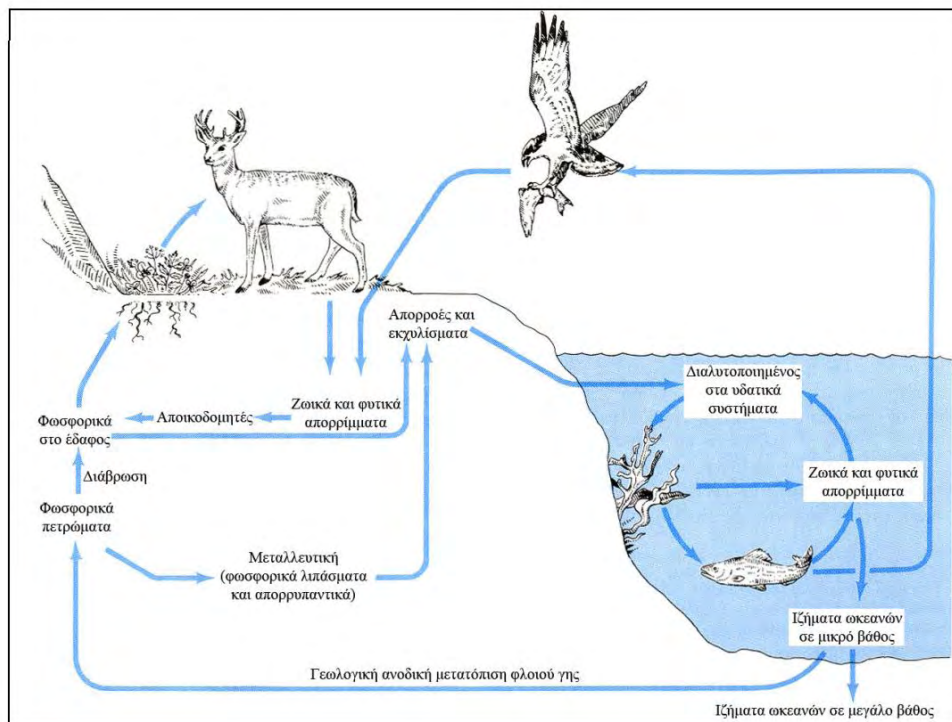
Ευχαριστίες.....	ii
Περίληψη.....	iii
Περιεχόμενα.....	iv
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1. Βιο – γεω - χημικός κύκλος.....	1
1.2. Ο ρόλος του φωσφόρου στη θρέψη φυτών.....	1
1.3. Διαλυτότητα – συμπλοκοποίηση – διαθεσιμότητα φωσφόρου.....	3
1.4. Δείκτες διαθέσιμου φωσφόρου και πώς λειτουργούν.....	3
1.5. Συμπεριφορά φωσφόρου στην προσρόφηση.....	4
1.6. Σκοπός της εργασίας.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	6
2.1 Πειραματικός σχεδιασμός.....	6
2.2 Επιμέρους αναλύσεις.....	7
2.2.1 Πειραματικά εδάφη.....	7
2.2.2 Παρασκευή πρότυπου διαλύματος φωσφόρου.....	7
2.2.3 Παρασκευή διαλυμάτων των 10-20-30-40-50-70 και 100 ppmP.....	7
2.2.4 Μέτρηση φωσφόρου κατά Olsen.....	7
2.2.4.1 Ανάπτυξη χρώματος.....	8
2.2.4.2 Μέτρηση εκχυλισμάτων.....	9
2.2.5 Μέτρηση φωσφόρου κατά Olsen.....	9
2.2.6 Μέτρηση οργανικής ουσίας.....	10
2.2.7 Μέτρηση φωσφόρου του εδάφους – Μέθοδος Olsen.....	10
2.2.8 Κοκκομετρία.....	11
2.2.8.1 Παρασκευή διασπορικού διαλύματος.....	11
2.2.8.2 Παρασκευή και μέτρηση.....	11
2.2.8.3 Τυπολόγιο.....	11
2.2.9 Μέτρηση pH – EC.....	12
2.2.10 Μέτρηση CaCO ₃	12
2.2.11 Υδατοδιαλυτός φώσφορος.....	13
2.2.12 Mehlich – 3.....	14
2.2.12.1 Διάλυμα M.1.....	14
2.2.12.2 Διάλυμα M.3.....	14
2.2.12.3 Εκχύλιση – ανάπτυξη χρώματος.....	14
2.2.13 ΙΑΚ.....	15

2.2.14 Ανταλλάξιμα.....	16
2.2.15 Μέθοδος οξαλικού αμμωνίου.....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	19
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	25
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	26

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Βιο – γεω - χημικός κύκλος

Ο φωσφόρος με την αποσάθρωση και τη διάβρωση απελευθερώνεται από τα φωσφορούχα πετρώματα και αποθέσεις και προσλαμβάνεται από τους παραγωγούς, μέσω των οποίων εισέρχεται στα τροφικά πλέγματα. Ο φωσφόρος μεταφέρεται από τη χέρσο στα νερά και αντιστρόφως, ενώ φυσιολογικά δεν μεσολαβεί ατμοσφαιρική φάση αφού είναι κύκλος ιζηματογενούς τύπου.



Εικόνα 1. Κύκλος του φωσφόρου (Πηγή: Τζέζος και Ρεμουντάκη, 2010)

Τα βασικά τμήματα του κύκλου του φωσφόρου είναι:

- 1) η μετατροπή των διαφόρων ανόργανων φωσφορικών αλάτων του εδάφους από τα φυτά σε διάφορες οργανικές ενώσεις του φωσφόρου
- 2) ο μεταβολισμός των οργανοφωσφορικών ενώσεων από τα ζώα
- 3) η μετατροπή των οργανοφωσφορικών ενώσεων με τη βοήθεια διαφόρων ετεροτροφικών μικροοργανισμών (βακτήρια, μύκητες κ.λπ.) σε ανόργανα φωσφορικά άλατα.

1.2. Ο ρόλος του φωσφόρου στη θρέψη φυτών

Ο φωσφόρος είναι βασικό στοιχείο και βρίσκεται σε κάθε είδος φυτικού ιστού. Ο Ρ υπεισέρχεται στον μεταβολισμό του κυττάρου (φωτοσύνθεση σακχάρων, μεταφορά ενέργειας, σύνθεση πρωτεϊνών, κλπ.) και ευνοεί :

- την αύξηση της ανάπτυξης.
- την αύξηση της ριζικής μάζας.
- την πρωιμότητα της παραγωγής
- την αντοχή των φυτών στις φυτονόσους
- τη γονιμοποίηση και την καρποφορία
- την ποιότητα των φυτικών προϊόντων

Η τροφοδοσία των φυτών με P εξαρτάται από την ικανοποιητική περιεκτικότητα σε φωσφορικό οξύ του εδάφους.

Οι αφομοιώσιμες μορφές P είναι οι $H_2PO_4^-$ και HPO_4^{2-} αλλά αυτά τα αποθέματα στο έδαφος κατά κανόνα είναι ελάχιστα και απορροφώνται ταχύτατα από τα φυτά.

- Τα φωσφορικά ιόντα που συγκρατούνται επίσης σε ανταλλάξιμη μορφή από τα κολλοειδή του εδάφους είναι επίσης πολύ αφομοιώσιμα για τα φυτά.
- Ο P της οργανικής ουσίας είναι ένα απόθεμα προσωρινά μη διαθέσιμο για τα φυτά αλλά η ανοργανοποίηση της οργανικής ουσίας το καθιστά βαθμιαία αφομοιώσιμο.
- Ο αδιάλυτος P των φωσφορικών ορυκτών προέρχεται είτε από τα μητρικά υλικά, είτε από χημικές αντιδράσεις που ευνοήθηκαν από τις ειδικότερες ιδιότητες του εδάφους και μετέτρεψαν τα φωσφορικά ιόντα του εδαφικού διαλύματος, σε αδιάλυτα φωσφορικά άλατα. Αυτή η δέσμευση σε μη αφομοιώσιμες μορφές εντείνεται στα ασβεστούχα εδάφη (σχηματισμός φωσφορικού ασβεστίου) και στα όξινα (σχηματισμός φωσφορικών μετάλλων). Αν κάποιο ποσοστό από αυτές τις αδιάλυτες μορφές διαλυθεί στο εδαφικό διάλυμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τα φυτά.

Ο άμεσα αφομοιώσιμος P του εδάφους βρίσκεται σε πολύ μικρή ποσότητα (της τάξης 1% του ολικού). Τα παραπάνω εξηγούν γιατί ο P υπόκειται σε έκπλυση σε πολύ μικρές ποσότητες, γεγονός που προστατεύει από απώλειες όπως αυτές στις οποίες υπόκεινται οι νιτρικές μορφές. Όμως απώλεια μπορεί να θεωρηθεί και η δέσμευση των φωσφορικών ιόντων σε μη αφομοιώσιμες μορφές στα ασβεστούχα (αλκαλικά) και στα όξινα εδάφη.

