



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ – ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ - ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΦΩΤΙΟΣ Α. ΚΥΡΙΑΚΙΔΗΣ
Πτυχιούχος Γεωλόγος

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΣΙΔΗΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΑΠΟ ΕΛΑΦΗ
ΤΗΣ Β. ΕΛΛΑΔΑΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: ΟΡΥΚΤΟΙ ΠΟΡΟΙ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2023





ΦΩΤΙΟΣ Α. ΚΥΡΙΑΚΙΔΗΣ
Πτυχιούχος Γεωλόγος

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΣΙΔΗΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΑΠΟ ΕΔΑΦΗ ΤΗΣ Β.
ΕΛΛΑΔΑΣ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών
‘Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία’, Κατεύθυνση ‘Ορυκτοί πόροι και περιβάλλον’

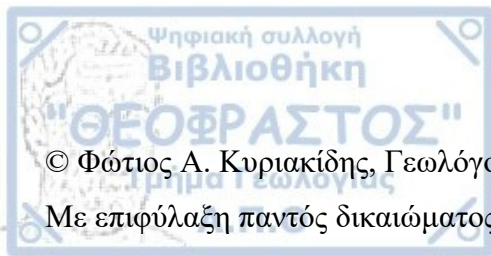
Ημερομηνία Προφορικής Εξέτασης: 27/06/2023

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Καθηγήτρια Παπαδοπούλου Λαμπρινή, Επιβλέπουσα

Καθηγητής Καντηράνης Νικόλαος, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής

Καθηγητής Μέλφος Βασίλειος, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής



© Φώτιος Α. Κυριακίδης, Γεωλόγος, 2023

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Χαρακτηρισμός σιδηρομαγνητικών σωματιδίων από εδάφη της Β. Ελλάδας – *Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία*

© Fotios A. Kyriakidis, Geologist, 2023

All rights reserved.

Characterization of ferromagnetic particles from soils of N. Greece – *Master Thesis*

Citation:

Κυριακίδης Α.Φ., 2023. – Χαρακτηρισμός σιδηρομαγνητικών σωματιδίων από εδάφη της Β. Ελλάδας.

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., 101 σελ.

Kyriakidis A.F., 2023. – Characterization of ferromagnetic particles from soils of N. Greece.

Master Thesis, School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, 101 pp.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.



Περιεχόμενα

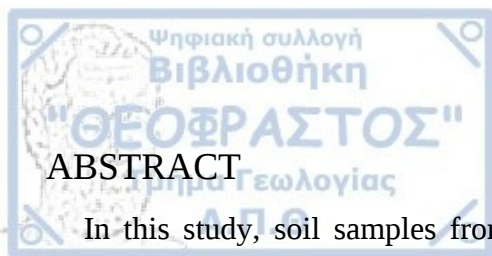
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	1
ABSTRACT	2
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ.....	4
1.1 Γενικά.....	4
1.2 Σύσταση εδαφών.....	4
1.3 Εδαφικό προφίλ	7
1.4 Παράγοντες και διεργασίες σχηματισμού εδαφών	9
1.4.1 Παράγοντες εδαφογένεσης	10
1.4.2 Διεργασίες εδαφογένεσης	15
1.5 Ταξινόμηση εδαφών	16
1.6 Γεωχημική σύσταση των εδαφών	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	23
2.1 Περιοχή δειγματοληψίας	23
2.2 Γεωλογία της περιοχής μελέτης.....	25
2.3 Χημική ανάλυση των εδαφικών δειγμάτων	27
2.4 Διαχωρισμός μαγνητικού κλάσματος	27
2.4.1 Μελέτη με στερεοσκόπιο.....	27
2.4.2 Μελέτη με ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης συνδεδεμένη με φασματοσκόπιο ενεργειακής διασποράς (SEM-EDS)	27
2.4.3 Μελέτη με φασματομετρία μάζας επαγωγικά συζευγμένου πλάσματος (ICP-MS)....	28
2.5 Χάρτες και χωρική κατανομή στοιχείων	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ	29



3.1 Αποτελέσματα αναλύσεων	29
3.1.1 Νομός Θεσσαλονίκης	30
3.1.2 Νομός Χαλκιδικής	40
3.1.3 Νομός Σερρών	46
3.1.4 Νομός Κιλκίς	49
3.1.5 Νομός Πέλλας.....	55
3.1.6 Νομός Πιερίας.....	63
3.1.7: Νομός Ημαθίας	74
3.2 Συζήτηση.....	77
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	90
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	92
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	99

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε μελέτη σε εδαφικά δείγματα από την Κεντρική Μακεδονία. Αναλύθηκαν 41 δείγματα με τη μέθοδο της φασματοσκοπίας ακτινών φθορισμού X (XRF) για τον προσδιορισμό 9 κύριων στοιχείων με την μορφή οξειδίων (SiO_2 , Al_2O_3 , FeO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , P_2O_5). Από αυτά τα δείγματα επιλέχθηκε ένα υποσύνολο 22 δειγμάτων με τιμή αναφοράς $\text{Fe}_2\text{O}_3 > 7\%$ κ.β. για περαιτέρω ανάλυση με φασματοσκοπία μάζας με επαγωγικά συζευγμένο πλάσμα (ICP-MS) για τον προσδιορισμό 10 ιχνοστοιχείων (Cr, Ni, Co, Cu, Zn, Pb, As, Sr, Mn, Ba). Επιπλέον έγινε διαχωρισμός του μαγνητικού κλάσματος από αυτό το υποσύνολο δειγμάτων και μελέτη του με την μέθοδο της ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης συνδεδεμένης με φασματοσκόπιο ενεργειακής διασποράς για τον προσδιορισμό των μορφολογικών και χημικών χαρακτηριστικών του. Πραγματοποιήθηκε επίσης στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων και υπολογίστηκαν οι συντελεστές συσχέτισης και επιβάρυνσης για τα ιχνοστοιχεία. Τέλος κατασκευάστηκαν χάρτες κατανομής των στοιχείων στη περιοχή μελέτης για να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων με το γεωλογικό υπόβαθρο. Από τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων για τα κύρια στοιχεία οι τιμές βρέθηκαν εντός των βιβλιογραφικών φυσιολογικών ορίων ενώ για τα ιχνοστοιχεία εντοπίστηκαν υψηλές τιμές συγκέντρωσης και συντελεστή ρύπανσης για τα στοιχεία Cr, Ni, As, Pb. Βάσει των συντελεστών συσχέτισης, την ύπαρξη ιδιόμορφων κρυστάλλων, της χημικής σύστασης του μαγνητικού κλάσματος αλλά και την ύπαρξη συγκεκριμένων γεωλογικών σχηματισμών, συμπεραίνεται ότι η προέλευση των στοιχείων Cr, Ni, As και Pb είναι γεωγενής.



ABSTRACT

In this study, soil samples from Central Macedonia were examined. 41 soil samples were measured with the X-ray fluorescence (XRF) method for the determination of 9 major oxides (SiO_2 , Al_2O_3 , FeO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , P_2O_5). A subsample of 22 soil samples with values of $\text{Fe}_2\text{O}_3 > 7$ wt% was selected for further investigation with inductively coupled plasma mass spectroscopy (ICP-MS) for the determination of 10 trace elements (Cr, Ni, Co, Cu, Zn, Pb, As, Sr, Mn, Ba). The ferromagnetic particles from these subsamples were extracted with a hand magnet for further investigation with scanning electron microscopy coupled with energy dispersive spectroscopy (SEM-EDS). The results from the analyses were processed with the statistical program SPSS and the contamination factors (CF) for the trace elements were calculated. Moreover, maps were created to demonstrate the distribution of the elements in the study area. The combination of the chemical analyses along with the CF factors, the observations in SEM-EDS and the geological formations in the study area were used to determine the origin of the trace elements in the soils. The values of the 9 major elements as well as the values of 5 trace elements (Co, Cu, Zn, Ba, Sr), are within the limits that are mentioned in the references while the values of 4 trace elements (Cr, Ni, As, Pb) as well as the calculated contamination factors for these elements, exceed the limits. The correlation factors among the elements, the presence of angular well-shaped crystals, the chemical composition of the ferromagnetic particles along with the geological formations in the study area point to a geogenic origin for Cr, Ni, As and Pb.



Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή ειδίκευσης πραγματοποιήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, της Σχολής Θετικών Επιστημών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, στον Τομέα Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας και συγκεκριμένα στο Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία» της κατεύθυνσης «Ορυκτοί Πόροι – Περιβάλλον». Σκοπός αυτής της εργασίας αποτελεί η μελέτη των σιδηρομαγνητικών σωματιδίων από εδαφικά δείγματα που έχουν συλλεχθεί από τη Βόρεια Ελλάδα με τις μεθόδους της φασματοσκοπίας με ακτίνες φθορισμού X (XRF), της ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης (SEM) και της φασματοσκοπίας μάζας με τη μέθοδο συζευγμένου πλάσματος (ICP-MS) για την εξαγωγή συμπερασμάτων αναφορικά με την προέλευση τους, φυσική ή ανθρωπογενής.

Ευχαριστώ θερμά την Καθηγήτρια και επιβλέπουσα της διπλωματικής εργασίας, κα. Λαμπρινή Παπαδοπούλου για την πρόταση και την ανάθεση του θέματος της ΜΔΕ, τις χρήσιμες συμβουλές, την επιστημονική επίβλεψη της εργασίας και την στήριξη καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου, εντός και εκτός του χώρου του πανεπιστημίου. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Νικόλαο Καντηράνη, και τον κ. Βασίλειο Μέλφο, Καθηγητές του Τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ, μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής, για τις υποδείξεις κατά τη διάρκεια της συγγραφής της ΜΔΕ. Ακόμη, θα ήθελα να εκφράσω θερμές ευχαριστίες στην κα. Άννα Μπουρλίβα, μεταδιδάκτορα του Τομέα Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας του Τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ. στην υποψήφια διδάκτωρ Μαρία Νικοπούλου MSc γεωλόγο για την βοήθεια που μου παρείχε κατά την συγγραφή της ΜΔΕ, καθώς και στα μέλη του εργαστηρίου περιβάλλοντος της EBETAM Α.Ε. κα. Παρασκευή Οικονόμου, κ. Αριστοφάνη Βόλλα, κα. Μαρίνα Αλατζόγλου και κα. Βαρβάρα Λεονάρδου για τη βοήθεια στις μεθόδους ανάλυσης της ICP-MS.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους φίλους μου και την οικογένειά μου για την βοήθεια, την υπομονή τους και την στήριξη που μου προσέφεραν σε όλη την διάρκεια εκπόνησης της ΜΔΕ, και όχι μόνο, διότι χωρίς την βοήθεια τους δεν θα ήταν εφικτή η ολοκλήρωσή της.

Κυριακίδης Α. Φώτιος
Θεσσαλονίκη Ιούνιος/2023

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

1.1 Γενικά

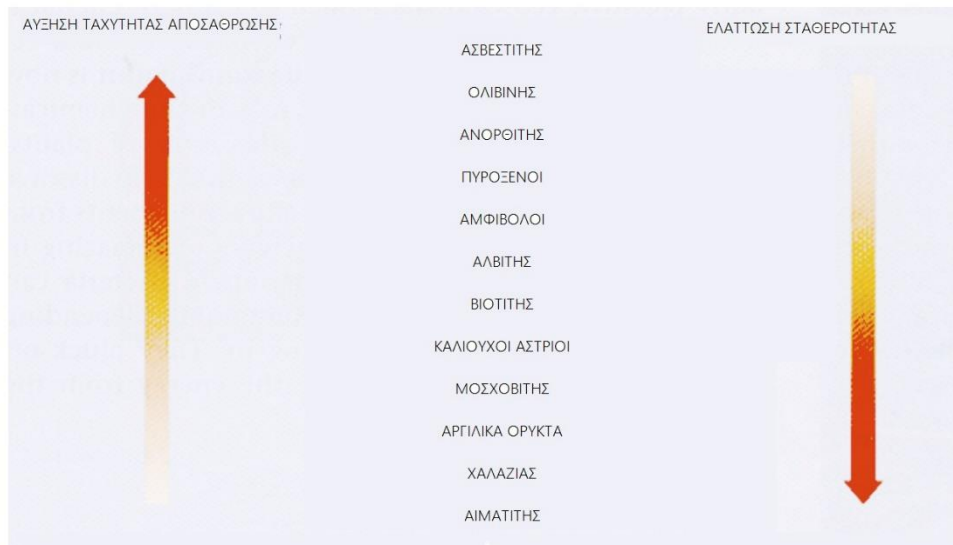
Ως έδαφος θεωρείται το φυσικό σώμα που υπάρχει στην επιφάνεια της Γης, αποτελείται από στερεά υλικά (κυρίως ορυκτά και οργανική ύλη), υγρά διαλύματα και αέρια, και χαρακτηρίζεται είτε από στρωμάτωση σε διακριτούς ορίζοντες που προκύπτουν από προσθήκες, αφαιρέσεις, μεταφορές και μετασχηματισμούς ενέργειας και ύλης από το αρχικό υλικό του φλοιού της Γης, είτε από την ικανότητα θρέψης έρριζων φυτών σε ένα φυσικό περιβάλλον, είτε από συνδυασμό αυτών των δύο (Staff 1999). Σύμφωνα με τον Τσιραμπίδη (2008), ως έδαφος χαρακτηρίζεται το ανώτερο στρώμα του φλοιού της Γης που αποτελείται από χαλαρά συστατικά, τα οποία προήρθαν από την αποσάθρωση πετρωμάτων και έχουν διαφοροποιηθεί με ποικίλους τρόπους.

1.2 Σύσταση εδαφών

Τα εδάφη αποτελούν μείγμα τεσσάρων συστατικών, τα οποία είναι τα ανόργανα υλικά, η οργανική ουσία, το νερό και ο αέρας (Brady & Weil 2008). Τα ανόργανα υλικά των εδαφών είναι κλαστικά ιζήματα προερχόμενα από την αποσάθρωση των πετρωμάτων, που αντιστοιχούν στα κλάσματα των κροκάλων/λατυπών, της άμμου, της ιλύος και της αργίλου. Από ορυκτολογικής άποψης, τα ιζήματα αυτά αποτελούνται από πρωτογενή ορυκτά που προέρχονται από την αποσάθρωση των πετρωμάτων και από δευτερογενή ορυκτά που σχηματίζονται κατά την ιζηματογένεση (Brady & Weil 2008, Τσιραμπίδης 2008).

Σύμφωνα με την σειρά αποσάθρωσης του Goldich (Σχ 1.1), τα πρωτογενή ορυκτά που απαντώνται συχνότερα είναι ο χαλαζίας, ο μοσχοβίτης και σε μικρότερα ποσοστά, οι άστριοι, ο βιοτίτης, οι αμφίβολοι και οι πυρόξενοι (Goldich 1938). Τα δευτερογενή ορυκτά στα εδάφη είναι κυρίως τα φυλλώδη ορυκτά της ομάδας της αργίλου, όπως ο καολίνης, ο σμεκτίτης, ο ιλλίτης και οι χλωρίτες (FitzPatrick 1980).

Τα οργανικά συστατικά των εδαφών προέρχονται από την συσσώρευση νεκρής οργανικής ύλης (βιομάζα), από σκελετικά υπολείμματα νεκρών οργανισμών και από οργανικές ενώσεις που παράγονται από τις μεταβολικές διεργασίες ζώντων οργανισμών (Εικ 1.1). Ένα σημαντικό μέρος της οργανικής ύλης που συσσωρεύεται στα εδάφη, χάνεται μετατρέπόμενη σε CO₂ μέσω της μικροβιακής αναπνοής (Nikolaidis & Bidoglio 2013).



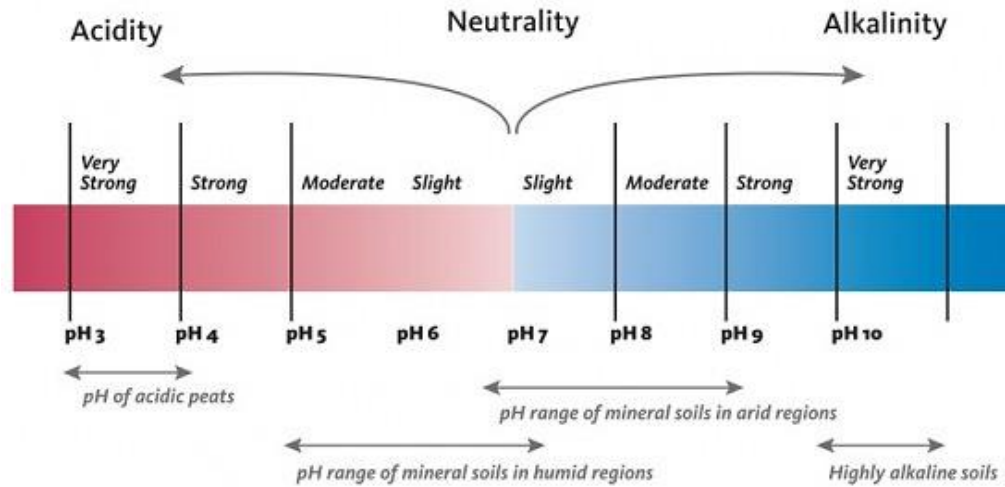
Σχήμα 1.1: Σχηματική αναπαράσταση της σειράς αποσαθρωσιμότητας του Goldich. Παρατηρείται ότι ο χαλαζίας είναι το πιο ανθεκτικό από τα κοινά πετρογενετικά ορυκτά, ενώ ο ασβεστίτης και ο ολιβίνης τα πιο ασθενή. (ΠΗΓΗ: <https://www.geol.umd.edu/~jmerck/geol342/lectures/02.html>, τροποποιημένο)



Εικόνα 1.1: Οργανικό περιεχόμενο εδαφών (ΠΗΓΗ: <https://croipaia.com/blog/soil-organic-matter>)

Το εδαφικό νερό βρίσκεται στους πόρους του εδάφους και είναι ζωτικής σημασίας συστατικό για τις οικολογικές του λειτουργίες. Στο εδαφικό νερό βρίσκονται διαλυμένες οργανικές και ανόργανες ενώσεις και για αυτό το λόγο συχνά καλείται εδαφικό διάλυμα, ο ρόλος του οποίου είναι η μεταφορά των χρήσιμων θρεπτικών συστατικών στις ρίζες των φυτών. Είναι ένα ρυθμιστικό διάλυμα που βοηθά στη διατήρηση του pH του εδάφους σε σταθερές τιμές. Το pH του εδάφους αποτελεί την κύρια μεταβλητή της εδαφοχημείας, καθώς καθορίζει τα φυσικοχημικά του χαρακτηριστικά και κατ' επέκταση τον ρυθμό ανάπτυξης, αλλά και το είδος των ζωντανών οργανισμών που αναπτύσσονται σε αυτό. Οι συνηθισμένες τιμές pH των εδαφών κυμαίνονται

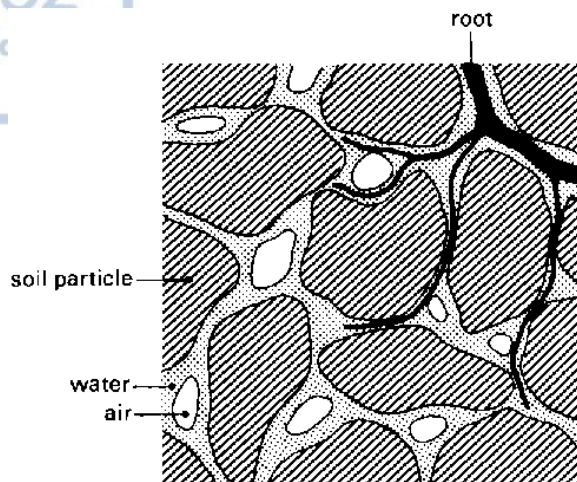
μεταξύ 5 έως 9, αλλά υπάρχουν και εδάφη με ακραίες τιμές όπως τα όξινα εδάφη και η τύρφη με τιμές 3-5 και τα νατριομένα εδάφη με τιμές 9-11 (Σχ 1.2) (Brady & Weil 2008).



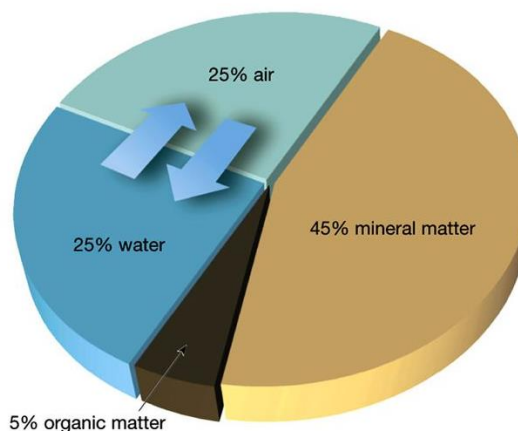
Σχήμα 1.2: : Σχηματική απεικόνιση του pH των εδαφών. Οι συνηθισμένες τιμές κυμαίνονται μεταξύ 5-9 ενώ υπάρχουν και ακραίες τιμές <5 ή >5 (ΠΗΓΗ: <http://scapeforlife.org/soil/how-to-determine-soil-type/>)

Ο εδαφικός αέρας βρίσκεται και αυτός στους πόρους του εδάφους και η επί τοις εκατό συγκέντρωσή του είναι αντιστρόφως ανάλογη με την επί τοις εκατό συγκέντρωση του εδαφικού νερού (Σχ 1.3). Ο εδαφικός αέρας έχει υψηλή υγρασία, με την σχετική υγρασία να είναι συχνά έως και 100%, έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε O_2 και περιλαμβάνει αέρια όπως το CO_2 , το CH_4 , το H_2S και το SO_2 που προέρχονται από τις χημικές – βιοχημικές μεταβολικές διεργασίες και από την σήψη των οργανισμών (Brady & Weil 2008).

Η αναλογία των τεσσάρων συστατικών των εδαφών επηρεάζει τη συμπεριφορά και την παραγωγικότητά τους. Το 50% του όγκου των εδαφών απαρτίζεται από τα ανόργανα και τα οργανικά συστατικά, ενώ το υπόλοιπο 50% είναι πόροι – διάκενα ανάμεσα στους κλαστικούς κόκκους, οι οποίοι είναι πληρωμένοι με τον εδαφικό αέρα και το εδαφικό νερό. Στα πιο παραγωγικά εδάφη, η αναλογία νερού και αέρα είναι περίπου ίση. Η οργανική ύλη συνήθως αποτελεί ένα μικρό ποσοστό της τάξης του 5%, ενώ το μεγαλύτερο μέρος των εδαφών αποτελείται από τα ανόργανα συστατικά σε ποσοστό περίπου 45% (Σχ 1.4). Ο τρόπος διάταξης των κλαστικών κόκκων, ονομάζεται δομή των εδαφών και ρυθμίζει την κυκλοφορία νερού και αέρα στα εδάφη (Brady & Weil 2008).



Σχήμα 1.3: Σχηματική απεικόνιση της δομής των εδαφών. Παρατηρείται ότι οι πόροι - διάκενα των εδαφών είναι πληρωμένοι με νερό και αέρα (ΠΗΓΗ: <http://www.fao.org/3/r4082e/r4082e03.htm>)



Σχήμα 1.4: Σχηματική απεικόνιση της σύστασης των εδαφών κατά όγκο (ΠΗΓΗ: Brady & Weil 2008)

1.3 Εδαφικό προφίλ

Αν παρατηρήσουμε τα εδάφη σε μια τομή θα διαπιστώσουμε ότι αυτά δεν είναι ενιαία, αλλά αποτελούνται από ορίζοντες, άλλοτε έντονα διακριτούς και άλλοτε όχι. Αυτή η σειρά των οριζόντων, ονομάζεται εδαφικό προφίλ (Εικ 1.2) (Brady & Weil 2008). Οι συνήθεις εδαφικοί ορίζοντες είναι 5 και αναφέρονται με τα γράμματα O, A, E, B, C (Σχ 1.5).

- Ο ορίζοντας **O** είναι ο πιο επιφανειακός και αποτελεί μια λεπτή οργανική στρώση που προκύπτει από τη φυσική και βιοχημική αποδόμηση των ζωικών και των φυτικών υπολειμμάτων. Συναντάται κυρίως σε μη διαταραγμένα οικοσυστήματα ενώ συχνά απουσιάζει από τα εδαφικά προφίλ.

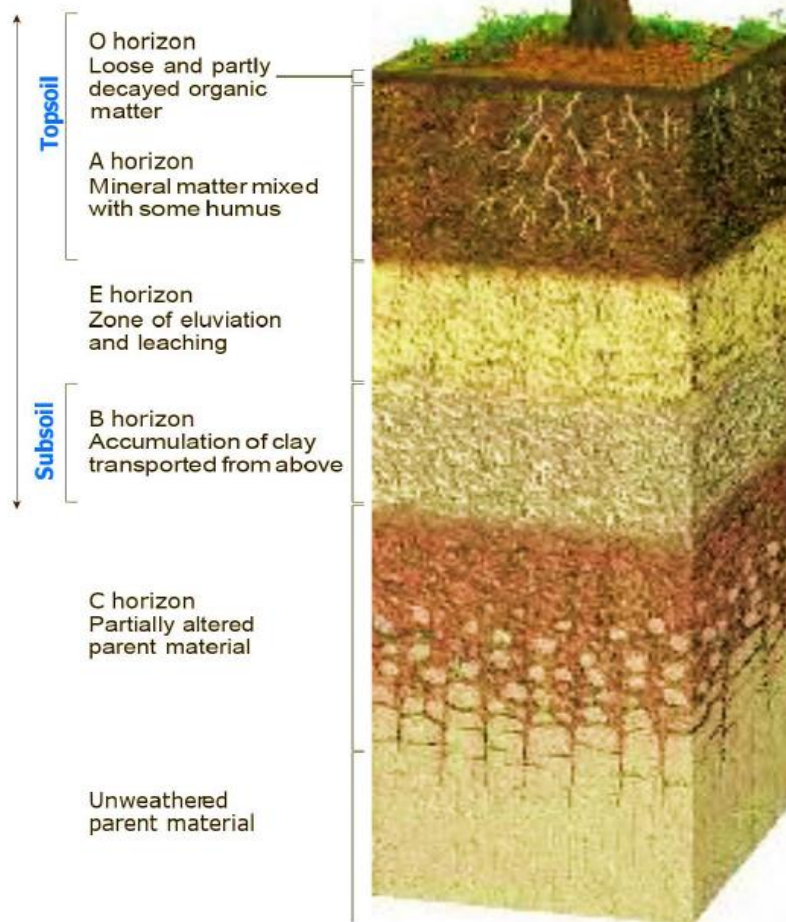
- Ο ορίζοντας **A** είναι μια σκουρόχρωμη στρώση, αποτελούμενη από ανόργανα και οργανικά υλικά.
- Ο ορίζοντας **E** είναι ένας εκπλυμένος ορίζοντας με χαμηλή περιεκτικότητα σε οργανική ύλη.
- Ο ορίζοντας **B** χαρακτηρίζεται από την χαμηλή περιεκτικότητα σε οργανική ύλη και από την συσσώρευση CaCO_3 και οξειδίων του σιδήρου και του αργιλίου, που προέρχονται από την έκπλυση των υπερκείμενων οριζόντων.
- Ο ορίζοντας **C** είναι ο ορίζοντας με την μικρότερη αποσάθρωση κοντά στο μητρικό πέτρωμα.



Εικόνα 1.2: Εδαφικό προφίλ όπως είναι ορατό σε μια φυσική τομή εδάφους. Παρατηρείται έντονα η χρωματική αντίθεση ανάμεσα στους ορίζοντες (ΠΗΓΗ: https://thefactfactor.com/facts/pure_science/biology/soil-profile/1977)

Όταν ο ορίζοντας **O** δεν απουσιάζει, τότε μαζί με τον ορίζοντα **A** καλούνται ως επιφανειακό έδαφος. Ο ορίζοντας **B**, μπορεί να βρεθεί στην βιβλιογραφία και ως υπέδαφος (Brady & Weil 2008).

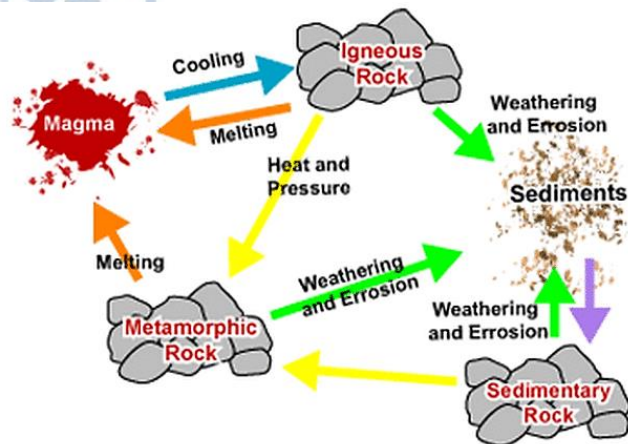
Τα εδάφη διακρίνονται επίσης σε αυτόχθονα και αλλόχθονα. Αν η διεργασία εδαφογένεσης λαμβάνει χώρα επί τόπου, πάνω από το μητρικό πέτρωμα, τότε το έδαφος χαρακτηρίζεται ως αυτόχθονο. Αν το υλικό που παράγεται κατά την διαδικασία της εδαφογένεσης μεταφερθεί μέσω ενός ρευστού μέσου σε νέες θέσεις μακριά από το μητρικό πέτρωμα, τότε το έδαφος χαρακτηρίζεται ως αλλόχθονο (Brady & Weil 2008).



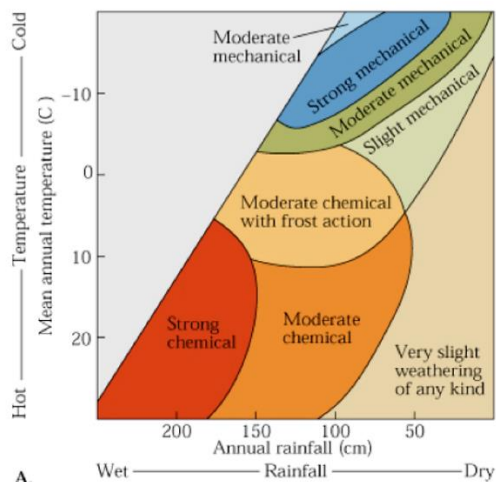
Σχήμα 1.5: Σχηματική απεικόνιση ενός εδαφικού προφίλ όπου διακρίνονται οι 5 ορίζοντες O, A, E, B, C (ΠΗΓΗ: Brady & Weil 2008)

1.4 Παράγοντες και διεργασίες σχηματισμού εδαφών

Ο γήινος φλοιός αποτελείται από πετρώματα ταξινομημένα σε 3 μεγάλες κατηγορίες, ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού τους (Τσιραμπίδης 2008). Οι συνθήκες γένεσης των πετρωμάτων διαφέρουν σημαντικά από τις συνθήκες που επικρατούν στην επιφάνεια της Γης και έτσι τα ορυκτά συστατικά των πετρωμάτων γίνονται ασταθή και διασπώνται ή μετατρέπονται σε νέα ορυκτά, σταθερά στις επιφανειακές συνθήκες (Σχ 1.6) . Η μηχανική, χημική ή βιολογική καταστροφή των πετρωμάτων που συμβαίνει στην επιφάνεια της Γης, περιγράφεται ως αποσάθρωση (Τσιραμπίδης 2008).



Σχήμα 1.6: Σχηματική απεικόνιση του κύκλου των πετρωμάτων. Η διάβρωση και η αποσάθρωση (πράσινα βέλη) σχηματίζουν ιζήματα που αποτελούν συστατικά στοιχεία των εδαφών (ΠΗΓΗ: <https://rocksatshorncliffeqld.weebly.com/rock-cycle.html>).



Σχήμα 1.7: Σχέση μεταξύ χημικής και μηχανικής αποσάθρωσης σε συνάρτηση με την θερμοκρασία και τον νετό (ΠΗΓΗ: <https://www.geol.umd.edu/~jmerck/geol342/lectures/02.html>)

Η αποσάθρωση των πετρωμάτων ξεκινάει από την επιφάνεια και σταδιακά προχωρά σε βάθος. Το χαλαρό υλικό που προέρχεται από την αποσάθρωση των πετρωμάτων, ονομάζεται ρεγκόλιθος. Σε μικρά βάθη, όπου ο ρεγκόλιθος είναι πολύ χαλαρός και μπορεί να σκαφθεί με φτυάρι, ονομάζεται σαπρόλιθος. Συνεπώς στην ύπαιθρο, σε μια τομή, συναντούμε επιφανειακά τον σαπρόλιθο, βαθύτερα τον ρεγκόλιθο και σε ακόμη μεγαλύτερα βάθη το αρχικό μητρικό πέτρωμα που δίνει γένεση στο έδαφος (Brady & Weil 2008).

1.4.1 Παράγοντες εδαφογένεσης

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τον σχηματισμό των εδαφών είναι 5 και συγκεκριμένα: το είδος του μητρικού υλικού, το κλίμα, οι έμβιοι οργανισμοί, το ανάγλυφο και ο χρόνος. Η φύση του

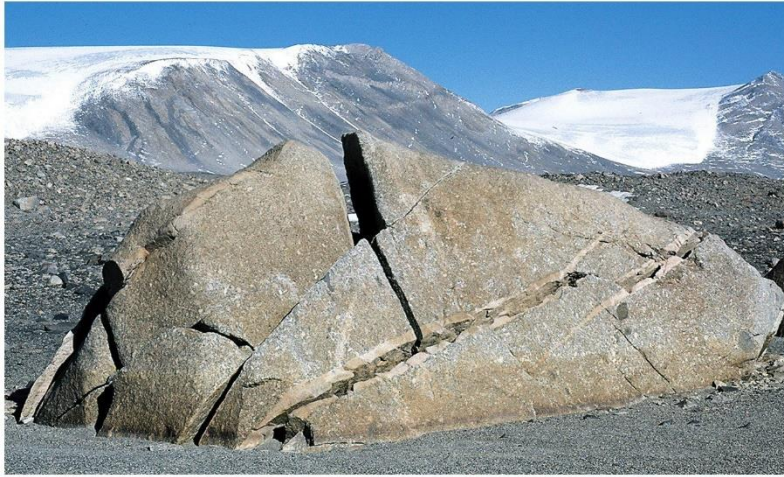
μητρικού υλικού επηρεάζει άμεσα τα χαρακτηριστικά του εδάφους. Αν το μητρικό πέτρωμα αποτελείται από ορυκτά ανθεκτικά στην αποσάθρωση, θα σχηματίσει αμμώδη εδάφη, ενώ αν αποτελείται από ορυκτά που αποσθρώνονται εύκολα, θα σχηματίσει λεπτόκοκκα εδάφη (Εικ 1.3). Η σύσταση του μητρικού υλικού καθορίζει επίσης τη χημική σύσταση του εδάφους και κατ' επέκταση και το είδος της βλάστησης που θα αναπτυχθεί σε αυτό (FitzPatrick 1980).



Εικόνα 1.3: Οι 3 κύριοι τύποι εδαφών. Αριστερά δείγμα αμμώδους εδάφους, στο κέντρο δείγμα ιλυώδους εδάφους και δεξιά δείγμα αργιλώδους εδάφους (ΠΗΓΗ: <https://www.bitlanders.com/blogs/type-of-soil/202138>)

Το κλίμα αποτελεί τον ισχυρότερο παράγοντα εδαφογένεσης, διότι καθορίζει τη φύση και την ένταση της αποσάθρωσης. Οι δύο κλιματικές παράμετροι που μελετώνται είναι η θερμοκρασία και ο όγκος των κατακρημνισμάτων, καθώς επηρεάζουν τον ρυθμό των φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών κατά την αποσάθρωση (FitzPatrick 1980). Η αύξηση των κατακρημνισμάτων εντείνει την αποσάθρωση, καθώς αυξάνει τη διάλυση των πετρωμάτων, βοηθά στη μεταφορά των υλικών και υποβοηθά τη διαδικασία διαφοροποίησης των εδαφικών οριζόντων στα εδαφικά προφίλ. Η αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10° C έχει αποδειχθεί ότι διπλασιάζει τον ρυθμό των χημικών – βιοχημικών αντιδράσεων και προάγει τη μικροβιακή αποσύνθεση (Brady & Weil 2008). Ο συνδυασμός δε υψηλής θερμοκρασίας και μεγάλου όγκου κατακρημνισμάτων είναι ο καταλληλότερος, καθώς επιτρέπει την αποσάθρωση σε μεγάλα βάθη και άρα τον σχηματισμό εδαφών με μεγάλο πάχος, αλλά ταυτόχρονα επιτρέπει την μέγιστη ανάπτυξη των φυτών (Brady & Weil 2008). Με βάση την συμπεριφορά των πετρωμάτων στην αποσάθρωση, διακρίνονται 3 κύριοι τύποι κλίματος (Τσιραμπίδης 2008):

- Κλίμα Nival: Επικρατεί σε ψυχρές – παγετώδεις περιοχές όπου ο κύριος παράγοντας αποσάθρωσης είναι ο πάγος (Εικ 1.4) (μηχανική – φυσική αποσάθρωση).



