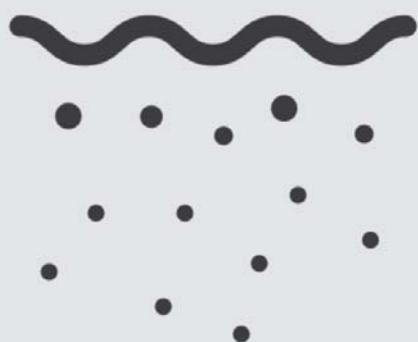




9^ο

Πανελλήνιο Συνέδριο
Γεωργικής Μηχανικής

ΕΔΑΦΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ



ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΖΩΤΟΥ, ΦΩΣΦΟΡΟΥ, ΚΑΛΙΟΥ ΚΑΙ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΕΛΙΑΣ

Β. Αντωνιάδης[✉], Γ. Κουντριας, Α. Δημήρκου

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος,
Οδός Φυτόκου, 384 46, Ν. Ιωνία, Μαγνησία, [✉] antoniadis@uth.gr

Περίληψη

Για την μελέτη της επίδρασης τριών διαφορετικών λιπασμάτων στις ιδιότητες του εδάφους και φυτού σε ελαιώνα έγιναν πέντε μεταχειρίσεις: Μάρτυρας, Ζεόλιθος, Κοπριά, Συμβατική Λίπανση και Παραγωγού. Τα αποτελέσματα στα φύλλα έδειξαν ότι ο Ζεόλιθος ενέργησε ως λίπασμα βραδείας απελευθέρωσης για το N, ενώ δεν βρέθηκαν διαφορές για το P και το K σε σύγκριση με το Συμβατικό Λίπασμα. Όσον αφορά στα ιχνοστοιχεία, αυτά χορηγήθηκαν μόνο από την Κοπριά και βρέθηκε ότι δεν σημείωσαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων. Στο έδαφος παρατηρήθηκε σημαντική διαφοροποίηση στις συγκεντρώσεις του N, P, K καθώς και στο pH.

Λέξεις κλειδιά: Νιτρικά, Βασικά κατιόντα, Φυλλοδιαγνωστική

MANAGEMENT OF NITROGEN, PHOSPHORUS, POTASH AND TRACE ELEMENTS IN OLIVE CULTIVATION

V. Antoniadis[✉], G. Kountrias, A. Dimirkou

Laboratory of Soil Science, Department of Agriculture Crop Production and Rural Environment,
University of Thessaly, Fytokou Street, N. Ionia, GR-38446, Volos, Greece, [✉] antoniadis@uth.gr

Abstract

We aimed at studying the effect of three different sources of fertilizer (Conventional Fertilizer, Ammonium-Enriched Zeolite and Manure) along with a standard treatment (called "Farmer") on soil and olive tree properties. In the field, enriched Zeolite acted as a slow-release fertilizer for nitrogen (N), while no differences were found for phosphorus (P) and potassium (K) for this treatment when compared with the Conventional Fertilizer. As for trace elements, we found non-significant differences among treatments. Soil extractions indicated considerable variation in the concentrations of N, P, K, as well as in pH.

Key words: Nitrates, Base cations, Plant analysis

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ελιά (*Olea europaea*) είναι μια διαδεδομένη καλλιέργεια στην Μεσόγειο από την αρχαιότητα. Για έναν ελαιώνα με πλήρως παραγωγικά δένδρα, ο στόχος παραγωγής είναι 600 kg καρπού ανά στρέμμα και οι ανάγκες σε θρεπτικά 1-2 kg N, 0,2-0,4 kg P και 1-2 kg K ανά 100 kg καρπού (Κουκουλάκης και Παπαδόπουλος, 2001). Το δένδρο απαιτεί καλά στραγγιζόμενο έδαφος με ρΗ κοντά στο ουδέτερο. Κατά καιρούς έχουν δοκιμαστεί μέθοδοι μείωσης του κόστους λίπανσης, π.χ. με τη χορήγηση λιπασμάτων βραδείας απελευθέρωσης ή με τη χρήση κοπριάς (Fernandez-Hernandez et al., 2014). Ένας τρόπος αύξησης του χρόνου απελευθέρωσης του λιπάσματος (ιδιαίτερα του N του λιπάσματος, που είναι πιο ευκίνητο στοιχείο από το P και το K) είναι η ταυτόχρονη χορήγηση ζεολίθου. Ο ζεόλιθος (τεκτοπυριτικό ορυκτό με δαιδαλώδες δίκτυο μικροσκοπικών πόρων) έχει βρεθεί ότι μπορεί να συγκρατεί NH_4^+ του λιπάσματος, επιβραδύνοντας έτσι τη νιτροποίησή του και να το απελευθερώνει βραδέως (Torma et al., 2014). Αυτό είναι ενδεχόμενο να καταστήσει ένα συμβατικό λίπασμα σε λίπασμα βραδείας απελευθέρωσης.

Σκοπός της εργασίας ήταν να δοκιμαστεί σε καλλιέργεια ελιάς η χορήγηση συμβατικού λιπάσματος με ζεόλιθο για να διαπιστωθεί αν ο ζεόλιθος επιβραδύνει την απελευθέρωση των θρεπτικών του λιπάσματος.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Μέρος ελαιώνα στη περιοχή Φυτόκου Μαγνησίας χρησιμοποιήθηκε για τις ανάγκες του πειράματος. Εκεί εγκαταστήσαμε 5 μεταχειρίσεις σε πειραματικά τεμάχια των 5 σειρών με 12 δένδρα ανά σειρά και απόσταση δένδρων 5 m x 7,5 m. Οι εφαρμογές υλικών στις μεταχειρίσεις υπολογίστηκαν έτσι ώστε να χορηγούν ίσες ποσότητες N από 3 διαφορετικές πηγές (συμβατικό λίπασμα, λίπασμα με ζεόλιθο και κοπριά). Οι μεταχειρίσεις ήταν οι εξής:

- «Μάρτυρας» (M): Δεν έγινε καμία εφαρμογή λίπανσης.
- Ζεόλιθος (Z): Εφαρμόσαμε 3 kg $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (21-0-0) αφού τη διαλύσαμε σε 4,3 λίτρα απεσταγμένο H_2O και εμποτίσαμε με αυτή 13 kg ζεολίθου. Αφού αεροξηράναμε το ζεόλιθο, τον εφαρμόσαμε περιμετρικά του κορμού κάθε δένδρου, εφαρμόζοντας επίσης 600 g K_2SO_4 (0-0-51) και 250 g υπερφωσφορικό 12-61-0.
- Συμβατική λίπανση (ΣΛ): Εφαρμόσαμε 3 kg $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (21-0-0), μαζί με 600 g K_2SO_4 (0-0-51) και 250 g υπερφωσφορικό 12-61-0 περιμετρικά του κορμού κάθε δένδρου.
- Κοπριά (K): Εφαρμόσαμε 100 kg αιγοπρόβειας κοπριάς, υγρασίας 54%, περιμετρικά του κορμού κάθε δένδρου.
- Μεταχείριση «παραγωγού» (Π): Εφαρμόσαμε ένα συνδυασμένο πρόγραμμα λίπανσης που αποτελούνταν από 30 kg αιγοπρόβεια κοπριά, 1 kg $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (21-0-0), 1 kg K_2SO_4 (0-0-51) και 500 g υπερφωσφορικό 12-61-0. Σκοπός αυτής της μεταχείρισης ήταν να προσεγγίσουμε ένα συνηθισμένο πρόγραμμα λίπανσης που θα ακολουθούσε ένας παραγωγός.

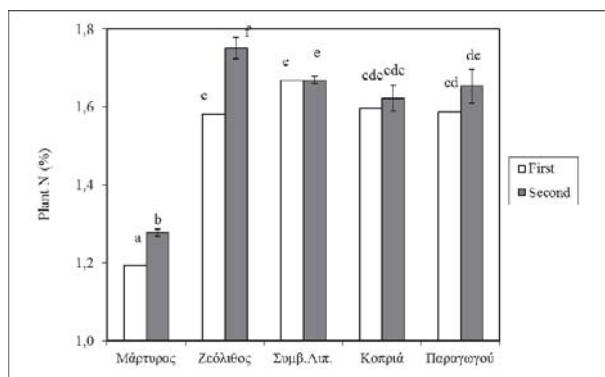
Στην κοπριά προσδιορίστηκε το ποσοστό υγρασίας, η περιεκτικότητα της σε οργανικό C, και το ολικό N κατά Kjeldahl. Η εφαρμογή της κοπριάς έγινε περιμετρικά του κορμού χωρίς να γίνει ενσωμάτωση, για να ανταποκρίνεται σε ρεαλιστικές συνθήκες αγρού, μιας και στον ελαιώνα δεν χρησιμοποιείται καλλιεργητής για επεξεργασία του εδάφους. Το λίπασμα, αφού ζυγίστηκε, εφαρμόσθηκε πεταχτά με το χέρι περιμετρικά και κάτω από τη κόμη του δένδρου και στη συνέχεια έγινε μία ελαφριά αναμόχλευση με τσουγκράνα για να μην παρασυρθεί με τον αέρα. Η δειγματοληψία για κάθε μεταχείριση γινόταν ανά τριάδα δένδρων για κάθε δείγμα. Έτσι είχαμε 3 επαναλήψεις δείγματος για κάθε μεταχείριση με σύνολο 15 δείγματα σε κάθε εφαρμογή δειγματοληψίας, είτε εδάφους είτε φύλλων. Η

πρώτη δειγματοληψία εδάφους και φύλλων έγινε στις 19 Ιουλίου 2013 και η δεύτερη δειγματοληψία έγινε στις 10 Ιανουαρίου 2014. Τα δείγματα που ελήφθησαν χρησιμοποιήθηκαν για να γίνουν αναλύσεις χαρακτηρισμού των εδαφών: ανθρακικό ασβέστιο, ανταλλάξιμα κατιόντα Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , pH (1:2.5 H₂O), ολικά με βασιλικό νερό κατιοντικά ιχνοστοιχεία (Fe, Mn, Cu, Cd, Pb), εκχύλισμα με DTPA για τα ίδια κατιοντικά ιχνοστοιχεία, νιτρικό και αμμωνιακό άζωτο και φώσφορος κατά Olsen. Τα δεδομένα αναλύθηκαν στατιστικά με ANOVA και οι ελάχιστες σημαντικές διαφορές (LSD) μεταξύ μέσων όρων υπολογίστηκαν για επίπεδο σημαντικότητα μεγαλύτερο του 95% ($p<0.05$) με το στατιστικό πακέτο Statgraphics 2.1.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

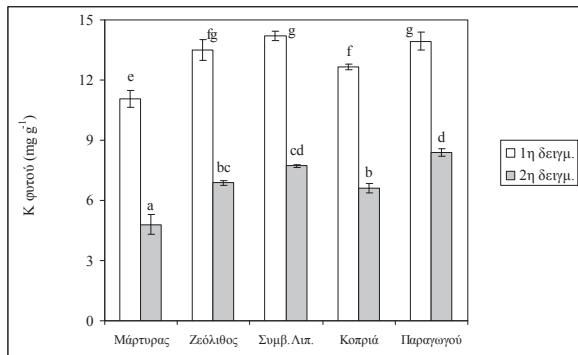
3.1. Φυλλοδιαγνωστική

Το Ν στη δειγματοληψία του Ιουλίου (πρώτη) ήταν υψηλότερο στη μεταχείριση με τη Συμβατική Λίπανση παρουσιάζοντας σημαντική στατιστική διαφορά με τη μεταχείριση του Μάρτυρα, του εμποτισμένου Ζεόλιθου και του Παραγωγού. Στατιστική διαφορά σε σχέση με το Μάρτυρα παρουσιάζεται επίσης και με τη μεταχείριση της Κοπριάς (Σχήμα 1). Οι τιμές του Ν σε αυτή τη δειγματοληψία κυμαίνονται στα όρια σχετικής έλλειψης (1,2-1,6%) (Θεριός, 2005), ενώ μόνο η μεταχείριση της Συμβατικής Λίπανσης βρίσκεται σε επάρκεια (1,6-1,8%). Οι τιμές όμως είναι αναμενόμενα χαμηλές, καθώς για το Ν χαμηλότερη συγκέντρωση εμφανίζουν τα δένδρα για τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο (Fernandez-Escobar et al., 1999). Στη δειγματοληψία του Ιανουαρίου (δεύτερη), υψηλότερη τιμή παρουσίασε η μεταχείριση του ζεολίθου, έχοντας σημαντική στατιστική διαφορά με τις άλλες μεταχειρίσεις, ενώ οι υπόλοιπες μεταχειρίσεις ήταν σημαντικά υψηλότερες σε σχέση με το μάρτυρα, αλλά δεν διέφεραν όταν συγκρίνονταν μεταξύ τους. Όσον αφορά στη μεταξύ τους σύγκριση για την 1^η και 2^η δειγματοληψία, οι τιμές του Μάρτυρα και του Ζεόλιθου παρουσιάζουν σημαντική στατιστική διαφορά ανάμεσα, και μεταξύ των δειγματοληψιών, ενώ οι τιμές της Συμβατικής Λίπανσης, της Κοπριάς και του Παραγωγού δεν διαφέρουν σημαντικά.

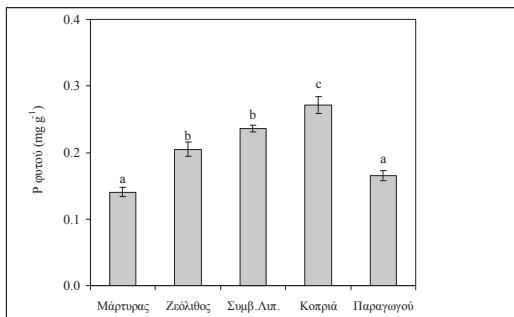


Σχήμα 1. Περιεκτικότητα σε Ν των φύλλων της ελιάς.

Όσον αφορά στο K (Σχήμα 2), η δειγματοληψία του Ιουλίου παρουσίασε την υψηλότερη τιμή στη μεταχείριση της Συμβατικής Λίπανσης και σημαντική στατιστική διαφορά με τη μεταχείριση του Μάρτυρα και της Κοπριάς, χωρίς να διαφέρει σημαντικά με τον εμποτισμένο Ζεόλιθο και του Παραγωγού. Σε όλες τις μεταχειρίσεις σε αυτή τη δειγματοληψία, το K βρισκόταν σε υπερεπάρκεια (Θεριός, 2005), ακόμα και στο Μάρτυρα, ενδεχομένως λόγω επαρκούς λίπανσης των προηγούμενων ετών. Στη δειγματοληψία του



Σχήμα 2. Περιεκτικότητα σε K των φύλλων της ελιάς.



Σχήμα 3. Περιεκτικότητα σε P των φύλλων της ελιάς.

Ιανουαρίου, οι συγκεντρώσεις του μάρτυρα, ενώ βρίσκονταν σε υπερεπάρκεια τον μήνα Ιούλιο, τον Ιανουάριο παρουσίασαν οριακή τροφοπενία, ενώ για τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις ο εμποτισμένος Ζεόλιθος και η Κοπριά παρουσίασαν σχετική έλλειψη (0,5-0,7%) και της Συμβατικής Λίπανσης μαζί με του Παραγωγού βρίσκονταν σε επάρκεια (0,7-0,9%) (Θεριός, 2005). Στη σύγκριση ανάμεσα στις δύο δειγματοληψίες, σημαντική στατιστική διαφορά παρουσίασαν όλες οι μεταχειρίσεις μεταξύ τους, με την δεύτερη δειγματοληψία να είναι χαμηλότερη της πρώτης.

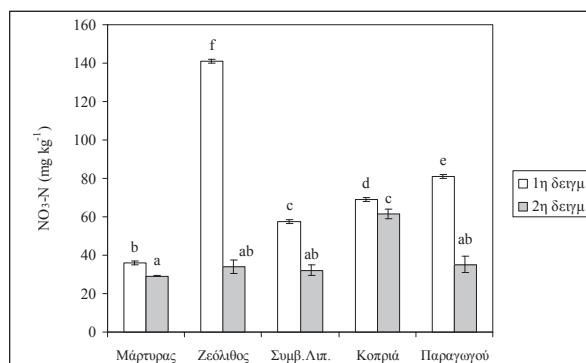
Όσον αφορά στο P (Σχήμα 3), υψηλότερη τιμή παρουσίασε η μεταχείριση της Κοπριάς όπου διέφερε σημαντικά με όλες τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις. Η μεταχείριση του Μάρτυρα δεν διέφερε σημαντικά με αυτή του Παραγωγού, ενώ η Συμβατική Λίπανση δεν διέφερε σημαντικά με αυτή του εμποτισμένου Ζεόλιθου. Σε όλες τις μεταχειρίσεις, όμως, ο P βρίσκονταν σε υπερεπάρκεια ($>0,14\%$) ενδεικτικό της υπερλίπανσης P όλα τα προηγούμενα χρόνια, κάτι που παρατηρήθηκε και για το K. Στην περίπτωση του K υπήρξε πτώση στα όρια της εξάντλησης στη δεύτερη μέτρηση, κάτι που δεν παρατηρήθηκε εδώ (η δειγματοληψία που παρουσιάζεται αντιστοιχεί με την δεύτερη του K). Αυτό δείχνει ότι ο P είναι πιο δυσκίνητο θρεπτικό στο φυτό σε σχέση με το K.

Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι είχαμε σημαντικές διαφορές στο φυτό και σε στοιχεία που χορηγήσαμε και σε στοιχεία που δεν χορηγήσαμε. Χορηγήσαμε N, P, K, ενώ δεν χορηγήσαμε Ca, Mg, Zn, Fe, Mn (αυτά τα στοιχεία δεν παρουσιάζονται). Από τα στοιχεία που χορηγήσαμε, το N ήταν το μόνο στο οποίο δοκιμάσαμε 3 διαφορετικές πηγές (συμβατικό λίπασμα, εμποτισμένο ζεόλιθο και κοπριά - και οι 3 σε ίδιες ποσότητες), ενώ P και K χορηγήσαμε από ίδιες πηγές. Όσον αφορά στο N φάνηκαν διαφορές από τις διαφορετικές πηγές χορήγησης, με τον ζεόλιθο να δείχνει τη μεγαλύτερη αντοχή στο χρόνο, καθώς ήταν σημαντικά υψηλότερος στην 2^η δειγματοληψία σε σχέση με οποιαδήποτε άλλη μεταχείριση, ακόμα και αυτή της Κοπριάς. Αυτό δείχνει ότι ο εμποτισμένος ζεόλιθος ενήργησε ως λίπασμα βραδείας απελευθέρωσης. Το NH₄⁺ κατά τη φάση της ανάμιξης

λιπάσματος με ζεόλιθο, εισήλθε στους πόρους του ζεολίθου, καθώς η ιοντική του ακτίνα του επιτρέπει την ανταλλαγή του NH_4^+ με άλλα κατιόντα που συνήθως απαντώνται στο εσωτερικό του ζεολίθου (όπως Ca^{2+} , Mg^{2+} και Na^+). Εδώ ίσως ρόλο έπαιξε και η ελάχιστη έως μηδαμινή καρποφορία που δεν εξάντλησε μεγάλη ποσότητα N. Με τον συνδυασμό αμμωνιακού λιπάσματος και ζεολίθου επιτυγχάνεται ο εγκλωβισμός του αμμωνιακού κατιόντος στο δαιδαλώδες δίκτυο πόρων του ζεολίθου. Η συγκράτηση αυτή όμως δεν είναι μη αντιστρεπτή. Έτσι απελευθερώνεται με αργούς ρυθμούς και νιτροποιείται με πιο βραδείς ρυθμούς σε σχέση με το αμμωνιακό κατιόν που απελευθερώνεται αμέσως από το συμβατικό λίπασμα. Αυτό έχει ως συνέπεια την διατήρηση ικανοποιητικών ποσοτήτων διαθέσιμου N για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα στο έδαφος (Ahmed et al., 2008). Όσον αφορά τα άλλα δύο μακροθρεπτικά, P και K, αυτά δεν προστέθηκαν επιπλέον στην κοπριά, έτσι ώστε να προσομοιάσουμε περισσότερο τις πραγματικές συνθήκες, όπου δεν γίνεται επιπλέον χορήγηση στοιχείων με τη χρήση της κοπριάς. Ούτε στο ένα ούτε στο άλλο στοιχείο φάνηκαν διαφορές μεταξύ συμβατικής λίπανσης και ζεολίθου, κάτι που δείχνει ότι ο ζεόλιθος δεν επιφέρει καμιά σημαντική αφέλεια σχετικά με αυτά τα θρεπτικά. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με άλλες εργασίες (π.χ. Allen et al., 1993), οι οποίες έχουν βρει ότι ο ζεόλιθος μπορεί να δράσει ως παράγοντας καλύτερης απελευθέρωσης του P, καθώς πρόκειται για στοιχείο με ιδιαίτερα χαμηλή διαλυτότητα στο έδαφος. Το ίδιο και με το K, για το οποίο κάποιες εργασίες (π.χ. Narafi-Ghiri, 2014) προβλέπουν υψηλότερη απελευθέρωση με χρήση ζεολίθου, κάτι που εμείς δεν επιβεβαιώσαμε. Όσον αφορά στοιχεία που δεν χορηγήσαμε (εξαιρείται η Κοπριά, μεταχείριση στην οποία χορηγήσαμε όλα τα υπό μελέτη στοιχεία λόγω της περιεκτικότητάς τους στην κοπριά), είναι πιθανό αυτά να επηρεάστηκαν από διαφορές στην ανάπτυξη της καλλιέργειας. Δηλαδή είναι ενδεχόμενο η καλύτερη ανάπτυξη της καλλιέργειας με τη χορήγηση N, P και K να επέφερε διαφορές στις συγκεντρώσεις και όλων των υπόλοιπων θρεπτικών στα φύλλα της ελιάς.

3.2. Εδαφική ανάλυση

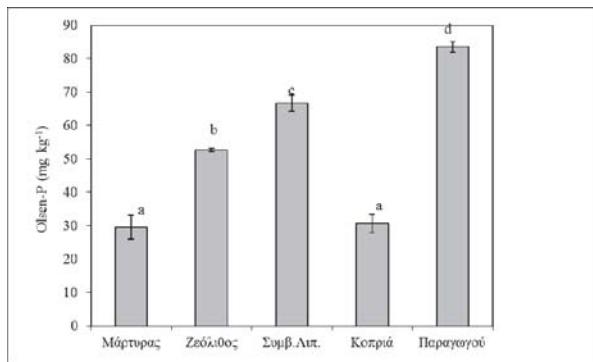
Το $\text{NO}_3\text{-N}$ (Σχήμα 4) στη δειγματοληψία του Ιουλίου παρουσίασε την υψηλότερη τιμή στη μεταχείριση του Ζεολίθου με σημαντική στατιστική διαφορά με τις άλλες τέσσερις μεταχειρίσεις.



Σχήμα 4. $\text{NO}_3\text{-N}$ στο έδαφος.

Είναι ενδεχόμενο σε αυτή τη δειγματοληψία να συλλέξαμε και εμποτισμένο ζεόλιθο γι' αυτό και το αποτέλεσμα σε σύντομο χρονικό διάστημα από την εφαρμογή να μας έδωσε σημαντικά αυξημένη συγκέντρωση νιτρικών. Με άλλα λόγια, είναι ενδεχόμενο η τόσο υψηλή τιμή να οφείλεται σε λάθος χειρισμό της δειγματοληψίας. Όλες οι μεταχειρίσεις διέφεραν σημαντικά για αυτή τη μέτρηση. Στη δεύτερη δειγματοληψία που έγινε τον

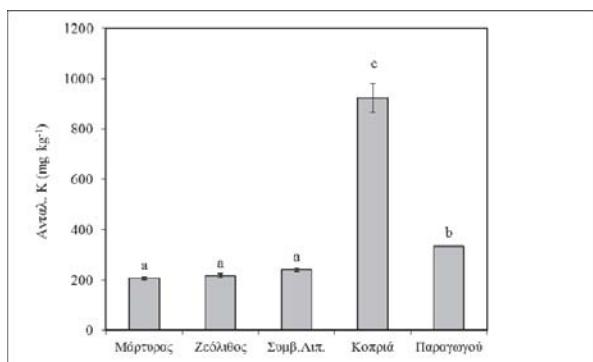
Ιανουάριο του επόμενου έτους για το $\text{NO}_3\text{-N}$, υψηλότερη τιμή πήραμε στη μεταχείριση με τη Κοπριά. Οι υπόλοιπες μεταχειρίσεις δεν διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους.



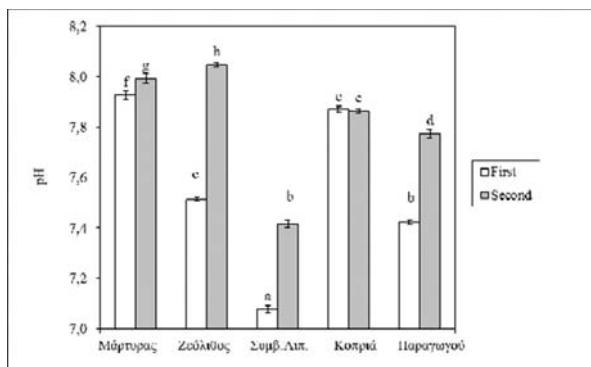
Σχήμα 5. Εκχυλίσιμος P στο έδαφος.

Ο εκχυλίσιμος P (Σχήμα 5) παρουσίασε την υψηλότερη τιμή στη μεταχείριση του Παραγωγού, η οποία είχε σημαντική διαφορά από τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις. Ο Παραγωγός άλλωστε εφάρμοσε μεγαλύτερη ποσότητα P, και αυτό είναι που αποτυπώνεται στη μέτρηση. Η Κοπριά δεν είχε σημαντική διαφορά σε σχέση με το Μάρτυρα, ενώ η μεταχείριση τόσο με τον εμποτισμένο Ζεόλιθο όσο και με τη συμβατική λίπανση, διέφεραν σημαντικά από τις υπόλοιπες, αλλά και μεταξύ τους υπήρχαν σημαντικές διαφορές. Ο εκχυλίσιμος P επιβεβαιώνει τα ευρήματα του P στο φυτό: ο Ζεόλιθος δεν είχε θετική επίδραση στην εκχυλισμότητά του, καθώς η αύξησή του ήταν πιο συντηρητική σε σχέση με την αύξηση στην Συμβατική Λίπανση. Πρέπει όμως να τονιστεί ότι ακόμα και στον Μάρτυρα, τα επίπεδα του εκχυλίσιμου P ήταν υπερεπαρκή για την υποστήριξη της καλλιέργειας (τιμή επάρκειας θεωρούνται τα $20\text{-}25 \text{ mg kg}^{-1}$), κάτι που φάνηκε και στον P του φυτού.

