

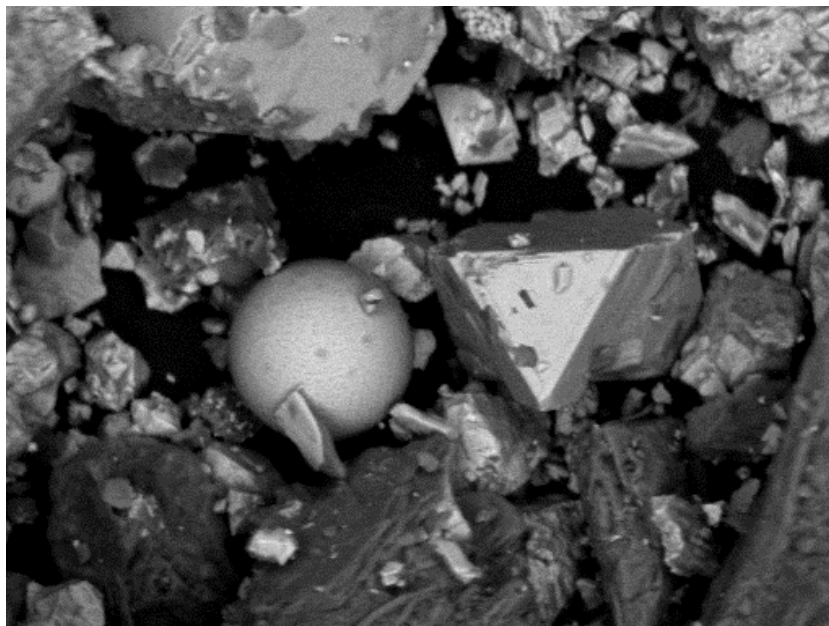
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ-ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ-ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΧΡΥΣΟΥΛΑ Β. ΧΡΥΣΑΚΟΠΟΥΛΟΥ

Πτυχιούχος Γεωλόγος

**ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ, ΧΗΜΙΚΗ ΚΑΙ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΤΑ ΕΛΑΦΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ
ΣΑΡΙΓΚΙΟΥ, ΚΟΖΑΝΗ ΚΑΙ Η ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΤΟΥΣ ΣΗΜΑΣΙΑ**



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ 'ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΚΑΙ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ',
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: 'ΟΡΥΚΤΟΙ ΠΟΡΟΙ-ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ'*

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2023





ΧΡΥΣΟΥΛΑ Β. ΧΡΥΣΑΚΟΠΟΥΛΟΥ
Πτυχιούχος Γεωλόγος

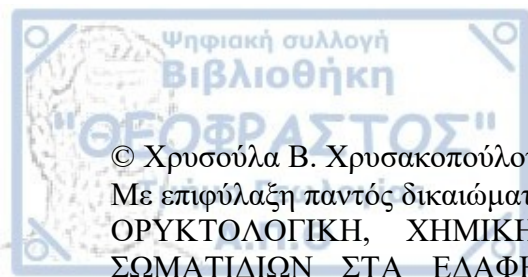
ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ, ΧΗΜΙΚΗ ΚΑΙ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ
ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΤΑ ΕΔΑΦΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΣΑΡΙΓΚΙΟΥ, ΚΟΖΑΝΗ ΚΑΙ Η
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΤΟΥΣ ΣΗΜΑΣΙΑ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών
Σπουδών 'Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία', Κατεύθυνση 'Ορυκτοί Πόροι-
Περιβάλλον'

Ημερομηνία Προφορικής Εξέτασης: 28/03/2023

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Καντηράνης Ν., Καθηγητής, Επιβλέπων
Παπαδοπούλου Λ., Καθηγήτρια, Μέλος
Βογιατζής Δ., ΕΔΙΠ, Μέλος Τριμελούς



© Χρυσούλα Β. Χρυσakoπούλου, Γεωλόγος, 2023

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ, ΧΗΜΙΚΗ ΚΑΙ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΤΑ ΕΔΑΦΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΣΑΡΙΓΚΙΟΛ, ΚΟΖΑΝΗ ΚΑΙ Η ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΤΟΥΣ ΣΗΜΑΣΙΑ – *Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία*

© Chrysoula V. Chrysakopoulou, Geologist, 2023

All rights reserved.

MINERALOGICAL, CHEMICAL AND MORPHOLOGICAL STUDY OF MAGNETIC PARTICLES IN THE SOILS OF SARIGIOL BASIN, KOZANI AND THEIR ENVIRONMENTAL SIGNIFICANCE– *Master Thesis*

Citation:

Χρυσakoπούλου Χ. Β., 2023. – Ορυκτολογική, χημική και μορφολογική μελέτη μαγνητικών σωματιδίων στα εδάφη της λεκάνης Σαριγκιόλ, Κοζάνη και η περιβαλλοντική τους σημασία Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., σελ. 71

Chrysakopoulou C. V., 2023. – Mineralogical, chemical and morphological study of magnetic particles in the soils of Sarigiol basin, Kozani and their environmental significance, Aristotle University of Thessaloniki, pp.71

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.

Εικόνα Εξωφύλλου: Μικροφωτογραφία από το Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης (SEM) στην οποία απεικονίζονται ένα μαγνητικό σωματίδιο ανθρωπογενούς προέλευσης (αριστερά) και ένα μαγνητικό σωματίδιο λιθογενούς προέλευσης (δεξιά)

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία διερευνά την παρουσία των μαγνητικών σωματιδίων στα εδάφη της λεκάνης Σαριγκιόλ, στην περιοχή της Κοζάνης καθώς επίσης και την περιβαλλοντική τους σημασία. Η έρευνα εστιάζει στην αναγνώριση της ανθρωπογενούς ή λιθογενούς προέλευσης των μαγνητικών σωματιδίων που εμπεριέχονται στα εδάφη της περιοχής και μετέπειτα στην ερμηνεία της περιβαλλοντικής τους σημασίας.

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή κ. Καντηράνη Νικόλαο για την επίβλεψη της εκπόνησης της μεταπτυχιακής διπλωματικής μου εργασίας. Η άριστη και ουσιαστική καθοδήγηση του, η εμπιστοσύνη που μου έδειξε, οι γνώσεις που μου μετέφερε, οι ανεκτίμητες συμβουλές του αλλά και η συμπαράστασή του στις όποιες δυσκολίες αντιμετώπισα είναι λίγοι από τους λόγους για τους οποίους θα ήθελα να του εκφράσω τις ευχαριστίες μου.

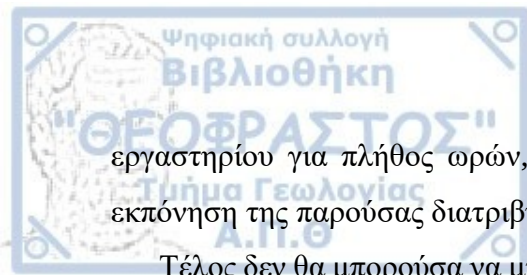
Ευχαριστώ θερμά την Καθηγήτρια κ. Παπαδοπούλου Λαμπρινή για την πολύτιμη βοήθεια της και τον χρόνο που μου διέθεσε για την παρατήρηση των δειγμάτων στο Μικροσκόπιο Ηλεκτρονικής Σάρωσης (SEM) αλλά φυσικά και για τις συμβουλές της.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Δημήτριο Βογιατζή, ΕΔΙΠ, για τις συμβουλές που μου προσέφερε και τη βοήθεια του στην εκπόνηση της μεταπτυχιακής μου διπλωματικής εργασίας.

Αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω θερμά τον Ομότιμο Καθηγητή κ. Φιλίππιδη Ανέστη για τις ανεκτίμητες συμβουλές του και τις γνώσεις που μου μετέδωσε κατά την διάρκεια της εκπόνησης της συγκεκριμένης διατριβής.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην εταιρία ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΑ Α.Ε καθώς μέσω της υποτροφίας που μου παρείχε αποτέλεσε σημαντικό αρωγό για την διεκπεραίωση και ολοκλήρωση της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας.

Δεν θα μπορούσα να μην εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς τους συναδέλφους μου/συμφοιτητές μου στο Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών κ.κ Μανθόπουλο Νικόλαο, Μπάκο Διονύσιο, Πεταρούδα Δάφνη- Αγορή, Σαράφη Δημήτριο και Χατζηβρέττα Αποστολία, καθώς επίσης και τις υποψήφιες διδάκτορες του Τομέα Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας Μυτιγλάκη Χριστίνα και Κωβαίου Σουλτάνα-Κυριακή και τον διδάκτορα ερευνητή του Τμήματος Γεωλογίας, του Τομέα Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας κ. Δρακούλη Αλέξανδρο, με τους οποίους μοιράστηκα τον χώρο του



εργαστηρίου για πλήθος ωρών, αλλά και για την βοήθεια που μου προσέφεραν κατά την εκπόνηση της παρούσας διατριβής.

Τέλος δεν θα μπορούσα να μην πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου καθώς τόσο με την υλική όσο και με την ψυχική βοήθεια τους και συνεισφορά, μπόρεσα να βγάλω εις πέρας τις σπουδές μου. Ο άνθρωπος που έχω γίνει σήμερα το οφείλω σε αυτούς.

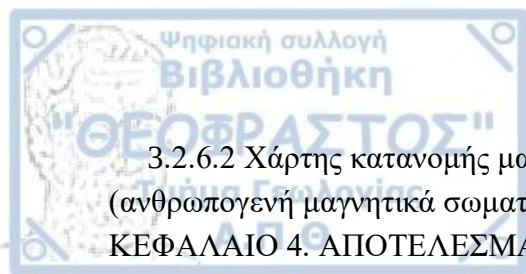
Θεσσαλονίκη, 2023

Χρυσούλα Χρυσικοπούλου



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	9
ABSTRACT	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	13
1.1 ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΕΔΑΦΩΝ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ	13
1.1.1 Σχηματισμός εδάφους	13
1.1.2 Σύσταση εδάφους	14
1.1.3 Κυριότεροι ρυπαντές και πηγές ρύπανσης	14
1.2 ΣΥΣΤΑΣΗ ΕΔΑΦΩΝ ΤΗΣ ΚΟΖΑΝΗΣ	15
1.2.1 Λιθολογική και χημική σύσταση των εδαφών της Κοζάνης	15
1.2.2 Κυριότεροι ρυπαντές και πηγές ρύπανσης στην περιοχή της Κοζάνης	17
1.3 ΚΥΡΙΟΣ ΣΤΟΧΟΣ-ΣΚΟΠΟΣ	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	20
2.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΚΑΙ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	20
2.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	22
2.2.1 Γενικά χαρακτηριστικά	22
2.2.2 Γεωτεκτονική θέση	22
2.2.3 Λιθοστρωματογραφία της περιοχής	22
2.2.4 Τεκτονική της περιοχής	26
2.2.5 Υδρογεωλογικό καθεστώς της περιοχής	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ	30
3.1 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ	30
3.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ	31
3.2.1 Εισαγωγή	31
3.2.2 Απομόνωση μαγνητικών σωματιδίων	33
3.2.3 Ορυκτολογική μελέτη του μαγνητικού κλάσματος	34
3.2.4 Γεωχημική μελέτη του μαγνητικού κλάσματος	34
3.2.5 Μορφολογική εξέταση και μικροανάλυση του μαγνητικού κλάσματος	35
3.2.5.1 Στερεοσκοπική μικροανάλυση των μαγνητικών σωματιδίων	35
3.2.5.2 Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης	35
3.2.6 Κατασκευή χαρτών	35
3.2.6.1 Γεωλογικός χάρτης	35



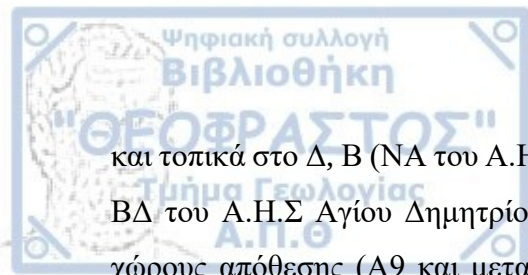
3.2.6.2 Χάρτης κατανομής μαγνητικού κλάσματος και του λόγου Α.Μ.Σ/Λ.Μ.Σ (ανθρωπογενή μαγνητικά σωματίδια/ λιθογενή μαγνητικά σωματίδια).....	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	37
4.1 ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ	37
4.2 ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ	39
4.2.1 Χημική σύσταση των δειγμάτων πριν την απομόνωση του μαγνητικού κλάσματος.....	39
4.2.2 Χημική σύσταση του μαγνητικού κλάσματος.....	40
4.3 ΑΠΟΜΟΝΩΣΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΚΛΑΣΜΑΤΟΣ	45
4.4 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΚΑΙ ΜΙΚΡΟΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΚΛΑΣΜΑΤΟΣ.....	48
4.4.1 Στερεοσκοπική παρατήρηση.....	48
4.4.2 Ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης.....	51
4.4.2.1 Μέγεθος των μαγνητικών σωματιδίων.....	51
4.4.2.2 Μορφολογία των μαγνητικών σωματιδίων.....	52
4.4.2.3 Κατανομή του λόγου των ανθρωπογενών μαγνητικών σωματιδίων (Α.Μ.Σ) προς τα λιθογενή μαγνητικά σωματίδια (Λ.Μ.Σ).....	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	62
Βιβλιογραφία.....	65

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ανάπτυξη της βιομηχανία την τελευταία δεκαετία έχει επιφέρει μία ορατή ανακατανομή των μετάλλων στο περιβάλλον με κυριότερο αποδέκτη αυτής να είναι το έδαφος. Στην Ελλάδα, μία κατηγορία από τους εν δυνάμει ρυπαντές του περιβάλλοντος αποτελούν οι ατμοηλεκτρικοί σταθμοί καύσης λιγνίτη, με την περιοχή της Κοζάνης να φιλοξενεί το μεγαλύτερο Λιγνιτικό κέντρο της Ελλάδας (ΛΚΔΜ). Κύριος σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας αποτελεί η μορφολογική, ορυκτολογική και χημική ανάλυση του μαγνητικού κλάσματος στα εδάφη της λεκάνης Σαριγκιόλ στην περιοχή της Κοζάνης και εν συνεχεία το περιβαλλοντικό του αντίκτυπο.

Από την δειγματοληψία προέκυψαν 47 δείγματα ιζήματος (0-10 cm βάθος) και 12 δείγματα εδάφους από τον αποσαθρωμένο μανδύα ακριβώς επάνω από το υπόβαθρο, από 59 διαφορετικές θέσεις στη λεκάνη Σαριγκιόλ. Από τον προσδιορισμό της ορυκτολογικής σύστασης του μαγνητικού κλάσματος προέκυψε ότι κυρίαρχο ορυκτό είναι ο μαγνητίτης και ακολουθούν ο σερπεντίνης, ο ασβεστίτης, τα αργιλικά ορυκτά, ο πυρόξενος, ο ολιβίνης και τέλος ο χαλαζίας. Τα χημικά στοιχεία που επικρατούν στα μαγνητικά σωματίδια των εξεταζόμενων δειγμάτων είναι ο Fe και ακολουθούν τα Si, Ca, Mg, Al, Cr κ.ά. Το μαγνητικό κλάσμα δείχνει μία τάση συσσώρευσης στα δείγματα εδάφους του αποσαθρωμένου μανδύα. Η μέση τιμή του μαγνητικού κλάσματος της περιοχής όπως προέκυψε από την απομόνωσή του στα 12 δείγματα εδάφους είναι 3,36% κ.β., ενώ για τα 47 δείγματα ιζήματος υπολογίστηκε 0,67% κ.β. Οι υψηλότερες τιμές μαγνητικού κλάσματος στη λεκάνη Σαριγκιόλ εμφανίζονται στα ΒΑ και ΝΔ αυτής για τα δείγματα εδάφους και ΒΑ, ΒΔ και Ν για τα δείγματα ιζημάτων. Κύρια πηγή για τα μαγνητικά σωματίδια στα δείγματα εδάφους αποτελούν τα οφιολιθικά συμπλέγματα της περιοχής, ενώ για τα δείγματα ιζήματος η πηγή είναι τόσο τα οφιολιθικά συμπλέγματα, όσο και η διασπορά της ιπτάμενης τέφρας από την δραστηριότητα των ατμοηλεκτρικών σταθμών της περιοχής (ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου και ΑΗΣ Καρδιάς).

Ο διαχωρισμός των λιθογενών μαγνητικών σωματιδίων (Λ.Μ.Σ) από τα ανθρωπογενή μαγνητικά σωματίδια (Α.Μ.Σ) έγκειται στην μορφολογία του καθενός, με τα Λ.Μ.Σ να έχουν κυρίως τη μορφή οκταέδρων και τα Α.Μ.Σ τη μορφή σφαιριδίων, τυπική μορφή σωματιδίων που προέρχονται από την ιπτάμενη τέφρα από την καύση λιγνίτη στους Α.Η.Σ. Ο λόγος των Α.Μ.Σ/Λ.Μ.Σ στα υπό εξέταση δείγματα έχει μέση τιμή 0,08 με τις υψηλότερες τιμές να παρατηρούνται στο ΒΑ-Α τμήμα της περιοχής μελέτης (πλησίον του Α.Η.Σ Αγίου Δημητρίου)



και τοπικά στο Δ, Β (ΝΑ του Α.Η.Σ Καρδιάς) μέρος αυτής. Οι υψηλοί λόγοι Α.Μ.Σ/Λ.Μ.Σ στα ΒΔ του Α.Η.Σ Αγίου Δημητρίου αποδίδονται στη διασπορά τέφρας από τους προσωρινούς χώρους απόθεσης (Α9 και μεταφόρτωσης) και από τον ταινιόδρομο μεταφοράς της τέφρας μέχρι το ορυχείο του Νοτίου Πεδίου που διασχίζει όλη την βόρεια πλευρά της λεκάνης Σαριγκιόλ. Στο ΒΑ-Α άκρο της περιοχής μελέτης ο υψηλός λόγος Α.Μ.Σ/Λ.Μ.Σ αποδίδεται επίσης στη διασπορά της ιπτάμενης τέφρας που παράγεται στον Α.Η.Σ Αγίου Δημητρίου. Τέλος, στο Β τμήμα της περιοχής μελέτης η υψηλή αναλογία Α.Μ.Σ/Λ.Μ.Σ οφείλεται στη δραστηριότητα του Α.Η.Σ Καρδιάς, ενώ στο Δ αν και η αναλογία Α.Μ.Σ/Λ.Μ.Σ είναι υψηλή, τα οφιολιθικά συμπλέγματα που εντοπίζονται στην περιοχή αποτελούν την κύρια πηγή των μαγνητικών σωματιδίων.

MINERALOGICAL, CHEMICAL AND MORPHOLOGICAL STUDY OF MAGNETIC PARTICLES IN THE SOILS OF SARIGIOL BASIN, KOZANI AND THEIR ENVIRONMENTAL SIGNIFICANCE

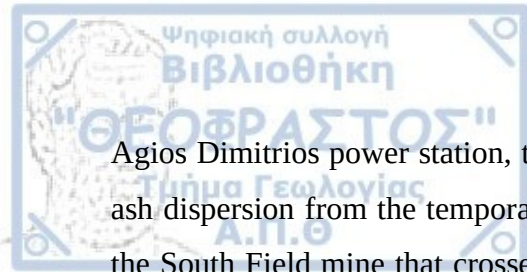
Chrysoula V. Chrysakopoulou

ABSTRACT

Over the last decade, the industrial development has brought about a visible redistribution of metals in the environment with the main recipient being the soil. In Greece, a category of potential environmental pollutants are steam generated electric power stations, with Kozani region hosting the largest lignite center in Greece (WMLC). The main purpose of this master's thesis is the morphological, mineralogical and chemical analysis of the magnetic fraction in the soils of Sarigiol basin in the region of Kozani and its environmental impact.

