

## ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ Fe, Al, Cu, Co, Cr, Ni, Zn ΣΕ ΕΔΑΦΗ ALFISOLS ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΚΙΛΚΙΣ ΠΟΥ ΣΧΗΜΑΤΙΣΘΗΚΑΝ ΣΕ ΓΑΒΒΡΟ

Τσαουσίδου Π.<sup>1</sup>, Τσαγκαλίδης Α.<sup>1</sup>, Γκάρτζος Ε.<sup>1</sup>, Χαϊντούτη Κ.<sup>2</sup>, Γασπαράτος Δ.<sup>2</sup>, και Ταρανίδης Δ.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Εργαστήριο Ορυκτολογίας και Γεωλογίας, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιερά Οδός 75, Αθήνα 11855 [gtsaousidou@yahoo.gr](mailto:gtsaousidou@yahoo.gr), [egartz@aua.gr](mailto:egartz@aua.gr)

<sup>2</sup> Εργαστήριο Εδαφολογίας και Γεωργικής Χημείας, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιερά Οδός 75, Αθήνα 11855 [haidouti@aua.gr](mailto:haidouti@aua.gr)

<sup>3</sup> Διεύθυνση Ορυκτολογίας-Πετρολογίας, Ι.Γ.Μ.Ε., Μεσογείων 70, 115 27 Αθήνα

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της κατανομής των συγκεντρώσεων των Fe, Al, Cu, Co, Cr, Ni, Zn σε δυο καλλιεργούμενα εδάφη της τάξης των Alfisols (εδαφοτομές P1 και P2) του Νομού Κιλκίς που σχηματίστηκαν σε γάββρο. Τα κύρια χαρακτηριστικά των μελετηθέντων εδαφών είναι η συσσώρευση της αργίλου στους αργιλικούς ορίζοντες, οι χαμηλές τιμές pH και οργανικής ουσίας, η απουσία CaCO<sub>3</sub> και τα υψηλά ποσοστά άμμου, ενώ παρουσιάζουν διαφορές ως προς το καθεστώς υδρομορφίας (P1: Υδρομορφία C, P2: Υδρομορφία B) και το βαθμό εξέλιξής τους. Η μικρομορφολογική μελέτη των εδαφικών οριζόντων έδειξε την παρουσία υπολειμματικών κρυστάλλων πυροξένων, εξαλλοιωμένων πλαγιόκλαστων και μοσχοβίτη. Από την ορυκτολογική ανάλυση της αργίλου, με την εφαρμογή της περίθλασης των ακτίνων X προκύπτει ότι οι δυο εδαφοτομές εμφανίζουν την ίδια περίπου ορυκτολογική σύνθεση της αργίλου με την παρουσία καολινίτη, ιλλίτη, βερμικουλίτη και αλληλοστρωσιγενών ορυκτών μοντμοριλλονίτη-βερμικουλίτη.

Και στις δυο εδαφοτομές η κατανομή των στοιχείων δείχνει να επηρεάζεται σε σημαντικό βαθμό από τις πεδογενετικές διεργασίες. Η ιλλουβιακή μετακίνηση της αργίλου (αργιλικά ορυκτά-οξειδία) στον αργιλικό ορίζοντα (Bt) φαίνεται να παίζει πρωταρχικό ρόλο, γεγονός το οποίο ενισχύεται από τη στατιστική ανάλυση, η οποία δείχνει συσχέτιση των μελετηθέντων στοιχείων με το κλάσμα της αργίλου (και την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων) και τα οξειδία Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> και Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Ο λόγος επίσης των συγκεντρώσεων των στοιχείων στους επιφανειακούς ορίζοντες προς τις συγκεντρώσεις τους στο μητρικό υλικό, ο οποίος χρησιμοποιείται ως δείκτης για την εκτίμηση της σχετικής κινητικότητας των στοιχείων στην εδαφική κατατομή, έχει τιμές μικρότερες από 0.90, επιβεβαιώνοντας την παραπάνω διαπίστωση. Οι χαμηλές τιμές του pH, η κοκκομετρική σύσταση και το καθεστώς υδρομορφίας των εδαφών επηρεάζουν επίσης τη συμπεριφορά των στοιχείων στα εδάφη, σε αντίθεση με το ποσοστό της οργανικής ουσίας.