Όσον αφορά στο ανταλλάξιμο K (Σχήμα 6), αυτό ήταν σημαντικά υψηλότερο στη μεταχείριση με τη Κοπριά, η οποία είχε σημαντική διαφορά με όλες τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις. Οι μεταχείριση του Μάρτυρα, του Ζεόλιθου και της Συμβατικής Λίπανσης δεν διέφεραν σημαντικώς στατιστικά μεταξύ τους. Η Κοπριά σαν ένα οργανικό λίπασμα βραδείας αποδέσμευσης είναι λογικό να μας δώσει μεγαλύτερη τιμή από τις άλλες μεταχειρίσεις στην τελευταία δειγματοληψία, καθώς συνεχίζει να αποδεσμεύει στοιχεία στο έδαφος, καθώς και η ελάχιστη έως μηδαμινή ποσότητα καρπών δεν απορρόφησαν το στοιχείο αυτό. Ωστόσο, εξαιτίας του γεγονότος ότι η πολύ μεγάλη διαφορά της Κοπριάς δεν επιβεβαιώνεται από τα ευρήματα του K στο φυτό, εικάζουμε ότι η πολύ υψηλή αυτή τιμή οφείλεται σε λάθος της δειγματοληψίας.



Σχήμα 6. Ανταλλάξιμο K στο έδαφος.



Σχήμα 7. Το pH του εδάφους.

Όσον αφορά στο pH του εδάφους (Σχήμα 7), στη μέτρηση του Ιουλίου είχε την υψηλότερη τιμή στη μεταχείριση του Μάρτυρα, παρουσιάζοντας σημαντική στατιστική διαφορά με όλες τις μεταχειρίσεις. Στη δειγματοληψία του Ιανουαρίου υψηλότερη τιμή παρουσίασε η μεταχείριση του εμποτισμένου ζεολίθου, διαφέροντας και αυτή σημαντικά με όλες τις μεταχειρίσεις. Μόνο το pH της Κοπριάς δεν διέφερε σημαντικά ανάμεσα στις δύο μετρήσεις. Η μεγάλη μείωση του pH στο Συμβατικό Λίπασμα οφείλεται στη νιτροποίηση του αμμωνιακού αζώτου που χορηγήθηκε με τη μεταχείριση αυτή (Zao et al., 2014). Αντίστοιχα σημαντική πτώση παρατηρήσαμε και στο Ζεόλιθο, αλλά εκεί η μείωση ήταν πολύ μικρότερη, κάτι που επαληθεύει το γεγονός ότι είχαμε βραδεία αποδέσμευση του αμμωνιακού N λόγω της παρουσίας του ζεολίθου. Ωστόσο, η τιμή του pH επανέρχεται στη δεύτερη δειγματοληψία. Είναι γνωστό ότι η οξίνιση του εδάφους με τη νιτροποίηση έχει μόνιμο αποτέλεσμα υπό την προϋπόθεση ότι οι ρίζες δεν παραλαμβάνουν παραγόμενα νιτρικά (λόγω π.χ. έκπλυσής τους). Τότε ούτε τα παραγόμενα από τη νιτροποίηση H^+ δεν παραλαμβάνονται από τα φυτά και έτσι το έδαφος τείνει να οξινίζει μη αντιστρεπτά (Brady and Weil, 1996). Εδώ φαίνεται ότι τέτοια προϋπόθεση δεν ίσχυε και έτσι οι τιμές του pH επανήλθαν σχεδόν στα επίπεδα του Μάρτυρα.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Η εφαρμογή ζεολίθου βελτίωσε την αποδοτικότητα του N στα φύλλα, ενεργώντας σαν ένα βραδείας απελευθέρωσης λίπασμα για το στοιχείο αυτό. Σημαντικό είναι ότι τα δένδρα στη μέτρηση του Ιουλίου βρίσκονται σε επάρκεια N μόνο στη μεταχείριση της Συμβατικής Λίπανσης.
- Για τον P και το K, ο Ζεόλιθος δεν επέφερε καμία σημαντική αφέλεια στα δένδρα. Ο P βρίσκονταν σε υπερεπάρκεια σε όλες τις μεταχειρίσεις ακόμα και σε αυτή του Μάρτυρα.
- Στην περίπτωση του K στα φύλλα, υπήρξε πτώση στα όρια της εξάντλησης στη μέτρηση του Ιανουαρίου.
- Στο έδαφος μετά από περίπου ένα χρόνο, περισσότερο NO_3-N παρουσιάζει η μεταχείριση της Κοπριάς. Ο P στο έδαφος παραμένει σε επαρκή συγκέντρωση για την καλλιέργειά μας ένα χρόνο μετά, ακόμα και στη μεταχείριση του Μάρτυρα. Το εδαφικό Κάλιο έχει σημειώσει εξάντληση με εξαίρεση τη μεταχείριση της Κοπριάς.
- Το pH του εδάφους συνηγόρησε στο συμπέρασμα περί βραδείας αποδέσμευσης NO_3-N από το Ζεόλιθο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ahmed, O.H., Aminuddin, H., and Husni, M.H.A., 2008. *Ammonia volatilization and ammonium accumulation from urea mixed with zeolite and triplesuperphosphate*. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B, Soil and Plant Science, 58, 182-186.
- Allen, E.R., Hossner, L.R., Ming, D.W., and Henninger, D.L., 1993. *Solubility and cation exchange in phosphate rock and saturated clinoptilolite mixtures*. Soil Science Society of America Journal, 57, 1368-1374.
- Brady, N.C., and Weil, R.R., 1996. *The Nature and Properties of Soils*. 13th Edition, Prentice Hall, New York.
- Fernandez-Escobar, R., Moreno, R., Garcia-Creus, M., 1999. *Seasonal changes of mineral nutrients in olive leaves during the alternate –bearing cycle*, Scientia Horticulturae, 3-9.
- Fernandez-Hernandez, A., Roig, A., Serrania, N., Civantos, C.G.O., and Sanchez-Monedero, M.A., 2014. *Application of compost of two-phase olive mill waste on olive grove: Effects on soil, olive fruit and olive oil quality*. Waste Management, 34, 1139-1147.
- Κουκουλάκης, Π.Χ., και Παπαδόπουλος, Α.Η., 2001. *Η Ερμηνεία της Ανάλυσης του Εδάφους*. Εκδόσεις Σταμούλης, σσ. 372.
- Narafi-Ghiri, M., 2014. *Effects of zeolite and vermicompost applications on potassium release from calcareous soils*. Soil and Water Research, 9, 31-37.
- Θεριός, I.N., 2005. *Ελαιοκομία*. Εκδόσεις Γαρταγάνη.
- Torma, S., Vilcek, J., Adamisin, P., Huttmanova, E., and Hronec, O., 2014. *Influence of natural zeolite on nitrogen dynamics in soil*. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 38, 739-744.
- Zao, S., Qiu, S., Cao, C., Zhou, W., and He, P., 2014. *Responses of soil properties, microbial community and crop yields to various rates of nitrogen fertilization in a wheat-maize cropping system in north-central China*. Agriculture, Ecosystems and Environment, 194, 27-39.

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΡΙΩΝ ΖΩΪΚΩΝ ΚΟΠΡΩΝ ΣΤΑ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΝΟΣ ΠΗΛΩΔΟΥΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Σ. Κωστοπούλου¹, Β. Φαλέγκα², Κ. Καλμπουρτζή², Α. Παυλάτου-Βε^{1,✉}

¹Τομέας Εγγ. Βελτιώσεων, Εδαφ. και Γεωργ. Μηχανικής, Τμήμα Γεωπονίας, ΑΠΘ,

✉ ave@agro.auth.gr

²Τομέας Φυτών Μεγάλης Καλλιέργειας και Οικολογίας, Τμήμα Γεωπονίας ΑΠΘ,
54 124, Θεσσαλονίκη

Περίληψη

Σε ένα μέσης κοκκομετρικής σύστασης γεωργικό έδαφος ενσωματώθηκε κόπρος πουλερικών (Κ1), αιγοπροβάτων (Κ2) και βοοειδών (Κ3) για να μελετηθεί η συμβολή τους στη μεταβολή ορισμένων φυσικοχημικών ιδιοτήτων κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες. Στο τέλος της επώασης υπήρξε ανοργανοποίηση Ν και για τις τρεις κόπρους. Το προστιθέμενο Ν στο έδαφος και για τις τρεις κόπρους, προέρχονταν από την αύξηση των $\text{NO}_3\text{-N}$ του εδάφους και μόνο η Κ1 προσέθεσε επιπλέον μικρή ποσότητα Ν από το $\text{NH}_4\text{-N}$. Ο Ρ, το Κ και το Να που ελευθερώθηκαν και από τις τρεις κόπρους ακινητοποιήθηκαν στο έδαφος. Στην αρχή της επώασης, οι Κ1 και Κ2 συνέβαλλαν στο σχηματισμό 2-1 mm συσσωματωμάτων. Για τις Κ2 και Κ3, βρέθηκε θετική συμμεταβολή μεταξύ της αύξησης του οργανικού Σ κατά τη διάρκεια της επώασης και α) της σταθερότητας στη διαβροχή ή β) της θρόμβωσης της αργίλου, των 2-1 mm συσσωματωμάτων.

Λέξεις κλειδιά: Ανοργανοποίηση/ακινητοποίηση Ν, Ρ, Κ, Δυναμική συσσωμάτωσης, Κόπρος (πουλερικών, αιγοπροβάτων, βοοειδών)

THE EFFECT OF THREE ANIMAL MANURES ON THE PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF A LOAMY SOIL UNDER CONTROLLED CONDITIONS

S. Kostopoulou¹, V. Falega², K. Kalourtzi², A. Pavlatou-Ve^{1,✉}

¹Dep. of Hydraulics, Soil Science and Agr. Engineering, Faculty of Agriculture, AUTH,
54124 Thessaloniki, ✉ ave@agro.auth.gr

²Dep. of Field Crops and Ecology, Faculty of Agriculture, AUTH, 54124 Thessaloniki

Abstract

Three animal manures (poultry-K1, sheep-K2 and cattle-K3) were incorporated in a loamy agricultural soil in order to study their contribution to the change of some physicochemical soil properties under controlled conditions. In the end of three months of incubation, N mineralization was found for all three manures. Soil N increase originated from $\text{NO}_3\text{-N}$ inputs from the three manures and only K1 contributed with a small amount of $\text{NH}_4\text{-N}$, in addition. The mineralized nutrients of P, K and Na were immobilized in the soil for all three manures. In the beginning of the incubation, K1 and K2 contributed to the formation of 2-1 mm aggregates. For K2 and K3, a positive linear correlation was found between organic C increase during the incubation and a) aggregate stability or b) clay flocculation, of the 2-1 mm aggregates.

Key words: Immobilization/mineralization N, P, K, Aggregation dynamics, Manure (poultry, sheep, cattle)

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η χρήση των κόπρων για την διατήρηση ή την αύξηση της οργανικής ουσίας του εδάφους σε ένα γεωργικό οικοσύστημα είναι μια διαδεδομένη πρακτική σε όλα τα μέρη του κόσμου. Είναι ένας ασφαλής και αποτελεσματικός τρόπος εισαγωγής θρεπτικών συστατικών των φυτών στο έδαφος (Gilly and Eghball, 2002), ενώ παράλληλα βελτιώνει τις φυσικές και χημικές ιδιότητες του (Ayuso et al., 1996; Soumare et al., 2003; Gilly and Risse, 2000). Η μελέτη των διαδικασιών της ανοργανοποίησης και ακινητοποίησης των θρεπτικών συστατικών των κόπρων είναι σημαντική, προκειμένου να προβλεφθεί η καθαρή ανοργανοποίησή τους και κατά συνέπεια η διαχείρισή τους. Ο μετασχηματισμός όμως αυτών των ελεύθερων θρεπτικών συστατικών σε διαθέσιμα για το φυτό είναι συνήθως πολύπλοκος, γιατί ελέγχεται βασικά από βιοτικούς και αβιοτικούς παράγοντες (Qiu et al., 2008). Ο ρυθμός εφαρμογής των κόπρων σε ένα γεωργικό οικοσύστημα πρέπει να ελέγχεται προκειμένου να προβλεφθεί η καθαρή ανοργανοποίηση των κόπρων και σε συνδυασμό με απαιτήσεις των καλλιεργειών σε θρεπτικά στοιχεία, να αποφευχθούν οι κίνδυνοι της ρύπανσης των εδαφών (Navarro Pedreno et al., 1996). Η σύνθεση των θρεπτικών συστατικών στην κόπρο ποικίλλει, ανάλογα με την ηλικία, το είδος και το φύλο του ζώου, την διατροφή του και φυσικά στο σύστημα διαχείρισής της (Azeez et al., 2010)

Η δυναμική της συσσωμάτωσης η οποία ακολουθεί την προσθήκη οργανικής ουσίας στο έδαφος, περιλαμβάνει τρείς φάσεις: σχηματισμό, σταθεροποίηση και κατάρρευση (Tisdall and Oades, 1982). Η επίδραση της προσθήκης οργανικών υπολειμμάτων στη σταθερότητα των συσσωματωμάτων εξαρτάται από την αρχική τους σύνθεση και τον λόγο C/N (Le Guillou et al., 2011). Η προσθήκη εύκολα αποικοδομήσιμων οργανικών υπολειμμάτων συντελεί σε ταχεία και υψηλή αλλά παροδική αύξηση της σταθερότητας της δομής, ενώ υπολείμματα υψηλότερου C/N έχουν σταδιακό και ηπιότερο αλλά μεγαλύτερης χρονικής διάρκειας αποτέλεσμα (Abiven et al., 2009). Ο χρόνος και η υγρασία επώασης επηρεάζουν επίσης τη δυναμική της συσσωμάτωσης. Σύμφωνα με τους Wuddivira et al. (2009), η επώαση σε υγρασία ίση με την υδατοχωρητικότητα, εδαφών των οποίων είχε διαταραχθεί η δομή, ευνόησε τη σύνδεση των εδαφικών τεμαχιδίων και την σταθεροποίηση της δομής, ανεξάρτητα από την προσθήκη ή μη, κόπρου βοοειδών.

Οι κύριοι στόχοι αυτής της εργασίας ήταν να μελετηθεί, μετά από ενσωμάτωση σε ένα μέσης κοκκομετρικής σύστασης γεωργικό έδαφος τριών διαφορετικών ειδών ζωϊκής κόπρου: (1) η ανοργανοποίηση/ακινητοποίηση των N, P, K και Na των κόπρων, (2) η συμβολή τους ως πηγή θρεπτικών στοιχείων και (3) η συμβολή τους στη σύνδεση των τεμαχιδίων αργίλου και στη δημιουργία και σταθεροποίηση συσσωματωμάτων, κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας και για χρονικό διάστημα ίσο με τρεις μήνες.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Χαρακτηριστικά του εδάφους και των κόπρων

Ένα μέσης κοκκομετρικής σύστασης γεωργικό έδαφος συλλέχθηκε από τη Βόρεια Ελλάδα (αγρόκτημα δ.δ. Σίνδου Θεσσαλονίκης), αεροξηράνθηκε, λειοτριβήθηκε και κοσκινίστηκε με κόσκινο διαμέτρου οπών 2 mm. Τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του ήταν: pH ίσο με 8,07 (1:2,5 έδαφος/νερό), CaCO₃ 1,54%, O.Ou. 0,97% (Walkley et al., 1934), 5,25 mg NH₄-N και 15,84 mg NO₃-N Kg⁻¹ (εκχύλιση με KCl), 43,05 mg P Kg⁻¹ (Olsen and Sommers, 1982) και ανταλλάξιμα κατιόντα Na⁺ (0,24), K⁺ (0,41), Mg²⁺ (1,17), Ca²⁺ (22,27) cmol Kg⁻¹, αντίστοιχα (εκχύλιση με διάλυμα CH₃COONH₄ 1M pH 7) (Thomas, 1982).

Τα τρία είδη κόπρου που χρησιμοποιήθηκαν ήταν: κόπρος πουλερικών (K1), αιγοπροβάτων (K2) και βοοειδών (K3) και διέφεραν ως προς τη χημική τους σύσταση και τον λόγο C/N.

Πριν την ενσωμάτωση τους στο έδαφος, οι κόπροι αεροξηράνθηκαν, λειοτριβήθηκαν και κοσκινίστηκαν (<2mm). Τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των κόπρων φαίνονται στον Πίν. 1.

Πίνακας 1. Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των κόπρων K1, K2 και K3

κοπριά	pH(H ₂ O)	EC _{25 °C}	O.O	C	C/N	N	P	K	Na
		mS/cm	%	%		% κ.β	% κ.β	% κ.β	% κ.β
K1	8,06	6,69	39a	19,5a	15a	1,3c	3,00b	5,33c	0,95c
K2	7,22	6,39	85c	42,5c	106c	0,4a	0,62a	0,37a	0,22a
K3	7,39	2,75	70b	35,0b	43b	0,8b	1,03a	3,21b	0,67b

Μέσοι όροι μέσα σε μία στήλη, που ακολουθούνται από ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά.

2.2. Πειράματα επώασης

Οι μεταχειρίσεις του πειράματος ήταν τέσσερις. Ο μάρτυρας (M), δηλαδή έδαφος χωρίς προσθήκη κόπρου, έδαφος με (K1), έδαφος με (K2) και έδαφος με (K3). Οι επαναλήψεις κάθε μεταχείρισης ήταν τρείς. Το πειραματικό σχέδιο ήταν το πλήρες τυχαιοποιημένο.

Σε δοχείο που έκλεινε αεροστεγώς τοποθετήθηκαν 200 g εδάφους και ενσωματώθηκε ομοιογενώς 1 g κόπρου. Προστέθηκε απεσταγμένο νερό σε ποσότητα ίση με το 40% της υδατοχωρητικότητας του εδάφους. Το συνολικό βάρος καταγράφηκε και η υγρασία διατηρούνταν σταθερή σε όλη τη διάρκεια του πειράματος με ζύγιση και αναπλήρωση της διαφοράς με νερό. Το έδαφος επωάστηκε επί 93 ημέρες (Pansu and Thuries, 2003) σε σταθερή θερμοκρασία 25 °C ±1. Κάθε 15 ημέρες, δηλαδή την 1, 14, 28, 42, 62, 76, 93^η μέρα, γινόταν δειγματοληψία μετά από ανάμειξη του μείγματος. Ακολουθούσε ο προσδιορισμός των NO₃-N, NH₄-N, P και των ανταλλαξίμων κατιόντων Na⁺, K⁺. Οι μέθοδοι προσδιορισμού των στοιχείων ήταν οι ίδιες που έγιναν στο αρχικό έδαφος.

Το ίδιο πείραμα επαναλήφθηκε για τον προσδιορισμό ορισμένων φυσικών ιδιοτήτων, με τη μόνη διαφορά ότι οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν χωρίς ανάμειξη του μείγματος προς αποφυγή αλλοίωσης της δυναμικής της συσσωμάτωσης κατά τη διάρκεια της επώασης. Σε κάθε δειγματοληψία συλλέγονταν 20 g δείγματος από το δοχείο και αεροξηραίνονταν επί 7 ημέρες. Στη συνέχεια, το δείγμα περνούσε από κόσκινα διαμέτρου οπών 2 και 1 mm κατά σειρά. Στα συσσωματώματα μεγέθους 1-2 mm προσδιορίσθηκαν: 1) η οργανική ουσία (O.Ou.) 2) το % κ.β ποσοστό τους, 3) η σταθερότητά τους στη διαβροχή (ΣΣ) (Nimmo and Perkins, 2002) και 4) η θρομβωμένη άργιλος ως ποσοστό της διαπερατότητας στο φως (T) (Thellier and Sposito, 1989) ενός υδατικού αιωρήματος αργίλου το οποίο παραλαμβανόταν μετά από ήπια ανατάραξη αιωρήματος συσσωματωμάτων-νερού (1:15) και καθίζηση.

2.3. Στατιστική ανάλυση

Η στατιστική ανάλυση έγινε με τη βοήθεια του στατιστικού πακέτου STATGRAPHICS. Στα πειραματικά αποτελέσματα εφαρμόσθηκε ANOVA με κριτήριο (LSD) σε P<0,05 για την εύρεση στατιστικά σημαντικών διαφορών μεταξύ των πειραματικών δεδομένων.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1. Χημικές ιδιότητες

Μελετήθηκαν οι μεταβολές της συγκέντρωσης των θρεπτικών στοιχείων N, (NO₃⁻ και NH₄⁺), K, P, και Na μετά την προσθήκη τριών κόπρων K1, K2 και K3 στο έδαφος κατά την διάρκεια της επώασης.

Πίνακας 2. Ανοργανοποίηση/ακινητοποίηση* των θρεπτικών στοιχείων N, NO₃-N, NH₄-N, P, K και Na από τις κόπρους K1, K2 και K3 σε χρόνο επώασης 14-96 ημέρες

	N	NO ₃ -N	NH ₄ -N	P	K	Na
g Kg⁻¹ C κόπρου						
t επώαση	14-96 ημέρες					
K1	9,427b	6,950a	2,472a	-25,650a	-118,248a	-55,760b
K2	1,086a	1,807a	-0,721a	-2,890b	-14,844a	-2,180a
K3	0,287a	1,840a	-1,550a	-1,342b	-10,408a	-2,990a

*Η ανοργανοποίηση/ακινητοποίηση υπολογίσθηκε από την διαφορά των συγκεντρώσεων των θρεπτικών στοιχείων στο χρόνο επώασης των 96 ημερών μείον τις συγκεντρώσεις των θρεπτικών στοιχείων στο χρόνο επώασης των 14 ημερών.

**Μέσοι όροι μέσα σε μία στήλη, που ακολουθούνται από ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά.

Πίνακας 3. Ρυθμός ανοργανοποίησης g Kg⁻¹ C κόπρου ημέρα⁻¹ (k), N, (NH₄-N, NO₃-N), P, K και Na από τις κόπρους K1, K2 και K3 σε χρόνο επώασης 14-96 ημέρες

κοπριά	N	NO ₃ -N	NH ₄ -N	P	K	Na
g Kg⁻¹ C κόπρου ημέρα⁻¹						
t επώαση	14-96 ημέρες					
K1	0,0795	0,0678	0,0118	-0,3114	-1,0780	-0,1286
K2	0,0149	0,0258	-0,0108	-0,0530	-0,1002	-0,0060
K3	0,0198	0,0331	-0,0134	-0,0216	-0,1014	-0,0544

Ο ρυθμός ανοργανοποίησης (k) του N, των κόπρων K1, K2 και K3 κατά την διάρκεια της επώασης (14 μέχρι 96 ημέρες). Ο ρυθμός (k) υπολογίστηκε από την εξίσωση μηδενικής τάξης ($C_t = C_0 - kt$).

3.1.1. Άζωτο (N)

Επειδή κατά τον χρόνο 0, δεν είχε επέλθει η ισορροπία μεταξύ κόπρου-εδάφους, θα παρουσιάζεται η συμβολή των κόπρων σε N στο έδαφος από 14 μέχρι 96 ημέρες. Ως ολικό N λαμβάνεται το άθροισμα του αμμωνιακού και νιτρικού αζώτου (NO₃-N και NH₄-N) κατά την επώαση. Το άζωτο που προστέθηκε στο έδαφος με την προσθήκη των κόπρων κατά την 14^η ημέρα ήταν 14,23, 6,36 και 7,71 g N Kg⁻¹ C κόπρου και στο τέλος της επώασης βρέθηκε ότι η συγκέντρωση του αζώτου που προστέθηκε στο έδαφος ήταν 23,66, 7,44 και 7,99 g N Kg⁻¹ C κόπρου για τις μεταχειρίσεις των K1, K2 και K3, αντίστοιχα. Από τον Πίνακα 2 φαίνεται ότι η συγκέντρωση του N αυξήθηκε στο τέλος της επώασης και στις τρείς μεταχειρίσεις κατά 9,427, 1,086 και 0,286 g N Kg⁻¹ C κόπρου, αντίστοιχα. Στατιστικώς σημαντική αύξηση N παρουσίασε η K1, ενώ η αύξηση των K2 και K3 ήταν σχεδόν ίδια και μικρότερη από την K1. Οι Alizadeh et al. (2012) έδειξαν ότι η κόπρος πουλερικών ανοργανοποίησε στο έδαφος σημαντική ποσότητα N σε σχέση με την κόπρο βοοειδών. Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται ο ρυθμός ανοργανοποίησης (k) του N, των κόπρων K1, K2 και K3. Οι ρυθμοί ανοργανοποίησης των K1, K2 και K3 ήταν θετικοί και είχαν τιμή 0,0795, 0,0149 και 0,0198 g N Kg⁻¹ C κόπρου ημέρα⁻¹ και δηλώνουν ότι κατά την διάρκεια της επώασης επικρατούσε η ανοργανοποίηση του N στις τρεις κόπρους. Η K1 περιείχε περισσότερο N από την K2 και K3 (Πίνακας 1) και ο λόγος C/N της K1 ήταν C/N=15, αρκετά μικρότερος από τις K2 και K3. Αυτό ευνόησε την γρήγορη ανάπτυξη των μικροοργανισμών στην K1 με αποτέλεσμα την γρήγορη ανοργανοποίηση του N κατά την διάρκεια της επώασης. Το ίδιο βρήκαν οι Panus and Thuries (2003)

όταν στο έδαφος πρόσθεσαν κόπρους με υψηλή περιεκτικότητα N και ακόμα βρήκαν ότι η ανοργανοποίηση ελαττώνεται με αύξηση του λόγου C/N των κόπρων που χρησιμοποίησαν. Από τον Πίνακα 2 φαίνεται ότι το ολικό άζωτο που ανοργανοποιήθηκε προέρχονταν από το NO₃-N και για τις τρείς κόπρους και μόνο η K1 συμμετείχε με το NH₄-N κατά 30% περίπου.

Αν και η K1 και Κ3 περιείχαν μεγαλύτερη ποσότητα P και K από την K2, φαίνεται από τους Πίνακες 2 και 3 ότι στο τέλος της επώασης η συμβολή τους σε P και K δεν ήταν θετική (ακινητοποίηση P και K). Αυτό πιθανόν να οφείλεται στην ύπαρξη CaCO₃ (1,54%) στο έδαφος, αλλά και στο είδος της αργίλου (πιθανόν να περιέχει οξείδια και βερμικουλίτη). Η συγκέντρωση του Na των κόπρων φαίνεται να μην προκαλεί προβλήματα στο έδαφος λόγω ακινητοποίησης του.

3.2. Φυσικές και βιολογικές ιδιότητες

Μελετήθηκε επίσης η συμβολή των τριών κόπρων στη δημιουργία και σταθεροποίηση μακρο-συσσωματωμάτων μεγέθους 2-1 mm, στη θρόμβωση της αργίλου και στην περιεχόμενη οργανική ουσία αυτών των συσσωματωμάτων (Πίνακας 4).