The sampling consists of 47 sediment samples (10 cm depth) and 12 soil samples from the weathering mantle above the bedrock (surface), from 59 different locations in Sarigiol basin. From the determination of the mineralogical composition of the magnetic fraction, it emerged that the predominant mineral is magnetite, followed by lizardite, calcite, clay minerals, pyroxene, olivine and quartz. The elements that prevail in the magnetic particles of the samples are Fe, followed by Si, Ca, Mg, Al, Cr etc. The magnetic fraction shows a tendency to accumulate in soil samples. The average value of the magnetic fraction of the soils of the area, as it resulted from its isolation from the samples is 3.36 wt.% for the soil samples and 0.67 wt.% for the sediment samples with the highest values appearing NE and SW of the study area for the soil samples NW, NE and S of the study area for the sediment samples. The main source for the magnetic particles in the soil samples are the ophiolite complexes of the area, while for the samples the source is both the ophiolite complexes and the fly ash dispersion from the steam power stations of the area, Agios Dimitrios and Kardias.

The grading of lithogenic magnetic particles (LMP) from anthropogenic magnetic particles (AMP) lies in the morphology of each, with the LMP having mainly the form of octahedrons and the AMP the form of spheres, a typical form of particles derived from fly ash from steam generated electric power stations. The ratio of AMP/LMS in the studied samples has an average value of 0.08 with the highest values corresponding to the NE part of the study area (near Agios Dimitrios power station) and locally in the W, N (SE of Kardias power station) part of it. NW of



Agios Dimitrios power station, the high proportions of the ratio AMP/LMP are due to the fly ash dispersion from the temporary ash deposition sites and the ash transport conveyor belt to the South Field mine that crosses the entire northern side of Sarigiol basin. At the NE and E end of the study area, the high ratio of AMP/LMP is probably due to the fly ash dispersion from Agios Dimitrios power station. Finally, in the N part of the study area, the high ratio of AMP/LMP is due to the activity of Kardias power station while in the W, although the ratio AMS/LMS is high, the ophiolite complexes located in the area constitute the main source of magnetic particles.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΕΔΑΦΩΝ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ

1.1.1 Σχηματισμός εδάφους

Το έδαφος αποτελείται από ένα μείγμα ανόργανων και οργανικών σωματιδίων ποικίλου μεγέθους και σύστασης τα οποία συνιστούν το 50% του συνολικού του όγκου. Το υπόλοιπο 50% αποτελεί το πορώδες με κενούς χώρους, διόδους για το νερό, τον αέρα, την κίνηση μικρών ζώων, αλλά και την ανάπτυξη των ριζωμάτων των φυτών (Foth 1991). Το 99% των εδαφών παγκοσμίως προέρχεται από μητρικό υλικό ανόργανης σύστασης το οποίο σχηματίζεται από την διάβρωση του υποβάθρου. Το υπόλοιπο 1% σχηματίζεται από το οργανικό υλικό που προκύπτει από την ανάπτυξη των φυτών και αποτελείται από τύρφη ή ίζημα αποτελούμενο από οργανικό υλικό <50%.

Οι ορίζοντες από τους οποίους αποτελείται το έδαφος έχουν διαφορετικές φυσικοχημικές και βιολογικές ιδιότητες. Οι μικροοργανισμοί που διαβιούν στους ανώτερους ορίζοντες του εδαφικού προφίλ αποτελούν μέχρι και το 20% της συνολικής πανίδας του (Kabata-Pendias 2011). Οι ασπόνδυλοι οργανισμοί του εδάφους συμμετέχουν ενεργά στην μηχανική αποδόμηση των λειψάνων των φυτών, ενώ οι ζωτικές λειτουργίες των μικροοργανισμών προκαλούν τη χημική αποδόμηση των αρχικών οργανικών συστατικών. Η αποδόμηση περιλαμβάνει την μετατροπή του άμυλου και του λευκώματος σε σάκχαρα και πεπτίδια αντίστοιχα. Αυτές οι διαδικασίες πραγματοποιούνται ταυτόχρονα με απώλεια υγρασίας καθώς και παραγωγή CO₂. Έπειτα, πολυπλοκότερα μόρια (κυτταρίνη, λιγνίνη) βιοαποδομοούνται με τελικό προϊόν τα χουμικά συστατικά, με τη διαδικασία της *χουμοποίησης* (Καλαϊτζίδης 2007).

Σε περιοχές όπου παρατηρείται έντονη βλάστηση, η χουμοποίηση και η συσσώρευση οργανικού υλικού πραγματοποιείται σε λίγες δεκαετίες, σχηματίζοντας τον *ορίζοντα Ο*, πολύ πλούσιο σε οργανικό υλικό με ελαφρώς, μερικώς ή πλήρως χουμοιωμένα συστατικά όπως κλαδιά, βρύα κ.ά. Με χρώμα σκούρο καφέ έως μαύρο, το ποσοστό των ορυκτών συστατικών σε αυτόν τον ορίζοντα είναι αρκετά περιορισμένο. Κάτω από τον ορίζοντα Ο σχηματίζεται ο *ορίζοντας Α*, με μεγαλύτερη συμμετοχή σε ανόργανα συστατικά αναμεμειγμένα με οργανικό

υλικό και με μία μορφολογία διαφορετική σε σχέση με τους υποκείμενους ορίζοντες E, B και C (Hartemink et al. 2020), ενώ χαρακτηρίζεται από έντονες διαδικασίες έκπλυσης.

1.1.2 Σύσταση εδάφους

Σε παγκόσμιο επίπεδο η ορυκτολογική σύσταση των εδαφών είναι η εξής: 45-80% χαλαζίας, 5-35% άστριοι, 9-34% αργιλικά ορυκτά και 1% οξείδια του Fe, Mn και Al (Kabata-Pendias 2011). Αυτές οι περιεκτικότητες αντανakλούν τη μέση σύσταση των εδαφών παγκοσμίως σε κύρια στοιχεία με το Si να κυριαρχεί με 330 g/kg και έπειτα ακολουθούν το Al με 71 g/kg, ο Fe με 40 g/kg, το Ca με 15 g/kg και το K με 15 g/kg (Amoros et al. 2013). Τα ιχνοστοιχεία αποτελούν έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες ελέγχου της συμπεριφοράς του εδάφους. Για παράδειγμα, ο Fe, ο οποίος αποτελεί το πιο κοινό κατιόν κατά το στάδιο της οξείδωσης επηρεάζει τη συμπεριφορά πλήθους κατιόντων όπως τα Co^{+2} , W^{+6} , V^{+3} , V^{+4} , Cr^{+3} , Ti^{+3} , Ti^{+4} , Mn^{+2} , U^{+4} , Pb^{+2} , ενώ έχει αποδειχθεί ότι αιωρούμενα σωματίδια πλούσια σε Fe και H_2S ελέγχουν σημαντικά τη συμπεριφορά των ιχνοστοιχείων σε χερσαία περιβάλλοντα (Kabata-Pendias 2011). Το κυρίαρχο ιχνοστοιχείο των εδαφών είναι το Ti με 7038 mg/kg και ακολουθούν το Mn με 488 mg/kg, το Ba με 460 mg/kg, το Cl με 300 mg/kg, το F με 321 mg/kg, το Zr με 267 mg/kg, το Sr με 175 mg/kg, το V με 129 mg/kg, ο Zn με 70 mg/kg και το Rb με 68 mg/kg (Kabata-Pendias 2011).

Το pH και το Eh αποτελούν δύο παράγοντες οι οποίοι ελέγχουν τις φυσικές, αλλά και χημικές ιδιότητες των εδαφών. Οι τιμές του pH για τα εδάφη παγκοσμίως κυμαίνονται από 4 έως 14 με συνθήκες πλήρους απουσίας οξυγόνου και έντονη παρουσία οξυγόνου, αντίστοιχα, ενώ για το Eh από <300 έως 750 mV με αναερόβιες και οξειδωτικές συνθήκες, αντίστοιχα (Kabata-Pendias 2011).

1.1.3 Κυριότεροι ρυπαντές και πηγές ρύπανσης

Η ανάπτυξη της βιομηχανικής και της γεωργικής δραστηριότητας έχει επιφέρει τα τελευταία χρόνια μια ραγδαία αλλαγή του ισοζυγίου των μετάλλων στο έδαφος. Τα ιχνοστοιχεία As, Sn, Cd, Pb και Hg αποτελούν τους πιο κοινούς ρυπαντές των εδαφών και σε συγκεκριμένες ποσότητες απειλούν την ανθρώπινη ζωή. Ωστόσο τις τελευταίες δεκαετίες επιπλέον μέταλλα προστίθενται στη λίστα όπως το Sb και το Ni. Το F επίσης όταν εντοπίζεται στα εδάφη σε μεγάλες συγκεντρώσεις και μετατρέπεται σε HF αποτελώντας έναν ιδιαίτερα επικίνδυνο ρυπαντή αλλάζοντας ολοκληρωτικά τις ιδιότητες του εδάφους (Kabata-Pendias 2011).

Οι οργανικοί ρύποι αποτελούν μία ομάδα ρύπων με ιδιαίτερο ενδιαφέρον εξαιτίας των επιπτώσεων τους στην ανθρώπινη υγεία. Οι κυριότεροι από αυτούς είναι οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες και τα πολυχλωριώμενα διφαινύλια. Οι οργανικοί ρύποι είναι ιδιαίτερα δύσκολο να ανιχνευθούν μιας και βρίσκονται σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις στα εδάφη και στα ιζήματα, αλλά και διότι κάποιοι από αυτούς είναι ιδιαίτερα πτητικοί και απομακρύνονται από τα δείγματα πριν αναλυθούν (Σιαβάλας 2013).

Η περιβαλλοντική ρύπανση αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζει η ανθρωπότητα σήμερα. Το 2015 είχε προβλεφθεί ότι ασθένειες προερχόμενες από περιβαλλοντική ρύπανση θα έχουν ως αποτέλεσμα τον πρόωρο θάνατο 9.000.000 ανθρώπων (Landrigan et al. 2017). Πέρα από τις φυσικές καταστροφές οι οποίες επιφέρουν βλάβες στο έδαφος, οι κυριότερες πηγές ρύπανσης είναι τα βιομηχανικά καθώς και τα αστικά λύματα. Η παράνομη απόρριψη ή καύση αποβλήτων λόγω έλλειψης ή μη σωστής κατασκευής χώρων ΧΥΤΕΑ είναι οι σημαντικότεροι συντελεστές της εδαφικής ρύπανσης.

Εργοστάσια παραγωγής πετροχημικών προϊόντων, διυλιστήρια, ατμοηλεκτρικοί σταθμοί, καθώς και η διανομή μέσω του οδικού δικτύου πολύ συχνά επιφέρουν περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις στο έδαφος. Οι δραστηριότητες αυτές παράγουν τεράστιες ποσότητες οργανικών και ανόργανων ρύπων. Ατμοηλεκτρικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στους οποίους η διαδικασία καύσης δεν πραγματοποιείται κάτω από σωστές προϋποθέσεις (π.χ ακατάλληλα ηλεκτροστατικά φίλτρα) αποτελούν και αυτοί πηγές ατμοσφαιρικής και συνάμα εδαφικής ρύπανσης. Η αναζήτηση και κυρίως η εξόρυξη ιδιαίτερα των μεταλλευμάτων και των ορυκτών καυσίμων, όταν δεν γίνονται με τις σωστές περιβαλλοντικά πρακτικές έχουν ως αποτέλεσμα ποικίλου βαθμού και μορφών ρύπανσης των εδαφών (Prince et al. 2020).

Η αύξηση του πληθυσμού και οι ανάγκες που δημιουργούνται έχουν ως αποτέλεσμα την παραγωγή τροφίμων με μεγαλύτερη ταχύτητα. Οι γεωργικές δραστηριότητες και τα απόβλητα που παράγουν αποτελούν και αυτά σημαντικούς ρυπαντές. Εκτεταμένη και μη σωστή χρήση λιπασμάτων και εντομοκτόνων με νιτρικές και φωσφορικές ενώσεις επιβαρύνουν ιδιαίτερα το έδαφος. Τέλος, οι αποψιλώσεις εκτάσεων, αλλά και η ρύπανση από πλαστικά αποτελούν σημαντικές απειλές του εδάφους.

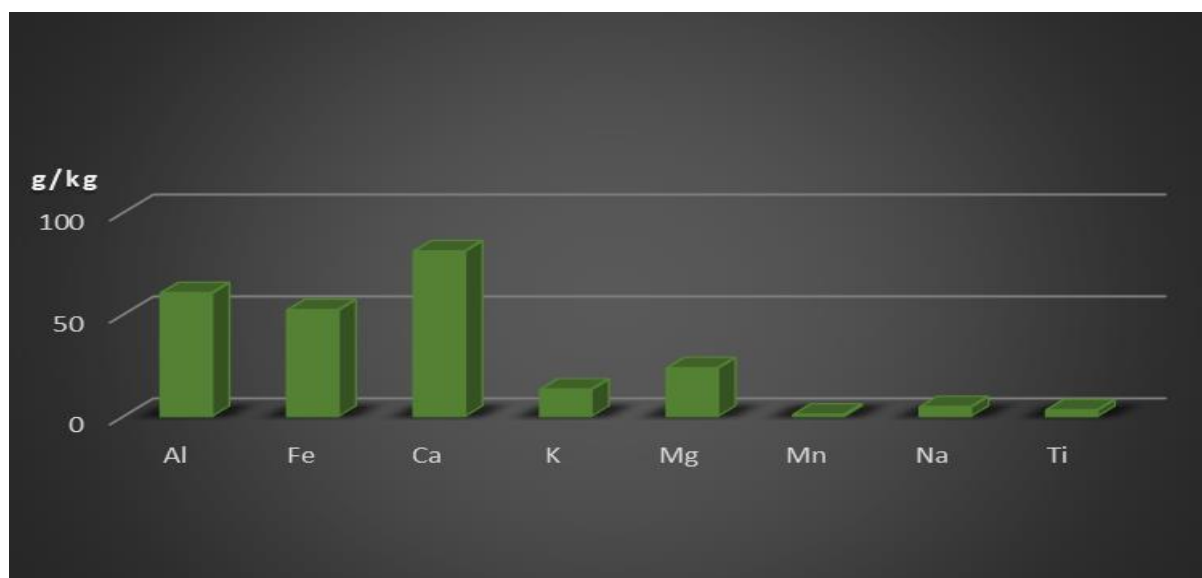
1.2 ΣΥΣΤΑΣΗ ΕΔΑΦΩΝ ΤΗΣ ΚΟΖΑΝΗΣ

1.2.1 Λιθολογική και χημική σύσταση των εδαφών της Κοζάνης

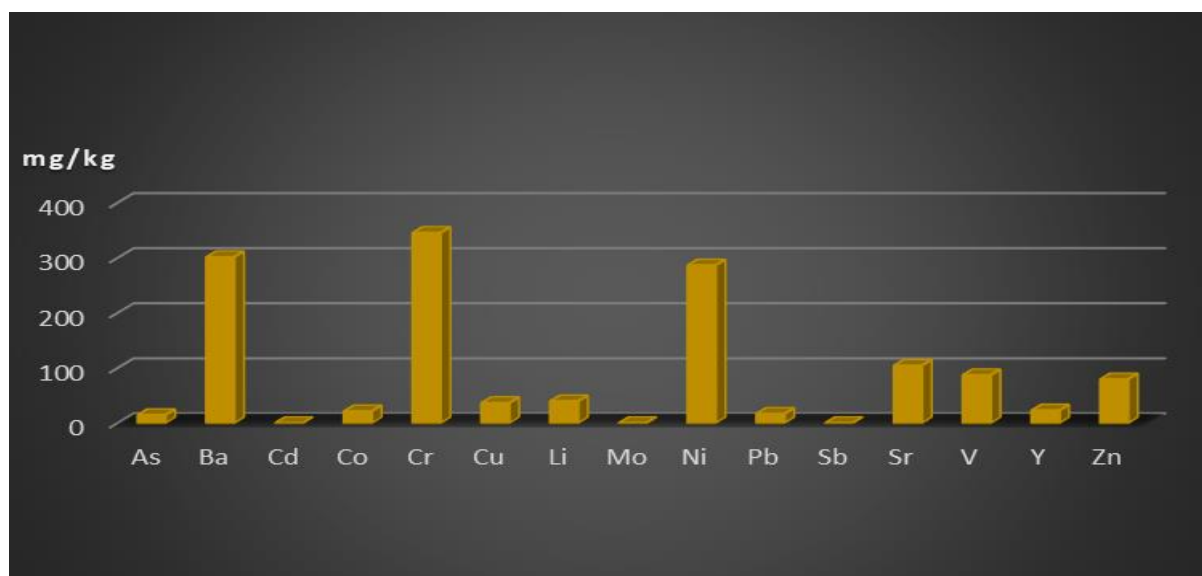
Στα εδάφη της περιοχής της Κοζάνης είναι έντονη η παρουσία τεμαχιδίων πετρωμάτων όπως ασβεστόλιθοι, οφιόλιθοι, ομάδες μεταμορφωμένων πετρωμάτων, καθώς και από

στρώματα φλύσχη. Σύμφωνα με τους Petrotou et al. (2010), τα εδάφη της Κοζάνης χαρακτηρίζονται ως ιδιαίτερα αλκαλικά αντικατοπτρίζοντας και την παρουσία των ασβεστολιθικών και οφιολιθικών πετρωμάτων. Το Ca με μέση συγκέντρωση 81,1 g/kg επικρατεί όσον αφορά τα κύρια στοιχεία και ακολουθούν τα Al, Fe, Mg, K, Na, Ti και Mn. Το ιχνοστοιχείο που αφθονεί στα εδάφη της περιοχής είναι το Cr με μέση συγκέντρωση 345,8 mg/kg και ακολουθούν τα Ba, Ni και Sr.

Στα Διαγράμματα 1.1 και 1.2 αποτυπώνεται η αναλυτική σύσταση των εδαφών της Κοζάνης ως προς τα κύρια στοιχεία και τα ιχνοστοιχεία, αντίστοιχα.



Διάγραμμα 1.1 Συγκέντρωση κύριων στοιχείων (g/kg) στα εδάφη της περιοχής της Κοζάνης (Petrotou et al. 2010).



Διάγραμμα 1.2 Συγκέντρωση ιχνοστοιχείων (mg/kg) στα εδάφη της περιοχής της Κοζάνης (Petrotou et al. 2010).

1.2.2 Κυριότεροι ρυπαντές και πηγές ρύπανσης στην περιοχή της Κοζάνης

Φυσικές διεργασίες και ανθρώπινη δραστηριότητα αποτελούν τους δύο παράγοντες διασποράς ρυπαντών στα εδάφη. Η περιοχή της Κοζάνης φιλοξενεί το μεγαλύτερο Λιγνιτικό Κέντρο της Ελλάδας (Λιγνιτικό Κέντρο Δυτικής Μακεδονίας) με την εκμετάλλευση και την καύση του λιγνίτη να απασχολούν περιβαλλοντικά την ευρύτερη περιοχή της Κοζάνης/Πτολεμαΐδας/Φλώρινας. Σύμφωνα με τους Kassoli-Fournaraki et al. (1993) και Σαχανίδης κ.ά. (2001) η καύση του λιγνιτών έχει σαν αποτέλεσμα τα ανόργανα συστατικά τους να υπόκεινται σε μια σειρά φυσικών και χημικών μεταβολών και έτσι τα κύρια στοιχεία και ιχνοστοιχεία μπορεί να συγκεντρωθούν στην ιπτάμενη τέφρα. Η ιπτάμενη τέφρα των ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου και Καρδιάς χαρακτηρίζεται ως θειοασβεστούχα και κατατάσσεται στην κατηγορία C (Subway et al. 1983).