1.3. Διαλυτότητα – συμπλοκοποίηση – διαθεσιμότητα φωσφόρου

Ο φώσφορος στο έδαφος βρίσκεται με την ανόργανη και την οργανική μορφή. Τα κύρια χαρακτηριστικά του φωσφόρου στο έδαφος είναι η μικρή διαλυτότητά

των φωσφορικών ορυκτών και η δέσμευσή του στις επιφάνειες των ορυκτών του εδάφους. Το αποτέλεσμα όλων αυτών είναι οι χαμηλές συγκεντρώσεις του φωσφόρου στο εδαφικό διάλυμα (Μήτσιος, 2004). Στα όξινα εδάφη προσροφάται και δημιουργεί ισχυρότατους δεσμούς με οξείδια και υδροξείδια του σιδήρου και του αργιλίου, ενώ στα ασβεστούχα εδάφη δημιουργεί σύμπλοκα με το ανθρακικό ασβέστιο και κατακρημνίζεται (Μήτσιος, 2004). Η διαθεσιμότητα του φωσφόρου του εδάφους εξαρτάται από τη συγκέντρωση του στο εδαφικό διάλυμα, από το κλίμα της περιοχής και από πολλές άλλες ιδιότητες του εδάφους όπως το pH, το ποσοστό της αργίλου, το ποσοστό του ανθρακικού ασβεστίου κ.ά. Η έλλειψη του στοιχείου αυτού οδήγησε στην αλόγιστη χρήση των φωσφορικών λιπασμάτων με σκοπό την αύξηση της παραγωγής διαφόρων καλλιεργειών. Αποτέλεσμα αυτής της χρήσης ήταν η αύξηση της συγκέντρωσης του φωσφόρου στα εδάφη και στα ύδατα. Η ρύπανση των υδάτων με φώσφορο προκαλεί το φαινόμενο του ευτροφισμού.

1.4. Δείκτες διαθέσιμου φωσφόρου και πώς λειτουργούν

Μέθοδος	Εκχυλιστικά διαλύματα	Μάζα εδάφους (gr)	Όγκος εκχυλιστικού διαλύματος (mL)	Χρόνος ανακίνησης (min)
Morgan	0.7N CH ₃ COONa+0.54N CH ₃ COOH, pH=4.8	5	25	30
Bray P1	0.03N NH ₄ F+0.025N HCl	2	20	5
Bray P2	0.03N NH ₄ F+0.1N HCl	2	20	5
Mehlich No.1	0,05N HCl+0.025N H ₂ SO ₄	5	25	5
Olsen	0.5N NaHCO ₃ , pH=8,5	2.5	50	30
AB-DTPA	1M NH ₄ CO ₃ +0.005M DTPA, pH=7.6	10	20	15
Mehlich No.3	0.2N CH ₃ COOH+0.015N NH ₄ F+0.25N NH ₄ NO ₃ +0.013N HNO ₃ +0.001M EDTA	2.5	25	5
Χλωριούχο ασβέστιο	0.01M CaCl ₂ .2H ₂ O	10	100	120

Πίνακας 1: Μέθοδοι προσδιορισμού του φωσφόρου του εδάφους και τα εκχυλιστικά διαλύματα αυτών (Μήτσιος, 2004).

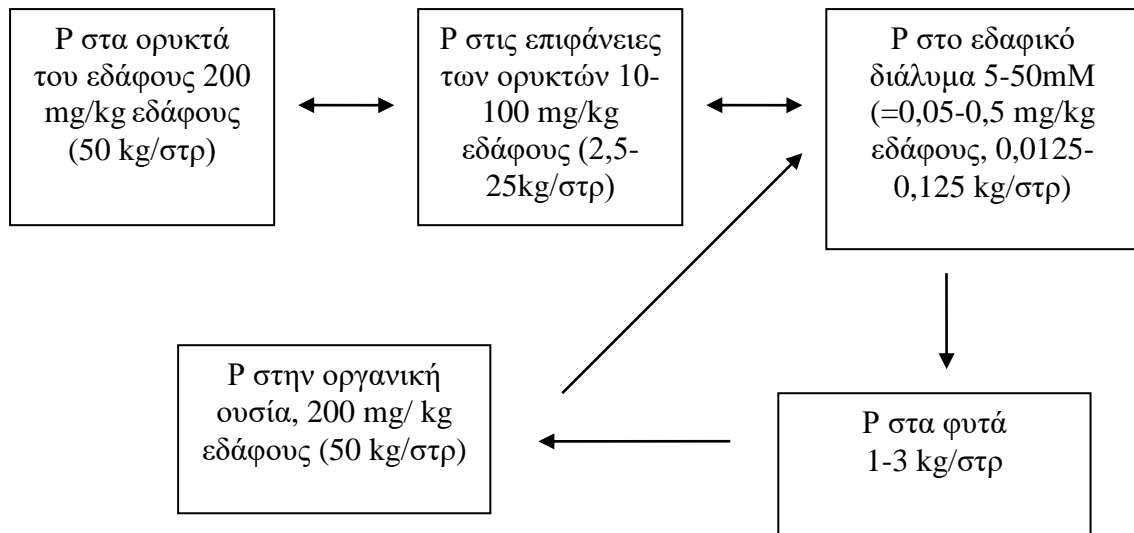
Η καταλληλότητα των μεθόδων για τον προσδιορισμό του φωσφόρου του εδάφους εξαρτάται από τις ιδιότητες του εδάφους, ως εξής:

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

(Πηγή: Μήτσιος, 2004)

1.5.Συμπεριφορά φωσφόρου στην προσρόφηση

Τα οξειδία και υδροξειδία του Fe και Al είναι υπεύθυνα για τη δέσμευση του φωσφόρου στα όξινα εδάφη. Παράλληλα παρατηρείται ότι και τα δευτερογενή ορυκτά συγκρατούν φώσφορο. Πιο συγκεκριμένα δημιουργούνται δεσμοί με ομάδες -OH στις ακμές του καολινίτη και στις επιφάνειες των ορυκτών σχηματίζονται πολύ μικρά σωματίδια φωσφορικών ενώσεων. Στα ορυκτά 2:1 παρατηρείται προσρόφηση φωσφόρου μόνο όταν στις επιφάνειές τους υπάρχουν οξειδία και υδροξειδία του Fe και Al. Όσον αφορά τα ασβεστούχα εδάφη, ο ασβέστης στις επιφάνειές του προσροφά φώσφορο προς σχηματισμό φωσφορικού ασβεστίου (Ca₃(PO₄)₂). Στην επιφάνεια του χούμου σχηματίζονται δεσμοί του φωσφόρου με το Al.



Εικόνα 2. Ποσότητες φωσφόρου σε γόνιμο έδαφος. Οι τιμές αναφέρονται στο επιφανειακό στρώμα και σε βάθος 0-20cm (250 t/στρ). Οι ποσότητες του οργανικού φωσφόρου αναφέρονται για ένα έδαφος που περιέχει 1,7% οργανική ουσία (O.M.) και 12 g P /kg O.M. Ο φώσφορος στο εδαφικό διάλυμα υπολογίζεται θεωρώντας ότι το 1 kg εδάφους περιέχει 300 mL διάλυμα. Τα τόξα δείχνουν τις μετατροπές του φωσφόρου μεταξύ διαφόρων κλασμάτων αυτού (Μήτσιος, 2004).

1.6. Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της εργασίας ήταν να υπολογίσουμε τους εδαφικούς παράγοντες που επηρεάζουν την προσρόφηση P σε 10 εδάφη της Θεσσαλίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.3 Πειραματικός σχεδιασμός

Για την επίτευξη των σκοπών της εργασίας έγιναν τα εξής:

- επιλέχθηκαν εδάφη που διέφεραν σημαντικά όσο αφορά τις τιμές του pH, και διεξήχθησαν πειράματα προσρόφησης P με αρχικές συγκεντρώσεις 0-100 mg L⁻¹
- Υπολογίσαμε τρεις δείκτες προσρόφησης: Την πειραματική τιμή προσρόφησης στα 100 mg L⁻¹ (q_{100}), το μέγιστο προσρόφησης κατά Langmuir (q_{\max}) και τον συντελεστή κατανομής K_d (ισούται με q/C).
- μετρήσαμε τις σημαντικότερες φυσικοχημικές ιδιότητες, όπως επίσης και το δείκτη κορεσμού P με εκχύλιση με οξαλικό αμμώνιο, ως %PSI = $P/(Fe+Al)$.
- Κατόπιν οι τρεις δείκτες προσρόφησης συσχετίστηκαν με εδαφικές ιδιότητες.

Πιο συγκεκριμένα, επιλέχθηκαν 10 εδάφη από την παρακαταθήκη του Εργαστηρίου Εδαφολογίας. Η επιλογή έγινε ως εξής: σε τυχαία εδαφολογικά δείγματα έγινε ανίχνευση παρουσίας CaCO₃ με ενστάλαξη αραιού HCl όπου υπήρξε αντίδραση (έκλυση CO₂). Αυτό μαρτυρούσε την ύπαρξη CaCO₃ άρα έδαφος αλκαλικό (pH>7) και επιλέχθηκαν 5 τέτοια εδάφη. Όπου δεν υπήρχε αντίδραση αυτό μαρτυρά όξινο έδαφος (pH<7) και επιλέχθηκαν 5 τέτοια εδάφη. Στα 10 συνολικά επιλεγμένα εδάφη έγιναν όλες οι αναλύσεις χαρακτηρισμού pH, CaCO₃, οργανική ουσία, κοκκομετρική σύσταση, οξειδία Fe και Al, IAK και ανταλλάξιμα κατιόντα Ca, Mg και K. Επίσης τα εδάφη εκχυλίστηκαν για φώσφορο με τέσσερα εκχυλιστικά φωσφόρου: υδατοδιαλυτός, Olsen, Mehlich-3 και ammonium oxalate (οξαλικό αμμώνιο). Επίσης στα εδάφη έγινε πείραμα προσρόφησης φωσφόρου όπου προσθέσαμε συγκεντρώσεις 0, 20, 30, 40, 50, 70, 100 ppm σε αναλογία εδάφους 1/10 και χρόνο ανακίνησης 24 ώρες. Η προσρόφηση, q , υπολογίστηκε από τη διαφορά της αρχικής συγκέντρωσης P, C_0 , και της συγκέντρωσης P στο διάλυμα ισορροπίας, C . Τα πειραματικά δεδομένα προσαρμόστηκαν στο μοντέλο κατά Freundlich, $q = K_F C^n$, το οποίο γραμμικοποιήθηκε στη μορφή $\log q = \log K_F + n \log C$, όπου K_F και n σταθερές. Επίσης τα δεδομένα προσαρμόστηκαν και στο μοντέλο κατά Langmuir,