3.2.1. Οργανική ουσία

Κατά τις πρώτες 14 ημέρες της επώασης υπήρξε μία τάση αύξησης της O.Ou. των 2-1 mm συσσωματωμάτων μετά την προσθήκη κόπρου, όμως δεν βρέθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων. Στη συνέχεια της επώασης και έως την 56^η ημέρα, η προσθήκη και των τριών ειδών κόπρου οδήγησε σε σημαντική αύξηση του ποσοστού της O.Ou. σε σχέση με τον μάρτυρα. Στα συσσωματώματα του μάρτυρα παρατηρήθηκε σταδιακή μείωση της O.Ou. καθ' όλη τη διάρκεια της επώασης (Πίνακας 4).

Οι διαφορές της O.Ou. μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων με προσθήκη κόπρου φαίνεται ότι καθορίζονται από τον λόγο C/N των κόπρων και όχι από την περιεκτικότητα τους σε οργανικό C. Η K2 με τον υψηλότερο λόγο C/N συνετέλεσε στη μικρότερη αύξηση της O.Ou. των συσσωματωμάτων, αλλά το ποσοστό της παρέμεινε σταθερό ως το τέλος της επώασης. Αντίθετα, η μεταχειρίση K1 με τον μικρότερο λόγο C/N παρουσίασε απότομη μείωση της O.Ou. την 71^η ημέρα και στο τέλος της επώασης δεν διέφερε από τον μάρτυρα (Πίνακας 4).

3.2.2. Σχηματισμός μακροσυσσωματωμάτων (2-1 mm)

Το ποσοστό (%) κ.β.) των 2-1 mm συσσωματωμάτων και στις τρείς μεταχειρίσεις με κόπρο αυξήθηκε σε σχέση με τον μάρτυρα κατά τις δύο πρώτες εβδομάδες της επώασης. Η αύξηση ήταν σημαντική για τις K1 και K2 (Πίνακας 4). Το αυξημένο ποσοστό συσσωματωμάτων 2-1 mm στην αρχή της επώασης οφείλεται πιθανώς στην αύξηση του πληθυσμού των μυκήτων οι οποίοι δραστηριοποιούνται κατά τα πρώτα στάδια της αποικοδόμησης των οργανικών υπολειμμάτων στο έδαφος. Οι υφές των μυκήτων συμβάλλουν στη δημιουργία μακρο-συσσωματωμάτων καθώς περιβάλλουν και συγκρατούν συνενωμένες μικρότερες δομικές μονάδες. Οι Bossuyt et al. (2001), μετά την προσθήκη άχυρου σε ομογενοποιημένο έδαφος (<250 μm), βρήκαν ότι ο σχηματισμός μακροσυσσωματωμάτων από μικροσυσσωματώματα επηρεάσθηκε θετικά από τη δραστηριότητα των μυκήτων. Η K2, η οποία λόγω του υψηλού C/N αποικοδομείται δυσκολότερα, παρουσιάζει μία τάση αυξημένου σχηματισμού 2-1 mm συσσωματωμάτων έως το τέλος της επώασης, αλλά οι διαφορές με τις άλλες μεταχειρίσεις δεν ήταν σημαντικές.

Πίνακας 4. Μεταβολή με τον χρόνο της οργανικής ουσίας, του ποσοστού, της σταθερότητας στη διαβροχή και της διαπερατότητας στο φως (θρόμβωση αργίλου) των 2-1mm συσσωματωμάτων

	Ημέρες επώασης							
	1	7	14	28	42	56	71	86
Οργανική ουσία (%)								
K1	2,28 a	2,57 a	2,37 a	2,32 b	2,65 c	2,65 bc	1,87 b	2,00 ab
K2	2,01 a	2,41 a	2,18 a	2,24 b	2,26 b	2,39 b	2,10 c	2,18 bc
K3	2,27 a	2,40 a	2,31 a	2,39 b	2,71 c	2,77 c	2,39 d	2,22 c
M	1,99 a	2,11 a	1,93 a	1,86 a	1,76 a	1,84 a	1,62 a	1,89 a
Ποσοστό συσσωματωμάτων 2-1mm (% κ.β.)								
K1	27,69 a	31,12 b	30,85 c	27,30 a	28,88 a	25,06 a	25,93 a	26,78 a
K2	25,70 a	30,22 b	29,89 bc	28,68 a	28,57 a	26,70 a	27,44 a	28,44 a
K3	26,63 a	26,52 a	27,33 ab	28,28 a	27,73 a	25,57 a	26,19 a	26,75 a
M	24,97 a	25,27 a	25,35 a	26,18 a	27,17 a	26,03 a	26,77 a	26,18 a
Σταθερότητα συσσωματωμάτων στη διαβροχή (%)								
K1	44,44 a	68,66 c	62,48 a	73,58 b	71,78 ab	82,56 b	76,31 a	87,72 a
K2	57,44 b	66,76 bc	71,53 b	78,28 b	77,98 c	82,81 b	74,74 a	88,78 a
K3	47,91 a	65,21 ab	66,25 a	74,00 b	74,93 bc	84,56 b	74,98 a	88,89 a
M	59,06 b	61,90 a	62,26 a	65,65 a	67,44 a	66,81 a	71,35 a	87,12 a
Διαπερατότητα στο φως (%)								
K1	47,25 a	47,40 a	53,90 a	62,70 b	63,15 a	67,20 ab	68,00 ab	75,35 b
K2	62,30 c	63,45 b	64,80 c	63,05 b	70,05 b	74,20 b	71,85 b	73,80 b
K3	54,70 b	57,55 b	65,65 c	63,15 b	70,50 b	73,15 b	68,95 b	68,95 a
M	64,80 c	62,20 b	61,30 b	60,20 a	65,55 a	62,50 a	64,10 a	69,65 a

Μέσοι όροι μέσα σε μία στήλη, που ακολουθούνται από ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικά σημαντικά.

3.2.3. Σταθερότητα συσσωματωμάτων 2-1 mm στη διαβροχή

Την πρώτη ημέρα της επώασης, η προσθήκη των δύο ώριμων κόπρων με χαμηλό C/N (K1, K3), αρχικά υποβαθμίζει σημαντικά τη σταθερότητα των συσσωματωμάτων. Παροδική μείωση της ΣΣ αμέσως μετά την ενσωμάτωση κόπρου χοίρων και πουλερικών στο έδαφος παρατήρησαν οι Barbosa et al. (2015). Στη συνέχεια και έως την 56^η ημέρα της επώασης, η προσθήκη και των τριών ειδών κόπρου οδήγησε σε σταδιακή αύξηση της ΣΣ σε σχέση με το μάρτυρα, η οποία στις περισσότερες περιπτώσεις ήταν σημαντική (Πίνακας 4). Σε αυτό το χρονικό διάστημα, για τις K2 και K3 βρέθηκε θετική γραμμική συμμεταβολή της ΣΣ με την O.Ou. (K2: $y = 69,97x - 65,74 R^2 = 0,89$ και K3: $y = 30,17x - 10,22 R^2 = 0,76$). Η μεγαλύτερη κλίση και ο μεγαλύτερος συντελεστής προσδιορισμού της K2 δείχνει ότι αυτή η κόπρος με το υψηλότερο C/N, είναι η πλέον ικανή στη σταθεροποίηση των συσσωματωμάτων.

Ο χρόνος επώασης επηρέασε επίσης τη δυναμική της συσσωμάτωσης καθώς παρατηρήθηκε αύξηση της ΣΣ με τον χρόνο σε όλες τις μεταχειρίσεις, συμπεριλαμβανομένου του μάρτυρα, έτσι ώστε στο τέλος της επώασης να μην υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους (Πίνακας 4). Παρόμοια αποτελέσματα αναφέρουν οι Wuddivira et al. (2009) για τρία διαφορετικά εδάφη.

3.2.4. Θρόμβωση της αργίλου

Η μείωση της διαπερατότητας στο φως που παρατηρήθηκε στην αρχή της επώασης μετά την προσθήκη των πλέον ώριμων K1 και K3 σε σχέση με τον μάρτυρα, δείχνει σημαντική

μείωση της θρόμβωσης (αύξηση της διασποράς). Οι Barbosa et al. (2015) επίσης παρατήρησαν μικρής χρονικής διάρκειας διασπορά της αργίλου αμέσως μετά την ενσωμάτωση κόπρου χοίρων και πουλερικών στο έδαφος. Από την 28^η ημέρα και ως το τέλος της επώασης παρατηρήθηκε αύξηση της θρόμβωσης για όλες τις μεταχειρίσεις με κόπρο, η οποία ήταν σημαντική για τις K2 και K3 (Πίνακας 4). Η μικρότερη συμβολή της K1 στη θρόμβωση της αργίλου πιθανώς οφείλεται στην αυξημένη περιεκτικότητά της σε Na⁺ (Πίνακας 1). Από την 7^η έως την 56^η ημέρα, για τις K2 και K3 βρέθηκε θετική γραμμική συμμεταβολή της θρόμβωσης της αργίλου με την O.Ou. (K2: $y = 44,45x - 32,57$ $R^2 = 0,75$ και K3: $y = 26,06x + 0,78$ $R^2 = 0,91$).

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ενσωμάτωση κόπρου πουλερικών (K1), αιγοπροβάτων (K2) και βοοειδών (K3), σε ένα μέσης κοκκομετρικής σύστασης γεωργικό έδαφος κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες, προκάλεσε αύξηση της συγκέντρωσης του N στο έδαφος με την σειρά K2>K3>K1. Ο διαφορετικός ρυθμός ανοργανοποίησης του N οφείλονταν στον διαφορετικό λόγο C/N των κόπρων. Η προσθήκη και των τριών κόπρων προκάλεσε ακινητοποίηση του P και του K που πιθανόν να οφείλεται εκτός της δράσης των μικροοργανισμών, και στην ύπαρξη CaCO₃ και στο είδος της αργίλου του εδάφους. Και οι τρείς κόπροι συνέβαλλαν στην αύξηση του οργανικού άνθρακα των μακροσυσσωματωμάτων (2-1 mm). Το ύψος και η διάρκεια με τον χρόνο αυτής της αύξησης καθορίζεται από τον λόγο C/N των κόπρων και όχι από την περιεκτικότητα τους σε οργανικό C. Στην αρχή της επώασης, οι κόπροι K1 και K2 συνέβαλλαν στο σχηματισμό 2-1 mm συσσωματωμάτων. Για τις κόπρους K2 και K3, βρέθηκε θετική συμμεταβολή της σταθερότητας στη διαβροχή και της θρόμβωσης αργίλου των 2-1 mm συσσωματωμάτων με τον οργανικό C.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abiven, S., Menasseri, S. and Chenu, C., 2009. *The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability – A literature analysis*. Soil Biol. & Bioch., 41, 1-12.
- Alizadeh, P., Fallah, S. and Raiesi, F., 2012. *Potential N mineralization and availability to irrigated maize in calcareous soil amend with organic manures and urea under field conditions*. Int. J. of Plant Produc. 6, 493-512.
- Ayuso, M., Pascual, J.A., García, C. and Hernandez, T., 1996. *Evaluation of urban wastes for agricultural use*. Soil Sci. Plant Nutr. 42, 105–111.
- Azeez, J. O., van Averbeke W., 2010. *Nitrogen mineralization potential of three animal manures applied on sandy clay loam soil*. Bioresour. Technol. 101, 5645-5651.
- Barbosa, G.M., de Oliveira, J.F., Miyazawa, M., Ruiz, D.B. and Filho, J.T., 2015. *Aggregation and clay dispersion of an oxisol treated with swine and poultry manures*. Soil & Til. Res., 146, 279-285.
- Bossuyt, H., Denef, K., Six, J., Frey, S.D., Merckx, R. and Paustian, K., 2001. *Influence of microbial populations and residue quality on aggregate stability*. Soil App. Ecol., 16, 195-208.
- Gilly, J.E. and Eghball, B., 2002. *Residual effects of compost and fertilizer applications on nutrients in runoff*. Trans. ASAE 45, 1905–1910.
- Gilly, J.E. and Risso, M., 2000. *Runoff and soil loss as affected by the application of manure*. Trans. ASAE 43, 1583–1588.
- Le Guillou, C., Angers, D.A., Leterme, P. and Menasseri-Aubry, S., 2011. *Differential and successive effects of residue quality and soil mineral N on water-stable aggregation during crop residue decomposition*. Soil Biol. & Bioch., 43, 1955-1960.

- Navarro Pedreno, J., Moral, R., Gomez, I. and Mataix, J., 1996. Reducing nitrogen losses by decreasing mineral fertilisation in horticultural crops in eastern Spain. Agric. Ecosyst. Environ. 59, 217–221.
- Nimmo, J.R. and Perkins, K.S., 2002. Aggregate stability and size distribution. In: Methods of Soil Analysis, Part 4: SSSA. Madison, Wisconsin, U.S.A., 317-328.
- Olsen, S. R. and Sommers, L. E., 1982. *Phosphorus*. pp 403-430. In: Page, A. L., R. M. Miller, D. R. Keeney (eds). Methods of soil analysis, Part 2. Chemical and microbiological properties. 2nd edition. Agronomy monograph Number 9. Agronomy Society of America, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.
- Pansu, M. and Thuries, L., 2003. Kinetics of C and N mineralization, N immobilization and N volatilization of organic inputs in soil. Soil Biol. and Bioch. 35, 37-48.
- Qiu, S., McComb, A.J. and Bell, R.W., 2008. Ratios of C, N and P in soil water direct microbial immobilisation-mineralization and N availability in nutrient amended sandy soils in southwestern Australia. Agric. Ecosyst. Environ. 127, 93–99.
- Soumare, M., Tack, F.M.G. and Verloo, M.G., 2003. Effects of a municipal solid waste compost and mineral fertilization on plant growth in two tropical agricultural soils of Mali. Bioresour. Technol. 86, 15–20.
- Thellier, C. and Sposito, C., 1989. Influence of Electrolyte Concentration and Exchangeable Cations on the Flocculation of Silver Hill Illite. Soil Sci. Soc. Am. J., 53, 711-715.
- Thomas, G. W., 1982. Exchangeable cations. pp 159-164. In: D. R. Keeney (ed.) Methods of soil analysis. 2nd ed. SSSA, Madison, WI.
- Tisdall, J.M. and Oades, J.M., 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. J. Soil Sci., 33, 141-163.
- Walkley, A. and Black, I. A., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37: 29-38.
- Wuddivira, M.N., Stone, R.J. and Ekwue, E.I., 2009. Structural Stability of Humid Tropical Soils as Influenced by Manure Incorporation and Incubation Duration. Soil Sci. Soc. Am. J., 73, 1353-1360.

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΑΝΑΠΛΑΣΗΣ ΛΑΤΟΜΕΙΟΥ ΑΠΟ ΠΑΡΑΠΡΟΪΟΝΤΑ ΠΥΡΟΛΟΥΣΙΤΗ

Μ. Αληφραγκή¹, Μ. Ορφανουδάκης², Α. Παυλάτου-Βε^{1,✉}

¹Εργαστήριο Εδαφολογίας, Γεωπονική Σχολή, Α.Π.Θ., 54124 Θεσσαλονίκη, ✉ ave@agro.auth.gr

²Τμήμα Δασολογίας & Διαχείρισης Περιβάλλοντος & Φυσικών Πόρων Δ.Π.Θ. Ορεστιάδα

Περίληψη

Για την ανάπλαση λατομικού χώρου ασβεστόλιθου χρησιμοποιήθηκε υποστρώμα κάλυψης που αποτελείτο από μίγμα παραπροϊόντων πυρολουσίτη (MnO_2). Στον υπό κάλυψη χώρο φυτεύτηκαν τρία δασικά είδη πεύκο, κυπαρίσσι και σπάρτο. Σκοπός της μελέτης αυτής ήταν να μελετηθεί η ανάπτυξη της βιολογικής δραστηριότητας στο μίγμα κάλυψης. Ως μάρτυρας (M) χρησιμοποιήθηκε το μίγμα κάλυψης. Η μελέτη διήρκεσε 3 έτη. Κατά το 2^ο έτος δεν παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά των δεικτών μικροβιακής δραστηριότητας ως προς τον M, ενώ το 3^ο έτος παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση ως προς το 2^ο έτος, της εδαφικής αναπνοής, των φωσφατάσων (ΦΑ, ΦΟ), του οργανικού C, της Ι.Α.Κ. και της ΣΣ (%). Στα δασικά είδη που φυτεύτηκαν η σειρά της θνησιμότητάς των αυξάνεται σπάρτο < πεύκο < κυπαρίσσι ενώ το μέσο ύψος των φυτών ελαττώνεται σπάρτο > κυπαρίσσι > πεύκο.

Λέξεις κλειδιά: Παραπροϊόντα πυρολουσίτη (MnO_2), Μικροβιακή δραστηριότητα, Σταθερότητα συσσωματωμάτων, Ανάπτυξη δασικών φυτών

BIOLOGICAL ACTIVITY DEVELOPMENT OF PYROLUSITE'S BY-PRODUCTS SUBSTRATE FOR QUARRY RESTORATION

M. Alifragki^{1,✉}, M Orfanoudakis², A. Pavlatou-Ve^{1,✉}

¹Laboratory of Soil Science, School of Agriculture, A.U.Th., 54124 Thessaloniki, Greece,

✉ ave@agro.auth.gr

²Department of Forestry and Management of the Environment and Natural Resources, D.U.Th., Orestiada, Greece

Abstract

For the regeneration of the limestone quarry area we used a plant growth medium consisting of a mixture of pyrolusite by-products (MnO_2). The purpose of this study was to investigate the development of biological activity in the substrate. In the experimental area we planted three forest species: pine, cypress and broom. As a control (M) we used the substrate mixture that covers the area. The study lasted for 3 years. During the second year, no significant difference found in microbial activity indicators relative to (M), whilst in the 3rd year there was observed a significant increase relative to the 2nd year for soil respiration, phosphatases (ALP, APs), organic C, CEC, and soil aggregate stability (%). The mortality rate of forest plants species increased as follows: broom < pine < cypress and the average plant height decrease was broom > cypress > pine.

Key words: Pyrolusite by-products (MnO_2), Microbial activity, Aggregate stability, Forest plant growth

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η λατομική δραστηριότητα έχει συνδεθεί με τις οικονομικές και κοινωνικές ανάγκες του ανθρώπου και έχει συμβάλλει στην εξέλιξη του πολιτισμού. Οι δραστηριότητες αυτές προκαλούν μεταβολές στο τοπίο, αλλοιώνουν τα βασικά του χαρακτηριστικά του (μορφή, σχήμα, υφή, χρώμα) και υποβαθμίζουν τα στοιχεία του περιβάλλοντος (Μπρόφας, 1989). Η επαναφορά των εκτάσεων αυτών στην προηγούμενη κατάσταση του τοπίου αποτελεί το ζητούμενο κάθε προσπάθειας αποκατάστασης.

Ωστόσο, σημαντικό πρόβλημα αποτελεί η εύρεση εδάφους για την κάλυψη των διαταραγμένων επιφανειών. Κατά καιρούς έχουν χρησιμοποιηθεί πολλών ειδών υλικά που τα περισσότερα από αυτά είναι παραπροϊόντα άλλων δραστηριοτήτων. Τα υλικά αυτά αναμιγνύονται με οργανικά υλικά για να αυξηθεί η βιολογική δραστηριότητα του μίγματος του υποστρώματος (Anikwe, 2000; Lordan et al., 2013) με σκοπό την ανάπτυξη αυτοφυούς φυτικής κάλυψης.

Η οργανική ουσία και η μικροβιακή δραστηριότητα μπορούν να θεωρηθούν δείκτες που σχετίζονται με τη διαδικασία αύξησης της ποιότητας του μίγματος υποστρώματος για την αποκατάσταση των χώρων των λατομείων (Schafer et al., 1979). Ως μικροβιακή δραστηριότητα συμπεριλαμβάνονται η ενζυμική δραστηριότητα (Stroo and Jencks, 1982), η εδαφική αναπνοή (Lawrey, 1977; Visser et al., 1983) και η μικροβιακή βιομάζα, που κατά τους Visser et al., 1983 βρίσκεται σε χαμηλότερα επίπεδα σε μίγματα εδαφών αποκατάστασης λατομείων σε σχέση με φυσικά εδάφη (Insam and Domsch, 1988). Οι ιδιότητες αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν δείκτες για την αύξηση της ποιότητας του υποστρώματος-εδάφους.

Άλλοι δείκτες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αύξηση της ποιότητας του υποστρώματος κάλυψης είναι κάποιες φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους όπως η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (I.A.K.) και η σταθερότητα των συσσωματωμάτων στη διαβροχή, που επηρεάζονται από την παρούσια της οργανικής ουσίας στο έδαφος και της βιολογικής δραστηριότητας (Skujins and Richardson, 1985; Karami et al., 2012; Gul et al., 2015).

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν να ερευνηθεί η ανάπτυξη βιολογικής δραστηριότητας σε μίγμα κάλυψης ανάπλασης ενός λατομικού χώρου που αποτελείται από παραπροϊόντα πυρολουσίτη, στην διάρκεια τριών ετών. Ως βιολογική δείκτες προσδιορίζονται η μικροβιακή βιομάζα, ο ρυθμός εδαφικής αναπνοής (Anderson and Domsch, 1978), οι φωσφατάσεις (όξινες και αλκαλικές) και ο προσδιορισμός μερικών φυσικοχημικών ιδιοτήτων του εδάφους, όπως η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (I.A.K.) και η σταθερότητα των συσσωματωμάτων στη διαβροχή, που επηρεάζονται από την ύπαρξη της βιολογικής δραστηριότητας. Παράλληλα μελετάται η ανάπτυξη τριών δασικών φυτών που εγκαταστάθηκαν παράλληλα με το μίγμα του υποστρώματος, στην υπό μελέτη περιοχή.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η πειραματική επιφάνεια βρίσκεται σε λατομείο ασβεστόλιθου, στην Βόρειο Ελλάδα ($40^{\circ}44'96.21''\text{W}$ και $23^{\circ}04'13.34''\text{A}$). Για την κάλυψη λατομικού χώρου και την ταυτόχρονη εγκατάστασης βλάστησης δημιουργήθηκε μίγμα κάλυψης που αποτελείτο από παραπροϊόντα ηλεκτρολυτικής επεξεργασίας πυρολουσίτη (MnO_2) (Πίνακας 1) σε ποσοστό 70%, άμμο σε ποσοστό 10% (για την βελτίωση των συνθηκών αερισμού του μίγματος), έδαφος σε ποσοστό 10% (για τον εφοδιασμό με τους απαραίτητους μικροοργανισμούς), και 10% ρυζοφλοιό (για την αύξηση της οργανικής ουσίας και τη βελτίωση της βιολογικής

δραστηριότητας του μίγματος). Για την εγκατάσταση βλάστησης ο υπό μελέτη χώρος χωρίσθηκε σε 6 τετράγωνα (10m x 10m). Με τυχαία επιλογή φυτεύτηκαν 3 δασικά φυτικά είδη σε δύο επαναλήψεις (2 τετράγωνα για κάθε φυτικό είδος). Τα είδη που χρησιμοποιήθηκαν ήταν: πεύκο (*Pinus brutia*), κυπαρίσσι (*Cupressus sempervirens*) και σπάρτο (*Spartium junceum*), 36 φυτά για κάθε είδος, σε κάθε τετράγωνο. Η εγκατάσταση του πειράματος στο λατομικό χώρο έγινε τον Απρίλιο του 2011. Ως μάρτυρας (M) λαμβάνεται η πρώτη δειγματοληψία (1^η) του μίγματος κάλυψης που έγινε τον Μάιο του ίδιου έτους. Ακολούθησαν άλλες δύο δειγματοληψίες τον Μάρτιο του 2012 (2^η) και τον Απρίλιο του 2013 (3^η). Σε κάθε δειγματοληψία έγιναν 6 επαναλήψεις.

Στα δείγματα αυτά προσδιορίστηκε το ποσοστό (%) υγρασίας (Αλεξιάδης, 1977), η μικροβιακή βιομάζα (Rowell, 1994), ο ρυθμός της εδαφικής αναπνοής (Rowell, 1994), το ποσοστό του οργανικού άνθρακα (OC) με τη μέθοδο της υγρής οξείδωσης (Nelson and Sommers, 1982), η σταθερότητα των συσσωματωμάτων στη διαβροχή (Kemper and Rosenau, 1986), η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (Thomas, 1982) και οι ξηρές φωσφατάσες [όξινες, pH=6,5 (ΦΟ) και αλκαλικές pH=11 (ΦΑ), Tabatabai, 1994].

Στο τέλος του δεύτερου έτους (φθινόπωρο 2012) μετρήθηκε το ποσοστό (%) θνησιμότητας και το ύψος των φυτών που χρησιμοποιήθηκαν για την εγκατάσταση βλάστησης στην λατομική περιοχή.

Πίνακας 1. Χημική σύσταση παραπροϊόντων ηλεκτρολυτικής επεξεργασίας πυρολουσίτη

pH	Υδατοδιαλυτό Mn %	Διαλυτό Mn (σε H ₂ SO ₄) %	Fe %	Ca %	Al %	SiO ₂ %	K %
7,96	Μη ανιχνεύσιμο	12,13	9,60	9,89	5,04	5,16	0,97

Η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων έγινε με ανάλυση διακύμανσης κατά ένα παράγοντα (ANOVA) του προγράμματος Statgraphics. Ο έλεγχος των σημαντικών διαφορών έγινε με τη δοκιμασία της ελάχιστης σημαντικής διαφοράς (LSD-test), για επίπεδο σημαντικότητας 95% (p<0,05).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Το ποσοστό υγρασίας των δειγμάτων του μίγματος κάλυψης (Πίνακας 2) παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές στα 3 έτη, εξαρτώμενο από τις καιρικές συνθήκες που επικρατούσαν στην περιοχή τις περιόδους που έγιναν οι δειγματοληψίες.

Πίνακας 2. Φυσικοχημικές ιδιότητες του μίγματος κάλυψης

Δειγματοληψία	Υγρασία %	Οργ.C (OC) %	I.A.K. cmol _c /kg	σταθερότητα συσσωματωμάτων %
				%
1 ^η (M)	30,7c	0,68c	75,9ab	85,47ab
2 ^η	20,6b	0,28a	53,8a	85,20a
3 ^η	17,2a	0,55b	73,9b	86,00b

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζεται το ποσοστό του οργανικού C (OC) στο μίγμα κάλυψης κατά τα τρία έτη. Ο OC στον M (1^η δειγ.) ήταν 0,68% και ελαττώθηκε, ως αναμένετε λόγω διάσπασης του ρυζοφλοιού, στην 2^η δειγ. στο 0,28%. Ωστόσο, στην 3^η δειγ. έτοις υπήρξε

αύξηση του ποσοστού (0,55%) ως προς την προηγούμενη δειγμ. (2^η). Οι τιμές αυτές διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους και δείχνουν την αύξηση του (OC) λόγω της ανάπτυξης φυτικής βλάστησης και της διάσπασης του ρυζοφλοιού. Την ίδια τάση με τον OC ακολούθησε και η I.A.K. Οι τιμές της I.A.K. για το (M) (1^η δειγ.), τη 2^η και 3^η δειγμ. ήταν 75,9, 53,8 και 73,9 cmol_c/kg μίγματος, αντίστοιχα, και διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους.

Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται οι δείκτες της μικροβιακής-βιολογικής δραστηριότητας του μίγματος κάλυψης κατά τα τρία έτη. Αν και οι τιμές για την μικροβιακή βιομάζα δεν διεφέραν στατιστικά σημαντικά για τις τρείς δειγματοληψίες, ωστόσο παρατηρήθηκε τάση ελαττώσης στην 2^η (72,10 µg C/g) και 3^η (90,38 µg C/g) δειγμ. σε σχέση με τον M (1^η δειγ.) (120,19 µg C/g). Στην 3^η δειγμ. όμως σημειώθηκε αύξηση της μικροβιακής βιομάζας σε σχέση με τη 2^η δειγμ. Οι μεταβολές της μικροβιακής βιομάζας με το χρόνο σχετίζονται με τις μεταβολές των δύο χημικών ιδιοτήτων, OC και I.A.K., του μίγματος κάλυψης, όπως υποστηρίζουν και οι Gul et al. (2015).

Πίνακας 3. Δείκτες μικροβιακής – βιολογικής δραστηριότητας

Δειγμ.	Μικροβιακή βιομάζα µg C/g	Βασική αναπνοή (24h) µg CO ₂ -C/g	ΣCO ₂ -C εδαφικής αναπνοής µg CO ₂ -C/g	Φ. A µg p-νιτροφαινόλη h ⁻¹ g ⁻¹	Φ.Ο.
1 ^η (M)	120,19a	78,80a	381,20ab	46,88a	102,70a
2 ^η	72,10a	88,47a	408,93a	133,32b	52,48a
3 ^η	90,38a	95,47b	452,35b	155,01c	251,30b

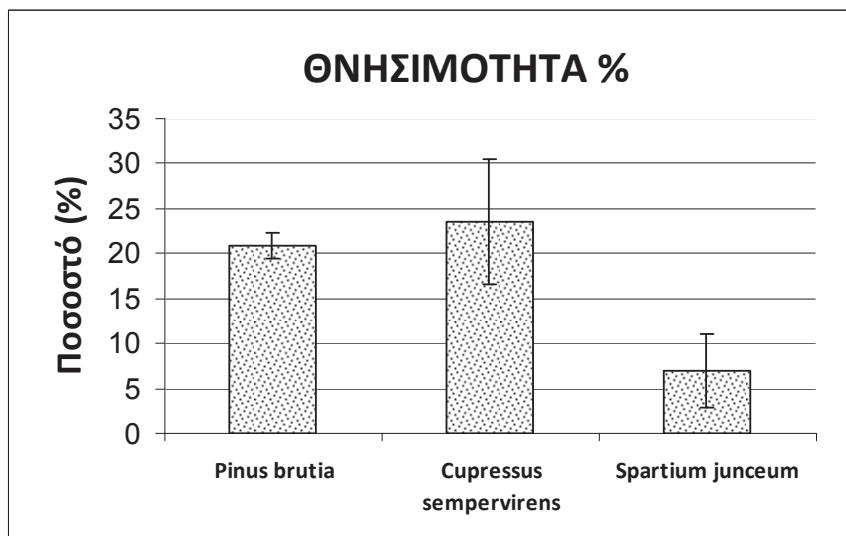
Μελετώντας τις υπόλοιπες βιολογικές ιδιότητες (Πίνακας 3) που προσδιορίσθηκαν βασική αναπνοή (CO₂-C που εκλύθηκε σε 24 h), εδαφική αναπνοή (συνολικό CO₂-C που εκλύθηκε) και αλκαλικές και όξινες φωσφατάσες, προέκυψε ότι για τις ιδιότητες αυτές υπήρξε αύξηση των τιμών τους με το χρόνο. Από τα δείγματα του M (1^η δειγ.), της 2^{ης} και της 3^{ης} δειγμ. κατά την βασική αναπνοή, εκλύθηκαν 78,80, 88,47 και 95,47 (µg CO₂-C/g) αντίστοιχα, με στατιστικά σημαντικά διαφορά μεταξύ του M και της 3^{ης} δειγμ. Από την εδαφική αναπνοή εκλύθηκαν 381,20, 408,93 και 452,35 (µg CO₂-C/g) για το M, 2^η και 3^η δειγμ. αντίστοιχα. Οι τιμές του CO₂-C από την εδαφική αναπνοή διέφεραν στατιστικά σημαντικά για της 2^{ης} και 3^{ης} δειγμ., αλλά όχι με το M.

Ξεκάθαρη αύξηση με το πέρασμα του χρόνου παρατηρήθηκε για τις αλκαλικές φωσφατάσες (ΦΑ), με στατιστικά σημαντικές διαφορές για τα τρία έτη. Έτσι, οι τιμές (ΦΑ) διαμορφώθηκαν ως εξής: για το M 46,88 (µg p-νιτροφαινόλη h⁻¹ g⁻¹), 133,32 (µg p-νιτροφαινόλη h⁻¹ g⁻¹) την 2^η δειγμ. και 155,01 (µg p-νιτροφαινόλη h⁻¹ g⁻¹) για την 3^η δειγμ. Η αύξηση αυτή των αλκαλικών φωσφατασών δείχνει την αύξηση των μικροοργανισμών και την αύξηση της ενζυμικής τους δραστηριότητα (Hebrien and Neal, 1990). Σημαντική αύξηση παρατηρήθηκε και στις όξινες φωσφατάσες κατά το 3^ο έτος, από 102,70 σε 251,30 (µg p-νιτροφαινόλη h⁻¹ g⁻¹) για τον M και 3^η δειγμ. αντίστοιχα. Αυτό μπορεί να οφείλεται κατά τους George et al. (2002) είτε στην ανάπτυξη του ριζικού συστήματος των φυτών, είτε στην διέγερση της μικροβιακής βιομάζας λόγω προσθήκης οργανικής ύλης. Οι τιμές των φωσφατασών ΦΑ και ΦΟ κατά το 3^ο έτος είναι εντός του εύρους των τιμών φωσφατασών που προσδιόρισαν οι Eivazi and Tabatabai (1967) εξετάζοντας διάφορους τύπους εδαφών.

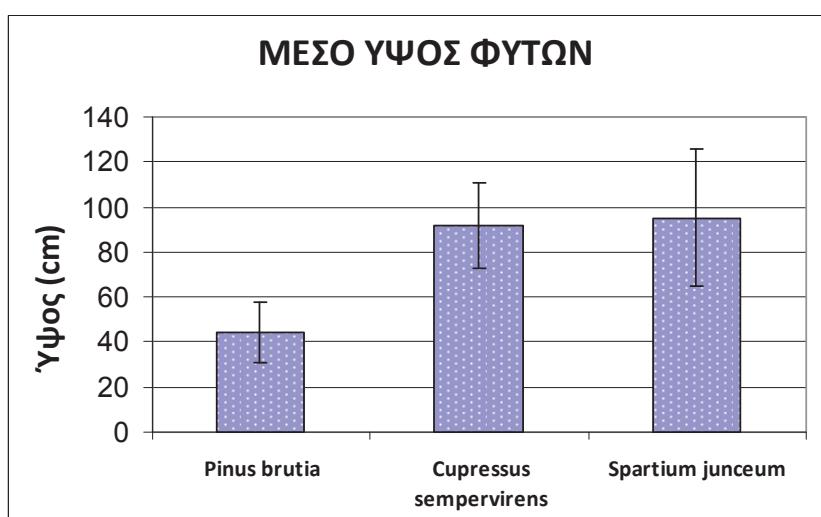
Με την εγκατάσταση των δασικών φυτών και την ακόλουθη εμφάνιση αυτοφυούς βλάστησης στην πειραματική επιφάνεια υπήρξε αύξηση του ποσοστού σταθερότητας συσσωματωμάτων (Σ.Σ.) στη διαβροχή (Πίνακας 2). Το 3^ο έτος το ποσοστό έφτασε στο 86 %,

με στατιστικά σημαντική διαφορά έναντι του ποσοστού του 2^{ου} έτους (85,20 %). Η αύξηση της μικροβιακής δραστηριότητας καθώς και η αύξηση του ΟC κατά το 3^ο έτος φαίνεται να επηρέασε τη σταθερότητα των συσσωματωμάτων στη διαβροχή (Karami et al., 2012).

Δυόμιση χρόνια μετά την εγκατάσταση του πειράματος (φθινόπωρο 2012) μετρήθηκε το ύψος των φυτών ανά δασικό είδος και υπολογίσθηκε το % θνησιμότητάς τους. Η σειρά της θνησιμότητας αυξάνεται σπάρτο < πεύκο < κυπαρίσσι με τιμές 6,94, 20,83 και 23,61, % (Σχήμα 1) ενώ το μέσο ύψος των φυτών ελαττώνεται σπάρτο< κυπαρίσσι< πεύκο με τιμές 95,19 cm, 91,95 cm και 44,4 cm αντίστοιχα (Σχήμα 2). Από τη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων ύψους των φυτών φάνηκε ότι τα μέσα ύψη για το κυπαρίσσι και το σπάρτο διαφέρουν στατιστικά από το μέσο ύψος των πεύκων. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι για τα 2 πρώτα έτη το σπάρτο αναπτύχθηκε καλύτερα από τα άλλα δύο είδη, με το μικρότερο ποσοστό θνησιμότητας και την μεγαλύτερη ανάπτυξη σε ύψος. Το κυπαρίσσι αν και είχε αύξηση ύψους, το ποσοστό θνησιμότητάς (23,61 %) του είναι το μεγαλύτερο. Τέλος, το πεύκο υστέρησε σε ανάπτυξη τα 2 πρώτα έτη και παρουσίασε κι αυτό σημαντικό ποσοστό θνησιμότητας.



Σχήμα 1. Μέσος όρος θνησιμότητας (%) των τριών δασικών ειδών δυόμιση χρόνια μετά την μεταφύτευση τους στην περιοχή κάλυψης του λατομείου.



Σχήμα 2. Το μέσο ύψος των τριών δασικών ειδών δυόμιση χρόνια μετά την μεταφύτευση τους στην περιοχή κάλυψης του λατομείου.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η μικροβιακή δραστηριότητα του μίγματος κάλυψης, από μίγμα παραπροϊόντων πυρολουσίτη (MnO_2), για την ανάπλαση λατομικού χώρου ασβεστόλιθου άρχισε να αυξάνεται κατά το 3^ο έτος της εγκατάστασης του με παράλληλη αύξηση της αυτοφυούς βλάστησης (αύξηση του ΟC, εδαφικής αναπνοής, βιομάζας μικροοργανισμών και αλκαλικών και όξινων φωσφατασών). Παρατηρήθηκε ακόμη αύξηση της ΙΑΚ καθώς και της σταθερότητας των συσσωματωμάτων στη διαβροχή. Το ύψος των φυτών από τα δασικά φυτικά είδη που φυτεύτηκαν παράλληλα με την εγκατάσταση του μίγματος κάλυψης ελαττώνονταν με την σειρά σπάρτο > κυπαρίσσι > πεύκο με τιμές 95,19 cm, 91,95 cm και 44,4 cm αντίστοιχα ενώ η σειρά της θνησιμότητας των αυξάνεται σπάρτο < πεύκο < κυπαρίσσι με τιμές 6,94, 20,83 και 23,61 %.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αλεξιάδης, Κ., 1977. *Φυσική και Χημική Ανάλυση του Εδάφους*, Θεσσαλονίκη.
- Anderson, J. P. E. and Domsch, H., 1978. *A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soil*. Soil Biology & Biochemistry, 10, 215-221.
- Anikwe, M.A.N., 2000. *Amelioration of a heavy clay loam soil with rice husk dust and its effect on soil physical properties and maize yield*. Bioresource Technology, 74, 169–173.
- George, T.S., Gregory, P.J., Wood, M., Read, D. and Buresh, R.J., 2002. *Phosphatase activity and organic acids in the rhizosphere of potential agroforestry species and maize*. Soil Biology & Biochemistry, 34, 1487-1494.
- Eivazi, F. and Tabatabai, M.A., 1977. *Phosphatases in soils*. Soil Biology & Biochemistry, 9, 167-172.
- Gul, S., Whalen, J.K., Thomas, B.W., Sachdeva, V. and Deng, H., 2015. *Physico-chemical properties and microbial responses in biochar-amended soils: Mechanisms and future directions*. Agriculture, Ecosystems and Environment, 206, 46-59.
- Herbien, S.A. and Neal, J.L., 1990. *Soil pH and phosphatase activity*. Communications on Soil Science and Plant Analysis, 21:5-6, 439-456.
- Insam, H. and Domsch, K.H., 1988. *Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites*. Microbial Ecology, 15, 177-188.
- Karami, A., Homaei, M., Afzalinia, S., Ruhipour, H. and Basirat, S., 2012. *Organic resource management: Impacts on soil aggregate stability and other soil physico-chemical properties*. Agriculture, Ecosystems and Environment, 148, 22-28.
- Kemper, W.D. and Rosenau, R.C., 1986. *Aggregate Stability and Size Distribution*. In: A. Klute (Editor), *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods*. Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin USA, 425-442 pp.
- Lawrey, J.D., 1977. *The relative decomposition potential of habitats variously affected by surface of coal mining*. Canadian Journal of Botany, 55, 1544-1552.
- Lordan, J., Pascual, M., Fonseca, F., Villar, J.M. and Rufat, J., 2013. *Use of rice husk to enhance peach tree performance in soils with limiting physical properties*. Soil & Tillage Research, 129, 19-22.
- Μπρόφας, Γ. 1989. *Προστασία του Περιβάλλοντος στη Μεταλλευτική, στη Μεταλλουργία και στην Τεχνολογία Υλικών*. Διδακτικές Σημειώσεις. Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών. Ε.Μ.Π. Αθήνα.
- Nelson, D.W. and Sommers, L.E., 1982. *Total carbon, organic carbon, and organic matter*. In: A.L. Page, R.H. Miller, and D.R. Keeney (Editors), *Methods of soil analysis, Part 2. Chemical and microbial properties*. Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin USA, 565-573 pp.

- Rowell, D.L., 1994. *Soil Science: Methods and Applications. Section 3.2 The measurement of microbial biomass*. Longman Group UK, Limited, Harlow, UK., 46-48 pp.
- Schafer, W.M., Nielsen, G.A., Dollhopf, D.J. and Temple, K., 1979. *Soil genesis, hydrological properties, root characteristics and microbial activity of 1-to 50-year-old strip mine spoils*. EPA-600/7-79-100. U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, 233 pp.
- Skuijins, J. and Richardson, B.Z., 1985. *Humic matter enrichment in reclaimed soils under semiarid conditions*. Geomicrobiology Journal, 4, 299-311.
- Stroo, H.F. and Jencks, E.M., 1982. *Enzyme activity and respiration in minesoils*. Soil Science Society of American Journal, 46, 548-553.
- Tabatabai, M.A., 1994. *Soil enzymes*. In: R.W. Weaver, J.S. Angle and P.S. Bottomley (Editors), *Methods of Soil Analysis, Part 2. Microbiological and Biochemical Properties*. SSSA Book Series, No 5. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin USA, 775-859 pp.
- Thomas, G.W., 1982. *Exchangeable cations*. In A.L. Page (Editor), *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*, 2nd edition. Agronomy Monograph. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, Wisconsin USA, 159-164 pp.
- Visser, S., Griffiths, C.L. and Parkinson, D., 1983. *Effects of surface mining on the microbiology of a prairie site in Alberta, Canada*. Canadian Journal of Soil Science, 63, 177-189.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΙΛΥΟΣ ΣΕ ΑΓΡΟΥΣ ΤΗΣ ΠΕΔΙΑΔΑΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Ε. Λεκάκης^{1,✉}, Π. Τζιαχρής¹, Κ. Ζαμπέτογλου², Ε. Μεταξά¹, Φ. Παπαδόπουλος¹

¹ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ, Ινστιτούτο Εδαφοϋδατικών Πόρων, 57001, Θέρμη, Θεσσαλονίκη,

✉ elekakis@agro.auth.gr

²Εταιρεία Ύδρευσης - Αποχέτευσης Θεσσαλονίκης.

Περίληψη

Σκοπός της εργασίας είναι η αξιολόγηση της χρήσης της ασβεστοποιημένης ιλύος στη γεωργία, από την Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων Θεσσαλονίκης της ΕΥΑΘ στη Σίνδο. Η εφαρμογή της ιλύος έγινε σε 203 αγρούς της πεδιάδας Θεσσαλονίκης και μελετήθηκαν το pH, η περιεκτικότητα σε θρεπτικά στοιχεία (N, P, K), η οργανική ουσία και το CaCO₃. Στατιστική ανάλυση πραγματοποιήθηκε πριν και μετά την εφαρμογή ιλύος και εξετάστηκαν τρεις ομάδες εδάφους, ανάλογα με το pH. Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι η εφαρμογή της ασβεστοποιημένης ιλύος αύξησε τη συγκέντρωση του P στο έδαφος, διατήρησε το K στα αρχικά επίπεδα, ενώ δεν υπήρξε σαφής τάση για το NO₃-N. Επιπλέον, αυξήθηκε το pH και το CaCO₃ στα όξινα εδάφη, ενώ δεν παρατηρήθηκε αξιόλογη μεταβολή στην οργανική ουσία του εδάφους.

Λέξεις Κλειδιά: Ασβεστοποιημένη ιλύς, Γεωργική αξιοποίηση, Εδαφοβελτιωτικό

RESULTS FROM THE AGRICULTURAL UTILIZATION OF SEWAGE SLUDGE IN FIELDS OF THE THESSALONIKI PLAIN – GREECE

E. Lekakis^{1,✉}, P. Tziachris¹, K. Zambetoglou², I. Metaxa¹, F. Papadopoulos¹

¹HAO- "DIMITRA", Institute of Soil and Water Resources - Greece, ✉ elekakis@agro.auth.gr

²Thessaloniki Water Supply and Sewerage CO.SA,

Abstract

The aim of this study is the evaluation of the agricultural utilization of sewage sludge from the waste water treatment plant of Thessaloniki – Greece, in 203 fields of the Thessaloniki Plain. The amended soils chemical properties, as affected by the application of a single dose of sewage sludge, were evaluated over a one-year period. Data on pH, organic matter, CaCO₃, N, P and K before the application of sewage sludge in 2013 and after the wheat growing period in 2014, were statistically analyzed in three soil groups according to the pH. Results showed that the lime stabilized sewage sludge, increased the concentration of P, maintained K in the same levels as the initial soil status, while there was not a clear trend for NO₃-N. Also, the pH was raised significantly in the acidic soil group, CaCO₃ in all soil groups, while the organic matter was not affected.

Keywords: Sewage sludge application, Soil amendment, Nutrients, Lime stabilization

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σύμφωνα με τον Εθνικό και Ευρωπαϊκό κανονισμό, το 80% περίπου των λυμάτων που παράγονται στην Ελλάδα υφίστανται βιολογική επεξεργασία με σκοπό την προστασία του περιβάλλοντος (Mathioudakis et al., 2013). Η λυματολάσπη ή ιλύς, αποτελεί ένα από τα τελικά προϊόντα της επεξεργασίας των λυμάτων. Η απόρριψη της ιλύος σε χώρους υγειονομικής ταφής δεν αποτελεί μία βιώσιμη μακροπρόθεσμη λύση και η τάση σε Ευρωπαϊκό και παγκόσμιο επίπεδο, είναι η προώθηση της ανακύκλωσης και κομποστοποίησης της ιλύος, αλλά και η παραγωγή ενέργειας μέσω της καύσης. Η κύρια μέθοδος επαναχρησιμοποίησης της ιλύος που παράγεται από αστικά λύματα, είναι η διάθεσή της σε αγρούς ως βελτιωτικό του εδάφους ή ως λίπασμα (Andreadakis et al., 2002). Η ιλύς συνήθως περιέχει υψηλά επίπεδα οργανικής ουσίας (10% έως και >20%) και είναι πλούσια σε άζωτο και φώσφορο, που είναι βασικά θρεπτικά στοιχεία για την ανάπτυξη των φυτών (Antoniadis, 2008). Σύμφωνα με μελέτες, η εφαρμογή της ιλύος τόσο σε δασολιβαδικά, όσο και σε αγρο-οικοσυστήματα, απέδειξε τις ευεργετικές της ιδιότητες στην βελτίωση της γονιμότητας του εδάφους (Mosquera-Losada et al., 2001; Cuevas et al., 2003; Suchkova et al., 2010). Πολλές χώρες της Ευρώπης, της Ασίας, αλλά και οι Η.Π.Α., αξιοποιούν την ιλύ για γεωργικούς σκοπούς. Η διάθεση της ιλύος στην Ελλάδα παραμένει ένα σημαντικό πρόβλημα αφού παρά την υιοθέτηση της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 86/278/ΕC (CEC, 1986) για τη γεωργική αξιοποίηση της ιλύος, στην ουσία η χρήση της είναι περιορισμένη. Στην εργασία αυτή μελετήθηκε η επίδραση εφαρμογής της ασβεστοποιημένης ιλύος, από την Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων Θεσσαλονίκης (ΕΕΛΘ), σε 203 αγρούς της πεδιάδος Θεσσαλονίκης, στον εμπλούτισμό των αγρών σε θρεπτικά στοιχεία (Ν, Ρ, Κ), οργανική ουσία και στην βελτίωση των συνθηκών ανάπτυξης, μέσω της αύξησης του pH στα όξινα εδάφη.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η ΕΕΛΘ εξυπηρετεί περίπου ένα εκατομμύριο κατοίκους, επεξεργάζοντας ημερησίως 170.000-180.000 m³ υγρών αστικών λυμάτων. Η επεξεργασία των λυμάτων περιλαμβάνει εσχάρωση, εξάμμωση, πρωτοβάθμια καθίζηση, χωρίς τη χρήση χημικών πρόσθετων, συμβατική επεξεργασία της ενεργοποιημένης ιλύος και προσθήκη χλωρίου για την απολύμανση των εκροών (Katsoyiannis and Samara, 2007). Η παραγόμενη ιλύς, που αποτελεί μίγμα ιλύος από δεξαμενές πρωτογενούς καθίζησης και ενεργοποιημένης ιλύος από αερόβιες δεξαμενές, προκύπτει από αναερόβια χώνευση, πάχυνση και αφυδάτωση, με αποτέλεσμα το τελικό προϊόν να περιέχει 20-22% συγκέντρωση στερεών (Suchkova et al., 2010).

Το νερό των επεξεργασμένων λυμάτων διατίθεται, μέσω υποθαλάσσιου αγωγού, στο Θερμαϊκό κόλπο. Η παραγόμενη ιλύς αρχικά μεταφερόταν στον XYTA Ταγαράδων, ενώ από το 2006 σταθεροποιούνταν με ασβέστη και συσσωρεύοταν σε χώρους εντός της ΕΕΛΘ. Από το 2012 λειτουργεί στην ΕΕΛΘ μονάδα θερμικής ξήρανσης της καθημερινά παραγόμενης αφυδατωμένης ιλύος, διεργασία ιδιαίτερα ενεργοβόρα και δαπανηρή.

Από το 2010 μέχρι σήμερα, με πρωτοβουλία της ΕΥΑΘ, διατίθενται ποσότητες της ασβεστοποιημένης ιλύος για γεωργικούς σκοπούς στην πεδιάδα της Θεσσαλονίκης. Η διάθεση αυτή γίνεται με βάση τις οδηγίες της KYA 80568/4225/91 και περιλαμβάνει τον εργαστηριακό έλεγχο, τόσο της ιλύος όσο και του εδάφους του αγρού, που πρόκειται να δεχθεί την ιλύ. Οι παράμετροι, που προσδιορίζονται εργαστηριακά, είναι οι εξής: μηχανική σύσταση, pH, ηλεκτρ. αγωγιμότητα (EC), ανθρ. ασβέστιο (CaCO₃), οργ. ουσία, νιτρικό άζωτο (NO₃-N), φώσφορος (P), κάλιο (K), εναλλ. μαγνήσιο και ασβέστιο (Mg, Ca), βόριο (B),

σίδηρος (Fe), ψευδάργυρος (Zn), μαγγάνιο (Mn), χαλκός (Cu), κάδμιο (Cd), κοβάλτιο (Co), χρώμιο (Cr), νικέλιο (Ni) και μόλυβδος (Pb). Οι εργαστηριακοί αυτοί έλεγχοι γίνονται στο Ινστιτούτο Εδαφοϋδατικών Πόρων του ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ (πρώην Ινστιτούτο Εδαφολογίας Θεσσαλονίκης του ΕΘΙΑΓΕ), όπως ρητά ορίζεται από την υπόψη KYA.

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής ελήφθησαν υπόψη τα αποτελέσματα των εδαφικών αναλύσεων 203 τυχαίων αγρών της πεδιάδας Θεσσαλονίκης. Τα δείγματα ελήφθησαν το φθινόπωρο του 2013 και η ιλύς εφαρμόστηκε μια φορά, την περίοδο Νοεμβρίου – Δεκεμβρίου 2013. Οι ποσότητες της εφαρμοσμένης ιλύος, ανά ξηρό βάρος, κυμαίνονταν από 2 έως 18 Mg ha^{-1} , με την πλειοψηφία να βρίσκεται πάνω από τα 9 Mg ha^{-1} και με μέση τιμή τα 10 Mg ha^{-1} . Η καλλιέργεια ήταν κυρίως σιτάρι. Για τη μελέτη της επίδρασης της ιλύος, δείγματα ελήφθησαν από τους ίδιους αγρούς κατά το φθινόπωρο του 2014, ένα έτος μετά την εφαρμογή της ιλύος. Τα δείγματα ελήφθησαν από βάθος 0–30 cm.

Η ποσότητα της ιλύος που εφαρμόστηκε, εκτιμήθηκε λαμβάνοντας υπόψη την αρχική περιεκτικότητα του εδάφους σε βασικά θρεπτικά στοιχεία (N, P, K), το pH και το CaCO_3 . Επίσης, ελήφθη υπόψη η Ευρωπαϊκή οδηγία 86/278/ΕC που αφορά στις συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στο έδαφος. Ακολουθώντας τη συνήθη γεωργική πρακτική, εφαρμόστηκαν συμβατικά λιπάσματα, αλλά σε μικρότερες ποσότητες, σύμφωνα με τις συστάσεις λίπανσης. Το Ινστιτούτο Εδαφοϋδατικών Πόρων του ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ (πρώην Ινστιτούτο Εδαφολογίας Θεσσαλονίκης, IEΘ), ανέπτυξε ένα λογισμικό για την εκτίμηση της ποσότητας της ιλύος, που μπορεί να διατεθεί ανά αγρό, ανάλογα με τις αρχικές συνθήκες του εδάφους. Το λογισμικό αυτό, εκτιμά επίσης την ποσότητα του συμβατικού λιπάσματος που πρέπει να εφαρμοστεί, επιπλέον της ιλύος, για την κάλυψη των αναγκών των φυτών.