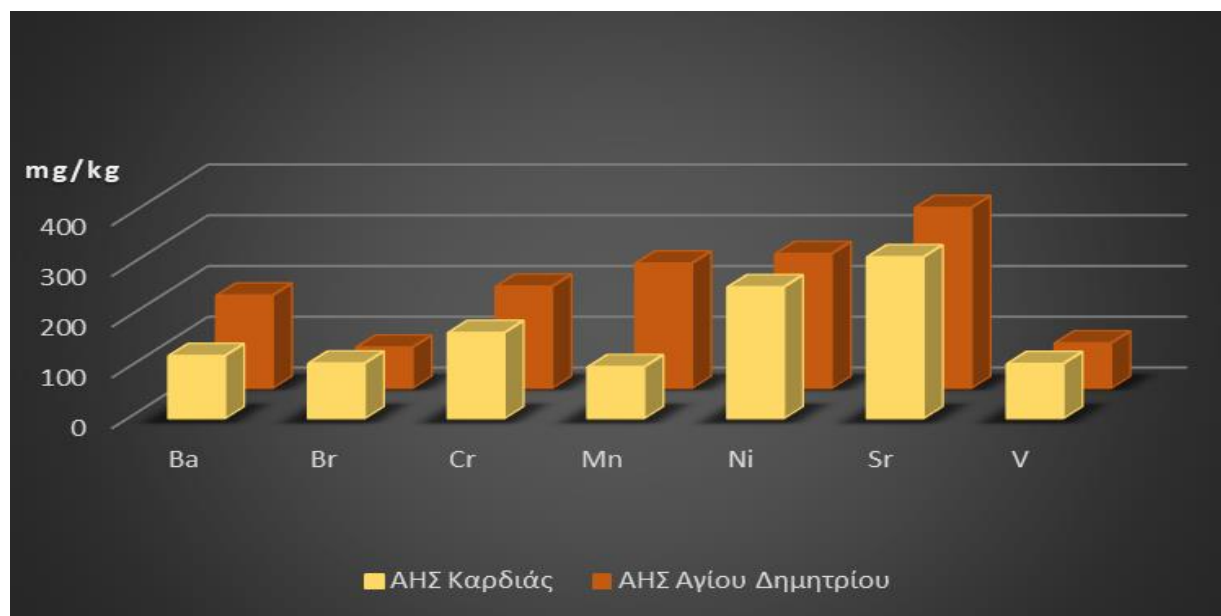
Σύμφωνα με τους Georgakopoulos et al. (2002) στην ιπτάμενη τέφρα από τους ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου, Καρδιάς, Αμυνταίου και Πτολεμαΐδας το As που εμπεριέχεται σε αυτήν εμφανίζει χαμηλή κινητικότητα και έχει περιορισμένες πιθανότητες να εκπλυθεί από αυτή και συνεπώς δεν αποτελεί απειλή για τα εδάφη της περιοχής. Οι υψηλές τιμές που εμφανίζουν το Cr και το Ni στην περιοχή, καθώς επίσης και η θετική συσχέτιση μεταξύ τους δείχνει ότι πιθανότατα συνδέονται με τα οφιολιθικά πετρώματα νότια του ΑΗΣ Καρδιάς και βόρεια του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου, στις ίδιες ακριβώς θέσεις όπου παρατηρούνται οι υψηλές συγκεντρώσεις τους. Ωστόσο, ένα μέρος αυτών προέρχεται και από τα σωματίδια της ιπτάμενης τέφρας από τους ΑΗΣ της περιοχής. Γενικά, οι μεταβολές στις οποίες υπόκειται η ιπτάμενη τέφρα εμφανίζονται στον αρχικό χρόνο απόθεσής της και επαφής της με το έδαφος, προκαλώντας πτώση του pH και προσδίδοντας του μετέπειτα, ουδέτερο χαρακτήρα.

Η καύση λιγνίτη πυροδοτεί μία ανακατανομή των ιχνοστοιχείων στην τέφρα εσχάρας, στη ιπτάμενη τέφρα και στην τέφρα καπναερίων με την περιβαλλοντική τους σημασία να επικεντρώνεται στην δυνατότητα έκπλυσης τους. Τα σωματίδια της ιπτάμενης τέφρας θεωρούνται βασικοί πιθανοί ρυπαντές των εδαφών, καθώς εξαιτίας της μεγάλης ειδικής τους επιφάνειας έχουν την ικανότητα να συσσωρεύουν μεγάλες ποσότητες πιθανών τοξικών στοιχείων. Πλήθος μελετών έχουν πραγματοποιηθεί όσον αφορά τη σύσταση των ιπτάμενων τεφρών του ΛΚΔΜ. Ενδεικτικά, στο Διάγραμμα 1.3 αποτυπώνεται η σύσταση ιπτάμενων τεφρών από τους ΑΗΣ Καρδιάς και Αγίου Δημητρίου ως προς τα ιχνοστοιχεία με την μεγαλύτερη συγκέντρωση. Το Br και το Sr φαίνεται να έχουν υψηλή κινητικότητα, το Cd, το Ba και το Cr μέτρια, ενώ Mn, Ni και V εμφανίζουν χαμηλή κινητικότητα (Georgakopoulos et al. 2002). Τα στοιχεία με την υψηλή κινητικότητα συνδέονται με σουλφίδια, οξείδια και αργιλοπυριτικά ορυκτά που σχηματίζονται μετά την καύση του λιγνίτη και κατά την δίοδο των

καπναερίων από τα ηλεκτροστατικά φίλτρα, ενώ στοιχεία με χαμηλή κινητικότητα συνδέονται με αργιλοπυριτικά ορυκτά και οξείδια υψηλών θερμοκρασιών, ιδιαίτερα σταθερά σε περιβαλλοντικές συνθήκες.

Έπειτα, στοιχεία όπως P, Cu, Cd, Pb και Zn παρουσιάζουν ελαφρώς αυξημένη συγκέντρωση με πηγές ρύπανσης να αποτελούν οι γεωργικές δραστηριότητες στην περιοχή σε συνδυασμό με την απόθεση της ιπτάμενης τέφρας των ΑΗΣ της περιοχής. Στην ευρύτερη περιοχή της Κοζάνης είναι έντονη η παρουσία καλλιεργειών σιτηρών με αποτέλεσμα τα λιπάσματα και τα εντομοκτόνα που χρησιμοποιούνται να περιέχουν υψηλές περιεκτικότητες σε αυτά τα στοιχεία. Επιπλέον, οι τιμές στις οποίες κυμαίνονται τα παραπάνω στοιχεία στα επιφανειακά εδάφη της περιοχής σχεδόν ταυτίζονται και με τιμές των αντίστοιχων στοιχείων στην ιπτάμενη τέφρα από τους ΑΗΣ της περιοχής (Petrotou et al. 2012).

Σύμφωνα με τους Καντηράνης κ.α. (2016) και Kazakis et al. (2017, 2018) στα εδάφη της λεκάνης Σαριγκιόλ οι υψηλές συγκεντρώσεις του χρωμίου προέρχονται και από την διασπορά της ιπτάμενης τέφρας αφού οι συντελεστές συσχέτισης Cr-Ni δεν είναι ιδιαίτερα υψηλοί. Σε περίπτωση που το Cr είχε λιθογενή προέλευση οι συντελεστές θα εμφάνιζαν πιο στενή συσχέτιση. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις Cr εμφανίστηκαν στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης, δίπλα από ταινιόδρομο μεταφοράς της τέφρας με ονομασία A9.



Διάγραμμα 1.3 Σύσταση (mg/kg) ιπτάμενων τεφρών από τους ΑΗΣ Καρδιάς και Αγίου Δημητρίου ως προς τα ιχνοστοιχεία με την μεγαλύτερη συγκέντρωση (Georgakopoulos et al. 2002).

1.3 ΚΥΡΙΟΣ ΣΤΟΧΟΣ-ΣΚΟΠΟΣ

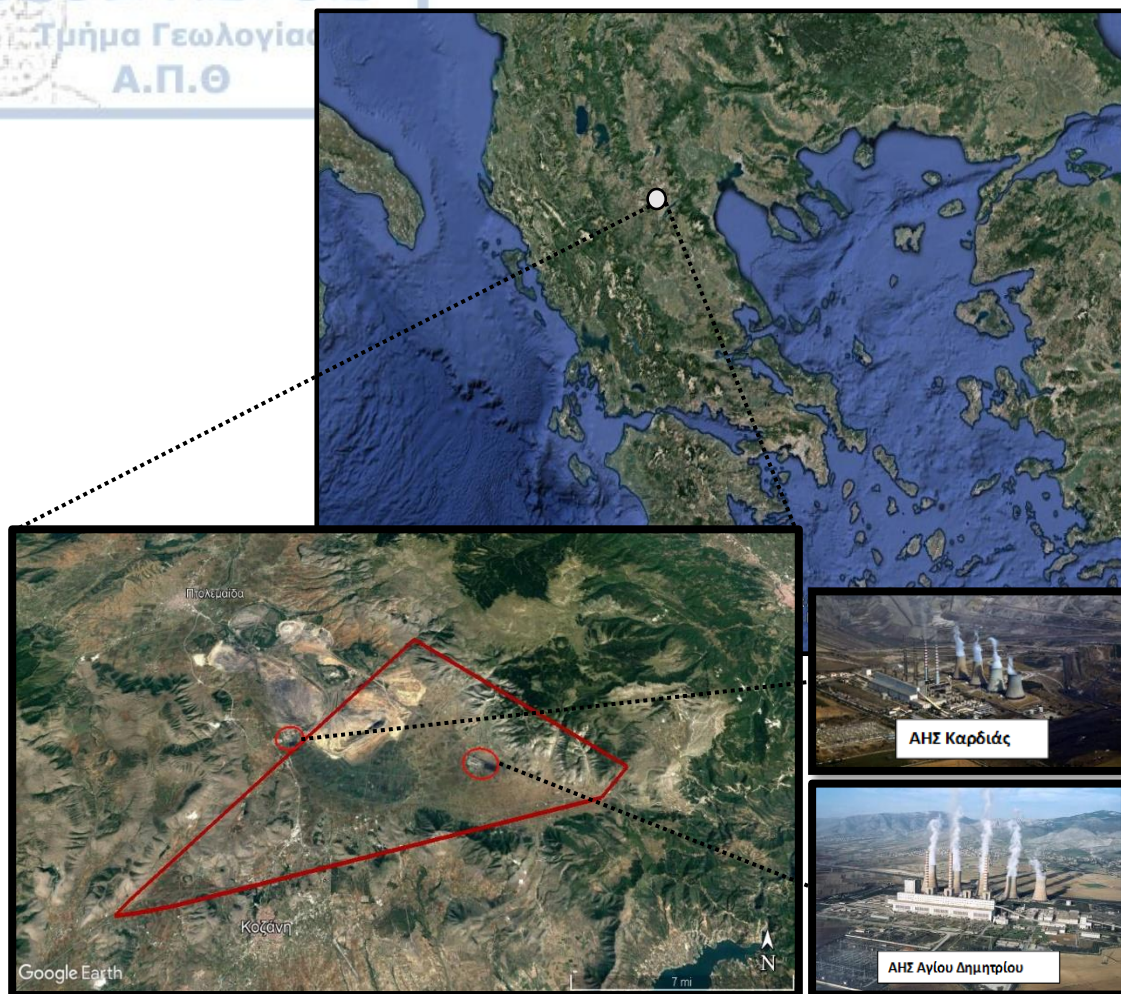
Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας αποτελεί η αποτύπωση της κατανομής της ρύπανσης στη λεκάνη Σαριγκιόλ στην περιοχή της Κοζάνης μέσω των μαγνητικών σωματιδίων σε δείγματα ιζήματος και εδάφους. Κύριος στόχος αποτελεί η αποτύπωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που έχουν στην περιοχή οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες και συγκεκριμένα στους ανώτερους εδαφικούς ορίζοντες. Θα απομονωθεί το μαγνητικό κλάσμα και θα μελετηθεί η ορυκτολογική και χημική σύσταση αυτού και θα αξιολογηθούν τα μορφολογικά των μαγνητικών σωματιδίων ώστε να αξιολογηθεί η συμβολή της λιθολογίας της περιοχής ή/και των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων στην παρουσία τους και ιδιαίτερα ο ρόλος της διαχείρισης της τέφρας που παράγεται στους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς (ΑΗΣ) Αγίου Δημητρίου και Καρδιάς στην ύπαρξη μαγνητικών σωματιδίων στα εξεταζόμενα ιζήματα και εδάφη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

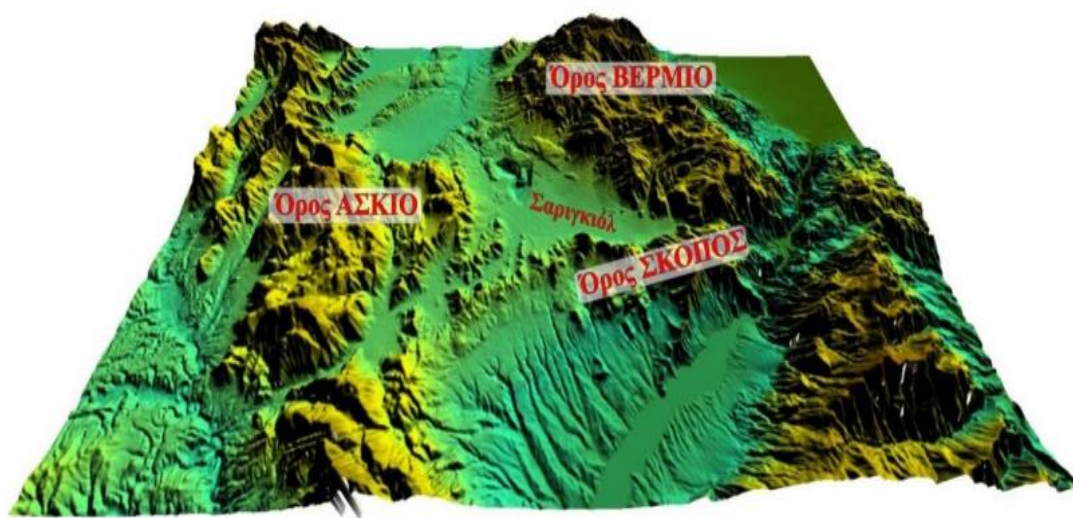
2.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΚΑΙ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στην βόρεια Ελλάδα, στην περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας και περιλαμβάνει τμήμα τη λεκάνης Σαριγκιόλ, έχει έκταση 235 km² και περίμετρο 72,8 km. Στην περιοχή μελέτης βρίσκονται οι οικισμοί της Ακρινής, του Αγίου Δημητρίου, του Αγίου Χαραλάμπου, του Βοσκοχωρίου, του Δρεπάνου, της Εξοχής, των Καλαμίων, των Κοίλων, της Κουιάδας, των Κρεμαστών, της Νέας Νικόπολης, της Νέας Χαραυγής, του Ρυακίου, του Τετραλόφου και της Χαραυγής, ενώ στα ανατολικά της λεκάνης βρίσκεται ο ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου και στα δυτικά ο ΑΗΣ Καρδιάς (Εικόνα 3.1). Το ελάχιστο υψόμετρο της περιοχής έρευνας είναι 624 m και το μέγιστο τα 1704 m. Το μέσο υψόμετρο της περιοχής έρευνας είναι 927 m και η μέση κλίση της 17,8% (Καντηράνης κ.ά. 2016, Kazakis et al. 2017, 2018). Το κλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται ως μεσογειακό με μέση τιμή ετήσια βροχόπτωσης τα 640 mm, μέση θερμοκρασία τους 13 °C ενώ οι άνεμοι έχουν ΝΝΑ κατεύθυνση.

Η λεκάνη Σαριγκιόλ (Σαρί Γκιόλ = Κίτρινη λίμνη), με συνολική έκταση 470 km², αποτελεί μία υπολεκάνη στο νότιο τμήμα της λεκάνης της Πτολεμαΐδας. Στα δυτικά της περιβάλλεται από το Άσκιο όρος με υψόμετρο 2110 m, στα νότια από το όρος Σκοπός με υψόμετρο 1256 m και στα ανατολικά από το όρος Βέρμιο με υψόμετρο 2502 m (Εικόνα 2.2). Στην περιοχή έρευνας είναι έντονη η παρουσία αγροτικών εκτάσεων. Επίσης εκτός από τους ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου και Καρδιάς, στο βιομηχανικό δυναμικό της περιοχής ανήκει και ένας ταινιόδρομος μεταφοράς της τέφρας προς την ζώνη απόθεσής της στην περιοχή της Ακρινής.



Εικόνα 2.1 Δορυφορική εικόνα και φωτογραφίες των ΑΗΣ της περιοχής μελέτης.



Εικόνα 2.2 Τρισδιάστατη απεικόνιση της μορφολογίας της περιοχής έρευνας (Καντηράνης κ.ά, 2016).

2.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

2.2.1 Γενικά χαρακτηριστικά

Η λεκάνη Σαριγκιόλ εντοπίζεται στο νότιο τμήμα της λιγνιτοφόρου ενδοηπειρωτικής λεκάνης Φλώρινας-Πτολεμαΐδας-Κοζάνης-Σερβίων-Ελασσόνας, η οποία απέχει 160 km από τη Θεσσαλονίκη και αποτελεί τμήμα μίας μεγάλης τεκτονικής τάφρου μήκους >120 km και έκταση από το Μοναστήρι (ΠΓΔΜ) μέχρι την Ελασσόνα. Η διεύθυνση ανάπτυξης της τάφρου είναι ΒΔ-ΝΑ και αναπτύχθηκε από την ρηξιγενή τεκτονική του Νεογενούς.

2.2.2 Γεωτεκτονική θέση

Η περιοχή μελέτης γεωτεκτονικά ανήκει στην Πελαγονική ζώνη έχει διεύθυνση ΒΒΔ – ΝΝΑ και αποτελείται κυρίως από μεταμορφωμένα πετρώματα Παλαιοζωικής ηλικίας όπως γνεύσιοι, όρθο- και παρά- προέλευσης, γρανίτες, σχιστόλιθοι και μάρμαρα τα οποία αποτελούν την κύρια μάζα και ιζήματα μεσοζωικής ηλικίας τα οποία αποτελούν το επικάλυμμα αυτής (Κουκουβέλας 2019). Κατά το Μεσοζωικό η ιζηματογένεση στην Πελαγονική ζώνη ήταν ανθρακική, νηριτική με εξαίρεση της δύο θέσεις στην περιοχή έρευνας όπου εμφανίζονται πελαγικά ιζήματα μαζί με οφιολίθους.