$q = q_{\max} \frac{K_L C}{1 + K_L C}$, το οποίο γραμμικοποιήθηκε κατά Lineweaver-Burk στη μορφή

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{K_L q_{\max}} \frac{1}{C} + \frac{1}{q_{\max}}, \text{ όπου } q_{\max} \text{ (εκφράζει την μέγιστη ικανότητα προσρόφησης) και}$$

K_L σταθερές. Με βάση τα πρωτογενή αυτά δεδομένα, υπολογίσαμε τρεις δείκτες προσρόφησης: Την πειραματική τιμή προσρόφηση στα $C_0 = 100 \text{ mg L}^{-1}$ (q_{100}), το μέγιστο προσρόφησης κατά Langmuir (q_{\max}) και τον συντελεστή κατανομής, ίσος με q/C , ο οποίος υπολογίστηκε στο σημείο όπου $C_0 = 50 \text{ mg L}^{-1}$, δηλαδή στο μέσο του εύρους των αρχικών συγκεντρώσεων P που προστέθηκαν στα εδάφη ($K_{d,50}$). Επίσης μετρήσαμε το δείκτη κορεσμού P με εκχύλιση με οξαλικό αμμώνιο, ως $\%PSI = P_o/(Fe_o+Al_o)$, με τις τιμές των στοιχείων σε mmol kg^{-1} , όπου ο δείκτης φανερώνει την μέθοδο εκχύλισης. Οι δείκτες προσρόφησης συσχετίστηκαν με τις εδαφικές ιδιότητες με το στατιστικό πακέτο Statgraphics.

2.4 Επιμέρους αναλύσεις

2.2.1 Πειραματικά εδάφη

Όξινα			Αλκαλικά		
Σύμβολο	Κωδικός	Περιοχή	Σύμβολο	Κωδικός	Περιοχή
A	029/70	Λεοντάρι	ΣΤ	038/154a	Πύθιο Ελασσόνας
B	11/007		Z	07/10	Βαλανιδιά Ελασσόνας
Γ	018/64	Καλλιθέα	H	07/11	Βαλανιδιά Ελασσόνας
Δ	018/55	Καλλιθέα	Θ	0,31/76	Μεσοχώρι
E	018/63	Καλλιθέα	I	07/4	Βαλανιδιά Ελασσόνας

2.2.2 Παρασκευή πρότυπου διαλύματος φωσφόρου

Σε ζυγό ακριβείας ζυγίσαμε $4,387 \text{ g KH}_2\text{PO}_4$ (δισόξινο φωσφορικό κάλιο) σε ποτήρι ζέσεως των 250 mL . Με τη βοήθεια υδροβολέα που περιέχει απιονισμένο νερό συμπληρώσαμε έως τα 200 mL . Αναδεύσαμε με γυάλινη ράβδο το διάλυμα έως ότου διαλυθεί το KH_2PO_4 . Όταν επιτεύχθηκε αυτό, μεταγγίσαμε το διάλυμα σε ογκομετρική φιάλη των 1000 mL με επίτευξη της απομάκρυνσης όλου του διαλύματος από το ποτήρι ζέσεως, κάνοντας πλύσεις με τη βοήθεια του υδροβολέα. Τέλος, συμπληρώσαμε έως τη χαραγή με απιονισμένο νερό, κλείσαμε τη φιάλη με πώμα και την ανακινήσαμε 3 φορές.

2.2.3 Παρασκευή διαλυμάτων των 10, 20, 30, 40, 50, 70 και 100 mg P L^{-1}

Παρασκευή διαλύματος των 10 mg kg^{-1} : σε ογκομετρική φιάλη των 1000 mL προσθέσαμε 10 mL του πρότυπου διαλύματος P με τη βοήθεια πιπέτας και συμπληρώσαμε την ογκομετρική φιάλη με απιονισμένο νερό έως τη χαραγή.

Κλείνουμε με πώμα και ανακινούμε 3 φορές. Τέλος αποθηκεύουμε το διάλυμα σε πλαστικό δοχείο αποθήκευσης του 1 L.

Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και στα υπόλοιπα διαλύματα με τις εξής συγκεντρώσεις:

mg P L ⁻¹	mL P από το πρότυπο διάλυμα
20	20
30	30
40	40
50	50
70	70
100	100

2.2.4 Προσρόφηση φωσφόρου

Σε φάλλον των 50 mL ζυγίσαμε κατά προσέγγιση 0,1 g εδάφους (7 δείγματα για κάθε τύπο εδάφους). Στη συνέχεια στα φάλλον προσθέσαμε 10 mL από τα έτοιμα διαλύματα των αρχικών συγκεντρώσεων 10, 20, 30, 40, 50, 70 και 100 mg P L⁻¹. Κλείσαμε τα φάλλον, τα τοποθετήσαμε σε επίπεδη επιφάνεια και τα ανακινήσαμε σε πλάκα για 24 h.

Η διαδικασία επαναλήφθηκε άλλη μια φορά.

Μετά την πάροδο των 24 h, παραλάβαμε τα φάλλον και τα τοποθετήσαμε κάθετα σε κατάσταση ηρεμίας για μισή ώρα περίπου. Στη συνέχεια διηθήσαμε το υπερκείμενο από κάθε φάλλον σε καθαρά φάλλον των 50 mL με τη βοήθεια διηθητικού χαρτιού.

2.2.4.1 Ανάπτυξη χρώματος

Παρασκευή αντιδραστηρίου Β

Σε 200 mL αντιδραστηρίου Α διαλύονται 1,056 g ασκορβικού οξέος (C₆H₈O₆).

Σε ποτήρι ζέσεως των 100 mL ζυγίσαμε 1,056 g ασκορβικού οξέος σε ζυγό ακριβείας. Σε ένα ποτήρι ζέσεως των 250 mL αδειάσαμε την ποσότητα του ασκορβικού οξέος που ζυγίσαμε και με τη βοήθεια σταγονόμετρου ξεπλύναμε καλά με αντιδραστήριο Α για την απομάκρυνση του στερεού ασκορβικού οξέος. Στη συνέχεια προσθέσαμε αντιδραστήριο Α περίπου έως τα 150 mL και με τη βοήθεια ράβδου διαλύσαμε το ασκορβικό οξύ. Με την πραγμάτωση αυτού, μεταγγίζουμε το διάλυμα με τη βοήθεια χωνιού σε ογκομετρική φιάλη των 200 mL και συμπληρώσαμε με αντιδραστήριο Α έως τη χαραγή. Κλείσαμε

τη φιάλη με πόμα και ανακινήσαμε 3 φορές. Το διάλυμα που προέκυψε ήταν κίτρινο διαυγές και αποτελεί το αντιδραστήριο Β.

Παρασκευή standard διαλυμάτων

Σε ογκομετρικές φιάλες των 50 mL αναπτύξαμε χρώμα σε διαλύματα γνωστής συγκέντρωσης, με σκοπό τη χάραξη της καμπύλης βαθμονόμησης ακολουθώντας τα στοιχεία του παρακάτω πίνακα:

mg P L ⁻¹ που δημιουργήσαμε	Προσθήκη σε mL διαλύματος «5 mg P L ⁻¹ »	Προσθήκη σε mL αντιδραστηρίου Β
0	0	5
0,2	2	5
0,4	4	5
0,6	6	5
1	10	5

Όταν προσθέσαμε όλα αυτά, συμπληρώσαμε προσεχτικά με απιονισμένο νερό μέχρι τη χαραγή και περιμέναμε για 30 λεπτά μέχρι να αναπτυχθεί το μπλε χρώμα. Μετρήσαμε στο φασματοφωτόμετρο με μήκος κύματος 882 nm. Με τις τιμές που πήραμε, κατασκευάσαμε την πρότυπη καμπύλη. Οι τιμές αυτές αποτελούσαν το επιθυμητό σύνολο τιμών για τις τιμές του πειράματος.

Παρασκευή εκχυλισμάτων

Σε ογκομετρικές φιάλες των 50 mL προσθέσαμε 5 mL εκχυλίσματος από τα διηθημένα δείγματα, 5mL αντιδραστηρίου Β και απιονισμένο νερό έως τη χαραγή. Κλείσαμε τις φιάλες με πόματα και ανακινήσαμε προσεκτικά. Τα αφήσαμε για 30 λεπτά έως ότου αναπτυχθεί καλά το μπλε χρώμα.

2.2.4.2 Μέτρηση εκχυλισμάτων

Τα εκχυλίσματα στα οποία αναπτύξαμε μπλε χρώμα, τα μετρήσαμε σε φασματοφωτόμετρο, σε μήκος κύματος 882 nm.

Επειδή τα εκχυλίσματα ήταν πολύ πυκνά, πραγματοποιήσαμε αραιώση σε ογκομετρικές φιάλες των 25 mL προσθέτοντας 2,5 mL διηθημένου εκχυλίσματος, 2,5 mL αντιδραστηρίου Β και συμπληρώσαμε με απιονισμένο νερό μέχρι τη χαραγή. Έπειτα ακολούθησε η μέτρηση τους στο φασματοφωτόμετρο.