Εικόνα 1.4: Διάβρωση λόγω πάγου σε περιοχές με κλίμα Nival
(ΠΗΓΗ: <https://therelationfoubdlation.com/couples-counseling/relationship-frost-wedging>)

- Κλίμα Arid: Σε ξηρές περιοχές με ελάχιστα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, όπως οι ερημικές περιοχές και οι στέπες, όπου ο κύριος παράγοντας αποσάθρωσης είναι ο άνεμος (Εικ 1.5) (μηχανική - φυσική αποσάθρωση).



Εικόνα 1.5: : Διάβρωση λόγω ανέμου σε περιοχές με κλίμα Arid (ΠΗΓΗ:
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wibdl_erosion_in_Wadi_Al-Hitan.jpg)

- Κλίμα Humid: Σε υγρές τροπικές και σε εύκρατες περιοχές με άφθονα κατακρημνίσματα όπου ο κύριος παράγοντας αποσάθρωσης είναι το νερό (Εικ 1.6) (χημική αποσάθρωση). Σε αυτή την

περίπτωση, η αποσάθρωση είναι εκτεταμένη και τα εδαφικά προφίλ έχουν μεγάλο πάχος λόγω της εισχώρησης του νερού.



Εικόνα 1.6: Διάβρωση λόγω νερού σε περιοχές με κλίμα Humid (ΠΗΓΗ:
<https://www.sciencesource.com/archive/Image/Water-Erosion-SS2201007.html>)

Οι έμβιοι οργανισμοί συνεισφέρουν σημαντικά στην αποσάθρωση με δύο διαφορετικούς τρόπους. Από τη μια πλευρά, η φυτοκάλυψη μειώνει την επιφανειακή αποσάθρωση και επιβραδύνει την διαδικασία της εδαφογένεσης, ενώ από την άλλη πλευρά, οι έμβιοι οργανισμοί αυξάνουν την προμήθεια σε οργανικό υλικό και μέσω των μεταβολικών τους διεργασιών παράγουν οξέα που επιταχύνουν την αποσάθρωση των πετρωμάτων (Εικ 1.7). Σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν οι γεωσκώληκες καθώς αναμοχλεύουν το έδαφος, ενώ ταυτόχρονα βοηθούν στον αερισμό του και στην διήθηση του νερού (Brady & Weil 2008).

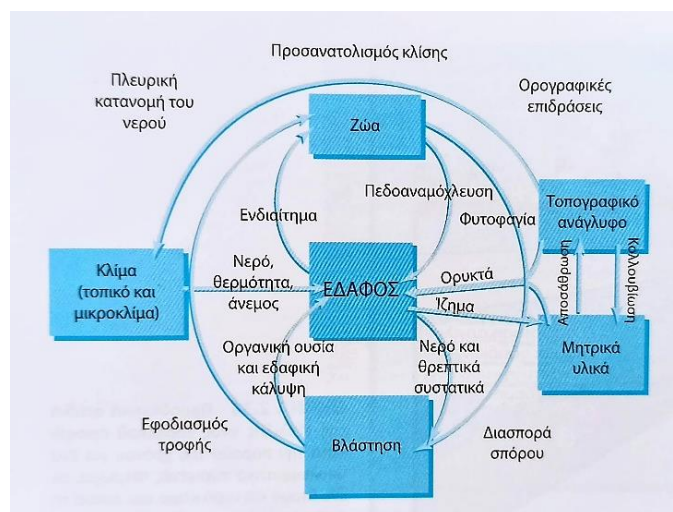
Το ανάγλυφο καθορίζει τον ρυθμό της εδαφογένεσης. Έντονο ανάγλυφο προάγει την ταχεία επιφανειακή απορροή και συνεπώς σχηματίζονται εδάφη με μικρό πάχος και ημιτελώς ανεπτυγμένα προφίλ. Αντιθέτως, ήπιο ανάγλυφο προάγει την κατακράτηση νερού και συνεπώς σχηματίζονται εδάφη με μεγάλο πάχος και καλά αναπτυγμένα προφίλ (Brady & Weil 2008). Ο χρόνος αποτελεί μια αόρατη συνιστώσα με τεράστια όμως σημασία για την διαδικασία της εδαφογένεσης. Όσο μεγαλύτερο χρονικό διάστημα παρέρχεται, τόσο πιο καλοσχηματισμένα είναι τα εδαφικά προφίλ που δημιουργούνται. Το χρονικό διάστημα που απαιτείται για τον σχηματισμό ενός εδάφους, κυμαίνεται από λίγους μήνες έως και χιλιάδες χρόνια. Μέσα σε μερικούς μήνες, οι

αλλαγές που παρατηρούνται στα εδάφη περιλαμβάνουν κυρίως αλλαγές στο χρώμα και στη δομή τους (π.χ οξείδωση θειούχων συστατικών ή αποστράγγιση υγροτόπων) (Brady & Weil 2008).



Εικόνα 1.7: Ανάπτυξη λειχήνων πάνω σε ανθρακικά πετρώματα. Οι λειχήνες παράγουν οξέα τα οποία προκαλούν χημική αποσάθρωση στα πετρώματα (ΠΗΓΗ: <https://www.americangeosciences.org/education/k5geosource/content/rocks/what-is-biological-weathering>)

Οι 5 παράγοντες αποσάθρωσης, μητρικό υλικό, κλίμα, τοπογραφικό ανάγλυφο, βλάστηση - ζώα και χρόνος δεν δρουν ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλο αλλά αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους (Σχ 1.8) και καθορίζουν το είδος, την σύσταση, τη δομή και τα χαρακτηριστικά του εδάφους.



Σχήμα 1.8: Οι 5 παράγοντες εδαφογένεσης και οι μεταξύ τους σχέσεις (ΠΗΓΗ: Brady & Weil 2008)

1.4.2 Διεργασίες εδαφογένεσης

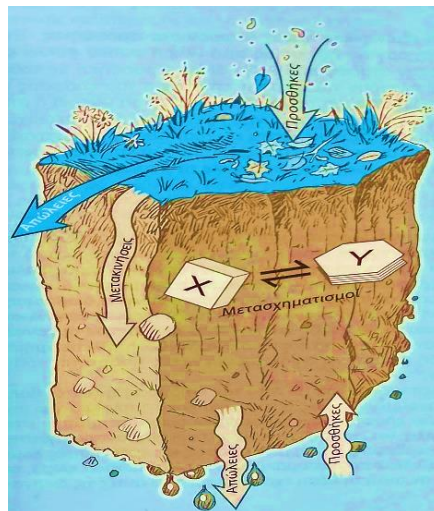
Διακρίνονται 4 διεργασίες εδαφογένεσης και συγκεκριμένα: οι μετασχηματισμοί, οι μετακινήσεις, οι προσθήκες και οι αφαιρέσεις (Σχ 1.9).

Οι μετασχηματισμοί περιλαμβάνουν την καταστροφή των πρωτογενών ορυκτών των πετρωμάτων και τη σύνθεση των δευτερογενών ορυκτών. Επιπλέον, περιλαμβάνουν την αποσύνθεση των οργανικών υπολειμμάτων και τη σύνθεση οργανικών οξέων. Τέλος, περιλαμβάνουν τη μεταβολή και πιο συγκεκριμένα την ελάττωση του μεγέθους των κλαστικών κόκκων μέσω μηχανικής αποσάθρωσης (Brady & Weil 2008).

Οι μετακινήσεις περιγράφουν την αλλαγή θέσης των ανόργανων και των οργανικών υλικών, τόσο κατακόρυφα από τον έναν εδαφικό ορίζοντα στον άλλο, όσο και πλευρικά μέσα στον ίδιο ορίζοντα (Brady & Weil 2008).

Οι προσθήκες περιλαμβάνουν την προσθήκη οργανικής ουσίας από νεκρά φύλλα και ρίζες ή από κοπριά και λιπάσματα, καθώς και την προσθήκη αλάτων ή πυριτίου από εξάτμιση νερού στα επιφανειακά στρώματα (Brady & Weil 2008).

Οι απώλειες περιλαμβάνουν την απομάκρυνση νερού από τους ζωντανούς οργανισμούς και την έκπλυση στοιχείων στο υπόγειο νερό. Επίσης περιλαμβάνουν τη διάβρωση των επιφανειακών οριζόντων και κυρίως την αφαίρεση οργανικής ουσίας και θρεπτικών συστατικών, μέσω της βόσκησης από τα ζώα. Τέλος, περιλαμβάνει την αφαίρεση νερού από τα εδάφη, μέσω της άντλησης από τον άνθρωπο για ύδρευση/άρδευση (Brady & Weil 2008).



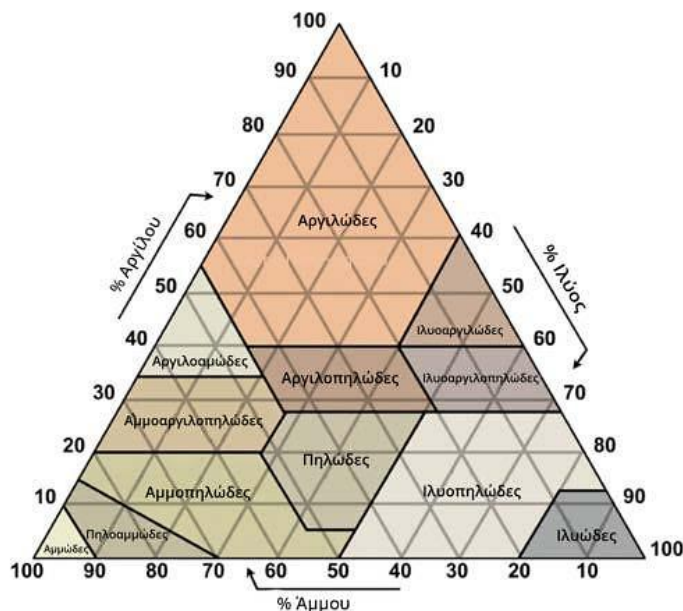
Σχήμα 1.9: Οι 4 διεργασίες που συμβαίνουν κατά την εδαφογένεση (ΠΗΓΗ: Brady & Weil 2008)

1.5 Ταξινόμηση εδαφών

Η ταξινόμηση των εδαφών έχει ως σκοπό την ομαδοποίηση των εδαφών που έχουν παρόμοιο τρόπο ή συνθήκες γένεσης. Η ομαδοποίηση μπορεί να γίνει με βάση φυσικά, χημικά ή βιολογικά χαρακτηριστικά των εδαφών (Brady & Weil 2008).

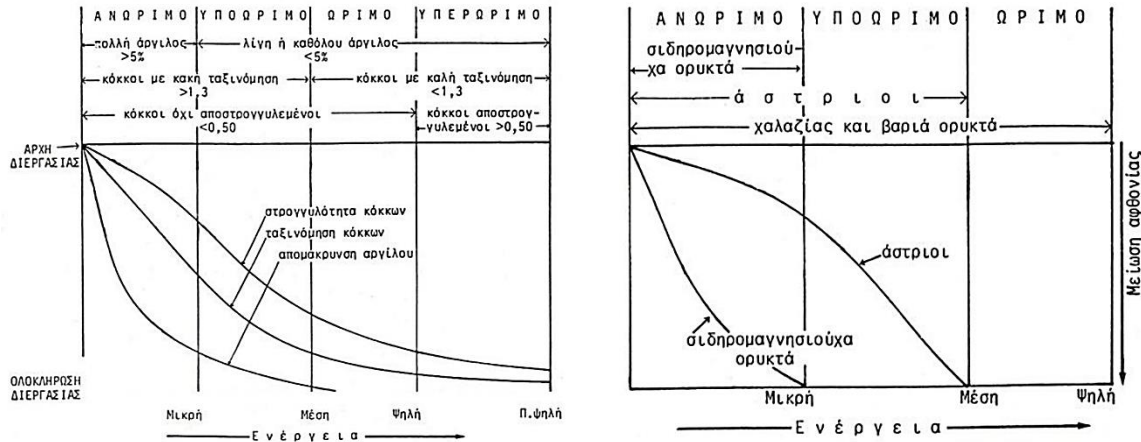
Η συνηθέστερη και πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη ταξινόμηση γίνεται με βάση την επί τοις εκατό αναλογία των εδαφών στα κλάσματα της άμμου, της ιλύος και της αργίλου. Για αυτή την ταξινόμηση χρησιμοποιείται το τριγωνικό διάγραμμα της USDA (Soil science society of America 2008), το οποίο διαιρεί τα εδάφη σε 12 κατηγορίες (Σχ 1.10). Τα εδάφη με περίπου ίσα ποσοστά και στα 3 κλάσματα, κατηγορίες εδαφών πηλώδη και αργιλοπηλώδη, θεωρούνται ως τα πιο παραγωγικά εδάφη για την ανάπτυξη φυτών, καθώς αποθηκεύουν τις ιδανικές αναλογίες σε εδαφικό νερό και αέρα και μπορούν μέσω των πόρων τους να το διαθέσουν στα φυτά για την ανάπτυξη τους, σε αντίθεση με τα αργιλώδη εδάφη όπου το νερό είναι «παγιδευμένο» και δεν είναι διαθέσιμο για τα φυτά (FitzPatrick 1980, Wentworth 1922).

Πέραν από αυτή την ταξινόμηση, χρησιμοποιούνται ευρέως και 2 διαγράμματα που αφορούν το στάδιο ορυκτολογικής και ιστολογικής ωριμότητας των εδαφών (Σχ 1.11).



Σχήμα 1.10: Τριγωνικό διάγραμμα ταξινόμησης εδαφών της USDA. Διακρίνονται 12 τύποι εδαφών με βάση τις διάφορες αναλογίες σε άμμο, ιλύ και άργιλο (τροποποιημένο από García-Gaines & Frankenstein (2015))

Τα ιζήματα και κατ' επέκταση και τα εδάφη με κλαστικούς κόκκους που έχουν καλή στρογγυλότητα, καλή ταξινόμηση και απουσία σιδηρομαγνησιούχων πρωτογενών ορυκτών χαρακτηρίζονται ως ιστολογικά και ορυκτολογικά ώριμα, ενώ τα εδάφη με κλαστικούς κόκκους κακής στρογγυλότητας, κακής ταξινόμησης και άφθονα πρωτογενή σιδηρομαγνησιούχα ορυκτά χαρακτηρίζονται ως ιστολογικά και ορυκτολογικά ανώριμα (Τσιραμπίδης 2008).



Σχήμα 1.11: Στάδια ιστολογικής (αριστερά) και ορυκτολογικής (δεξιά) ωριμότητας. (ΠΗΓΗ: Τσιραμπίδης 2008)

1.6 Γεωχημική σύσταση των εδαφών

Η γεωχημική σύσταση των εδαφών δεν είναι σταθερή αλλά ποικίλλει και περιλαμβάνει πολλά από τα χημικά στοιχεία που υπάρχουν στη Γη. Το είδος του μητρικού πετρώματος, το είδος των έμβιων οργανισμών που αναπτύσσονται στα εδάφη, ο ανθρώπινος παράγοντας αλλά και οι κλιματικές συνθήκες καθορίζουν σχεδόν εξ ολοκλήρου την σύσταση των εδαφών (Brady & Weil 2008). Ο όρος βιοδιαθεσιμότητα χρησιμοποιείται για να περιγράψει τον βαθμό στον οποίο ορισμένα χημικά συστατικά απορροφώνται από τους έμβιους οργανισμούς και περνούν στην τροφική αλυσίδα. Τα βασικά στοιχεία που υπάρχουν στα εδάφη, οι μέσες συγκεντρώσεις τους σε αυτά αλλά και ο ρόλος τους στους ζωντανούς οργανισμούς, παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω:

- **Νάτριο:** Οι πηγές του νατρίου στο έδαφος είναι τα άλατα και τα αργιλικά ορυκτά. Το νάτριο δεν αποτελεί απαραίτητο στοιχείο για την ανάπτυξη των φυτών. Εξαιτίας της μεγάλης διαλυτότητας των αλάτων, το νάτριο κάτω από συνθήκες καλής στράγγισης απομακρύνεται από το έδαφος. Είναι όμως δυνατόν να συγκεντρώνεται σε ορισμένα εδάφη τα οποία με την

πάροδο του χρόνου καθίστανται τελικά ακατάλληλα για την καλλιέργεια καθώς υψηλές συγκεντρώσεις νατρίου μετατρέπουν το έδαφος σε ισχυρά αλκαλικό με αποτέλεσμα να περιορίζεται η απορρόφηση των απαραίτητων θρεπτικών στοιχείων από το ριζικό σύστημα των φυτών. Τα συμπτώματα τοξικότητας εκδηλώνονται με συρρίκνωση και νέκρωση των φύλλων. Η τοξικότητα του νατρίου μειώνεται από την παρουσία ασβεστίου. Κατά μέσο όρο, για τις περισσότερες καλλιέργειες, οι συγκεντρώσεις μεταξύ 0,25- 0,50% (ξηρού βάρους) στα φύλλα είναι τοξικές για το φυτό (Μαντζούτσος 2010).

- Μαγνήσιο: Στα περισσότερα εδάφη το ποσό του μαγνησίου κυμαίνεται μεταξύ 0,05% για τα αμμώδη εδάφη και 0,5% για τα αργιλώδη. Αποτελεί θρεπτικό συστατικό και παίρνει μέρος σε πολλές μεταβολικές αντιδράσεις ενεργοποιώντας πολλά ένζυμα. Επιπλέον είναι συστατικό της χλωροφύλλης και συνδέεται στενά με την διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Η έλλειψη του μαγνησίου προκαλεί σοβαρές διαταραχές στο σύνολο του κυτταρικού μεταβολισμού και προκαλεί αλλοιώσεις στα φύλλα που αποκτούν κίτρινο χρώμα. Σε περιοχές με υπερβασικά ή δολομιτικά πετρώματα μπορεί να φτάσει έως και 25% (Μαντζούτσος 2010, Yan & Hou 2018, July).
- Αργίλιο: Βρίσκεται στο εδαφικό διάλυμα σε συγκεντρώσεις περίπου 400 $\mu\text{g/L}$. Το αργίλιο είναι συχνό συστατικό των φυτών αλλά σε υψηλές συγκεντρώσεις δρα φυτοτοξικά προκαλώντας χλώρωση (Foy et al. 1978).
- Πυρίτιο: Βρίσκεται σε συγκεντρώσεις 43-76%, με μέση τιμή το 54% κ.β. και είναι το πιο άφθονο στοιχείο στα εδάφη. Σε εδάφη που προέρχονται από ανθρακικά πετρώματα μπορεί να έχει χαμηλότερες τιμές. Εμφανίζεται και στο εδαφικό διάλυμα σε συγκεντρώσεις 1-200 mg/L . Μέσω του εδαφικού διαλύματος γίνεται το μεγαλύτερο μέρος της απορρόφησης του από τα φυτά, ενώ ένα μέρος του αποτίθεται ως άμορφο SiO_2 , κυρίως με τη μορφή του οπάλιου. Είναι στοιχείο που προάγει την ανάπτυξη των φυτών καθώς και την ανθεκτικότητά τους (Richmond & Sussman 2003). Έχει βρεθεί επίσης ότι η προσθήκη Si κάνει τα φυτά πιο ανθεκτικά σε συνθήκες ξηρασίας και μειώνει την φυτοτοξικότητα που προκαλείται από άλλα στοιχεία (Al, Mn) (Gong et al. 2005, Currie & Perry 2007).
- Φώσφορος: Η μέση περιεκτικότητα των εδαφών σε ολικό φώσφορο είναι 0,5%. Το 50-70% είναι ανόργανης προέλευσης και συναντάται κυρίως με την μορφή φωσφορικών αλάτων και το 30-50% είναι οργανικής προέλευσης (Schachtman et al 1998). Αποτελεί δομικό συστατικό

αλλά και συστατικό του γενετικού υλικού των φυτών και διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στον μεταβολισμό και την παραγωγή – μεταφορά και αποθήκευση ενέργειας σε αυτά, συμβάλλοντας στην ανάπτυξή τους (Μαντζούτσος 2010).

- Θείο: Το στοιχειακό θείο ελαττώνει το pH του εδάφους και επηρεάζει με αυτόν τον τρόπο τη βιοδιαθεσιμότητα των υπολοίπων στοιχείων στα φυτά (Hawkesford & De Kok 2007).
- Κάλιο: Βρίσκεται σε συγκεντρώσεις 0.4 - 30 g/kg (Helmke, 2000). Αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα χημικά στοιχεία για το σύνολο των ζωντανών οργανισμών καθώς αποτελεί το βασικό στοιχείο της φωτοσύνθεσης, της κυτταρικής αναπνοής και των ενζυμικών λειτουργιών (Tabatabai et al 2005, Amtmann & Rubio 2012).
- Ασβέστιο: Η μέση κατά βάρος περιεκτικότητα του φλοιού της Γης σε Ca είναι περίπου 3,64% κ.β. ωστόσο στα εδάφη παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση ανάλογα με το μητρικό υλικό και την επίδραση των παραγόντων της εδαφογένεσης. Εδάφη που προέρχονται από ασβεστόλιθους και νεαρά εδάφη είναι συνήθως πλούσια σε ασβέστιο με υψηλή περιεκτικότητα σε CaCO_3 . Η παρουσία μεγάλης ποσότητας ασβεστίου στο έδαφος δεν είναι τοξική για τα φυτά, όμως αυξάνει την αλκαλικότητά του, καθιστώντας το έδαφος άγονο. Σε υψηλές όμως συγκεντρώσεις παρεμποδίζει την πρόσληψη άλλων στοιχείων του εδάφους, όπως του καλίου, του φωσφόρου, του σιδήρου, του μαγνησίου και του μαγγανίου (Μαντζούτσος 2010, White & Broadley 2003, Wuddivira & Camps-Roach 2007).
- Τιτάνιο: Βρίσκεται σε συγκεντρώσεις 0,1%-2.5% κ.β. Δεν έχει βρεθεί κάποια ιδιαίτερη επίδραση του τιτανίου στην ανάπτυξη των φυτών (Kabata-Pendias 2010). Η συγκέντρωση του τιτανίου στα φυτά ελαττώνεται όσο αυξάνει η ηλικία τους και έχει δειχθεί ότι στα γηραιά φυτά μπορεί να μειωθεί έως και κατά 2/3 σε σχέση με τα νεαρά φυτά (Anke & Seifert 2004).
- Βανάδιο: Βρίσκεται σε συγκεντρώσεις 69–320 mg/kg και κατανέμεται ομοιόμορφα στα εδαφικά προφίλ (Kabata-Pendias 2010). Σε χαμηλές συγκεντρώσεις δρα ευεργετικά στα φυτά καθώς επιταχύνει ορισμένες ενζυμικές λειτουργίες, ενώ σε υψηλές συγκεντρώσεις προκαλεί χλώρωση (κιτρίνισμα των φύλλων) και νανισμό (Dobritskaia 1969).
- Χρώμιο: Βρίσκεται σε συγκεντρώσεις 20-100 mg/kg (Μ.Ο. παγκοσμίως 60 mg/kg). Σε περιοχές με υπερβασικά πετρώματα μπορεί να φτάσει μέχρι και 100.000 mg/kg (Kabata-Pendias 2010). Σε μικρές συγκεντρώσεις το χρώμιο είναι θρεπτικό συστατικό για τα φυτά,

όμως σε μεγάλες συγκεντρώσεις επιβραδύνει την ανάπτυξή τους και προκαλεί μορφολογικές ατέλειες (υποπλασμένα φύλλα, λεπτά κλαδιά). Έχει μέτρια προς υψηλή βιοδιαθεσιμότητα που σημαίνει ότι μπορεί μέσω της τροφικής αλυσίδας να περάσει στους ζωικούς οργανισμούς και στον άνθρωπο και να δημιουργήσει προβλήματα υγείας όταν βρίσκεται με την μορφή του εξασθενούς χρωμίου (Macnicol & Beckett 1985).

- Μαγγάνιο: Βρίσκεται σε συγκεντρώσεις 411-550 mg/kg ενώ μπορεί να φτάσει τιμές έως 2000 mg/kg (Το μαγγάνιο προκαλεί αλλαγή του pH των εδαφών σε ακραίες τιμές <5,5 σε έλλειψη και >8 σε περίσσεια (Bartlett & Ross 2005). Το μαγγάνιο είναι σημαντικό για τις οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις των φυτών, ωστόσο σε υψηλές συγκεντρώσεις είναι φυτοτοξικό και προκαλεί αλλοιώσεις στα φύλλα υπό μορφή καφέ κηλίδων, που οφείλονται στην άνιση κατανομή της χλωροφύλλης σε αυτά (Greger 1999).
- Σίδηρος: Βρίσκεται στα εδάφη με μέση συγκέντρωση 3,5% κ.β. ενώ μπορεί να κυμαίνεται από λίγα mg/kg έως και >20% κ.β., ανάλογα με τα μητρικά πετρώματα από τα οποία προέρχεται. Εμφανίζεται με την μορφή οξειδίων και υδροξειδίων του σιδήρου και ευθύνεται για τα χρώματα των εδαφών (π.χ κόκκινο χρώμα λόγω υψηλής συγκέντρωσης τρισθενούς σιδήρου με την μορφή του αιματίτη) (Kabata-Pendias 2010). Είναι υψίστης σημασίας στοιχείο για τις βιοχημικές αντιδράσεις των φυτών, καθώς αποτελεί βασικό συστατικών πολυάριθμων ενζύμων και πρωτεϊνών και σημαντικό στοιχείο για την διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Η έλλειψή του προκαλεί χλώρωση (κιτρίνισμα των φύλλων), ενώ η περίσσεια οδηγεί στην νέκρωση τμημάτων των φυτών. Ο λόγος Fe/Mn είναι ιδιαίτερα σημαντικός διότι αυτός καθορίζει τον βαθμό φυτοτοξικότητας του Fe και όχι η απόλυτη τιμή της συγκέντρωσής του (Greger 1999).
- Κοβάλτιο: Βρίσκεται στα εδάφη με μέση συγκέντρωση 10 mg/kg, ενώ σε περιοχές με υπερβασικά πετρώματα μπορεί να υπερβεί και τα 520 mg/kg (Kabata-Pendias 2010). Υπάρχουν ενδείξεις ότι σε χαμηλές συγκεντρώσεις συμμετέχει στον σχηματισμό της χλωροφύλλης, ενώ σε υψηλές συγκεντρώσεις, είναι φυτοτοξικό για ορισμένες κατηγορίες φυτών όπως η ντομάτα (Gad 2005).
- Νικέλιο: Βρίσκεται σε συγκεντρώσεις 13–37 mg/kg, ενώ σε περιοχές με υπερβασικά πετρώματα μπορεί να υπερβεί τα 1700 mg/kg (Kabata-Pendias 2010). Το νικέλιο βοηθά στις μεταβολικές διεργασίες των φυτών και στη σύνθεση ορισμένων ενζύμων, αλλά σε υψηλές

συγκεντρώσεις δημιουργεί προβλήματα στην ανάπτυξη τους (υποπλασμένα - ατελή φύλλα, μείωση ανθεκτικότητας των κλαδιών κ.ά.) (Doherty et al. 2008, Eskew et al 1984). Οι φυτοτοξικές συγκεντρώσεις του νικελίου ποικίλουν από 40 έως 250 mg/kg για τα διάφορα είδη φυτών (Anderson et al. 1973). Έχει μεγάλη βιοδιαθεσιμότητα και περνάει μέσω της τροφικής αλυσίδας στους ζωικούς οργανισμούς όπου συσσωρεύεται (Kabata-Pendias 2010).

- Χαλκός: Βρίσκεται σε συγκεντρώσεις 14-109 mg/kg. Σε μικρές συγκεντρώσεις δεν αποτελεί πρόβλημα για τους φυτικούς οργανισμούς. Σε υψηλές συγκεντρώσεις προκαλεί μορφολογικές ατέλειες με εξαίρεση ορισμένους τύπους φυτών που αναπτύσσονται σε περιβάλλον με περίσσεια χαλκού (έως και 13.000 mg/kg) και λειτουργούν και ως γεωχημικοί δείκτες για τον Χαλκό (Φιλιππίδης 2019). Έχει μέτρια βιοδιαθεσιμότητα και ένα σημαντικό μέρος του περνάει μέσω της τροφικής αλυσίδας στους ζωικούς οργανισμούς. (Kabata-Pendias 2010, Giller et al. 1998).
- Ψευδάργυρος: Βρίσκεται σε συγκεντρώσεις 60-89 mg/kg. Έχει μεγάλη σημασία για τις μεταβολικές διεργασίες των φυτών και αποτελεί συστατικό πολλών ενζύμων. Σε υψηλές συγκεντρώσεις δρα φυτοτοξικά και προκαλεί χλώρωση και καθυστερημένη ανάπτυξη (Rout & Das 2009).
- Αρσενικό: Βρίσκεται σε συγκεντρώσεις <0,1-70 mg/kg με μέση τιμή παγκοσμίως τα 6,83 mg/kg. Αποτελεί φυτοτοξικό στοιχείο και λόγω της μεγάλης βιοδιαθεσιμότητάς του και της ικανότητάς του να συσσωρεύεται στους οργανισμούς, περνάει μέσω της τροφικής αλυσίδας στους ζωικούς οργανισμούς και στον άνθρωπο προκαλώντας σοβαρά προβλήματα υγείας (Xie et al 2014).
- Ρουβίδιο: Βρίσκεται σε συγκεντρώσεις 100-120 mg/kg. Αντικαθιστά το κάλιο στις μεταβολικές διεργασίες των φυτών, ωστόσο σε υψηλές συγκεντρώσεις είναι τοξικό για τα φυτά, καθώς τις επιβραδύνει (Kabata-Pendias 2010).
- Στρόντιο: Βρίσκεται σε συγκεντρώσεις 130-240 mg/kg. Αντικαθιστά το Ca και συγκεντρώνεται κυρίως στα φύλλα και στα κλαδιά των φυτών (Kabata-Pendias 2010). Συχνά χρησιμοποιείται ο λόγος $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ για να βρεθούν πηγές ρύπανσης προερχόμενες από βιομηχανικά αερόλυμα (Geagea et al. 2008).

- Ζιρκόνιο: Βρίσκεται σε συγκεντρώσεις 140-305 mg/kg και εντοπίζεται κυρίως στις ρίζες των φυτών (Kabata-Pendias 2010). Υπάρχουν ενδείξεις ότι δρα ως φυτοτοξικό στοιχείο. Έχει βρεθεί ότι το ζιρκόνιο δεν έχει καμία αρνητική επίδραση στην ανάπτυξη πολλών φυτών μέσω μιας σειράς δοκιμών στο φυτό του κριθαριού (Davis et al 1978).
- Μολυβδαίνιο: Βρίσκεται σε συγκεντρώσεις 0,9–1,8 mg/kg. Αποτελεί σημαντικό μικροθρεπτικό στοιχείο για τα φυτά καθώς συμμετέχει στις μεταβολικές τους διεργασίες και αποτελεί βασικό συστατικό πολυάριθμων ενζύμων τους (Sardans et al. 2008). Σπάνια αποτελεί φυτοτοξικό στοιχείο, αλλά λόγω της μεγάλης βιοδιαθεσιμότητάς του, συχνά δρα ως τοξικό στοιχείο για τους ζωικούς οργανισμούς (Davis et al 1978).
- Βάριο: Βρίσκεται σε συγκεντρώσεις από 362-580 mg/kg. Σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να έχει φυτοτοξική δράση (Chaudhry et al. 1977).
- Μόλυβδος: Βρίσκεται σε συγκεντρώσεις 3–90 mg/kg με μέση τιμή παγκοσμίως τα 27mg/kg. Η κατανομή του Pb στα εδαφικά προφίλ δεν είναι ομογενής και τείνει να συγκεντρώνεται στα επιφανειακά στρώματα, σε κονδύλους με Fe και Mn (Chardon et al. 2008). Αποτελεί συστατικό των φυτών σε συγκεντρώσεις 2–6 mg/kg ενώ σε υψηλότερες συγκεντρώσεις είναι φυτοτοξικός. Έχει υψηλή βιοδιαθεσιμότητα και μπορεί να περάσει μέσω της τροφικής αλυσίδας στους ζωικούς οργανισμούς και τον άνθρωπο προκαλώντας σοβαρά προβλήματα υγείας (Kabata-Pendias 2010).
- Σπάνιες γαίες REE: Από τις σπάνιες γαίες, απουσιάζει το προμύθιο. Έχουν μεγάλο εύρος ανάλογα με την εκάστοτε REE. Γενικά ισχύει ότι LREE $\approx$ 70-450 mg/kg και HREE $\approx$ 9-55 mg/kg. Δεν έχει βρεθεί ότι έχουν ενεργό ρόλο στην ανάπτυξη των φυτών (Kabata-Pendias 2010).
- Ακτινίδες (Θόριο και Ουράνιο): U $\approx$ 1,9–4,4/Th $\approx$ 8,1–11 mg/kg. Συσσωρεύονται στα φυτά και έχουν μεγάλη βιοδιαθεσιμότητα (Kabata-Pendias 2010).