### 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

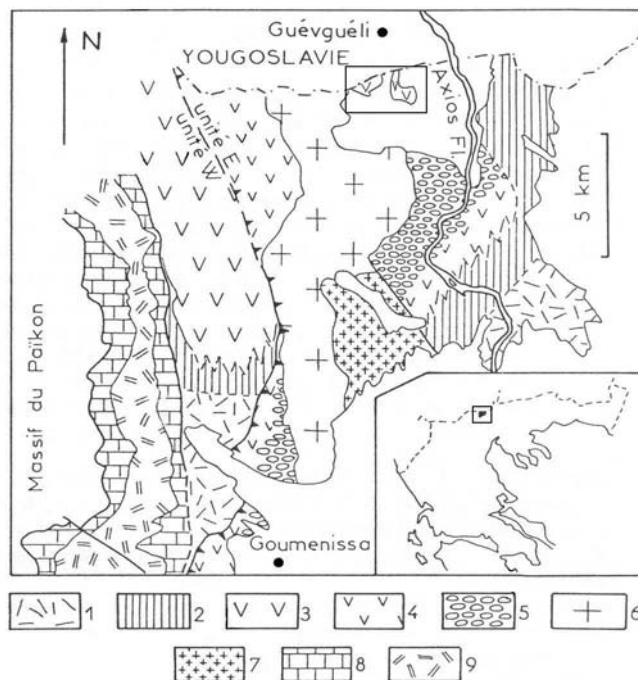
Οι συγκεντρώσεις των στοιχείων στα εδάφη, οι οποίες είναι σημαντικές για τη διατήρηση της ποιότητας του περιβάλλοντος και του ισοζυγίου των θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος, εξαρτώνται από τη γεωχημική φύση του μητρικού πετρώματος, στο οποίο τα εδάφη σχηματίστηκαν, τις πεδογενετικές διεργασίες και τις ατμοσφαιρικές αποθέσεις. Ο βαθμός επίδρασης αυτών των παραγόντων εξαρτάται από το βαθμό εξέλιξης του εδάφους, την κινητικότητα του στοιχείου στο εδαφικό σύστημα καθώς επίσης και από εξωγενείς παράγοντες (χρήσεις γης, βλάστηση, απόσταση από πηγές ρύπανσης) (Zhang et al. 2002, Martinez Cortizas et al. 2003). Ο ρόλος των εδαφογενετικών διεργασιών στη συσσώρευση ή κινητικότητα των στοιχείων είναι πρωταρχικός στις περιβαλλοντικές επιστήμες, εξαιτίας της κεντρικής σημασίας του εδάφους στον υδρολογικό κύκλο και τα οικοσυστήματα (Huang 1998). Οι φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους όπως η κοκκομετρική σύσταση, η οργανική ουσία, οι συνθήκες στράγγισης (οξειδοαναγωγικά φαινόμενα) και το pH

επηρεάζουν την ποσότητα και κατανομή των στοιχείων στην εδαφική κατατομή (Kabata-Pendias and Pendias 1992, Wolt 1994).

Έλλειψη ή υπερεπάρκεια των στοιχείων μπορεί να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα στην ανάπτυξη των φυτών και στην υγεία του ανθρώπου και των ζώων (Tiller 1989, Fergusson 1990). Τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρείται σε παγκόσμια κλίμακα, αύξηση των συγκεντρώσεων ορισμένων στοιχείων στο περιβάλλον και επειδή αρκετά από αυτά είναι τοξικά για γήινα και θαλάσσια οικοσυστήματα, η μελέτη τους παρουσιάζει μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον (Kabala & Szerszen 2002).

## 2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ - ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ

Για την πραγματοποίηση της μελέτης επιλέχθηκαν δυο εδάφη της τάξης των Alfisols που σχηματίστηκαν σε γάββρο από την περιοχή Χαμηλό του Νομού Κιλκίς (Σχ.1).



Σχήμα 1. Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης (Bebien and Gagny 1979)

1. Ηφαιστειακά πετρώματα
2. Υποηφαιστειακά πετρώματα
3. Πλουτώνια πετρώματα της Δυτικής Ενότητας
4. Γάββρος Ανατολικής Ενότητας
5. Μαγματικά Λατυποπαγή και συναφή πετρώματα (Γάββρος II και Διορίτες)
6. Γρανίτης του Φανού
7. Μιγματίτες
8. Ιουρασικοί Ασβεστόλιθοι
9. Ηφαιστειοζηματογενείς σχηματισμοί του Ιουρασικού

Η περιγραφή των εδαφοτομών και η δειγματοληψία έγιναν σύμφωνα με το Soil Survey Staff (1996). Η ταξινόμηση των εδαφών ως Alfisols (Haploxeralf) έγινε με βάση το Soil Taxonomy (1999) και ο προσδιορισμός των βασικών ιδιοτήτων τους (κοκκομετρική σύσταση, οργανική ουσία,  $\text{CaCO}_3$ , pH, I.A.K.) στο κλάσμα της λεπτής γης (<2mm) έγινε σύμφωνα με γενικά αποδεκτές μεθόδους (Gee & Bauder 1986, Sparks 1996). Ο προσδιορισμός του χρώματος κάθε εδαφικού οριζοντα έγινε με το

σύστημα μέτρησης χρωμάτων Munsell (1954). Το κλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται ως εύκρατο μεσογειακό και το καθεστώς εδαφικής υγρασίας ως *xeric*.