2.2.5 Μέτρηση φωσφόρου κατά Olsen

Σε φάλκον των 50 mL ζυγίσαμε 1 g εδάφους από κάθε έδαφος και με τη βοήθεια ογκομετρικού κυλίνδρου, προσθέσαμε 20 mL όξινου ανθρακικού νατρίου (0,5 M NaHCO₃, pH=8,5). Ανακινήσαμε τα φάλκον για 30 λεπτά σε κινούμενη πλάκα και στη συνέχεια διηθήσαμε το υπερκείμενο σε φάλκον των 50 mL. Στην πορεία σε ογκομετρικές φιάλες των 50 mL προσθέσαμε 5 mL εκχύλισματος, 5mL αντιδραστηρίου Β και απιονισμένο νερό έως τη χαραγή. Τα ανακινήσαμε και τα αφήσαμε ώστε να αναπτυχθεί μπλε χρώμα. Μέτρηση σε φασματοφωτόμετρο στα 882 nm.

Ο φώσφορος υπολογίζεται από τον τύπο:

Φώσφορος (mg kg⁻¹ εδάφους) = (mL διαλύματος εκχύλισης * mL ογκομετρικής φιάλης/mL διηθήματος στην ογκομετρική φιάλη) * (A/B). Όπου A= mg P L⁻¹ στο εκχύλισμα (αυτό που μετράμε στο φασματοφωτόμετρο) και B = βάρος εδάφους σε g.

2.2.6 Υδατοδιαλυτός φώσφορος

Σε φάλκον των 30 mL ζυγίσαμε περίπου 12,5 g εδάφους αλλά ακριβώς καταγεγραμμένου. Με τη βοήθεια ογκομετρικού κυλίνδρου των 25 mL προσθέσαμε 25 mL αραιό CaCl₂ (χλωριούχο ασβέστιο) 0,05 M. Σφραγίσαμε τα φάλκον και τα βάλουμε για ανακίνηση για 1 ώρα. Ακολούθησε φυγοκέντρηση για 15 λεπτά και διήθηση του υπερκείμενου διαλύματος σε φάλκον των 50 mL.

2.2.7 Mehlich – 3

2.2.7.1 Διάλυμα M.1

- Σε κωνική φιάλη των 1000 mL ζυγίσαμε 277,8 g NH₄F. Συμπληρώσαμε με απιονισμένο νερό έως τα 600 mL και με τη βοήθεια μαγνήτη ανάδευσης, αναδεύσαμε σε μαγνητική πλάκα έως ότου διαλυθεί.
- Σε ποτήρι ζέσεως των 250 mL ζυγίσαμε 146,1 g EDTA. Το μεταφέραμε με πλύσεις με απιονισμένο νερό σε ποτήρι ζέσεως των 2000 mL και συμπληρώσαμε με απιονισμένο νερό έως τα 600 mL. Με μαγνητάκι ανάδευσης, αναδεύσαμε σε μαγνητική πλάκα έως ότου διαλυθεί.

- Όταν διαλύθηκαν τα μεταφέραμε ποσοτικά σε ογκομετρική φιάλη των 2000 mL με τη βοήθεια χωνιού και συμπληρώσαμε με απιονισμένο νερό μέχρι τη χαραγή. Κλείσαμε με πώμα και ανακινήσαμε προσεχτικά.

2.2.7.2 Διάλυμα M.3

Σε κωνική φιάλη των 1000 mL ζυγίσαμε 40 g NH_4NO_3 . Προσθέσαμε 500ml απιονισμένο νερό και μαγνητάκι ανάδευσης και το αφήσαμε να διαλυθεί σε μαγνητική πλάκα. Όταν διαλύθηκε το μεταγγίσαμε σε ογκομετρική φιάλη των 2 L κάνοντας πλύσεις με απιονισμένο νερό. Στη συνέχεια ρίξαμε 8ml διαλύματος M.1, 23 mL CH_3COOH και 16 mL HNO_3 . Τέλος συμπληρώσαμε τον όγκο με απιονισμένο νερό. Το διάλυμα που προέκυψε ονομάζεται διάλυμα M.2.

2.2.7.3 Εκχύλιση – ανάπτυξη χρώματος

Σε φάλλον των 50 mL ζυγίσαμε 2 g εδάφους και προσθέσαμε 20 mL διαλύματος M.2. Τα ανακινήσαμε για 5 λεπτά σε κινούμενη πλάκα και διηθήσαμε το υπερκείμενο σε φάλλον των 50 mL.

Ανάπτυξη χρώματος «άγνωστου» δείγματος

Σε ογκομετρικές φιάλες των 50 mL προσθέσαμε 5 mL εκχυλίσματος κάθε δείγματος, 5 mL αντιδραστηρίου B. Ρυθμίσαμε το pH στην τιμή 7 προσθέτοντας σταγόνες NaOH (καυστικού νατρίου) και συμπληρώσαμε τον όγκο με απιονισμένο νερό. Τα αφήσαμε τουλάχιστον μισή ώρα για να αναπτυχτεί το μπλε χρώμα. Μέτρηση σε φασματοφωτόμετρο στα 882nm.

Ανάπτυξη χρώματος «γνωστού» δείγματος (standard)

Σε 5 ογκομετρικές φιάλες των 50 mL προσθέσαμε διαδοχικά 0, 0.2, 0.4, 0.6 και 1 mL διαλύματος 5 mg P L⁻¹. Έτσι δημιουργούνται πρότυπα διαλύματα με συγκέντρωση φωσφόρου 0, 0.2, 0.4, 0.6 και 1 mg P L⁻¹, αντίστοιχα. Λάβαμε 2,5 mL B. Ρυθμίσαμε το pH στην τιμή 7 προσθέτοντας σταγόνες NaOH και συμπληρώσαμε τον όγκο με απιονισμένο νερό. Τα αφήσαμε τουλάχιστον μισή ώρα για να αναπτυχτεί το μπλε χρώμα. Μέτρηση σε φασματοφωτόμετρο στα 882 nm.

Με το P που μετράμε στα «γνωστά» δείγματα (standard) κάνουμε την καμπύλη βαθμολόγησης, από όπου υπολογίζουμε τη συγκέντρωση του φωσφόρου στο εκχύλισμα (ppm ή mg L⁻¹).

2.2.8 Μέθοδος οξαλικού αμμωνίου

Παρασκευή διαλύματος Α

Σε ποτήρι ζέσεως των 1000 mL ζυγίζουμε 28,3 g 0,2M Ammonium oxalate (οξαλικό αμμώνιο). Προσθέτουμε περίπου 650-700 mL H₂O και με τη βοήθεια μαγνητικού αναδευτήρα διαλύουμε το οξαλικό αμμώνιο. Μεταγγίζουμε το περιεχόμενο του ποτηριού ζέσεως σε ογκομετρική φιάλη των 1000 mL και συμπληρώνουμε τον όγκο με H₂O. Ταπώνουμε και αναδεύουμε 2-3 φορές προσεχτικά.

Παρασκευή διαλύματος Β

Σε ποτήρι ζέσεως των 1000 mL ζυγίζουμε 25,2 g 0,2M Oxalic acid (οξαλικό οξύ). Προσθέτουμε περίπου 650-700 mL H₂O και με τη βοήθεια μαγνητικού αναδευτήρα διαλύουμε το οξαλικό οξύ. Μεταγγίζουμε το περιεχόμενο του ποτηριού ζέσεως σε ογκομετρική φιάλη των 1000 mL και συμπληρώνουμε τον όγκο με H₂O. Ταπώνουμε και αναδεύουμε 2-3 φορές προσεχτικά.

Παρασκευή διαλύματος C

Σε ποτήρι ζέσεως των 2000 mL κάνουμε μείξη 700 mL διαλύματος Α με 535 mL διαλύματος Β και μετρήσαμε το pH του διαλύματος. Ρυθμίζουμε το pH στην τιμή 3.

Αφού παρασκευάσαμε το διάλυμα C με επιτυχία, ζυγίζουμε, σε φάλλον των 50 mL, 0.5 g εδάφους και προσθέτουμε 20 mL διαλύματος C. Ανακινούμε σε σκοτεινό θάλαμο κινούμενου αναδευτήρα για 4 ώρες και διηθούμε.

2.2.9 Μέτρηση οργανικής ουσίας

Σε ποτήρι ζέσεως των 100 mL ζυγίσαμε 0.5 g εδάφους. Με τη βοήθεια προχοϊδας των 25 mL που περιέχει K₂Cr₂O₇ 0,166 M (διχρωμικό κάλιο) προσθέτουμε 10 mL αυτού. Μεταφέρουμε τα ποτήρια ζέσεως στον απαγωγό όπου με τη βοήθεια ογκομετρικού κυλίνδρου των 10 mL προσθέτουμε 10 mL H₂SO₄ (Θεικού οξέος) στο καθένα και τα αφήνουμε μέσα στον απαγωγό για τουλάχιστον 30 λεπτά. Με το πέρας της ώρας προσθέτουμε, σε κάθε ποτήρι ζέσεως, 200 mL H₂O. Έπειτα το περιεχόμενο από κάθε ποτήρι ζέσεως το διηθούμε, με τη βοήθεια χωνιού και διηθητικού χαρτιού, σε κωνική φιάλη των 500 mL. Με το τέλος της διήθησης (η οποία έλαβε χώρα κι αυτή στον επαγωγό)

προσθέτουμε 10 mL H_3PO_4 (φωσφορικού οξέως) και 3-5 σταγόνες από το δείκτη διφαινυλαμίνη. Το διάλυμα που προκύπτει έχει απόχρωση σκούρο καφέ. Στη συνέχεια ακολούθησε ογκομέτρηση με τη βοήθεια προχοϊδας των 25 mL που περιέχει FeSO_4 (θειικό σίδηρο II) 0,5 M. Ένδειξη πραγμάτωσης της ογκομέτρησης αποτελεί ο αποχρωματισμός του περιεχομένου της κάθε κωνικής φιάλης από σκούρο καφέ σε διαυγές ανοιχτό πράσινο.