2.2.3 Λιθοστρωματογραφία της περιοχής

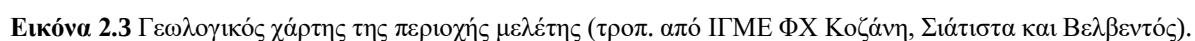
Η λεκάνη Σαριγκιόλ αποτελεί μία περιοχή η οποία έχει μελετηθεί ιδιαίτερος εξαιτίας της παρουσίας των λιγνιτικών κοιτασμάτων στην ευρύτερη περιοχή. Στην Εικόνα 2.3 παρουσιάζεται ο γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης με βάση τους γεωλογικούς χάρτες του ΙΓΜΕ (φύλλα Κοζάνη, Σιάτιστα και Βελβεντός) και ακολουθεί συνοπτική ανάλυση των σχηματισμών (τροποποιημένη):

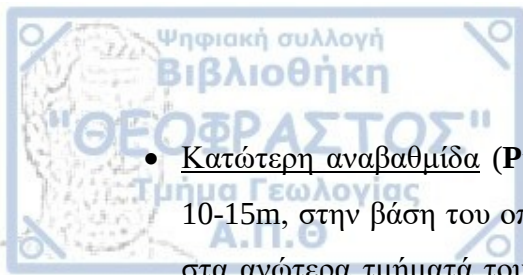
1. Ολόκαινο

- Σύγχρονες προσχώσεις και ελουβιακός μανδύας (al): Ένα συγκρότημα άμμων, αργίλων και χαλικιών σε κοίτες ποταμών, σχηματίζοντας χαμηλή αναβαθμίδα.
- Σύγχρονες λιμναίες αποθέσεις (H.lk): Ένα συγκρότημα από αμμούχες, ασβεστούχες και κατά θέσεις ελαφρώς χουμώδεις αργίλους στο νότιο τμήμα της λεκάνης της Πτολεμαΐδας (αποξηραμένο έλος Σαριγκιόλ).
- Σύγχρονοι κώνοι κορημάτων (H.cs): Αποτελούνται από χαλίκια, κροκάλες, και λεπτόκοκκο υλικό αποτελούμενο από άμμους και αργίλους.

2. Ανώτατο Πλειστόκαινο (Βούρμιο)

- Συσσώρευση διαφόρων τύπων χονδροκλαστικών ιζημάτων (PtIV.sc): Αποτελεί ένα επικάλυμμα πλευρικών κορημάτων που καλύπτει τις ασβεστολιθικές πλαγιές





- Κατώτερη αναβαθμίδα (PtIV.t): Αποτελεί ένα επικάλυμμα κλαστικού υλικού, πάχους 10-15m, στην βάση του οποίου παρατηρούνται μεγάλες ασβεστολιθικές κροκάλες, ενώ στα ανώτερα τμήματά του εμφανίζεται ένας ορίζοντας ασβεστιτικού ερυθροπηλού, με λεπτές ενστρώσεις από μικρές αποστρογγυλεμένες κροκάλες.

3. Ανώτερο Πλειστόκαινο (Ρίσσιο)

- Ριπιδοειδείς κώνοι και ελλοιυβιακά πεδία υπορειών με υλικά ελαφρά συγκολλημένα (PtIII.cj): Επιφανειακά αποτελούνται από ερυθροκάστανο έδαφος με σκελετικά υπολείμματα χωρίς εμφανή εξαλλοίωση, ενώ η κύρια μάζα αποτελείται από μία ατελή και ασυνεχή συγκόλληση συστατικών.

4. Μέσο Πλειστόκαινο (Μινδέλιο)

- Λατυποπαγείς κώνοι (PtII.sc): Ο σχηματισμός αυτός αποτελείται από παλαιά λατυποπαγή με συνύπαρξη ερυθρών αργίλων και θραυσμάτων πετρωμάτων κυρίως ασβεστολιθικών. Η κυρίως μάζα αποτελείται από ερυθρές αργίλους, μέσα στις οποίες παρεμβάλλονται φακοειδείς ενστρώσεις αδρομερών κροκαλοπαγών. Προς τον άξονα της λεκάνης (νότιο τμήμα της λεκάνης Πτολεμαΐδας), το πάχος της συσσωρεύσεως ελαττώνεται προοδευτικά, ενώ το υλικό γίνεται περισσότερο αργιλο-αμμώδες.

5. Κατώτερο Πλειστόκαινο (Βιλλαφράγκιο)

- Ερυθρές άργιλοι με λατυποπαγή και χαλίκια (PtI.l-br): Οι ερυθρές άργιλοι επικρατούν προς τη βάση του όλου σχηματισμού και γίνονται περισσότερο συμπαγείς στα βαθύτερα τμήματα με διάσπαρτες λατύπες και συγκεντρώσεις ασβεστολιθικού υλικού σε μορφή συγκριμάτων. Οι εμφανίσεις χαλικιών παρατηρούνται στο ΝΔ τμήμα της λεκάνης μαζί με κομμάτια χαλαζία, ραδιολαριτών, βασικών πετρωμάτων κ.ά.
- Κροκαλοπαγή «Προαστίου» (PtI.c): Αποτελούνται από ποτάμιες αποθέσεις μεγάλου πάχους, από πολυγενετικά κροκαλοπαγή με κροκάλες από γάββρο, διαβάση, πηγματίτες, ασβεστόλιθους, κρυσταλλικούς σχιστόλιθους, ραδιολαρίτες κλπ., αρκετά αποστρογγυλεμένες, με χρώμα τεφρό, διασταυρωμένη στρώση, ενώ επικάθονται με ασυμφωνία πάνω στις νεογενείς αποθέσεις.

6. Μέσο – Ανώτερο Πλειόκαινο

- Μάργες, άργιλοι, άμμοι, λιγνίτες (Plm-s): Συνίστανται από αργίλους και αργιλούχες μάργες που εξελίσσονται προοδευτικά σε ανοιχτόχρωμους χαλαρούς αργιλομαργαϊκούς άμμους με διασταυρούμενη στρώση και με λεπτά φακοειδή στρώματα από χαλαρά κροκαλοπαγή. Αυτού του συστήματος υπόκεινται υπόλευκες μάργες με λιγνιτικές ενστρώσεις (Καρδιά).

7. Κατώτερο Μειόκαινο

- Κροκαλοπαγή και λατυποπαγή (Mi): Πρόκειται για ένα κλαστικό σχηματισμό από ασβεστολιθικά λατυποπαγή και από κροκαλοπαγή με μεγάλες κροκάλες από κρυσταλλικά πετρώματα. Τα κροκαλοπαγή αντιστοιχούν σε παλιές προσχώσεις χειμάρρων με πιθανή κατεύθυνση ροής από Νότο (Πιερία) προς Βορρά.

Πελαγονική ζώνη

8. Μέσο – Ανώτερο Κρητιδικό

- Φλύσχης (Fg): Ο φλύσχης της περιοχής είναι γενικά χονδροκλαστικός σχηματισμός. Στη βάση εντοπίζονται μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι οι οποίοι μεταβαίνουν προς την υποκείμενη ανθρακική σειρά. Προς τα πάνω εντοπίζονται στρώματα ψαμμιτών και κροκαλοπαγών από μεταμορφωμένα πετρώματα, σπάνια με φακούς ασβεστόλιθων. Η ηλικία του είναι Ανώτερο Μαιστρίχτιο και το πάχος του κυμαίνεται από 50-200m.
- Επικλυσιογενής ανθρακική σειρά (Ksk): Η επίκλυση περιορίζεται σε μια εγκάρσια «διάλυλο» που πλαισιωνόταν από το νότια και το βορεια από ορεινούς όγκους. Οι ασβεστόλιθοι αποτελούν ένδειξη μικρού βάθους υδάτων. Χαρακτήρας παράκτιος με ασβεστόλιθους νηριτικής φάσεως με πολλαπλούς χρωματισμούς, λεπτό – έως παχυστρωματώδεις με Orbitoides, Lithotamnium και θραύσματα Ρουδιστών. Στο Βέρμιο συναντώνται προς τη βάση σκοτεινότεφροι πλακώδεις ασβεστόλιθοι που μεταβαίνουν προς τα πάνω σε συμπαγείς ασβεστόλιθους με θραύσματα Ρουδιστών. Ακολουθούν ασβεστόλιθοι με πλήθος Γαστερόποδων και η σειρά κλείνει με λεπτοκλαστικούς πλακώδεις, τεφρού χρώματος, ασβεστόλιθους, με φακοειδείς ενστρώσεις ψαμμιτών και αργιλικών σχιστόλιθων. Η ηλικία τους είναι Τουρώνιο – Μαιστρίχτιο με πάχος 200-250m.
- Κροκαλοπαγή και ασβεστόλιθοι βασικής σειράς επικλήσεως (Ks,c): Τα κροκαλοπαγή έχουν χρώμα ιώδες ή ερυθρωπό και το συνδετικό υλικό τους είναι συνήθως πολύμεικτο, αλλά κυρίως συνίστανται από οφιολιθικές και ασβεστολιθικές κροκάλες. Οι ασβεστόλιθοι διακρίνονται σε κλαστικούς, λεπτοπλακώδεις με χρώμα τεφροπράσινο, σε κονδυλώδεις σκουρόχρωμους με ίχνη γαστεροπόδων και σε μαργαϊκούς κιτρινόχρωμους. Σε ορισμένους τομείς, όπου η λατυποποίηση είναι λιγότερο προχωρημένη, διακρίνεται ο χαρακτήρας των τυπικών κροκαλοπαγών και ασβεστόλιθων της βασικής σειράς. Το πάχος είναι 30-220m και η ηλικία Κενομάνιο – Τουρώνιο. Κατά τόπους και στις θέσεις όπου εμφανίζεται ο φλύσχης του Ανώτερου Κρητιδικού, εμφανίζεται ένας σχηματισμός

κροκαλοπαγών-ασβεστόλιθων, με ανώμαλη επαφή στο φλύσχη, με μεγάλο πάχος και αλλόχθονη προέλευση.

9. Ιουρασικό

- Σχιστοκερατόλιθοι (Sch): Οι σχιστόλιθοι χαρακτηρίζονται από χαμηλό βαθμό μεταμόρφωσης και εμφανίζονται με ιλυόλιθους και μικροκροκαλοπαγή σε στενή σύνδεση με σερπεντινίτες, ενστρώσεις όξινων σχιστωδών πετρωμάτων με ορυκτά μεταμορφώσεως (στιλπνομέλανα, ακτινόλιθο, λευκόξενο, αλβίτη) μεταξύ στρωμάτων σερπεντίνη. Επίσης παρατηρούνται ημιμεταμορφωμένοι σχιστόλιθοι, περισσότερο ή λιγότερο πυριτικοί, επάλληλα εναλλασσόμενες τράπεζες σχιστόλιθων και μαρμάρων και κερατολιθικοί όγκοι με διάφορες αποχρώσεις μέσα στους σχιστόλιθους.
- Οφιόλιθοι (O): Αποτελούνται κυρίως από σερπεντινίτες και κάποιους περιδοτίτες, ενώ σε κάποιες θέσεις εμφανίζονται και χρωμίτες. Τοπικά παρατηρούνται εμφανίσεις γάββρων και διαβασών. Αποτελούν πιθανόν το αποτέλεσμα έκχυσης κατά τη διάρκεια μιας μακράς περιόδου ανθρακικής ιζηματογένεσης.

10. Τριαδικό-Κατώτερο Ιουρασικό

- Ασβεστόλιθοι (T-Ji.k): Είναι σκοτεινοκύανοι ή τεφροί με καλή στρώση και ποικίλο βαθμό ανακρυσταλλώσεως. Περιλαμβάνουν ορίζοντες λατυποποιημένων ασβεστόλιθων ερυθρωπού χρώματος, όπως επίσης και ορίζοντες από συμπαγείς μαύρους δολομιτικούς ασβεστόλιθους. Προς τα πάνω αναπτύσσονται πολύ ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι με στρώση συχνά λιγότερο σαφή και γενικά πιο ανοιχτόχρωμοι. Η στρώση τους είναι άλλοτε πολύ σαφής και άλλοτε έχει εντελώς εξαφανισθεί, συχνά εξαιτίας του τεκτονισμού, ενώ το πάχος του εκτιμάται περίπου στα 1.000 m.

2.2.4 Τεκτονική της περιοχής

Η περιοχή έρευνας όπως προαναφέρθηκε αποτελεί τμήμα της ενδοηπειρωτικής λεκάνης Φλώρινας-Πτολεμαΐδας-Κοζάνης-Σερβίων-Ελασσόνας με διεύθυνση ανάπτυξης ΒΔ-ΝΑ. Ο διαχωρισμός της μεγάλης αυτής τάφρου σε μικρότερες υπολεκάνες οφείλεται στις τεκτονικές διεργασίες του Ανωτέρου Μειόκαινου. Πιο συγκεκριμένα, με βάση τα παλαιότερα νεογενή ιζήματα της λεκάνης, η πιθανή έναρξη δημιουργίας του τεκτονικού βυθίσματος είναι Μέσο έως Ανώτερο Μειόκαινο, μια περίοδος κατά την οποία ήταν έντονη η εφελκυστική τεκτονική στη Βόρεια Ελλάδα με διεύθυνση ΒΒΑ-ΝΝΔ. Κατά το Ανώτερο Πλειόκαινο-Κατώτερο Τεταρτογενές τοπικά τεκτονικά γεγονότα μικρής έκτασης είχαν ως αποτέλεσμα τον σχηματισμών των υπολεκανών (Καντηράνης κ.ά., 2016). Οι νεογενείς αποθέσεις των υπολεκανών χωρίζονται σε τρεις σειρές (Χρηστάνης 2017) :

- i. Η κατώτερη σειρά στην οποία ανήκει το υπόβαθρο και το οποίο υπόκειται άμμων, μαργών, ιλύων, αργίλων και λιγνιτών με το περιβάλλον να χαρακτηρίζεται ποτάμιο, ποταμολιμναίο και τοπικά τελματικό.
- ii. Η μεσαία σειρά με έντονη παρουσία των κοιτασμάτων λιγνίτη και με εναλλαγές αργίλων, ιλύων, αμμωδών αργίλων και μαργών, ενώ το περιβάλλον χαρακτηρίζεται ως λιμναίο και λιμνοτελματικό.
- iii. Η ανώτερη σειρά που αποτελείται από Τεταρτογενείς αποθέσεις αποτελούμενες κυρίως από ποτάμια ιζήματα και τοπικά μάργες, άργιλους, λιγνίτες και τύρφη. Τα ιζήματα αυτά επικάθονται ασύμφωνα στα Πλειοκαινικά ιζήματα της μεσαίας σειράς εξαιτίας της τεκτονικής του Ανωτέρου Πλειόκαινου-Κατωτέρου Πλειστόκαινου.

Κατά το Κατώτερο Τεταρτογενές ένας νέος εφελκυσμός προκάλεσε την επαναδραστηριοποίηση μεγάλων προϋπαρχόντων ρηγμάτων. Ταυτόχρονα, η λιμναία ιζηματογένεση διακόπηκε, ενώ τα ρήγματα συνέχισαν τη δράση τους μέχρι το Ανώτερο Πλειστόκαινο- Ολόκαινο (Παυλίδης 1985).

2.2.5 Υδρογεωλογικό καθεστώς της περιοχής

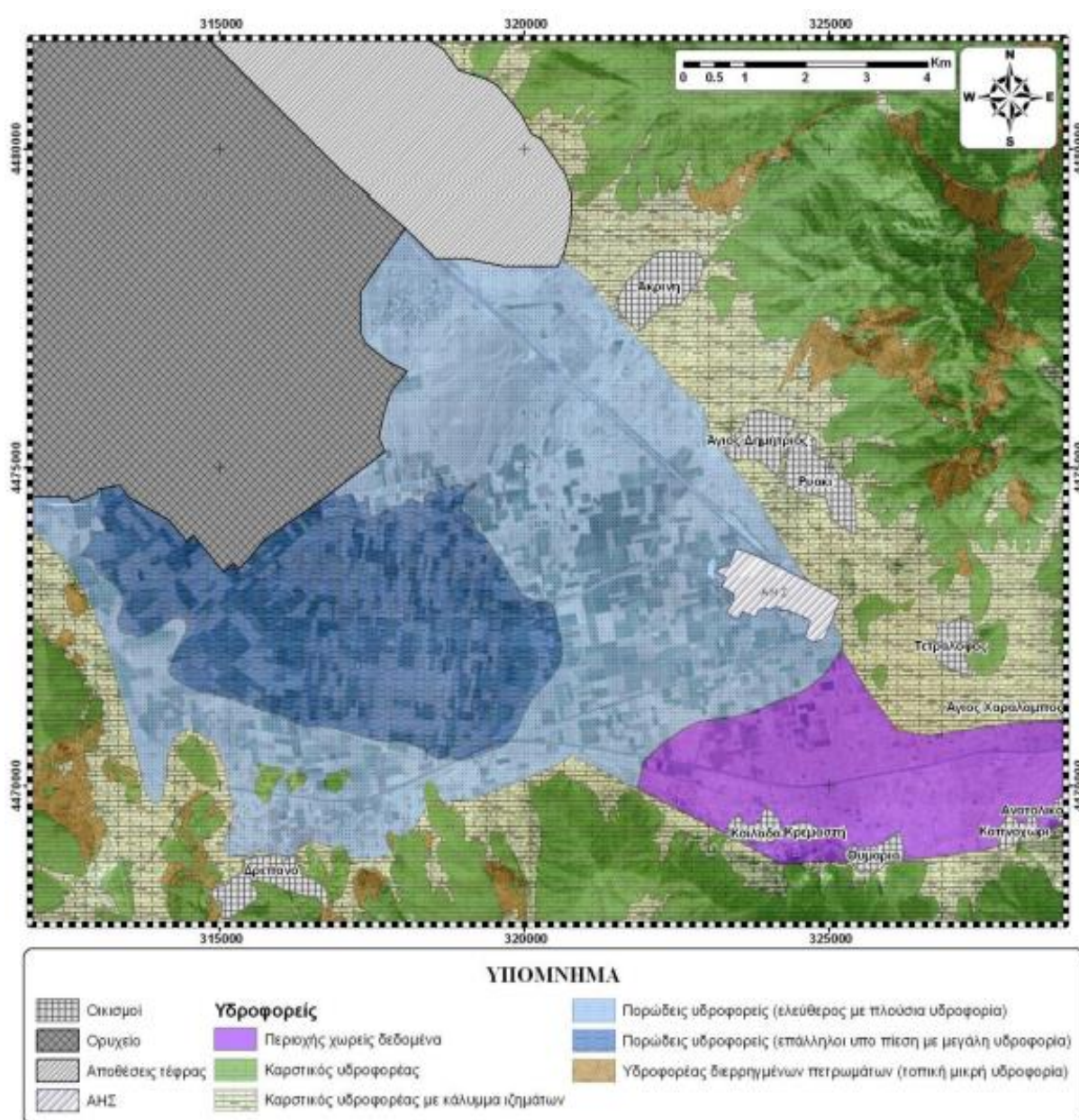
Η περιοχή έρευνας αποστραγγίζεται από χειμάρρους και το ρέμα Σουλού που αποτελούν τους αποδέκτες των επιφανειακών νερών που τα οδηγούν προς το βορρά. Το έλος της λεκάνης Σαριγκιόλ με μέγιστο βάθος τα 4 m, αποτελούσε τον αποδέκτη των επιφανειακών απορροών μέχρι και το 1954 οπότε και αποστραγγίστηκε. Μετά την αποστράγγιση η κοίτη του ρέματος Σουλού εκβαθύνθηκε με αποτέλεσμα την επιφανειακή απορροή προς τον βορρά. Το ρέμα Σουλού αποτελεί τον αποδέκτη των επεξεργασμένων λυμάτων του Α.Η.Σ Αγίου Δημητρίου και συνδέεται με ένα πυκνό αρδευτικό δίκτυο το οποίο αποτελεί πηγή άρδευσης των αγροτικές καλλιεργιών της περιοχής.