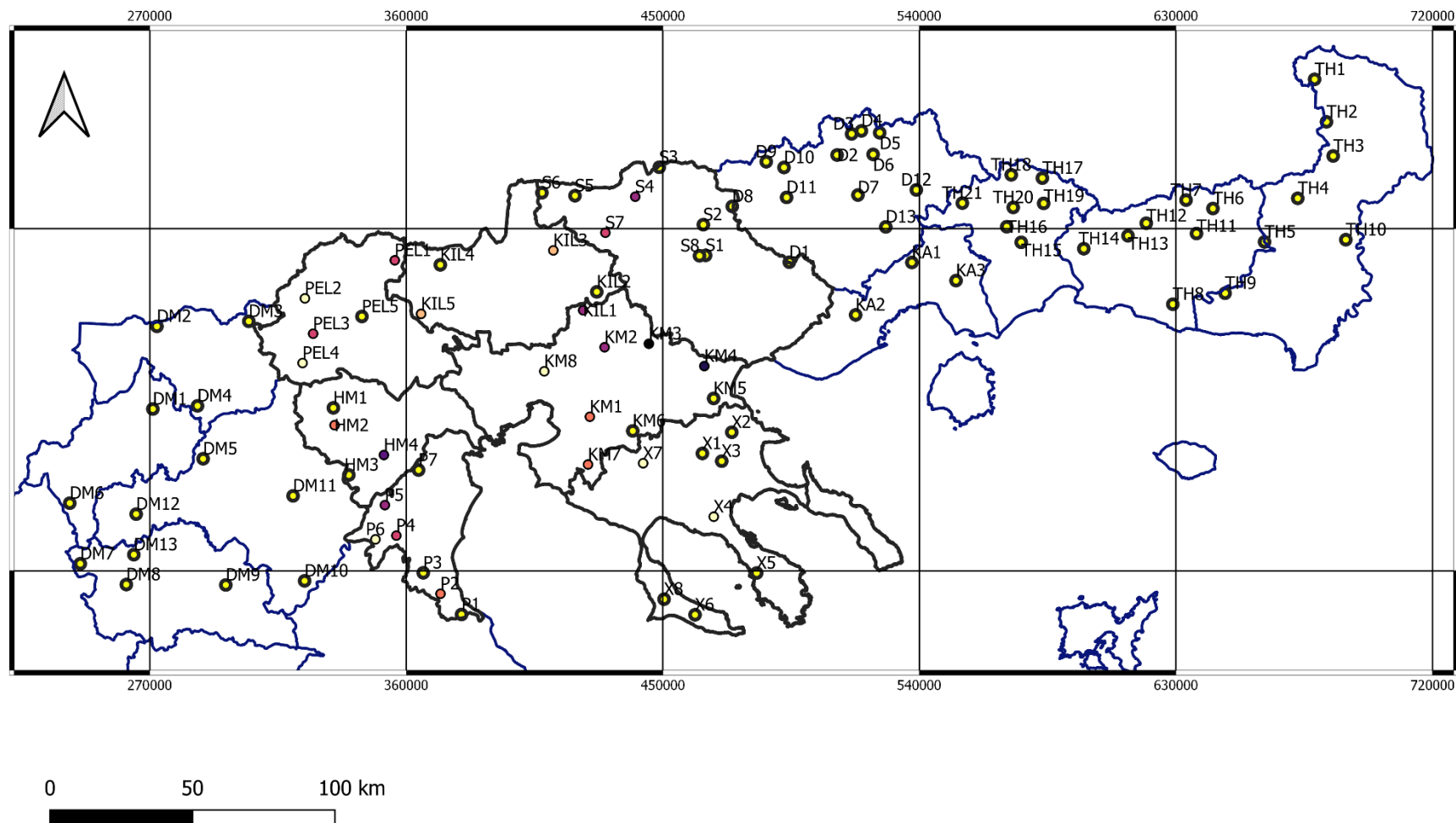
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ

2.1 Περιοχή δειγματοληψίας

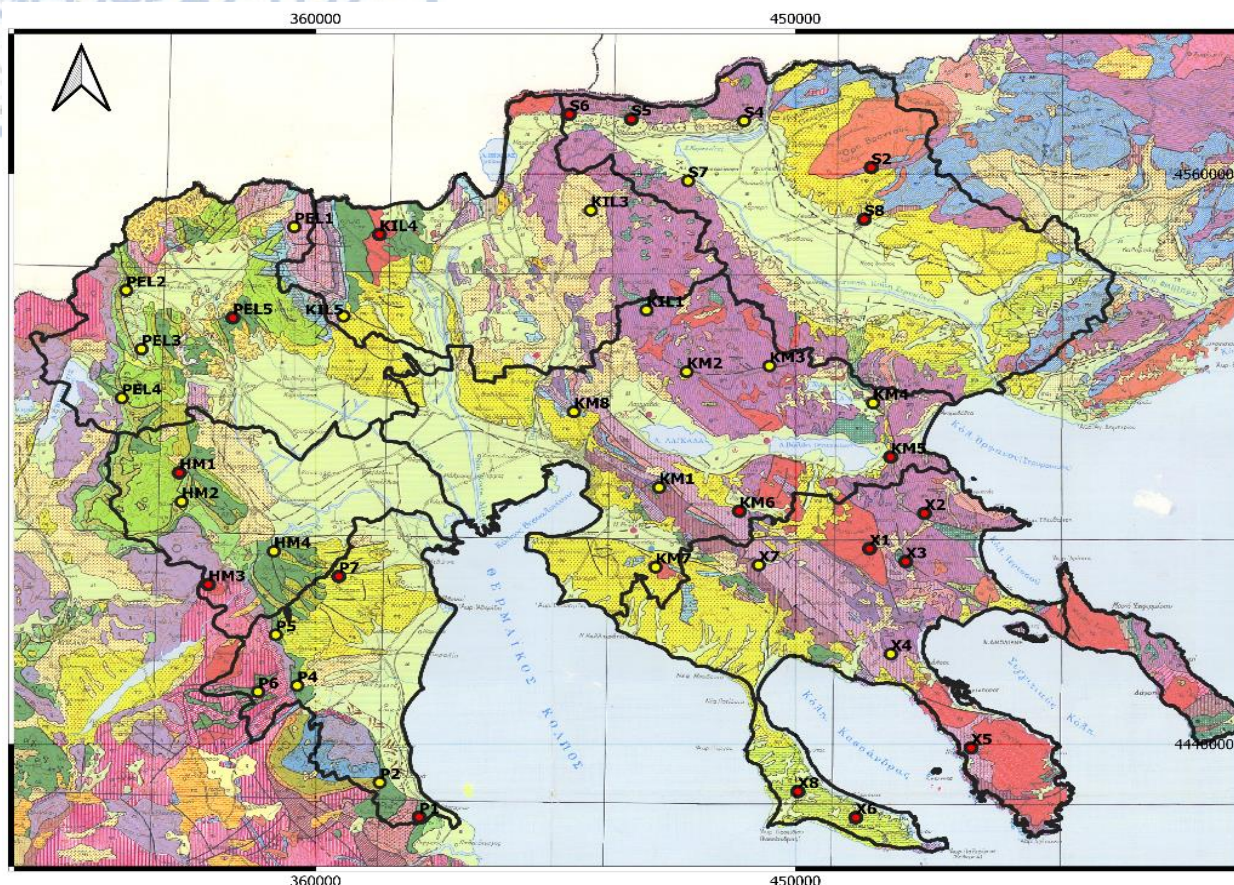
Για τη πραγματοποίηση της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκαν τα εδαφικά δείγματα που συλλέχθηκαν από τη Βόρεια Ελλάδα (Μακεδονία και Θράκη), στο πλαίσιο της διδακτορικής διατριβής της Μπέτσου (Betsou 2020). Συνολικά συλλέχθηκαν 95 εδαφικά δείγματα με βάση τις εξής συνθήκες – προϋποθέσεις:

- Χωρισμός της περιοχής, όπου αυτό ήταν εφικτό, σε πλαίσια διαστάσεων 30x30 χλμ. και λήψη ενός δείγματος σε κάθε ένα από αυτά.
- Τα σημεία δειγματοληψίας απέχουν τουλάχιστον 300 μέτρα από εθνικά δίκτυα και τουλάχιστον 100 μέτρα από οποιονδήποτε δρόμο ή κτίσμα.
- Στις δασικές περιοχές η δειγματοληψία έγινε σε «ανοιχτές» θέσεις και όχι κάτω από δέντρα ή κοντά σε ρέματα.
- Τις ημέρες δειγματοληψίας δεν έβρεχε.
- Τα δείγματα είναι επιφανειακά και έγινε συλλογή εδάφους 10x10 cm και πάχους 5 cm.

Τα 95 σημεία δειγματοληψίας παρουσιάζονται στο σχήμα 2.1. Στα πλαίσια της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας της Παπούλια (2019) που είχε στόχο να διερευνήσει την σύσταση των εδαφών της βόρειας Ελλάδας για την εύρεση στοιχείων ανθρωπογενούς προέλευσης, μελετήθηκε ένα υποσύνολο των εδαφικών αυτών δειγμάτων από την Δυτική Μακεδονία. Στην παρούσα εργασία, η μελέτη επικεντρώθηκε στην Κεντρική Μακεδονία (νομοί Ημαθίας, Πέλλας, Κατερίνης, Κιλκίς, Σερρών, Θεσσαλονίκης και Χαλκιδικής) όπου υπήρχαν 41 εδαφικά δείγματα (Παράρτημα) τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή χαρτών για την απεικόνιση της κατανομής ορισμένων στοιχείων (Σχ 2.2). Από αυτά τα δείγματα, έγινε επιλογή ενός υποσυνόλου 22 δειγμάτων με υψηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο, με περιεκτικότητες > 7% κ.β., για περαιτέρω μελέτη με στερεοσκόπιο, ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης συνδεδεμένης με φασματοσκόπιο ενεργειακής διασποράς και φασματομετρία μάζας με μέθοδο επαγωγικά συζευγμένου πλάσματος. Τα δείγματα της Πιερίας καθώς και το δείγμα KM1 (5/41 δείγματα) αναλύθηκαν και από την Παπούλια ωστόσο η μελέτη της επικεντρώθηκε στην ανάλυση φασμάτων FTIR.



Σχήμα 2.1: Χάρτης με τις θέσεις δειγματοληψίας των 95 εδαφικών δειγμάτων από την Βόρεια Ελλάδα (Γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς: ΕΓΣΑ 87/ Χαρτογραφική προβολή: TM87). Τροποποιημένο από Παπούλια (2019).



Σχήμα 2.2: Χάρτης με τις θέσεις δειγματοληψίας των 41 εδαφικών δειγμάτων από την Κεντρική Μακεδονία. Τα 18 σημεία δειγματοληψίας με κόκκινο χρώμα χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή χαρτών κατανομής μετάλλων ενώ τα 23 σημεία δειγματοληψίας με κίτρινο χρώμα μελετήθηκαν επιπλέον και με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM). Για το υπόβαθρο του χάρτη έχει χρησιμοποιηθεί ο γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας με κλίμακα 1:500.000 από το ΙΓΜΕ. (Γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς: ΕΓΣΑ 87/ Χαρτογραφική προβολή: TM87). Δεδομένα και συντεταγμένες σημείων δειγματοληψίας από Παπούλια (2019).

2.2 Γεωλογία της περιοχής μελέτης

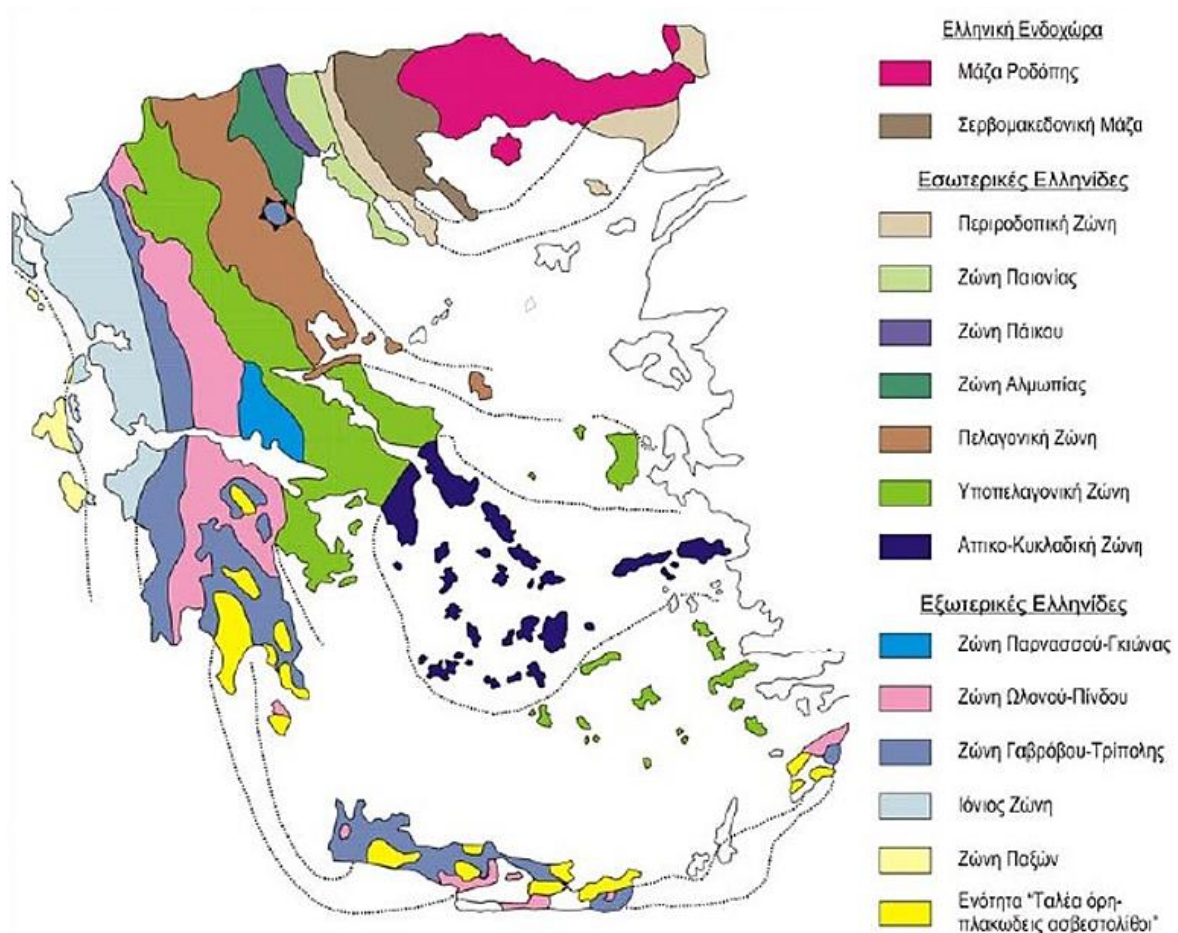
Η περιοχή μελέτης συγκροτείται από διαφορετικά πετρώματα που προέρχονται από τις Ελληνίδες γεωτεκτονικές ζώνες της Πελαγονικής, του Αξιού, της Περιοδοπικής καθώς και από την Σερβομακεδονική μάζα (Σχήμα 2.3). Στον πίνακα 2.1 παρουσιάζονται οι κυρίαρχοι λιθολογικοί τύποι των πετρωμάτων που απαντώνται σε αυτές τις ζώνες (Μουντράκης 2010).

Στην περιοχή μελέτης μας εμφανίζονται πετρώματα που ανήκουν στις γεωτεκτονικές ζώνες της Σερβομακεδονικής, της Περιοδοπικής, του Αξιού και της Πελαγονικής καθώς και νεογενείς και τεταρτογενείς ιζηματογενείς αποθέσεις.

Πίνακας 2.1: Λιθολογικοί τύποι των γεωτεκτονικών ζωνών που εντοπίζονται στη περιοχή μελέτης.

ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ

Σερβομακεδονική	Γενεύσιοι, σχιστόλιθοι, μάρμαρα, πλουτωνικά πετρώματα όξινης έως βασικής σύστασης
Περιοδοπική	Σχιστόλιθοι, μάρμαρα, κερατόλιθοι, μεταφαιστειακά πετρώματα και μεταβασίτες, φλύσχης
Αξιού	Οφιολιθικά πετρώματα, κερατόλιθοι
Πελαγονική	Ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι, μεταφαιστειακά πετρώματα, φλύσχης



Σχήμα 2.3: Ελληνίδες γεωτεκτονικές ζώνες του Ελληνικού χώρου (ΠΗΓΗ: Μουντράκης 2020).

2.3 Χημική ανάλυση των εδαφικών δειγμάτων

Η χημική ανάλυση των 41 δειγμάτων της Κεντρικής Μακεδονίας έγινε με την μέθοδο της φασματομετρίας φθορισμού ακτίνων X (XRF). Για τον σκοπό αυτόν τα δείγματα κονιοποιήθηκαν, αναμείχθηκαν με ένα οργανικό υλικό (cellulose) που βοηθά στην ομογενοποίηση του δείγματος και αυξάνει τη συνοχή του και κατασκευάστηκαν πεπιεσμένα δισκία (pressed pellets) διαμέτρου 40 mm (Betsou 2020). Με την μέθοδο φασματομετρίας ακτίνων φθορισμού (X-ray fluorescence (XRF) spectrometry) μπορούν να προσδιοριστούν ποσοτικά τα περισσότερα χημικά στοιχεία από το βηρύλλιο έως το ουράνιο. Για την ανάλυση αυτή χρησιμοποιήθηκε η συσκευή X-ray Spectrometry S4-Pioneer (Bruker-AMS, Germany) της Εργαστηρίου Σαρωτικής Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας του ΑΠΘ και αναλύθηκαν 9 οξείδια (SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , TiO_2 , Fe_2O_3 , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5).

Συμπληρωματικές χημικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν σε ένα υποσύνολο 22 δειγμάτων που μελετήθηκαν και με τη μέθοδο του SEM-EDS. Προσδιορίστηκαν 10 ιχνοστοιχεία (Cr, Ni, Co, Cu, Zn, Sr, Pb, As, Mn, Ba) με τη μέθοδο φασματομετρίας μάζας ICP-MS του εργαστηρίου περιβάλλοντος της εταιρείας EBETAM A.E. Για το σκοπό αυτό έγινε χώνευση των εδαφικών δειγμάτων σε διάλυμα aqua regia που αποτελεί διάλυμα νιτρικού και υδροχλωρικού οξέος.

2.4 Διαχωρισμός μαγνητικού κλάσματος

Σε προηγούμενες εργασίες, έχει βρεθεί συσχέτιση μεταξύ βαρέων μετάλλων και σιδηρομαγνητικών σωματιδίων σε εδάφη (π.χ. Hu et al. 2007, Jordanova et al. 2004). Για το λόγο αυτό, 22 δείγματα με περιεκτικότητα σε $\text{Fe}_2\text{O}_3 > 7\%$ κ.β. αναλύθηκαν περαιτέρω με την χρήση στερεοσκοπίου και ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης SEM-EDS. Για τον σκοπό αυτό, έγινε διαχωρισμός των μαγνητικών σωματιδίων (σιδηρομαγνητικά κυρίως σωματίδια με ισχυρή μαγνήτιση) από τα εδαφικά δείγματα με την βοήθεια ενός μαγνήτη.

2.4.1 Μελέτη με στερεοσκόπιο

Το μαγνητικό κλάσμα που διαχωρίστηκε από τα 22 εδαφικά δείγματα μελετήθηκε σε στερεοσκόπιο προκειμένου να γίνει ένας αρχικός προσδιορισμός του είδους των υλικών από το οποίο αποτελείται (κόκκοι ορυκτών, θραύσματα μεταλλικών υλικών κ.ά). Παράλληλα έγινε προσδιορισμός της ταξινόμησης, της σφαιρικότητας και της στρογγυλότητας των κόκκων.

2.4.2 Μελέτη με ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης συνδεδεμένη με φασματοσκόπιο ενεργειακής διασποράς (SEM-EDS)

Το μαγνητικό κλάσμα μετά από την μελέτη του στο στερεοσκόπιο, μελετήθηκε στο SEM-EDS. Αρχικά το υλικό τοποθετήθηκε πάνω σε μεταλλικούς φορείς με ταινία αλουμινίου. Στη

συνέχεια επανθρακώθηκε σε συνθήκες κενού για να γίνει αγωγίμο ώστε να είναι εφικτή η μελέτη του στο SEM-EDS. Για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκε το SEM-EDS του εργαστηρίου Σαρωτικής Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας του ΑΠΘ.

2.4.3 Μελέτη με φασματομετρία μάζας επαγωγικά συζευγμένου πλάσματος (ICP-MS)

Για την χημική ανάλυση των 21 δειγμάτων με τη μέθοδο φασματομετρίας μάζας επαγωγικά συζευγμένου πλάσματος (ICP-MS) εφαρμόστηκε η μέθοδος εκχύλισης με διάλυμα aqua regia (μίγμα HCl/HNO_3). Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με την συσκευή ICP-MS τύπου AGILENT 7500 (Agilent, USA) που διαθέτει η εταιρία EBETAM ΑΕ. και αναλύθηκαν 10 ιχνοστοιχεία (Cr, Ni, Co, Cu, Zn, Sr, Pb, As, Mn, Ba) .

2.5 Χάρτες και χωρική κατανομή στοιχείων

Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή χαρτών που απεικονίζουν τη χωρική κατανομή των κύριων μετάλλων στην Κεντρική Μακεδονία και με βάση το γεωλογικό υπόβαθρο δίνεται μια πρώτη ερμηνεία των χημικών αναλύσεων. Η κατασκευή των χαρτών πραγματοποιήθηκε με την χρήση του λογισμικού QGIS και χρησιμοποιήθηκε το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ87 και η χαρτογραφική προβολή TM87.

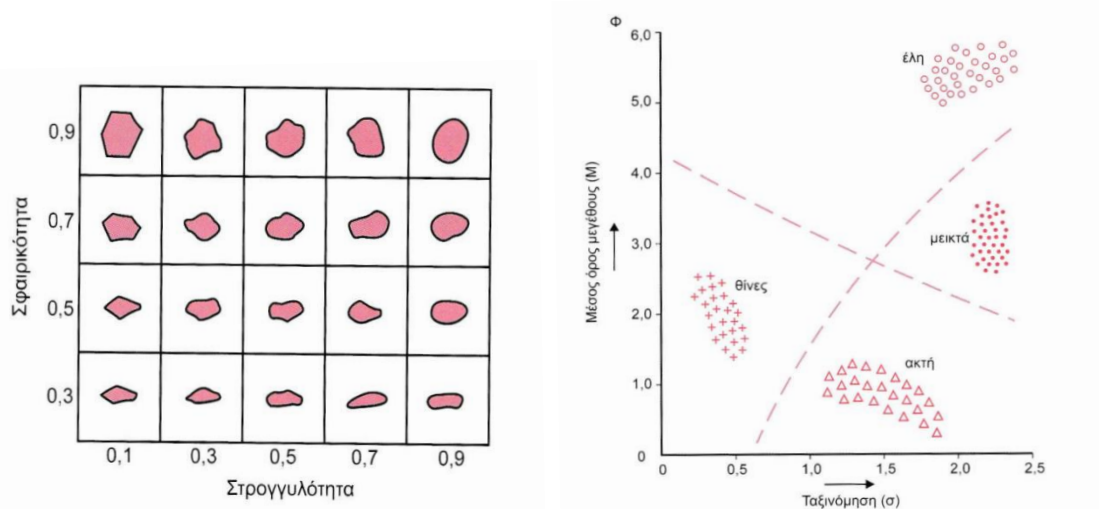
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1 Αποτελέσματα αναλύσεων

Αρχικά πραγματοποιήθηκε χημική ανάλυση με την μέθοδο ακτίνων φθορισμού X (XRF). Η βάση δεδομένων της XRF της Σχολής Θετικών Επιστημών του ΑΠΘ μπορεί να προσδιορίσει ποσοτικά τα οξείδια SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , K_2O , CaO , Na_2O , TiO_2 , MnO , P_2O_5 με όριο ανίχνευσης το 0,01%. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε μελέτη του σιδηρομαγνητικού κλάσματος των 23 δειγμάτων κάτω από το στερεοσκόπιο. Σε αυτό το στάδιο προσδιορίστηκε η ταξινόμηση, η σφαιρικότητα και η στρογγυλότητα των κόκκων.

Η ταξινόμηση είναι το μέτρο της διασποράς του μεγέθους των κόκκων δηλαδή δηλώνει αν υπάρχει μεγάλη ή μικρή ποικιλία μεγεθών σε έναν πληθυσμό κόκκων.

Σχήμα – μορφή: η έννοια της σφαιρικότητας (κατά πόσο ο κόκκος έχει σχήμα που μοιάζει με σφαίρα) ανταποκρίνεται στο σχήμα και η έννοια της στρογγυλότητας (μέτρο της οξύτητας των άκρων των κόκκων) στην μορφή των κόκκων (εικ 3.1). Οι κόκκοι μπορούν να αποκτήσουν πιο εύκολα σφαιρικό σχήμα αλλά πιο δύσκολα καλή στρογγυλότητα.



Εικόνα 3.1: Ταξινόμηση των κόκκων με βάση την σφαιρικότητα και την στρογγυλότητα τους (αριστερά). Διαχωρισμός των περιβαλλόντων απόθεσης ιζηματογενών κόκκων με βάση τον συσχετισμό των παραμέτρων μεγέθους M και ταξινόμησης σ των κόκκων (Ψιλοβίκος & Ψιλοβίκος 2010).

Οι κόκκοι έχουν την τάση να αποκτήσουν το τέλειο σχήμα, σφαιρικό και στρόγγυλο όσο αυξάνει χρονικά και χωρικά η μεταφορά τους. Υψηλή σφαιρικότητα και στρογγυλότητα υποδηλώνουν έντονη και παρατεταμένη επεξεργασία του ιζήματος σε δυναμικές συνθήκες αποθετικού περιβάλλοντος. Αντίστοιχα, νέα ιζήματα που δεν έχουν υποστεί έντονη επεξεργασία εμφανίζονται με κακή σφαιρικότητα και στρογγυλότητα. Ο προσδιορισμός

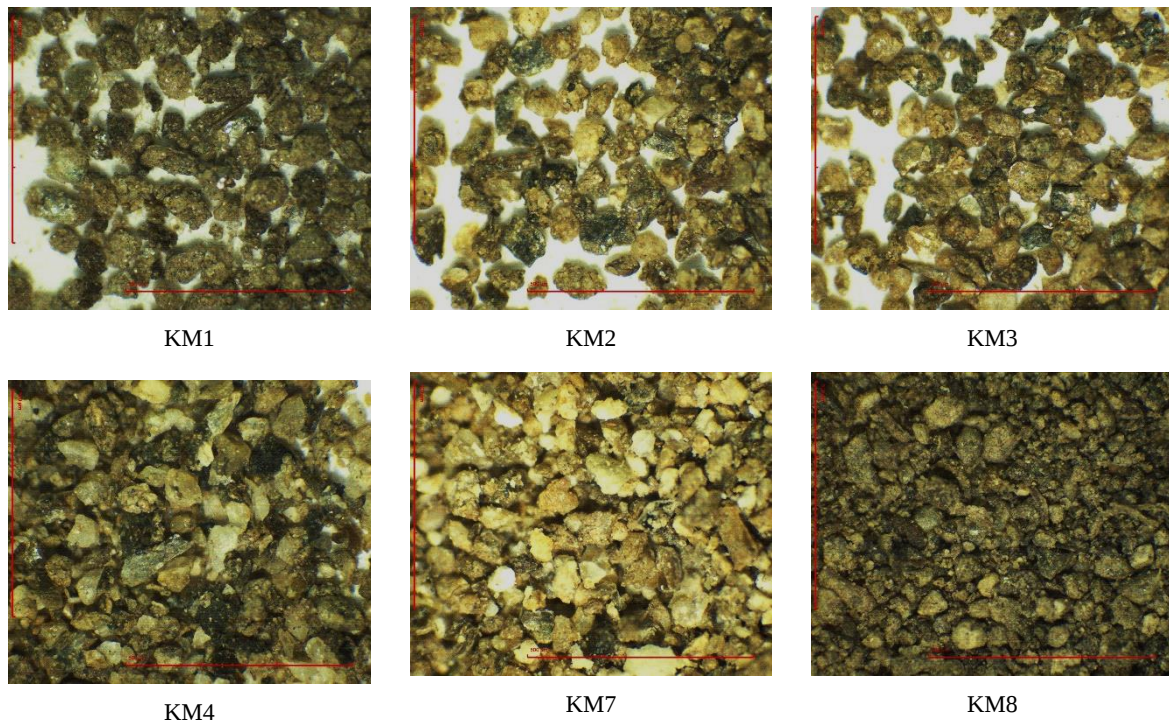
σχήματος και μορφής των κόκκων γίνεται συνήθως σε κόκκους χαλαζία διαμέτρου 1mm (0Φ) (Ψιλοβίκος & Ψιλοβίκος 2010).

Το σιδηρομαγνητικό κλάσμα που απομονώθηκε από τα 23 δείγματα της Κεντρικής Μακεδονίας μελετήθηκε με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης.

3.1.1 Νομός Θεσσαλονίκης

Στο νομό Θεσσαλονίκης, ελήφθησαν 8 εδαφικά δείγματα με κωδικές ονομασίες KM1-KM8 (Εικ. 2.2). Πραγματοποιήθηκε χημική ανάλυση ολικού δείγματος με τη μέθοδο της XRF σε όλα τα δείγματα ενώ έγινε επιλογή 6 δειγμάτων (KM1,2,3,4,7,8) με τιμές αναφοράς σιδήρου $\text{Fe}_2\text{O}_3 > 7\%$ κ.β. για περαιτέρω μελέτη στο στερεοσκόπιο, το SEM και την ICP-MS.

Με βάση τη μελέτη του ολικού κλάσματος στο στερεοσκόπιο, οι κόκκοι των δειγμάτων του νομού Θεσσαλονίκης χαρακτηρίζονται υπογωνιώδεις έως υποστρογγυλεμένοι με καλή ταξινόμηση, επικαλυμμένοι με αργιλικά ορυκτά καστανωπού-τεφροκαστάνινου χρώματος.



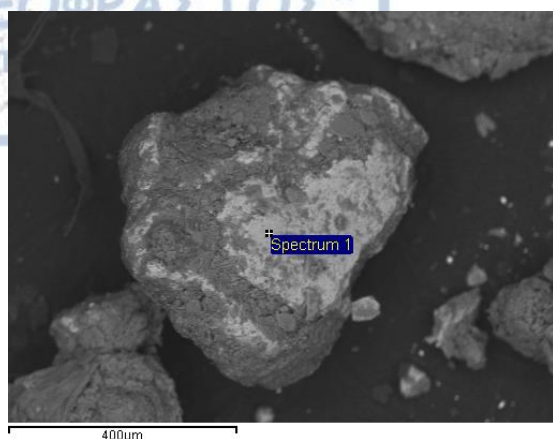
Εικόνα 3.2: Μορφολογία των εδαφικών κόκκων των δειγμάτων του Νομού Θεσσαλονίκης (KM1,2,3,4,7,8)

Πίνακας 3.1: Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων στα δείγματα του Νομού Θεσσαλονίκης.

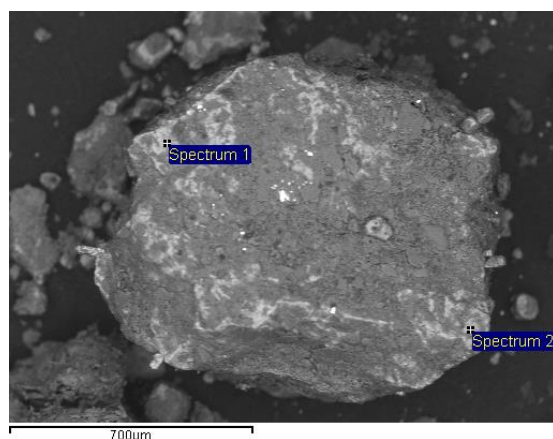
Οξείδια	KM1	KM2	KM3	KM4	KM5	KM6	KM7	KM8
(% κ.β.)								
SiO ₂	49,46	53,57	49,14	48,44	51,98	32,54	44,43	47,82
Al ₂ O ₃	24,30	20,32	19,56	18,85	12,79	12,95	15,05	16,57
Fe ₂ O ₃	9,02	11,17	14,80	13,68	6,25	5,30	9,04	7,99
MgO	6,39	3,84	5,57	4,06	2,83	1,26	1,53	4,84
K ₂ O	4,18	3,08	1,58	2,04	3,08	2,23	2,28	2,62
CaO	3,01	3,62	4,64	7,30	7,17	33,97	1,22	2,12
Na ₂ O	1,18	2,32	2,51	1,63	1,29	0,13	1,40	1,01
TiO ₂	0,77	1,31	1,52	1,44	0,79	0,71	1,67	0,72
P ₂ O ₅	0,29	0,27	0,29	0,92	0,30	0,07	0,19	0,28
Total	98,99	99,69	99,81	98,67	86,61	89,16	76,81	84,25
(mg/kg)								
Cr	40,63	22,93	22,56	bdl			21,71	85,20
Mn	1105,29	344,73	391,59	636,69			121,51	762,53
Co	bdl	bdl	bdl	bdl			bdl	bdl
Ni	176,98	56,79	38,83	21,58			23,08	59,97
Cu	21,76	24,13	26,32	126,82			19,05	20,51
Zn	38,67	38,67	22,88	28,12			31,27	19,03
As	bdl	bdl	bdl	bdl			bdl	bdl
Sr	18,85	bdl	bdl	23,86			bdl	bdl
Ba	572,80	559,03	277,85	104,20			80,74	151,06
Pb	2454,70	1213,75	650,46	377,17			188,88	126,22

*bdl=below detection limit

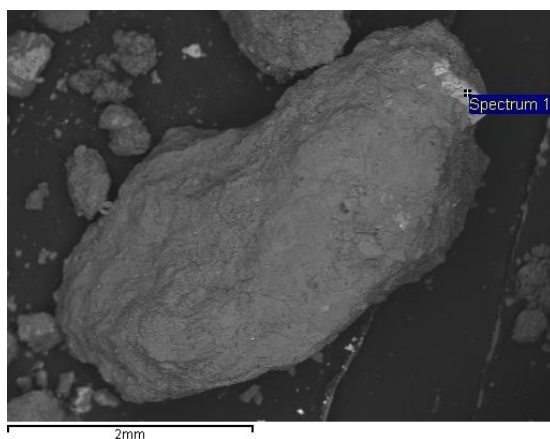
Στις χημικές αναλύσεις των κύριων στοιχείων, το SiO₂ κυμαίνεται μεταξύ 32,54-53,27% κ.β., το Al₂O₃ μεταξύ 12,79-24,30% κ.β., ο Fe₂O₃ μεταξύ 5,3-14,8% κ.β., το MgO μεταξύ 1,26-6,39% κ.β., το K₂O μεταξύ 1,58-4,18% κ.β., το CaO μεταξύ 1,22-33,97% κ.β., το Na₂O μεταξύ 0,13-2,51% κ.β., το TiO₂ μεταξύ 0,71-1,67% κ.β. και ο P₂O₅ μεταξύ 0,07-0,92% κ.β.. Με βάση τις μέσες συστάσεις των κύριων στοιχείων στα εδάφη (Κεφ 1.6), οι περιεκτικότητες των κύριων στοιχείων στα εδαφικά δείγματα, κυμαίνονται εντός των φυσιολογικών τιμών.



ΘΕΣΗ 2a



ΘΕΣΗ 3a



ΘΕΣΗ 4a

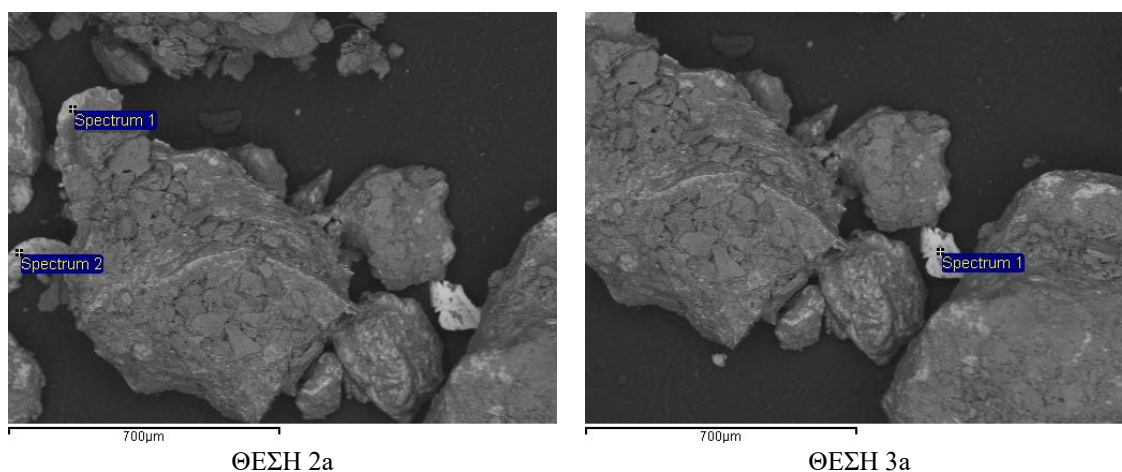
Εικόνα 3.3: Μορφολογία τεμαχιδίων και θέσεις σημειακών αναλύσεων στο δείγμα KM1

Πίνακας 3.2: Αποτελέσματα των σημειακών αναλύσεων στο δείγμα KM1

Οξείδια	2a	3a_1	3a_2	4a
	(% κ.β.)			
MgO	1,74	1,82	bdl	2,77
Al ₂ O ₃	9,00	8,74	11,18	9,74
SiO ₂	12,21	14,83	11,83	15,67
K ₂ O	0,7	0,35	bdl	0,79
CaO	1,36	1,96	1,65	0,68
TiO ₂	1,19	bdl	1,48	bdl
Cr ₂ O ₃	bdl	bdl	0,68	bdl
MnO	bdl	bdl	1,28	bdl
FeO	72,98	72,49	69,37	69,23
Totals	99,18	100,19	97,47	98,88

*bdl=below detection limit

Στις αναλύσεις των ιχνοστοιχείων, το Cr κυμαίνεται μεταξύ 21,71-85,20 mg/kg, το Mn μεταξύ 121,51-1105,29 mg/kg, το Ni μεταξύ 24,58-176,98 mg/kg, ο Cu μεταξύ 19,05-226,82 mg/kg, ο Zn μεταξύ 19,03-38,67 mg/kg, το Sr παρουσιάζει περιεκτικότητες που κυμαίνονται κάτω από το όριο ανίχνευσης έως 23,86 mg/kg, το Ba κυμαίνεται μεταξύ 80,74-57,80 mg/kg και ο Pb μεταξύ 126,22-2454,70 mg/kg. Το Co και το As βρίσκονται κάτω από το όριο ανίχνευσης. Με βάση τις μέσες συστάσεις των ιχνοστοιχείων στα εδάφη (Κεφ 1.6), εντοπίζεται υψηλή περιεκτικότητα σε Pb σε όλα τα δείγματα του νομού (KM1-8), υψηλή περιεκτικότητα σε Mn σε 3 από τα 6 δείγματα (KM1,4,8) και σε Cu σε 1 από τα 6 δείγματα (KM4). Οι τιμές των υπόλοιπων ιχνοστοιχείων κυμαίνονται εντός των φυσιολογικών τιμών (Κεφ. 1.6).