Τα δείγματα αναλύθηκαν σε τέσσερις επαναλήψεις για τον προσδιορισμό των χημικών ιδιοτήτων. Η οργανική ουσία προσδιορίστηκε βαρυμετρικά από την απώλεια μάζας με καύση στους 240°C για 4 h, το CaCO_3 προσδιορίστηκε με τη μέθοδο των Loeppert and Suarez (1996), η συγκέντρωση του $\text{NO}_3\text{-N}$ προσδιορίστηκε σε φασματοφωτόμετρο, το K με τη μέθοδο του οξικού αμμωνίου σε pH 7 και ο διαθέσιμος P με τη μέθοδο Olsen. Τα δείγματα εδάφους αεροξηράνθηκαν, κοσκινίστηκαν στα 2 mm και αναλύθηκαν για τον προσδιορισμό των φυσικοχημικών ιδιοτήτων με τις ίδιες μεθόδους όπως παραπάνω, εκτός από την οργανική ουσία, που προσδιορίστηκε με τη μέθοδο της υγράς καύσης.

Για τη στατιστική ανάλυση, τα εδάφη χωρίστηκαν σε τρεις ομάδες (Α, Β και Γ), ανάλογα με την τιμή του pH. Το εύρος του pH στις ομάδες Α, Β και Γ ήταν 5,00 – 6,50 ($n=49$ δείγματα), 6,55 – 7,50 ($n=83$ δείγματα) και 7,51 – 7,97 ($n=71$ δείγματα), αντίστοιχα. Τα περισσότερα εδάφη ήταν μέσης κοκκομετρικής σύστασης (Sandy Clay Loam και Clay Loam). Στα αποτελέσματα των εδαφικών αναλύσεων πριν την εφαρμογή της ιλύος (2013) και μετά την πάροδο ενός έτους (2014), εφαρμόσθηκε ANOVA ($p<0,05$), για τον εντοπισμό στατιστικά σημαντικών διαφορών και για την αξιολόγηση της επίδρασης της ιλύος στη θρεπτική κατάσταση του εδάφους.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Οι μέσες τιμές των χημικών ιδιοτήτων και η περιεκτικότητα σε θρεπτικά στοιχεία της ιλύος, που εφαρμόστηκε στους αγρούς κατά το 2013, παρουσιάζονται στον Πίνακα 1. Τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης για την αξιολόγηση της μεταβολής των χημικών ιδιοτήτων πριν και μετά την εφαρμογή της ιλύος, παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.

Από τον Πίνακα 1 προκύπτει ότι 1 Mg ιλύος (ξ.β.) προσθέτει στο έδαφος 194 Kg οργανικής ουσίας, 321 Kg CaCO_3 και περίπου 3 Kg N, 0,7 Kg P_2O_5 και 0,6 Kg K_2O . Έτσι, με την εφαρμογή μίας μέσης ποσότητας των 20 Mg ha^{-1} ιλύος (ξ.β.), οι απαιτήσεις σε λίπασμα

Πίνακας 1. Μέσες τιμές των χημικών ιδιοτήτων της Ιλύος κατά το 2013

Παράμετρος	Ιλύς	Kg που προστίθενται με την Ιλύ (ανά Mg ξ.β.)
Ποσοστό Ξηρού Βάρους (%)	55,5	
pH	8,2	
Οργανική Ουσία (%)	19,4	194
CaCO ₃ (%)	32,1	321
NO ₃ ⁻ (gkg ⁻¹ ξ.β.)	2,85	2,85 [†]
NH ₄ ⁺ (gkg ⁻¹ ξ.β.)	0,06	0,06 [†]
Total N (gkg ⁻¹ ξ.β.)	11,52	2,30 [‡]
Olsen-P (gkg ⁻¹ ξ.β.)	0,29	0,29 [†]
K (gkg ⁻¹ ξ.β.)	0,49	0,49 [†]

[†]διαθέσιμες μορφές

[‡]το 20% του ολικού N ανοργανοποιείται κατά το πρώτο έτος της εφαρμογής (Sommers et al., 1981)

Πίνακας 2. Στατιστική ανάλυση των μέσων χημικών ιδιοτήτων των τριών ομάδων εδαφών, πριν (φθινόπωρο 2013) και μετά (φθινόπωρο 2014) την εφαρμογή Ιλύος

Παράμετρος	Ομάδα Εδαφών Α (pH = 5,00-6,50)		Ομάδα Εδαφών Β (pH = 6,55-7,50)		Ομάδα Εδαφών Γ (pH = 7,51-7,97)	
	πριν	μετά	πριν	μετά	πριν	μετά
pH	5,77a ¹	6,62b	7,10a	7,32b	7,72a	7,74a
Οργανική Ουσία (%)	1,52a	1,48a	1,69a	1,82a	1,62a	1,65a
CaCO ₃ (%)	0,50a	1,85b	2,60a	4,10b	6,30a	8,07b
NO ₃ -N (mgkg ⁻¹ ξ.β.)	9,21a	8,62a	12,45a	9,66b	11,68a	9,10b
Olsen-P (mgkg ⁻¹ ξ.β.)	17,18a	25,58b	22,16a	24,95a	11,25a	22,72b
K (mgkg ⁻¹ ξ.β.)	109,39a	105,43a	155,71a	145,89a	160,81a	158,69a

¹Αποτελέσματα ANOVA. Διαφορετικά γράμματα αποτελούν ένδειξη στατιστικά σημαντικών διαφορών πριν και μετά την εφαρμογή της Ιλύος στις εδαφικές ομάδες, για επίπεδο εμπιστοσύνης 0,05.

αζώτου για την καλλιέργεια του σιταριού, μειώνονται περίπου στο μισό. Συνεπώς, η γεωργική εφαρμογή της Ιλύος συμβάλλει στη σταδιακή αύξηση της οργανικής ουσίας και στη γονιμότητα του εδάφους, όπως επιβεβαιώνεται και από πολλές εργασίες (Guo et al., 2012; Nogueira et al., 2013; Tsadilas et al., 2014). Από τη στατιστική ανάλυση δεν προκύπτουν σαφείς πληροφορίες όσον αφορά το NO₃-N, που εμφανίζεται μειωμένο μετά από ένα έτος εφαρμογής της Ιλύος, ως αποτέλεσμα της πρόσληψης από την καλλιέργεια και την έκπλυση υπό την επίδραση των βροχών. Οι Corrêa et al. (2006) παρατήρησαν ότι το 20% περίπου του NO₃-N, που προήλθε από ασβεστοποιημένη Ιλύ, εκπλύνεται κάτω από τα πρώτα 20 cm του εδάφους, ωστόσο, εκτίμησαν ότι ο κίνδυνος της ρύπανσης των υπόγειων νερών με NO₃-N, από την εφαρμογή έως 8 Mg ha⁻¹ (ξ.β.) Ιλύος, είναι ιδιαίτερα περιορισμένος. Οι Corrêa et al. (2012) αναφέρουν ότι η σταθεροποίηση της Ιλύος πριν την γεωργική εφαρμογή της, σε γενικές γραμμές, επιβραδύνει την απελευθέρωση ανόργανου αζώτου στο έδαφος, ο ρυθμός της οποίας εξαρτάται κυρίως από τον τύπο του εδάφους.

Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 2, στατιστικά σημαντικές διαφορές εντοπίζονται στη συγκέντρωση του P στις ομάδες Α και Γ, όπου παρατηρείται αύξηση του στοιχείου, ενώ

στην ομάδα Β ο διαθέσιμος P παραμένει αμετάβλητος με μικρή αύξηση. Στατιστικά σημαντικές διαφορές δεν παρατηρούνται στην περίπτωση του Κ πριν και ένα έτος μετά τη διάθεση της ιλύος. Από τη μελέτη των Willett et al. (1986) προκύπτει ότι ο P που προστίθεται με σταθεροποιημένη με ασβέστη ιλύ είναι κατά 49% το ίδιο αποτελεσματικός με αυτόν που προστίθεται με συμβατικά λιπάσματα, στην αύξηση του διαθέσιμου στο έδαφος P για την κάλυψη των αναγκών των φυτών. Οι Christie et al. (2001) αναφέρουν καλύτερες αποδόσεις κριθαριού με την εφαρμογή ασβεστοποιημένης ιλύος σε σχέση με τη συμβατική λίπανση καλίου και φωσφόρου. Οι ερευνητές αποδίδουν τα αποτελέσματα τόσο στην αύξηση του pH, αλλά και στη σταδιακή απελευθέρωση του φωσφόρου. Μάλιστα, αναφέρουν ότι ο P ήταν εξίσου διαθέσιμος στην καλλιέργεια, όσο και ο P συμβατικού λιπάσματος. Από την άλλη μεριά, οι Li et el. (2012) επισημαίνουν ότι η εφαρμογή της ιλύος σε μια καλλιέργεια δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί με κύριο σκοπό την πλήρη κάλυψη των αναγκών σε N μιας καλλιέργειας, γιατί υπάρχει κίνδυνος υπερχορήγησης φώσφορου στο έδαφος.

Από τον Πίνακα 2 προκύπτει ότι οι τιμές του pH παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές πριν και μετά την εφαρμογή της ιλύος στις ομάδες εδαφών Α και Β, αλλά όχι στην Γ. Στην ομάδα Α των όξινων εδαφών, το pH αυξήθηκε κατά περίπου 0,81 μονάδες (15%) και στην ομάδα Β των ουδέτερων εδαφών, κατά 0,21 μονάδες (3%). Στην ομάδα Γ των αλκαλικών εδαφών, το pH παρέμεινε το ίδιο χωρίς στατιστικά σημαντικές διαφορές. Η αύξηση του pH αποδίδεται στις υψηλές συγκεντρώσεις CaCO₃ της εφαρμοζόμενης ιλύος. Πράγματι, η συγκέντρωση του CaCO₃ αυξήθηκε μετά την εφαρμογή της ιλύος και στα τρία εδάφη, με στατιστικά σημαντικές διαφορές. Οι Tsadilas et al. (1995), επίσης, παρατήρησαν αύξηση του pH σε ένα όξινο έδαφος με την εφαρμογή ιλύος. Από την άλλη μεριά, η ρυθμιστική ικανότητα των εδαφών της τρίτης ομάδας διατήρησε το εδαφικό pH στα αρχικά επίπεδα, με ασήμαντη αύξηση περίπου 0,03 μονάδες. Οι Akrivos et al. (2000) εφάρμοσαν ασβεστοποιημένη ιλύ σε αλκαλικά εδάφη και παρατήρησαν ότι η αύξηση στο εδαφικό pH δεν ήταν μεγαλύτερη από 0,2 μονάδες.

Η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές στα τρία εδάφη, μετά από ένα έτος εφαρμογής της ιλύος, πιθανόν λόγω: 1) της μικρής ποσότητας ιλύος που εφαρμόσθηκε (~10 Mg ha⁻¹) και 2) των υψηλών ρυθμών αποσύνθεσης. Οι Mendoza et al. (2006) παρατήρησαν αύξηση στην οργανική ουσία κατά 1-2% μετά την εφαρμογή 100 Mg ha⁻¹ ιλύος, πριν την εγκατάσταση της καλλιέργειας. Ωστόσο, οι ερευνητές αναφέρουν ότι μετά την ανάπτυξη των φυτών δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στην παράμετρο αυτή σε σχέση με την αρχική κατάσταση του εδάφους. Το γεγονός αυτό αποδόθηκε σε ποιοτικούς μετασχηματισμούς που επηρεάζουν την οργανική ουσία. Οι Merrington et al. (2003) επισήμαναν ότι η ανοργανοποίηση των εύκολα αποικοδομήσιμων κλασμάτων της οργανικής ουσίας της ιλύος από εδαφικά μικρόβια είναι γρήγορη και διαρκεί ορισμένες εβδομάδες, ανάλογα με τις εδαφικές και περιβαλλοντικές συνθήκες. Οι Willett et al. (1986) σύγκριναν την απόδοση φυτών με εφαρμογή ασβεστοποιημένης ιλύος και συμβατικού λιπάσματος και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι αποδόσεις ήταν υψηλότερες με την εφαρμογή ιλύος, γεγονός που το απέδωσαν στη βελτίωση των φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί ότι σύμφωνα με τους Tziachris et al. (2015), η εφαρμογή της ιλύος αυτής δεν αυξάνει τη συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων στο έδαφος. Μάλιστα, η στατιστική ανάλυση που πραγματοποίησαν οι ερευνητές έδειξε ότι τα βαρέα μέταλλα μειώνονται στο έδαφος, ένα έτος μετά την εφαρμογή ιλύος, πιθανόν λόγω του σχηματισμού συμπλόκων, αλλά και της αύξησης του εδαφικού pH.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η γεωργική αξιοποίηση της ιλύος προτείνεται κατά προτεραιότητα από τον Εθνικό Σχεδιασμό της Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων, καθώς αποσκοπεί στον εμπλουτισμό των εδαφών με θρεπτικά συστατικά και οργανική ουσία, αλλά και στην προστασία των γεωργικών εκτάσεων από την διάβρωση. Σε αυτή την εργασία μελετήθηκε η επίδραση της γεωργικής εφαρμογής ασβεστοποιημένης ιλύος από την ΕΕΛΘ, σε 203 αγρούς της πεδιάδας Θεσσαλονίκης. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η ιλύς αυξάνει τη γονιμότητα του εδάφους παρέχοντας ικανοποιητικές ποσότητες Ν και μικρότερες σε P και K, περιορίζοντας κατά αυτό τον τρόπο την εφαρμογή συμβατικών λιπασμάτων στον αγρό και μειώνοντας τις οικονομικές εισροές στην παραγωγή. Επιπλέον, η εφαρμογή της ιλύος βελτιώνει τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους με την παροχή οργανικής ουσίας και CaCO₃, εξασφαλίζοντας έτσι ευνοϊκές συνθήκες ανάπτυξης για τα φυτά, ιδιαίτερα σε όξινα εδάφη. Τελικά, αποδεικνύεται ότι η γεωργική αξιοποίηση της ιλύος, όταν πραγματοποιείται οργανωμένα και υπό συνεχής ελέγχους, αποτελεί έναν αποτελεσματικό και οικονομικό τρόπο για την εκμετάλλευση των ευνοϊκών χαρακτηριστικών των παραπροϊόντων της επεξεργασίας των αστικών λυμάτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Akrivos, J., Mamais, D., Katsara, K. and Andreadakis, A., 2000. *Agricultural utilization of lime treated sewage sludge*. Water Science and Technology, 42(9), 203-210.
- Andreadakis, A.D., Mamais, D., Gavalaki, E. and Kampylafka, S., 2002. *Sludge utilization in agriculture: possibilities and prospects in Greece*. Water Science and Technology, 46(10), 231-238.
- Antoniadis, V., 2008. *Sewage sludge application and soil properties effects on short-term zinc leaching in soil columns*. Water Air and Soil Pollution, 190, 35-43.
- CEC (Council of the European Communities), 1986. Council Directive of 12 June 1986 on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture (86/278/EEC). Official Journal of the European Communities N°. L 181/6-12.
- Christie, P., Easson, D.L., Picton, J.R. and Love, S.C.P., 2001. *Agronomic value of alkaline-stabilized sewage biosolids for spring barley*. Agronomy Journal, 93(1), 144-151.
- Corrêa, R.S., White, R.E. and Weatherley A.J., 2012. *Effects of sewage sludge stabilization on organic-N mineralization in two soils*. Soil Use and Management, 28(1), 12-18.
- Correa, R.S., White, R.E. and Weatherley, A.J., 2006. *Risk of nitrate leaching from two soils amended with biosolids*. Water Resources, 33(4), 453-462.
- Cuevas, G., Martínez, F. and Walter, I., 2003. *Field-grown maize (Zea mays L.) with composted sewage sludge. Effects on soil and grain quality*. Spanish Journal of Agricultural Research, 1(3), 111-119.
- Guo, M., Song, W. and Kazda, R., 2012. *Fertilizer value of lime-stabilized biosolids as a soil amendment*. Agronomy Journal, 104(6), 1679-1686.
- Katsoyiannis, A. and Samara, C., 2004. *Persistent organic pollutants (POPs) in the sewage treatment plant of Thessaloniki, northern Greece: occurrence and removal*. Water Research, 38, 2685–2698.
- Li, Q., Li, J.M., Cui, X.L., Wei, D.P. and Ma, Y.B., 2012. *On-Farm assessment of biosolids effects on nitrogen and phosphorus accumulation in soils*. Journal of Integrative Agriculture, 11(9), 1545-1554.
- Loeppert, R.H. and Suarez, G.L., 1996. *Carbonates and Gypsum*. In, Sparks D.L. (Editor), Methods of soil analysis. Part 3, Chemical methods. Madison, Wisconsin, USA.

- Mathioudakis, V.L., Kapagiannidis, A.G., Athanasoulia, E., Paltzoglou, A.D., Melidis, P. and Aivasidis, A., 2013. *Sewage sludge solar drying: Experiences from the first pilot-scale application in Greece*. Drying Technology: An International Journal, 31, 519-526.
- Mendoza, J., Garrido, T., Castillo, G. and San Martin, N., 2006. *Metal availability and uptake by sorghum plants grown in soils amended with sludge from different treatments*. Chemosphere, 65(11), 2304-2312.
- Merrington, G., Oliver, I., Smernik, R.J. and McLaughlin, M.J., 2003. *The influence of sewage sludge properties on sludge-borne metal availability*. Advances in Environmental Research, 8(1), 21-36.
- Mosquera-Losada, M.R., López-Díaz, M.L. and Rigueiro-Rodriguez, A., 2001. *Sewage sludge fertilisation of a silvopastoral system with pines in northwestern Spain*. Agro forestry Systems, 53, 1-10.
- Nogueira, T.A.R., Franco, A., He, Z., Braga, V.S., Firme, L.P. and Abreu-Junior, C.H., 2013. *Short-term usage of sewage sludge as organic fertilizer to sugarcane in a tropical soil bears little threat of heavy metal contamination*. Journal of Environmental Management, 114, 168-177.
- Sommers, L.E., Parker, C.F. and Meyers, G.J., 1981. *Volatilization, plant uptake and mineralization of nitrogen in soils treated with sewage sludge*. Technical Reports. Paper 133. Indiana Water Resources Research Center, Purdue University, West Lafayette, IN.
- Suchkova, N., Darakas, E. and Ganoulis, J., 2010. *Phytoremediation as a prospective method for rehabilitation of areas contaminated by long-term sewage sludge storage: A Ukrainian–Greek case study*. Ecological Engineering, 36, 373-378.
- Tsadilas, C., Samaras, V., Evangelou, E. and Shaheen, S.M., 2014. *Influence of fly ash and sewage sludge application on wheat biomass production, nutrients availability and soil properties*. International Journal of Coal Science and Technology, 1(2), 221-226.
- Tsadilas, C.D., Matsi, T., Barbayiannis, N. and Dimogiannis, D., 1995. *Influence of sewage sludge application on soil properties and on the distribution and availability of heavy metal fractions*. Communication in Soil and Plant Analysis, 26(15-16), 2603-2619.
- Tziachris, P., Lekakis, E., Zambetoglou, K., Metaxa, I. and Papadopoulos, F., 2015. *Application of sewage sludge and influence on soil properties and heavy metal availability. A case study in the Thessaloniki Plain – Greece*. Proceedings of the 14th International Conference on Environmental Science and Technology, September 3-5 2015, Rhodes, Greece. In Press.
- Willett, I.R., Jakobsen, P. and Malafant, K.W.J., 1986. *Fertilizer and liming value of lime-treated sewage sludge*. Fertilizer research, 8(3), 313-328.

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΠΡΟΣΧΩΣΗ ΠΕΔΙΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ

A. Καστρίδης[✉], Δ. Στάθης

¹Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων, Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος Α.Π.Θ.,
54124 Θεσσαλονίκη, [✉]akastrid@for.auth.gr

Περίληψη

Η παρούσα εργασία ασχολείται με την υποβάθμιση του εδάφους και την πρόσχωση των πεδινών περιοχών στην περιοχή της λίμνης Βόλβης και πιο συγκεκριμένα, στη λεκάνη απορροής της Νέας Απολλωνίας. Σκοπός της έρευνας είναι να εκτιμηθεί η επίδραση των χρήσεων γης των τελευταίων 60 χρόνων, στην απώλεια εδάφους και την πρόσχωση των πεδινών περιοχών και της λίμνης Βόλβης. Η δασική βλάστηση αυξήθηκε τα τελευταία 60 χρόνια κατά 3%, η οποία συνοδεύτηκε με παράλληλη ποιοτική αναβάθμιση των θαμνώνων. Παρατηρήθηκε μείωση της μέσης ετήσιας διάβρωσης του εδάφους κατά 15%, όπως υπολογίστηκε με το μοντέλο του Gavrilovic, ενώ παράλληλα έχει μειωθεί ο ρυθμός επέκτασης του δέλτα του χειμάρρου. Τα αποτελέσματα αναδεικνύουν τον πολύ σημαντικό ρόλο της δασικής βλάστησης στην προστασία και διατήρηση των εδαφικών πόρων και την επιτακτική ανάγκη περιορισμού της διάβρωσης και της διαδικασίας ερημοποίησης.

Λέξεις κλειδιά: Διάβρωση εδάφους, Ερημοποίηση, Μοντέλο Gavrilovic, Χρήσεις γης

THE INFLUENCE OF VEGETATION ON SOIL DEGRADATION AND ALLUVIATION OF LOWLANDS

A. Kastridis[✉], D. Stathis

Laboratory of Mountainous Water Management Control, Faculty of Forestry and Natural Environment Aristotle University of Thessaloniki, 54124 Thessaloniki, [✉]akastrid@for.auth.gr

Abstract

The present research work undertakes a study on soil degradation and alluviation in Volvi lake area and specifically, in N. Apollonia watershed. The study was focused on the estimation of the land use changes in the research area, over the last 60 years, and how these changes influence the sedimentation and alluviation rate. According to Gavrilovic model, the mean annual sedimentation was decreased approximately 15% between the years 1945 and 2007. This reduction could be caused by the increase of 3% of the forested area in combination with the improvement of scrublands quality. Additionally, comparing the periods 1945-1971 and 1971-2007, a significant decrease in the extent of torrential delta was recorded. The impact of vegetation on soil protection was clearly demonstrated, since as it was evidenced, a land use change of small extent or a vegetation quality enhancement could slow down the erosion process.

Key words: Desertification, Erosion, Gavrilovic model, Land use changes

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διάβρωση, η μεταφορά και απόθεση των φερτών υλών καθορίζεται από πέντε παράγοντες, α) τη βλάστηση, β) το μητρικό υλικό του εδάφους, γ) το κλίμα και δ) το ανάγλυφο του εδάφους, οι οποίοι αλληλεπιδρούν με την (ε) ανθρώπινη δραστηριότητα (Στεφανίδης, 2004). Οι χρήσεις γης είναι ο βασικός παράγοντας, ο οποίος επηρεάζεται άμεσα από τον άνθρωπο, με θετικό ή αρνητικό τρόπο.

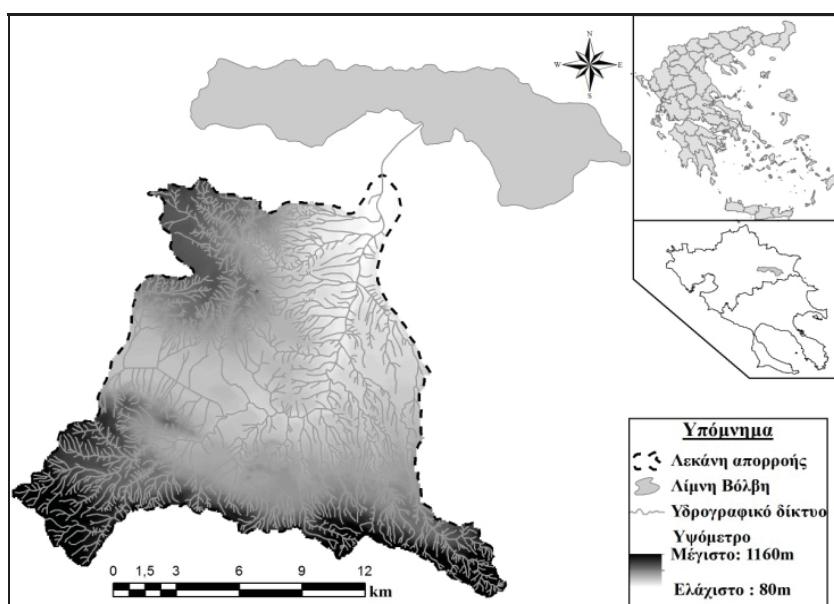
Η παρούσα εργασία ασχολείται με την υποβάθμιση του εδάφους της λεκάνης απορροής της Νέας Απολλωνίας και την πρόσχωση των πεδινών περιοχών. Η ευρύτερη περιοχή της Βόλβης αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς υγροβιότοπους της Ελλάδας και βρίσκεται κάτω από την προστασία της Συνθήκης "Ramsar". Τα τελευταία 60 χρόνια παρατηρείται σχετικά έντονη διάβρωση του εδάφους της λεκάνης απορροής της Ν. Απολλωνίας, γεγονός που δημιουργεί την ανάγκη να ερευνηθούν τα αίτια που βρίσκονται πίσω από την υποβάθμιση του εδάφους, έτσι ώστε να βρεθούν λύσεις για το πρόβλημα και να προστατευτεί αποτελεσματικά ο ανεκτίμητης αξίας υγροβιότοπος της Βόλβης.