2.2.10 Κοκκομετρία

2.2.10.1 Παρασκευή διασπορικού διαλύματος

Σε 2 ποτήρια ζέσεως των 250 mL ζυγίσαμε 100 g $(\text{NaPO}_3)_6$ και 14 g Na_2CO_3 (ένδειξη ζυγαριάς 100,021 g και 14,009 g αντίστοιχα). Σε ένα ποτήρι ζέσεως των 2000 mL προσθέσαμε τις ζυγισμένες ποσότητες των $(\text{NaPO}_3)_6$ και Na_2CO_3 με καλή πλύση με απιονισμένο νερό των ποτηριών ζέσεων στα οποία ζυγιστήκανε. Συμπληρώσαμε έως τα 1500 mL περίπου με απιονισμένο νερό και ρίξαμε μέσα ένα μαγνήτη ανάδευσης. Στη συνέχεια τοποθετήσαμε το ποτήρι ζέσεως των 2000 mL σε κινούμενο αναδευτήρα έως ότου επιτευχθεί η ανάμιξη των $(\text{NaPO}_3)_6$ και Na_2CO_3 . Μεταγγίσαμε το διάλυμα σε ογκομετρική φιάλη των 2000 mL, συμπληρώσαμε με νερό απιονισμένο μέχρι τη χαραγή, κλείσαμε με πόμα και αναδεύσαμε προσεκτικά. Το διάλυμα που προέκυψε ονομάζεται διασπορικό διάλυμα.

2.2.7.2 Παρασκευή και μέτρηση

Σε πλαστικό ποτήρι των 250 mL προσθέσαμε 50 g εδάφους, 50 mL διασπορικού διαλύματος και 50 mL νερού βρύσης. Αναδεύσαμε κάθε ποτήρι με γυάλινη ράβδο, τα καλύψαμε με parafilm και τα αφήσαμε σε ηρεμία για 24 ώρες. Μετά το πέρας των 24 ωρών, αφαιρέσαμε το parafilm και αναδεύσαμε ξανά με γυάλινη ράβδο. Στη συνέχεια τοποθετήσαμε το διάλυμα σε ειδικό ποτήρι μηχανικού αναδευτήρα, ξεπλύνοντας καλά το πλαστικό ποτήρι στο οποίο εμπεριέχονταν, με νερό βρύσης και το αφήσαμε να αναδεύεται για 15 λεπτά. Έπειτα μεταφέραμε το περιεχόμενο από το ποτήρι του μηχανικού αναδευτήρα, με ταυτόχρονη πλύση του, σε ογκομετρικό κύλινδρο των 1000 mL τον οποίο συμπληρώσαμε με νερό βρύσης. Τον καλύψαμε με parafilm, ακακινήσαμε καλά και πήραμε 2

μετρήσεις: η μία με το πυκνόμετρο Βουγιούκου στα 40 sec και η άλλη με το θερμόμετρο. Το αφήσαμε σε ηρεμία για 2 ώρες και ξαναμετρήσαμε. Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε για όλα τα δείγματα.

2.2.7.3 Τυπολόγιο

$$\Sigma_{\Theta A,B} = \frac{\Theta_{A,B} - 20}{2,5} \quad A', B' = A', B' - \Sigma_{\Theta A,B}$$

$$\% \text{ Αργιλος} = \frac{100}{\Gamma} * B'$$

$$\% \text{ Ιλύς} = \frac{100}{\Gamma} * (A' - B')$$

$$\% \text{ Άμμος} = 100 - (\text{Αργιλος} + \text{Ιλύς})$$

2.2.11 Μέτρηση pH – EC

Σε φάλλον των 50 mL ζυγίσαμε περίπου 10 g εδάφους. Σύνολο φάλλον και για τις δυο μεθόδους υπολογισμού: 20. Στα φάλλον για τη μέτρηση του pH προσθέσαμε 25 mL απιονισμένου νερού και ανακινήσαμε για 15 λεπτά. Έπειτα τα αφήσαμε σε ηρεμία και μετρήσαμε σε πεχάμετρο. Στα φάλλον για τη μέτρηση της EC (ηλεκτρικής αγωγιμότητας) προσθέσαμε 10 mL απιονισμένου νερού και ανακινήσαμε για 15 λεπτά. Με το πέρας των 15 λεπτών μετρήσαμε απευθείας σε ηλεκτρικό αγωγιμόμετρο.

2.2.12 Μέτρηση CaCO₃

Αρχικά πήραμε μια μικρή ποσότητα εδάφους και ρίξαμε 1 με 2 mL υδροχλώριο (HCl), με τη βοήθεια του σταγονόμετρου και εκτιμήσαμε την περιεκτικότητα του εδάφους σε ανθρακικό ασβέστιο (CaCO₃). Στη συνέχεια με την κατ' εκτίμηση ποσότητα του ανθρακικού ασβεστίου (CaCO₃) πήραμε και την ανάλογη ποσότητα του εδάφους στην κωνική φιάλη των 500 mL και κατά συνέπεια και την ποσότητα του υδροχλωρίου (HCl) στο falcon. Ύστερα βάλουμε μέσα στην κωνική το περιεχόμενο του falcon με προσοχή, ώστε να μην μας χυθεί το υδροχλώριο (HCl) και αφού ταπώσαμε την κωνική, και φέραμε σε ισορροπία τις δυο συγκοινωνούντες υδάτινες στήλες γυρνώντας την βαλβίδα της προχοΐδας μια ολόκληρη περιστροφή. Πήραμε την αρχική τιμή της υδάτινης στήλης και ανακινήσαμε την κωνική ώστε να χυθεί το υδροχλώριο (HCl) και να γίνει η αντίδραση και μετά πήραμε την τελική τιμή της υδάτινης στήλης. Αυτό

το κάναμε ώστε να βρούμε τον όγκο του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) που εκλύθηκε από την αντίδραση και στη συνέχεια την ποσότητα του ανθρακικού ασβεστίου (CaCO₃).

% CaCO₃ = 0,445 (A/B), όπου A=mL εκλυόμενου CO₂ στο ασβεστόμετρο και B=g εδάφους που ζυγίσαμε.

Στο ασβεστόμετρο του Εργαστηρίου Εδαφολογίας, κατόπιν ελέγχου, έχει βρεθεί ότι ο παραπάνω τύπος να πολλαπλασιάζεται με 1,8 γιατί η καύση του ανθρακικού ασβεστίου δεν είναι πλήρης. Άρα τελικά %CaCO₃=0.801*(A/B).

2.2.13 ΙΑΚ

Σε φάλλον των 30 mL ζυγίσαμε 2 g εδάφους. Προσθέσαμε 20 mL 1 M CH₃COONa pH 8,2 (οξικού νατρίου). Ανακινήσαμε για 10 λεπτά και έπειτα φυγοκεντρήσαμε για 10 λεπτά. Αποχύσαμε το υπερκείμενο και επαναλάβαμε τη διαδικασία 3 φορές. Στην τελευταία επανάληψη, αφού είχαμε αποχύσει το υπερκείμενο, προσθέσαμε 20 mL αιθανόλη (CH₃CH₂OH). Ανακινήσαμε για 10 λεπτά και έπειτα φυγοκεντρήσαμε για 10 λεπτά. Αποχύσαμε το υπερκείμενο και επαναλάβαμε τη διαδικασία 2 φορές ακόμη. Στην τελευταία απόχυση, προσθέσαμε 20 mL 1M CH₃COONH₄ pH 7 (οξικό αμμώνιο). Ανακινήσαμε για 10 λεπτά και έπειτα φυγοκεντρήσαμε για 10 λεπτά. Το υπερκείμενο το διηθήσαμε σε ογκομετρική φιάλη των 100 mL. Επανάληψη διαδικασίας 3 φορές και διήθηση του υπερκειμένου στην ίδια ογκομετρική φιάλη. Με την ολοκλήρωση αυτής της διαδικασίας, συμπληρώσαμε τον όγκο με απιονισμένο νερό, κλείσαμε με πώμα και ανακινήσαμε προσεχτικά. Ακολούθησε μέτρηση στο φλογοφωτόμετρο. Τέλος πραγματοποιήσαμε 10 και 100 φορές αραιώση και μετρήσαμε το Na⁺.

2.2.14 Ανταλλάξιμα κατιόντα Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺

Σε φάλλον των 50 mL ζυγίσαμε 2 g εδάφους. Προσθέσαμε 20 mL 1M CH₃COONH₄ pH 7 (οξικό αμμώνιο) και τα βάλουμε 1 ώρα για ανακίνηση. Στη συνέχεια διηθήσαμε το υπερκείμενο σε φάλλον των 50 mL.

2.2.14.1 Χωρίς αραιώση

Στο διάλυμα χωρίς αραιώση μετρήσαμε το Na⁺.

2.2.14.2 10 φορές αραιώση και διάλυμα Λ

Σε ογκομετρική φιάλη των 25 mL προσθέσαμε 2,5 mL εκχυλίσματος, 2,5 mL διαλύματος Λ (με τη βοήθεια σιφωνίου) και συμπληρώσαμε τον όγκο με απιονισμένο νερό. Αποθήκευση διαλύματος σε φάλλον των 50 mL. Σε αυτό το διάλυμα μετρήσαμε το K^+ .