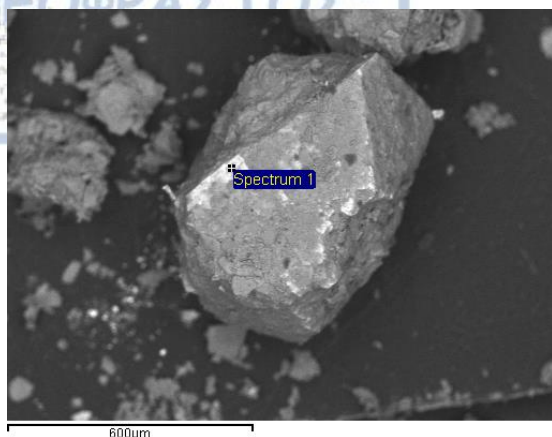


Εικόνα 3.4: Μορφολογία τεμαχιδίων και θέσεις σημειακών αναλύσεων στο δείγμα KM2

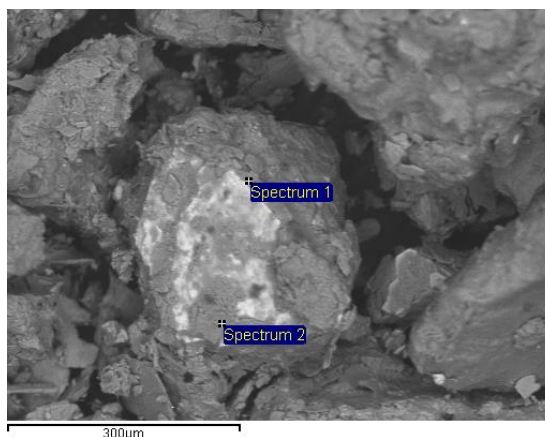
Πίνακας 3.3: Αποτελέσματα των σημειακών αναλύσεων στο δείγμα KM2

Οξείδια	2a_1	2a_2 (% κ.β.)	3a
Na ₂ O	bdl		0,91
MgO	bdl		1,00
Al ₂ O ₃	bdl		3,03
SiO ₂	1,88		6,22
Cr ₂ O ₃	0,49		bdl
MnO	bdl		0,78
FeO	98,29	100	87,27
NiO	bdl		1,13
Totals	100,66	100,00	100,34

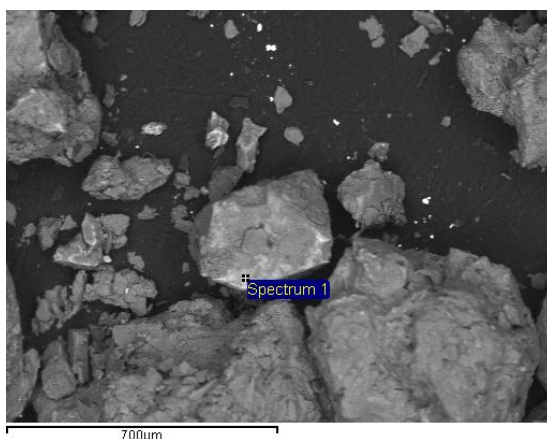
*bdl=below detection limit



ΘΕΣΗ 2a



ΘΕΣΗ 3a



ΘΕΣΗ 4a

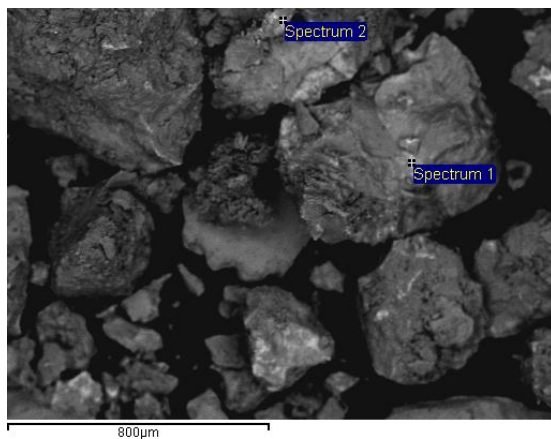
Εικόνα 3.5: Μορφολογία τεμαχιδίων και θέσεις σημειακών αναλύσεων στο δείγμα KM3

Πίνακας 3.4: Αποτελέσματα των σημειακών αναλύσεων στο δείγμα KM3

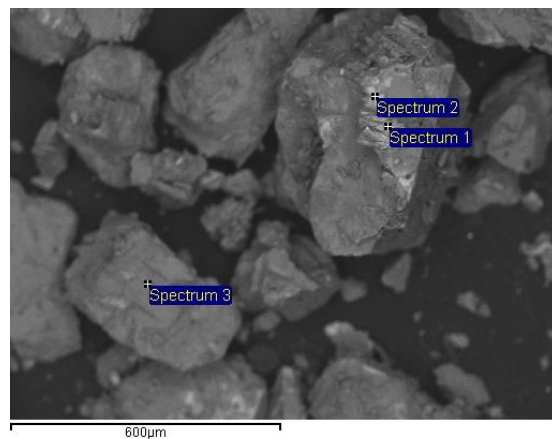
Οξείδια	2a	3a_1	3a_2	4a
	(% κ.β.)			
MgO	1,08	16,61	2,81	2,86
Al ₂ O ₃	6,33	bdl	20,72	9,65
SiO ₂	6,79	40,51	43,3	15,22
K ₂ O	bdl	bdl	6,03	1,09
CaO	bdl	bdl	1,17	bdl
TiO ₂	0,79	8,37	bdl	3,62
Cr ₂ O ₃	bdl	bdl	0,83	bdl
MnO	1,76	bdl	bdl	bdl
FeO	83,45	34,49	23,75	66,98
Totals	100,19	99,98	98,61	99,42

*bdl=below detection limit

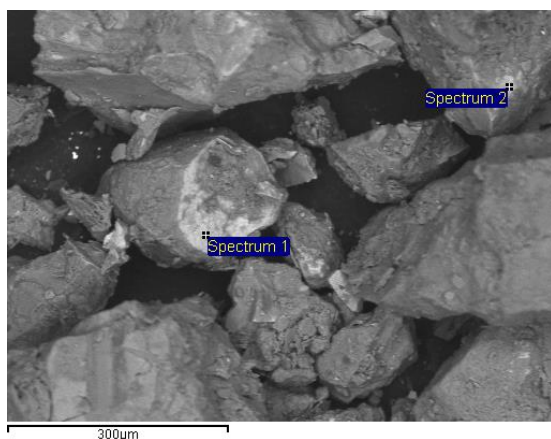
Στις αναλύσεις του μαγνητικού κλάσματος με τη μέθοδο της ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης, διακρίνονται 2 ομάδες αναλύσεων. Η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει υψηλά ποσοστά Fe, καθώς και Cr, Ni, V, Mg, Ti σε μεταβλητές αναλογίες, ενώ η δεύτερη περιλαμβάνει υψηλά ποσοστά σε Si, Al, K, Na, Ca. Η πρώτη ομάδα αναλύσεων αντιπροσωπεύει τη σύσταση των κόκκων του μαγνητικού κλάσματος, οι οποίοι σε ορισμένες περιπτώσεις ήταν ιδιόμορφοι (KM3,4), ενώ η δεύτερη ομάδα αναλύσεων αντιπροσωπεύει τα αργιλικά υλικά με τα οποία είναι επικαλυμμένοι οι μαγνητικοί κόκκοι.



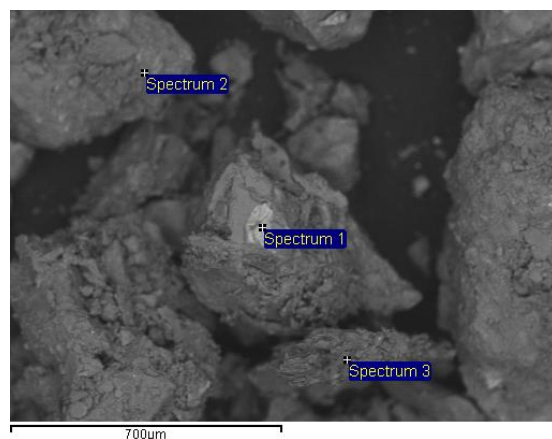
ΘΕΣΗ 2a



ΘΕΣΗ 3a



ΘΕΣΗ 5a



ΘΕΣΗ 6a

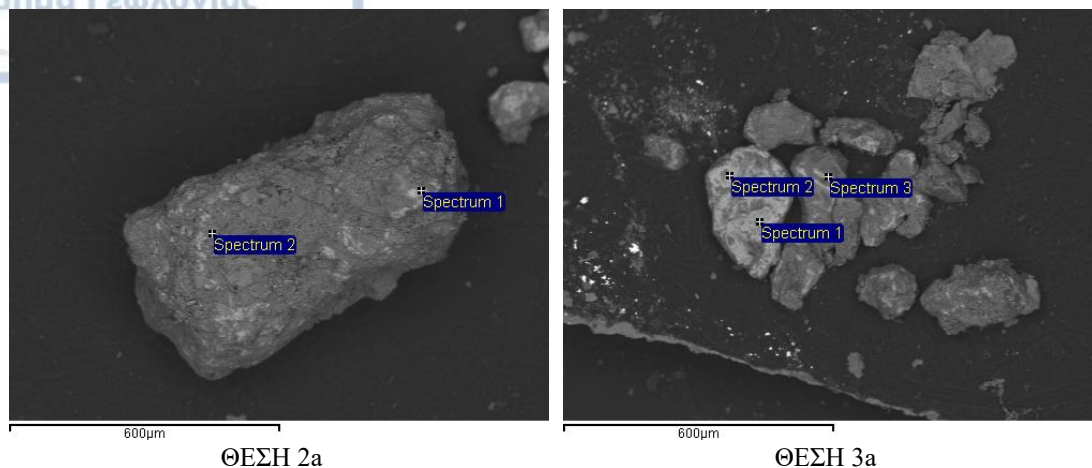
Εικόνα 3.6: Μορφολογία τεμαχιδίων και θέσεις σημειακών αναλύσεων στο δείγμα KM4



Πίνακας 3.5: Αποτελέσματα των σημειακών αναλύσεων στο δείγμα KM4

Οξείδια	2a_1	2a_2	3a_1	3a_2	3a_3	5a_1	5a_2	6a_1	6a_2	6a_3
	(% κ.β.)									
Na ₂ O	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1,38	bdl	bdl	0,65	1,15
MgO	3,86	8,71	1,12	1,24	7,99	bdl	bdl	bdl	3,51	1,89
Al ₂ O ₃	11,47	4,93	2,64	4,23	13,04	5,27	6,15	1,95	22,48	25,45
SiO ₂	33,04	20,94	5,69	7,45	38,63	6,82	8,84	3,95	44,67	52,43
K ₂ O	0,33	bdl	bdl	bdl	3,37	0,36	bdl	bdl	2,69	4,43
CaO	3,91	0,78	bdl	0,39	4,8	bdl	0,63	bdl	2,72	4,57
TiO ₂	4,07	1,09	bdl	0,88	7,6	12,27	bdl	bdl	0,78	2,97
V ₂ O ₅	0,56	0,85	bdl	0,82	bdl	bdl	1,39	0,95	bdl	bdl
Cr ₂ O ₃	bdl	bdl	0,71	bdl	0,46	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
MnO	1,50	2,07	bdl	bdl	0,87	2,1	0,69	bdl	bdl	bdl
FeO	41,33	60,9	88,63	84,87	23,55	72,62	82,42	93,24	21,84	6,36
Totals	100,08	100,27	98,79	99,88	99,85	100,82	100,11	100,09	99,34	99,25

*bdl=below detection limit

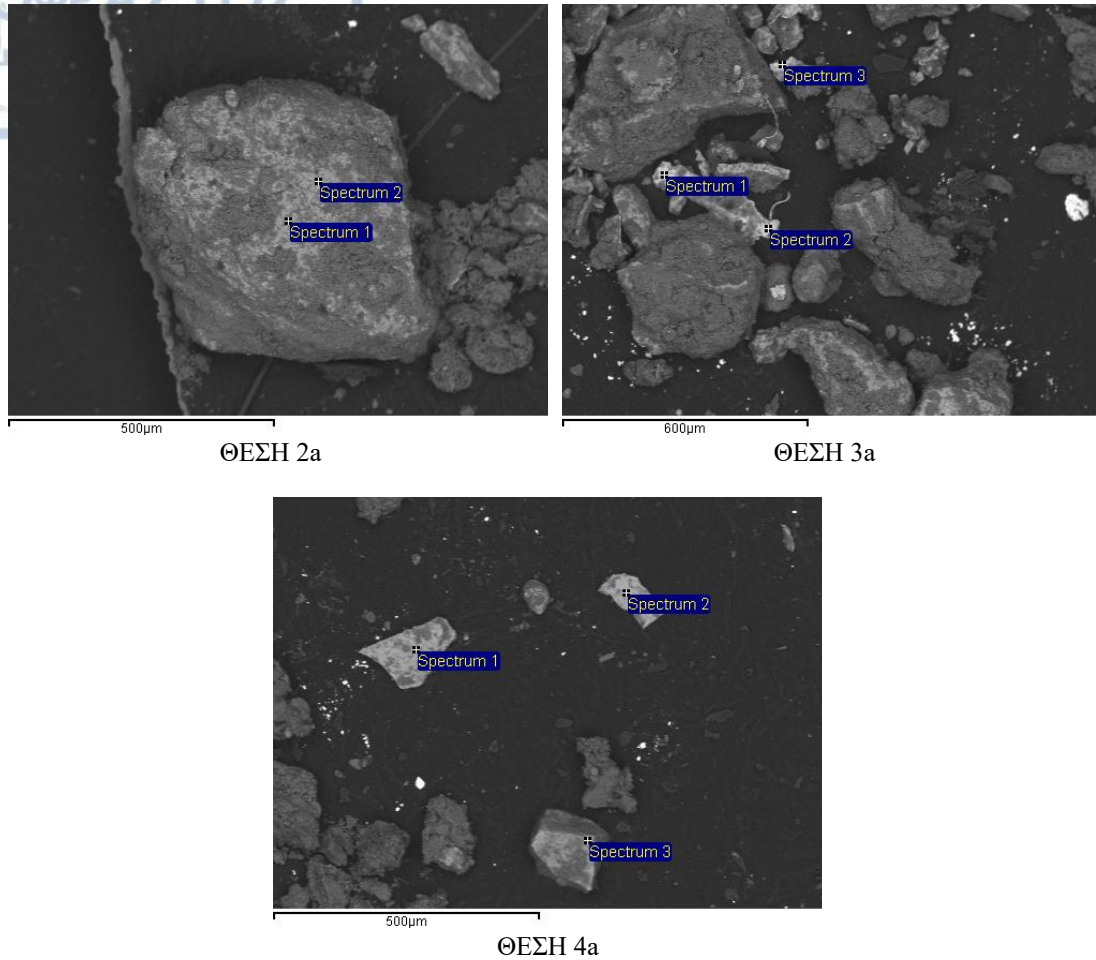


Εικόνα 3.7: Μορφολογία τεμαχιδίων και θέσεις σημειακών αναλύσεων στο δείγμα KM7

Πίνακας 3.6: Αποτελέσματα των σημειακών αναλύσεων στο δείγμα KM7

Οξείδια	2a_1	2a_2	3a_1	3a_2	3a_3
	(% κ.β.)				
Na ₂ O	0,9	0,58	bdl	bdl	bdl
MgO	bdl	4,07	bdl	1,11	1,3
Al ₂ O ₃	10,21	24,18	5,45	3,22	9,93
SiO ₂	16,41	52,69	9,64	8,8	17,55
K ₂ O	0,38	3,68	0,39	bdl	0,28
CaO	bdl	0,57	bdl	bdl	bdl
TiO ₂	0,51	0,8	bdl	bdl	0,85
V ₂ O ₅	0,66	bdl	bdl	bdl	bdl
Cr ₂ O ₃	0,02	0,84	bdl	bdl	bdl
MnO	0,77	bdl	bdl	bdl	bdl
FeO	69,75	11,3	84,47	85,47	70,91
Totals	99,61	98,71	99,95	98,6	100,82

*bdl=below detection limit



Εικόνα 3.8: Μορφολογία τεμαχιδίων και θέσεις σημειακών αναλύσεων στο δείγμα KM8



Πίνακας 3.7: Αποτελέσματα των σημειακών αναλύσεων στο δείγμα KM8

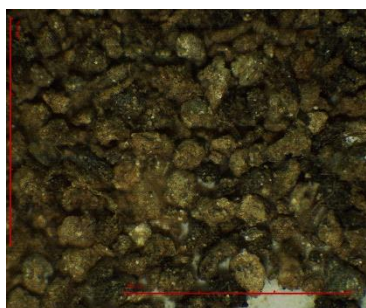
Οξείδια	2a_1	2a_2	3a_1	3a_2	3a_3	4a_1	4a_2	4a_3
	(% κ.β.)							
MgO	4,84	2,61	0,84	0,26	2,52	bdl	0,18	2,54
Al ₂ O ₃	16,67	12,39	3,06	2,37	6,27	2,89	0,89	6,57
SiO ₂	32,46	26,9	4,83	3,95	11,39	3,87	2,82	14,03
K ₂ O	2,95	2,83	0,44	0,25	0,77	bdl	bdl	0,48
CaO	1,1	0,88	0,33	0,29	bdl	bdl	bdl	1,56
TiO ₂	0,51	bdl	bdl	bdl	0,43	bdl	bdl	37,5
V ₂ O ₅	bdl	0,79	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
MnO	0,81	1,02	1,24	1,26	0,65	bdl	1,27	1,65
FeO	39,14	52,73	89,61	91,73	77,19	92,63	95,82	35,13
NiO	0,71	bdl	bdl	bdl	0,51	0,72	bdl	bdl
Totals	99,19	100,15	100,35	100,10	99,73	100,64	100,98	99,46

*bdl=below detection limit

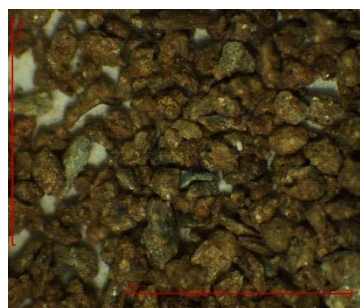
3.1.2 Νομός Χαλκιδικής

Στο νομό Χαλκιδικής, ελήφθησαν 8 εδαφικά δείγματα με κωδικές ονομασίες X1-X8 (Εικ. 2.2). Πραγματοποιήθηκε χημική ανάλυση ολικού δείγματος με τη μέθοδο της XRF σε όλα τα δείγματα ενώ έγινε επιλογή 2 δειγμάτων (X4,7) με τιμές σιδήρου $\text{Fe}_2\text{O}_3 > 7\%$ κ.β. για περαιτέρω μελέτη στο στερεοσκόπιο, το SEM-EDS και την ICP-MS.

Με βάση τη μελέτη του ολικού κλάσματος στο στερεοσκόπιο, οι κόκκοι των δειγμάτων του νομού Χαλκιδικής χαρακτηρίζονται ως υπογωνιώδεις με μέτρια ταξινόμηση, επικαλυμμένοι με αργίλικα ορυκτά καστανωπού-τεφροκαστανίνου χρώματος.



X4



X7

Εικόνα 3.9: Μορφολογία των εδαφικών κόκκων των δειγμάτων του Νομού Χαλκιδικής (X4,7)

Στις χημικές αναλύσεις των κύριων στοιχείων, το SiO_2 κυμαίνεται μεταξύ 39,46-58,25% κ.β., το Al_2O_3 μεταξύ 9,95-26,41% κ.β., ο Fe_2O_3 μεταξύ 2,57-7,92% κ.β., το MgO μεταξύ 0,53-3,18% κ.β., το K_2O μεταξύ 1,95-4,62% κ.β., το CaO μεταξύ 0,18-10,22% κ.β., το Na_2O μεταξύ 0,40-2,92% κ.β., το TiO_2 μεταξύ 0,26-1,17% κ.β. και ο P_2O_5 μεταξύ 0,05-0,20% κ.β.. Με βάση τις μέσες συστάσεις των κύριων στοιχείων στα εδάφη (Κεφ 1.6), οι περιεκτικότητες των κύριων στοιχείων στα δείγματα βρίσκονται εντός των φυσιολογικών τιμών.

Στις αναλύσεις των ιχνοστοιχείων, το Mn κυμαίνεται μεταξύ 504,64-533,47 mg/kg, το Ni μεταξύ 25,45-40,44 mg/kg, ο Cu μεταξύ 16,85-31,80 mg/kg, ο Zn παρουσιάζει περιεκτικότητες που κυμαίνονται κάτω από το όριο ανίχνευσης έως 22,22 mg/kg, το As παρουσιάζει περιεκτικότητες που κυμαίνονται κάτω από το όριο ανίχνευσης έως 17,36 mg/kg, το Ba κυμαίνεται μεταξύ 60,59-70,98 mg/kg και ο Pb παρουσιάζει περιεκτικότητες που κυμαίνονται κάτω από το όριο ανίχνευσης έως 17,28mg/kg.

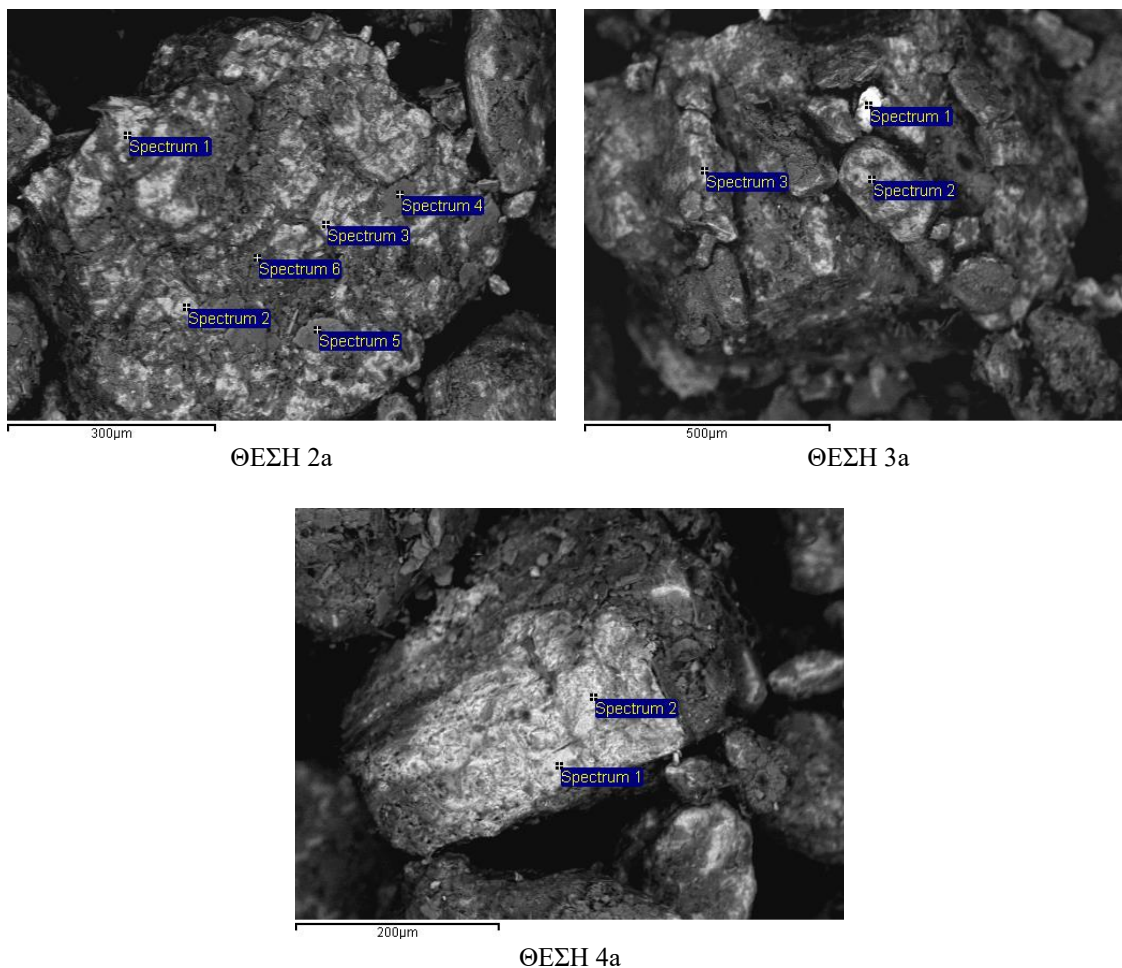
Το Cr, το Co και το Sr βρίσκονται κάτω από το όριο ανίχνευσης. Με βάση τις μέσες συστάσεις των ιχνοστοιχείων στα εδάφη (Κεφ 1.6), οι περιεκτικότητες των ιχνοστοιχείων βρίσκονται εντός των φυσιολογικών τιμών.

Πίνακας 3.8: Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων για τα δείγματα της Χαλκιδικής

Οξείδια	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
	(% κ.β.)							
SiO ₂	53,72	47,77	52,06	46,32	44,11	44,38	58,25	39,46
Al ₂ O ₃	17,01	25,56	17,77	23,32	16,97	10,08	26,41	9,95
Fe ₂ O ₃	2,57	5,28	6,46	7,92	6,99	3,10	7,18	4,79
MgO	0,53	1,68	2,38	1,14	1,72	1,45	1,29	3,18
K ₂ O	3,64	1,95	3,27	3,86	3,03	2,44	4,62	2,04
CaO	0,18	2,02	2,76	1,46	2,50	1,49	0,39	10,22
Na ₂ O	2,92	0,64	2,09	0,92	0,61	1,11	0,40	0,88
TiO ₂	0,26	0,44	0,89	1,17	0,88	0,37	1,00	0,65
P ₂ O ₅	0,05	0,09	0,20	0,13	0,06	0,07	0,05	0,12
Total	80,88	85,50	87,97	86,38	76,98	64,55	99,73	71,40
	(mg/kg)							
Cr				bdl			bdl	
Mn				504,64			533,47	
Co				bdl			bdl	
Ni				40,44			25,45	
Cu				31,80			16,85	
Zn				22,22			bdl	
As				17,36			bdl	
Sr				bdl			bdl	
Ba				60,59			70,98	
Pb				bdl			17,28	

*bdl=below detection limit

Στις αναλύσεις του μαγνητικού κλάσματος με τη μέθοδο της ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης, διακρίνονται 2 ομάδες αναλύσεων. Η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει υψηλά ποσοστά Fe, καθώς και Mg, Ti σε μεταβλητές αναλογίες και μικρές ποσότητες Cr, V και Co, ενώ η δεύτερη περιλαμβάνει υψηλά ποσοστά σε Si, Al, K, Na, Ca. Η πρώτη ομάδα αναλύσεων αντιπροσωπεύει τη σύσταση των κόκκων του μαγνητικού κλάσματος, ενώ η δεύτερη ομάδα αναλύσεων αντιπροσωπεύει τα αργιλικά υλικά με τα οποία είναι επικαλυμμένοι οι μαγνητικοί κόκκοι.



Εικόνα 3.10: Μορφολογία τεμαχιδίων και θέσεις σημειακών αναλύσεων στο δείγμα X4



Πίνακας 3.9: Αποτελέσματα σημειακών αναλύσεων στο δείγμα X4

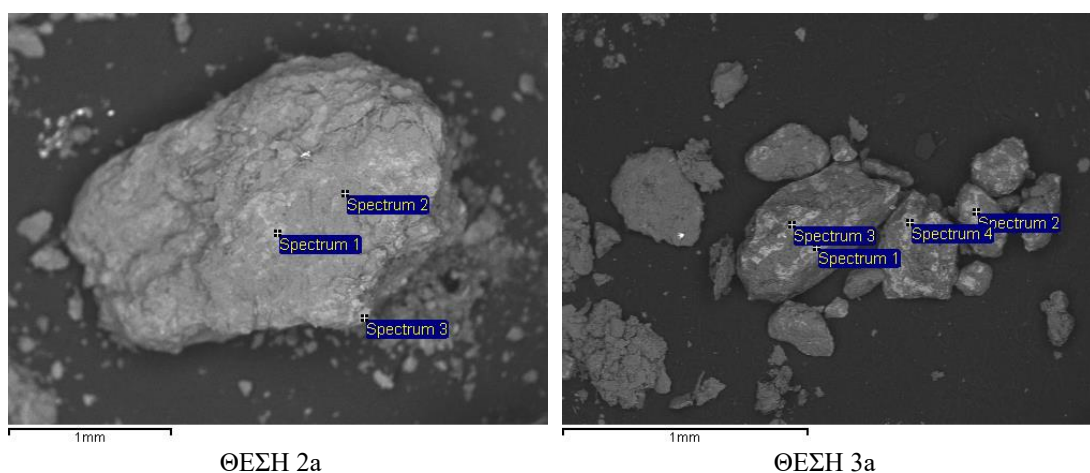
Οξείδια	2a_1	2a_2	2a_3	2a_4	2a_5	2a_6
	(% κ.β.)					
Na ₂ O	bdl	bdl	bdl	1,07	bdl	0,85
MgO	bdl	bdl	1,04	1,2	1,54	1,43
Al ₂ O ₃	5,85	6,41	4,73	34,48	33,38	29,12
SiO ₂	7,51	8,19	8,83	50,71	48,36	45,86
CaO	bdl	bdl	0,5	bdl	bdl	1,16
K ₂ O	bdl	bdl	bdl	8,05	9,32	3,38
TiO ₂	bdl	bdl	bdl	bdl	0,45	bdl
Cr ₂ O ₃	bdl	bdl	bdl	bdl	0,73	bdl
FeO	86,65	84,52	84,95	4,04	5,97	18,38
NiO	bdl	bdl	bdl	0,4	bdl	bdl
Totals	100,01	99,12	100,05	99,95	99,75	100,18

*bdl=below detection limit

Πίνακας 3.9: Αποτελέσματα σημειακών αναλύσεων στο δείγμα X4 (συνέχεια)

Οξείδια	3a_1	3a_2	3a_3 (% κ.β.)	4a_1	4a_2
MgO	0,25	bdl	bdl	0,88	bdl
Al ₂ O ₃	1,50	14,72	6,18	2,46	1,3
SiO ₂	1,65	14,09	8,09	4,17	1,44
CaO	bdl	1,03	bdl	bdl	bdl
V ₂ O ₅	bdl	bdl	bdl	0,73	bdl
MnO	0,44	bdl	bdl	bdl	bdl
FeO	96,72	70,39	81,63	89,64	97,26
CoO	bdl	bdl	2,36	bdl	bdl
ZnO	bdl	bdl	bdl	1,44	bdl
Totals	100,56	100,23	98,28	99,32	100

*bdl=below detection limit



Εικόνα 3.11: Μορφολογία τεμαχιδίων και θέσεις σημειακών αναλύσεων στο δείγμα X7

Πίνακας. 3.10: Αποτελέσματα σημειακών αναλύσεων στο δείγμα X7

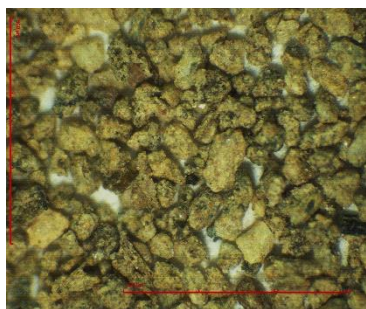
Οξείδια	2a_1	2a_2	2a_3	3a_1	3a_2	3a_3	3a_4
	(% κ.β.)						
Na ₂ O	bdl	0,8	bdl	0,84	bdl	bdl	bdl
MgO	5,28	2,13	3,31	2,57	0,34	bdl	bdl
Al ₂ O ₃	20,64	23,53	20,72	13,93	10,11	4,79	6,67
SiO ₂	33,39	39,21	49,24	17,23	16,81	7,93	9,42
K ₂ O	0,85	5,82	2,41	0,53	0,73	0,53	0,57
CaO	0,92	1,62	bdl	bdl	0,45	0,99	0,81
TiO ₂	1,00	bdl	bdl	bdl	0,62	0,77	bdl
Cr ₂ O ₃	bdl	bdl	bdl	bdl	0,46	bdl	bdl
MnO	bdl	bdl	bdl	bdl	0,64	bdl	bdl
FeO	37,35	26,25	24,47	64,19	70,59	84,42	82,72
Totals	99,43	99,36	100,15	99,29	100,75	99,43	100,19

*bdl=below detection limit

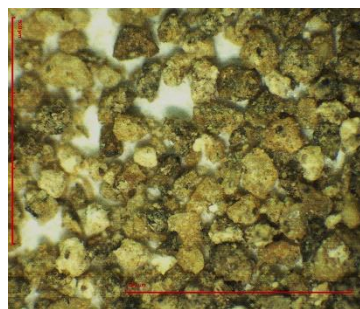
3.1.3 Νομός Σερρών

Στο νομό Σερρών, ελήφθησαν 6 εδαφικά δείγματα με κωδικές ονομασίες S2,S4-S8 (Εικ. 2.2). Πραγματοποιήθηκε χημική ανάλυση ολικού δείγματος με τη μέθοδο της XRF σε όλα τα δείγματα ενώ έγινε επιλογή 2 δειγμάτων (S4,7) με τιμές σιδήρου $\text{Fe}_2\text{O}_3 > 7\%$ κ.β. για περαιτέρω μελέτη στο στερεοσκόπιο, το SEM-EDS και την ICP-MS.

Με βάση τη μελέτη του ολικού κλάσματος στο στερεοσκόπιο, οι κόκκοι των δειγμάτων του νομού Σερρών χαρακτηρίζονται ως υποστρογγυλεμένοι με καλή ταξινόμηση, επικαλυμμένοι με αργιλικά υλικά καστανού χρώματος.



S4



S7

Εικόνα 3.12: Μορφολογία των εδαφικών κόκκων των δειγμάτων του Νομού Σερρών (S4,7)

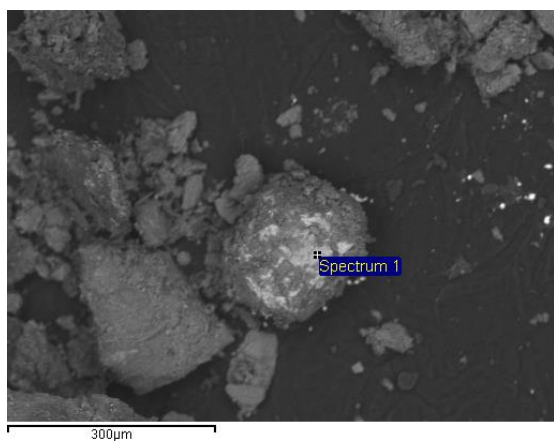
Στις χημικές αναλύσεις των κύριων στοιχείων, το SiO_2 κυμαίνεται μεταξύ 30,95-67,56% κ.β., το Al_2O_3 μεταξύ 9,28-19,91% κ.β., ο Fe_2O_3 μεταξύ 2,43-11,61% κ.β., το MgO μεταξύ 1,19-3,94% κ.β., το K_2O μεταξύ 0,80-4,13% κ.β., το CaO μεταξύ 1,88-20,00% κ.β., το Na_2O μεταξύ 0,64-2,27% κ.β., το TiO_2 μεταξύ 0,26-1,48% κ.β. και ο P_2O_5 μεταξύ 0,05-0,41% κ.β.. Με βάση τις μέσες συστάσεις των κύριων στοιχείων στα εδάφη (Κεφ 1.6), οι περιεκτικότητες των κύριων στοιχείων στα δείγματα βρίσκονται εντός των φυσιολογικών τιμών.

Στις αναλύσεις των ιχνοστοιχείων, το Cr παρουσιάζει περιεκτικότητες που κυμαίνονται κάτω από το όριο ανίχνευσης έως 47,91 mg/kg, το Mn κυμαίνεται μεταξύ 507,91-546,58 mg/kg, το Co παρουσιάζει περιεκτικότητες που κυμαίνονται κάτω από το όριο ανίχνευσης έως 27,40 mg/kg, το Ni μεταξύ 33,69-48,69 mg/kg, ο Cu μεταξύ 26,69-30,84 mg/kg, ο Zn παρουσιάζει περιεκτικότητες που κυμαίνονται κάτω από το όριο ανίχνευσης έως 22,22 mg/kg, το As κυμαίνεται μεταξύ 17,36-268,28 mg/kg, το Sr μεταξύ 18,28-24,45 mg/kg, το Ba μεταξύ 75,63-90,31 mg/kg και ο Pb παρουσιάζει περιεκτικότητες που κυμαίνονται κάτω από το όριο ανίχνευσης έως 21,84 mg/kg. Με βάση τις μέσες συστάσεις των ιχνοστοιχείων στα εδάφη (Κεφ 1.6), εντοπίζεται υψηλή περιεκτικότητα σε As στο δείγμα S7 και σε Mn στο δείγμα S4.