Στην προσπάθεια να εντοπισθούν και να αναλυθούν τα αίτια της διάβρωσης, προσδιορίστηκε ο ρυθμός διάβρωσης του εδάφους, εκτιμήθηκαν οι αλλαγές στις χρήσεις γης κατά την περίοδο 1945-2007, ενώ γίνεται προσπάθεια να συσχετισθεί ο ρυθμός διάβρωσης με τις αλλαγές χρήσεων γης, παίρνοντας υπόψη επίσης τα μετεωρολογικά δεδομένα, το ανάγλυφο και το μητρικό υλικό του εδάφους της περιοχής έρευνας.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

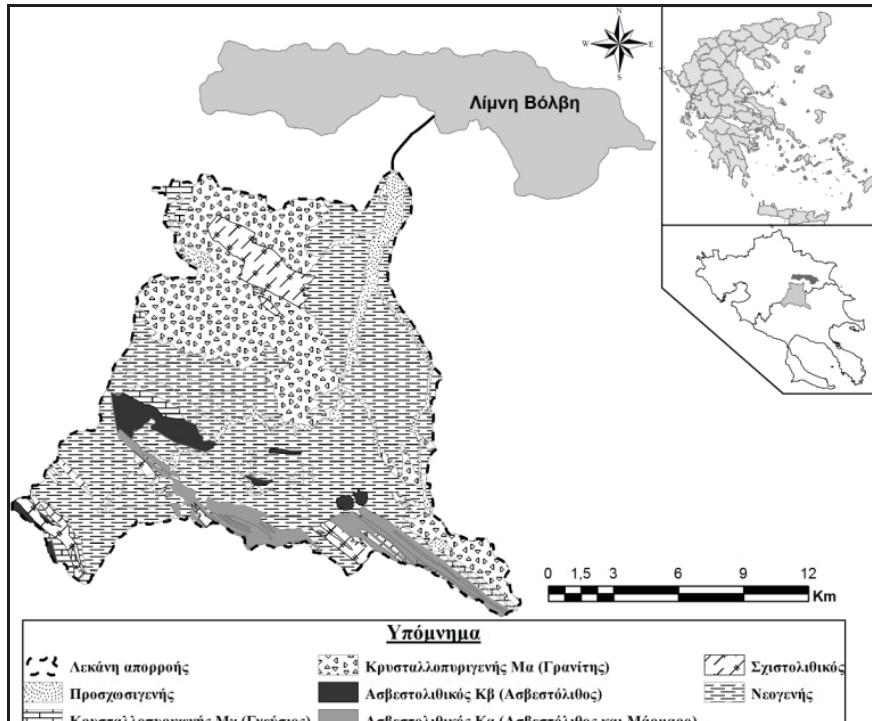
2.1. Περιοχή έρευνας

Η περιοχή έρευνας βρίσκεται στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας, στις Περιφερειακές Ενότητες Θεσσαλονίκης και Χαλκιδικής (Σχήμα 1). Η λεκάνη απορροής της Ν. Απολλωνίας έχει έκταση $245,39 \text{ km}^2$, το μέγιστο και ελάχιστο υψόμετρο είναι 1060 m και 80 m αντίστοιχα, ενώ η μέση κλίση είναι σχετικά ήπια με μέση τιμή 20% περίπου. Η μέση ετήσια βροχόπτωση αντιστοιχεί σε 590 mm και η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι στους $11,5^\circ\text{C}$. Οι κυριότεροι γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής (Σχήμα 2) είναι ιζηματογενείς (ασβεστόλιθος, άργιλος), πυριγενείς (γρανίτης) και μεταμορφωμένοι (γνεύσιος).



Σχήμα 1. Περιοχή έρευνας.

Η περιοχή καλύπτεται κυρίως από αγροτικές εκτάσεις και λιγότερο από θαμνώνες και δάσος. Η Βόλβη είναι η δεύτερη μεγαλύτερη φυσική λίμνη της Ελλάδας με έκταση 70,6 km². Η επιφάνεια του νερού βρίσκεται 37 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, το μέσο βάθος της είναι 13,5 m ενώ το μέγιστο 23,5 m. Το μέγιστο μήκος και πλάτος της λίμνης είναι 21 km και 6 km αντίστοιχα, ενώ η περίμετρος φτάνει τα 56 km.



Σχήμα 2. Χειμαρρικοί πετρολογικοί σχηματισμοί.

2.2. Συλλογή δεδομένων

Τα υδρογραφικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής έρευνας υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας τοπογραφικούς χάρτες κλίμακας 1:50.000. Η εκτίμηση των χρήσεων γης πραγματοποιήθηκε μέσω φωτοερμηνείας ορθοφωτοχαρτών της περιοχής έρευνας με ημερομηνία λήψης τα έτη 1945 και 2007, ενώ παράλληλα χρησιμοποιήθηκε και το CORINE 2000. Το μητρικό υλικό του εδάφους της περιοχής καθορίστηκε από γεωλογικούς χάρτες κλίμακας 1:50.000 και κατατάχθηκε σε 5 κατηγορίες ανάλογα με την ευπάθεια του στα κατακρημνίσματα (Στεφανίδης, 2004). Τα μετεωρολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, προέρχονται από τους μετεωρολογικούς σταθμούς Αρναίας και Ταξιάρχη.

2.3. Υπολογισμός μέσης ετήσιας υποβάθμισης του εδάφους με τη μέθοδο του Gavrilovic

Λόγω της απουσίας μετρήσεων στερεομεταφόρας στην περιοχή έρευνας, χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο του Gavrilovic (Gavrilovic, 1988) για τον υπολογισμό της μέσης ετήσιας παραγωγής φερτών υλών. Αρκετοί ερευνητές στην Ελλάδα (Στεφανίδης, 1998; Emmanouloudis et al., 2003; Myronidis and Arabatzis, 2009), αλλά και σε άλλες Μεσογειακές χώρες (Bazzoffi, 1985; Globevnik et al., 2003; Mincev and Blinkov, 2007; Tazioli, 2008; Spalevic, 2014), εφάρμοσαν το συγκεκριμένο μοντέλο με ικανοποιητικά αποτελέσματα (De Vente and Poesen, 2005). Η εφαρμογή του μοντέλου έγινε για δύο χρονικές περιόδους 1945 και 2007, για τις οποίες υπήρχαν ικανοποιητικά διαθέσιμα δεδομένα. Η επεξεργασία των δεδομένων διεξήχθη με τη βοήθεια λογισμικού ArcGIS, δημιουργώντας για κάθε παράμετρο

του μοντέλου ένα «raster layer». Οι σχέσεις που περιλαμβάνονται στο μοντέλο είναι οι παρακάτω (Κωτούλας, 2001):

$$W_{SP} = T \cdot H \cdot \pi \cdot Z^{1.5} \cdot F, \quad (1)$$

$$T = (t / 10 + 0.1)^{0.5} \quad (2)$$

όπου, W_{SP} ο όγκος μέσης ετήσιας παραγωγής φερτών υλικών ($m^3/year$), T συντελεστής θερμοκρασίας, t μέση ετήσια θερμοκρασία ($^{\circ}C$), H το μέσο ετήσιο ύψος βροχής (mm), F το εμβαδό της λεκάνης απορροής (km^2) και Z ο συντελεστής διάβρωσης ο οποίος δίνεται από τη σχέση (3):

$$Z = X \cdot Y \cdot (\phi + J^{0.5}) \quad (3)$$

όπου, X , Y , ϕ συντελεστές οι οποίοι εξαρτώνται από τη βλάστηση, το μητρικό υλικό του εδάφους και το βαθμό διάβρωσης της λεκάνης απορροής αντίστοιχα, ενώ J είναι η μέση κλίση της λεκάνης απορροής (%). Ο συντελεστής διάβρωσης Z διακρίνεται (Gavrilovic, 2008) σε 5 κατηγορίες ανάλογα με το βαθμό διάβρωσης του εδάφους (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Κατηγορίες διάβρωσης

Κατηγορία διάβρωσης	Περιγραφή των κατηγοριών	Εύρος τιμών του συντελεστή (Z)	Μέση τιμή του συντελεστή (Z)
I	Πολύ έντονη διαδικασία διάβρωσης	$Z > 1$	$Z = 1,25$
II	Βαριά ή ηπιότερη μορφή πολύ έντονης διάβρωσης	$0,71 < Z < 1$	$Z = 0,85$
III	Μέτρια διάβρωση	$0,41 < Z < 0,71$	$Z = 0,55$
IV	Ελαφρά διάβρωση	$0,2 < Z < 0,4$	$Z = 0,30$
V	Πολύ ελαφρά διάβρωση	$Z < 0,19$	$Z = 0,10$

Η μέθοδος του Gavrilovic δίνει την ετήσια παραγωγή φερτών υλικών στη λεκάνη απορροής. Παρόλα αυτά, η ποσότητα φερτών υλικών η οποία παράγεται στη λεκάνη απορροής, δεν μεταφέρεται απαραίτητα μέχρι το σημείο εξόδου της, αλλά μέρος αυτής της ποσότητας αποτίθεται σε διάφορα σημεία μέσα στη λεκάνη απορροής. Αυτή η ποσότητα φερτών υλικών υπολογίζεται από τη σχέση (4), τον συντελεστή συγκράτησης (Retention coefficient, RU), (Zemljic, 1971):

$$RU = [(O \cdot D)^{1/2} \cdot (L + L_i)] / (L + 10) \cdot F \quad (4)$$

όπου, O η περίμετρος της λεκάνης απορροής (km), D η διαφορά υψομέτρου μεταξύ του μέσου και του ελάχιστου υψομέτρου (km), L το μήκος της κεντρικής κοίτης (km), L_i το συνολικό μήκος του υδρογραφικού δικτύου 2^{nd} τάξης (km) και F το εμβαδόν της λεκάνης απορροής (km^2).

Μετά τον υπολογισμό του συντελεστή συγκράτησης RU , η πραγματική ποσότητα φερτών υλικών (G_{SP}), η οποία φτάνει στο σημείο εξόδου της λεκάνης απορροής υπολογίζεται από τη σχέση (5):

$$G_{SP} = W_{SP} \cdot RU \quad (5)$$

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1. Εκτίμηση παραμέτρων του μοντέλου Gavrilovic

3.1.1. Μορφολογικά χαρακτηριστικά – Συντελεστής συγκράτησης (RU)

Ο συντελεστής συγκράτησης (RU) εξαρτάται από τα βασικά μορφολογικά και υδρογραφικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής, τα οποία υπολογίστηκαν και παρατίθενται στον πίνακα 2. Η τιμή που υπολογίστηκε για τον συντελεστή συγκράτησης (RU) είναι 0,66, η οποία καταδεικνύει ότι περισσότερο από 40% των φερτών υλικών που παράγονται στην περιοχή έρευνας συγκρατούνται και αποθέτονται σε διάφορα σημεία της λεκάνης απορροής. Η συγκράτηση αυτής της σημαντικής ποσότητας φερτών υλικών, οφείλεται κυρίως στις ήπιες κλίσεις του εδάφους που επικρατούν στην περιοχή, αλλά και στο μεγάλο μέγεθος της λεκάνης απορροής.

Πίνακας 2. Συντελεστής συγκράτησης (RU), υδρογραφικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά

Χαρακτηριστικά	Λεκάνη απορροής N. Απολλωνίας
Έκταση λεκάνης απορροής (km^2)	245,39
Περίμετρος λεκάνης απορροής (km)	91,27
Μήκος λεκάνης απορροής(km)	24
Υψομετρική διαφορά (m)	350
Μέση κλίση (%)	20,29
Μέση θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$)	11,6
Μέση ετήσιο ύψος κατακρημνισμάτων (mm)	570
Συντελεστής θερμοκρασίας (T)	1,09
Συντελεστής συγκράτησης (RU)	0,66

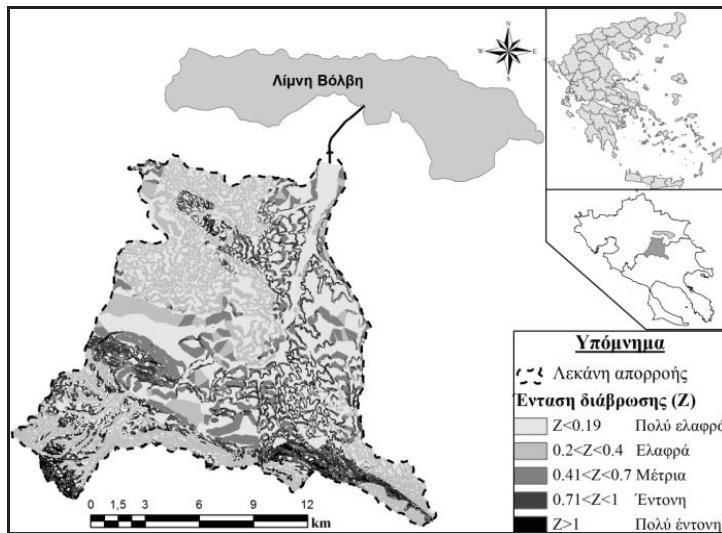
3.1.2. Η βλάστηση κατά τις περιόδους 1945 και 2007

Από τη φωτοερμηνεία των ορθοφωτοχαρτών των ετών 1945 και 2007 προκύπτει ότι στην περιοχή έρευνας έχουν πραγματοποιηθεί αλλαγές στη βλάστηση και στις χρήσεις γης, οι οποίες έχουν θετικό αντίκτυπο για το φυσικό περιβάλλον της περιοχής. Πιο συγκεκριμένα, σημειώνεται αύξηση της έκτασης η οποία καλύπτεται από δάσος περίπου 3% (Σχήμα 3). Παράλληλα όμως, παρατηρείται αύξηση και στην έκταση που καλύπτεται από γεωργικές καλλιέργειες (κυρίως μη αρδευόμενες εκτάσεις). Επίσης, καταγράφηκε μείωση των θαμνώνων (*Quercus coccifera*) και των λιβαδιών. Στον πίνακα 3 απεικονίζεται η έκταση που καλύπτουν οι χρήσεις γης στην περιοχή έρευνας και η τιμή της παραμέτρου X για τα έτη 1945 και 2007.

Πίνακας 3. Χρήσεις γης (Km^2) και διαφορές (%) μεταξύ των ετών 1945 και 2007

Χρήσεις γης	Λεκάνη απορροής N. Απολλωνίας			
	1945	2007	Διαφορές (Km^2)	Διαφορές (%)
Οικισμοί (Km^2)	1,69	3,12	1,43	0,58
Δάσος (Km^2)	28,54	35,78	7,24	2,95
Καλλιέργειες (Km^2)	135,35	137,62	2,27	0,93
Θαμνότοποι - λιβάδια (Km^2)	78,42	67,94	-10,48	-4,27
Χωρίς βλάστηση (Km^2)	1,39	0,93	-0,46	-0,19
Παράμετρος X	0,50	0,46	-	-

Οι παραπάνω αλλαγές στις χρήσεις γης πιθανόν να οφείλονται στη μείωση της πίεσης που δέχεται η περιοχή από τη βόσκηση, αφού παρατηρείται τις τελευταίες δεκαετίες μείωση αυτής της δραστηριότητας. Το μεγαλύτερο μέρος της μείωσης της έκτασης των βοσκοτόπων μετατράπηκε σε δάσος, ενώ το υπόλοιπο σε γεωργικές εκτάσεις.



Σχήμα 3. Χωρική απεικόνιση του συντελεστή διάβρωσης (Z).

3.1.3. Μητρικό υλικό του εδάφους της περιοχής

Το μητρικό υλικό του εδάφους της περιοχής κατατάχθηκε με κριτήριο τον βαθμό ευαισθησίας στη διάβρωση και τα είδη των χειμαρρικών – πλημμυρικών φαινομένων. Με βάση αυτή την κατάταξη, το μητρικό υλικό του εδάφους της περιοχής μπορεί να χαρακτηριστεί ως εξαιρετικά ευαίσθητο στη διάβρωση με αποτέλεσμα την έντονη παραγωγή φερτών υλικών. Περισσότερο από το 60% της λεκάνης απορροής απαρτίζεται από γεωλογικούς σχηματισμούς ευαίσθητους στη διάβρωση. Ο γρανίτης, ο οποίος καλύπτει το 23,71% της λεκάνης απορροής, αποτελεί το μοναδικό πέτρωμα με υψηλή αντοχή στη διάβρωση. Στον πίνακα 4 καταγράφεται η κατανομή των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής έρευνας, αλλά και η εκτίμηση της παραμέτρου Y.

Πίνακας 4. Χειμαρρικοί – Πετρολογικοί σχηματισμοί

Σχηματισμοί	Λεκάνη απορροής Ν. Απολλωνίας	
	Έκταση (km^2)	Έκταση (%)
Προσχωσιγενής	12,20	4,97
Κρυσταλλοπυριγενής Μγ (Γνεύσιος)	8,25	3,36
Κρυσταλλοπυριγενής Μα (Γρανίτης)	58,18	23,71
Ασβεστολιθικός Κβ (Ασβεστόλιθος)	14,90	6,07
Ασβεστολιθικός Κα (Ασβεστόλιθος – Μάρμαρο)	7,30	2,97
Σχιστολιθικός	15,45	6,30
Νεογενής	129,11	52,61
Σύνολο	245,39	100,00
Παράμετρος Y		0,81

3.2. Υπολογισμός της μέσης ετήσιας διάβρωσης για τα έτη 1945 και 2007

Στον πίνακα 5 παρουσιάζονται οι τιμές του συντελεστή διάβρωσης (Z) για τα έτη 1945 και 2007, οπού παρατηρείται μείωση κατά 0,13.

Πινάκας 5. Συντελεστής διάβρωσης (Z) κατά τα έτη 1945 και 2007

	N. Απολλωνία	
	1945	2007
Συντελεστής διάβρωσης (Z)	1,11	0,98

Η μείωση αυτή οφείλεται κυρίως στην αλλαγή των χρήσεων γης στην περιοχή έρευνας, ενώ παράλληλα η λεκάνη απορροής αλλάζει κατηγορία διάβρωσης αφού ο συντελεστής (Z) γίνεται μικρότερος της μονάδας, με αποτέλεσμα η περιοχή να κατατάσσεται στην κατηγορία της «Βαριάς ή ηπιότερης μορφής πολύ έντονης διάβρωσης». Η γεωγραφική κατανομή του συντελεστή διάβρωσης απεικονίζεται στο σχήμα 4. Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου Gavrilovic για τα έτη 1945 και 2007, αναδεικνύουν τη σημαντική μείωση της μέσης ετήσιας διάβρωσης κατά 14,98% (Πίνακας 6).

Πίνακας 6. Μέση ετήσια διάβρωση (W_{SP}), χωρική κατανομή της διάβρωσης (w_{sp}) και οι αντίστοιχες τιμές μετά τον υπολογισμό του συντελεστή συγκράτησης (G_{SP} , g_{sp})

	N. Απολλωνία		
	1945	2007	Διαφορά (%)
W_{SP} ($m^3/year$)	586310	498456	
G_{SP} ($m^3/year$)	386965	328981	
w_{sp} ($m^3/km^2/year$)	2390	2031	-14,98
g_{sp} ($m^3/km^2/year$)	1577	1341	

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η σημαντική μείωση της διάβρωσης προκλήθηκε ουσιαστικά από την αύξηση του δάσους μόλις κατά 3% και παράλληλα με τη γενική βελτίωση της ποιότητας των θαμνώνων. Οι αλλαγές στις χρήσεις γης τα τελευταία 60 χρόνια πιθανόν να οφείλονται στη μείωση του πληθυσμού που απασχολείται στον κτηνοτροφικό τομέα, ειδικά τις περιόδους 1940 – 1949 (2^{ος} Παγκόσμιος Πόλεμος και Εμφύλιος Πόλεμος) και 1955 – 1970 όπου εξελίχτηκε έντονη εσωτερική και εξωτερική μετανάστευση. Επίσης, παρατηρήθηκε κατά τις χρονικές περιόδους 1945 – 1971 και 1971 – 2007 σημαντική μείωση στην αύξηση του δέλτα του χειμάρρου και την πρόσχωση της λίμνης Βόλβης, γεγονός που συμφωνεί με τα αποτελέσματα που έδωσε το μοντέλο του Gavrilovic, δηλαδή αισθητή μείωση της διάβρωσης στην περιοχή έρευνας. Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί ότι τα τελευταία 60 χρόνια υπολογίστηκε ότι το εμβαδόν της επιφάνειας της λίμνης έχει μειωθεί τουλάχιστον κατά 1%.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας αναδεικνύουν τον πολύ σημαντικό ρόλο της φυσικής βλάστησης και του δάσους στον περιορισμό του ρυθμού υποβάθμισης του εδάφους και της πρόσχωσης των πεδινών περιοχών. Επίσης, επισημαίνεται η αλληλεπίδραση των χρήσεων γης κυρίως με το ευαίσθητο στη διάβρωση μητρικό υλικό του εδάφους. Η σχετικά μικρή αύξηση του ποσοστού δάσωσης της λεκάνης απορροής, σε συνδυασμό με την ποιοτική αναβάθμιση των θαμνώνων (κυρίως πουρνάρια) της περιοχής, είχε ως αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση της διαδικασίας διάβρωσης του εδάφους. Τα αποτελέσματα αυτά σε συνδυασμό με ευρήματα άλλων αντίστοιχων μελετών, υποδεικνύουν την ανάγκη ειδικού σχεδιασμού και διαχείρισης των λεκανών απορροής. Αναδάσωση εγκαταλελειμέ-

νων αγρών και καμένων δασών, παράλληλα με την ποιοτική αναβάθμιση θαμνώνων και λιβαδικών οικοσυστημάτων, θα μπορούσε να αποτελέσει σημαντικό βήμα στην κατεύθυνση μείωσης της διάβρωσης και ανάσχεσης της διαδικασίας ερημοποίησης σε πολλές περιοχές της χώρας μας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bazzoffi, P., 1985. *Methods for net erosion measurement in watersheds as a tool for the validation of models in central Italy*, Workshop on soil erosion and hillslope hydrology with emphasis on higher magnitude events, Leuven.
- De Vente, J. and Poesen, J., 2005. *Predicting soil erosion and sediment yield at the basin scale: Scale issues and semi-quantitative models*. Earth-Science Reviews 71, 95–125.
- Emmanouloudis, D., Christou, O. and Filippidis, E., 2003. *Quantitative estimation of degradation in the Aliakmon river basin using GIS. Erosion Prediction in Ungauged Basins: Integrating Methods and Techniques*. IAHS Publication, 279, 234.
- Gavrilovic, Z., 1988. *The use of empirical method (erosion potential method) for calculating sediment production and transportation in unstudied or torrential streams*. In: White, W. R. (ed.), International Conference on River Regime. John Wiley & Sons, Chichester, p. 411–422.
- Gavrilovic, Z., Stefanovic, M., Milovanovic, I., Cotric J. and Milojevic, M., 2008. *Torrent Classification – Base of Rational Management of Erosive Regions*. XXIVth Conference of the Danubian Countries. doi:10.1088/1755-1307/4/1/012039.
- Globevnik, L., Holjevic, D., Petcovsek, G. and Rubinic, J. 2003. *Applicability of the Gavrilovic method in erosion calculation using spatial data manipulation techniques*. IAHS Publication. 279, 224.
- Κωτούλας Δ., 2001. *Ορεινή Υδρονομική, Τόμος I. Τα ρέοντα ύδατα*. Πανεπιστημιακές εκδόσεις. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σελ. 514.
- Mincev, I. and Blinkov, I., 2007. *GIS model for assessing water and sediment discharge based on the methodology of Gavrilović*. International Conference Erosion and Torrent Control as a Factor in Sustainable River Basin Management 25-28 September 2007, Belgrade-Serbia.
- Myronidis, D. and Arabatzis, G., 2009. *Evaluation of Greek Post-Fire Erosion Mitigation Policy through Spatial Analysis*. Polish J. of Environ. Stud. Vol. 18, No. 5, 865-872.
- Spalevic, V., Radanovic, D., Behzadfar, M., Djekovic, V., Andjelkovic, A. and Milosevic, N., 2014. *Calculation of the sediment yield of the Trebacka Rijeka, Polimlje, Montenegro*. Agriculture & Forestry, Vol. 60. Issue 1: 259-272, 2014, Podgorica.
- Στεφανίδης, Π., Μυρωνίδης, Δ., Σαπουντζής, Μ. και Στάθης Δ., 2001. *Ο χείμαρρος “Σκλήδρο” Φλώρινας. Χειμαρρικό περιβάλλον – αρχές και σύστημα διευθέτησης*. Επιστημονική Επετηρίδα του Τμήματος Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Α Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. 41, (2), 1275.
- Στεφανίδης, Π., 2004. *Διευθετήσεις Ορεινών Υδάτων I, Πρώτο μέρος*. Πανεπιστημιακές ερδόσεις. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Tazioli, A., 2008. *Evaluation of erosion in equipped basins: preliminary results of a comparison between the Gavrilovic model and direct measurements of sediment transport*. Environmental Geology, 56:825–831. Doi:10.1007/s00254-007-1183-y.
- Zemljic, M., 1971. *Calcul du debit solide. Evaluation de la vegetatio'n comme un facteurs anti-erosif (Calculation of sediment load. Evaluation of vegetation as anti-erosive factor)*. Paper presented at the international symposium interpraevent, Villach (Australia).

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΧΕΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΟΣ ΚΟΡΕΣΜΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΑΝΑΛΟΓΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ-ΝΕΡΟΥ 1:5

Γ. Κάργας[✉], Ε. Ισσακίδου, Δ. Ιωάννου, Σ. Δάλλας, Ι. Μάσσας

Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο
Αθηνών, Ιερά Οδός 75, 11855 Αθήνα, [✉] kargas@hua.gr

Περίληψη

Η πιο διαδεδομένη μέθοδος για την εκτίμηση της αλατότητας είναι ο προσδιορισμός της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εκχυλίσματος της εδαφικής πάστας κορεσμού (EC_e). Επειδή όμως η μέθοδος αυτή είναι χρονοβόρα έχουν χρησιμοποιηθεί και μέθοδοι με διάφορες αναλογίες εδάφους / νερού (1:1, 1:2, 1:2.5, 1:5) για τον προσδιορισμό των τιμών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Οι μέθοδοι αυτοί χαρακτηρίζονται από ευκολότερη προετοιμασία και απόκτηση του εκχυλίσματος. Στην παρούσα εργασία έγινε σύγκριση της μεθόδου EC_e με την μέθοδο αναλογίας εδάφους/νερού ($EC_{1:5}$) καθώς και σύγκριση των αποτελεσμάτων με αυτά άλλων ερευνητικών εργασιών. Στην παρούσα εργασία προσδιορίστηκε η EC_e και η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εκχυλίσματος ($EC_{1:5}$) σε 34 εδαφικά δείγματα από τρείς περιοχές της χώρας μας (Εύβοια, Πρέβεζα, Λακωνία) και αποδείχτηκε, ότι η μέθοδος ($EC_{1:5}$) παρουσιάζει υψηλή γραμμική συσχέτιση με την μέθοδο EC_e . Επιπλέον μετρήθηκαν και οι συγκεντρώσεις των κύριων κατιόντων στα εκχυλίσματα των δύο μεθόδων και φαίνεται να υπάρχει γραμμική συσχέτιση μεταξύ των συγκεντρώσεων των ιόντων των δύο μεθόδων αλλά αυτή μεταβάλλεται σε ευρέα όρια.

INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF THE SATURATION EXTRACT AND THE RATIO SOIL/WATER 1:5

G. Kargas[✉], E. Issakidou, D. Ioannou, S. Dallas, I. Massas

Agricultural University of Athens, Sector of water resources management, [✉] kargas@hua.gr

Abstract

The common used method for the estimation of salinity is the determination of the electrical conductivity of the extract of the soil saturation paste (EC_e). However this method is time consuming and for this reason others methods with various ratios of soil / water (1: 1, 1: 2, 1: 2.5, 1: 5) for determining the electrical conductivity values are used. This work compared the EC_e method with the method ratio soil / water (1: 5) in 34 soil samples from three areas of the country (Evia, Preveza, Lakonia). From the comparison between the two methods, is proved that the method (1: 5) shows high linear correlation with EC_e method. Furthermore the concentrations of major cations in extracts of both methods were determined. From the results it was shown that there is a linear correlation between the concentrations of ions in both methods but this varies within wide limits.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αλατότητα του εδάφους είναι από τα πλέον σημαντικά προβλήματα στις καλλιεργούμενες περιοχές παγκοσμίως, αφού συνιστά μία διεργασία υποβάθμισης και ερημοποίησης τους.