2.2.14.3 100 φορές αραιώση και διάλυμα Λ

Σε ογκομετρική φιάλη των 25 mL προσθέσαμε 2,5 mL αραιωμένου κατά 10 φορές εκχυλίσματος, 2,5 mL διαλύματος Λ (με τη βοήθεια σιφωνίου) και συμπληρώσαμε τον όγκο με απιονισμένο νερό. Αποθήκευση διαλύματος σε φάλλον των 50 mL. Σε αυτό το διάλυμα μετρήσαμε το Ca^{2+} και το Mg^{2+} .

Κεφάλαιο 3: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα εδάφη που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα προσρόφησης διέφεραν σημαντικά όσο αφορά τις τιμές του pH. Στον Πίνακα 1 κατηγοριοποιούνται ανάλογα με την αντίδρασή τους (εδάφη Α έως Ε τα όξινα και εδάφη ΣΤ έως Ι τα αλκαλικά).

Πίνακας 1. Επιλεγμένες φυσικές και χημικές ιδιότητες των 10 εδαφών.

Έδαφος	OM ^α %	Άργιλος %	Άμμος %	CaCO ₃ %	pH	ΙΑΚ cmol _c kg ⁻¹	Fe _o ^β mg kg ⁻¹	Mn _o ^β mg kg ⁻¹	Al _o ^β mg kg ⁻¹
A	0.40	34	33	0	6.53	14.89	1659	646	721
B	0.94	28	49	0	5.88	7.56	1685	1232	605
Γ	0.80	53	30	0	5.16	8.09	1140	571	688
Δ	0.84	39	46	0	5.22	8.86	1031	892	645
E	1.04	44	40	0	5.70	9.36	1095	426	754
ΣΤ	1.81	38	34	3.92	7.31	23.80	1101	357	331
Z	1.98	46	18	8.36	7.69	10.99	656	344	250
H	1.07	43	28	15.89	7.77	26.80	749	352	412
Θ	1.41	27	53	19.49	7.85	11.71	582	363	523
I	1.27	40	46	4.14	7.89	25.44	915	491	348

α: Οργανική ουσία. β: Εκχυλισμένα με οξαλικό αμμώνιο.

Όπως αναμενόταν, η περιεκτικότητάς τους σε CaCO₃ είχε σχέση με το pH, ενώ τα ποσοστά της οργανικής ουσίας ήταν χαμηλά, τυπικά για ελληνικά καλλιεργούμενα εδάφη. Όσο αφορά τους δείκτες P (Πίνακας 2), οι τιμές του υδατοδιαλυτού P ήταν ιδιαίτερα χαμηλές, ενώ τα εύρη τιμών του Olsen-P, του M-3-P και του AO-P ήταν στα αναμενόμενα, καθώς ο AO-P συνήθως εκχυλίζεται σε συγκεντρώσεις κατά πολύ μεγαλύτερες από αυτές πιο ήπιων εκχυλιστικών όπως του Olsen (Xue et al., 2014).

Πίνακας 2. Φώσφορος υδατοδιαλυτός (WS-P), εκχυλισμένος κατά Olsen, κατά Mehlich-3 (M-3-P), με οξαλικό αμμώνιο (AO-P) και % δείκτης κορεσμού P (%PSI) των 10 εδαφών.

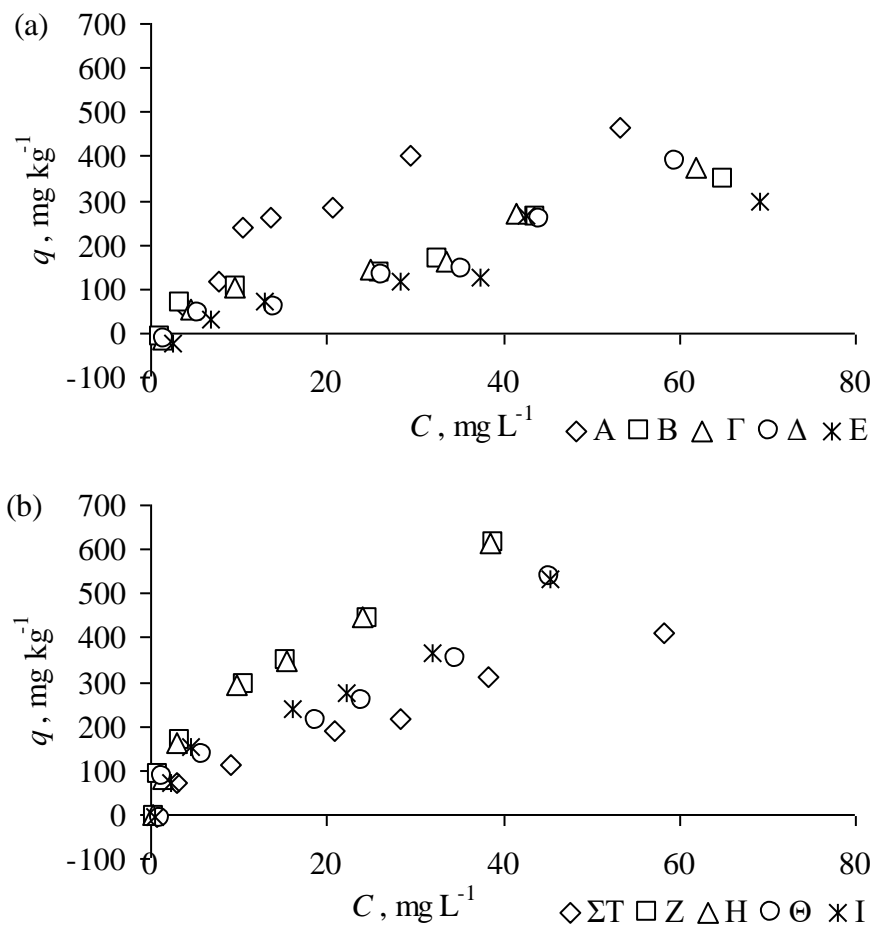
Έδαφος	WSP (x10 ⁻³)	Olsen-P mg kg ⁻¹	M-3-P	AO-P	PSI %
A	26	20.85	52.73	264	16.48
B	47	15.58	51.80	95	35.92
Γ	300	60.28	92.60	204	36.08
Δ	121	29.90	60.28	456	24.01
E	259	32.31	85.85	236	21.25
ΣΤ	103	11.75	61.34	288	26.65
Z	44	5.30	28.75	585	14.60
H	270	16.29	47.83	513	22.97
Θ	50	8.89	46.10	315	49.40
I	270	7.93	34.84	313	26.02

Ο δείκτης κορεσμού σε φώσφορο, %PSI, που εκφράζει το ποσοστό συγκράτησης P σε σχέση με την συνολική ικανότητα συγκράτησής του από τα οξείδια Fe, Al και Mn, κυμάνθηκε μεταξύ 14.60 (έδαφος Z) και 49.40 (έδαφος Θ), τιμές αναμενόμενες σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Wang et al., 2015). Ο λόγος που μετρήθηκαν οι εδαφικές παράμετροι και οι δείκτες φωσφόρου ήταν για να διερευνηθεί η σχέση που έχουν με τη συμπεριφορά του P κατά την προσρόφησή του από τα εδάφη. Τα πρωτογενή δεδομένα που προέρχονται από τα πειράματα προσρόφησης ήταν το q_{100} , και το $K_{d,50}$, ενώ η τρίτη παράμετρος προσρόφησης, το q_{max} , προέρχεται από το μοντέλο κατά Langmuir (Πίνακας 3).

Πίνακας 3. Παράμετροι προερχόμενες από τα πρωτογενή πειραματικά δεδομένα και από τα μοντέλα κατά Langmuir και Freundlich από το πείραμα προσρόφησης P στα 10 εδάφη.

Έδαφος	Πρωτογενή δεδομένα		Langmuir			Freundlich		
	q_{100} (mg kg ⁻¹)	$K_{d,50}$ (L kg ⁻¹)	q_{max} (mg kg ⁻¹)	K_L (x10 ⁻³)	R^2	K_F	n	R^2
A	464	15.30	333	52	0.969	28.05	0.77	0.902
B	347	6.08	233	116	0.877	32.22	0.52	0.910
Γ	372	6.23	333	45	0.961	20.32	0.66	0.933
Δ	387	5.24	294	31	0.834	7.80	0.89	0.899
E	298	4.52	250	20	0.975	5.37	0.95	0.993
ΣΤ	410	8.57	313	95	0.923	34.12	0.59	0.973
Z	612	23.34	435	274	0.959	91.90	0.50	0.997
H	614	23.42	588	121	0.995	77.05	0.57	0.988
Θ	535	12.15	313	250	0.875	63.05	0.48	0.917
I	533	13.98	526	74	0.935	50.79	0.58	0.962

Οι παράμετροι q_{100} και q_{max} είχαν εύρος τιμών φυσιολογικό για τα εδαφικά συστήματα που δέχτηκαν συνολικά 1000 mg P kg⁻¹ (μέγιστο $C_0 = 100$ mg L⁻¹ σε αναλογία στερεού:διαλύματος ίση με 1:10), ενώ οι τιμές R^2 ήταν ικανοποιητικές και για τα δύο εφαρμοζόμενα γραμμικοποιημένα μοντέλα (κατά Langmuir και κατά Freundlich). Ο $K_{d,50}$ (L kg⁻¹) ήταν σύμφωνος με τα ευρήματα των Zhou et al.(2015) οι οποίοι υπολόγισαν το $K_{d,50}$ ως $q/\log C$. Τα πρωτογενή δεδομένα (πριν την γραμμικοποίησή τους με τα χρησιμοποιούμενα μοντέλα) της προσρόφησης P από τα 10 εδάφη φαίνονται στο Σχήμα 1, όπου γίνεται φανερό ότι τα εδάφη διέφεραν ως προς την ικανότητα προσρόφησης P ιδίως στις υψηλές αρχικές συγκεντρώσεις σε συνάρτηση με το pH, καθώς στο Σχήμα 1 είναι χωρισμένα μεταξύ των όξινων (Σχήμα 1a) και των αλκαλικών εδαφών (Σχήμα 1b).