Για την παραλαβή των ολικών μορφών των στοιχείων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της υγρής καύσης με *aqua regia* (Berrow & Stein 1983). Οι μετρήσεις έγιναν σε φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης Varian SpectrAA-300 στο Εργαστήριο Εδαφολογίας (Γ.Π.Α.) και η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων έγινε σύμφωνα με το στατιστικό πακέτο STATISTICA.

Παρασκευάστηκαν 9 λεπτές τομές σε αδιατάρακτα εδαφικά δείγματα όλων των οριζόντων κάθε εδαφοτομής και η περιγραφή τους έγινε σε πολωτικό μικροσκόπιο (Brewer 1964) στο Εργαστήριο Ορυκτολογίας και Γεωλογίας (Γ.Π.Α.). Για την ποιοτική ανάλυση της αργίλου (<2 $\mu$ m), με τη μέθοδο περίθλασης ακτίνων Χ, έγινε κορεσμός 9 δειγμάτων με  $K^+$  και θέρμανσή τους για 2 ώρες στους 350°C και 550°C και κορεσμός με  $Mg^{2+}$  και μίγμα αιθυλογλυκόλης-νερού (3ml αιθυλογλυκόλης:20ml νερού) (Whitting & Allardice 1986). Χρησιμοποιήθηκε αυτόματο περιθλασίμετρο τύπου Siemens D500 με λυχνία χαλκού και μονοχρωμάτορα γραφίτη και ο προσδιορισμός των κρυσταλλικών φάσεων έγινε με τη χρήση της βάσης δεδομένων JCPDS (Join Committee Powder Diffraction Standards) στη Διεύθυνση Ορυκτολογίας-Πετρολογίας (Ι.Γ.Μ.Ε.).

### 3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Αναλυτικά δεδομένα για τις δυο εδαφοτομές παρουσιάζονται στους πίνακες 1 και 2. Οι εδαφοτομές P1 και P2 χαρακτηρίζονται από αμμοπηλώδη και αμμοαργιλοπηλώδη κοκκομετρική σύσταση και εμφανίζουν αυξημένο ποσοστό της αργίλου στους αργιλικούς ορίζοντες. Η εδαφοτομή P1 παρουσιάζει ατελή στράγγιση (υδρομορφία C), ενώ η εδαφοτομή P2 εμφανίζει μέτρια στράγγιση (υδρομορφία B). Οι τιμές του pH και στις δυο εδαφοτομές εμφανίζονται ιδιαίτερα χαμηλές στην επιφάνεια και αυξάνονται με το βάθος. Και οι δυο εδαφοτομές αφορούν σε καλλιεργούμενα εδάφη και χαρακτηρίζονται από χαμηλά ποσοστά οργανικής ουσίας.

Από την παρατήρηση των λεπτών τομών στο πολωτικό μικροσκόπιο και στις δυο εδαφοτομές διαπιστώθηκε η παρουσία υπολειμματικών κρυστάλλων πυροξένων ενδεικτικών του μητρικού πετρώματος, εξαλλοιωμένων πλαγιοκλάστων και φυλλαρίων κρυστάλλων μοσχοβίτη. Από την ορυκτολογική ανάλυση της αργίλου με την εφαρμογή ακτίνων Χ προέκυψε ότι οι εδαφοτομές P1 και P2 εμφανίζουν την ίδια περίπου ορυκτολογική σύνθεση. Συγκεκριμένα, διαπιστώθηκε η παρουσία βερμικουλίτη, ιλλίτη και καολινίτη σε όλους τους ορίζοντες και των δυο εδαφοτομών και η παρουσία αλληλοστρωσιγενών ορυκτών μοντμοριλλονίτη-βερμικουλίτη στο BC ορίζοντα της εδαφοτομής P1 και στους ορίζοντες Bt και C της εδαφοτομής P2. Τα ορυκτά που παρατηρήθηκαν στις εδαφοτομές αυτές αναφέρονται ως προϊόντα αποσάθρωσης του γάββρου σε πολλές ερευνητικές μελέτες (Wilson 1967, Basham 1974, Okumura 1982, Abreu & Vairinho 1990).