Για την ορθή διαχείριση των υδατικών και εδαφικών πόρων χρειάζεται αξιόπιστη καταγραφή της εδαφικής αλατότητας. Το πρόβλημα της αλατότητας είναι σημαντικό ιδιαίτερα στις ξηρές και ημι-ξηρες περιοχές όπου η υπεράντληση του υπόγειου νερού οδηγεί στην είσοδο της θάλασσας στους υπόγειους υδροφόρους, με συνέπεια την υποβάθμιση της ποιότητας των υπόγειων νερών, η οποία τελικά οδηγεί στην αύξηση της αλατότητας των αρδευομένων εδαφών όταν αυτά τα νερά χρησιμοποιηθούν για άρδευση. Η αύξηση της οσμωτικής πίεσης του εδαφικού διαλύματος, το οποίο σταδιακά αποκτά μεγαλύτερη συγκέντρωση, παρεμποδίζει την πρόσληψη νερού από τα φυτά με συνέπεια την μείωση της παραγωγής. Η εκτίμηση της εδαφικής αλατότητας βασίζεται στην μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εκχυλίσματος της εδαφικής πάστας κορεσμού (ECe) (USDA, 1954) η οποία έχει καθιερωθεί σαν πρότυπη μέθοδος. Η ECe θεωρείται ο καταλληλότερος δείκτης για την εκτίμηση της ανταπόκρισης των φυτών στην αλατότητα του εδάφους. Όμως η μέθοδος αυτή είναι επίπονη και χρονοβόρα αφού απαιτεί συλλογή δειγμάτων στον αγρό, προετοιμασία της πάστας κορεσμού στο εργαστήριο, συλλογή του εκχυλίσματος και μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εκχυλίσματος. Για τους λόγους αυτούς αντί της μέτρησης της ECe πολλοί ερευνητές καταφέγουν στην μέτρηση της EC_{1:5}. Η απλότητα στην παρασκευή και η ταχύτητα απόκτησης του εκχυλίσματος έχουν κάνει ελκυστική την μέθοδο. Τα αποτελέσματα της μεθόδου χρησιμοποιούνται στην συνέχεια για την εκτίμηση της ECe.

Η δυνατότητα πρόβλεψης της ECe από την μέθοδο EC_{1:5} έχει εξεταστεί σε διάφορες περιοχές παγκοσμίως (Slavich and Petterson 1993; Sonmez et al., 2008; He et al., 2012; 2013). Στις εργασίες αυτές έχει εξεταστεί η επίδραση στην σχέση μεταξύ των δύο μεθόδων παραγόντων όπως η μηχανική σύσταση των εδαφών, το είδος των αλάτων του εδάφους κ.λ.π. Λιγότερο έχει εξεταστεί το θέμα της επίδρασης της μεθόδου απόκτησης του εκχυλίσματος στην 1:5 αφού έχουν εφαρμοστεί διαφορετικές μεθοδολογίες.

Οι Slavich and Petterson (1993) συσχέτισαν τον συντελεστή μετατροπής της EC_{1:5} στην ECe (ECe=f EC(1:5)) με την τιμή της περιεκτικότητας σε νερό της πάστας κορεσμού (θ_{SP})

$$f = 2.46 + \frac{3.03}{\theta_{SP}} \quad (1)$$

και παρουσίασαν εύρος τιμών και μέσες τιμές του f σαν συνάρτηση της περιεκτικότητας σε άργιλο. Έτσι όσο αυξάνεται η θ_{SP} μειώνεται η τιμή του f.

Εάν υποθέσουμε ότι το εκχύλισμα στην μέθοδο 1:5 είναι μια απλή αραίωση του εκχυλίσματος της πάστας κορεσμού τότε η τιμή του f θα είναι 5/ θ_{SP} . Για τιμή της $\theta_{SP}=0.5$ gr/gr η τιμή f θα είναι 10 ενώ η τιμή της f από την (1) θα είναι 8.5. Η διαφορά αυτή όπως σημειώνουν οι Slavich and Petterson (1993) οφείλεται στο γεγονός ότι στην περίπτωση 1:5 διαλύονται μεγαλύτερες ποσότητες διαλυμένης ουσίας από ότι στο εκχύλισμα κορεσμού. Αυτό κυρίως συμβαίνει στις περιπτώσεις δύσκολα διαλυομένων ορυκτών όπως είναι τα πυριτικά, ο γύψος κ.λ.π.

Οι Ozcan et al., (2006) και οι Sonmez et al., (2008) έδωσαν εξισώσεις συσχέτισης των δύο μεθόδων καθώς και συσχέτισης των συγκεντρώσεων των ιόντων (Πίνακας 1). Στην περίπτωση των Sonmez et al., (2008) παρουσιάζονται οι εξισώσεις για λεπτόκοκκα εδάφη αφού τα εδάφη στην εργασία μας ανήκουν κυρίως σ' αυτή την κατηγορία.

Πίνακας 1. Οι εξισώσεις συσχέτισης ανάμεσα στις δύο μεθόδους για την EC και τις συγκεντρώσεις των διάφορων ιόντων.

	Ozcan et al., (2006)	Sonmez et al., (2008)
EC	ECe=5.97(EC _{1:5})-1.17	ECe=7.36(EC _{1:5})-0.24
K	ECe=4.95(EC _{1:5})-1.21	ECe=3.58(EC _{1:5})-0.18
Na	ECe=8.16(EC _{1:5})-20.68	ECe=8.34(EC _{1:5})-2.38
Ca		ECe=9.71(EC _{1:5})-12.98
Mg		ECe=13.95(EC _{1:5})-7.69
Cl		ECe=9.75(EC _{1:5})-21.03

Αντίθετα οι Chi and Wang (2014) αναφέρουν ότι παρατήρησαν γραμμικές σχέσεις μεταξύ των δύο μεθόδων μόνο στις περιπτώσεις των EC και των συγκεντρώσεων των ιόντων Na⁺.

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η δυνατότητα πρόβλεψης της ECe από την μέθοδο (EC_{1:5}) από τρεις περιοχές της Ελλάδας καθώς και οι σχέσεις των συγκεντρώσεων των κύριων κατιόντων και του χλωρίου μεταξύ των δύο μεθόδων.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

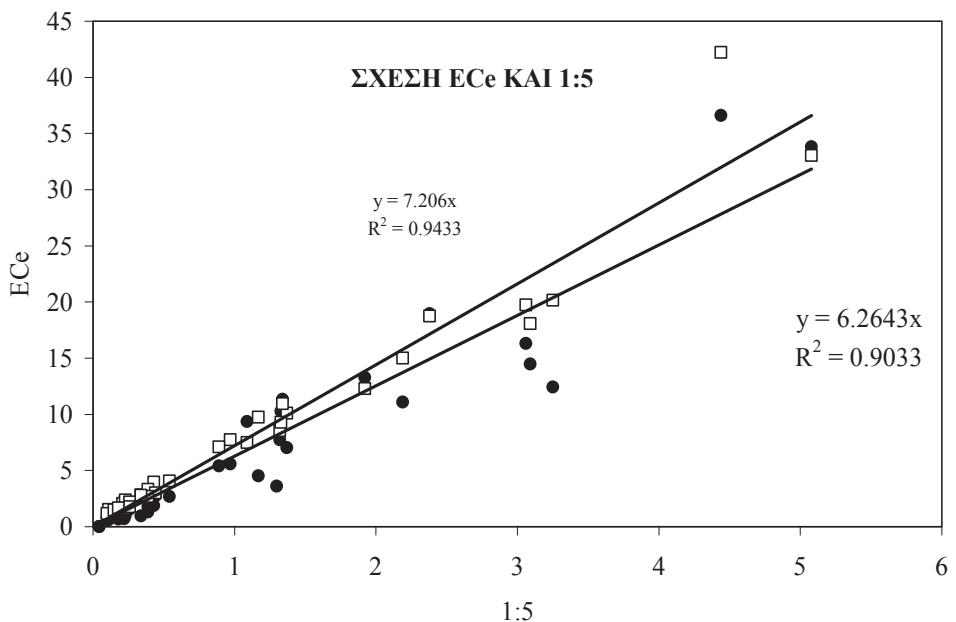
Η συλλογή των εδαφικών δειγμάτων έγινε από περιοχές των νομών Εύβοιας, Λακωνίας και Πρέβεζας. Από την κάθε περιοχή συλλέχθηκαν 15, 12 και 7 επιφανειακά δείγματα αντίστοιχα. Τα δείγματα αμέσως μετά τη συλλογή τους μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο, όπου και αφέθηκαν για αεροξήρανση και στην συνέχεια έγινε κοσκίνισμα με κόσκινο 2mm. Ακολούθως παρασκευάστηκαν οι πάστες κορεσμού με 350 gr εδάφους και μετά αφέθηκε η πάστα για 24 ώρες σε ηρεμία και στην συνέχεια αποκτήθηκε το εκχύλισμα της πάστας (Rhoades, 1982).

Για την μέθοδο 1:5 χρησιμοποιούνται 50 gr εδάφους στα οποία προστέθηκαν 250ml απεσταγμένου νερού. Το αιώρημα αφήνεται σε ηρεμία για 4 ώρες και ακολουθεί η παραλαβή του εκχυλίσματος με την βοήθεια αντλίας κενού (Zhang et al., 2005). Να σημειωθεί ότι για την μέθοδο (EC_{1:5}) έχουν προταθεί ακόμα γρηγορότερες μέθοδοι (Rhoades, 1982). Στο κάθε εκχύλισμα έγινε μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητα (EC) και της συγκέντρωσης των υδατοδιαλυτών ιόντων (Na⁺, K⁺, Mg⁺², Ca⁺²). Οι μετρήσεις των συγκεντρώσεων του K⁺ και του Na⁺, έγιναν με την βοήθεια του φλογοφωτόμετρου, ενώ του Ca⁺² και Mg⁺² με φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης.

Από την μηχανική ανάλυση προέκυψε ότι τα εδάφη από την περιοχή της Ευβοίας είναι περισσότερο χονδρόκοκκα συγκριτικά με αυτά των άλλων δύο περιοχών αν και οι διαφορές δεν είναι μεγάλες. Τα εδάφη από την Ευβοία κατατάσσονται στα αμμοαργιλοπηλώδη-αμμοπηλώδη, από την Λακωνία στα αργιλοπηλώδη- αμμοαργιλοπηλώδη ενώ αυτά από την Πρέβεζα στα αργιλοπηλώδη.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

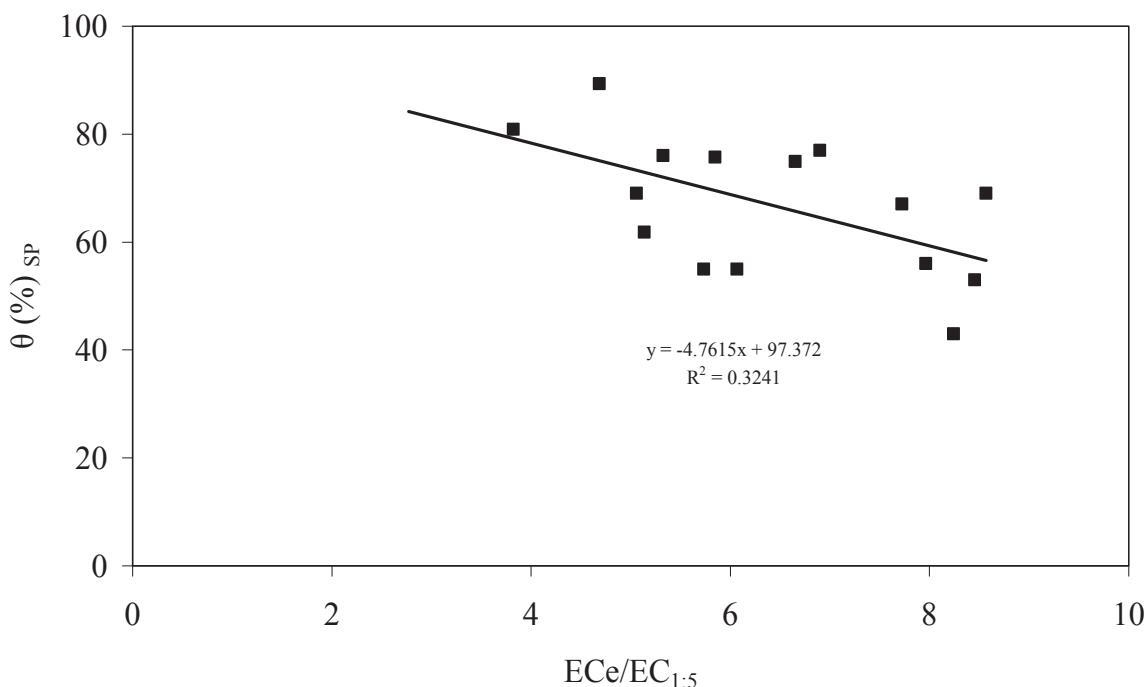
Η ECe στα εδάφη της Ευβοίας κυμαίνεται από 0.61 έως 11.33 dS.m⁻¹ και μόνο δύο εδάφη έχουν ECe>4 dS.m⁻¹ δηλαδή είναι αλατούχα. Αντίστοιχα για την Πρέβεζα το εύρος της ECe είναι από 0.8 έως 19.95 dS.m⁻¹ ενώ για την Λακωνία είναι από 0.7 έως 33.8 dS.m⁻¹. Από τα επτά εδαφικά δείγματα από την Πρέβεζα τα έξι είναι αλατούχα ενώ από την Λακωνία σε σύνολο δώδεκα δειγμάτων τα οκτώ είναι αλατούχα. Δηλαδή σε 34 εδαφικά δείγματα τα 16 είναι αλατούχα.



Σχήμα 1. Η γραμμική σχέση των EC ($\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$) μεταξύ των δύο μεθόδων (ECe και 1:5) (κύκλος) καθώς και η προβλεπόμενη τιμή της ECe εφαρμόζοντας την εξίσωση (1) (τετράγωνα).

Από το Σχήμα 1 φαίνεται ότι η σχέση των EC μεταξύ των δύο μεθόδων είναι γραμμική με $R^2=0.903$. Η τιμή της κλίσης της γραμμικής σχέσης (6.52) είναι παρόμοια με αυτήν των άλλων ερευνητών (Πίνακας 1) αλλά η γραμμική σχέση παρουσιάζει μικρότερη τιμή R^2 .

Στο σχήμα 2 παρουσιάζεται η σχέση μεταξύ της θ_{SP} και της κλίσης f για τα αλατούχα εδάφη ($ECe > 4 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$). Από τα αποτελέσματα φαίνεται η τιμή θ_{SP} να επηρεάζει την κλίση (f) και μάλιστα φαίνεται η f να αυξάνεται από τα λεπτόκκοκα προς τα χονδρόκκοκα.



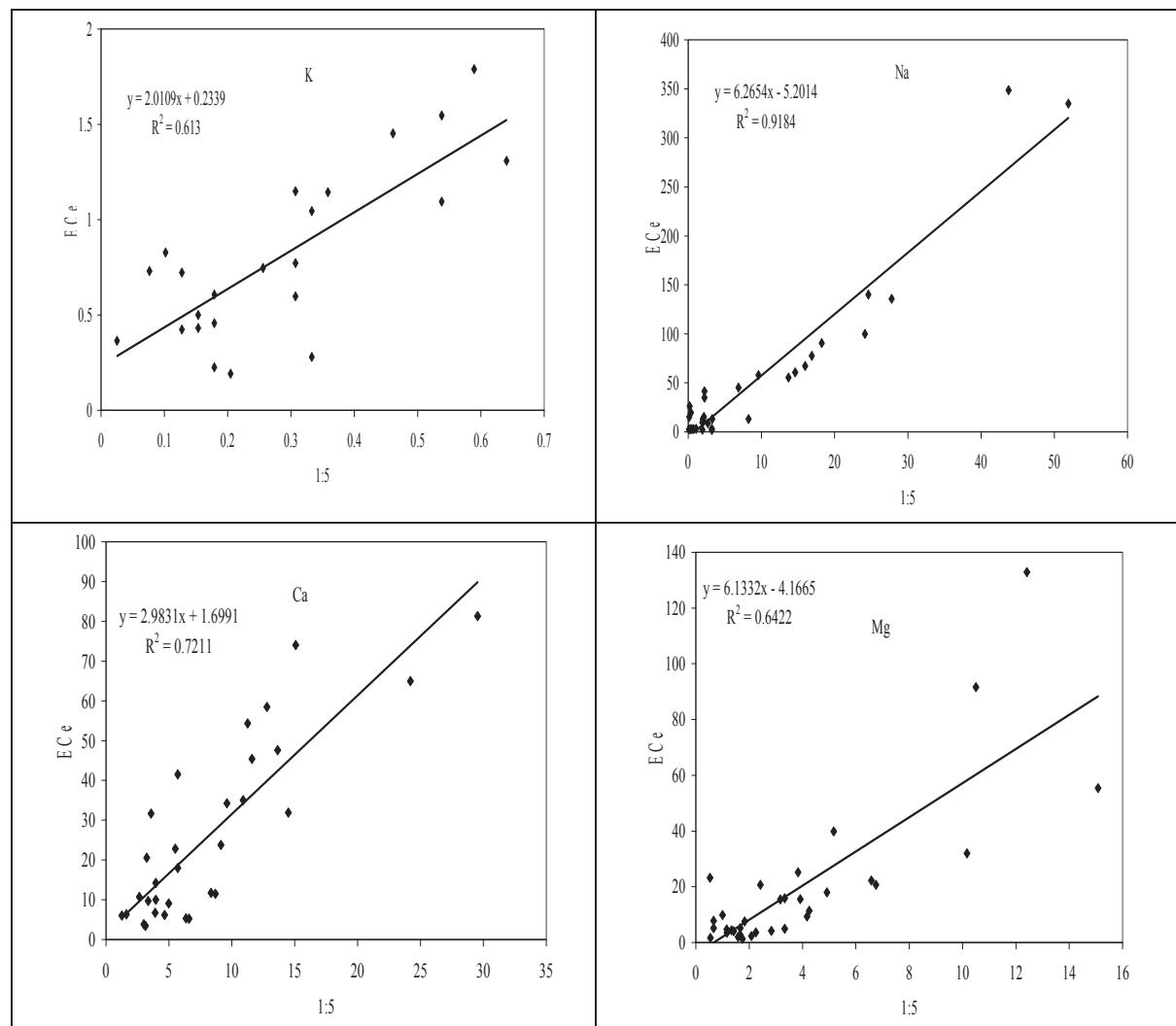
Σχήμα 2. Η σχέση μεταξύ της θ_{SP} και του συντελεστή $f=ECe/EC_{1:5}$.

Όμως για την εξαγωγή ασφαλούς συμπεράσματος χρειάζονται περισσότερα πειραματικά δεδομένα. Επίσης ένας παράγοντας που μπορεί να επηρεάζει την σχέση μεταξύ των δύο μεθόδων είναι η μεθοδολογία απόκτησης του εκχυλίσματος της μεθόδου EC_{1:5}. Όπως αναφέρουν οι He et al., (2013) περίπου το 65% των εδαφικών δειγμάτων που εξέτασαν με τρεις διαφορετικές μεθόδους απόκτησης του εκχυλίσματος στην EC_{1:5} έδειξαν διάφορες τιμές EC.

Επίσης, από το Σχήμα 1 φαίνεται ότι η εφαρμογή τις Εξίσωσης (1) των Slavich and Petterson (1993) προβλέπει τιμές γενικά μεγαλύτερες από τις πειραματικές αλλά με μεγαλύτερο R². Η αποτυχία εκτίμησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι σημαντική στις μικρές τιμές της ECe όπου προβλέπονται τιμές μέχρι και διπλάσιες. Η τιμή του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMSE) με εφαρμογή της μεθόδου των Slavich and Petterson (1993) είναι 1.8 dS.m⁻¹.

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζονται οι γραμμικές σχέσεις των ιόντων μεταξύ των δύο μεθόδων. Η τιμή του R² κυμαίνεται από 0.613 έως 0.918. Ανάλογη μεταβολή είχαν παρατηρήσει και οι Sonmez et al. (2008).

Οι τιμές των κλίσεων των γραμμικών σχέσεων στην παρούσα εργασία είναι σε όλες τις περιπτώσεις ιόντων μικρότερες από αυτές άλλων εργασιών. Επίσης και οι τιμές του R² είναι



Σχήμα 3. Η σχέση των συγκεντρώσεων των ιόντων (meq/l) (K⁺, Na⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺) μεταξύ των δύο μεθόδων.

μικρότερες. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι οι συγκεντρώσεις των ιόντων στην μέθοδο EC_{1:5} είναι μεγαλύτερες από ότι θα αναμένονταν με βάση τις προηγούμενες εργασίες.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα παραπάνω δεδομένα προκύπτει ότι η σχέση των EC μεταξύ των δύο μεθόδων είναι γραμμική και συνεπώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα δεδομένα της ευκολότερης αλλά και γρηγορότερης μεθόδου EC_{1:5} για την πρόβλεψη της ECe. Στην περίπτωση των ιόντων η κατάσταση φαίνεται να είναι πιο περίπλοκη παρόλο ότι τείνει να είναι πάλι γραμμική. Όμως οι προτεινόμενες εξισώσεις πρέπει να εξεταστούν σε δείγματα από περισσότερες περιοχές της χώρας μας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Chi M.C. and Wang Z.C. 2010. *Characterizing salt affected soils of Songnen Plain using saturated paste and 1:5 soil to water extraction methods*. Arid Land Research and Management 24:1-11.
- He Y., DeSutter T., Prunty L., Hopkins D., Jia X., and Wysocki D. 2012. *Evaluation of 1:5 soil to water extract electrical conductivity methods*. Geoderma 185-186:12-17.
- He Y., DeSutter T., Hopkins D., Jia X., and Wysocki D. 2013. *Predicting ECe of the saturated paste extract from value of EC_{1:5}*. Can. J. Soil Sci. 93:585-594.
- Ozcan H., Ekinci H., Yigini Y., Yuksel O. 2006. *Comparison of four soil salinity extraction methods*. Proceedings of 18th International Soil Metting on “Soil Sustaining Life on Earth, Managing Soil and Technology” May 22-26, 2006, Turkey, p.697-703.
- Rhoades 1982. *Soluble salts*, In:Page A.L. (Ed.) *Methods of soil analysis*, Part 2, Second Edition, American Society of Agronomy, Inc., Madison, WI, USA, P.167-179. Agronomy Monograph No 9.
- Slavich P.G. and Petterson G.H. 1993. *Estimating the electrical conductivity of saturated paste extracts from 1:5 soil : water suspensions and texture*. Aust. J. Soil Res. 31: 73-81
- Sonmez, J.S., Buyuktas, D., Okturen, F., Citak, S., 2008. *Assesement of different soil to water ratios (1:1, 1:2:5, 1:5) in soil salinity studies*. Geoderma 144: 361-369.
- USDA, 1954. *Diagnoses and improvement of saline and alkali soils*. Agric. Handbook No 60. USSL, Riverside, CA, USA.
- Zhang H., Schroder J.L., Pittman J.J., Wang J.J., Payton M.E. 2005. *Soil salinity using saturated paste and 1:1 soil to water extract*. Soil Sci. Soc. Am. J. 69:1146-1151.

ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ ΑΡΓΙΛΙΟΥ ΑΠΟ ΥΔΡΟΞΕΙΔΙΑ ΚΑΙ ΟΞΕΙΔΙΑ ΤΟΥ ΜΑΓΓΑΝΙΟΥ

Κ. Προδρόμου

Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Εδαφολογίας, Τμήμα Γεωπονίας,
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, kprodrom@agro.auth.gr

Περίληψη

Στην εργασία αυτή μελετήθηκε η προσρόφηση αργιλίου από υδροξείδια του μαγγανίου που παρασκευάστηκαν, $Mn(OH)_2$ και από πυρολουσίτη, MnO_2 . Το $Mn(OH)_2$, προσροφά μεγαλύτερες ποσότητες Al^{3+} σε σχέση με το MnO_2 οι οποίες όμως διαφοροποιούνται και επηρεάζονται από το χρόνο ισορροπίας. Για χρόνο ισορροπίας 2 ωρών, προσροφά 5,4 φορές περισσότερο αργίλιο, κατά μέσο όρο, ενώ για χρόνο ισορροπίας 216 ωρών, προσροφά 1,6 φορές περισσότερο από τον πυρολουσίτη. Η προσροφητική ικανότητα των υλικών, έχει άμεση σχέση με την κρυσταλλική τους κατάσταση, με το μικρό μέγεθος των κρυστάλλων τους, το πορώδες τους, την μεγάλη τους ειδική επιφάνεια και το επιφανειακό τους φορτίο. Τα πειραματικά δεδομένα προσαρμόζονται στην εξίσωση του Freundlich. Η προσρόφηση αυτή του αργιλίου από τα οξείδια και υδροξείδια του Mn αποκτά ιδιαίτερη σημασία στα οξινά εδάφη.

Λέξεις κλειδιά: Προσρόφηση, Οξείδια και υδροξείδια του μαγγανίου, Αργίλιο.

ALUMINUM ADSORPTION ON MANGANESE HYDROXIDES AND OXIDES

K. Prodromou

Laboratory of Applied Soil Science, School of Agriculture, Aristotle University of Thessaloniki,
 kprodrom@agro.auth.gr

Abstract

Aluminum adsorption on prepared $Mn(OH)_2$ as well as on well crystallized MnO_2 was studied. The experimental data indicated that the adsorption of Al^{3+} on $Mn(OH)_2$ was independent of the equilibrium time. On the contrary, the Al^{3+} adsorption on MnO_2 depended on the equilibrium time. Manganese hydroxides adsorbed 5.4 times more Al^{3+} than MnO_2 for equilibrium time 2 hours but only 1.6 times more, for equilibrium time 216 hours. The adsorption capacity of $Mn(OH)_2$, depended on the surface charge, the large surface area, the low crystallinity, the high porosity and the small particle sizes. The experimental data conformed well to Freundlich isotherm. The adsorption of aluminum on manganese oxides and hydroxides in acid soils, is very important.

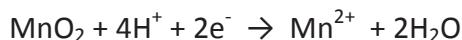
Key words: Manganese oxides and hydroxides, Adsorption, Aluminum.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το Mn συμμετέχει στο πλέγμα όλων σχεδόν των σιδηρομαγνησιούχων ορυκτών των πετρωμάτων. Το συναντάμε στο έδαφος κυρίως υπό μορφή οξειδίων, όπως MnO_2 πυρολουσίτης, Mn_2O_3 μπραουνίτης, Mn_3O_4 χαουσμανίτης, $MnOOH$ μαγγανίτης, $MnSiO_3$ ροδονίτης, $MnCO_3$ ροδοχρωσίτης.