Σχήμα 1. Πειραματικά δεδομένα από την προσρόφηση του P (a) στα όξινα εδάφη A, B, Γ, Δ και E και (b) στα αλκαλικά εδάφη ΣΤ, Ζ, Η, Θ και Ι.

Με σκοπό να βρεθεί η σχέση που υπάρχει μεταξύ της προσρόφησης P και των εδαφικών παραγόντων (φυσικές και χημικές ιδιότητες, όπως και δείκτες εκχυλίσμου P) έγιναν συσχετίσεις και εκτιμήθηκε η σημαντικότητα του συντελεστή συσχέτισης, R^2 (Πίνακας 4). Από τις συσχετίσεις αυτές βρέθηκε ότι το q_{\max} είχε σημαντική και θετική συμμεταβολή με την ΙΑΚ ($R^2=0.5605$, $p<0.05$), κάτι που δείχνει ότι η προσρόφηση P αυξάνει με τις κολλοειδείς επιφάνειες του εδάφους. Η ΙΑΚ καταγράφει τη συνολική ικανότητα συγκράτησης κατιόντων και, αν και τα προστιθέμενα φωσφορικά ιόντα δεν είναι κατιόντα, αποτελεί ένα μέτρο των κολλοειδών επιφανειών του εδάφους, και άρα και της δέσμευσης ανιόντων. Πάντως, αυτό το εύρημα έρχεται σε αντίθεση με τους Zhao et al (2007) που δεν βρήκαν συσχέτιση και με τους Malese et al (2015) βρήκαν αρνητική συσχέτιση. Ωστόσο οι

άλλες παράμετροι προσρόφησης δεν ανέδειξαν σημαντική συσχέτιση με την IAK. Επίσης ο Πίνακας 4 δείχνει ότι το pH επηρέασε σημαντικά την προσρόφηση P, καθώς η προσρόφηση αυξήθηκε σημαντικά με την αύξηση του pH.

Πίνακας 4. Συντελεστές συσχέτισης, R^2 , μεταξύ των παραμέτρων προσρόφησης P (q_{100} , q_{max} κατά Langmuir και $K_{d,50}$) και εδαφικών παραμέτρων των 10 εδαφών. Οι παράμετροι οργανική ουσία, άργιλος, άμμος, WS-P και %PSI δεν αναφέρονται επειδή καμία συσχέτισή τους δεν είναι σημαντική. Ένας αστερίσκος υποδεικνύει σημαντική συσχέτιση για $p < 0.05$, δύο αστερίσκοι σημαντική συσχέτιση για $p < 0.01$ και αρνητικό πρόσημο σημαίνει αρνητική συσχέτιση.

	CaCO ₃	pH	IAK	Fe+Al+Mn ^α	Olsen-P	M-3-P ^β	AO-P ^γ
q_{100}	0,563*	0,707**	0,284	-0,551*	-0.352	-0,612**	-0,364
q_{max}	0,243	0,440*	0,561*	-0,418*	-0.104	-0,274	-0,387
$K_{d,50}$	0,369	0,568*	0,254	-0,391	-0.289	-0,500*	-0,465*

α: Άθροισμα των άμορφων οξειδίων εκχυλισμένων με οξαλικό αμμώνιο σε mmol kg⁻¹. β: Φώσφορος εκχυλισμένος με Mehlich-3. γ: Φώσφορος εκχυλισμένος με οξαλικό αμμώνιο.

Το pH με την προσρόφηση P είναι συνδεδεμένα λόγω της ύπαρξης οξειδίων Fe, Al και Mn, τα οποία τυπικά απαντώνται σε υψηλότερες συγκεντρώσεις σε όξινα pH. Επίσης το pH επηρεάζει την προσρόφηση του P σε αλκαλικές τιμές λόγω της ύπαρξης CaCO₃. Για αυτό το λόγο η προσρόφηση P αυξάνεται όσο οι τιμές pH απομακρύνονται από την ουδετερότητα. Το ίδιο βρήκαν και οι Halajnia et al. (2009) αν και η σχέση Olsen-P και CaCO₃ ήταν μη σημαντική. Πράγματι, η σχέση που συνδέει το CaCO₃ με την προσρόφηση επιβεβαιώθηκε με την συσχέτισή του με το q_{100} ($R^2=0.563$, $p < 0.05$), αν και με τους άλλους δύο παράγοντες προσρόφησης δεν καταγράφηκαν σημαντικές συσχετίσεις. Όσο αφορά τα οξείδια του εδάφους, αν και θα αναμένονταν, σύμφωνα με τα παραπάνω, η αύξηση της περιεκτικότητάς τους στο έδαφος να σηματοδοτεί αύξηση της προσρόφησης P, και άρα θετική συσχέτιση μεταξύ οξειδίων και δεικτών προσρόφησης, ο Πίνακας 4 δείχνει σημαντική και αρνητική συσχέτιση για το q_{100} ($R^2=0.5511$, $p < 0.05$), και το q_{max} ($R^2=0.418$, $p < 0.05$), ενώ δεν υπήρχε σημαντική συσχέτιση με το $K_{d,50}$. Αυτό ενδέχεται να οφείλεται σε τρεις πιθανούς λόγους: Πρώτο, ότι η προσρόφηση P επηρεάστηκε πολύ περισσότερο από το CaCO₃ παρά από τα οξείδια του εδάφους. Αυτό είναι ενδεχόμενο ιδίως αν το CaCO₃ που μετρήθηκε είναι σε «ενεργή» (δηλαδή σε διαστάσεις αργίλου) μορφή. Δεύτερο, ότι η μέθοδος εκχύλισης των οξειδίων δεν ήταν ικανοποιητική. Το οξαλικό αμμώνιο που χρησιμοποιήθηκε εδώ παραλαμβάνει τα άμορφα οξείδια που αποτελούν το κατεξοχήν χημικώς ενεργό ποσοστό των ολικών οξειδίων. Ωστόσο από κάποιους

προτιμάται η εκχύλιση των «ολικών» ελεύθερων οξειδίων, η οποία τυπικά γίνεται με διθειονικό νάτριο. Τα δύο αυτά ενδεχόμενα είναι δυνατό να επιβεβαιωθούν ή να διαψευστούν με περαιτέρω εργαστηριακή μελέτη. Τρίτο, ότι το εύρος τιμών των οξειδίων που καταγράφηκε στο έδαφος δεν ήταν αρκετά μεγάλο όσο εκείνο της περιεκτικότητας σε CaCO_3 (0-19.49%, Πίνακας 1), έτσι ώστε να «παράγει» σημαντική συσχέτιση. Αυτό είναι πιθανό αφού όσο μεγαλύτερο το εύρος τιμών της ανεξάρτητης μεταβλητής x , τόσο ευχερέστερη η καταγραφή σημαντικής συσχέτισης. Επίσης μελετήθηκε η επίδραση της προσρόφησης από τους δείκτες εκχυλιζόμενου P, κάνοντας την υπόθεση ότι όσο περισσότερο P περιέχει το έδαφος, τόσο λιγότερο P θα έχει την ικανότητα να προσροφά. Αν η υπόθεση είναι αληθής, τότε θα έπρεπε να καταγράφονται αρνητικές συσχετίσεις μεταξύ των παραγόντων προσρόφησης και του δεικτών εκχυλιζόμενου P. Πράγματι, ο Mehlich-3-P και ο AO-P έδειξαν σημαντικές αρνητικές συσχετίσεις με τους παράγοντες προσρόφησης (Πίνακας 4), κάτι που φαίνεται να επιβεβαιώνει την υπόθεση (Daly et al., 2015).

Πρέπει να τονιστεί, ωστόσο, ότι ο Olsen-P δεν συσχετίστηκε σημαντικά με της προσρόφηση του P, αν και οι τιμές του R^2 δεν ήταν ασήμαντες. Ο WS-P, από την άλλη μεριά, έδωσε ιδιαίτερα χαμηλές συσχετίσεις, κάτι που φανερώνει ότι είναι προτιμότεροι οι δείκτες ποσότητας P και όχι οι δείκτες έντασης. Ο %PSI, αν και αναμένονταν να είναι ο σημαντικότερος δείκτης P του εδάφους, δεν έδειξε σημαντικές τάσεις. Ο πιθανός λόγος θα σχολιαστεί αμέσως παρακάτω. Σε μια προσπάθεια να εκτιμηθεί περαιτέρω ο σημαντικός ρόλος του pH στην προσρόφηση του P, ομαδοποιήθηκαν τα 10 εδάφη σε όξινα και αλκαλικά και συγκρίθηκαν οι όλες οι εδαφικές παράμετροι (Πίνακας 5). Αν εξαιρεθούν οι αυτονόητες διαφορές στις τιμές του pH και του CaCO_3 , γίνεται φανερό ότι και οι τρεις παράγοντες προσρόφησης αυξήθηκαν σημαντικά (η σημαντικότητα φαίνεται από τη διαφορά των τιμών σε σύγκριση με το $\text{LSD}_{0.05}$) στα αλκαλικά σε σχέση με τα όξινα εδάφη. Αυτό δεν μπορεί να αποτελεί ένα απλό τυχαίο γεγονός, γιατί άλλες παράμετροι (άργιλος, άμμος και WS-P) δεν επηρεάστηκαν από την αντίδραση του εδάφους (δεδομένα δεν παρουσιάζονται). Όπως αναμένονταν το άθροισμα των οξειδίων (για να είναι δυνατή η άθροιση, οι συγκεντρώσεις εκφράστηκαν σε mmol kg^{-1}) ήταν μικρότερο στα αλκαλικά εδάφη σε σχέση με τα όξινα. Πιθανολογούμε ότι αυτή είναι η αιτία που έδωσε αρνητικές συσχετίσεις μεταξύ οξειδίων και προσρόφησης P: Τα οξείδια επηρεάστηκαν από την αντίδραση του εδάφους αντιστρόφως ανάλογα, και η αντίδραση του εδάφους, λόγω CaCO_3 , επηρέασε την προσρόφηση ανάλογα.