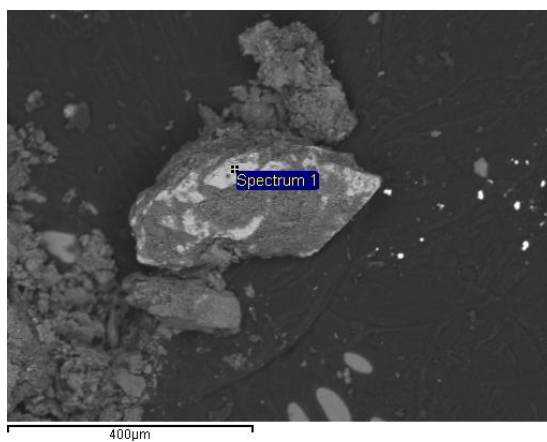
Πίνακας 3.11: Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων για τα δείγματα των Σερρών

Οξείδια	S2	S4	S5	S6	S7	S8
(% κ.β.)						
SiO ₂	67,56	46,13	30,95	42,82	34,00	58,50
Al ₂ O ₃	18,33	19,91	9,28	14,43	13,92	19,24
Fe ₂ O ₃	2,43	11,61	6,29	6,79	10,90	4,60
MgO	1,19	3,94	2,46	3,10	2,81	1,72
K ₂ O	4,13	2,13	2,44	2,24	0,80	3,98
CaO	1,88	12,45	6,76	3,35	20,00	3,23
Na ₂ O	1,73	1,25	1,01	2,27	0,64	1,65
TiO ₂	0,26	1,48	0,74	0,81	1,28	0,72
P ₂ O ₅	0,05	0,25	0,41	0,29	0,27	0,28
Total	97,71	99,33	60,45	76,19	84,83	94,01
(mg/kg)						
Cr		47,91			bdl	
Mn		507,91			546,58	
Co		bdl			27,40	
Ni		48,69			33,69	
Cu		26,69			30,84	
Zn		22,22			bdl	
As		17,36			268,28	
Sr		18,28			24,45	
Ba		90,31			75,63	
Pb		21,84			bdl	

*bdl=below detection limit



ΘΕΣΗ 2a



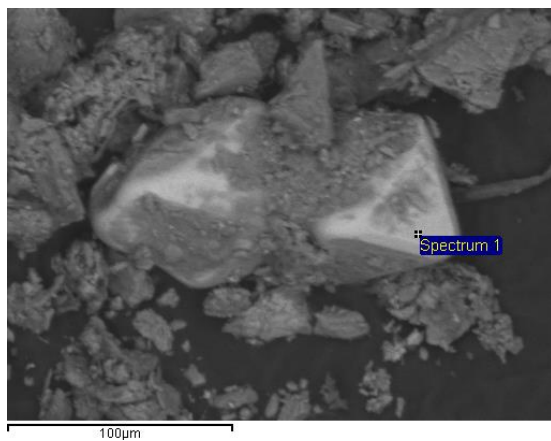
ΘΕΣΗ 3a

Εικόνα 3.13: Μορφολογία τεμαχιδίων και θέσεις σημειακών αναλύσεων στο δείγμα S4

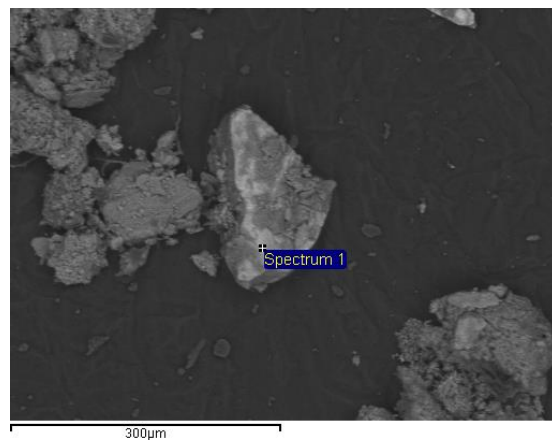
Πίνακας 3.12: Αποτελέσματα σημειακών αναλύσεων στο δείγμα S4

Οξείδια	2a	3a
	(% κ.β.)	
Na ₂ O	0,47	bdl
MgO	0,89	bdl
Al ₂ O ₃	3,68	2,74
SiO ₂	6,04	4,8
K ₂ O	bdl	0,35
CaO	0,4	0,38
V ₂ O ₅	1,02	bdl
MnO	bdl	0,9
FeO	87,72	90,95
Totals	100,22	100,71

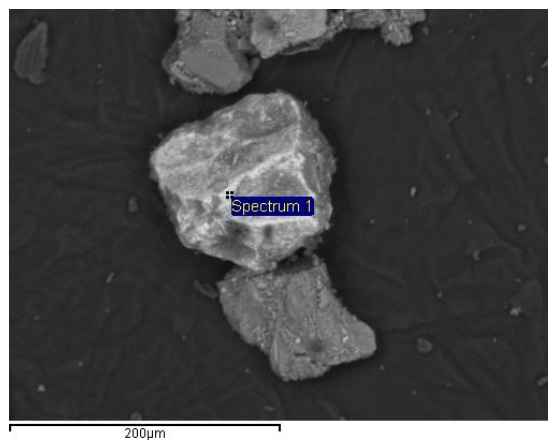
*bdl=below detection limit



ΘΕΣΗ 2a



ΘΕΣΗ 3a



ΘΕΣΗ 4a

Εικόνα 3.14: Μορφολογία τεμαχιδίων και θέσεις σημειακών αναλύσεων στο δείγμα S7

Πίνακας 3.13: Αποτελέσματα σημειακών αναλύσεων στο δείγμα S7

Οξείδια	2a	3a (% κ.β.)	4a
MgO	3,36	1,03	0,90
Al ₂ O ₃	4,71	3,10	8,81
SiO ₂	2,61	7,12	16,78
CaO	0,49	0,98	0,85
TiO ₂	18,77	44,75	0,35
MnO	1,34	0,48	0,12
FeO	69,30	42,03	70,85
Totals	100,58	99,49	98,66

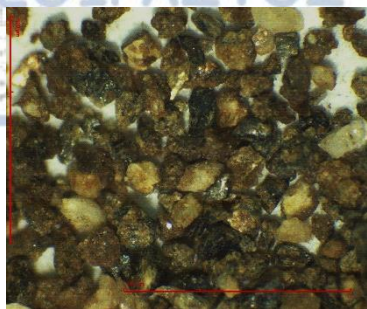
*bdl=below detection limit

Στις αναλύσεις του μαγνητικού κλάσματος με τη μέθοδο της ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης, διακρίνονται 2 ομάδες αναλύσεων. Η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει υψηλά ποσοστά Fe, καθώς και Mg, Ti σε μεταβλητές αναλογίες, ενώ η δεύτερη περιλαμβάνει υψηλά ποσοστά σε Si, Al, K, Na, Ca. Η πρώτη ομάδα αναλύσεων αντιπροσωπεύει τη σύσταση των κόκκων του μαγνητικού κλάσματος, οι οποίοι σε ορισμένες περιπτώσεις ήταν ιδιόμορφοι (S7), ενώ η δεύτερη ομάδα αναλύσεων αντιπροσωπεύει τα αργιλικά υλικά με τα οποία είναι επικαλυμμένοι οι μαγνητικοί κόκκοι.

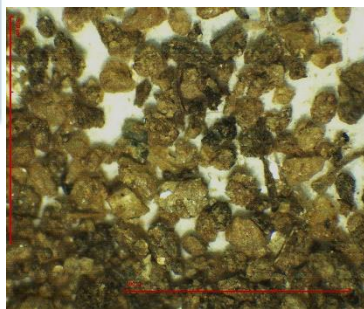
3.1.4 Νομός Κιλκίς

Στο νομό Κιλκίς, ελήφθησαν 4 εδαφικά δείγματα με κωδικές ονομασίες KIL1, KIL3-5 (Εικ. 2.2). Πραγματοποιήθηκε χημική ανάλυση ολικού δείγματος με τη μέθοδο της XRF σε όλα τα δείγματα ενώ έγινε επιλογή 3 δειγμάτων (KIL1,3,5) με τιμές σιδήρου $\text{Fe}_2\text{O}_3 > 7\%$ κ.β. για περαιτέρω μελέτη στο στερεοσκόπιο, το SEM-EDS και την ICP-MS.

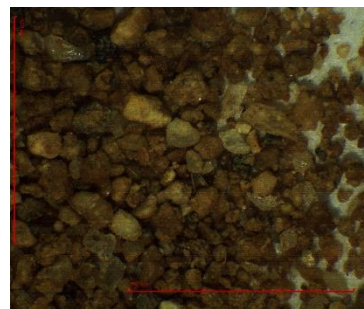
Με βάση τη μελέτη του ολικού κλάσματος στο στερεοσκόπιο, οι κόκκοι των δειγμάτων του νομού Κιλκίς χαρακτηρίζονται ως υποστρογγυλεμένοι με μέτρια έως καλή ταξινόμηση, επικαλυμμένοι με αργιλικά υλικά τεφρού-καστανότεφρου χρώματος.



KIL1



KIL3



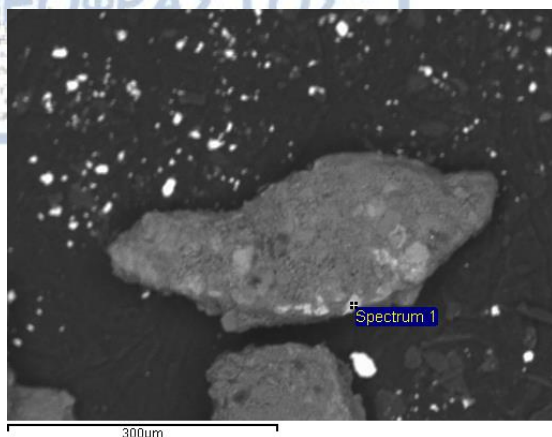
KIL5

Εικόνα 3.15: Μορφολογία των εδαφικών κόκκων των δειγμάτων του Νομού Κιλκίς (KIL1,3,5)

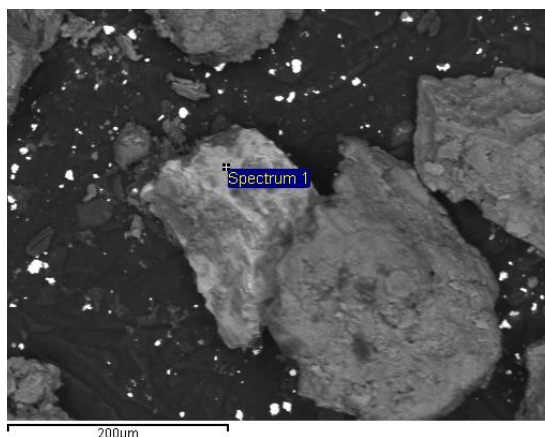
Πίνακας 3.14: Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων για τα δείγματα του Κιλκίς

Οξείδια	KIL1	KIL3	KIL4	KIL5
	(% κ.β.)			
SiO ₂	41,29	43,49	67,58	45,82
Al ₂ O ₃	16,33	19,61	19,16	21,10
Fe ₂ O ₃	11,59	8,93	1,75	9,64
MgO	3,81	2,27	0,39	1,66
K ₂ O	1,15	3,52	5,62	4,88
CaO	5,68	1,65	0,47	0,69
Na ₂ O	1,65	1,23	2,93	1,04
TiO ₂	1,42	0,94	0,21	1,17
P ₂ O ₅	0,28	0,22	0,07	0,16
Total	83,37	81,99	98,18	86,22
	(mg/kg)			
Cr	29,95	26,25		bdl
Mn	335,22	360,78		286,07
Co	bdl	bdl		bdl
Ni	27,19	36,96		27,71
Cu	16,79	23,79		20,74
Zn	20,18	40,53		181,47
As	268,28	99,65		18,98
Sr	17,93	bdl		bdl
Ba	154,54	108,04		901,46
Pb	bdl	64,85		101,75

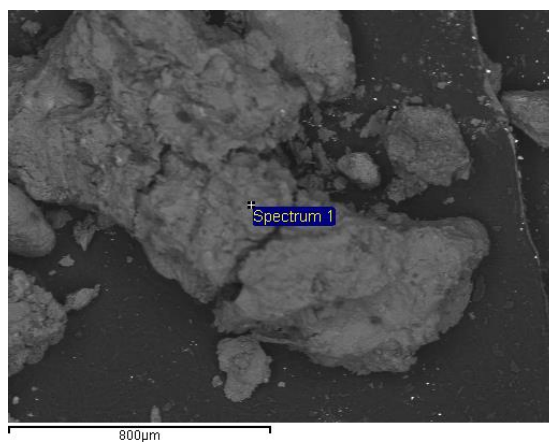
*bdl=below detection limit



ΘΕΣΗ 2a



ΘΕΣΗ 3a



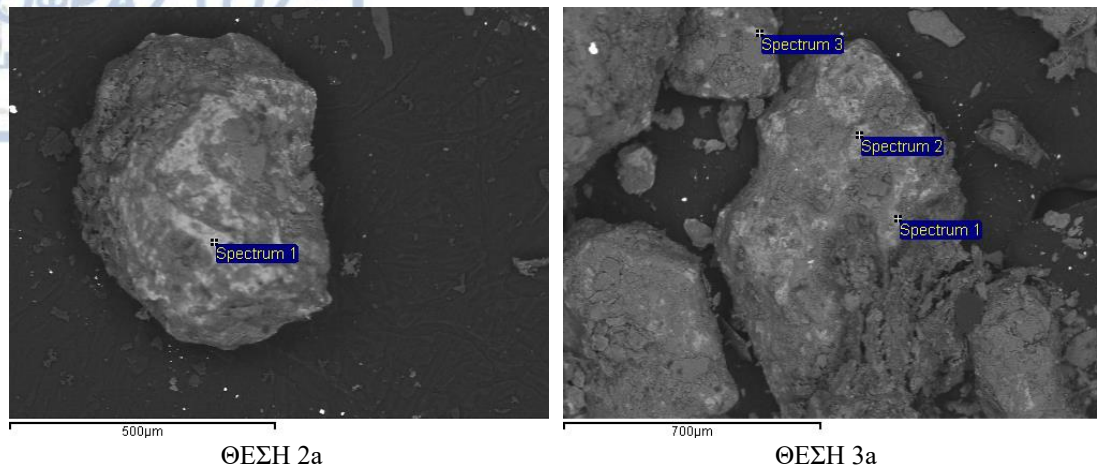
ΘΕΣΗ 4a

Εικόνα 3.16: Μορφολογία τεμαχιδίων και θέσεις σημειακών αναλύσεων στο δείγμα KIL1

Πίνακας 3.15: Αποτελέσματα σημειακών αναλύσεων στο δείγμα KIL1

Οξείδια	2a	3a (% κ.β.)	4a
MgO	bdl	bdl	2,88
Al ₂ O ₃	0,88	2,83	24,55
SiO ₂	1,33	5,99	55,36
K ₂ O	bdl	bdl	2,78
CaO	bdl	bdl	1,49
TiO ₂	bdl	58,47	bdl
MnO	bdl	2,72	bdl
FeO	98,51	29,25	13,54
Totals	100,72	99,26	100,6

*bdl=below detection limit



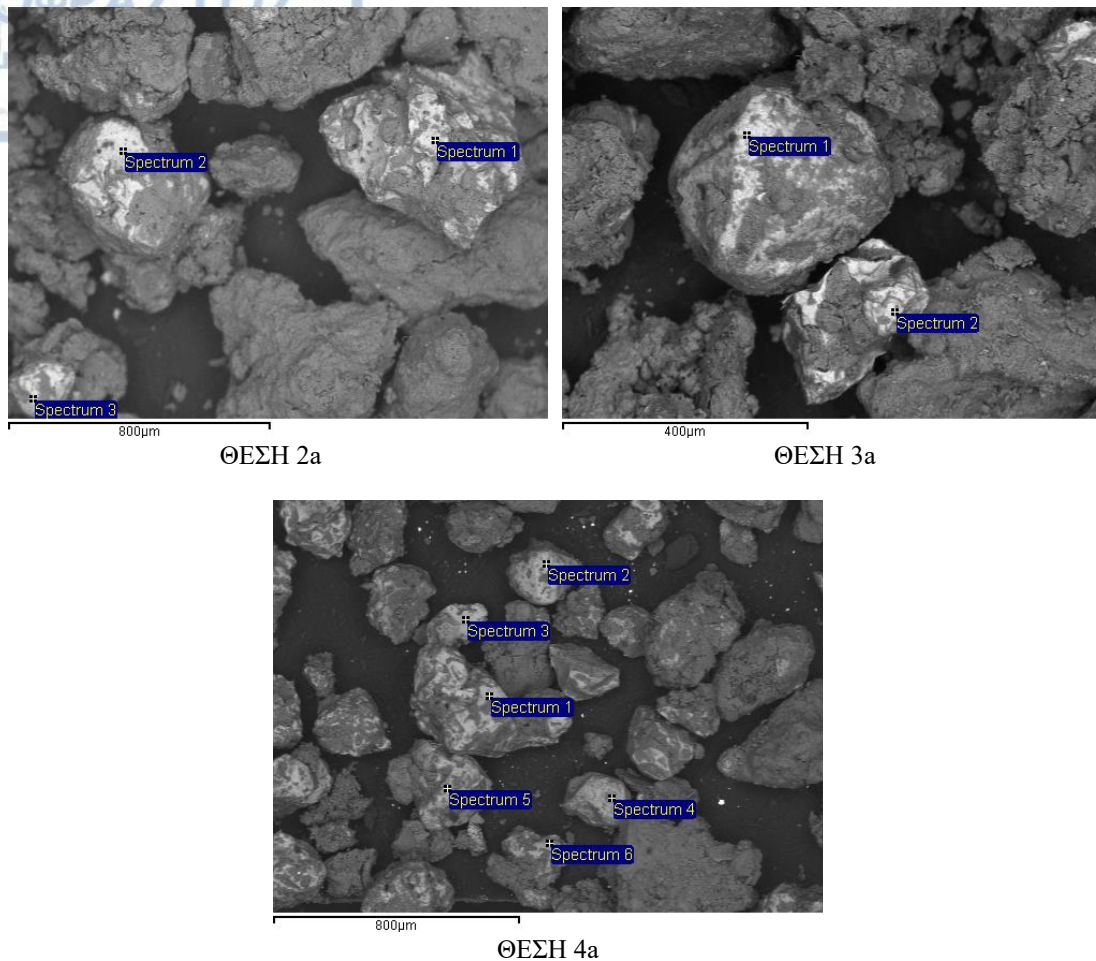
Εικόνα 3.17: Μορφολογία τεμαχιδίων και θέσεις σημειακών αναλύσεων στο δείγμα KIL3

Πίνακας 3.16: Αποτελέσματα σημειακών αναλύσεων στο δείγμα KIL3

Οξείδια	2a	3a_1	3a_2	3a_3
	(% κ.β.)			
MgO	1,47	0,59	1,08	bdl
Al ₂ O ₃	10,77	15,24	20,68	7,07
SiO ₂	12,8	23,47	33,96	9,2
K ₂ O	0,39	3,91	4,51	0,53
CaO	bdl	bdl	0,38	bdl
TiO ₂	1,39	bdl	0,75	bdl
V ₂ O ₅	bdl	bdl	0,66	bdl
Cr ₂ O ₃	0,44	bdl	bdl	bdl
MnO	bdl	0,70	bdl	bdl
FeO	72,84	56,4	38,28	83,7
Totals	100,1	100,31	100,3	100,5

*bdl=below detection limit

Στις χημικές αναλύσεις των κύριων στοιχείων, το SiO₂ κυμαίνεται μεταξύ 41,29-67,58% κ.β., το Al₂O₃ μεταξύ 16,33-21,10% κ.β., ο Fe₂O₃ μεταξύ 1,75-11,59% κ.β., το MgO μεταξύ 0,39-3,81% κ.β., το K₂O μεταξύ 1,15-5,62% κ.β., το CaO μεταξύ 0,47-5,68% κ.β., το Na₂O μεταξύ 1,04-2,93% κ.β., το TiO₂ μεταξύ 0,27-1,42% κ.β. και ο P₂O₅ μεταξύ 0,07-0,28% κ.β.. Με βάση τις μέσες συστάσεις των κύριων στοιχείων στα εδάφη (Κεφ 1.6), οι περιεκτικότητες των κύριων στοιχείων στα δείγματα βρίσκονται εντός των φυσιολογικών τιμών.



Εικόνα 3.18: Μορφολογία τεμαχιδίων και θέσεις σημειακών αναλύσεων στο δείγμα KIL

Στις αναλύσεις των ιχνοστοιχείων, το Cr παρουσιάζει περιεκτικότητες που κυμαίνονται κάτω από το όριο ανίχνευσης έως 29,95 mg/kg, το Mn κυμαίνεται μεταξύ 286,07-360,78 mg/kg, το Co παρουσιάζει περιεκτικότητες που κυμαίνονται κάτω από το όριο ανίχνευσης, το Ni κυμαίνεται μεταξύ 27,19-36,96 mg/kg, ο Cu μεταξύ 16,79-23,79 mg/kg, ο Zn μεταξύ 20,18-181,47 mg/kg, το As μεταξύ 18,98-268,28 mg/kg, το Sr παρουσιάζει περιεκτικότητες που κυμαίνονται κάτω από το όριο ανίχνευσης έως 17,93 mg/kg, το Ba κυμαίνεται μεταξύ 108,04-901,46 mg/kg και ο Pb παρουσιάζει περιεκτικότητες που κυμαίνονται κάτω από το όριο ανίχνευσης έως 101,75 mg/kg. Με βάση τις μέσες συστάσεις των ιχνοστοιχείων στα εδάφη (Κεφ 1.6), εντοπίζεται υψηλή περιεκτικότητα σε As σε 2 δείγματα (KIL1,3) και υψηλές τιμές σε Zn, Ba και Pb στο δείγμα KIL5.

Πίνακας 3.17: Αποτελέσματα σημειακών αναλύσεων στο δείγμα KIL5

Οξείδια	2a_1	2a_2	2a_3	3a_1	3a_2	4a_1	4a_2	4a_3	4a_4	4a_5	4a_6
	(% κ.β.)										
Na ₂ O	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1,78	0,7	bdl	0,71	bdl	bdl
MgO	2,12	0,34	1,8	1,44	bdl	3,58	3,21	3,5	1,94	bdl	0,97
Al ₂ O ₃	21,41	2,79	6,14	7,19	bdl	3,56	6,68	5,54	7,03	1,69	4,85
SiO ₂	24,51	3	5,5	8,97	bdl	bdl	4,18	2,53	7,56	1,76	5,06
K ₂ O	0,53	bdl	bdl	0,59	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0,32	bdl
TiO ₂	3,54	6,15	6,15	4,73	5,1	7,56	7,92	6,36	11,5	6,05	6,9
V ₂ O ₅	bdl	0,64	bdl	bdl	bdl	bdl	0,75	1,17	bdl	0,92	0,18
Cr ₂ O ₃	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0,51	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
MnO	bdl	0,59	bdl	1,8	bdl	1,04	0,93	0,95	bdl	1,98	bdl
FeO	47,88	85,58	79,53	75,63	94,9	81,97	76,3	80,14	71,29	87,43	80,73
Totals	100,41	98,75	99,12	100,35	100	100	100,67	100,19	100,03	100,15	98,69

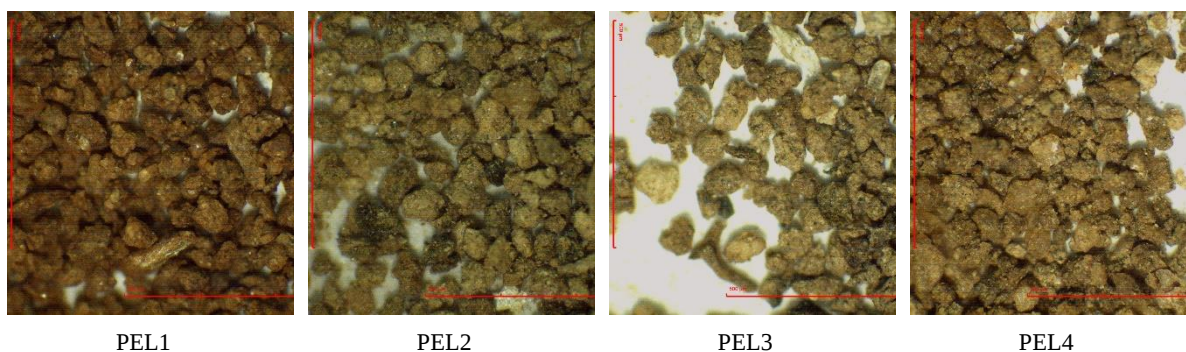
*bdl=below detection limit

Στις αναλύσεις του μαγνητικού κλάσματος με τη μέθοδο της ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης, διακρίνονται 2 ομάδες αναλύσεων. Η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει υψηλά ποσοστά Fe, καθώς και Mg, Ti σε μεταβλητές αναλογίες, ενώ η δεύτερη περιλαμβάνει υψηλά ποσοστά σε Si, Al, K, Na, Ca. Η πρώτη ομάδα αναλύσεων αντιπροσωπεύει τη σύσταση των κόκκων του μαγνητικού κλάσματος, ενώ η δεύτερη ομάδα αναλύσεων αντιπροσωπεύει τα αργιλικά υλικά με τα οποία είναι επικαλυμμένοι οι μαγνητικοί κόκκοι.

3.1.5 Νομός Πέλλας

Στο νομό Πέλλας, ελήφθησαν 5 εδαφικά δείγματα με κωδικές ονομασίες PEL1-5 (Εικ. 2.2). Πραγματοποιήθηκε χημική ανάλυση ολικού δείγματος με τη μέθοδο της XRF σε όλα τα δείγματα ενώ έγινε επιλογή 4 δειγμάτων (PEL1-4) με τιμές αναφοράς σιδήρου $\text{Fe}_2\text{O}_3 > 7\%$ κ.β. για περαιτέρω μελέτη στο στερεοσκόπιο, το SEM και την ICP-MS.

Με βάση τη μελέτη του ολικού κλάσματος στο στερεοσκόπιο, οι κόκκοι των δειγμάτων του νομού Πέλλας χαρακτηρίζονται ως υπογωνιώδεις με μέτρια ταξινόμηση, επικαλυμμένοι με αργιλικά υλικά καστανού-καστανέρυθρου χρώματος.



Εικόνα 3.19: Μορφολογία των εδαφικών κόκκων των δειγμάτων του Νομού Πέλλας (PEL1,2,3,4)

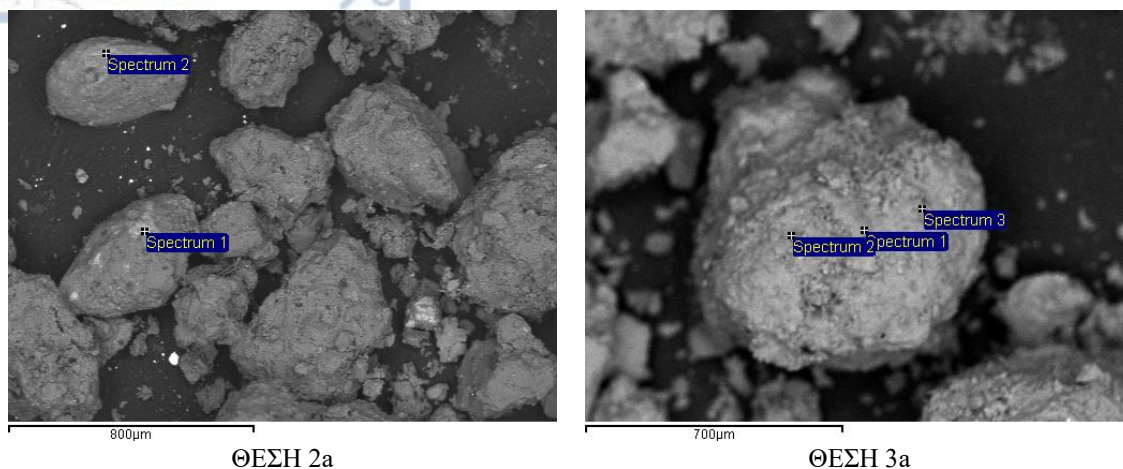
Στις χημικές αναλύσεις των κύριων στοιχείων, το SiO_2 κυμαίνεται μεταξύ 45,38-67,44% κ.β., το Al_2O_3 μεταξύ 17,84-25,56% κ.β., ο Fe_2O_3 μεταξύ 4,70-10,72% κ.β., το MgO μεταξύ 1,49-6,46% κ.β., το K_2O μεταξύ 2,20-3,56% κ.β., το CaO μεταξύ 0,85-10,10% κ.β., το Na_2O μεταξύ 0,27-0,58% κ.β., το TiO_2 μεταξύ 0,59-1,03% κ.β. και ο P_2O_5 μεταξύ 0,12-0,26% κ.β.. Με βάση τις μέσες συστάσεις των κύριων στοιχείων στα εδάφη (Κεφ 1.6), οι περιεκτικότητες των κύριων στοιχείων στα δείγματα βρίσκονται εντός των φυσιολογικών τιμών.

Πίνακας 3.18: Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων για τα δείγματα της Πέλλας

Οξείδια	PEL1	PEL2	PEL3	PEL4	PEL5
	(% κ.β.)				
SiO ₂	56,82	45,38	53,16	64,10	67,44
Al ₂ O ₃	25,56	17,84	18,96	20,11	20,10
Fe ₂ O ₃	10,72	7,42	10,04	7,34	4,70
MgO	2,12	2,07	6,46	2,13	1,49
K ₂ O	2,79	2,70	2,20	3,01	3,56
CaO	0,85	10,10	6,14	1,09	1,19
Na ₂ O	0,42	0,44	0,27	0,58	0,42
TiO ₂	0,82	0,87	0,88	1,03	0,59
P ₂ O ₅	0,12	0,15	0,18	0,26	0,18
Total	100,40	87,14	98,50	99,84	99,73
	(mg/kg)				
Cr	56,30	34,21	487,92	48,86	
Mn	540,35	710,42	965,04	566,57	
Co	bdl	bdl	31,25	bdl	
Ni	153,39	75,99	450,24	63,05	
Cu	36,54	22,37	27,65	18,86	
Zn	21,33	16,41	25,29	bdl	
As	21,39	bdl	bdl	bdl	
Sr	bdl	bdl	bdl	bdl	
Ba	199,69	117,90	155,22	89,62	
Pb	bdl	bdl	bdl	bdl	

*bdl=below detection limit

Στις αναλύσεις των ιχνοστοιχείων, το Cr κυμαίνεται μεταξύ 34,21-487,92 mg/kg, το Mn μεταξύ 540,35-965,04 mg/kg, το Co παρουσιάζει περιεκτικότητες που κυμαίνονται κάτω από το όριο ανίχνευσης έως 31,25 mg/kg, το Ni κυμαίνεται μεταξύ 63,05-450,24 mg/kg, ο Cu μεταξύ 18,86-36,54 mg/kg, ο Zn μεταξύ 16,41-25,29 mg/kg, το As παρουσιάζει περιεκτικότητες που κυμαίνονται κάτω από το όριο ανίχνευσης έως 21,39 mg/kg και το Ba κυμαίνεται μεταξύ 89,62-199,69 mg/kg. Το Sr και ο Pb παρουσιάζουν περιεκτικότητες που κυμαίνονται κάτω από το όριο ανίχνευσης. Με βάση τις μέσες συστάσεις των ιχνοστοιχείων στα εδάφη (Κεφ 1.6), εντοπίζεται υψηλή περιεκτικότητα σε Cr σε 1 δείγμα του νομού (PEL3), υψηλή περιεκτικότητα σε Mn σε όλα τα δείγματα και σε Ni σε 2 δείγματα (PEL1,3). Οι τιμές των υπόλοιπων ιχνοστοιχείων κυμαίνονται εντός των φυσιολογικών τιμών.

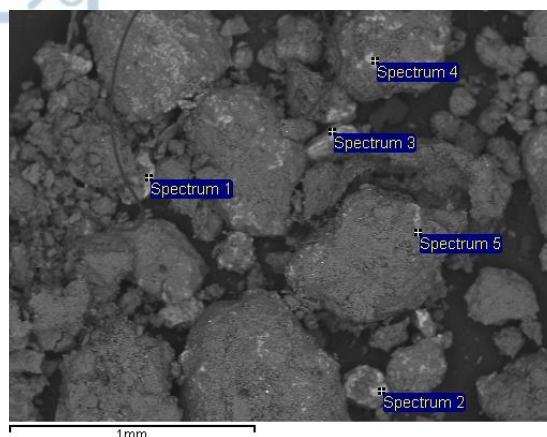


Εικόνα 3.20: Μορφολογία τεμαχιδίων και θέσεις σημειακών αναλύσεων στο δείγμα PEL1

Πίνακας 3.19: Αποτελέσματα σημειακών αναλύσεων στο δείγμα PEL1

Οξείδια	2a_1	2a_2	3a_1 (% κ.β.)	3a_2	3a_3
Na ₂ O	bdl	0,53	bdl	bdl	bdl
MgO	bdl	bdl	1,15	3,25	2,48
Al ₂ O ₃	6,81	10,87	12,63	29,84	29,98
SiO ₂	15,16	69,51	80,41	53,42	47,89
K ₂ O	bdl	0,67	0,89	2,82	2,65
CaO	bdl	bdl	0,37	bdl	0,53
TiO ₂	bdl	4,79	0,84	0,9	0,89
V ₂ O ₅	bdl	bdl	bdl	bdl	0,49
Cr ₂ O ₃	bdl	0,55	bdl	bdl	bdl
MnO	bdl	bdl	bdl	bdl	0,61
FeO	77,83	13,21	4,32	9,27	13,24
NiO	bdl	bdl	bdl	bdl	0,66
Totals	99,8	100,13	100,61	99,5	99,42

*bdl=below detection limit

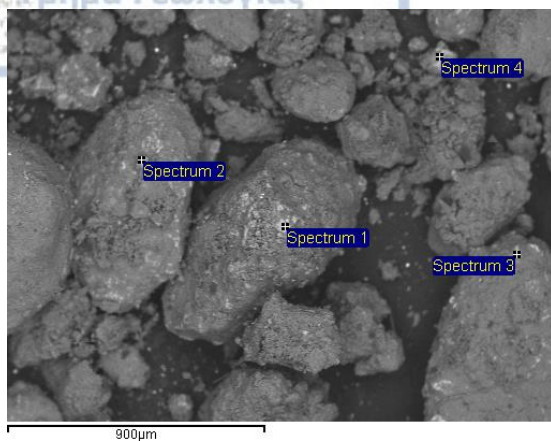


Εικόνα 3.21: Μορφολογία τεμαχιδίων και θέσεις σημειακών αναλύσεων στο δείγμα PEL2

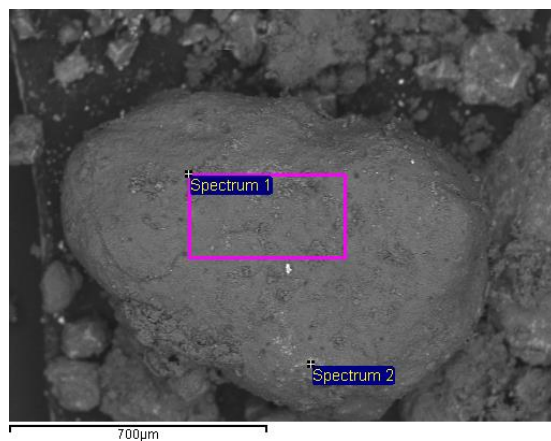
Πίνακας 3.20: Αποτελέσματα σημειακών αναλύσεων στο δείγμα PEL2

Οξείδια	2a_1	2a_2	2a_3 (% κ.β.)	2a_4	2a_5
Na ₂ O	bdl	1,53	bdl	bdl	bdl
MgO	bdl	bdl	1,76	bdl	3,28
Al ₂ O ₃	1,31	3,18	24,56	9,06	21,53
SiO ₂	1,87	3,31	38,27	9,61	27,79
K ₂ O	bdl	0,37	3,89	0,4	1,14
CaO	0,59	bdl	1,83	1,53	1,78
TiO ₂	0,03	bdl	bdl	0,7	bdl
Cr ₂ O ₃	0,14	bdl	bdl	0,53	bdl
MnO	0,96	bdl	bdl	1,31	0,69
FeO	95,28	88,14	28,31	74,67	43,81
NiO	bdl	1,35	bdl	1,77	bdl
Totals	100,01	98,68	100,26	99,58	100,02

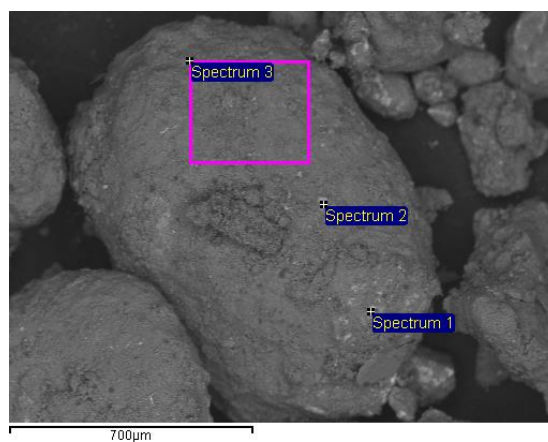
*bdl=below detection limit



ΘΕΣΗ 2a



ΘΕΣΗ 3a



ΘΕΣΗ 4a

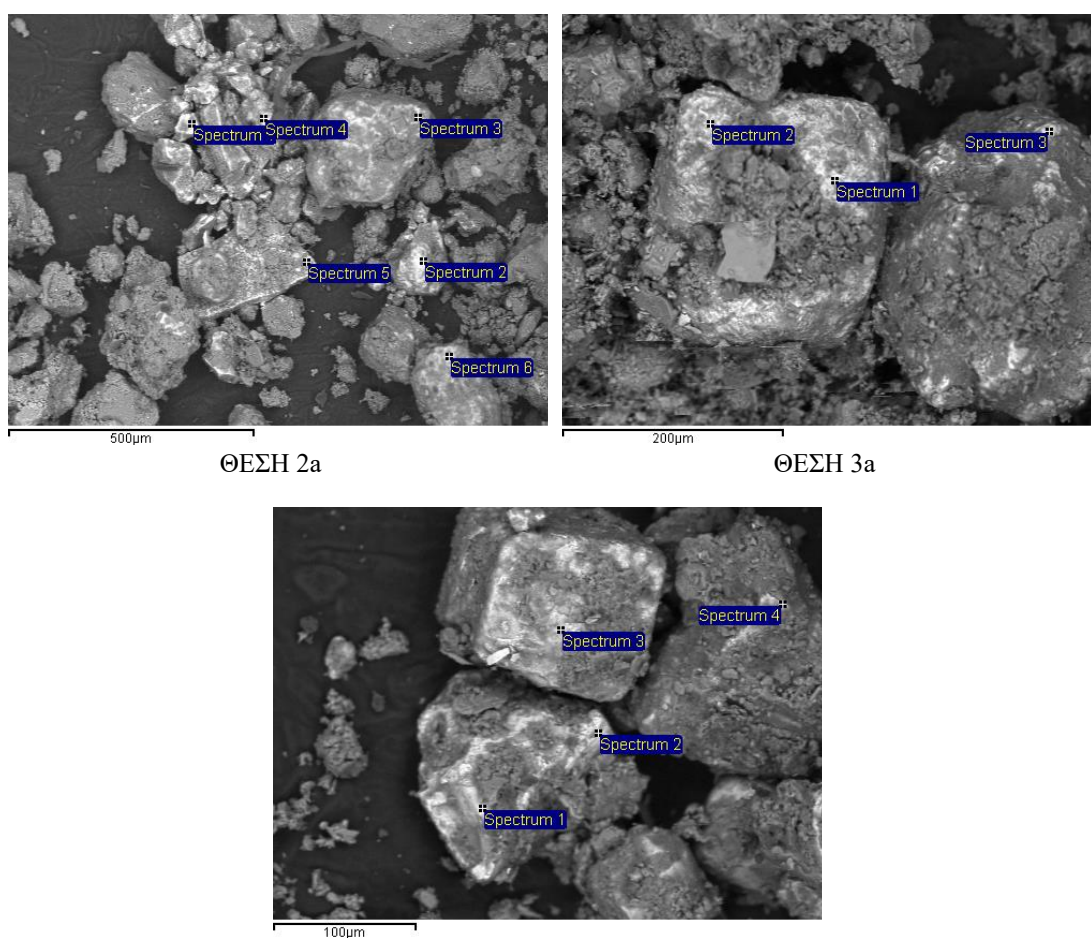
Εικόνα 3.22 Μορφολογία τεμαχιδίων και θέσεις σημειακών αναλύσεων στο δείγμα PEL3

Πίνακας 3.21 Αποτελέσματα σημειακών αναλύσεων στο δείγμα PEL3

Οξείδια	2a_1	2a_2	2a_3	2a_4	3a_1	3a_2	4a_1	4a_2	4a_3
					(% κ.β.)				
MgO	2,66	0,95	3,41	1,57	12,31	5,62	4,04	21,96	13,42
Al ₂ O ₃	10,17	9,75	11,01	12,42	21,31	7,92	5,38	15,22	19,82
SiO ₂	20,99	15,22	18,42	14,64	45,44	15,11	12,36	27,93	51,94
K ₂ O	1,42	bdl	1,22	0,54	1,17	bdl	0,37	bdl	1,92
CaO	0,46	bdl	0,78	0,46	1,11	bdl	0,76	bdl	1,25
TiO ₂	1,17	bdl	0,51	0,96	0,71	bdl	0,54	bdl	1,47
Cr ₂ O ₃	1,03	bdl	0,93	bdl	1,11	19,63	23,13	2,84	0,62
MnO	0,15	2,05	bdl	1,42	bdl	bdl	0,8	0,59	bdl
FeO	61,51	71,58	63,28	67,82	16,22	49,77	51,73	30,75	9,61
Totals	99,41	100,5	99,56	99,83	99,38	98,05	99,11	99,29	100,05

*bdl=below detection limit

Στις αναλύσεις του μαγνητικού κλάσματος με τη μέθοδο της ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης, διακρίνονται 2 ομάδες αναλύσεων. Η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει υψηλά ποσοστά Fe, Mg και Ti σε μεταβλητές αναλογίες και ποσότητες Cr, Ni, Co και V, ενώ η δεύτερη περιλαμβάνει υψηλά ποσοστά σε Si, Al, K, Na, Ca. Η πρώτη ομάδα αναλύσεων αντιπροσωπεύει τη σύσταση των κόκκων του μαγνητικού κλάσματος, οι οποίοι σε ορισμένες περιπτώσεις είναι ιδιόμορφοι (PEL4) ενώ η δεύτερη ομάδα αναλύσεων αντιπροσωπεύει τα αργιλικά υλικά με τα οποία είναι επικαλυμμένοι οι μαγνητικοί κόκκοι.