Στην περιοχή μελέτης εντοπίζονται πορώδεις υδροφορείς, είτε ελεύθεροι (περιμετρικά της λεκάνης) είτε υπό πίεση (στο κέντρο της λεκάνης) μέσα σε νεογενείς και τεταρτογενείς σχηματισμούς, καρστικοί υδροφορείς μέσα σε ανθρακικά πετρώματα (κυρίως στα ορεινά) και περιορισμένης έκτασης υδροφορείς μέσα σε οφιολιθικούς σχηματισμούς (Εικόνα 2.4). Η λιθολογία των πορώδων υδροφορέων απαρτίζεται από άμμους, χαλίκια και κροκάλες με σημαντική συμμετοχή αργιλικού υλικού. Η τροφοδοσία των πορώδων υδροφορέων γίνεται κυρίως από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα.

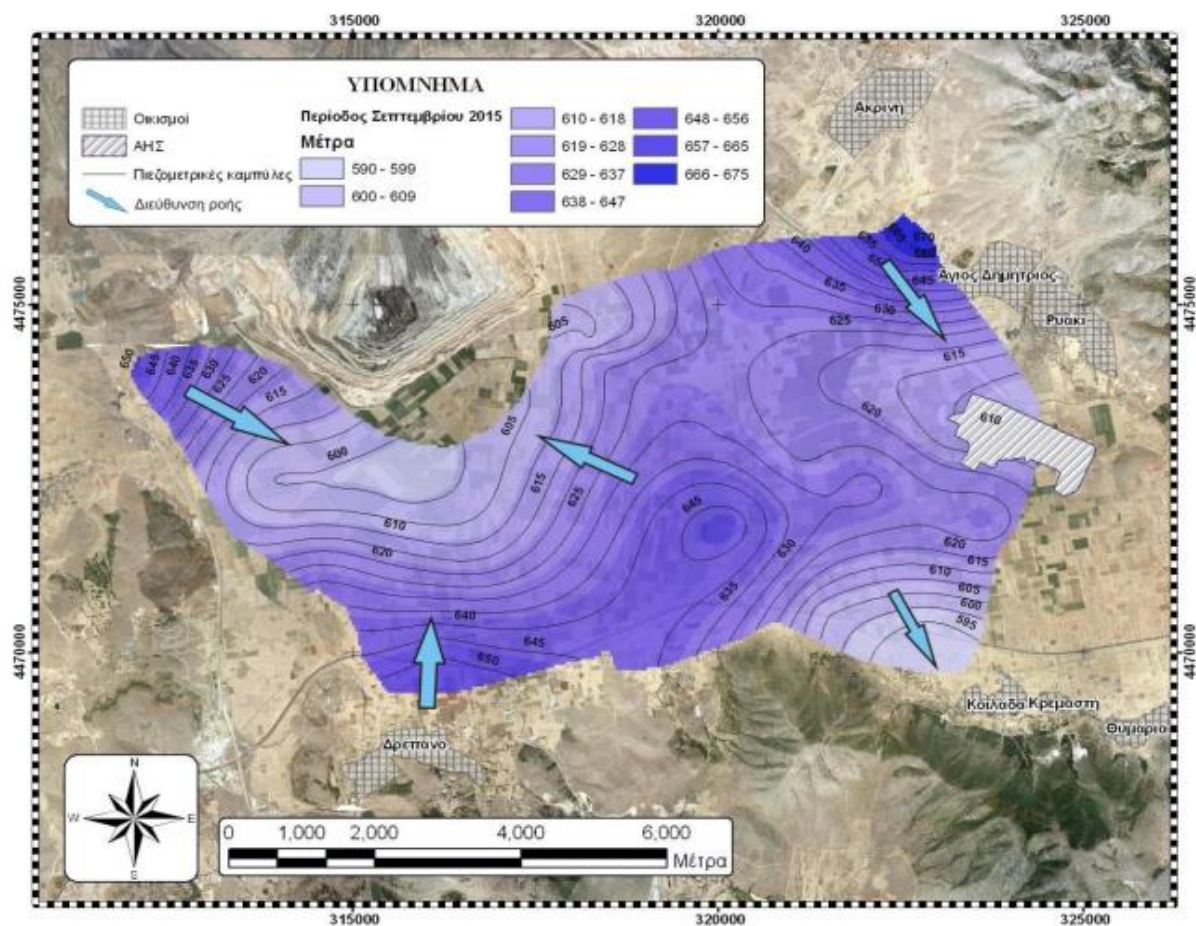
Το πιεζομετρικό φορτίο στον πορώδη υδροφορέα κυμαίνεται από 588 έως 679 m. Οι υψηλότερες τιμές εμφανίζονται στο ΒΑ τμήμα της λεκάνης, ενώ οι χαμηλότερες στο νότιο τμήμα. Η ροή του υπόγειου νερού στο ΒΑ τμήμα έχει διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ, ενώ οι συνθήκες

στο δυτικό τμήμα της λεκάνης μεταβάλλονται λόγω των αντλήσεων του ορυχείου του Νοτίου Πεδίου, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός κώνου πτώσης και τη αλλαγή της διεύθυνσης του υπόγειου νερού που κατευθύνεται προς το ορυχείο του Νοτίου Πεδίου (Εικόνα 2.5)

Η στάθμη του υπόγειου νερού κυμαίνεται από τα 2,3 έως τα 90 m, ενώ με βάση μελέτη που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια προσδιορισμού του εξασθενούς χρωμίου στα νερά της περιοχής το pH των νερών στην περιοχή μελέτης κυμαίνεται μεταξύ 7 και 8,2 (Καντηράνης κ.ά. 2016, Kazakis et al. 2017, 2018). Αξίζει να σημειωθεί πως με βάση τα αποτελέσματα της παραπάνω μελέτης εντοπίστηκαν τιμές Cr (VI) έως και 120 $\mu\text{g/L}$ στον πορώδη ελεύθερο υδροφόρο πέριξ του Α.Η.Σ Αγίου Δημητρίου με σημαντική συνεισφορά της τέφρας.



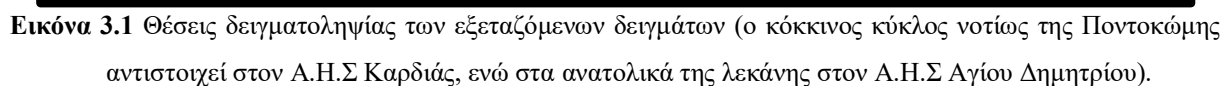
Εικόνα 2.4 Υδροφορείς στην περιοχή έρευνας (Καντηράνης κ.ά., 2016).



Εικόνα 2.5 Πιεζομετρικός χάρτης στην περιοχή έρευνας (Καντηράνης κ.ά., 2016).

Τα δείγματα της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας έχουν διατεθεί από τους Καντηράνης κ.ά. (2016) στα πλαίσια της μελέτης που πραγματοποιήθηκε για την *εκτίμηση της προέλευσης του Cr(VI) στο υπόγειο νερό ύδρευσης των Δημοτικών Διαμερισμάτων Ακρινής - Αγίου Δημητρίου - Ρυακίου του Δήμου Κοζάνης*, η οποία ανατέθηκε από τη Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης Αποχέτευσης Κοζάνης (Δ.Ε.Υ.Α.Κ), το Δήμο Κοζάνης και την Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στην περιοχή του νομού Κοζάνης και συγκεκριμένα στη λεκάνη Σαριγκιόλ, με ολλανδικό δειγματολήπτη εδαφών από 59 διαφορετικές θέσεις. Συνολικά, συλλέχθηκαν 47 δείγματα ιζήματος (Α) από βάθος έως 10 cm και 12 επιφανειακά δείγματα εδάφους (Ε) από τον μανδύα αποσάθρωσης των πετρωμάτων του υποβάθρου κατά την περίοδο Μαΐου-Ιουνίου 2014. Το σύνολο των δειγμάτων εντοπίζεται στη λεκάνη Σαριγκιόλ και στα εδάφη επί των πετρωμάτων του υποβάθρου (Εικόνα 3.1).



Τα ήδη αεροξηρανθέντα δείγματα τοποθετήθηκαν σε θερμοκρασία δωματίου όπου και παρέμειναν κατά την διάρκεια όλων των αναλύσεων που εφαρμόστηκαν σε αυτά. Πριν την περιγραφή των μεθόδων προσδιορισμού και ανάλυσης του μαγνητικού υλικού στα 59 συνολικά δείγματα εδάφους και ιζημάτων για την παρούσα εργασία, να σημειωθεί πως ήταν διαθέσιμες οι ορυκτολογικές και γεωχημικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στο σύνολο των δειγμάτων (Καντηράνης κ.ά., 2016)

3.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

3.2.1 Εισαγωγή

Τα σωματίδια μαγνητικών οξειδίων του σιδήρου στην ιπτάμενη τέφρα (κυρίως μαγνητίτη και μαγκεμίτη) από την καύση ορυκτών καυσίμων σε υψηλές θερμοκρασίες αποτελούν πιθανώς την πιο κοινή πηγή ανθρωπογενών σιδηρομαγνητικών σωματιδίων στους ανώτερους ορίζοντες του εδάφους (Karicka et al. 2001). Η διαφορά τους από τα αντίστοιχα λιθογενούς προέλευσης σωματίδια έγκειται στην μορφολογία, καθώς είναι σφαιρικά και με διάμετρο μόλις μερικών δεκάδων έως και εκατοντάδων μικρομέτρων. Οι διαδικασίες και οι αλληλεπιδράσεις που συμβαίνουν ανάμεσα στην ιπτάμενη τέφρα και στο εδαφικό διάλυμα που προκύπτει από την ανάμειξη της με το νερό του εδάφους, αποτελούν τον πυλώνα για την πιθανή μετατροπή των σιδηρούχων ενώσεων.

Η ιπτάμενη τέφρα είναι ένα ιδιαίτερα σύνθετο υλικό, με ποικίλη σύσταση και ετερογένεια. Τα σωματίδια της ιπτάμενης τέφρας έχουν τις περισσότερες φορές μέγεθος από 1 μέχρι 90 μm , ενώ σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να ξεπεράσουν τα 100 μm . Σύμφωνα με τους Zajzon et al. (2013) το μέγεθος των μαγνητικών σωματιδίων μειώνεται ξεκινώντας από τη βιομηχανία χαλυβουργίας, στους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς και τέλος στις εξατμίσεις των οχημάτων. Σχεδόν στο σύνολό τους τα σωματίδια της τέφρας είναι πυριτικής σύστασης, με το 5-10% αυτών να διαθέτουν ιδιαίτερα έντονες μαγνητικές ιδιότητες. Κάποιοι ερευνητές υποστηρίζουν ότι το μαγνητικό κλάσμα στην ιπτάμενη τέφρα μπορεί να φτάσει μέχρι και το 15% (Venewa et al. 2004), ενώ σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να παρουσιάζει τιμές από 2 έως και 20% κ.β. (Wilczynska-Michalik et al. 2020). Συνεπώς, η συμμετοχή του μαγνητικού κλάσματος στην ιπτάμενη τέφρα εξαρτάται άμεσα από την σύσταση του αρχικού λιγνίτη και τις συνθήκες καύσης αυτού.

Τα σιδηρομαγνητικά σωματίδια που συναντάμε συχνά στην ιπτάμενη τέφρα αποτελούνται από μαγνητίτη ($\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$), μαγκεμίτη ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$), ενώ σε μερικές περιπτώσεις εντοπίζεται

μαγνησιοφερρίτης ($\text{MgFe}^{3+}_2\text{O}_4$). Πολλές φορές τα σιδηρομαγνητικά σωματίδια σχηματίζουν συσσωματώματα με πυριτικές/αργιλοπυριτικές φάσεις. Ένα επιπλέον ορυκτό που συναντάται μαζί με τον μαγνητίτη είναι ο βουσίτης (FeO). Σχηματίζεται σε αναγωγικά περιβάλλοντα κατά την αναγωγή του Fe^{+3} του μαγνητίτη, στον Fe^{+2} του βουσίτη. Τα ισχυρά μαγνητικά σωματίδια σχηματίζονται από την οξειδωση του σιδηροπυρίτη σε θερμοκρασίες $> 1000^\circ\text{C}$ (Grimley et al. 2021). Σε θερμοκρασίες στις οποίες πραγματοποιείται η καύση των ορυκτών ανθράκων, οι μη μαγνητικοί σιδηροπυρίτης και μαρκασίτης, μετατρέπονται σταδιακά σε σιδηρομαγνητικά οξείδια όπως ο μαγκεμίτης και ο μαγνητίτης, με τον πρώτο να σχηματίζεται σε θερμοκρασίες της τάξης των $800\text{-}1400^\circ\text{C}$ και τον δεύτερο στους $1300\text{-}1600^\circ\text{C}$, καθιστώντας τον μαγνητίτη πιο ισχυρό μαγνητικά (Magiera et al. 2012).

Στα εδάφη τα οποία δεν έχουν υποστεί κάποιου είδους ανθρωπογενούς δραστηριότητας, η παρουσία φυσικού μαγνητίτη οφείλεται στην παρουσία υπερβασικών πετρωμάτων και στην απόθεση σιδηρούχων ορυκτών από τα εδαφικά διαλύματα. Ωστόσο, είναι πιθανόν ο μαγνητίτης να προέρχεται από όλο το εύρος των πετρωμάτων. Εμφανίζεται με τη μορφή οκταέδρων (πυραμίδας) και σε διάσπαρτους κόκκους οι οποίοι στο σύνολο τους δεν υπερβαίνουν το 1% του πετρώματος. Ιδιαίτερα όταν προέρχεται από βασικά/υπερβασικά πετρώματα ο μαγνητίτης είναι πλούσιος σε τιτάνιο και συνδέεται συχνά με πυρόξενο, ολιβίνη, ασβεστούχο πλαγιόκλαστο, αμφίβολο, αστρίους, χαλαζία, επίδοτο, σιδηροπυρίτη και απατίτη. Είναι σχετικά σταθερός όταν συμπεριλαμβάνεται στο επιφανειακό έδαφος ωστόσο μπορεί να εξαλλοιωθεί και να σχηματίσει δευτερογενή ορυκτά. Σύμφωνα με τους Causevic et al. (2004) η σταθερότητα του μαγνητίτη επηρεάζεται από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες και το βάθος στο οποίο σχηματίζεται. Επίσης, μία δευτερογενής πηγή σχηματισμού μαγνητίτη αποτελούν και τα βακτήρια (Wechsler et al. 1984).

Σε ένα γενικό πλαίσιο, η σειρά μετασχηματισμού των οξειδίων του σιδήρου σε περιβάλλοντα που κυριαρχούν πετρώματα υπερβασικής σύστασης (π.χ οφιολιθικά συμπλέγματα) είναι: μαγνητίτης, μαγκεμίτης, αιματίτης. Ο μαγκεμίτης είναι πιθανό να σχηματιστεί στα εδάφη, κάτω από ιδιαίτερα οξειδωτικές συνθήκες, από την οξειδωση του μαγνητίτη. Οι πιθανοί παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν τον σχηματισμό του μαγνητίτη, αλλά και του συνόλου του μαγνητικού κλάσματος στο μητρικό πέτρωμα είναι οι ίδιοι που επηρεάζουν και την παρουσία του κατά τον σχηματισμό του εδάφους. Κάποιοι από αυτούς είναι το pH, το δυναμικό οξειδοαναγωγής, η συμμετοχή της οργανικής ύλης και η διαθεσιμότητα του νερού.

3.2.2 Απομόνωση μαγνητικών σωματιδίων

Πριν από την εφαρμογή μεθόδων προσδιορισμού των μαγνητικών σωματιδίων (Grimley et al. 2021) τα δείγματα αξιολογήθηκαν μακροσκοπικά ως προς το χρώμα και τα συστατικά τους. Το χρώμα των περισσότερων δειγμάτων ήταν καστανό έως σκούρο καστανό με υποκίτρινες και τεφρές αποχρώσεις, ενώ κάποια δείγματα, οι θέσεις των οποίων βρίσκονται στο κέντρο της περιοχής μελέτης (αποξηραμένο έλος Σαριγκιόλ) διέθεταν τεφρό έως τεφρόμαυρο χρώμα. Αρχικά, 25g αντιπροσωπευτικού δείγματος αποσυσσωματώθηκαν με ελαφριά απότριψη σε αχάτινο γουδί και στη συνέχεια υπέστησαν κοσκίνιση με κόσκινο διαμέτρου <2 mm προκειμένου να απομακρυνθούν ρίζες και χαλίκια. Από το κλάσμα των <2 mm λήφθηκαν 20g υλικού και τοποθετήθηκαν με 250mL απιονισμένου νερού και 10mL παράγοντα διασποράς $[(\text{NaPO}_3)_6, 50\text{g/L}]$ σε ποτήρι ζέσεως των 400 mL. Στο ποτήρι ζέσεως τοποθετήθηκε μαγνήτης διαστάσεων 5 cm x 2 cm με σκοπό την εξαγωγή των ισχυρά μαγνητικών σωματιδίων, χρησιμοποιώντας έναν μαγνητικό αναδευτήρα (Heidolph MR 3001) σε χαμηλή ταχύτητα (250 rpm) και άνευ θερμότητας προκειμένου να επιτευχθεί η διασπορά των σωματιδίων. Η απομόνωση του μαγνητικού κλάσματος (Εικόνα 3.2) επαναλήφθηκε τρεις φορές, για 5 min, 2 min και 1 min αντίστοιχα με τον μαγνητικό αναδευτήρα (Grimley et al. 2021). Μετά από κάθε επανάληψη, τα μαγνητικά σωματίδια απομακρύνθηκαν από τον μαγνήτη με τη βοήθεια ενός δεύτερου μαγνήτη τυλιγμένου με μεμβράνη και με απιονισμένο νερό ξεπλύθηκαν σε ποτήρι ζέσεως ή κάψα πορσελάνης.



Εικόνα 3.2 Διαδικασία εξαγωγής του μαγνητικού κλάσματος όπως αυτή πραγματοποιήθηκε στο Χημείο του Τομέα Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας, του Τμήματος Γεωλογίας, του Α.Π.Θ.

Τα μαγνητικά σωματίδια που εξήχθησαν από κάθε δείγμα εδάφους ξηράθηκαν στους 110 °C μέχρι σταθερού βάρους και στη συνέχεια ζυγίσθηκαν και τοποθετήθηκαν σε πλαστικά φιαλίδια για να ακολουθήσουν η ορυκτολογική, μορφολογική και ορυκτοχημική μελέτη τους.