Πολλές μελέτες έχουν γίνει για την εργαστηριακή παρασκευή οξειδίων του Mn και τις συνθήκες με τις οποίες παρασκευάζονται όπως του birnessite, $[(Na_{0.7}Ca_{0.3})Mn_7O_{14.2} \cdot 8H_2O]$, του buserite, $Na_4Mn_{14}O_{27} \cdot 9H_2O$ και του lithiophorite, $[(Li,Al)MnO_2(OH)_2]$, (Giovanoli και συν., 1970).

Ανάλογα με την τιμή του pH και τις επικρατούσες οξειδοαναγωγικές συνθήκες στο έδαφος, το Mn συναντάται με διάφορα σθένη έτσι ώστε να καθίσταται πολύπλοκη η μελέτη του. Οξειδώνεται ταχύτατα σε ισχυρές αλκαλικές συνθήκες σχηματίζοντας αδιάλυτες ενώσεις κυρίως με την οργανική ουσία, με αποτέλεσμα την έλλειψη του στοιχείου στα φυτά. Σε αναγωγικό περιβάλλον και όξινο pH έχουμε Mn^{2+} , διαλυτοποίηση των ενώσεών του και τη δημιουργία τοξικών συνθηκών στα φυτά.



Τα οξείδια του Mn συμμετέχουν στο σχηματισμό συγκριμάτων με τα οξείδια του Fe κάτω από εναλλασσόμενες οξειδοαναγωγικές συνθήκες. Στα οξείδια αυτά, τα οποία παρουσιάζουν ατελή κρυσταλλική οργάνωση, συσσωρεύονται ανιόντα, κυρίως φωσφορικά και κατιόντα βαρέων μετάλλων. Σύμφωνα με τον McKenzie (1980), η σειρά προσρόφησης των βαρέων μετάλλων από οξείδια του Mn ήταν Pb, Mn, Co, Ni.

Ο Nimfopoulos και οι συνεργάτες του (1997) αναφέρουν ότι η σειρά κινητικότητας μετάλλων σε καρστικές κοιλότητες εμπλουτισμένες με οξείδια του Mn ήταν Na > K > Mg > Sr > Mn > As > Zn > Ba > Al > Fe > Cu > Cd > Pb.

Οι Uzochukwu και Dixon (1986) ταυτοποίησαν birnessite και lithiophorite σε συγκρίματα εδαφών του Texas και της Alabama. Η τιμή του pH ήταν 4,50. Στην τιμή αυτή του pH, σε όξινες συνθήκες, το αργύλιο καθίσταται ευκίνητο με αποτέλεσμα να σχηματίζεται lithiophorite.

Τα ένυδρα οξείδια του αργυρίου, του σιδήρου και του μαγγανίου, θεωρούνται ως τα κύρια συστατικά του εδάφους στα οποία λαμβάνει χώρα η ειδική προσρόφηση, specific adsorption (McKenzie, 1989).

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μελέτη της προσρόφησης Al από $Mn(OH)_2$ που παρασκευάστηκε, με ατελή κρυσταλλική οργάνωση, σε σύγκριση με τα καλώς κρυσταλλωμένα οξείδια του Mn, (πυρολουσίτης).

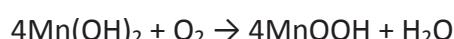
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Παρασκευασμένο $Mn(OH)_2$

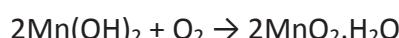
Το $Mn(OH)_2$ παρασκευάστηκε στοιχειομετρικά σύμφωνα με την αντίδραση,



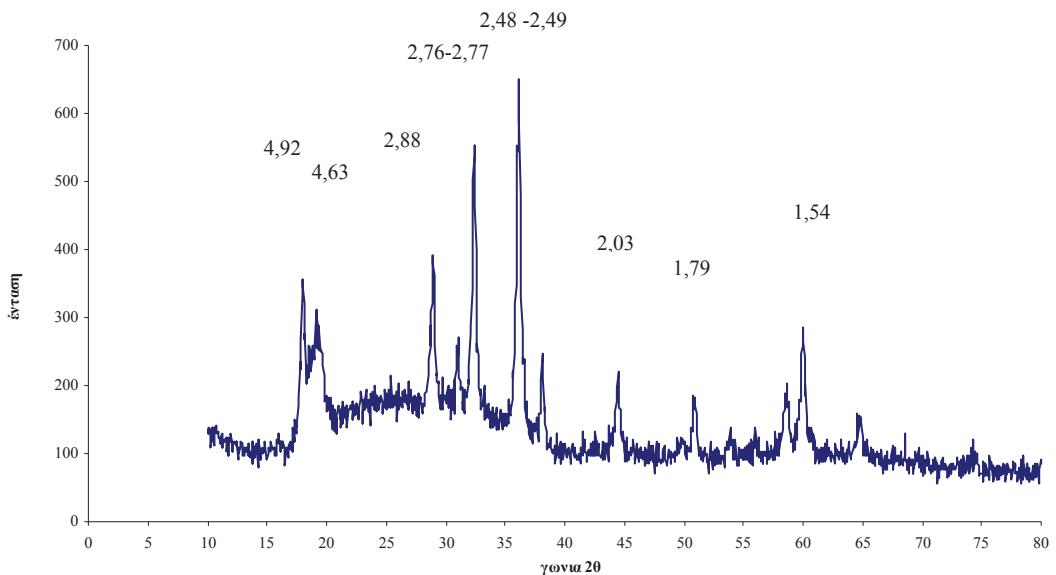
Ακολούθησε μια έκπλυση με H_2O (pH ~ 7,5). Το ίζημα που σχηματίστηκε ήταν ροδόχρουν. Το σχηματιζόμενο $Mn(OH)_2$ είναι αδιάλυτο σε περίσσεια βάσεως και οξειδώνεται κατά την παραμονή του σε $Mn(OH)_3$ ή ορθότερο προς $MnOOH$, χρώματος καστανού,



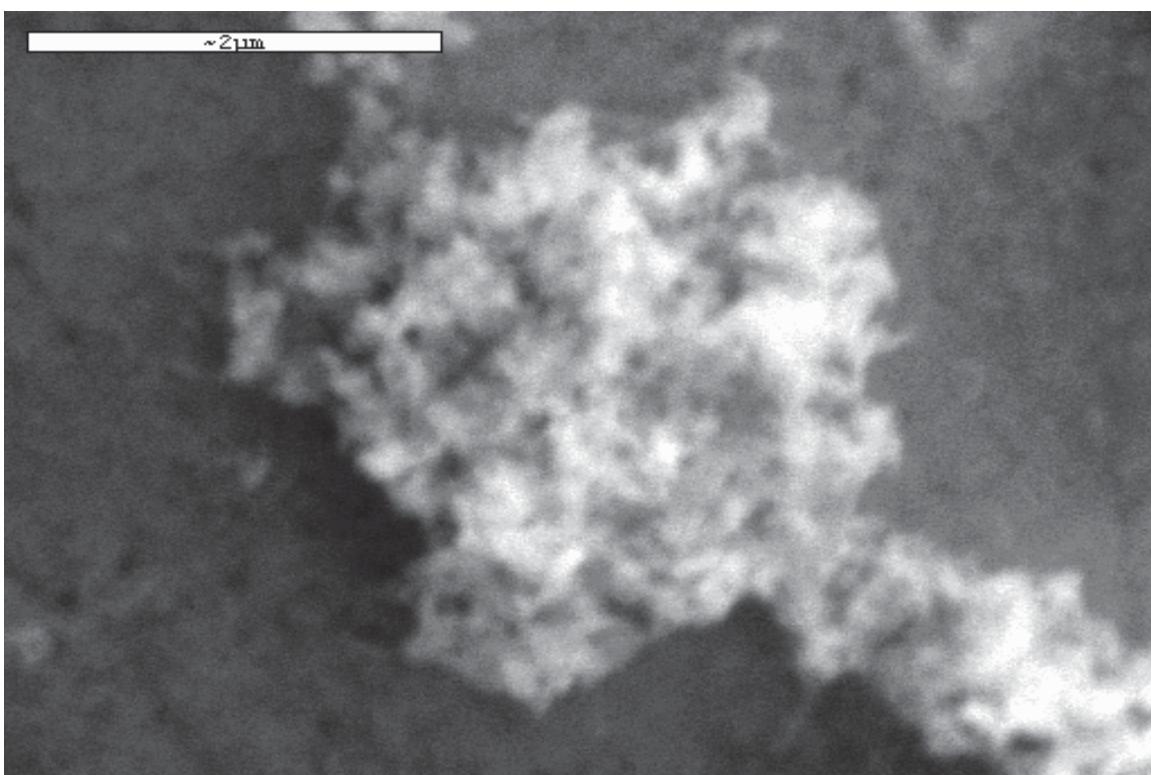
ή σχηματίζεται ένυδρο MnO_2 ,



Στο σχήμα 1 δίνεται το διάγραμμα των ακτίνων Röntgen του υλικού και στο σχήμα 2 η φωτογραφία του $Mn(OH)_2$ από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.



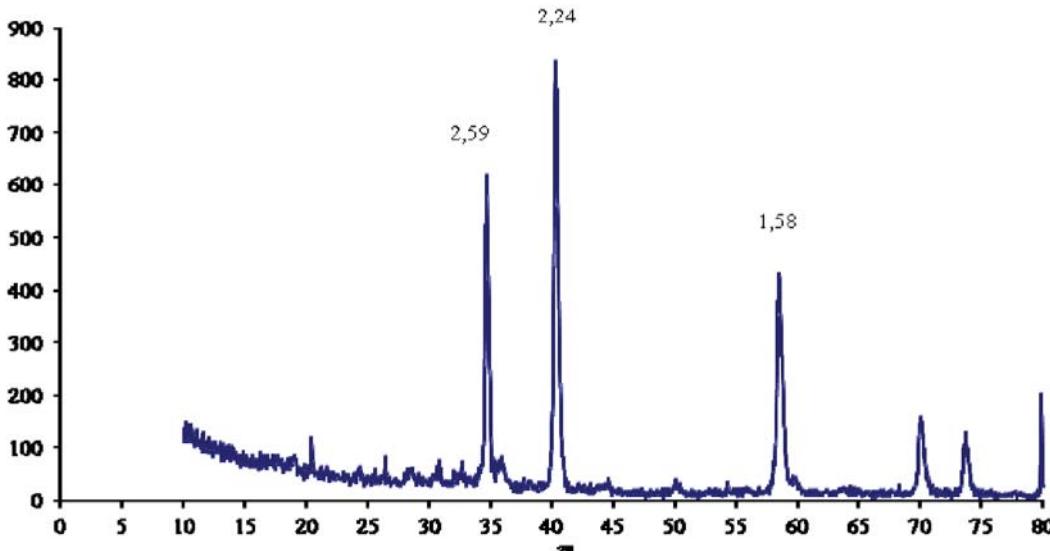
Σχήμα 1. Διάγραμμα των ακτίνων Röntgen του $Mn(OH)_2$.



Σχήμα 2. Φωτογραφία από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο του $Mn(OH)_2$.

Πυρολουσίτης, MnO_2 .

Αντιδραστήριο της QP Panreac (211408), EU. Στο σχήμα 3, δίνεται το διάγραμμα των ακτίνων Röntgen.



Σχήμα 3. Διάγραμμα των ακτίνων Röntgen του MnO_2 .

Διαδικασία προσρόφησης

Στα δύο υλικά, προστέθηκε απεσταγμένο H_2O και ποσότητες $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ που περιείχαν 10, 15, 20, 25, 30 και 40 mg Al^{3+} . Ο τελικός τους όγκος ήταν 50 ml. Τα δείγματα ανακινήθηκαν επί 30' και παρέμειναν σε ισορροπία επί 2, 24, 48, 72, 168 και 216 ώρες σε θερμοκρασία περιβάλλοντος $25 \pm 0,2$ °C. Ακολούθησε φυγοκέντρηση επί 10' σε 8000 – 9000 rpm και παραλαβή με διήθηση. Ο προσδιορισμός του Al έγινε με τη μέθοδο του Aluminon, (Luke και Brawn, 1952). Η τιμή του pH στα διαλύματα ισορροπίας ήταν 5,40 – 3,90. Όλες οι κατεργασίες και οι προσδιορισμοί έγιναν εις τριπλούν.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Το Mn(OH)_2 που παρασκευάστηκε, οξειδώνεται με την πάροδο του χρόνου και μετατρέπεται σε MnOOH ή $\text{MnO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Η μετατροπή αυτή καθίσταται εμφανής με τη μεταβολή του χρώματος του σχηματισθέντος ιζήματος από μπεζ σε καστανό. Από τη σύγκριση των διαγραμμάτων των ακτίνων Röntgen διαπιστώθηκε ότι το Mn(OH)_2 που παρασκευάστηκε είναι ατελώς κρυσταλλωμένο σε σχέση με το MnO_2 . Τόσο τα ατελώς όσο και τα κρυσταλλικά οξείδια και υδροξείδια του μαγγανίου, θεωρούνται ως ελεύθερα οξείδια στο έδαφος και παραλαμβάνονται με την μέθοδο CBD (διθειονικού νατρίου) των Mehra και Jackson (1960).

Στην περίπτωση του Mn(OH)_2 , η συγκέντρωση αργιλίου των 10 mg προσροφάται πρακτικά εξ ολοκλήρου από το υλικό, στη συγκέντρωση των 15 mg η προσρόφηση για όλους τους χρόνους ισορροπίας κατά M.O. είναι 14,4mg ενώ για τη συγκέντρωση των 20 mg Al^{3+} , προσροφώνται κατά M.O. τα 18,2 mg του αργιλίου.

Στην περίπτωση του Mn(OH)_2 , ο χρόνος ισορροπίας, δεν επηρέασε την προσρόφηση του αργιλίου. Οι διαφορές που παρατηρήθηκαν είναι στατιστικώς μη σημαντικές. Αντίθετα, οι διαφορές στην προσρόφηση μεταξύ των δύο υλικών, είναι στατιστικώς σημαντικές, ($P < 0,05$).

Από τα σχήματα 4 και 5 διαπιστώνουμε ότι η προσρόφηση του Al από τα δύο υλικά, ακολουθεί την ισόθερμη εξίσωση του Freundlich ($x/m = kC^n$). Η γραμμική της μορφή είναι, $\log(x/m) = \log k + n \log C$, όπου x/m η ποσότητα που προσροφάται από την μονάδα βάρους του προσροφητικού μέσου, (mgAl/gMn), k , σταθερά προσρόφησης, (ml/g), ο εκθέτης η που

εξαρτάται από την κλίση της ισόθερμης καμπύλης και συνήθως αυξάνεται με την αύξηση της κλίσης και C η συγκέντρωση του Al στο διάλυμα ισορροπίας, (mgAl/ml). Στον πίνακα 1, δίνονται οι τιμές των σταθερών της εξίσωσης του Freundlich και το R^2 . Από τα πειραματικά δεδομένα φαίνεται ότι η προσρόφηση του Al στην περίπτωση του MnO_2 , αυξάνει με την αύξηση των χρόνων ισορροπίας, ενώ αντιθέτως δεν επηρεάζεται από το χρόνο στην περίπτωση του Mn(OH)_2 , (Σχ. 6).

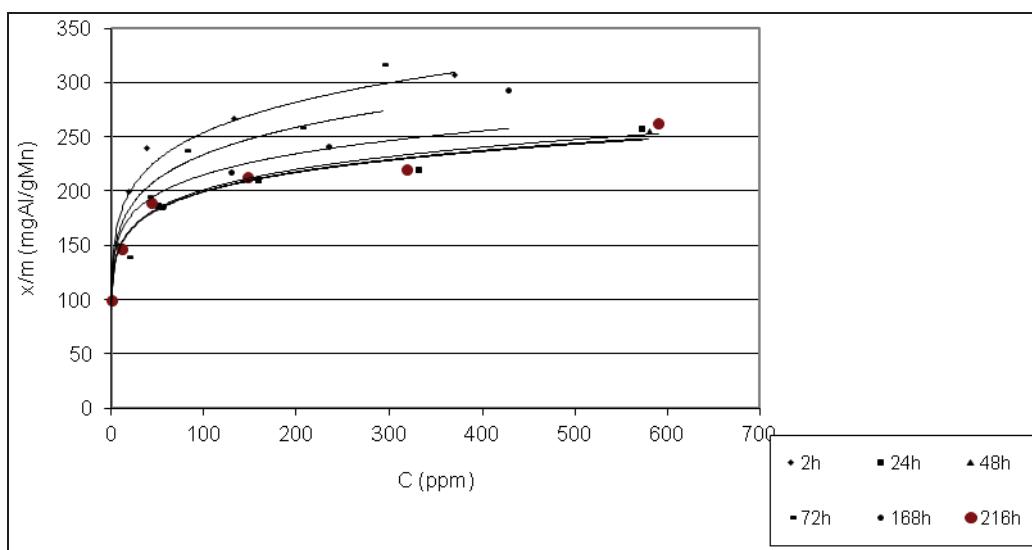
Πίνακας 1. Οι τιμές σταθερών της εξίσωσης του Feundlich και το R^2 που περιγράφουν την προσρόφηση του Al^{3+} από τα δύο υλικά

Χρόνος	MnOOH			MnO_2			
	'Ωρες	k	n	R^2	k	N	R^2
2	126,66	0,151		0,9635	0,017	1,197	0,8885
24	112,36	0,125		0,9919	4,609	0,516	0,8793
48	112,47	0,124		0,9941	6,405	0,467	0,8353
72	118,61	0,147		0,8919	13,926	0,431	0,9170
168	121,21	0,124		0,9446	37,320	0,336	0,9896
216	111,33	0,128		0,9860	37,858	0,322	0,9932

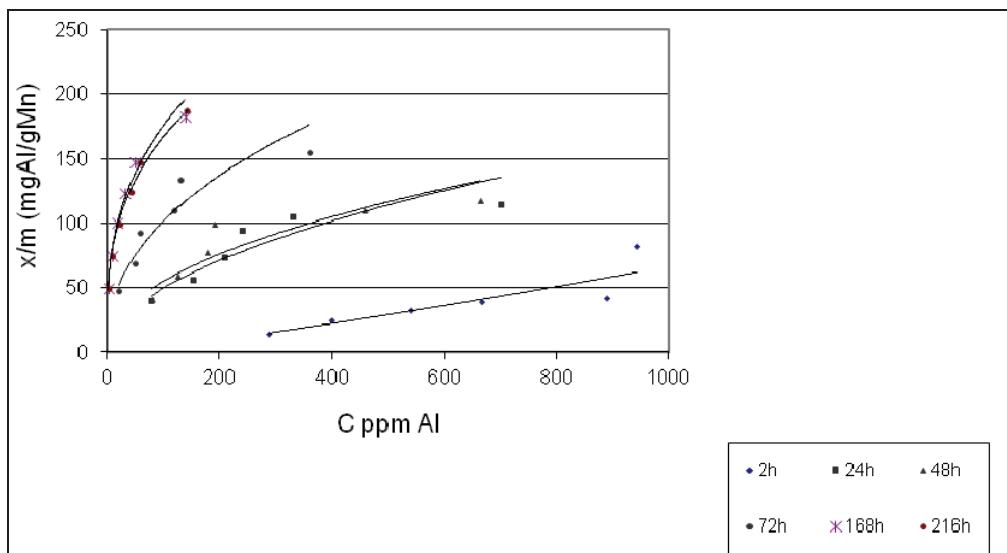
Η τιμή του pH στα διαλύματα ισορροπίας και στις δύο περιπτώσεις είναι παρόμοιες, λόγω της παρουσίας του αργιλίου και μειώνονται με την αύξηση της συγκέντρωσής του στο διάλυμα ισορροπίας.

Το Mn(OH)_2 , προσροφά μεγαλύτερες ποσότητες Al^{3+} σε σχέση με το MnO_2 οι οποίες όμως διαφοροποιούνται και επηρεάζονται από τους χρόνους ισορροπίας. Για χρόνο ισορροπίας 2 ωρών, το Mn(OH)_2 , προσροφά 5,4 φορές κατά Μ.Ο. περισσότερο αργίλιο από το MnO_2 , ενώ για χρόνο ισορροπίας 216 ωρών προσροφά μόνο 1,6 φορές περισσότερο (Σχ. 6). Στο σχήμα 7 δίνεται η φωτογραφία από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο του MnO_2 μετά την προσρόφηση του Al^{3+} .

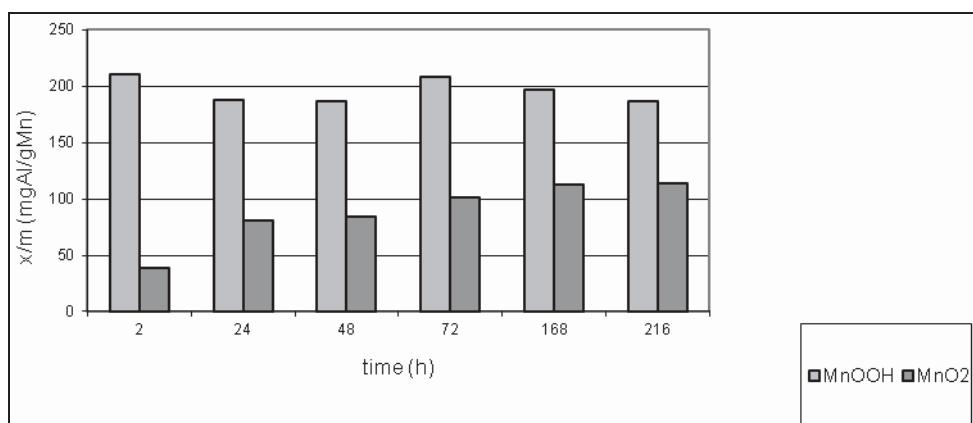
Η προσροφητική ικανότητα των οξειδίων του μαγγανίου έχει άμεση σχέση με το μικρό μέγεθος των κρυστάλλων τους (Zhang και Karathanasis, 1997), με τη μεγάλη τους ειδική επιφάνεια και τα επιφανειακά τους φορτία (McKenzie, 1989).



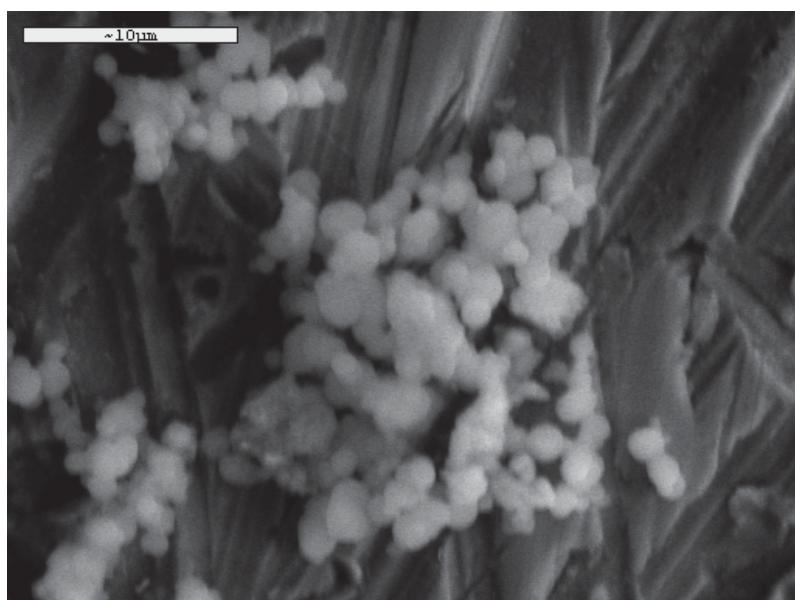
Σχήμα 4. Ισόθερμες καμπύλες του Freundlich που περιγράφουν την προσρόφηση του Al^{3+} από το Mn(OH)_2 .



Σχήμα 5. Ισόθερμες καμπύλες του Freundlich που περιγράφουν την προσρόφηση του Al^{3+} από το MnO_2 .



Σχήμα 6. Ιστογράμματα της προσρόφησης του Al^{3+} από το Mn(OH)_2 και το MnO_2 , (Μ.Ο. των τιμών προσρόφησης).



Σχήμα 7. Φωτογραφία από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο του πυρολουσίτη μετά την προσρόφηση του Al.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Γενικά, τα οξείδια, υδροξείδια και οξυδροξείδια του αργιλίου, του σιδήρου και του μαγγανίου, θεωρούνται τα κύρια συστατικά του εδάφους στα οποία λαμβάνει χώρα η ειδική προσρόφηση που συντελείται στα ελεύθερα επιφανειακά φορτία των εδαφικών αυτών συστατικών. Η ειδική προσρόφηση εξαρτάται από την τιμή του pH στην οποία λαμβάνει χώρα η διαδικασία (McKenzie, 1989). Η προσρόφηση του αργιλίου από τα οξείδια του μαγγανίου αποκτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον στα όξινα εδάφη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Giovanoli, R., E., Staehli, and W. Feitknecht, 1970. *Über Oxidhydroxide des vierwertigen Mangans mit Schichtengitter. 1. Natriummangan(II,III)-manganat(IV)* Helv. Chim. Acta 53: 209-220.
- Luke,R.W., K.C. Brawn, 1952. *Photometric determination of aluminum*. Anal. Chem., 24, 1120-1123.
- McKenzie, R. M., 1980. *The adsorption of lead and other heavy metals on oxides of manganese and iron*. Australian Journal of Soil Research, 18, 61-73.
- McKenzie, R.M.,1989. *Manganese oxides and hydroxides*. In: *Minerals in soil environments*. Dixon, J.B., Weed, S.B., eds., SSSA Books Ser. 1, 2nd edition. SSSA, Madison, WI, 439-465.
- Mehra, O.P., and Jackson M.L., 1960. *Iron oxide removal from soils and clays by a Dithionite – citrate system buffered with sodium bicarbonate*. Clays and Clay Minerals. Seventh National Conference on Clays and Clay Minerals. London. 317- 327.
- Nimfopoulos, M.K., Patrick, R.A.D., Michailidis, K.M., Polya, D.A., and Esson, J., 1997. *Geology, geochemistry and origin of the continental karst-hosted supergane deposits in the western Rhodope massif, Macedonia, northern Greece*. Exploration and Mining Geology, 6, 171-184.
- Uzochukwu, G.A., J.b. Dixon, 1986. *Manganese oxide minerals in nodules of two soils of Texas and Alabama*. Soil Sci. Soc. Am. J. 50:1358-1363.
- Zhang, M., and Karathanasis, A.D., 1997. *Characterization of iron – manganese concretions in Kentucky Alfisols with perched water tables*. Clays Clay Minerals 45: 428-439.