ΘΕΣΗ 2a

ΘΕΣΗ 3a

ΘΕΣΗ 4a

Εικόνα 3.23: Μορφολογία τεμαχιδίων και θέσεις σημειακών αναλύσεων στο δείγμα PEL4

Πίνακας 3.22: Αποτελέσματα σημειακών αναλύσεων στο δείγμα PEL4

Οξείδια	2a_1	2a_2	2a_3	2a_4	2a_5	2a_6	3a_1	3a_2
	(% κ.β.)							
MgO	0,86	0,73	2,72	2,91	4,7	3,3	2,3	1,92
Al ₂ O ₃	6,58	7,72	14,62	4,99	7,55	9,12	5,56	7,08
SiO ₂	5,5	8,03	19,14	5,35	12,78	6,22	4,94	5,72
CaO	bdl	0,33	0,44	bdl	0,66	bdl	bdl	bdl
TiO ₂	6,06	7,17	4,75	bdl	bdl	7,93	6,88	6,3
V ₂ O ₅	bdl	0,49	bdl	bdl	0,37	0,87	bdl	1,07
MnO	1,09	bdl	0,44	6,21	1,13	0,84	0,94	0,91
FeO	79,06	74,67	57,27	79,83	72,91	71,78	78,15	76,88
CoO	bdl	0,64	0,55	0,65	bdl	bdl	0,88	bdl
Totals	99,15	99,78	99,93	99,94	100,1	100,06	99,65	99,88

*bdl=below detection limit

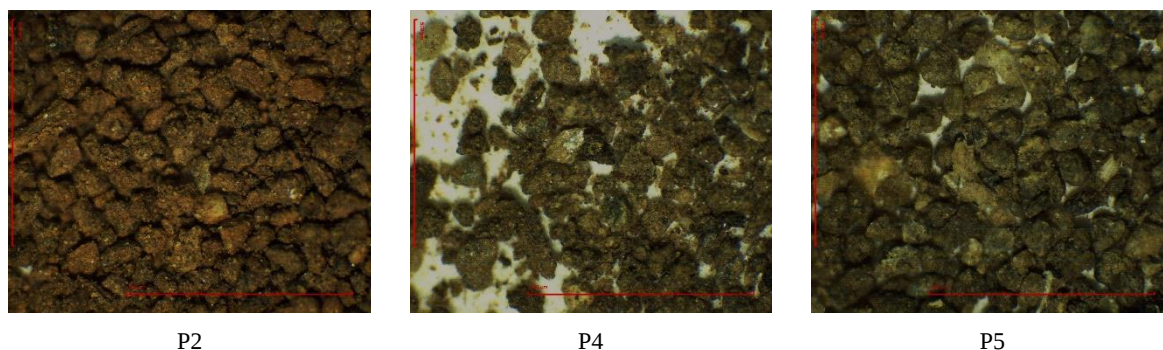
Πίνακας 3.22 Αποτελέσματα σημειακών αναλύσεων στο δείγμα PEL4 (συνέχεια)

Οξείδια	3a_3	4a_1	4a_2 (% κ.β.)	4a_3	4a_4
MgO	2,02	bdl	10,72	6,61	3,67
Al ₂ O ₃	6,03	15,03	3,01	15,91	20,43
SiO ₂	4,47	24,91	36,50	40,65	39,03
CaO	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
TiO ₂	5,98	4,60	4,62	7,47	7,50
V ₂ O ₅	bdl	bdl	2,37	bdl	bdl
Cr ₂ O ₃	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
MnO	1,04	1,12	bdl	bdl	bdl
FeO	78,97	53,91	43,00	28,92	29,05
CoO	1,16	bdl	bdl	bdl	bdl
NiO	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
ZnO	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
Totals	99,67	99,57	100,22	99,56	99,68

*bdl=below detection limit

3.1.6 Νομός Πιερίας

Στο νομό Πιερίας, ελήφθησαν 6 εδαφικά δείγματα με κωδικές ονομασίες P1,2,4,5,6,7 (Εικ. 2.2). Πραγματοποιήθηκε χημική ανάλυση ολικού δείγματος με τη μέθοδο της XRF σε όλα τα δείγματα ενώ έγινε επιλογή 3 δειγμάτων (P2,4,5) με τιμές αναφοράς σιδήρου $\text{Fe}_2\text{O}_3 > 7\%$ κ.β. για περαιτέρω μελέτη στο στερεοσκόπιο, το SEM-EDS και την ICP-MS.



Εικόνα 3.24: Μορφολογία των εδαφικών κόκκων των δειγμάτων του Νομού Πιερίας (P2,4,5)

Με βάση τη μελέτη του ολικού κλάσματος στο στερεοσκόπιο, οι κόκκοι των δειγμάτων του νομού Πιερίας χαρακτηρίζονται ως υπογωνιώδεις με μέτρια ταξινόμηση, επικαλυμμένοι με αργιλικά υλικά τεφρού-καστανότεφρου χρώματος.

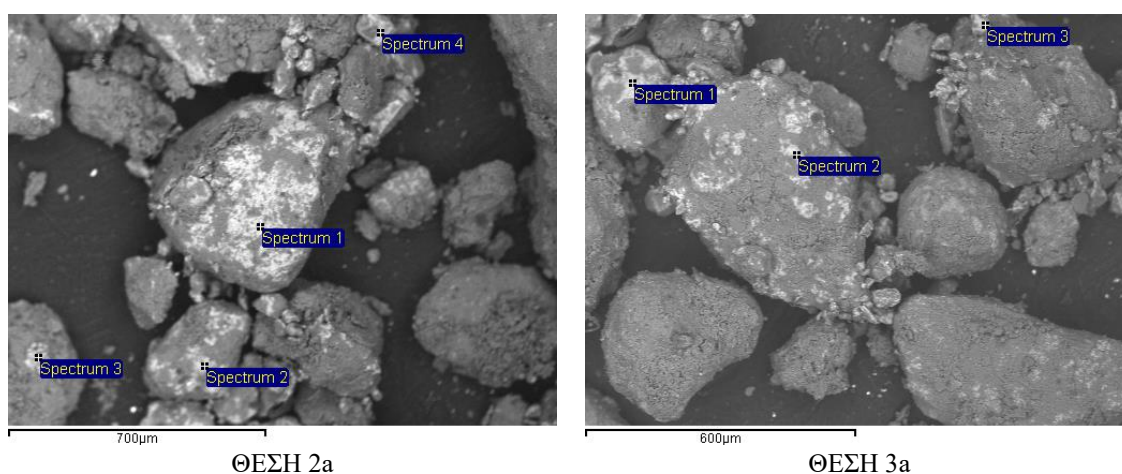
Πίνακας 3.23: Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων για τα δείγματα της Πιερίας

Οξείδια	P1	P2	P4	P5	P6	P7
	(% κ.β.)					
SiO ₂	69,27	58,18	56,57	51,25	47,88	30,85
Al ₂ O ₃	13,23	21,10	16,30	8,60	16,86	11,91
Fe ₂ O ₃	6,85	9,18	10,21	11,26	8,03	5,53
MgO	3,69	2,23	9,91	24,85	4,75	1,26
K ₂ O	2,46	2,26	2,59	0,77	2,66	1,60
CaO	0,32	2,45	2,87	1,52	2,18	22,46
Na ₂ O	1,40	0,72	0,82	0,25	0,97	0,60
TiO ₂	0,73	1,15	0,72	0,34	0,72	0,75
P ₂ O ₅	0,07	0,14	0,22	0,07	0,27	0,28
Total	98,17	97,57	100,47	99,10	84,39	75,43
	(mg/kg)					
Cr		46,30	143,95	1296,00		
Mn		658,65	666,84	681,26		
Co		bdl	26,97	52,82		
Ni		82,84	282,11	971,59		
Cu		20,79	31,13	25,73		
Zn		59,31	bdl	bdl		
As		bdl	bdl	bdl		
Sr		bdl	bdl	bdl		
Ba		269,59	55,12	87,39		
Pb		28,50	bdl	bdl		

*bdl=below detection limit

Στις χημικές αναλύσεις των κύριων στοιχείων, το SiO_2 κυμαίνεται μεταξύ 30,85-69,27% κ.β., το Al_2O_3 μεταξύ 8,60-21,10% κ.β., ο Fe_2O_3 μεταξύ 5,53-11,26% κ.β., το MgO μεταξύ 1,26-24,85% κ.β., το K_2O μεταξύ 0,77-2,66% κ.β., το CaO μεταξύ 0,32-22,46% κ.β., το Na_2O μεταξύ 0,25-1,40% κ.β., το TiO_2 μεταξύ 0,34-1,15% κ.β. και ο P_2O_5 μεταξύ 0,07-0,28% κ.β.. Με βάση τις μέσες συστάσεις των κύριων στοιχείων στα εδάφη (Κεφ 1.6), οι περιεκτικότητες των κύριων στοιχείων στα δείγματα βρίσκονται εντός των φυσιολογικών τιμών.

Στις αναλύσεις των ιχνοστοιχείων, το Cr κυμαίνεται μεταξύ 46,30-1296,00 mg/kg, το Mn μεταξύ 658,65-681,26 mg/kg, το Co παρουσιάζει περιεκτικότητες που κυμαίνονται κάτω από το όριο ανίχνευσης έως 52,82 mg/kg, το Ni κυμαίνεται μεταξύ 82,84-971,59 mg/kg, ο Cu μεταξύ 20,79-31,13 mg/kg, ο Zn παρουσιάζει περιεκτικότητες που κυμαίνονται κάτω από το όριο ανίχνευσης έως 59,31 mg/kg, το Ba κυμαίνεται μεταξύ 55,12-269,59 mg/kg και ο Pb παρουσιάζει περιεκτικότητες που κυμαίνονται κάτω από το όριο ανίχνευσης έως 28,50 mg/kg. Το As και το Sr παρουσιάζουν περιεκτικότητες που κυμαίνονται κάτω από το όριο ανίχνευσης. Με βάση τις μέσες συστάσεις των ιχνοστοιχείων στα εδάφη (Κεφ 1.6), εντοπίζεται υψηλή περιεκτικότητα σε Cr σε 2 δείγματα του νομού (P4,5), υψηλή περιεκτικότητα σε Mn και στα 3 δείγματα (P2,4,5) και σε Ni σε 2 δείγματα (P4,5).

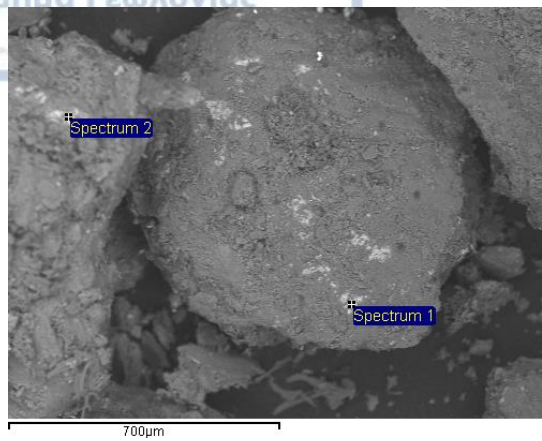


Εικόνα 3.25: Μορφολογία τεμαχιδίων και θέσεις σημειακών αναλύσεων στο δείγμα P2

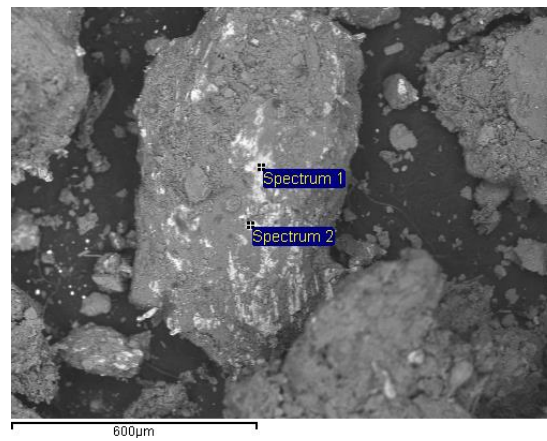
Πίνακας 3.24: Αποτελέσματα σημειακών αναλύσεων στο δείγμα P2

Οξείδια	2a_1 % κ.β.	2a_2 % κ.β.	2a_3 % κ.β.	2a_4 % κ.β.	3a_1 % κ.β.	3a_2 % κ.β.	3a_3 % κ.β.
MgO	bdl	0,43	bdl	2,73	1,4	0,89	1,97
Al ₂ O ₃	9,31	9,3	9,3	10,55	20,01	6,57	24,15
SiO ₂	8,4	9,24	9,24	10,51	23,54	7,99	33,65
CaO	0,81	1,18	1,18	0,54	0,48	1,08	1,16
TiO ₂	0,71	0,76	0,76	5,53	0,59	0,42	1,29
V ₂ O ₅	bdl	bdl	bdl	0,43	bdl	bdl	bdl
Cr ₂ O ₃	0,23	0,38	0,38	-0,18	bdl	bdl	bdl
MnO	0,69	bdl	bdl	0,45	bdl	1,04	bdl
FeO	77,6	78,39	78,39	68,22	53,34	81,55	37,69
CoO	bdl	bdl	bdl	0,69	bdl	bdl	bdl
NiO	0,5	bdl	bdl	bdl	0,36	bdl	bdl
Totals	98,02	99,68	99,25	99,65	99,72	99,54	99,91

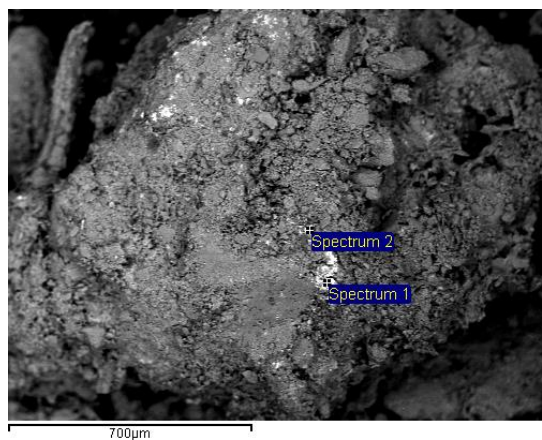
*bdl=below detection limit



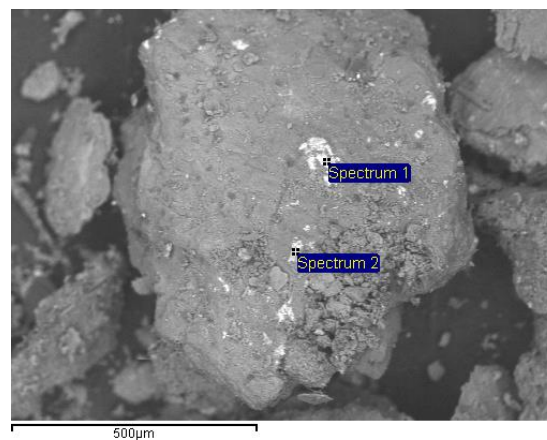
ΘΕΣΗ 2a



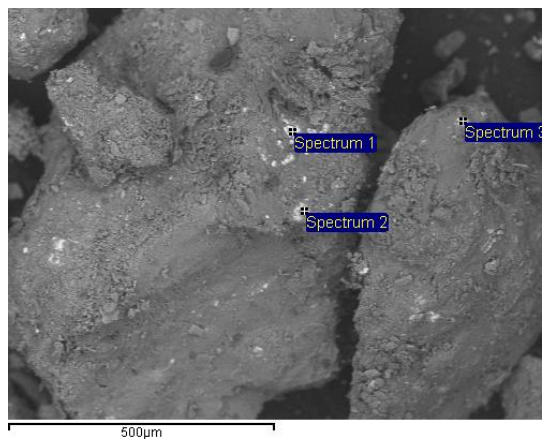
ΘΕΣΗ 3a



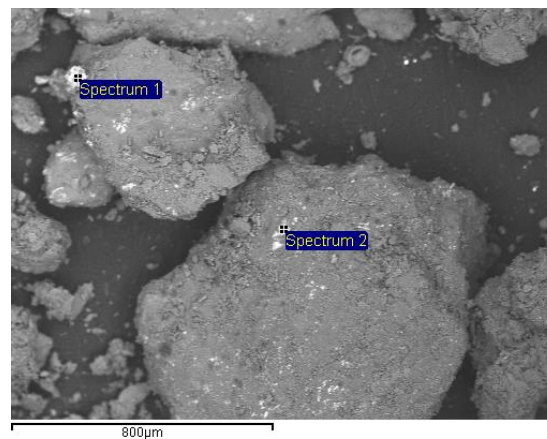
ΘΕΣΗ 4a



ΘΕΣΗ 5a



ΘΕΣΗ 6a



ΘΕΣΗ 7a

Εικόνα 3.26: Μορφολογία τεμαχιδίων και θέσεις σημειακών αναλύσεων στο δείγμα P4



Πίνακας 3.25: Αποτελέσματα σημειακών αναλύσεων στο δείγμα P4

Οξείδια	2a_1	2a_2	3a_1	3a_2	4a_1	4a_2	5a_1	5a_2
(% κ.β.)								
MgO	3,07	5,66	10,31	5,35	7,88	bdl	3,88	7,47
Al ₂ O ₃	0,72	0,82	1,63	1,77	12,68	bdl	0,92	7,26
SiO ₂	4,8	8,7	9,37	9,64	47,87	0,72	2,78	19,91
CaO	bdl	bdl	bdl	0,2	bdl	bdl	bdl	0,38
TiO ₂	bdl	bdl	bdl	bdl	0,46	bdl	bdl	bdl
V ₂ O ₅	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0,45	bdl	0,46
Cr ₂ O ₃	1,68	0,36	1,91	5,54	0,51	2,32	0,56	0,44
MnO	bdl	bdl	bdl	0,39	bdl	bdl	bdl	bdl
FeO	88,56	84,1	76,47	76,18	31,2	94,82	91,6	63,58
NiO	0,57	0,48	bdl	bdl	bdl	1,09	bdl	0,57
Totals	99,4	100,12	99,69	99,07	100,6	99,4	99,74	100,07

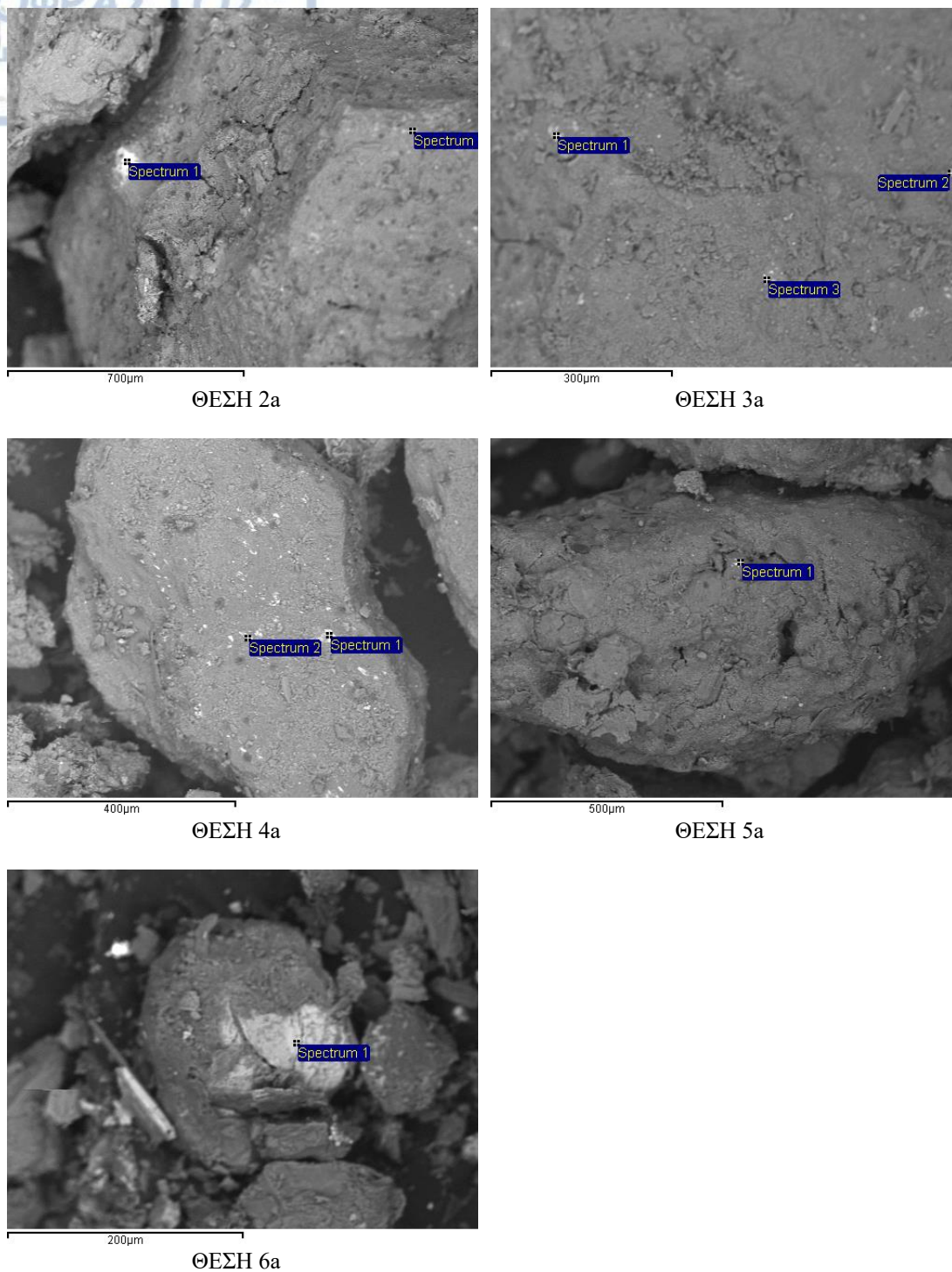
*bdl=below detection limit

Πίνακας 3.26: Αποτελέσματα σημειακών αναλύσεων στο δείγμα P4

Οξείδια	6a_1	6a_2	6a_3	7a_1	7a_2
			(% κ.β.)		
MgO	18,61	18,85	16,46	4,5	7,48
Al ₂ O ₃	bdl	1,63	1,33	9,9	2,37
SiO ₂	23,58	15,3	21,86	17,62	8,89
Cr ₂ O ₃	0,29	0,99	1,16	1,28	1,67
MnO	0,32	bdl	bdl	0,73	bdl
FeO	56,00	61,56	59,56	63,81	78,83
CoO	bdl	0,57	bdl	bdl	bdl
NiO	0,89	0,97	bdl	1,34	0,95
Totals	99,69	99,87	100,37	99,18	100,19

*bdl=below detection limit

Στις αναλύσεις του μαγνητικού κλάσματος με τη μέθοδο της ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης, διακρίνονται 2 ομάδες αναλύσεων. Η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει υψηλά ποσοστά Fe, καθώς και Mg, Ti σε μεταβλητές αναλογίες και ποσότητες Cr, Ni, Co και V, ενώ η δεύτερη περιλαμβάνει υψηλά ποσοστά σε Si, Al, K, Na, Ca. Η πρώτη ομάδα αναλύσεων αντιπροσωπεύει τη σύσταση των κόκκων του μαγνητικού κλάσματος, οι οποίοι σε ορισμένες περιπτώσεις είναι υπιδιόμορφοι (P5) ενώ η δεύτερη ομάδα αναλύσεων αντιπροσωπεύει τα αργιλικά υλικά με τα οποία είναι επικαλυμμένοι οι μαγνητικοί κόκκοι.

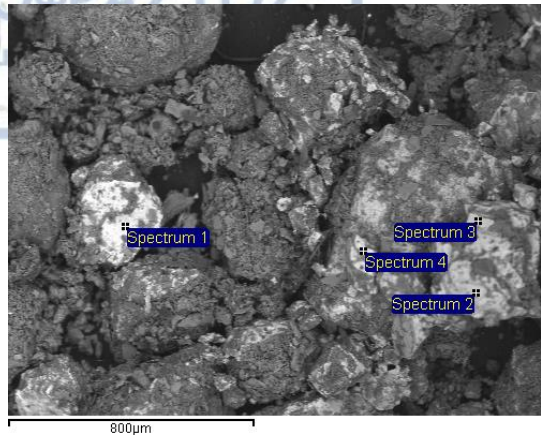


Εικόνα 3.27: Μορφολογία τεμαχιδίων και θέσεις σημειακών αναλύσεων στο δείγμα P5

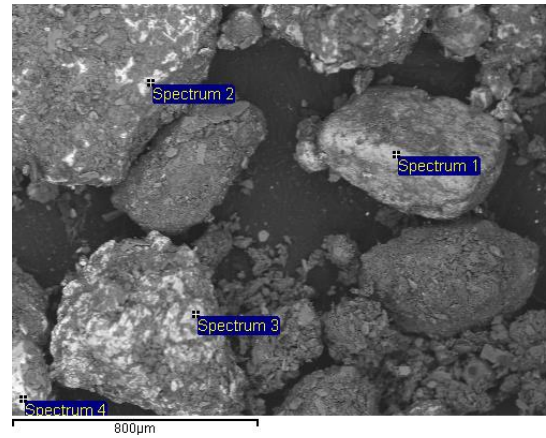
Πίνακας 3.27: Αποτελέσματα σημειακών αναλύσεων στο δείγμα P5

Οξείδια	2a_1	2a_2	3a_1	3a_2	3a_3	4a_1	4a_2	5a_1	6a_1
					(% κ.β.)				
MgO	8,5	16,96	1,17	7,74	17,72	10,3	2,81	2,75	2,94
Al ₂ O ₃	5,00	7,32	1,09	2,86	10,99	1,58	0,66	1,68	0,37
SiO ₂	8,71	30,3	2,81	15,7	43,76	13,37	5,88	5,57	2,65
CaO	bdl	0,67	bdl	0,23	0,934	bdl	bdl	bdl	bdl
TiO ₂	bdl	bdl	bdl	bdl	0,54	bdl	bdl	bdl	bdl
V ₂ O ₅	bdl	bdl	0,67	0,79	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
Cr ₂ O ₃	43,24	3,51	10,23	14,65	3,60	1,75	1,89	18,75	16,85
MnO	3,23	bdl	1,99	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	8,89
FeO	30,01	39,59	75,71	48,13	20,08	72,17	87,28	57,3	68,71
CoO	0,64	bdl	bdl	bdl	bdl	0,91	bdl	bdl	bdl
NiO	bdl	1,27	5,95	8,82	1,83	bdl	1,06	13,09	bdl
ZnO	0,75	bdl	bdl	bdl	0,95	bdl	bdl	bdl	bdl
Totals	100,08	99,62	99,62	98,92	100,42	100,08	99,58	99,14	100,41

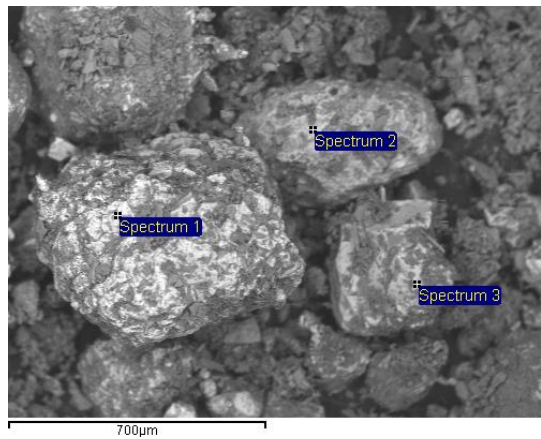
*bdl=below detection limit



ΘΕΣΗ 2a



ΘΕΣΗ 3a



ΘΕΣΗ 4a

Εικόνα 3.28: Μορφολογία τεμαχιδίων και θέσεις σημειακών αναλύσεων στο δείγμα P5b

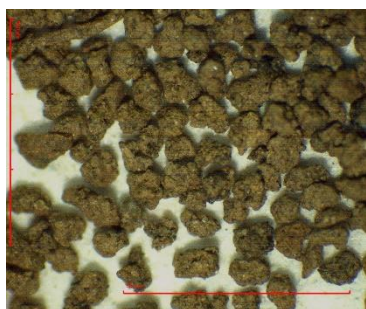
Πίνακας 3.28: Αποτελέσματα σημειακών αναλύσεων στο δείγμα P5b

Οξείδια	2a_1	2a_2	2a_3	2a_4	3a_1	3a_2	3a_3	3a_4	4a_1	4a_2	4a_3
	(% κ.β.)										
MgO	bdl	0,66	0,73	1,77	1,53	1,45	4,34	3,71	1,8	3,05	1,28
Al ₂ O ₃	0,05	2,25	4,29	3,47	3,06	2,45	2,2	5,29	14,01	6,48	1,03
SiO ₂	0,59	3,12	6,25	5,17	3,88	4,18	4,53	8,2	22,81	7,68	1,08
CaO	bdl	0,38	bdl	bdl	1,45	0,34	bdl	0,4	0,48	0,78	0,28
TiO ₂	bdl	bdl	bdl	bdl	1,85	0,34	0,45	0,56	0,47	0,98	bdl
V ₂ O ₅	bdl	bdl	bdl	bdl	0,66	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
Cr ₂ O ₃	4,6	0,63	bdl	bdl	0,54	10,89	25,68	15,34	9,24	22,88	11,52
MnO	0,73	bdl	0,5	bdl	bdl	0,53	0,8	bdl	0,96	0,56	bdl
FeO	85,15	91,94	88,41	87,57	86,76	79,4	58,84	66,27	49,06	55,93	84,1
CoO	bdl	bdl	bdl	1,69	bdl	bdl	0,93	bdl	bdl	bdl	bdl
NiO	1,01	bdl	bdl	bdl	bdl	0,62	1,1	bdl	0,74	1,02	bdl
ZnO	bdl	bdl	bdl	bdl	0,47	bdl	1,01	bdl	bdl	bdl	bdl
Totals	98,57	98,98	100,18	99,67	100,21	100,2	99,88	99,77	99,57	99,36	99,29

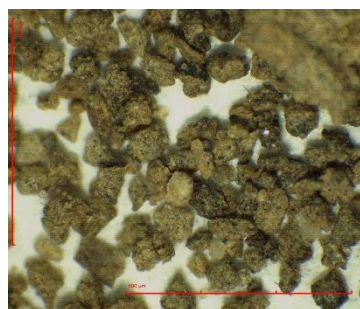
*bdl=below detection limit

3.1.7: Νομός Ημαθίας

Στο νομό Ημαθίας, ελήφθησαν 4 εδαφικά δείγματα με κωδικές ονομασίες HM1-4 (Εικ. 2.2). Πραγματοποιήθηκε χημική ανάλυση ολικού δείγματος με τη μέθοδο της XRF σε όλα τα δείγματα ενώ έγινε επιλογή 2 δειγμάτων (HM2,4) με τιμές αναφοράς σιδήρου $\text{Fe}_2\text{O}_3 > 7\%$ κ.β. για περαιτέρω μελέτη στο στερεοσκόπιο, το SEM-EDS και την ICP-MS.



HM2



HM4

Εικόνα 3.29: Μορφολογία των εδαφικών κόκκων των δειγμάτων του Νομού Ημαθίας (HM2,4)

Με βάση τη μελέτη του ολικού κλάσματος στο στερεοσκόπιο, οι κόκκοι των δειγμάτων του νομού Ημαθίας χαρακτηρίζονται ως υπογωνιώδεις με μέτρια έως φτωχή ταξινόμηση, επικαλυμμένοι με αργιλικά υλικά καστανέρυθρου-καστανότεφρου χρώματος.

Στις χημικές αναλύσεις των κύριων στοιχείων, το SiO_2 κυμαίνεται μεταξύ 14,28-66,38% κ.β., το Al_2O_3 μεταξύ 3,37-21,99% κ.β., ο Fe_2O_3 μεταξύ 1,96-12,99% κ.β., το MgO μεταξύ 0,97-8,13% κ.β., το K_2O μεταξύ 0,54-3,61% κ.β., το CaO μεταξύ 2,13-58,31% κ.β., το Na_2O μεταξύ 0,23-3,72% κ.β., το TiO_2 μεταξύ 0,26-1,06% κ.β. και ο P_2O_5 μεταξύ 0,06-0,27% κ.β.. Με βάση τις μέσες συστάσεις των κύριων στοιχείων στα εδάφη (Κεφ 1.6), οι περιεκτικότητες των κύριων στοιχείων στα δείγματα βρίσκονται εντός των φυσιολογικών τιμών.