Πίνακας 1. Αναλυτικά δεδομένα της εδαφοτομής P1.

| Οριζοντας | Βάθος (cm) | Χρώμα ύφυγρο | Άμμος (%) | Ιλύς (%) | Άργιλος (%) | Υφή        | Οργανική ουσία (%) | CaCO <sub>3</sub> (%) | pH   | I.A.K. (meq/100gr) | Ορυκτολογική σύσταση αργίλου |
|-----------|------------|--------------|-----------|----------|-------------|------------|--------------------|-----------------------|------|--------------------|------------------------------|
| Ap        | 0-28       | 10YR 3/3     | 68.95     | 21.95    | 9.10        | Sandy Loam | 1.03               | -                     | 4.09 | 8.79               | V, I, K                      |
| AB        | 28-60      | 7.5YR 4/4    | 66.23     | 22.47    | 11.30       | Sandy Loam | 0.82               | -                     | 4.56 | 8.92               | V, I, K                      |
| Bt        | 60-84      | 7.5YR 4/6    | 63.43     | 22.37    | 14.20       | Sandy Loam | 0.42               | -                     | 6.15 | 9.68               | V, I, K                      |
| BC        | 84-100     | 10YR 3/4     | 76.68     | 13.52    | 9.80        | Sandy Loam | 0.32               | -                     | 6.29 | 8.50               | Mt/V, V, I, K                |
| C         | 100-130    | 10YR 3/3     | 62.75     | 24.65    | 12.60       | Sandy Loam | 0.32               | -                     | 6.52 | 9.46               | V, I, K                      |

Πίνακας 2. Αναλυτικά δεδομένα της εδαφοτομής P2.

| Οριζοντας | Βάθος (cm) | Χρώμα ύφυγρο | Άμμος (%) | Ιλύς (%) | Άργιλος (%) | Υφή             | Οργανική ουσία (%) | CaCO <sub>3</sub> (%) | pH   | I.A.K. (meq/100gr) | Ορυκτολογική σύσταση αργίλου |
|-----------|------------|--------------|-----------|----------|-------------|-----------------|--------------------|-----------------------|------|--------------------|------------------------------|
| Ap        | 0-24       | 7.5YR 4/4    | 70.98     | 20.62    | 8.40        | Sandy Loam      | 0.54               | -                     | 4.33 | 8.45               | V, I, K                      |
| AB        | 24-40      | 7.5YR 4/4    | 59.70     | 26.60    | 13.70       | Sandy Loam      | 0.50               | -                     | 4.54 | 8.92               | V, I, K                      |
| Bt        | 40-56      | 7.5YR 4/4    | 47.48     | 32.92    | 19.60       | Sandy Clay Loam | 0.52               | -                     | 5.16 | 10.18              | Mt/V, V, I, K                |
| C         | 56-75      | 10YR 3/4     | 59.60     | 23.90    | 16.50       | Sandy Clay Loam | 0.57               | -                     | 5.63 | 9.46               | Mt/V, V, I, K                |

V=βερμικουλίτης

I=ιλλίτης

K=καολινίτης

Mt/V=αλληλοσπρωσιγενή ορυκτά μοντμοριλλονίτη-βερμικουλίτη

I.A.K. = Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων

Οι ολικές συγκεντρώσεις των αναλυθέντων στοιχείων παρουσιάζονται στους πίνακες 3 και 4.

Πίνακας 3. Ολικές συγκεντρώσεις των στοιχείων στην εδαφοτομή P1.

| Οριζοντας | Βάθος (cm) | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>a</sup> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>a</sup> | Cu <sup>b</sup> | Co <sup>b</sup> | Cr <sup>b</sup> | Ni <sup>b</sup> | Zn <sup>b</sup> |
|-----------|------------|---|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Ap        | 0-28       | 2,62  | 4,49  | 22,6            | 22,1            | 42,3            | 21,7            | 53,2            |
| AB        | 28-60      | 3,40  | 5,08  | 25,0            | 24,8            | 50,6            | 28,1            | 54,4            |
| Bt        | 60-84      | 4,13  | 6,10  | 28,0            | 29,9            | 63,9            | 32,9            | 60,8            |
| BC        | 84-100     | 2,56  | 4,68  | 23,5            | 24,0            | 49,8            | 24,9            | 49,5            |
| C         | 100-130    | 4,00  | 5,84  | 30,2            | 30,1            | 65,2            | 34,3            | 68,3            |

Πίνακας 4. Ολικές συγκεντρώσεις των στοιχείων στην εδαφοτομή P2.