3.2.3 Ορυκτολογική μελέτη του μαγνητικού κλάσματος

Ο προσδιορισμός της ορυκτολογικής σύστασης του μαγνητικού υλικού έγινε με τη χρήση της μεθόδου της περιθλασιμετρίας ακτίνων-X (XRD) σε παρασκεύασμα κόνεως τυχαίου προσανατολισμού. Από όλα τα δείγματα που μελετήθηκαν επιλέχθηκαν για περεταίρω μελέτη τα δείγματα 9E, 42E, 49E, 51E και 17A, καθώς από την μορφολογική τους παρατήρηση μέσω της ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης προέκυψε η παρουσία σημαντικού αριθμού ανθρωπογενών μαγνητικών σωματιδίων. Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε για ορυκτολογική ανάλυση κονιοποιήθηκε με το χέρι σε αχάτινο γουδί. Για τη μελέτη χρησιμοποιήθηκε ακτινοβολία ακτίνων-X χαλκού ($\text{CuK}\alpha$) με μήκος κύματος 1,54056 Å και φίλτρο Ni. Οι συνθήκες λειτουργίας του περιθλασίμετρου ήταν: τάση 40 kV, ένταση 30 mA, ταχύτητα σάρωσης 1,2°/sec και περιοχή σάρωσης 3-63° 2θ (βήμα σάρωσης 0,020 °2θ). Πριν από την ακτινογράφιση έγινε έλεγχος για την ευαισθησία και την ακρίβεια του περιθλασίμετρου με ειδικό πρότυπο καθαρού πυριτίου. Η απόκλιση των τιμών d ήταν $\pm 0,0006\text{\AA}$ και των τιμών 2θ $\pm 0,0015^\circ$. Ο ποσοτικός προσδιορισμός (% κ.β.) των ορυκτολογικών φάσεων έγινε με βάση τις απარიθμήσεις συγκεκριμένων ανακλάσεων τους και λαμβάνοντας υπόψη την πυκνότητα και το συντελεστή απορρόφησης μάζας των ορυκτολογικών φάσεων για ακτινοβολία Cu ($\text{CuK}\alpha$). Ως βάση δεδομένων για την ταυτοποίηση των ορυκτολογικών φάσεων χρησιμοποιήθηκαν οι πρότυπες καρτέλες περίθλασης του ICDD (International Center of Diffraction Data).

Επίσης, έγινε μορφολογική εξέταση των περιθλασιογραμμάτων για τη διερεύνηση ύπαρξης άμορφων φάσεων. Σε ένα περιθλασιόγραμμα μπορούμε να αντιληφθούμε την παρουσία άμορφων φάσεων ως μια πλατιά ανάκλαση (αναθόλωση του υποβάθρου) μεταξύ 10-20 °2θ. Ο προσδιορισμός του ποσοστού του άμορφου έγινε σύμφωνα με τους Καντηράνης κ.α. 2004.

3.2.4 Γεωχημική μελέτη του μαγνητικού κλάσματος

Στο μαγνητικό κλάσμα έγινε σημειακή χημική ανάλυση (με έμφαση στα σφαιρικά σωματίδια) κατά την μορφολογική του εξέταση με το Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης (SEM) η οποία θα αναλυθεί εκτενώς στο υποκεφάλαιο 3.2.5.2. Ωστόσο το σύνολο των εξεταζόμενων δειγμάτων, πριν την απομόνωση του μαγνητικού κλάσματος, αναλύθηκε ως προς τη χημική τους σύσταση από τα διεθνώς πιστοποιημένα και αξιόπιστα καναδικά

3.2.5 Μορφολογική εξέταση και μικροανάλυση του μαγνητικού κλάσματος

3.2.5.1 Στερεοσκοπική μικροανάλυση των μαγνητικών σωματιδίων

Το μαγνητικό υλικό που προέκυψε από κάθε δείγμα παρατηρήθηκε σε στερεοσκόπιο (Zeiss Stemi DV4) σε μεγέθυνση 16X και ελήφθησαν φωτογραφίες από ενσωματωμένη κάμερα με μεγέθυνση 4X. Το μαγνητικό κλάσμα παρατηρήθηκε μορφολογικά ως προς το χρώμα και τη γεωμετρία των σωματιδίων, το πλήθος των κόκκων, καθώς και ως προς τη συμβολή άλλων μη μαγνητικών σωματιδίων με τη μορφή συσσωματωμάτων.

3.2.5.2 Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης

Το μαγνητικό υλικό κάθε δείγματος παρατηρήθηκε μορφολογικά στο Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης (JEOL JSM6390LV) το οποίο βρίσκεται στις εγκαταστάσεις του Διατμηματικού Εργαστηρίου Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας του Α.Π.Θ. Μία αντιπροσωπευτική ποσότητα του μαγνητικού κλάσματος κάθε δείγματος, τοποθετήθηκε σε ταινία αλουμινίου διπλής όψεως και έπειτα σε ειδικούς δειγματοφορείς. Το κάθε δείγμα πριν την παρατήρηση επικαλύφθηκε με άνθρακα. Η παρατήρηση των δειγμάτων έγινε σε τυχαία επιλεγμένα οπτικά πεδία. Κατά την παρατήρηση έγινε σημειακή στοιχειακή ανάλυση σε σωματίδια (κυρίως σφαιρικά), μέτρηση των διαστάσεών τους, καθώς και λήψη φωτογραφιών. Η στοιχειακή ανάλυση, η οποία πραγματοποιήθηκε με ένα φασματόμετρο διασποράς ενέργειας ακτίνων-X (EDX, INCA 300), ενσωματωμένο στο Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης, έγινε σημειακά, όπου μία δέσμη ηλεκτρονίων στόχευε σε μία μεμονωμένη περιοχή η οποία επιλέχθηκε χειροκίνητα μέσα στο οπτικό πεδίο.

3.2.6 Κατασκευή χαρτών

3.2.6.1 Γεωλογικός χάρτης

Ο γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης δημιουργήθηκε μέσω του λογισμικού Γεωγραφικών Πληροφοριών QGIS έκδοση 3.16.15 (<https://www.qgis.org/en/site/>). Αρχικά, έγινε εισαγωγή των συντεταγμένων κάθε δείγματος και στη συνέχεια γεωαναφέρθηκαν στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987 (ΕΓΣΑ'87) τα φύλλα Κοζάνη, Σιάτιστα και Βελβεντός των γεωλογικών χαρτών από το ΙΓΜΕ. Η λιθολογία, καθώς και η τεκτονική της

περιοχής ψηφιοποιήθηκαν με βάση τα παραπάνω φύλλα. Επίσης, ψηφιοποιήθηκαν και προστέθηκαν οι Α.Η.Σ που εντοπίζονται στην περιοχή, ο ταινιόδρομος μεταφοράς τέφρας του Α.Η.Σ Αγίου Δημητρίου και οι οικισμοί/πόλεις της ευρύτερης περιοχής. Το υπόμνημα του γεωλογικού χάρτη δημιουργήθηκε με βάση τα φύλλα που αναφέρθηκαν ωστόσο είναι ελαφρώς τροποποιημένο για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας.

3.2.6.2 Χάρτες κατανομής μαγνητικού κλάσματος και του λόγου Α.Μ.Σ./Λ.Μ.Σ. (ανθρωπογενή μαγνητικά σωματίδια / λιθογενή μαγνητικά σωματίδια)

Κατά την αποτύπωση της κατανομής του μαγνητικού κλάσματος των δειγμάτων ιζημάτων, αρχικά εισήχθησαν τα ποσοστά του κάθε δείγματος σε μαγνητικό κλάσμα μαζί με τις συντεταγμένες κάθε δείγματος στο Surfer προκειμένου να δημιουργηθεί ένας κানাβρος με την μέθοδο χωρικής παρεμβολής kriging. Για να δημιουργηθεί ο χάρτης, ο κানাβρος εισήχθη στο QGIS 3.16.15. και παρουσιάζεται μέσω κλιμακούμενης χρωματικής διαβάθμισης ισοπληθών γραμμών (filled contours) με βάση τα εύρη του μαγνητικού κλάσματος κάθε δείγματος. Για την αποτύπωση του μαγνητικού κλάσματος των δειγμάτων εδάφους εισήχθησαν τα ποσοστά του μαγνητικού κλάσματος στο QGIS 3.16.15 και παρουσιάζεται με τη μορφή κύκλων ιδίου χρώματος αλλά κλιμακούμενης διαμέτρου με βάση τα εύρη του μαγνητικού κλάσματος κάθε δείγματος. Ως υπόβαθρο χρησιμοποιήθηκε τόσο ο ψηφιοποιημένος γεωλογικός χάρτης, όσο και ο δορυφορικός χάρτης της περιοχής μελέτης. Με την ίδια διαδικασία αποτύπωσης της κατανομής του μαγνητικού κλάσματος των δειγμάτων ιζημάτων, κατασκευάστηκε και ο χάρτης κατανομής του λόγου των Α.Μ.Σ/Λ.Μ.Σ των εξεταζόμενων δειγμάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1 ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ορυκτολογικής μελέτης του μαγνητικού κλάσματος των δειγμάτων 9E, 42E, 49E, 51E και 17A.

Πίνακας 4.1 Ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.) του μαγνητικού κλάσματος των δειγμάτων 9E, 42E, 49E, 51E και 17A.

Δείγμα	Mt	Ser	Px	Qz	Cc	Ol	Cl	Σύνολο
9E	42	50	ίχνη	ίχνη	ίχνη	ίχνη	8	100
42E	47	26	ίχνη	5	ίχνη	13	9	100
49E	51	23	19	ίχνη	ίχνη	ίχνη	7	100
51E	53	12	ίχνη	4	28	ίχνη	3	100
17A	59	22	ίχνη	ίχνη	9	ίχνη	10	100

Mt: Μαγνητίτης, Ser: Σερπεντίνης (Λιζαρδίτης), Px: Πυρόξενος (Διοψίδιος), Qz: Χαλαζίας, Cc: Ασβεστίτης, Ol: Ολιβίνης, Cl: Αργιλικά ορυκτά, ίχνη: < 1%

Με βάση τα αποτελέσματα από την ορυκτολογική ανάλυση στο μαγνητικό κλάσμα των παραπάνω δειγμάτων, τη μεγαλύτερη συμμετοχή την εμφανίζει ο μαγνητίτης ο οποίος κυμαίνεται μεταξύ 42 και 59% κ.β. Ο σερπεντίνης, πιθανόν με τη μορφή λιζαρδίτη, κυμαίνεται μεταξύ 12 και 50% κ.β. Σημαντική είναι και η παρουσία των αργιλικών ορυκτών με τη συμμετοχή τους να κυμαίνεται μεταξύ του 3 και 10% κ.β. Ο χαλαζίας εμφανίζεται μόνο στα δείγματα 51E και 42E με τιμές 4 και 5% κ.β., αντίστοιχα, όπως επίσης και ο ασβεστίτης στα δείγματα 51E και 17A με τιμές 28 και 9% κ.β., αντίστοιχα. Τέλος, ολιβίνης εμφανίζεται μόνο στο δείγμα 42E (13% κ.β.), ενώ το δείγμα 49E είναι το μοναδικό στο οποίο συμμετέχει και πυρόξενος, πιθανόν με τη μορφή διοψιδίου, σε ποσοστό 19% κ.β.

Το μαγνητικό κλάσμα όλων των δειγμάτων που μελετήθηκαν είναι ιδιαίτερα πλούσια σε μαγνητίτη, αλλά και σε σερπεντίνη με εξαίρεση το δείγμα 51E. Παρατηρείται επίσης απουσία ή μικρή συμμετοχή του χαλαζία, όπως επίσης και ορυκτών όπως ο ολιβίνης και ο διοψίδιος. Τέλος, ο ασβεστίτης εμφανίζει έντονη συμμετοχή σε ένα μόνο δείγμα, μικρή σε ένα άλλο δείγμα και απουσιάζει εντελώς από τα υπόλοιπα. Οι ασβεστόλιθοι της λεκάνης της

Πτολεμαΐδας, οι οποίοι καταλαμβάνουν μεγάλη έκταση στην περιοχή μελέτης, αποτελούνται ορυκτολογικά από ασβεστίτη, δευτερευόντως από δολομίτη και σε ίχνη απαντούν χαλαζίας, μαρμαρυγίες, άστριοι, και αργιλικά ορυκτά, χλωρίτης, τάλκης και μεταλλικά ορυκτά (Kantiranis et al. 1998, 1999, 2000, Καντηράνης κ.ά. 1999, 2000α, β).

Με βάση τα αποτελέσματα της ορυκτολογικής μελέτης στα δείγματα πριν τον μαγνητικό διαχωρισμό από τους Καντηράνης κ.ά. (2016), οι διαφορές που παρατηρούνται είναι αρχικά, η μεγαλύτερη συμμετοχή σε χαλαζία, ο οποίος εμφανίζεται σε όλα τα δείγματα, η εντονότερη συμμετοχή του ασβεστίτη στο δείγμα 51E, η μεγαλύτερη συμμετοχή του σερπεντίνης στο δείγμα 9E (70% κ.β.) και τέλος η πολύ μικρότερη συμμετοχή των αργιλικών ορυκτών. Στην περιοχή και συγκεκριμένα στα πρώτα 10 cm του εδαφικού προφίλ, επικρατούν ορυκτά όπως χαλαζίας και άστριοι, έπονται τα ανθρακικά ορυκτά και ακολουθούν τα μαφικά με έντονη την παρουσία του σερπεντίνης.

Ο μαγνητίτης του μαγνητικού κλάσματος έχει διττή προέλευση. Η αποσάθρωση, η μεταφορά και η απόθεση κλαστικού υλικού από τα περιβάλλοντα υπερβασικά πετρώματα της περιοχής αποτελούν την πηγή τροφοδοσίας των εδαφών με μαγνητίτη, ωστόσο η καύση του λιγνίτη και συνεπώς η απόθεση της ιπτάμενης τέφρας αποτελούν την ανθρωπογενή προέλευσή του. Προκειμένου να διασαφηνιστεί σε κάποιο βαθμό ποια από τις δύο πηγές επικρατεί, πραγματοποιήθηκε μορφολογική εξέταση του μαγνητικού κλάσματος στο Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης. Ο προσδιορισμός της επικρατούσας πηγής στα εξεταζόμενα δείγματα έγινε με βάση την ποσοστιαία συμμετοχή των ανθρωπογενών μαγνητικών σωματιδίων και των λιθογενών μαγνητικών σωματιδίων.

Ο σερπεντίνης και ο ολιβίνης έχουν λιθογενή προέλευση, καθώς αποτελούν συστατικά των περιβαλλόντων υπερβασικών πετρωμάτων. Ο χαλαζίας και ο πυρόξενος έχουν διττή προέλευση. Οι λιθολογικοί σχηματισμοί είναι ιδιαίτερα εμπλουτισμένοι με τα συγκεκριμένα ορυκτά, ωστόσο η ιπτάμενη τέφρα αποτελεί και αυτή πιθανή πηγή των συγκεκριμένων ορυκτών. Ο ασβεστίτης και τα αργιλικά ορυκτά πιθανόν προέρχονται από τα περιβάλλοντα πετρώματα της περιοχής, καθώς κυριαρχούν οι ασβεστολιθικές φάσεις και οι σύγχρονες προσχώσεις, με τις τελευταίες να αποτελούνται από άμμους, αργίλους και χαλίκια. Ωστόσο δεν μπορεί να αποκλειστεί και η ανθρωπογενής προέλευση τους. Όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 3.2.1, τα ανθρωπογενή μαγνητικά σωματίδια που εμπεριέχονται στην ιπτάμενη τέφρα έχουν την τάση να σχηματίζουν συσσωματώματα με πυριτικές/αργιλοπυριτικές ενώσεις.

Στο κοίτασμα του λιγνίτη εμπεριέχονται ορυκτά όπως ασβεστίτης, δολομίτης, άστριοι, χαλαζίας, αργιλικά ορυκτά (καολινίτης, ιλλίτης), και σιδηροπυρίτης. Στις ιπτάμενες τέφρες κάποια ορυκτά συνεχίζουν να εμφανίζονται όπως για παράδειγμα ο ασβεστίτης, ο χαλαζίας, οι

άστριοι και τα αργιλικά ορυκτά ενώ σχηματίζονται επιπλέον ανυδρίτης, lime (ελεύθερο CaO), μελίλιθος (γκελενίτης-ακερμανίτης), πορτλανδίτης, ετρινγκίτης, μπραουνμυλλερίτης, χατρουρίτης, γύψος, μπασσανίτης, τομπερμορίτης, μαγνησιοφερρίτης και αιματίτης (Filippidis et al. 1996, Kassoli-Fournaraki et al. 1996, Kantiranis et al. 2005). Επίσης, αξίζει να σημειωθεί πως ο λιγνίτης της λεκάνης της Πτολεμαΐδας συνεξορύσσεται και καίγεται με μαργαικό ασβεστόλιθο ο οποίος συνεισφέρει στην παρουσία ασβεστίτη και αργιλικών ορυκτών τα οποία δίνουν νέες φάσεις μετά την καύση.

4.2 ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

4.2.1 Χημική σύσταση των δειγμάτων πριν την απομόνωση του μαγνητικού κλάσματος

Σύμφωνα με τους Καντηράνης κ.ά. (2016) και Kazakis et al. (2017, 2018), προκειμένου να γίνει η αξιολόγηση εμπλουτισμού των εξεταζόμενων δειγμάτων ιζημάτων από τα περιβάλλοντα πετρώματα και η ρύπανση από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, υπολογίστηκε ο συντελεστής εμπλουτισμού για κάθε κύριο στοιχείο με τη μορφή οξειδίων, ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση του ηπειρωτικού φλοιού (Mason et al. 1982), (Krauskopf et al. 1995) και ο συντελεστής ρύπανσης σε σύγκριση με την παγκόσμια μέση σύσταση των εδαφών (Hansford et al. 1984), (Kabata-Pendias 2011). Διαπιστώθηκε ότι τα CaO και MgO είναι μέτρια έως σημαντικά εμπλουτισμένα ως προς τη μέση σύσταση του ηπειρωτικού φλοιού και μέτρια έως έντονα εμπλουτισμένα ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση εδαφών.

Για τον εμπλουτισμό του MgO , κύριες πηγές θεωρούνται τα οφιολιθικά/υπερβασικά ή/και τα δολομιτικά πετρώματα της περιοχής μελέτης με τις υψηλότερες τιμές να εμφανίζονται ΒΒΔ και ΒΒΑ του Α.Η.Σ Αγίου Δημητρίου. Ο συντελεστής ρύπανσης του MgO εμφανίζει υψηλές τιμές στο ΝΑ τμήμα τη λεκάνης και ιδιαίτερα βόρεια και ΝΑ του Α.Η.Σ του Αγίου Δημητρίου. Ο συντελεστής εμπλουτισμού για το CaO εμφανίζει υψηλές τιμές στο κεντρικό και βόρειο τμήμα της λεκάνης καθώς επίσης και γύρω από τον Α.Η.Σ του Αγίου Δημητρίου, από τα βόρεια μέχρι ΝΑ αυτού ενώ ο συντελεστής ρύπανσης δείχνει έντονη επιβάρυνση στο κεντρικό, ανατολικό και βόρειο τμήμα της λεκάνης. Η πηγή προέλευσης του CaO στα δείγματα είναι κυρίως τα ασβεστολιθικά πετρώματα που περιβάλλουν την περιοχή ωστόσο δεν μπορεί να αποκλειστεί η συνεισφορά τις ιπτάμενης τέφρας.

Οι Georgakopoulos et al. (1996) και Γεωργακόπουλος κ.ά. (2002) μελετώντας επιφανειακά και αδιατάρακτα εδάφη τόσο εντός, όσο και εκτός της λεκάνης Πτολεμαΐδας-Κοζάνης συμπέραναν πως τα Ba, Rb, V, Sr, Cr, Ni, και Zn εμφανίζουν υψηλότερη συγκέντρωση συγκρινόμενα με τον παγκόσμιο μέσο όρο των επιφανειακών εδαφών. Τα ιχνοστοιχεία που επικρατούν στα εξεταζόμενα δείγματα και θεωρούνται εμπλουτισμένα είναι τα As, Co, Cr, Ni

και Sb, χωρίς όμως να αφορούν αποκλειστικά δείγματα υπερβασικής σύστασης. Υψηλές τιμές του συντελεστή ρύπανσης παρουσιάζουν τα Co, Cr και Ni οι οποίες ωστόσο σχετίζονται κυρίως με τα περιβάλλοντα πετρώματα. Ο εμπλουτισμός του Cr παρατηρείται κυρίως BBA του Α.Η.Σ Αγίου Δημητρίου προς τους οικισμούς του Ρυάκιου, του Αγίου Δημητρίου και της Ακρινής, καθώς και στο δυτικό μέρος της λεκάνης. Το Ni εμφανίζει υψηλές τιμές εμπλουτισμού και ρύπανσης σχεδόν σε όλη την έκταση της λεκάνης.