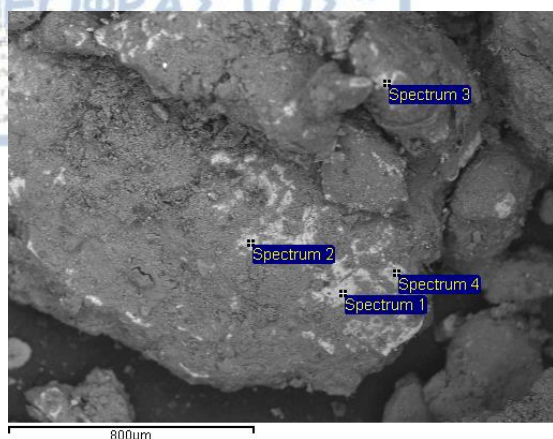
Στις αναλύσεις των ιχνοστοιχείων, το Cr κυμαίνεται μεταξύ 100,76-425,66 mg/kg, το Mn μεταξύ 686,17-886,06 mg/kg, το Co παρουσιάζει περιεκτικότητες που κυμαίνονται κάτω από το όριο ανίχνευσης έως 39,72 mg/kg, το Ni κυμαίνεται μεταξύ 221,88-506,60 mg/kg, ο Cu μεταξύ 20,80-31,16 mg/kg, ο Zn μεταξύ 17,52-37,09 mg/kg, το Ba κυμαίνεται μεταξύ 51,81-128,58 mg/kg. Το As, το Sr και ο Pb παρουσιάζουν περιεκτικότητες που κυμαίνονται κάτω από το όριο ανίχνευσης. Με βάση τις μέσες συστάσεις των ιχνοστοιχείων στα εδάφη (Κεφ 1.6), εντοπίζεται υψηλή περιεκτικότητα σε Cr, Mn και σε Ni και στα 2 δείγματα (HM2,4).

Πίνακας 3.29: Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων για τα δείγματα της Ημαθίας

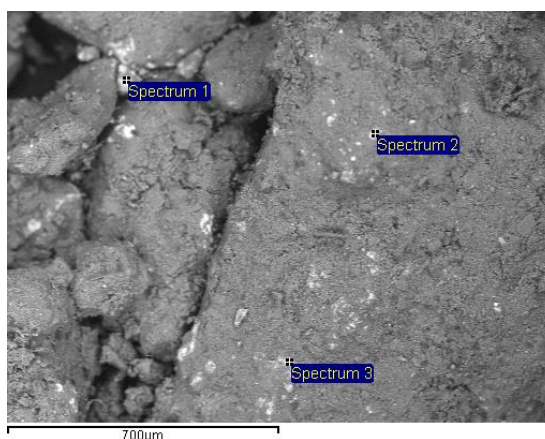
Οξείδια	HM1	HM2	HM3	HM4
	(% κ.β.)			
SiO ₂	14,28	54,65	66,38	60,15
Al ₂ O ₃	3,67	21,99	18,67	16,12
Fe ₂ O ₃	1,96	9,66	2,73	12,99
MgO	2,05	6,14	0,97	8,13
K ₂ O	0,54	2,62	3,61	1,44
CaO	58,31	2,54	2,13	2,56
Na ₂ O	0,23	0,31	3,72	1,40
TiO ₂	0,26	1,06	0,46	0,78
P ₂ O ₅	0,17	0,27	0,06	0,20
Total	81,52	99,45	98,80	104,07
	(mg/kg)			
Cr		100,76		425,66
Mn		686,17		886,06
Co		bdl		39,72
Ni		221,88		506,60
Cu		20,80		31,16
Zn		37,09		17,52
As		bdl		bdl
Sr		bdl		bdl
Ba		128,58		51,81
Pb		bdl		bdl

*bdl=below detection limit

Στις αναλύσεις του μαγνητικού κλάσματος με τη μέθοδο της ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης, διακρίνονται 2 ομάδες αναλύσεων. Η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει υψηλά ποσοστά Fe, καθώς και Mg, Ti σε μεταβλητές αναλογίες και ποσότητες Cr, Ni και Co, ενώ η δεύτερη περιλαμβάνει υψηλά ποσοστά σε Si, Al, K, Na, Ca. Η πρώτη ομάδα αναλύσεων αντιπροσωπεύει τη σύσταση των κόκκων του μαγνητικού κλάσματος, οι οποίοι σε ορισμένες περιπτώσεις είναι υπιδιόμορφοι (HM4) ενώ η δεύτερη ομάδα αναλύσεων αντιπροσωπεύει τα αργιλικά υλικά με τα οποία είναι επικαλυμμένοι οι μαγνητικοί κόκκοι.



ΘΕΣΗ 2a



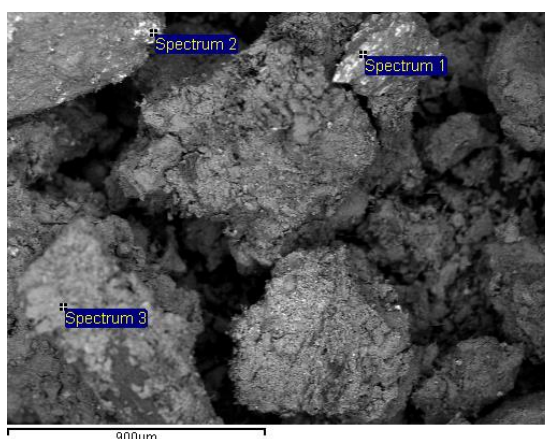
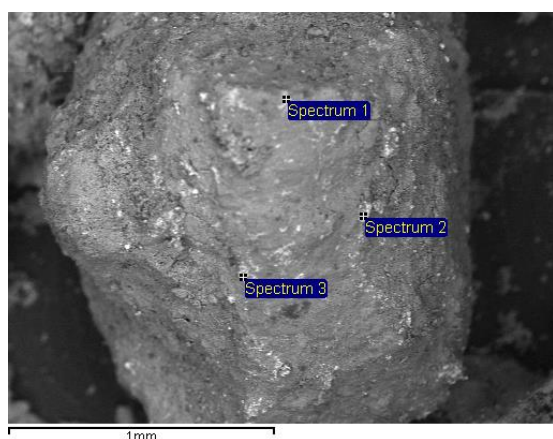
ΘΕΣΗ 3a

Εικόνα 3.30: Μορφολογία τεμαχιδίων και θέσεις σημειακών αναλύσεων στο δείγμα HM2

Πίνακας 3.30: Αποτελέσματα σημειακών αναλύσεων στο δείγμα HM2

Οξείδια	2a_1	2a_2	2a_3	2a_4	3a_1	3a_2	3a_3
	(% κ.β.)						
MgO	2,64	2,74	2,51	1,04	2,1	1,83	2,29
Al ₂ O ₃	7,34	bdl	11,87	4,73	13,98	8,63	9,92
SiO ₂	10,28	2,51	16,22	8,73	16,59	12,62	14,9
CaO	0,8	bdl	0,5	0,56	0,65	0,93	1,36
TiO ₂	0,51	bdl	0,65	bdl	14,46	bdl	bdl
MnO	bdl	bdl	0,37	bdl	0,57	0,41	bdl
FeO	78,58	94,72	66,45	84,70	50,73	74,76	69,65
CoO	bdl	bdl	1,28	bdl	0,58	bdl	1,11
NiO	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0,53	0,61
Totals	100,15	100,00	99,85	99,75	99,66	99,71	99,84

*bdl=below detection limit



Εικόνα 3.31: Μορφολογία τεμαχιδίων και θέσεις σημειακών αναλύσεων στο δείγμα HM4

Πίνακας 3.31: Αποτελέσματα σημειακών αναλύσεων στο δείγμα HM4

	2a_1	2a_2	2a_3	3a_1	3a_2	3a_3
Οξείδια	(% κ.β.)					
MgO	11,72	1,60	4,13	10,64	6,83	8,96
Al ₂ O ₃	6,5	2,81	1,93	14,5	17,59	14,75
SiO ₂	19,28	4,83	6,71	41,3	32,49	54,4
CaO	0,48	bdl	0,63	0,65	0,96	1,85
TiO ₂	0,48	bdl	bdl	0,64	bdl	0,77
Cr ₂ O ₃	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0,89
MnO	bdl	0,57	0,83	bdl	0,42	bdl
FeO	61,15	90,55	85,64	31,88	40,01	17,8
CoO	1,08	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
NiO	bdl	bdl	bdl	bdl	0,48	bdl
ZnO	bdl	bdl	bdl	bdl	0,66	bdl
Totals	100,69	100,37	99,87	99,61	99,44	99,42

*bdl=below detection limit

3.2 Συζήτηση

Πραγματοποιήθηκε στατιστική επεξεργασία των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων της Κεντρικής Μακεδονίας, τόσο για τα κύρια στοιχεία όσο και για τα ιχνοστοιχεία. Στους πίνακες 3.32 και 3.33 παρουσιάζονται οι στατιστικές παράμετροι των τιμών για τα κύρια στοιχεία και τα ιχνοστοιχεία αντίστοιχα, ενώ στα σχήματα 3.1, 3.2 παρουσιάζονται τα θηκογράμματα των κύριων στοιχείων και των ιχνοστοιχείων, αντίστοιχα. Στο σχήμα 3.3 παρουσιάζεται το ραβδόγραμμα της επί τοις εκατό αναλογίας των ιχνοστοιχείων στα εδαφικά δείγματα, στον πίνακα 3.34 παρουσιάζονται οι μέσες τιμές των ιχνοστοιχείων ανά νομό και στον πίνακα 3.35 παρουσιάζονται οι συντελεστές συσχέτισης κατά Pearson, μεταξύ των ιχνοστοιχείων. Στον πίνακα 3.36 παρουσιάζονται οι συντελεστές ρύπανσης για τα 22 εδαφικά δείγματα. Τέλος, στα σχήματα 3.4 και 3.5 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των ιχνοστοιχείων στη περιοχή μελέτης.

Παράλληλα, δίνεται μια ερμηνεία των χημικών αναλύσεων, των στατιστικών παραμέτρων και των μορφολογικών γνωρισμάτων του σιδηρομαγνητικού κλάσματος και σε συνδυασμό με το γεωλογικό υπόβαθρο, συγκροτείται μια πρώτη ερμηνεία της προέλευσης των ιχνοστοιχείων στα εδαφικά δείγματα.

Πίνακας 3.32: Στατιστικές παράμετροι για τις αναλύσεις των κύριων στοιχείων των 41 δειγμάτων. Οι τιμές αναφέρονται σε μονάδες επί τοις εκατό (%)

	Μέση τιμή	Διάμεσος	Τυπική απόκλιση	Εύρος	Μέγιστο	Ελάχιστο	Τεταρτημόρια		
							25	50	75
SiO ₂	49,71	49,14	11,46	54,99	14,28	69,27	44,25	49,14	57,50
Al ₂ O ₃	17,31	17,84	4,90	22,74	3,67	26,41	14,18	17,84	20,11
Fe ₂ O ₃	7,67	7,42	3,30	13,05	1,75	14,80	5,29	7,42	10,13
MgO	3,54	2,27	4,00	24,46	0,39	24,85	1,51	2,27	4,00
K ₂ O	2,72	2,62	1,11	5,08	0,54	5,62	2,09	2,62	3,54
CaO	6,27	2,54	10,69	58,13	0,18	58,31	1,48	2,54	6,45
Na ₂ O	1,19	1,01	0,83	3,59	0,13	3,72	0,59	1,01	1,64
TiO ₂	0,85	0,79	0,37	1,46	0,21	1,67	0,68	0,00	1,11
P ₂ O ₅	0,20	0,19	0,15	0,87	0,05	0,92	0,08	0,19	0,28

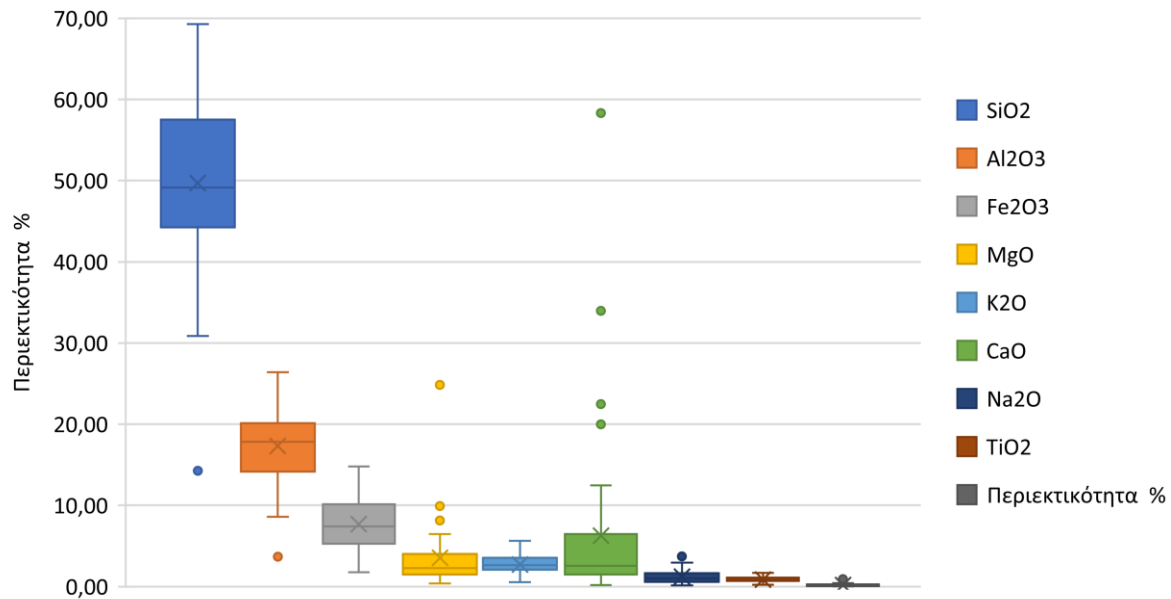
Τις υψηλότερες μέσες συγκεντρώσεις για τα κύρια στοιχεία, τις παρουσιάζει το SiO₂ και ακολουθούν το Al₂O₃, ο Fe₂O₃, το CaO, το MgO, το K₂O, το Na₂O, το TiO₂ και ο P₂O₅. Το CaO παρουσιάζει το μεγαλύτερο εύρος και ακολουθεί το SiO₂, το MgO και ο Fe₂O₃.

Τις υψηλότερες μέσες συγκεντρώσεις για τα ιχνοστοιχεία, τις παρουσιάζει το Mn και ακολουθούν ο Pb, το Ba, το Cr, το Ni, το As, ο Zn, το Co, ο Cu και το Sr. Ο Pb παρουσιάζει το μεγαλύτερο εύρος καθώς και την υψηλότερη τιμή ενώ το Sr το μικρότερο εύρος και ο Zn την ελάχιστη τιμή.

Πίνακας 3.33: Στατιστικές παράμετροι για τις αναλύσεις των ιχνοστοιχείων των 22 δειγμάτων. Οι τιμές αναφέρονται σε μονάδες mg/kg (mg/kg)

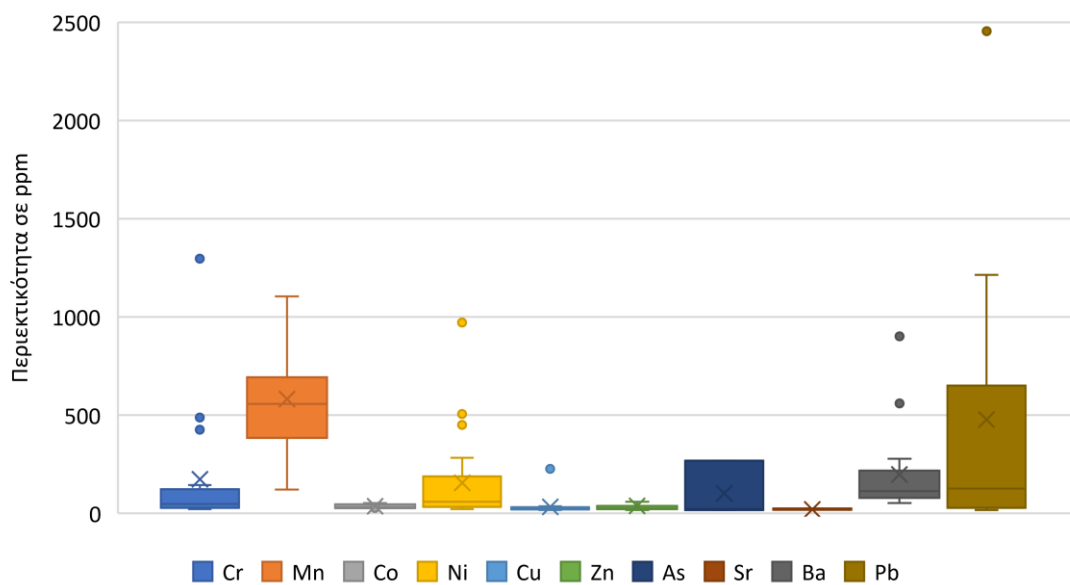
	Μέση τιμή	Διάμεσος	Τυπική απόκλιση	Εύρος	Ελάχιστο	Μέγιστο	Τεταρτημόρια		
							25	50	75
Cr	172,77	47,91	320,69	1274,3	21,71	1296,00	28,1	47,91	122,36
Mn	581,74	556,58	230,73	983,78	121,51	1105,29	383,89	556,58	692,23
Co	35,63	31,25	10,89	25,85	26,97	52,82	27,19	31,25	46,27
Ni	155,68	58,38	227,66	950,01	21,58	971,59	32,2	58,38	188,21
Cu	33,69	23,96	43,46	110,03	16,79	126,82	20,68	23,96	30,91
Zn	37,78	25,29	38,66	165,06	16,41	181,47	20,76	25,29	38,67
As	101,61	21,39	117,63	250,92	17,36	268,28	17,36	21,39	268,28
Sr	20,67	18,85	3,20	6,52	17,93	24,45	18,11	18,85	24,16
Ba	198,28	112,97	212,95	849,65	51,81	901,46	79,46	112,97	217,17
Pb	476,85	126,22	750,37	2437,4	17,28	2454,7	28,5	126,22	650,46

Στην περιγραφική στατιστική, το θηκόγραμμα (boxplot) είναι ένας εποπτικός τρόπος γραφικής απεικόνισης πέντε αριθμητικών δεδομένων μιας σειράς παρατηρήσεων: της μικρότερης παρατήρησης (min), του πρώτου τεταρτημόριου (Q1), της διαμέσου (δ) του τρίτου τεταρτημόριου (Q3), και της μεγαλύτερης παρατήρησης (max). Το θηκόγραμμα δείχνει διαφορές μεταξύ των πληθυσμών. Οι αποστάσεις μεταξύ των διαφόρων τμημάτων του θηκογράμματος αντικατοπτρίζουν το μέγεθος της διασποράς και την ασυμμετρία των δεδομένων. Ασυνήθιστα μικρές ή μεγάλες τιμές, απομακρυσμένες από τον μέσο όρο και συνεπώς από το κύριο σώμα των δεδομένων, καταγράφονται ως σημεία εκτός των πλαισίων και ονομάζονται ακραίες τιμές (outliers). Ανάλογα με τα δεδομένα και την ερμηνεία ωστόσο, αυτά τα σημεία και οι παρατηρήσεις ενδέχεται να είναι αληθή.



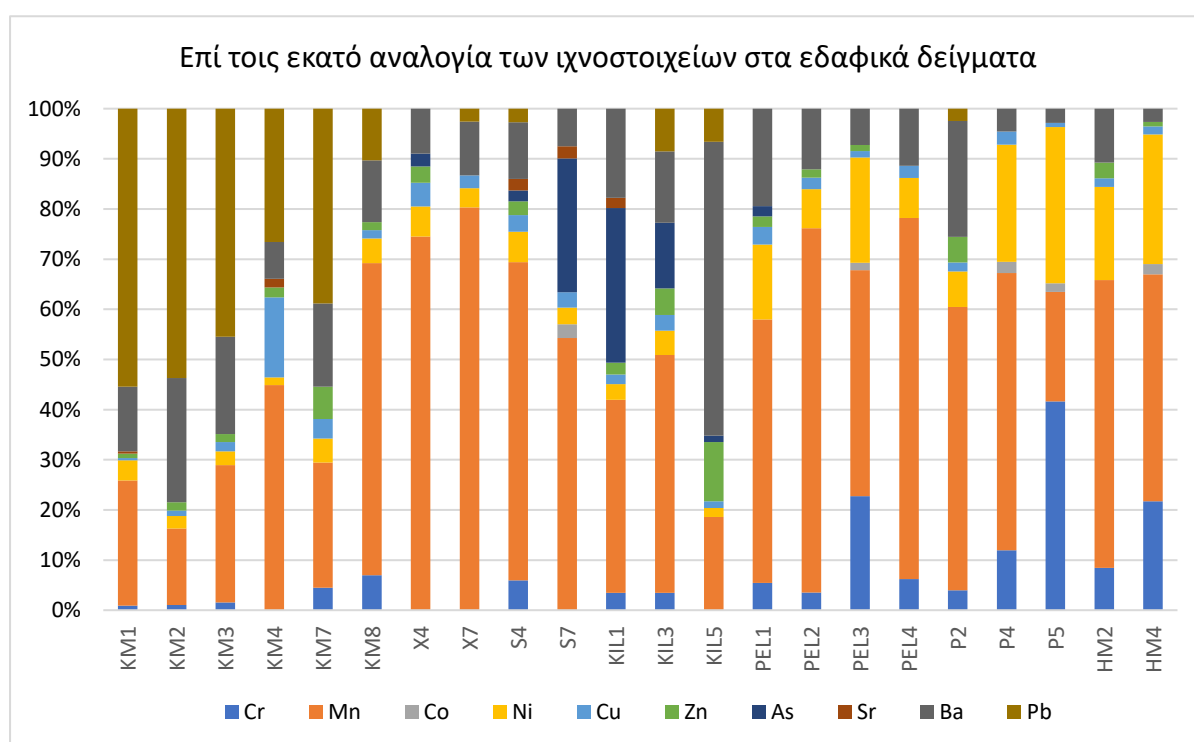
Σχήμα 3.1: Θηκογράμματα των χημικών αναλύσεων για τα κύρια στοιχεία των 41 εδαφικών δειγμάτων της περιοχής μελέτης

Από το θηκόγραμμα των κύριων στοιχείων των εδαφικών δειγμάτων, παρατηρούνται κάποια σημεία που καταγράφονται ως ακραίες τιμές (outliers). Αυτό συμβαίνει για τα στοιχεία SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , CaO και Na_2O . Ωστόσο, οι ακραίες τιμές για τα στοιχεία CaO , SiO_2 , Al_2O_3 και MgO είναι αναμενόμενες καθώς στη περιοχή μελέτης υπάρχουν ανθρακικά και οφιολιθικά πετρώματα τα οποία είναι πλούσια σε στοιχεία όπως το CaO και το MgO και φτωχά σε στοιχεία όπως το SiO_2 και το Al_2O_3 .



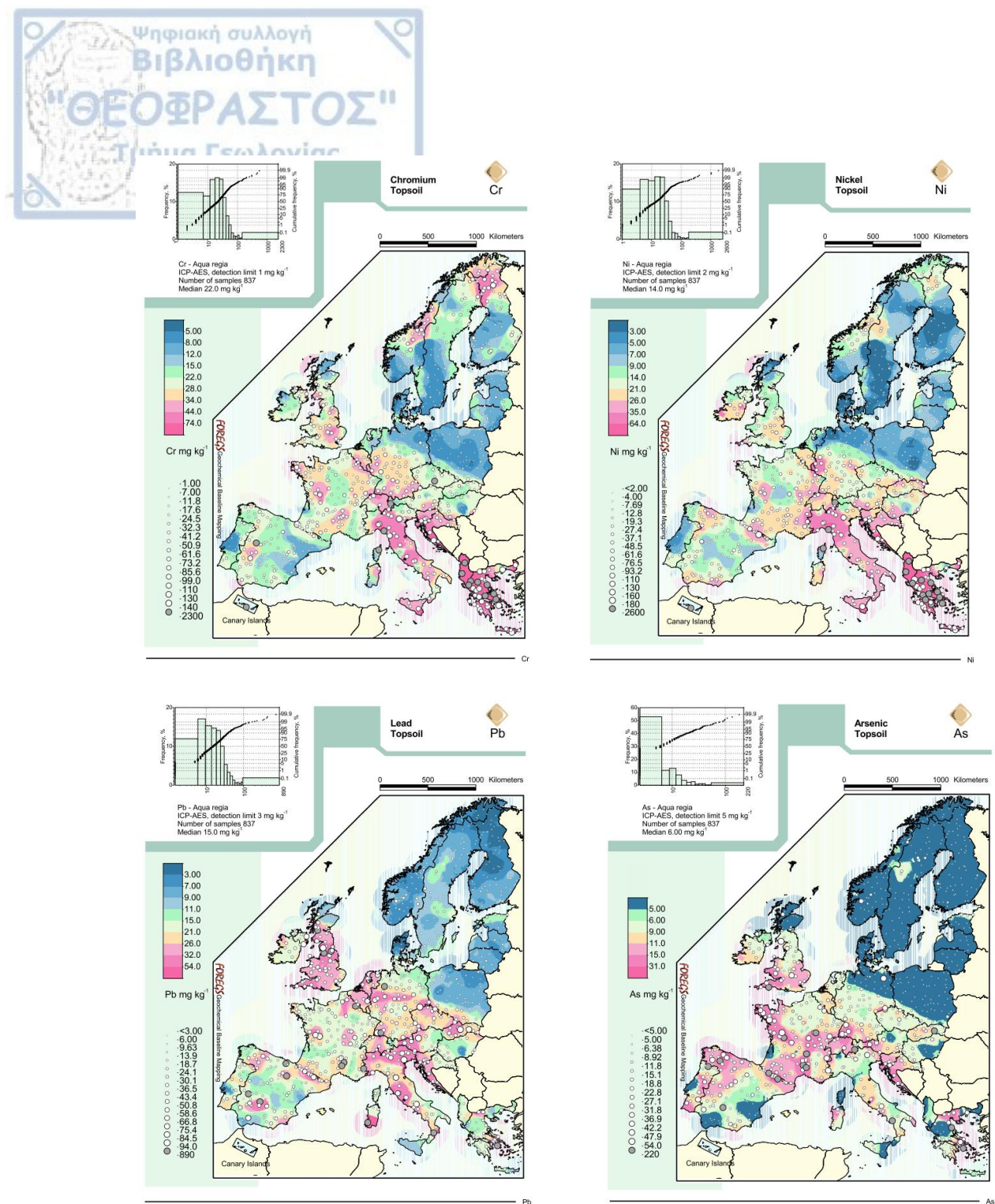
Σχήμα 3.2: Θηκογράμματα των χημικών αναλύσεων για τα ιχνοστοιχεία των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής μελέτης

Από το θηκόγραμμα των ιχνοστοιχείων των εδαφικών δειγμάτων, παρατηρούνται κάποια σημεία που καταγράφονται ως ακραίες τιμές (outliers). Αυτό συμβαίνει για τα στοιχεία Cr, Ni, Pb και Ba. Το Ba αποτελεί χημικό στοιχείο που μπορεί να εμφανίζει μεταβλητές συγκεντρώσεις στα εδάφη και η μέγιστη τιμή που προσδιορίστηκε βρίσκεται εντός αυτών των ορίων. Οι υψηλές συγκεντρώσεις των στοιχείων Cr και Ni εντοπίζονται στην περιοχή της Πέλλας, της Ημαθίας και της Πιερίας και σχετίζονται με τα οφιολιθικά πετρώματα που βρίσκονται σε αυτές τις θέσεις. Οι υψηλές συγκεντρώσεις του Pb εμφανίζονται κυρίως στο νομό Θεσσαλονίκης και πιθανόν να οφείλονται στις μεταλλοφόρες εμφανίσεις της ενότητας Βερτίσκου.



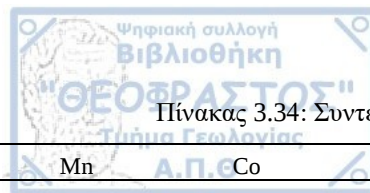
Σχήμα 3.3: Επί τοις εκατό αναλογία των ιχνοστοιχείων στα 22 εδαφικά δείγματα

Στο ραβδόγραμμα της επί τοις εκατό αναλογίας των ιχνοστοιχείων στα εδαφικά δείγματα διακρίνεται το κυρίαρχο ιχνοστοιχείο ανά δείγμα και μπορεί να παρατηρηθεί η ποσοστιαία μεταβολή του από δείγμα σε δείγμα. Από τα ιχνοστοιχεία που αναλύθηκαν παρατηρείται ότι το Mn υπάρχει σε υψηλές συγκεντρώσεις και είναι το κυρίαρχο στοιχείο σε όλα σχεδόν τα δείγματα και ακολουθεί το Ba και το Ni. Ο Pb είναι σε υψηλά ποσοστά σε όλα δείγματα του νομού Θεσσαλονίκης ενώ τα δείγματα των νομών Σερρών και Κιλκίς έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε As. Τα υπόλοιπα στοιχεία Cr, Co, Cu, Zn, Sr συνιστούν μικρό κλάσμα των αναλύσεων σε όλα τα δείγματα.



Σχήμα 3.4: Χάρτες κατανομής των στοιχείων Cr, Ni, As, Pb στην Ευρώπη (δράση FOREGS, <http://weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/ibdlex.php>)

Η δράση FOREGS αποτελεί μια προσπάθεια προσδιορισμού της χημικής σύστασης των εδαφών στην Ευρωπαϊκή ήπειρο και στα πλαίσια της οποίας αναλύθηκαν >8000 εδαφικά δείγματα καταμετρημένα σε όλη την Ευρώπη με στόχο την κατασκευή χαρτών κατανομής των στοιχείων στα εδάφη (De Vos & Tarvainen 2021). Παρατηρείται ότι στην δράση FOREGS για την περιοχή της Ελλάδας τα στοιχεία Cr, Ni και As εμφανίζουν υψηλές περιεκτικότητες στην περιοχή μελέτης (Κεντρική Μακεδονία).



Πίνακας 3.34: Συντελεστές συσχέτισης κατά Pearson για τα ιχνοστοιχεία

		Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Ba	Pb
Cr	Pearson	1									
	Correlation										
	N	17									
Mn	Pearson	,314	1								
	Correlation	,220									
	N	17	22								
Co	Pearson	,933	,111	1							
	Correlation	,067	,859								
	N	4	5	5							
Ni	Pearson	,965**	,472*	,936*	1						
	Correlation	,000	,027	,019							
	N	17	22	5	22						
Cu	Pearson	,242	,078	-,694	-,095	1					
	Correlation	,349	,731	,193	,674						
	N	17	22	5	22	22					
Zn	Pearson	-,266	-,282	-1,00**	-,198	-,093	1				
	Correlation	,358	,273	.	,445	,723					
	N	14	17	2	17	17	17				
As	Pearson	-,717	-,079	NC	-,378	-,347	-,267	1			
	Correlation	,283	,867		,403	,445	,610				
	N	4	7	1	7	7	6	7			
Sr	Pearson	,475	-,016	NC	-,380	,593	,196	,458	1		
	Correlation	,685	,980		,528	,292	,804	,697			
	N	3	5	1	5	5	4	3	5		
Ba	Pearson	-,262	-,104	-,036	-,182	-,123	,799**	-,306	-,395	1	
	Correlation	,310	,646	,954	,418	,585	,000	,504	,510		
	N	17	22	5	22	22	17	7	5	22	
Pb	Pearson	-,192	,553	NC	,810**	-,036	-,158	,061	-,291	,454	1
	Correlation	,648	,077		,003	,916	,663	,961	,812	,161	
	N	8	11	0	11	11	10	3	3	11	11
Si	Pearson	,128	,285	,256	,241	-,045	-,295	-,761*	-,384	-,018	,065
	Correlation	,624	,199	,678	,280	,841	,250	,047	,523	,938	,849
	N	17	22	5	22	22	17	7	5	22	11

		Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Ba	Pb
Al	Pearson	-.592*	.111	-.456	-.433*	-.009	-.015	-.872*	-.482	.278	.328
	Correlation	.012	.621	.440	.044	.968	.955	.010	.411	.211	.325
	N	17	22	5	22	22	17	7	5	22	11
Fe	Pearson	.152	-.194	.382	.077	.460*	-.139	.433	.406	.100	.105
	Correlation	.560	.386	.526	.735	.031	.595	.332	.498	.657	.758
	N	17	22	5	22	22	17	7	5	22	11
Mg	Pearson	.911**	.321	.836	.889**	-.009	-.217	.490	-.473	-.125	.686*
	Correlation	<.001	.145	.058	<.001	.969	.403	.265	.421	.581	.020
	N	17	22	5	22	22	17	7	5	22	11
K	Pearson	-.520*	.011	-.361	-.335	-.148	.239	-.780*	-.377	.475*	.194
	Correlation	.032	.962	.550	.127	.512	.355	.039	.531	.025	.567
	N	17	22	5	22	22	17	7	5	22	11
Ca	Pearson	-.151	.067	-.538	-.170	.171	-.194	.568	.557	-.200	-.010
	Correlation	.562	.768	.350	.449	.446	.456	.184	.329	.372	.976
	N	17	22	5	22	22	17	7	5	22	11
Na	Pearson	-.484*	-.494*	-.715	-.484*	.199	.039	.266	-.391	.343	.337
	Correlation	.049	.019	.174	.023	.376	.882	.564	.515	.118	.310
	N	17	22	5	22	22	17	7	5	22	11
Ti	Pearson	-.547*	-.611**	-.670	-.637**	.234	-.151	.371	.153	.070	-.257
	Correlation	.023	.003	.216	.001	.294	.563	.412	.807	.757	.446
	N	17	22	5	22	22	17	7	5	22	11
P	Pearson	-.526*	.079	-.697	-.234	.892**	-.063	.756*	.552	-.039	.132
	Correlation	.030	.727	.191	.295	<.001	.810	.049	.335	.863	.700
	N	17	22	5	22	22	17	7	5	22	11

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed) / * . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Με χρήση του λογισμικού SPSS, υπολογίστηκαν οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των ιχνοστοιχείων στην περιοχή μελέτης. Πολύ υψηλή θετική συσχέτιση στο διάστημα εμπιστοσύνης 99% παρουσιάζεται μεταξύ Cr και Ni (0,965) και μεταξύ Mg και Cr (0,911). Υψηλή θετική συσχέτιση στο ίδιο διάστημα εμπιστοσύνης παρουσιάζεται μεταξύ Mg και Ni (0,889), μεταξύ Al και As (-0,872) και μεταξύ P και Cu (0,892). Μέτρια θετική συσχέτιση παρουσιάζεται μεταξύ Ba και Zn (0,799) και μεταξύ Pb και Ni (0,810). Επιπρόσθετα, στο διάστημα εμπιστοσύνης 95% παρουσιάζεται πολύ υψηλή θετική συσχέτιση μεταξύ Co και Ni (0,936) και μεταξύ Cr και Co (0,933), υψηλή θετική συσχέτιση μεταξύ Mg και Co (0,836) και μέτρια θετική συσχέτιση μεταξύ K και As (-0,780) καθώς και μεταξύ P και As (0,756). Επειδή σε πολλά δείγματα η περιεκτικότητα του Co είναι κάτω από το όριο ανίχνευσης, δεν ήταν εφικτός ο προσδιορισμός συντελεστών συσχέτισης μεταξύ Co και ορισμένων στοιχείων όπως As, Sr, Pb.

Η υψηλή θετική συσχέτιση μεταξύ Mg-Cr-Ni και Co σχετίζεται με τα οφιολιθικά πετρώματα της περιοχής μελέτης. Η υψηλή θετική συσχέτιση μεταξύ P-Cu πιθανόν να οφείλεται σε ανθρώπινη δραστηριότητα καθώς πολλά λιπάσματα πέραν από φώσφορο, περιέχουν και χαλκό (Alloway 2012).

Σύμφωνα με τον Hakanson (1980), οι συντελεστές επιβάρυνσης CF αποτελούν το πηλίκο της συγκέντρωσης ενός ιχνοστοιχείου του προς μελέτη δείγματος προς τη μέση σύσταση του ιχνοστοιχείου στα εδάφη $CF = CF_{\text{δείγματος}} / CF_{\text{μέση σύσταση εδαφών}}$. Για τον υπολογισμό των CF στη παρούσα εργασία, χρησιμοποιήθηκαν οι μέσες συστάσεις των εδαφών κατά Kabata Pendias (2011). Οι συντελεστές επιβάρυνσης κατηγοριοποιούνται σε 4 τάξεις ως εξής:

- $CF < 1$ καμία επιβάρυνση
- $1 < CF < 3$ ασθενής επιβάρυνση
- $3 < CF < 6$ σημαντική επιβάρυνση
- $CF > 6$ πολύ υψηλή επιβάρυνση

Πολύ υψηλό συντελεστή επιβάρυνσης εμφανίζουν για το Cr τα δείγματα PEL3, P5, HM4, για το Ni τα δείγματα KM1, PEL3, P4, P5, HM2, HM4, για τον Pb τα δείγματα KM1, KM2, KM3, KM4, KM7, για το As τα δείγματα KIL1, KIL3 και S7.