| Οριζοντας | Βάθος (cm) | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>a</sup> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>a</sup> | Cu <sup>b</sup> | Co <sup>b</sup> | Cr <sup>b</sup> | Ni <sup>b</sup> | Zn <sup>b</sup> |
|-----------|------------|---|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Ap        | 0-24       | 2,64  | 4,78  | 16,3            | 16,3            | 29,6            | 19,3            | 47,3            |
| AB        | 24-40      | 3,44  | 5,78  | 21,0            | 21,9            | 39,6            | 24,9            | 52,9            |
| Bt        | 40-56      | 4,04  | 6,71  | 64,2            | 31,1            | 54,1            | 39,6            | 127,1           |
| C         | 56-75      | 2,98  | 5,83  | 22,4            | 22,5            | 47,7            | 28,0            | 55,1            |

<sup>a</sup> οι συγκεντρώσεις εκφράζονται επί τοις εκατό %

<sup>b</sup> οι συγκεντρώσεις εκφράζονται σε ppm

Και στις δυο εδαφοτομές η κατανομή των στοιχείων δείχνει να επηρεάζεται σε σημαντικό βαθμό από τις πεδογενετικές διεργασίες. Παρατηρούμε μετακίνηση των στοιχείων με το βάθος και συγκέντρωσή τους στον αργιλικό οριζοντα, γεγονός το οποίο μπορεί να αποδοθεί στην παράλληλη μετακίνησή τους με την άργιλο. Η αυξημένη συγκέντρωση της αργίλου (αργιλικά ορυκτά-οξειδία) στον αργιλικό οριζοντα (Bt) σε συνδυασμό με το είδος των αργιλικών ορυκτών που παρατηρήθηκαν, φαίνεται να παίζουν πρωταρχικό ρόλο στην κατανομή των στοιχείων. Αρκετοί ερευνητές έχουν παρατηρήσει υψηλή συσχέτιση μεταξύ της αργίλου και αρκετών στοιχείων (Dunn & Irvine 1993, Mermut et al. 1996). Ο Adriano (1986) και οι Wang & Chen (1994) αποδίδουν αυτή τη συσχέτιση στους ισχυρούς δεσμούς των στοιχείων με τα αργιλικά ορυκτά. Παρόμοια αποτελέσματα παρουσιάζουν ο McBride (1994), ο Alloway (1995) και οι Wilcke et al. (2000). Οι χαμηλότερες τιμές των στοιχείων παρουσιάζονται στους επιφανειακούς οριζοντες πιθανόν λόγω των χαμηλών τιμών pH στην επιφάνεια, της κοκκομετρικής σύστασης και του καθεστώτος υδρομορφίας των εδαφών. Οι όξινες συνθήκες, τα υψηλά ποσοστά άμμου και οι συνθήκες στράγγισης που επικρατούν, ευνοούν την απομάκρυνση των στοιχείων από την επιφάνεια προς τα βαθύτερα στρώματα (Kabata-Pendias & Pendias 1992).

Η συσχέτιση των μελετηθέντων στοιχείων με το κλάσμα της αργίλου, την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων και τα οξειδία Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> και Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Πιν. 5) ενισχύουν την άποψη ότι η ιλλουβιακή μετακίνηση της αργίλου στον αργιλικό οριζοντα (Bt) παίζει πρωταρχικό ρόλο στην κατανομή των στοιχείων. Η οργανική ουσία, η οποία συχνά σχηματίζει οργανομεταλλικά σύμπλοκα με τα ιχνοστοιχεία και επηρεάζει την κινητικότητά τους (Aoyama 1982) δεν παρουσιάζει συσχέτιση με τα μελετηθέντα στοιχεία και δε φαίνεται να επηρεάζει τη συμπεριφορά τους γεγονός που ίσως οφείλεται στη μικρή περιεκτικότητα των εδαφών σε οργανική ουσία.

Πίνακας 5. Πίνακας συσχετίσεων μεταξύ των μελετηθέντων στοιχείων και εδαφικών ιδιοτήτων (I.A.K.= Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων).

|    | Al     | Cu    | Co     | Cr      | Ni      | Zn      | Άμμος    | Ιλύς  | Αργίλος | Οργ. ουσία | I.A.K.  |
|----|--------|-------|--------|---------|---------|---------|----------|-------|---------|------------|---------|
| Fe | 0.85** | 0.60  | 0.84** | 0.75*   | 0.87**  | 0.60    | -0.70*   | 0.66  | 0.66    | -0.36      | 0.82**  |
| Al |        | 0.70* | 0.70*  | 0.54    | 0.86**  | 0.73*   | -0.90*** | 0.79* | 0.93*** | -0.43      | 0.92*** |
| Cu |        |       | 0.72*  | 0.43    | 0.83**  | 0.99*** | -0.77*   | 0.71* | 0.75*   | -0.14      | 0.79*   |
| Co |        |       |        | 0.93*** | 0.94*** | 0.67*   | -0.54    | 0.44  | 0.62    | -0.33      | 0.82**  |
| Cr |        |       |        |         | 0.81**  | 0.37    | -0.29    | 0.17  | 0.43    | -0.39      | 0.67*   |
| Ni |        |       |        |         |         | 0.79*   | -0.74*   | 0.62  | 0.81**  | -0.35      | 0.92*** |
| Zn |        |       |        |         |         |         | -0.81**  | 0.77* | 0.76*   | -0.13      | 0.79*   |