Στοιχεία όπως As, Mo, Pb, Cd, B, Hg, Se και Zn είναι εξαιρετικά πτητικά και διαφεύγουν εύκολα στο περιβάλλον, κατά την καύση των ορυκτών ανθράκων και συγκεκριμένα μέσω των καπναερίων (Meij 1995). Σύμφωνα με τον Ιορδανίδη κ.ά. (2000) η περιεκτικότητα των ιχνοστοιχείων στους λιγνίτες της λεκάνης της Πτολεμαΐδας παρουσιάζει διακυμάνσεις. Κατά μέσο όρο ο λιγνίτης περιέχει 1,12% κ.β. S, με αφθονότερα τα ιχνοστοιχεία: F (μέση τιμή 1096 ppm), Ba (381 ppm), Zn (234 ppm), P (233 ppm), Sr (136 ppm) και Mn (115 ppm).

4.2.2 Χημική σύσταση του μαγνητικού κλάσματος

Τα δείγματα 6E, 9E, 42E και 49E που επιλέχθηκαν για την εξαγωγή του μαγνητικού κλάσματος (Καντηράνης κ.ά. 2016, Kazakis et al. 2017, 2018) εμφανίζουν τις υψηλότερες τιμές σε Fe_2O_3 σε σχέση με τα υπόλοιπα επιφανειακά δείγματα, οι οποίες κυμαίνονται μεταξύ 7,03% κ.β. (δείγμα 49E) και 11,38% κ.β. (δείγμα 9E). Το μαγνητικό κλάσμα των συγκεκριμένων δειγμάτων, το οποίο όπως αναφέρθηκε αποτελείται από μαγνητίτη (Fe_3O_4) και αιματίτη/μαγκεμίτη ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) εμφανίζει τις υψηλότερες τιμές για το σύνολο των δειγμάτων και κυμαίνεται μεταξύ 6,12 (δείγμα 49E) και 14,54% κ.β. (δείγμα 9E). Οι τιμές του μαγνητικού κλάσματος θα αναλυθούν εκτενώς στο Κεφάλαιο 4.3. Όσον αφορά τα υπόλοιπα συστατικά των δειγμάτων πριν την απομόνωση του μαγνητικού κλάσματος, επικρατεί το SiO_2 και ακολουθούν το CaO , Al_2O_3 και MgO .

Ο μαγνητίτης ανεξαρτήτου προελεύσεως, είναι πιθανόν να περιέχει σημαντικά ποσοστά Mg, ενώ σε πολύ μικρότερο ποσοστό Ni, Ti, V και Cr (Wechsler et al. 1984). Σύμφωνα με τους Sidhu et al. (1980) τα Ni και Cr, αλλά και τα Zn, Cu, και Mn που εμφανίζονται στο μαγνητίτη πολλές φορές αντικαθιστούν τον Fe καθιστώντας τον αυτόματα πιθανή πηγή ιχνοστοιχείων στα πετρώματα και στα εδάφη. Με τη χρήση ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης (SEM) πραγματοποιήθηκε σημειακή χημική ανάλυση πολλών μαγνητικών σωματιδίων σε κάθε δείγμα. Ο Fe αποτελεί το αφθονότερο στοιχείο από τα οποία αποτελούνται τόσο τα λιθογενή όσο και τα ανθρωπογενή μαγνητικά σωματίδια. Στο Πίνακα 4.2 παρουσιάζεται η διακύμανση του Fe στα ανθρωπογενή και λιθογενή μαγνητικά σωματίδια για το σύνολο των δειγμάτων.

Πίνακας 4.2 Διακύμανση του Fe στα ανθρωπογενή και λιθογενή μαγνητικά σωματίδια για το σύνολο των δειγμάτων.

ΔΕΙΓΜΑ	M.O Λ.Μ.Σ	STD Λ.Μ.Σ	MEDIAN Λ.Μ.Σ	MIN Λ.Μ.Σ	MAX Λ.Μ.Σ	M.O Λ.Μ.Σ	STD Λ.Μ.Σ	MEDIAN Λ.Μ.Σ	MIN Λ.Μ.Σ	MAX Λ.Μ.Σ	M.O Μ.Σ
2A	75.29	0	75.29	75.29	75.29	75.83	0.0	75.83	75.83	75.83	75.56
4A	70.62	0	70.62	70.62	70.62	53.70	7.3	53.70	46.35	61.05	59.34
5A	61.45	0	61.45	61.45	61.45	0.00	0.0	0.00	0	0	61.45
8A	77.73	0	77.73	77.73	77.73	77.73	0.0	77.73	77.73	77.73	77.73
11A	67.83	0	67.83	67.83	67.83	74.33	4.8	77.73	67.52	77.73	72.70
12A	0	0	0.00	0	0	69.40	6.7	69.15	61.31	77.73	69.40
13A	68.64	8.9	70.19	56.45	77.73	77.73	0.0	77.73	77.73	77.73	71.67
14A	0	0.0	0.00	0	0	69.90	8.2	73.44	58.53	77.73	69.90
15A	66.04	11.7	66.04	54.34	77.73	76.52	0.4	76.61	76.01	76.94	72.33
16A	71.54	0.2	71.54	71.3	71.77	46.37	25.3	46.37	21.05	71.69	58.95
17A	73.46	1.3	73.70	71.79	74.9	0.00	0.0	0.00	0	0	73.46
18A	0	0.0	0.00	0	0	74.70	4.0	76.31	66.62	77.73	74.70
19A	73.15	0.1	73.15	73.27	73.3	77.40	0.5	77.73	76.75	77.73	75.70
20A	59.26	0.0	59.26	59.26	59.26	72.43	3.1	74.37	68.09	74.84	69.14
21A	72.38	1.3	72.38	71.08	73.67	64.75	13.9	72.35	39.44	77.7	66.93
22A	71.06	8.1	75.13	54.93	76.08	50.40	0.0	50.40	50.4	50.4	67.62
23A	62.30	17.5	71.40	37.78	77.73	58.52	15.3	67.19	36.95	71.41	60.41
24A	0	0.0	0.00	0	0	66.62	3.9	66.62	62.69	70.55	66.62
25A	0	0.0	0.00	0	0	76.50	1.2	76.50	75.27	77.73	76.50
26A	74.22	0.0	74.22	74.22	74.22	71.82	0.0	71.82	71.82	71.82	73.02
27A	0	0.0	0.00	0	0	70.03	6.0	71.47	60.36	76.15	70.03
28A	0	0.0	0.00	0	0	76.04	0.2	76.04	75.8	76.28	76.04
29A	76.28	0.0	76.28	76.28	76.28	75.96	0.2	75.80	75.8	76.28	76.04
30A	71.07	6.7	71.07	64.4	77.73	77.73	0.0	77.73	77.73	77.73	73.29
31A	74.07	0.0	74.07	74.07	74.07	72.69	3.4	72.69	69.27	76.11	73.15
32A	0	0.0	0.00	0	0	64.01	7.9	63.19	49.83	76.41	64.01
33A	0	0.0	0.00	0	0	69.65	3.7	70.92	63.72	73.03	69.65
34A	0	0.0	0.00	0	0	67.49	2.2	66.63	65.45	71.24	67.49
35A	0	0.0	0.00	0	0	70.42	6.1	69.92	64.09	77.73	70.42
36A	0	0.0	0.00	0	0	77.73	0.0	77.73	77.73	77.73	77.73
37A	77.73	0.0	77.73	77.73	77.73	0.00	0.0	0.00	0	0	76.71
38A	0	0.0	0.00	0	0	66.13	10.1	69.18	46.9	77.73	66.13
39A	73.8	3.9	73.80	69.87	77.73	58.86	2.3	58.86	56.56	61.16	66.33
41A	71.06	0.0	71.06	71.06	71.06	77.73	0.0	77.73	77.73	77.73	74.40
43A	0	0.0	0.00	0	0	67.81	6.8	68.67	59.28	74.28	67.81
45A	74.92	0.0	74.92	74.92	74.92	66.53	8.0	65.56	57.2	76.82	68.63
46A	77.73	0.0	77.73	77.73	77.73	76.12	1.3	75.94	74.68	77.73	76.52
47A	64.70	7.7	63.80	54.9	76.31	68.78	5.0	68.06	63.05	75.24	66.45
48A	53.15	1.4	53.15	51.78	54.51	68.15	8.6	70.53	55.22	76.31	63.15
52A	61.99	7.6	64.00	50.92	69.04	0.00	0.0	0.00	0	0	61.99
53A	0	0.0	0.00	0	0	70.35	1.6	70.31	68.24	72.52	70.35
54A	77.73	0.0	77.73	77.73	77.73	0.00	0.0	0.00	0	0	77.73
55A	0	0.0	0.00	0	0	0.00	0.0	0.00	0	0	0.00
56A	54.01	0.0	54.01	54.01	54.01	62.58	9.2	60.24	48.15	73.54	61.15
57A	70.7	0.0	70.70	70.7	70.7	0.00	0.0	0.00	0	0	70.70
58A	27.73	0.0	27.73	27.73	27.73	73.74	0.0	73.74	73.74	73.74	50.74

59A	61.23	0.0	61.23	61.23	61.23	73.11	0.0	73.11	73.11	73.11	67.17
1E	52.53	8.9	52.53	43.62	61.44	0.00	0.0	0.00	0	0	52.53
3E	58.48	13.7	58.48	44.75	72.2	77.73	0.0	77.73	77.73	77.73	70.03
6E	0	0.0	0.00	0	0	63.35	5.0	63.35	58.33	68.36	63.35
7E	67.14	7.9	64.83	58.87	77.73	65.18	11.5	71.30	49.08	75.15	66.16
9E	32.96	0.0	32.96	32.96	32.96	62.35	15.8	67.11	26.01	75.97	59.08
10E	73.04	7.2	76.88	60.66	77.73	61.90	5.2	63.09	55	67.62	68.27
40E	60.92	6.3	63.90	52.11	66.74	62.55	11.5	59.91	50.02	77.73	61.74
42E	0	0.0	0.00	0	0	61.50	10.7	54.09	53.8	76.61	36.90
44E	59.88	6.6	61.33	51.2	67.1	68.38	0.9	68.21	67.4	69.53	64.13
49E	62	0.0	62.00	62	62	56.94	11.3	58.11	42.53	70.17	58.20
50E	73.65	1.0	73.54	72.43	74.99	65.56	0.0	65.56	65.56	65.56	71.63
51E	61.74	4.2	61.74	57.55	65.93	70.26	3.8	69.87	65.83	75.09	66.85
M.O	46.02	4.0	62			59.36	5.2	69.18			66.71

A.M.Σ: Ανθρωπογενή μαγνητικά σωματίδια, Λ.Μ.Σ: Λιθογενή μαγνητικά σωματίδια, Μ.Σ : Μαγνητικά σωματίδια, Μ.Ο: Μέσος όρος, STD: Τυπική απόκλιση, MEDIAN: Διάμεσος τιμή, Min: Ελάχιστη τιμή, Max: Μέγιστη τιμή

Το ποσοστό του στα μαγνητικά σφαιρίδια της ιπτάμενης τέφρας κυμαίνεται μεταξύ 27,73 % κ.β. και 77,73% κ.β. ενώ στα λιθογενή σωματίδια κυμαίνεται μεταξύ 21,05% κ.β. και 77,73% κ.β. Ο μέσος όρος της τιμής του Fe για το σύνολο των μαγνητικών σωματιδίων είναι 66,71% κ.β. Η μέση σύσταση των εδαφών παγκοσμίως σε Fe είναι 3,5% (Kabata-Pendias 2011).

Οι υψηλότερες τιμές εντοπίζονται κυρίως στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης (βόρεια και δυτικά του Α.Η.Σ Αγίου Δημητρίου) και στο νοτιοδυτικό τμήμα της λεκάνης και ΝΑ του Α.Η.Σ Καρδιάς. Οι υψηλές τιμές του Fe στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης πιθανόν οφείλονται στην έντονη παρουσία των περιβαλλόντων οφιολιθικών πετρωμάτων στα ανατολικά περιθώρια της λεκάνης και συνεπώς στην αποσάθρωση τους και μεταφορά υλικού. Ωστόσο, η παρουσία του Α.Η.Σ Αγίου Δημητρίου δεν αποκλείει το γεγονός η παρουσία του Fe να προέρχεται από ορυκτά που προκύπτουν από την καύση του λιγνίτη. Υψηλές τιμές παρατηρούνται και στα δυτικά του Α.Η.Σ Αγίου Δημητρίου με νότια κατεύθυνση με τις πηγές προέλευσης που προαναφέρθηκαν. Η αυξημένη παρουσία του στα ανατολικά και συγκεκριμένα στο δείγμα 2Α, οφείλεται τόσο στην μεταφορά οφιολιθικής σύστασης υλικού τροφοδοσίας είτε σε δραστηριότητες από τον Α.Η.Σ Αγίου Δημητρίου.

Το επόμενο σε αφθονία στοιχείο για το σύνολο του μαγνητικού κλάσματος είναι το Si με μέγιστη τιμή 20,36% κ.β. και μέσο όρο (στο σύνολο των δειγμάτων) 2,36% κ.β. και ακολουθούν το Ca με μέγιστη τιμή 23,79 και μέσο όρο 1,26% κ.β., το Mg με μέγιστη τιμή 19,65 και μέσο όρο 1,16% κ.β., το Al με μέγιστη τιμή 9,36 και μέσο όρο 0,97% κ.β., το Cr με

μέγιστη τιμή το 18,97 και μέσο όρο 0,52% κ.β., το Ti με μέγιστη τιμή 16,62 και μέσο όρο 0,39% κ.β., το Mn με μέγιστη τιμή 24,81 και μέσο όρο 0,36% κ.β., το Ni με μέγιστη τιμή 5,41 και μέσο όρο 0,05% κ.β., ο P με μέγιστη τιμή 1,46 και μέσο όρο 0,04% κ.β., το K με μέγιστη τιμή 1,99 και μέσο όρο 0,02% κ.β., ο Zn με μέγιστη τιμή 2,76 και μέσο όρο 0,01% κ.β. και τέλος το V με μέγιστη τιμή 1,17 και μέσο όρο 0,01% κ.β. Επιπλέον, σε ένα μεμονωμένο δείγμα λιθογενούς μαγνητικού σωματιδίου συμμετέχει το Na με τιμή 2,34 και με μέση όρο δείγματος 0,33% κ.β. Αναλυτικά τα αποτελέσματα της χημικής σύστασης των μαγνητικών σωματιδίων στο μαγνητικό κλάσμα όπως αυτό προέκυψε από το Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης παρουσιάζονται στους Πίνακες Γ, Δ του ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΟΣ Ι.

Το Si και το Ca εμφανίζονται σε αφθονία στις ιπτάμενες τέφρες του ΛΚΔΜ. Ωστόσο το ίδιο άφθονα είναι και στους λιθολογικούς σχηματισμούς της περιοχής. Συγκεκριμένα το Ca εντοπίζεται κυρίως σε σφαιρίδια ιπτάμενης τέφρας όπως είναι αναμενόμενο λόγω της σύστασης της, ενισχύοντας την παρουσία του στο μαγνητικό κλάσμα, ενώ η παρουσία των ασβεστολιθικών σχηματισμών στην ευρύτερη περιοχή συμβάλλει στις τιμές του για το σύνολο των λιθογενών μαγνητικών σωματιδίων. Η πλειοψηφία των σχηματισμών μέσα στους οποίους έγινε η δειγματοληψία αποτελείται από αργιλικούς σχηματισμούς οι οποίοι είναι πλούσιοι σε αργιλικά ορυκτά. Συνεπώς ερμηνεύεται η παρουσία του Al στο μαγνητικό κλάσμα. Ωστόσο, οι αργιλοπυριτικές ενώσεις με μορφή επικαλύμματος είναι κοινές στο μαγνητικό κλάσμα το οποίο προέρχεται από την καύση ορυκτών ανθράκων. Συγκεκριμένα μία από τις μορφές στις οποίες εμφανίζεται ο μαγνητίτης στις ιπτάμενες τέφρες αποτελείται από έναν πυρήνα από μαγνητίτη ή μαγκεμίτη και ένα λεπτό επικάλυμμα αργιλοπυριτικών ενώσεων ή μουλίτη, ορυκτό σύνθετο κατά την καύση ορυκτών ανθράκων (Magiera et al. 2012). Συνεπώς, η παρουσία του Al μπορεί να αποδοθεί τόσο στη λιθολογία της περιοχής, όσο και στη συμμετοχή της ιπτάμενης τέφρας.

Η παρουσία του Mg στο μαγνητικό κλάσμα οφείλεται είτε στα οφιολιθικά/υπερβασικά περιβάλλοντα πετρώματα της περιοχής είτε στη διασπορά της ιπτάμενης τέφρας. Η παρουσία του στα μαγνητικά σωματίδια ανθρωπογενούς προέλευσης είναι αρκετά συχνή και οφείλεται στην ύπαρξη μαγνησιοφερρίτη, ένα μαγνητικό ορυκτό που εμφανίζεται και στην τέφρα του Λ.Κ.Δ.Μ. Ωστόσο, στα υποεξέταση σωματίδια η συμμετοχή του μαγνησίου είναι μικρή και μη ικανή να οδηγήσει στο σχηματισμό του συγκεκριμένου ορυκτού. Η εμφάνιση του Cr στο μαγνητικό κλάσμα προέρχεται από τα περιβάλλοντα υπερβασικά πετρώματα, καθώς εμφανίζεται σε λιθογενούς προέλευσης σωματίδια, ενώ σημαντική είναι και η συνεισφορά των σωματιδίων της ιπτάμενης τέφρας. Οι Καντηράνης κ.ά. (2016) και Kazakis et al. (2017, 2018), υπέδειξαν την έντονη συνεισφορά σωματιδίων ιπτάμενης τέφρας στην παρουσία Cr στα εδάφη της περιοχής. Το Mn είναι ένα από τα πέντε αφθονότερα στοιχεία τόσο στην τέφρα του Α.Η.Σ

Αγίου Δημητρίου, όσο και σε δείγματα από τον ταινιόδρομο (Καντηράνης κ.ά. 2016, Kazakis et al. 2017, 2018). Ωστόσο, η συμβολή των περιβαλλόντων οφιολιθικών πετρωμάτων, αλλά και τον αλλουβιακών αποθέσεων που προέρχονται από αυτά και εμφανίζονται έντονα στην περιοχή, θα μπορούσαν να αποτελέσουν πηγές Mn.