Υψηλό συντελεστή επιβάρυνσης που υποδεικνύει σημαντική επιβάρυνση, εμφανίζουν για το Ni το δείγμα PEL1, για το Co τα δείγματα P5, HM4, για τον Cu το δείγμα KM4, για το As το δείγμα PEL1 και για τον Pb, τα δείγματα KM8, KIL5. Οι υπόλοιποι συντελεστές

επιβάρυνσης εμφανίζουν μέτριο έως χαμηλό δείκτη που υποδεικνύουν ασθενή έως καθόλου επιβάρυνση της περιοχής μελέτης.

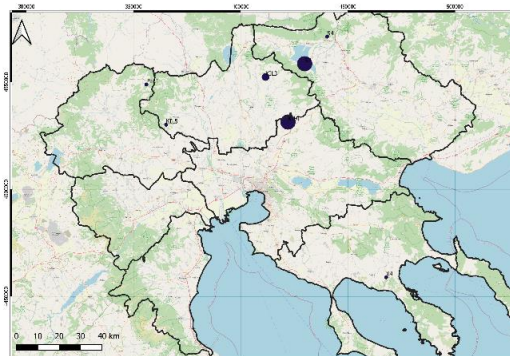
Πίνακας 3.35: Συντελεστές επιβάρυνσης CF για τα ιχνοστοιχεία στη περιοχή μελέτης.

	CF >6 - Υψηλή επιβάρυνση	3 < CF <6 – σημαντική επιβάρυνση	1 < CF <3 – ασθενής επιβάρυνση						
	Cr	Ni	Co	Cu	Zn	As	Sr	Ba	Pb
AVERAGE SOIL*	59,5	29,0	11,3	38,9	70	6,8	175	460	27
KM1	0,68	6,10		0,56	0,55		0,11	1,25	90,91
KM2	0,39	1,96		0,62	0,55			1,22	44,95
KM3	0,38	1,34		0,68	0,33			0,60	24,09
KM4		0,74		5,83	0,40		0,14	0,23	13,97
KM7	0,36	0,80		0,49	0,45			0,18	7,00
KM8	1,43	2,07		0,53	0,27			0,33	4,67
X4		1,39		0,82	0,32	2,55		0,13	
X7		0,88		0,43				0,15	0,64
S4	0,81	1,68		0,69	0,32	2,55	0,10	0,20	0,81
S7		1,16	2,43	0,79		39,45	0,14	0,16	
KIL1	0,50	0,94		0,43	0,29	39,45	0,10	0,34	
KIL3	0,44	1,27		0,61	0,58	14,65		0,23	2,40
KIL5		0,96		0,53	2,59	2,79		1,96	3,77
PEL1	0,95	5,29		0,94	0,30	3,15		0,43	
PEL2	0,57	2,62		0,58	0,23			0,26	
PEL3	8,20	15,53	2,77	0,71	0,36			0,34	
PEL4	0,82	2,17		0,48				0,19	
P2	0,78	2,86		0,53	0,85			0,59	1,06
P4	2,42	9,73	2,39	0,80				0,12	
P5	21,78	33,50	4,67	0,66				0,19	
HM2	1,69	7,65		0,53	0,53			0,28	
HM4	7,15	17,47	3,51	0,80	0,25			0,11	

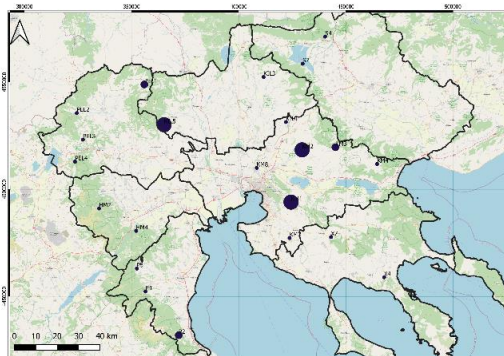
*μέσες συστάσεις των εδαφών κατά Kabata Pendias (2011). Στις περιπτώσεις που η περιεκτικότητα του ιχνοστοιχείου ήταν κάτω από το όριο ανίχνευσης (bdl), δεν υπολογίστηκαν οι αντίστοιχοι συντελεστές ρύπανσης.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας κατασκευάστηκαν επίσης χάρτες κατανομής των 10 ιχνοστοιχείων που προσδιορίστηκαν στα εδάφη. Οι χάρτες παρουσιάζονται στο σχήμα 3.5.

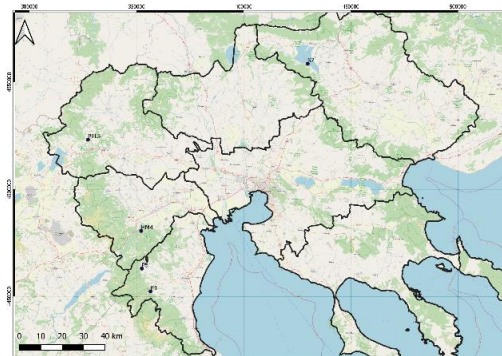
ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ As



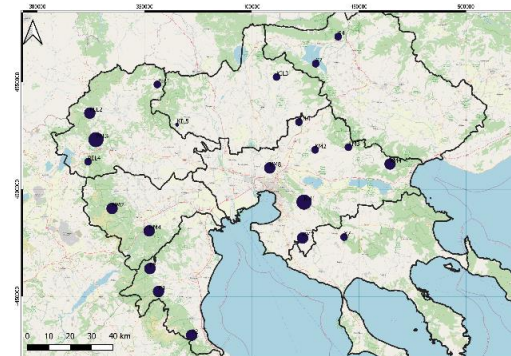
ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ Ba



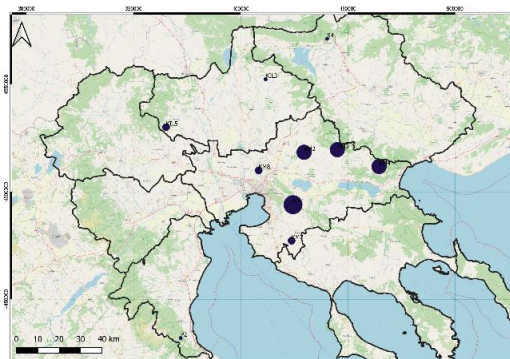
ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ Co



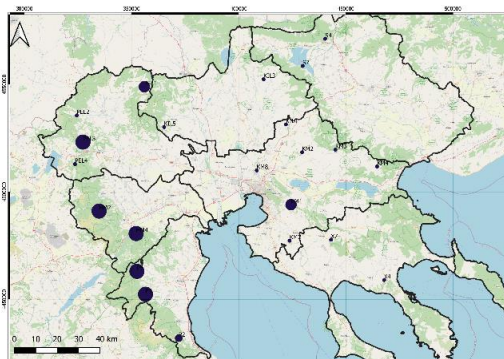
ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ Mn



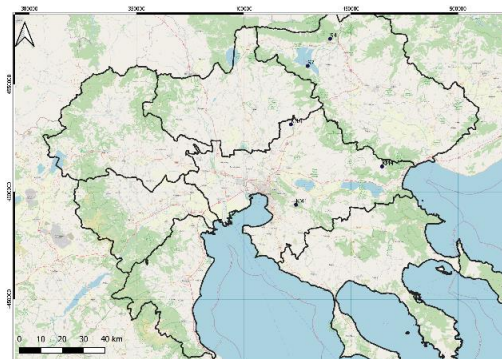
ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ Pb



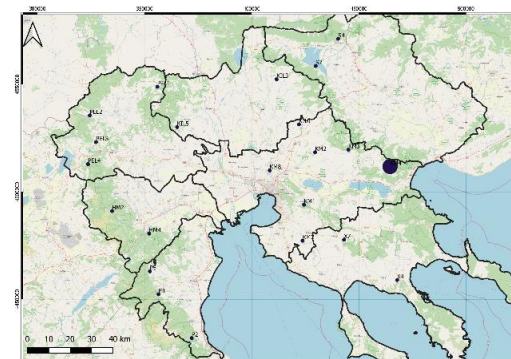
ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ Ni



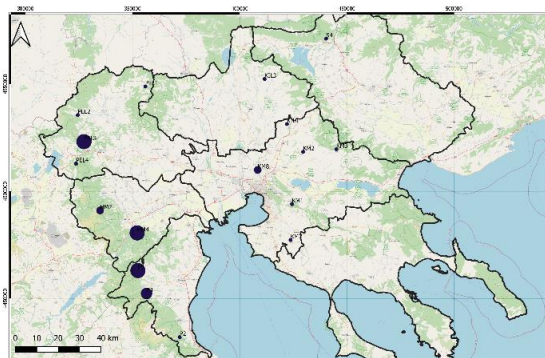
ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ Sr



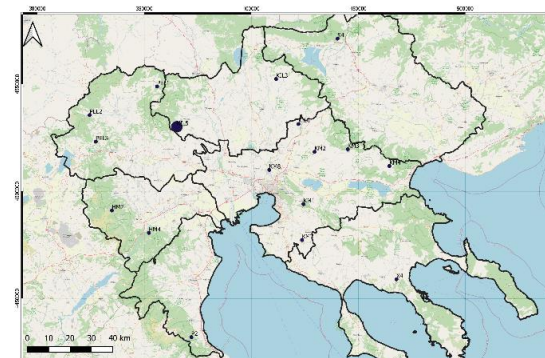
ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ Cu



ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ Cr



ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ Zn



Σχήμα 3.5: Χωρική κατανομή των 10 ιχνοστοιχείων που προσδιορίστηκαν στη περιοχή μελέτης.

Από την χωρική κατανομή των στοιχείων παρατηρείται ότι στο νομό Θεσσαλονίκης παρουσιάζονται υψηλές συγκεντρώσεις σε Pb, Ba και Mn, στους νομούς Σερρών και Κιλκίς υψηλές συγκεντρώσεις σε As και στους νομούς Πέλλας, Ημαθίας και Πιερίας υψηλές συγκεντρώσεις σε Cr και Ni με παρουσία Co.

Στον πίνακα 3.36 παρουσιάζονται οι συνήθεις πηγές γηγενούς και ανθρωπογενούς προέλευσης για τα 6 στοιχεία που εμφανίζουν υψηλές συγκεντρώσεις και υψηλές τιμές του συντελεστή επιβάρυνσης (CF), στη περιοχή μελέτης (Maulana et al 2019, Hudson-Edwards et al. 2004, Webster & Nordstrom 2003, Katsoyiannis et al. 2015, Mikkelsen 2010, Qadir et al. 2018).

Για τα στοιχεία Cr, Ni, Co αλλά και για το Mg, οι υψηλές τιμές συγκέντρωσης και η υψηλή τιμή του δείκτη CF εντοπίζονται σε θέσεις με οφιολιθικά πετρώματα ενώ παράλληλα έχουν προσδιοριστεί θετικοί συντελεστές συσχέτισης μεταξύ τους (γεωχημική συγγένεια). Επιπλέον, από την μελέτη των κόκκων του σιδηρομαγνητικού κλάσματος με την μέθοδο της ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης, παρατηρήθηκε σε πολλές περιπτώσεις η παρουσία ιδιόμορφων κρυστάλλων ορυκτών όπως μαγνητίτη και χρωμίτη. Επιπλέον, η χημική σύσταση των κόκκων έδειξε υψηλές συγκεντρώσεις σε Fe, Cr, Co, Ni με παρουσία V σε πολλές περιπτώσεις. Οι παραπάνω παρατηρήσεις υποδεικνύουν φυσική προέλευση για τα στοιχεία Cr-Ni-Co και MgO τα οποία σχετίζονται με τα οφιολιθικά πετρώματα του υποβάθρου.

Για το As, οι υψηλές τιμές συγκέντρωσης και η υψηλή τιμή του δείκτη CF εντοπίζονται σε περιοχές με γεωθερμικά πεδία και επιπλέον στη περιοχή υπάρχουν και μεταλλοφορίες όπου υπάρχει As, π.χ. Λιθότοπος, Νέα Ηράκλεια, Νιγρίτα (Αγγελίδης 2021, Stergiou et al. 2021). Οι παραπάνω παρατηρήσεις υποδεικνύουν φυσική προέλευση για το As.

Για τον Pb, οι υψηλές τιμές συγκέντρωσης και η υψηλή τιμή του δείκτη CF εντοπίζονται στο νομό Θεσσαλονίκης στην ενότητα Βερτίσκου όπου υπάρχουν πολυμεταλλικές μεταλλοφορίες. Συγκεκριμένα τα δείγματα προέρχονται από περιοχές όπως τα Στεφανινά, ο Σοχός, οι Πέντε Βρύσες και το Ομαλό. Συνεπώς και η προέλευση του Pb είναι γεωγενής

Πίνακας 3.36: Συνηθέστερες πηγές φυσικής και ανθρωπογενούς προέλευσης για τα 6 στοιχεία με τις υψηλές συγκεντρώσεις και τους υψηλούς συντελεστές επιβάρυνσης CF

Οξείδιο / Ιχνοστοιχείο	Φυσική προέλευση	Ανθρωπογενής προέλευση
MgO	Ιζηματογενή πετρώματα (δολομίτες) Υπερβασικά πετρώματα Εβαπορίτες και άλατα	Αγροτική δραστηριότητα – λιπάσματα
Cr	Υπερβασικά πετρώματα Μεταλλοφορίες ορθομαγματικού τύπου	Βιομηχανικά απόβλητα
Ni	Υπερβασικά πετρώματα Σιδηρονικελιούχοι λατερίτες	Βιομηχανικά απόβλητα Οικιακά – αστικά λύματα
Co	Υπερβασικά πετρώματα Μεταλλοφορίες ορθομαγματικού τύπου	Βιομηχανικά απόβλητα
As	Γεωθερμικά ρευστά Μεταλλεύματα (μεικτά θειούχα)	Βιομηχανική δραστηριότητα Αγροτική δραστηριότητα – λιπάσματα και παρασιτοκτόνα
Pb	Ορυκτά καύσιμα Μεταλλεύματα	Αγροτική δραστηριότητα – λιπάσματα και παρασιτοκτόνα Καύσιμα Βιομηχανικά απόβλητα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα εργασία επικεντρώθηκε στη μελέτη 41 εδαφικών δειγμάτων από την Κεντρική Μακεδονία (Παράρτημα) από τα οποία επιλέχθηκε ένα υποσύνολο 22 δειγμάτων. Από αυτό το υποσύνολο διαχωρίστηκε το σιδηρομαγνητικό κλάσμα για περαιτέρω χημικές αναλύσεις. Αρχικά πραγματοποιήθηκαν χημικές αναλύσεις των ολικών εδαφικών δειγμάτων για 9 οξείδια (SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , TiO_2 , Fe_2O_3 , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5) με τη μέθοδο της φασματομετρίας ακτίνων φθορισμού X (XRF) και στη συνέχεια έγινε προσδιορισμός 10 ιχνοστοιχείων (Cr, Ni, Co, Cu, Zn, Sr, Pb, As, Mn, Ba) από ένα υποσύνολο 22 δειγμάτων, με τιμές αναφοράς $\text{Fe}_2\text{O}_3 > 7\%$ κ.β., με τη μέθοδο της φασματομετρίας μάζας επαγωγικά συζευγμένου πλάσματος (ICP-MS). Επιπλέον, προσδιορίστηκαν με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης συνδεδεμένο με φασματοσκόπιο ενεργειακής διασποράς (SEM-EDS) τα μορφολογικά χαρακτηριστικά και η χημική σύσταση του μαγνητικού κλάσματος από αυτό το υποσύνολο των δειγμάτων.

Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή χαρτών κατανομής των ιχνοστοιχείων στη περιοχή μελέτης ενώ παράλληλα έγινε στατιστική επεξεργασία των χημικών αναλύσεων και προσδιορίστηκαν ορισμένες στατιστικές παράμετροι (μέση τιμή, τυπική απόκλιση, συντελεστές γραμμικής συσχέτισης κ.ά.). Επιπλέον, έγινε σύγκριση των χημικών αναλύσεων των ιχνοστοιχείων με τη μέση σύσταση των εδαφών κατά Kabata-Pendias (2011) και υπολογίστηκαν οι συντελεστές επιβάρυνσης.

Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων στα δείγματα (SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , TiO_2 , Fe_2O_3 , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5), κυμαίνονται εντός των φυσιολογικών τιμών για τα εδάφη με βάση τη βιβλιογραφία. Υψηλές τιμές παρατηρούνται κατά θέσεις για τα CaO και MgO οι οποίες ωστόσο συσχετίζονται με τα ανθρακικά και τα υπερβασικά πετρώματα, αντίστοιχα, που υπάρχουν στην περιοχή μελέτης.

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων στα δείγματα (Cr, Ni, Co, Cu, Zn, Sr, Pb, As, Mn, Ba), παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση. Για τα στοιχεία Co, Cu, Zn, Sr, Mn, Ba, οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται εντός των φυσιολογικών τιμών για τα εδάφη με βάση τη βιβλιογραφία, ενώ για τα στοιχεία Cr, Ni, As και Pb, σε ορισμένα δείγματα οι συγκεντρώσεις και οι συντελεστές επιβάρυνσης έχουν πολύ υψηλές τιμές ($>100\text{mg/kg}$ και $\text{CF} > 6$, αντίστοιχα).

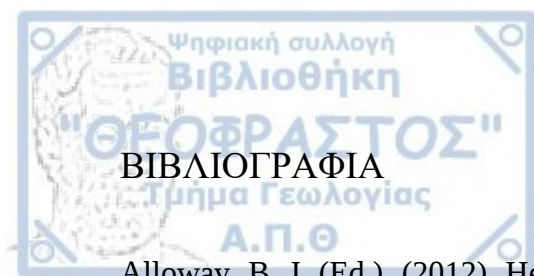
Από τη μελέτη του μαγνητικού κλάσματος με SEM-EDS προσδιορίστηκαν 2 ομάδες αναλύσεων. Η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει υψηλά ποσοστά Fe, καθώς και Cr, Ni, V, Mg και Ti σε μεταβλητές αναλογίες, ενώ η δεύτερη περιλαμβάνει υψηλά ποσοστά σε Si, Al, K, Na και Ca. Η πρώτη ομάδα αναλύσεων αντιπροσωπεύει τη σύσταση των κόκκων του μαγνητικού κλάσματος, οι οποίοι σε ορισμένες περιπτώσεις ήταν ιδιόμορφοι (KM3,4, S7, PEL4), ενώ η

δεύτερη ομάδα αναλύσεων αντιπροσωπεύει τα αργιλικά υλικά με τα οποία είναι επικαλυμμένοι οι μαγνητικοί κόκκοι.

Για τα στοιχεία Cr και Ni προσδιορίστηκε υψηλή θετική συσχέτιση τόσο μεταξύ τους, όσο και με το Co αλλά και το Mg ($r > 0,9$). Στο μαγνητικό κλάσμα των δειγμάτων, εντοπίστηκαν σε πολλές περιπτώσεις ιδιόμορφοι και υπιδιόμορφοι κρύσταλλοι χρωμίτη και μαγνητίτη και η χημική σύστασή τους δείχνει υψηλές συγκεντρώσεις σε Fe, Cr, Ni, Co με παρουσία V και Ti. Από τη χαρτογράφηση των συγκεντρώσεων αυτών των στοιχείων στη περιοχή μελέτης, βρέθηκε ότι οι υψηλές συγκεντρώσεις βρίσκονται σε περιοχές ή κοντά σε περιοχές με οφιολιθικά πετρώματα. Οι παραπάνω παρατηρήσεις υποδεικνύουν φυσική προέλευση για τα στοιχεία Cr και Ni, τα οποία μαζί με το Co και το Mg σχετίζονται με τα οφιολιθικά πετρώματα του υποβάθρου.

Για το στοιχείο As, η χαρτογράφηση των συγκεντρώσεων στη περιοχή μελέτης, έδειξε ότι οι υψηλές συγκεντρώσεις βρίσκονται σε περιοχές ή κοντά σε περιοχές με γεωθερμικά πεδία και μεταλλοφόρες εμφανίσεις και συνεπώς η προέλευση του αρσενικού πιθανόν οφείλεται στα γεωθερμικά ρευστά και στις μεταλλοφορίες της περιοχής (γεωγενής προέλευση).

Για τον Pb, η χαρτογράφηση των συγκεντρώσεων στην περιοχή μελέτης, έδειξε ότι οι υψηλές συγκεντρώσεις βρίσκονται στο νομό Θεσσαλονίκης, στην ενότητα Βερτίσκου όπου υπάρχουν πολυμεταλλικές μεταλλοφορίες. Παρατηρήθηκε ότι τα περισσότερα από αυτά τα δείγματα είναι από περιοχές κοντά σε μεταλλοφορίες και συνεπώς η προέλευση του Pb είναι γεωγενής.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Alloway, B. J. (Ed.). (2012). Heavy metals in soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability (Vol. 22). Springer Science & Business Media.

Amtmann, A., & Rubio, F. (2012). Potassium in plants. Els. Wiley Online Library

Anderson, A. J., Meyer, D. R., & Mayer, F. K. (1973). Heavy metal toxicities: levels of nickel, cobalt and chromium in the soil and plants associated with visual symptoms and variation in growth of an oat crop. *Australian Journal of Agricultural Research*, 24(4), 557-571.

Anke, M., & Seifert, M. (2004). Titanium. Elements and Their Compounds in the Environment: Occurrence, Analysis and Biological Relevance, 1125-1140.

Bartlett, R. J., & Ross, D. S. (2005). Chemistry of redox processes in soils. *Chemical processes in soils*, 8, 461-487.

Brady, N. C., Weil, R. R., & Weil, R. R. (2008). The nature and properties of soils (Vol. 13, pp. 662-710). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

Chardon, E. S., Bosbach, D., Bryan, N. D., Lyon, I. C., Marquardt, C., Römer, J., Schild D., Vaughan D., Wincott P., Wogelius R., & Livens, F. R. (2008). Reactions of the feldspar surface with metal ions: Sorption of Pb (II), U (VI) and Np (V), and surface analytical studies of reaction with Pb (II) and U (VI). *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72(2), 288-297.

Chaudhry, F. M., Wallace, A., & Mueller, R. T. (1977). Barium toxicity in plants. *Communications in soil science and plant analysis*, 8(9), 795-797.

Currie, H. A., & Perry, C. C. (2007). Silica in plants: biological, biochemical and chemical studies. *Annals of botany*, 100(7), 1383-1389.

Davis, R. D., Beckett, P. H. T., & Wollan, E. (1978). Critical levels of twenty potentially toxic elements in young spring barley. *Plant and soil*, 49(2), 395-408.

De Vos, W., & Tarvainen, T. 2021, *Geochemical Atlas of Europe. Part 2–Interpretation of Geochemical Maps, Additional tables, Figures, Maps and Related Publications 2006*

Dobritskaia, I. U. (1969). Distribution of vanadium in natural objects. *Agrokhimia*.

Doherty, J. H., Ji, B., & Casper, B. B. (2008). Testing nickel tolerance of *Sorghastrum nutans* and its associated soil microbial community from serpentine and prairie soils. *Environmental Pollution*, 151(3), 593-598.

Eskew, D. L., Welch, R. M., & Norvell, W. A. (1984). Nickel in higher plants: further evidence for an essential role. *Plant Physiology*, 76(3), 691-693.

FitzPatrick, E. A. (1980). *Soils. Their formation, classification and distribution*. Longman..

Foy, C. D., Chaney, R. T., & White, M. C. (1978). The physiology of metal toxicity in plants. *Annual review of plant physiology*, 29(1), 511-566.

Gad, N. (2005). Interactive effect of salinity and cobalt on tomato plants. II. Some physiological parameters as affected by cobalt and salinity. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 1(3), 270-276.

García-Gaines, R. A., & Frankenstein, S. (2015). USCS and the USDA soil classification system: Development of a mapping scheme.

Giller, K. E., Witter, E., & Mcgrath, S. P. (1998). Toxicity of heavy metals to microorganisms and microbial processes in agricultural soils: a review. *Soil biology and biochemistry*, 30(10-11), 1389-1414.

Goldich, S. S. (1938). A study in rock-weathering. *The Journal of Geology*, 46(1), 17-58.

Gong, H., Zhu, X., Chen, K., Wang, S., & Zhang, C. (2005). Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. *Plant Science*, 169(2), 313-321.

Greger, M. (1999). Metal availability and bioconcentration in plants. In *Heavy metal stress in plants* (pp. 1-27). Springer, Berlin, Heidelberg.

Hakanson, L. (1980). An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water research*, 14(8), 975-1001.

Hawkesford, M. J., & De Kok, L. J. (2007). *Sulfur in plants* (Vol. 6). London: Springer.



Helmke, P. A., & Sparks, D. L. (2000). Potassium, Rubidium, and Cesium. Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods. Madison. In Soil Science Society of America.

Hu, X. F., Su, Y., Ye, R., Li, X. Q., & Zhang, G. L. (2007). Magnetic properties of the urban soils in Shanghai and their environmental implications. *Catena*, 70(3), 428-436.

Hudson-Edwards, K. A., Houghton, S. L., & Osborn, A. (2004). Extraction and analysis of arsenic in soils and sediments. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 23(10-11), 745-752.

Jordanova, D., Hoffmann, V., & Fehr, K. T. (2004). Mineral magnetic characterization of anthropogenic magnetic phases in the Danube river sediments (Bulgarian part). *Earth and Planetary Science Letters*, 221(1-4), 71-89.

Kabata-Pendias, A. (2010). Trace elements in soils and plants. CRC press.

Kabata-Pendias A. (2011). Trace Elements in Soils and Plants. — CRC Press, Boca Raton — London — New York 2011.

Katsoyiannis, I. A., Mitrakas, M., & Zouboulis, A. I. (2015). Arsenic occurrence in Europe: Emphasis in Greece and description of the applied full-scale treatment plants. *Desalination and Water Treatment*, 54(8), 2100-2107.

Lahd Geagea, M., Stille, P., Gauthier-Lafaye, F., & Millet, M. (2008). Tracing of industrial aerosol sources in an urban environment using Pb, Sr, and Bdl isotopes. *Environmental science & technology*, 42(3), 692-698.

Macnicol, R. D., & Beckett, P. H. T. (1985). Critical tissue concentrations of potentially toxic elements. *Plant and Soil*, 85(1), 107-129.

Qadir, M., Schubert, S., Oster, J. D., Sposito, G., Minhas, P. S., Cheraghi, S. A., Murtaza, G., Mirzabaev, A., & Saqib, M. (2018). High-magnesium waters and soils: Emerging environmental and food security constraints. *Science of the Total Environment*, 642, 1108-1117.

Maulana, A. A., Tangahu, B. V., Gde Kartika, A. A., & Sambodho, K. (2019). Study of Lead (Pb) Distribution in Soil of Jetis District, Mojokerto Regency. J Civil Eng Environ Sci, 5(2), 005-012.

Mikkelsen, R. (2010). Soil and fertilizer magnesium. Better crops, 94(2), 26-28.

Nikolaidis, N. P., & Bidoglio, G. (2013). Soil organic matter dynamics and structure. In Sustainable Agriculture Reviews (pp. 175-199). Springer, Dordrecht.

Richmond, K. E., & Sussman, M. (2003). Got silicon? The non-essential beneficial plant nutrient. Current opinion in plant biology, 6(3), 268-272.

Rout, G. R., & Das, P. (2009). Effect of metal toxicity on plant growth and metabolism: I. Zinc. Sustainable agriculture, 873-884.

Sardans, J., Penuelas, J., & Ogaya, R. (2008). Drought's impact on Ca, Fe, Mg, Mo and S concentration and accumulation patterns in the plants and soil of a Mediterranean evergreen Quercus ilex forest. Biogeochemistry, 87(1), 49-69.

Schachtman, D. P., Reid, R. J., & Ayling, S. M. (1998). Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. Plant physiology, 116(2), 447-453.

Soil Science Society of America. (2008). Glossary of soil science terms 2008. ASA-CSSA-SSSA.

Soil Survey Staff, 1999. Soil Taxonomy, a basic classification for making and interpreting soil surveys, 2nd edition Agriculture Handbook 436. USDA, Natural Resources Conservation Service, Washington. 869 p

Staff, S. S. (1999). Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Agriculture handbook, 436.

Stergiou CL, Melfos V, Voudouris P, Spry PG, Papadopoulou L, Chatzipetros A, Giouri K, Mavrogonatos C, Filippidis A. The Geology, Geochemistry, and Origin of the Porphyry Cu-

Au-(Mo) System at Vathi, Serbo-Macedonian Massif, Greece. Applied Sciences. 2021; 11(2):479. <https://doi.org/10.3390/app1102047>

Tabatabai, M. A., Sparks, D. L., & Huang, P. M. (2005). Chemistry of Potassium in Soils. Chemical Processes in Soils. doi:10.2136/sssabookser8.c4

Webster, J. G., & Nordstrom, D. K. (2003). Geothermal arsenic: The source, transport and fate of arsenic in geothermal systems. Arsenic in groundwater: geochemistry and occurrence, 101-125.

Wentworth, C. K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. The journal of geology, 30(5), 377-392.

White, P. J., & Broadley, M. R. (2003). Calcium in plants. Annals of Botany, 92(4), 487-511.

Wuddivira, M. N., & Camps-Roach, G. (2007). Effects of organic matter and calcium on soil structural stability. European Journal of Soil Science, 58(3), 722–727. doi:10.1111/j.1365-2389.2006.00861.x

Xie, H., Huang, S., Martin, S., & Wise Sr, J. P. (2014). Arsenic is cytotoxic and genotoxic to primary human lung cells. Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis, 760, 33-41.

Yan, B., & Hou, Y. (2018, July). Effect of soil magnesium on plants: a review. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 170, No. 2, p. 022168). IOP Publishing.

Betsou, Ch. K. (2020). Determination of the bioaccumulation of radionuclides and trace elements in mosses using nuclear methods. Doctoral dissertation, Faculty of Physics, Aristotle University of Thessaloniki

Αγγελίδης, Κ. (2021). Νέες γεωτρήσεις στο γεωθερμικό πεδίο Λιθοτόπου-Ηράκλειας Νομού Σερρών-Τεχνικά χαρακτηριστικά και δοκιμαστικές αντλήσεις - New geothermal wells in the geothermal field of Lithotopos-Heraklia (Serres)-Technical characteristics and plumping tests.



Προ/Μεταπτυχιακές Διατριβές στη Βιβλιοθήκη Θεόφραστος του Τμήματος Γεωλογίας του ΑΠΘ.

Μαντζούτσος, Ι. (2010). Επισκόπηση θρεπτικής συγκέντρωσης μακρο-μικροθρεπτικών και έλεγχος βαρέων μετάλλων εδαφών νομού Άρτας. Διπλωματική Μεταπτυχιακή εργασία, Τμήμα Χημείας, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

Μουντράκης, Δ. (2021). Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας. University Studio Press, Θεσσαλονίκη.

Παπούλια, Χ. Ε. (2019). Χαρακτηρισμός εδαφών της βόρειας Ελλάδας για την εύρεση στοιχείων ανθρωπογενούς προέλευσης. Διπλωματική Μεταπτυχιακή Εργασία, Τμήμα Φυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Τσιραμπίδης, Α. (2008). Ιζηματογενή Πετρώματα. Γιαχούδης, Θεσσαλονίκη.

Φιλίππιδης Α., (2019). Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωχημεία με στοιχεία Περιβαλλοντικής Ορυκτολογίας και Νομοθεσίας. Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης,

Ψιλοβίκος, Α., & Ψιλοβίκος, Α. (2010). Ιζηματολογία. Εκδόσεις Τζιόλα, 358 σελ.

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

<https://www.geol.umd.edu/~jmerck/geol342/lectures/02.html>

<https://croapaia.com/blog/soil-organic-matter>

<http://scapecforlife.org/soil/how-to-determine-soil-type/>

<http://www.fao.org/3/r4082e/r4082e03.htm>

https://thefactfactor.com/facts/pure_science/biology/soil-profile/1977

<https://www.bitlanders.com/blogs/type-of-soil/202138>



<https://rocksatshorncliffeqld.weebly.com/rock-cycle.html>

<https://therelationfoubdlation.com/couples-counseling/relationship-frost-wedging/>

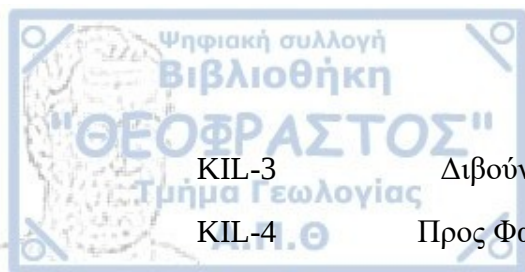
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wibdl_erosion_in_Wadi_Al-Hitan.jpg

<https://www.sciencesource.com/archive/Image/Water-Erosion-SS2201007.html>

<https://www.americangeosciences.org/education/k5geosource/content/rocks/what-is-biological-weathering>

Συντεταγμένες σημείων δειγματοληψίας

KM-1	Χορτιάτης	N 40° 35' 45.6"	E 023° 06' 29.7"
KM-2	Πέντε Βρύσες	N 40° 48' 57.6"	E 023° 09' 59.6"
KM-3	Σοχός	N 40° 49' 41.7"	E 023° 21' 02.2"
KM-4	Στεφανινά	N 40° 45' 31.6"	E 023° 34' 54.6"
KM-5	Ρεντίνα	N 40° 39' 24.3"	E 023° 37' 16.3"
KM-6	Πετροκέρασα	N 40° 33' 09.0"	E 023° 17' 12.1"
KM-7	Άγιος Αντώνιος	N 40° 26' 42.2"	E 023° 06' 08.8"
KM-8	Ωραιόκαστρο	N 40° 44' 16.9"	E 022° 55' 01.0"
P-1	Παλιοί Πόροι	N 39° 57' 57.5"	E 022° 35' 22.0"
P-3	Όλυμπος	N 40° 05' 44.4"	E 022° 25' 45.2"
P-4	Προς Πέτρα	N 40° 12' 41.8"	E 022° 18' 55.5"
P-5	Ελατοχώρι	N 40° 18' 25.9"	E 022° 15' 56.9"
P-6	Προς Φτέρη	N 40° 11' 54.6"	E 022° 13' 47.0"
P-7	Μετά Ρυάκια	N 40° 25' 11.7"	E 022° 24' 08.0"
S-2	Λαϊλιάς	N 41° 12' 20.0"	E 023° 34' 29.5"
S-4	Νέο Πετρίτσι	N 41° 17' 33.1"	E 023° 17' 20.4"
S-5	Άνω Πορόια	N 41° 17' 37.9"	E 023° 02' 11.7"
S-6	Π. Καστανούδα	N 41° 18' 07.0"	E 022° 53' 51.9"
S-7	Κερκίνη	N 41° 10' 40.5"	E 023° 09' 55.1"
S-8	Ελαιώνας	N 41° 06' 26.0"	E 023° 33' 34.6"
HM-1	Άγιος Νικόλαος	N 40° 36' 39.3"	E 022° 02' 39.5"
HM-2	Σέλι - Μαμαριά	N 40° 33' 22.5"	E 022° 03' 03.5"
HM-3	Σουμελά	N 40° 24' 00.7"	E 022° 06' 51.8"
HM-4	Πολύδενδρο	N 40° 27' 55.4"	E 022° 15' 27.3"
KIL-1	Λευκοχώρι	N 40° 55' 55.7"	E 023° 04' 32.4"
KIL-2	Θεοδόσια	N 40° 59' 26.8"	E 023° 07' 54.6"



KIL-3	Διβούνι	N 41° 07' 12.8"	E 022° 56' 54.7"
KIL-4	Προς Φανό	N 41° 04' 10.0"	E 022° 28' 38.8"
KIL-5	Ομαλό - Προς Πεντάλοφο	N 40° 54' 48.4"	E 022° 24' 03.0"
PEL-1	Προς Αρχάγγελο	N 41° 04' 51.5"	E 022° 17' 12.9"
PEL-2	Όρμα	N 40° 57' 16.6"	E 021° 54' 55.9"
PEL-3	Καρυδιά	N 40° 50' 37.3"	E 021° 57' 11.5"
PEL-4	Κεδρώνας	N 40° 45' 01.0"	E 021° 54' 44.0"
PEL-5	Κρανεά	N 40° 54' 05.6"	E 022° 09' 17.0"
X-1	Προς Ταξιάρχη	N 40° 28' 57.9"	E 023° 34' 32.3"
X-2	Βαρβάρα	N 40° 33' 00.3"	E 023° 41' 49.1"
X-3	Μεγάλη Παναγιά	N 40° 27' 31.2"	E 023° 39' 20.8"
X-4	Μεταγίτσι	N 40° 16' 58.7"	E 023° 37' 25.2"
X-5	Προς Παρθενώνα	N 40° 06' 20.1"	E 023° 48' 05.3"
X-6	Χανιώτη - Νέα Σκιώνη	N 39° 58' 22.0"	E 023° 32' 54.9"
X-7	Βάβδος	N 40° 27' 02.0"	E 023° 19' 50.0"
X-8	Φούρκα	N 40° 01' 17.4"	E 023° 25' 15.5"