\*\*\* επίπεδο σημαντικότητας  $p < 0.001$

\*\* επίπεδο σημαντικότητας  $p < 0.01$

\* επίπεδο σημαντικότητας  $p < 0.05$

Και στις δυο εδαφοτομές η κατανομή όλων των στοιχείων δείχνει ότι έχουμε απομάκρυνση από την επιφάνεια και συγκέντρωση στους αργιλικούς ορίζοντες. Η μετακίνηση αυτή επιβεβαιώνεται από τις τιμές του λόγου των συγκεντρώσεων των στοιχείων στους επιφανειακούς ορίζοντες προς τις συγκεντρώσεις τους στο μητρικό υλικό, ο οποίος χρησιμοποιείται ως δείκτης για την εκτίμηση της σχετικής κινητικότητας των στοιχείων στην εδαφική κατατομή. Σύμφωνα με τους Zhang et al. (2002), τιμές του δείκτη  $< 0.90$  δείχνουν έκπλυση των στοιχείων από την επιφάνεια, ενώ τιμές  $> 1.10$  συσσώρευση των στοιχείων στους επιφανειακούς ορίζοντες. Οι διαφορές στις συγκεντρώσεις των στοιχείων ανάμεσα στους επιφανειακούς και τους κατώτερους ορίζοντες φαίνεται να οφείλονται στην επίδραση των πεδογενετικών διεργασιών στα εδάφη (Zhang et al. 2002).

Στην εδαφοτομή P1, οι τιμές αυτού του δείκτη για τα μελετηθέντα στοιχεία εμφανίζονται μικρότερες από 0.90 (Πιν. 6). Το ίδιο ισχύει και στην εδαφοτομή P2 για όλα τα στοιχεία εκτός από το Fe, ο οποίος παρουσιάζει λόγο σταθερό κοντά στη μονάδα δείχνοντας τη μικρή κινητικότητά του στην εδαφοτομή (Πιν. 7).

Πίνακας 6. Συγκεντρώσεις των στοιχείων στους επιφανειακούς (Ap και AB) ορίζοντες και στον C ορίζοντα της εδαφοτομής P1.

|                                    | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>a</sup> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>a</sup> | Cu <sup>b</sup> | Co <sup>b</sup> | Cr <sup>b</sup> | Ni <sup>b</sup> | Zn <sup>b</sup> |
|------------------------------------|---|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Επιφανειακοί ορίζοντες (Ap και AB) | 3,01  | 4,79  | 23,8            | 23,5            | 46,5            | 24,9            | 53,8            |
| Μητρικό υλικό (Ορίζοντας C)        | 4,00  | 5,84  | 30,2            | 30,1            | 65,2            | 34,3            | 68,3            |
| Λόγος                              | 0,75  | 0,82  | 0,79            | 0,78            | 0,71            | 0,73            | 0,79            |

Πίνακας 7. Συγκεντρώσεις των στοιχείων στους επιφανειακούς (Ap και AB) ορίζοντες και στον C ορίζοντα της εδαφοτομής P2.

|                                    | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>a</sup> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>a</sup> | Cu <sup>b</sup> | Co <sup>b</sup> | Cr <sup>b</sup> | Ni <sup>b</sup> | Zn <sup>b</sup> |
|------------------------------------|---|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Επιφανειακοί ορίζοντες (Ap και AB) | 3,04  | 5,28  | 18,6            | 19,1            | 34,6            | 22,1            | 50,1            |
| Μητρικό υλικό (Ορίζοντας C)        | 2,98  | 5,83  | 22,4            | 22,5            | 47,7            | 28,0            | 59,1            |
| Λόγος                              | 1,02  | 0,91  | 0,83            | 0,85            | 0,73            | 0,79            | 0,85            |

<sup>a</sup> οι συγκεντρώσεις εκφράζονται επί τοις εκατό %

<sup>b</sup> οι συγκεντρώσεις εκφράζονται σε ppm

Η υψηλότερη συγκέντρωση των μελετηθέντων στοιχείων στον αργιλικό ορίζοντα (Bt) της εδαφοτομής P2 σε σχέση με τον αντίστοιχο ορίζοντα της εδαφοτομής P1 μπορεί να αποδοθεί στην εντονότερη επίδραση των εδαφογενετικών διεργασιών στη συγκεκριμένη εδαφοτομή, η οποία είναι πιο εξελιγμένη όπως διαπιστώθηκε σε προηγούμενη ερευνητική μελέτη (Τσαουσιδου 2002).