Αποτέλεσμα αυτού ήταν να καταγραφεί αντιστρόφως ανάλογη σχέση μεταξύ οξειδίων και προσρόφησης, όχι όμως λόγω της απευθείας σχέσης των οξειδίων με την προσρόφηση, αλλά μέσω της σχέσης τους με το CaCO₃ και το pH (κάτι που φαίνεται στον Πίνακα 5).

Πίνακας 5. Οι παράμετροι προσρόφησης και οι εδαφικές ιδιότητες ομαδοποιημένες για τα όξινα (Α, Β, Γ, Δ και Ε) και τα αλκαλικά (ΣΤ, Ζ, Η, Θ και Ι) εδάφη. Οι παράμετροι άργιλος, άμμος, WS-P και %PSI δεν παρουσιάζονται επειδή δεν διέφεραν μεταξύ των δύο ομάδων εδαφών, ενώ οι παράμετροι CaCO₃ και pH δεν παρουσιάζονται επειδή εξορισμού διέφεραν μεταξύ των δύο ομάδων εδαφών.

	q_{100} mg kg ⁻¹	q_{max} mg kg ⁻¹	$K_{d,50}$ L kg ⁻¹	IAK cmol _c kg ⁻¹	Fe+Al+Mn ^β mmol kg ⁻¹	Olsen-P mg kg ⁻¹	M-3-P ^γ mg kg ⁻¹	AO-P ^δ mg kg ⁻¹
Όξινα	374	289	7.47	9.75	62.68	31.78	68.65	402.8
Αλκαλικά	541	435	16.29	19.75	35.04	10.03	43.77	251.0
LSD _{0.05} ^α	53	31	3.51	2.93	6.13	9.60	11.28	66.7

α: LSD (Least significant difference) στο επίπεδο του $p < 0.05$. β: Αθροισμα των οξειδίων που εκχυλίστηκαν από τα εδάφη με οξαλικό αμμώνιο σε mmol kg⁻¹. γ: Φώσφορος εκχυλισμένος με Mehlich-3. δ: Φώσφορος εκχυλισμένος με οξαλικό αμμώνιο.

Είναι επίσης ενδιαφέρον από τον Πίνακα 5 ότι ο εκχυλιζόμενος P στα όξινα εδάφη ήταν σημαντικά μεγαλύτερος σε σχέση με τα αλκαλικά, ακόμα και ο Olsen-P. Αυτό δείχνει την πιθανότητα τα επίπεδα του P που εκχυλίζονται να έχουν σχέση με πρότερες καταστάσεις των εδαφών (γενναίες φωσφορικές λιπάνσεις στα όξινα εδάφη). Άρα είναι πιθανό το AO-P να μειώθηκε στα αλκαλικά εδάφη ακολουθώντας την τάση και των άλλων εκχυλιστικών P. Επειδή όμως και τα οξείδια ομοίως μειώθηκαν, ο δείκτης %PSI (ο λόγος AO-P προς τα οξείδια) τελικά έμεινε αμετάβλητος με το pH. Αυτός είναι ο πιθανότερος λόγος για τον οποίο ο δείκτης %PSI, αντίθετα με τα αναμενόμενα, δεν έδειξε να επηρεάζει την προσρόφηση P από τα εδάφη.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης έδειξαν ότι:

- Το μέγιστο προσρόφησης κατά Langmuir (q_{\max}) συσχετίστηκε σημαντικά και θετικά με την ΙΑΚ ($R^2=0.561$, $p<0.05$), κάτι που δείχνει ότι η προσρόφηση P αυξάνει με τις κολλοειδείς επιφάνειες του εδάφους.
- Το pH επηρέασε σημαντικά την προσρόφηση P, λόγω της σχέσης του με το CaCO_3 (η συσχέτιση q_{100} με pH είχε $R^2=0.707$, $p<0.01$)
- Αντίθετα με τα αναμενόμενα, οι δείκτες προσρόφησης επηρεάστηκαν σημαντικά αρνητικά από τα οξείδια Fe, Al και Mn ($R^2=0,551$, $p<0.05$), κάτι το οποίο δείχνει ότι η προσρόφηση P επηρεάστηκε πολύ περισσότερο από το CaCO_3 παρά από τα οξείδια.
- Η συσχέτιση της προσρόφησης με το %PSI δεν ήταν σημαντική ενώ φάνηκε από τις εκχυλίσεις P κατά Mehlich-3 και οξαλικό αμμώνιο μια σημαντική αρνητική τάση στη συσχέτισή τους με την προσρόφηση P.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική βιβλιογραφία

1. Διονυσίου, Ο.Ν.Σ (2010) Μελέτη της ικανότητας του τροποποιημένου ζεόλιθου ως μέσο απορρόπησης υδάτων άρδευσης. Διδακτορική Διατριβή, ΑΠΘ.
2. Μήτσιος, Ι.Κ. (2004) Γονιμότητα εδαφών-Θρεπτικά στοιχεία φυτών (μακροθρεπτικά, μικροθρεπτικά) και Βαρέα Μέταλλα-Μέθοδοι και Εφαρμογές. Εκδόσεις *Zymel*, Αθήνα.
3. Μήτσιος Ι.Κ. (2001). Εδαφολογία. Εκδόσεις *Zymel*, Αθήνα.
4. Μπαστουνοπούλου Μ., Γασπαράτος, Δ. και Χαϊντούτη, Κ. (2011) Επίδραση των εδαφικών ιδιοτήτων στην κινητικότητα του φωσφόρου σε ένα όξινο έδαφος. http://www.ekke.gr/estia/Cooper/Synedrio_PSM/bastounopoulou.pdf
5. Λάρκος, Ν.Α. (2010) Αξιολόγηση του δια ανιονικής ρητίνης εκχυλισμένου φωσφόρου ως δείκτη διαθέσιμου φωσφόρου των εδαφών. <http://ikee.lib.auth.gr/record/114648/files/larkos.pdf>
6. Τζέζος, Μ., Ρεμουντάκη, Ε. (2010) Περιβάλλον Ι: Εισαγωγή στην Επιστήμη & Τεχνολογία Προστασίας του Περιβάλλοντος. Βοηθητικές Σημειώσεις, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών, Τομέας Μεταλλουργίας και Τεχνολογίας Υλικών. Εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνολογίας Προστασίας Περιβάλλοντος στη Μεταλλουργία και Τεχνολογία υλικών. http://www.metal.ntua.gr/uploads/4407/perivallonI_rev.pdf
7. Χουλιάρης, Ν.Α. «Η Λίπανση στη Βιολογική Γεωργία». Διδακτικές Σημειώσεις, Τμήμα Φυτικής Παραγωγής, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα (Τ.Ε.Ι) Λάρισας.

Αγγλική βιβλιογραφία

8. Daly, K. Styles, D., Lalor, S., Wall, D.P., (2015) Phosphorus sorption, supply potential and availability in soils with contrasting parent material and soil chemical properties. *European Journal of Soil Science* 66, 792-801.
9. Halajnia, A., Haghnia, G.H., Fotovat, A., Khorasani, R., (2009) Phosphorus fractions in calcareous soils amended with P fertilizer and cattle manure. *Geoderma* 150, 209-213.
10. Malese, A., Gebrekidan, H., Yli-Halla, M., Yitaferu, B., (2015) Phosphorus status, Inorganic Phosphorus Forms, and Other Physicochemical Properties of Acid Soils of Farta District, Northwestern Highlands of Ethiopia. *Applied and Environmental Soil Science*, Volume 2015, Article ID 748390, 1-11.

11. Wang, Y.T., Zhang, T.Q., O'Halloran, I.P., Hu, Q.C., Tan, C.S., Speranzini, D., Macdonald, I., Patterson, G., (2015) Agronomic and environmental soil phosphorus tests for predicting potential phosphorus loss from Ontario soils. *Geoderma* 241-242, 51-58.
12. Xue, Q., Lu, L., Zhou, Y., Qi, L., Dai, P., Liu, X., Sun, C., Lin, X., (2014) Deriving sorption indices for the prediction of potential phosphorus loss from calcareous soils. *Environmental Science and Pollution Research* 21, 1564-1571.
13. Zhao, X., Zhong, X., Bao, H., Li, H., Li, G., Tuo, D., Lin, Q., Brookes, P.C., (2007) Relating soil P concentrations at which P movement occurs to soil properties in Chinese agricultural soils. *Geoderma* 142, 237-244.
14. Zhou, B., Vogt, R.D., Lu, X., Yang, X., Lu, C., Mohr, C.W., Zhu, L., (2015) Land use as an explanatory factor for potential phosphorus loss risk, assessed by P indices and their governing parameters. *Environmental Science: Processes and Impacts* 17, 1443-1454.