#### 4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας προκύπτει ότι και στις δυο εδαφοτομές η κατανομή των στοιχείων επηρεάζεται σε σημαντικό βαθμό από τις πεδογενετικές διεργασίες. Παρατηρείται έκπλησή τους από την επιφάνεια πιθανόν λόγω των χαμηλών τιμών pH στους επιφανειακούς ορίζοντες, της κοκκομετρικής σύστασης και του καθεστώτος υδρομορφίας των εδαφών και συγκέντρωσή τους στον αργιλικό ορίζοντα, όπου παρατηρούνται τα υψηλότερα ποσοστά της αργίλου και της I.A.K.. Η στατιστική ανάλυση, η οποία δείχνει συσχέτιση των μελετηθέντων στοιχείων με το κλάσμα της αργίλου, την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων και τα οξειδία  $Fe_2O_3$  και  $Al_2O_3$  και οι τιμές του λόγου των συγκεντρώσεων των στοιχείων στους επιφανειακούς ορίζοντες προς τις συγκεντρώσεις τους στο μητρικό υλικό, οι οποίες είναι μικρότερες από 0.90, ενισχύουν την άποψη ότι η ιλλουβιακή μετακίνηση της αργίλου (αργιλικά ορυκτά-οξειδία) στον αργιλικό ορίζοντα (Bt) φαίνεται να παίζει πρωταρχικό ρόλο στην κατανομή των στοιχείων.

#### ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Τσαουσιδου Π. 2002. Πεδογενετική κατανομή ορυκτών και μορφών Fe, Mn και Al σε εδάφη Alfisols. Μεταπτυχιακή μελέτη, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Abreu M.M. & Vairinho M.1990. Amphibole alteration to vermiculite in a weathering profile of gabbro-diorite. In: Proceedings of the International Meeting on Soil Micromorphology. Soil Micromorphol.8, 493-500.
- Adriano D.C. 1986. Heavy metals in Terrestrial Environment, Springer, Berlin.
- Alloway B.J. 1995. Heavy metals in soils. Blackie, Academic and Professional, London-Glasgow-Weinhein-New York-Tokyo-Melbourne, 2<sup>nd</sup> ed., 21p.
- Aoyama I. 1982. Local redistribution and partial extraction of heavy metals in sediments of an estuary. Environ Pollut. B4, 27-34.
- Basham I.R. 1974. Mineralogical changes associated with deep weathering of gabbro in Aberdeenshire. Clay Miner.10, 189-202.
- Bebien J. and Gagny Cl. 1979. Differentiation des magmas ophiolitiques:L' exemple du cortege de Guevgueli, Ophiolites, Proceedings International Ophiolite Symposium, Cyprus, pp :351-359
- Berrow M.L. & Stein W.M. 1983. Extraction of metals from soils and sewage sludges by refluxing with aqua regia. Analyst.108, 277-285.
- Brewer R. 1964. In John Wiley and Sons (ed.). Fabric and Mineral Analysis of Soils. Inc.. New York.
- Dunn C.E. & Irvine D.G. 1993. Relevance of a lithogeochemical database to epidemiological studies in central Saskatchewan. Canada. Appl. Geochem. Suppl. Issue, 2, 215-222.
- Fergusson J.E. 1990. The Heavy Elements: Chemistry, Environmental Impact, and Health Effects, Pergamon Press, New York.
- Gee G.W. & Bauder J.W. 1986. Particle-size analysis.9:383-411.In: A. Klute (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 1.2<sup>nd</sup> ed. Agronomy. ASA and SSSA. Madison. WI. USA.
- Huang P.M. 1998. Soil Chemistry and Ecosystem Health, SSSA Special Publication Number 52. Soil Society of America, Madison, WI, USA, 386p.
- Kabala C. & Szerszen L. 2002. Profile distributions of lead, zinc, and copper in Dystric Cambisols developed from granite and gneiss of the Sudetes Mountains. Poland. Water Air Soil Pollut. 138, 307-317.
- Kabata-Pendias A. & Pendias H. 1992. Trace Elements in Soils and Plants. 2<sup>nd</sup> edn. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Martinez Cortizas A., Garcia-Rodeja Gayoso E., Novoa Munoz J.C., Pontevedra X., Buurman P. & Terribile F. 2003. Distribution of some selected major and trace elements in four Italian soils developed from the deposits of the Gaurio and Vico volcanoes. Geoderma. 117, 215-224.
- McBride M.B. 1994. Environmental chemistry of soils. Oxford University Press, New York, Oxford.
- Mermut A.R., Jain J.C., Song L., Kerrich R., Kozak L. & Jana S. 1996. Trace element concentrations of selected soils and fertilizers in Saskatchewan. J. Environ. Qual. 25, 845-853.
- Munsell 1954. Munsell soil color charts. Munsell Color Company, Inc. Baltimore.
- Okumura S. 1982. Weathering process of Nabari gabbro body (1), Zoning of weathering crust., J. Jpn. Assoc. Mineral. Petrol. Econ. Geol., 77, 191-202.
- Soil Survey Staff 1996. Keys to Soil Taxonomy. 7<sup>th</sup> edn. U.S. Government Printing Office. Washington. DC.
- Soil Taxonomy 1999. A basic system of soil classification for making and interpreting Soil Surveys, USDA, SCS Agric. Hand, U.S.Government Printing Office Washington D.C., p:436
- Sparks D.L. 1996. Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods. ASA and SSSA. Madison. Wisconsin. USA.

- Tiller K.G. 1989. Heavy metals in soils and their environmental significance. In: Stewart, B.A., (Ed.), *Advances in Soils Science*, vol.9. Springer, New York, 113-142.
- Wang X.J. & Chen J.S. 1994. Heavy metal associations and their content prediction of soils from eastern China plains. *Geochim. Suppl.*, 124-133.
- Wilcke W., Kretzschmar S., Bundt M., Saborio G. & Zech W. 2000. Depth distribution of aluminum and heavy metals in soils of Costa Rican coffee cultivation areas. *Journal Plant Nutr. Soil Sci.* 163, 499-502
- Wilson M.J. 1967. The mineralogy of soils derived from a biotite-rich quartz-gabbro in the Strathdon area, Aberdeenshire. *Clay Miner.*, 7, 91-100.
- Whitting L.D. & Allardice W.R. 1986. X-ray diffraction techniques. In: A.Klute (ed.), *Methods of soil analysis*, Part 1., Physical and Mineralogical methods. 2<sup>nd</sup> ed. Agronomy. 9, 331-362.
- Wolt J. 1994. *Soil solution chemistry: application to environmental science and Agriculture*. Wiley, New York.
- Zhang X.P., Deng W. & Yang X.M. 2002. The background concentrations of 13 soil trace elements and their relationships to parent materials and vegetation in Xizang (Tibet), China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 21, 167-174.

## ABSTRACT

### **THE DISTRIBUTION OF Fe, Al, Cu, Co, Cr, Ni, Zn IN ALFISOLS DEVELOPED ON GABBROS FROM KILKIS AREA**

Tsaousidou P.<sup>1</sup>, Tsagalides A.<sup>1</sup>, Gartzos E.<sup>1</sup>, Haidouti K.<sup>2</sup>, Gasparatos D.<sup>2</sup>, and Tarenides D.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Laboratory of Mineralogy and Geology, Agricultural University of Athens, Iera Odos 75, Athens 11855 gtsaousidou@yahoo.gr, egartz@aua.gr*

<sup>2</sup> *Laboratory of Soils and Agricultural Chemistry, Agricultural University of Athens, Iera Odos 75, Athens 11855 haidouti@aua.gr*

<sup>3</sup> *Management of Mineralogy-Petrology, Institute of Geology and Mineral Exploration, Messoghion 70, Athens 11527*

The distribution of Fe, Al, Cu, Co, Cr, Ni, Zn was examined in two soil profiles of cultivated Alfisols developed from gabbro in the area of Chamilo in Kilkis. The main features of the studied soils were the accumulation of clay in the argillic horizons, the low pH and organic matter content, the absence of CaCO<sub>3</sub>, and the high sand content, with differences in the drainage class and the degree of development. The optical microscope observations have demonstrated the presence of residual pyroxenes, altered plagioclases and muscovite. X-ray diffraction data of the clay fraction show the same clay minerals for the two soil profiles with the presence of kaolinite, illite, vermiculite and interstratified minerals of montmorillonite-vermiculite.

The distribution of elements for both soil profiles depends primary from the pedogenetic processes. The illuvial translocation of clay in the argillic horizon seems to play an important role in the behavior of these elements in the studied soils. The significant correlations between the clay fraction, the Fe - Al oxides and the studied elements support the previous hypothesis. The use of ratio of elements concentration between the A and C horizons (index to assess the relative mobility of elements in the soil profile) which have values < 0.90 confirms the influence of the clay fraction at the distribution of elements. The low pH, the particle size distribution, and the drainage class of the soils influence also the dynamics of the studied elements in the soil profiles while the organic matter content seems to have no effect.