Το Mn αλλά και το Ti αποτελούν δύο από τα αφθονότερα ιχνοστοιχεία των εδαφών παγκοσμίως (Kabata-Pendias 2011). Στα πέντε αφθονότερα ιχνοστοιχεία συγκαταλέγεται και το Ni. Εντοπίζεται στα υπερβασικά πετρώματα που περιβάλλουν την περιοχή μελέτης, η οποία είναι ιδιαίτερα εμπλουτισμένη σε αυτό εξαιτίας της παρουσίας οφιολιθικών πετρωμάτων. Ωστόσο, αποτελεί ιχνοστοιχείο τα οποίο εμφανίζεται με τη μορφή σουλφιδίων στους ορυκτούς άνθρακες και είναι ισχυρά συνδεδεμένο με τα μαγνητικά ορυκτά της ιπτάμενης τέφρας (Magiera et al. 2012). Το Ti αποτελεί τον πιο κοινό αντικαταστάτη του Fe στον λιθογενή μαγνητίτη (Santana et al. 2001) και μερικές φορές σχηματίζεται τιτανομαγνητίτης. Η παρουσία ιλμενίτη αποτελεί πιθανή πηγή Ti τόσο για τα λιθογενή (στα οποία εμφανίζεται στην πλειοψηφία), όσο και για τα ανθρωπογενή σωματίδια. Ωστόσο μικρές ποσότητες Ti βρέθηκαν σε σφαιρίδια από την ιπτάμενη τέφρα του Α.Η.Σ Καρδιάς (Iordanidis et al. 2008). Το K και μεμονωμένα το Na εμφανίζονται σε μικρές ποσότητες τόσο στα λιθογενή, όσο και στα ανθρωπογενή μαγνητικά σωματίδια με πιθανή προέλευση τους, τους λιθολογικούς σχηματισμούς της περιοχής όπως η χαλαζιακή άμμος, αλλά και οι άστριοι που εμπεριέχονται στην ιπτάμενη τέφρα.

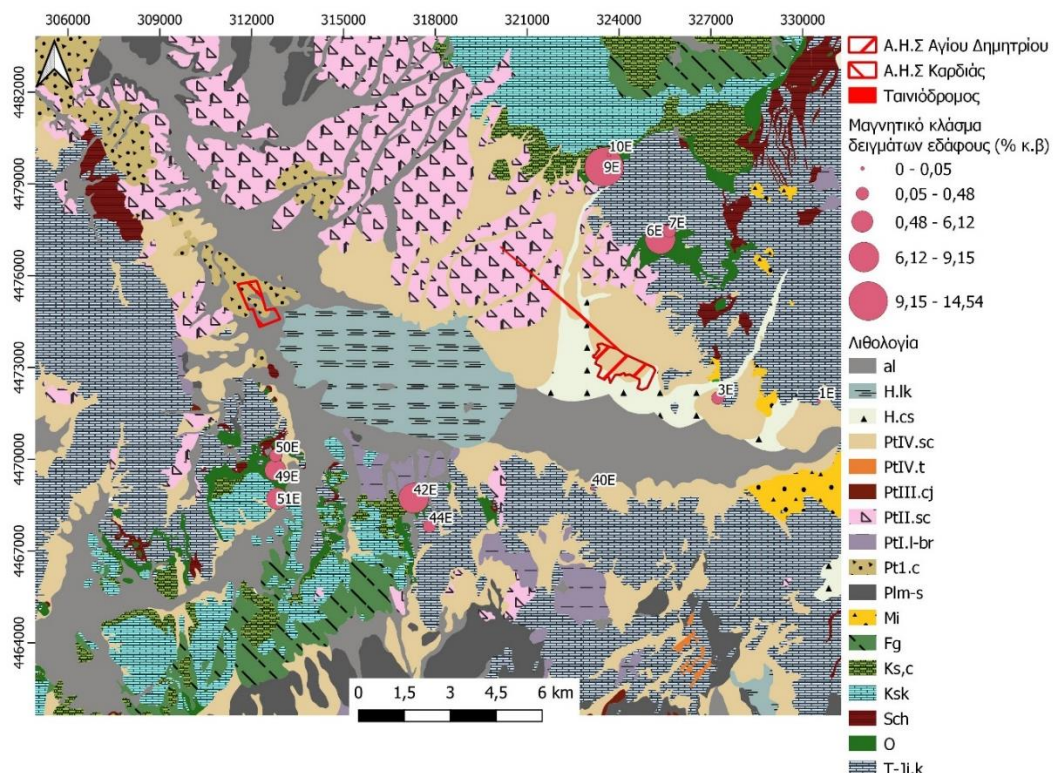
Το V εμφανίζεται σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις στο μαγνητικό κλάσμα και συγκεκριμένα στα λιθογενή μαγνητικά σωματίδια. Μαζί με τον Zn και τον P εμφανίζονται συχνά σε κόκκους λιθογενούς μαγνητίτη, ενώ το V και ο Zn εμφανίζουν υψηλές συγκεντρώσεις στα εδάφη, τόσο σε παγκόσμιο επίπεδο όσο και τοπικά (Georgakopoulos et al. 1996, Γεωργακόπουλος κ.ά. 2002, Kabata-Pendias 2011). Τέλος ο P όπως έχει προαναφερθεί, εμπεριέχεται στα εδάφη της περιοχής εξαιτίας των έντονων και εκτεταμένων γεωργικών δραστηριοτήτων που συμβαίνουν στην περιοχή οι οποίες αποτελούν και την πηγή προέλευσης του στα υπό εξέταση μαγνητικά σωματίδια.

Μαγνητικά σωματίδια της ιπτάμενης τέφρας σε δείγματα εδάφους στην Β. Καρολίνα των Η.Π.Α (Grimley et al. 2021) εκτός από τον Fe που κυριαρχεί στην δομή τους, παρουσιάζουν και μικρές ποσότητες Si, Al, Ca αλλά και K, Ti.

4.3 ΑΠΟΜΟΝΩΣΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΚΛΑΣΜΑΤΟΣ

Από τον διαχωρισμό του μαγνητικού κλάσματος κάθε δείγματος, προέκυψε πως ο μέσος όρος των μαγνητικών σωματιδίων στα υπό εξέταση δείγματα εδάφους του μανδύα αποσάθρωσης (E), στην επιφάνεια του εδάφους, είναι 3,36% κ.β. με κάποια δείγματα να έχουν μη ανιχνεύσιμη τιμή και μέγιστη τιμή 14,54% κ.β. ενώ στα δείγματα ιζήματος (A), σε βάθος 10 cm, ο μέσος όρος είναι 0,67% κ.β. με κάποια δείγματα να έχουν μη ανιχνεύσιμες τιμές και μέγιστη τιμή 4,53% κ.β. (Πίνακας Α, ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι). Σύμφωνα με τον Hatfield (2014) μελέτη διαφορετικών εδαφών τόσο ως προς τη σύσταση, όσο και ως προς το κοκκομετρικό μέγεθος, έδειξε πως τα σιδηρομαγνητικά σωματίδια συμπεριφέρονται διαφορετικά ανάλογα με το κοκκομετρικό μέγεθος του ιζήματος, αλλά και ως προς τους ορίζοντες του εδαφικού προφίλ. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε αύξηση της συγκέντρωσής τους στον ορίζοντα Α σε σχέση με υποεπιφανειακούς ορίζοντες και υψηλή συγκέντρωση στο κλάσμα $> 0,02\text{mm}$.

Η κατανομή του μαγνητικού κλάσματος των δειγμάτων εδάφους (E), στην περιοχή μελέτης αποτυπώνεται στην Εικόνα 4.1.

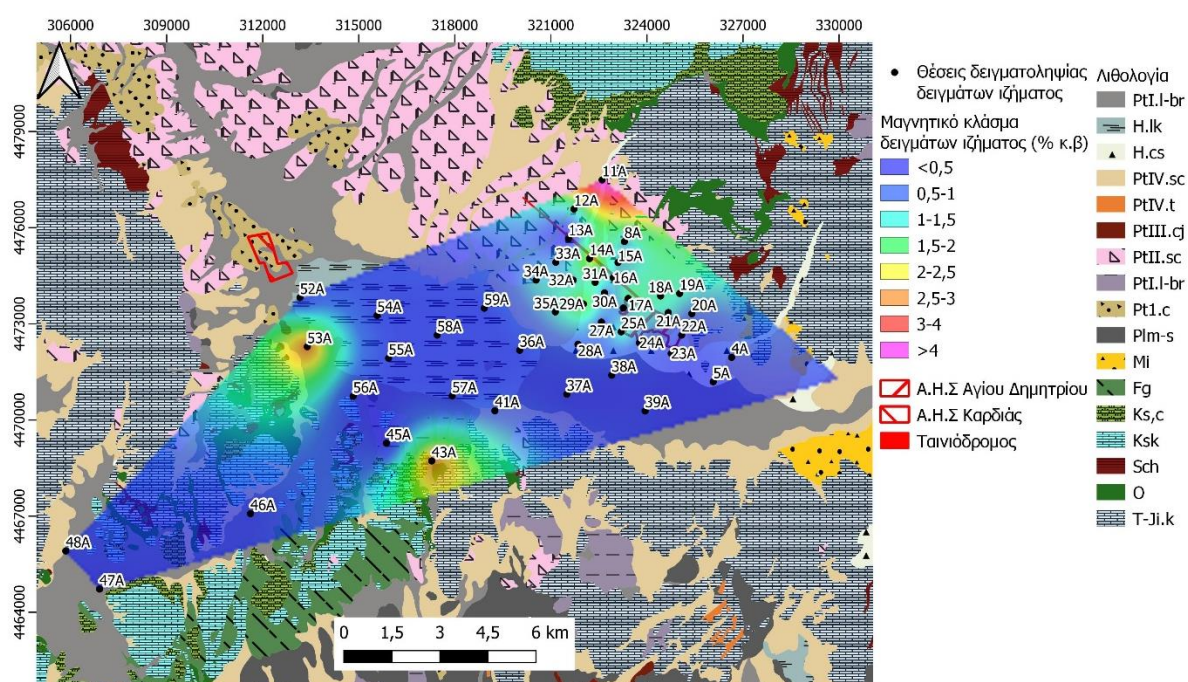


Εικόνα 4.1 Κατανομή του μαγνητικού κλάσματος των δειγμάτων του μανδύα αποσάθρωσης (E), στην επιφάνεια του εδάφους, στην περιοχή μελέτης.

Στον παραπάνω χάρτη κατανομής του μαγνητικού κλάσματος των δειγμάτων εδάφους αποτυπώνονται οι υψηλότερες τιμές στο βορειοανατολικό και νοτιοδυτικό τμήμα της περιοχής έρευνας. Στο ΒΑ τμήμα της περιοχής, παρατηρούνται εκτεταμένες εμφανίσεις οφιολιθικών

πετρωμάτων οι οποίες πιθανόν αποτελούν την πηγή του μαγνητικού κλάσματος των δειγμάτων της ευρύτερης περιοχής. Πιο συγκεκριμένα, στο βόρειο άκρο της περιοχής η τιμή του μαγνητικού κλάσματος είναι $>12\%$ κ.β., με το δείγμα 9E να διαθέτει την υψηλότερη τιμή ($14,54\%$ κ.β.) στο σύνολο των δειγμάτων, ενώ όσο κατευθυνόμαστε νοτιότερα και μέχρι τον Α.Η.Σ Αγίου Δημητρίου, οι τιμές είναι μεγαλύτερες του μέσου όρου $3,36\%$ κ.β. Μία ακόμη θέση στην οποία παρατηρείται ιδιαίτερα υψηλή συμμετοχή του μαγνητικού κλάσματος, είναι στα νότια της περιοχής η οποία περιβάλλεται και αυτή από ένα πλήθος συμπλεγμάτων οφιολιθικών πετρωμάτων.

Στην Εικόνα 4.2 αποτυπώνεται η κατανομή του μαγνητικού κλάσματος των δειγμάτων ιζήματος (A), στα 10 cm από την επιφάνεια.



Εικόνα 4.2 Κατανομή του μαγνητικού κλάσματος των δειγμάτων ιζήματος (A), 10 cm από την επιφάνεια του εδάφους στην περιοχή μελέτης.

Στον παραπάνω χάρτη κατανομής του μαγνητικού κλάσματος των δειγμάτων ιζήματος αποτυπώνονται οι υψηλότερες τιμές στο βορειοανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης ενώ τοπικά, στα νότια και βορειοδυτικά της περιοχής μελέτης παρατηρούνται εξίσου υψηλές τιμές. Πιο συγκεκριμένα, στο βορειοανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης η τιμή του μαγνητικού κλάσματος είναι μεγαλύτερη του 4% κ.β., με το δείγμα 11A να παρουσιάζει την υψηλότερη τιμή ($4,53\%$ κ.β.) για το σύνολο των δειγμάτων. Όσο κατευθυνόμαστε προς τον Α.Η.Σ Αγίου Δημητρίου και ιδιαίτερα περιμετρικά του ταινιόδρομου, οι τιμές παραμένουν πάνω από 1% κ.β., μεγαλύτερες του μέσου όρου ($0,67\%$ κ.β.). Στην συγκεκριμένη περιοχή και τοπικά, πλησίον του ταινιόδρομου αλλά και σε μία ακόμη θέση νότια αυτού, οι τιμές του μαγνητικού

κλάσματος πλησιάζουν το 2% κ.β. Η συγκεκριμένη περιοχή θα μελετηθεί εκτενέστερα στο Κεφάλαιο 4.4.2.

Στο βορειοδυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης, στο δείγμα 53A, η υψηλή τιμή του μαγνητικού κλάσματος πιθανόν οφείλεται στην παρουσία οφιολιθικών πετρωμάτων δυτικά της θέσης, ωστόσο η παρουσία του Α.Η.Σ Καρδιάς στα βόρεια αυτής, ενισχύει τις πιθανότητες να είναι έντονη η παρουσία των ανθρωπογενών μαγνητικών σωματιδίων. Η διασαφήνιση σε ένα βαθμό της προέλευσης τους θα πραγματοποιηθεί με την μορφολογική παρατήρηση στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης. Τέλος, τοπικά στο νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης η τιμή του μαγνητικού κλάσματος ξεπερνάει το 2% κ.β., τιμή η οποία πιθανότατα οφείλεται στην έντονη παρουσία συμπλεγμάτων αποτελούμενα από οφιολιθικά πετρώματα περίξ της θέσης με την υψηλή τιμή.

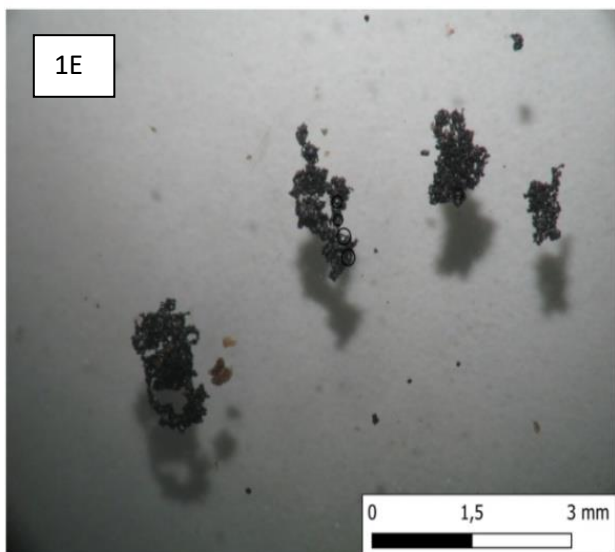
Με βάση μελέτη που πραγματοποιήθηκε σε ανθρωπογενή μαγνητικά σωματίδια σε εδάφη της Νορβηγίας, Τσεχίας και Πολωνίας, σε απόσταση 10 km από εργοστάσια μεταλλουργίας, στα πρώτα 3-4 cm του εδάφους παρατηρείται εντονότερη απόθεση ισχυρά μαγνητικών σωματιδίων (Wawer et al. 2019). Μελέτη η οποία πραγματοποιήθηκε σε αερομεταφερούμενα μαγνητικά σωματίδια στα πρώτα 40 cm του εδαφικού προφίλ σε βιομηχανική περιοχή της Πολωνίας (ατμοηλεκτρικοί σταθμοί και εργοστάσια μεταλλουργίας), έδειξε πως το μαγνητικό κλάσμα στο συγκεκριμένο βάθος κυμαίνεται από 0,1 έως 10,87% κ.β. με μέσο όρο 1,25% κ.β. (Wilczynska-Michalik et al. 2020). Επίσης, από μελέτη που πραγματοποιήθηκε σε μαγνητικά σωματίδια της σκόνης από το οδικό δίκτυο στον αστικό ιστό της Θεσσαλονίκης (Bourliva et al. 2016), προέκυψε πως το ποσοστό του μαγνητικού κλάσματος στο σύνολο των δειγμάτων κυμαίνεται από 2,2 έως 14,7 % κ.β., ενώ ο μέσος όρος είναι 7,6% κ.β.

Σύμφωνα με τις Εικόνες 2.4 και 2.5, η ευρύτερη περιοχή χαρακτηρίζεται από την παρουσία πορωδών υδροφορέων, προσδίδοντας στα εδάφη έντονο το χαρακτηριστικό της διαπερατότητας και συνεπώς της κατείσδυσης. Η υψηλή διαπερατότητα των εδαφών σε συνδυασμό με την NNA διεύθυνση του ανέμου που επικρατεί στην περιοχή φαίνεται να συμβάλλουν σημαντικά στην απόθεση και κατείσδυση των μαγνητικών σωματιδίων στα εδάφη της περιοχής μελέτης.

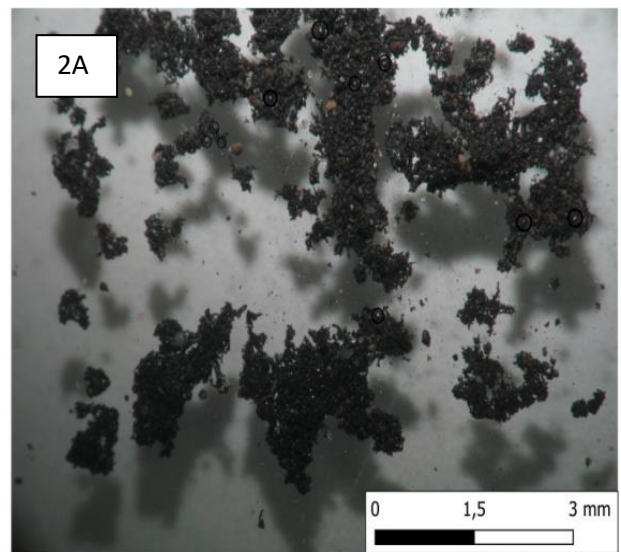
4.4 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΚΑΙ ΜΙΚΡΟΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΚΛΑΣΜΑΤΟΣ

4.4.1 Στερεοσκοπική παρατήρηση

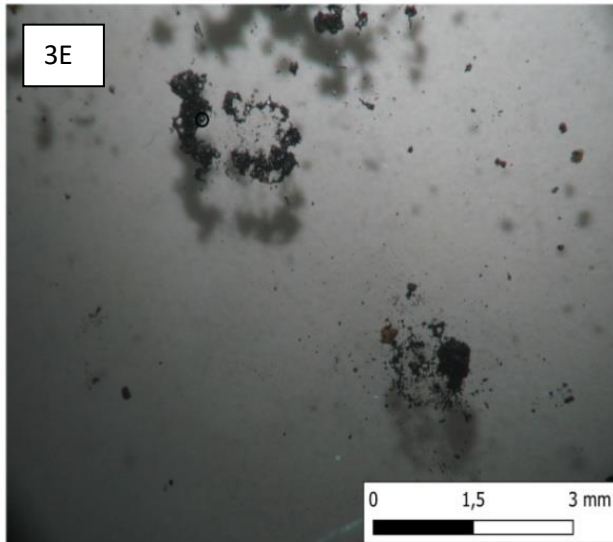
Το σύνολο του μαγνητικού κλάσματος κάθε δείγματος εμφανίζεται με σκούρο μαύρο χρώμα και τις περισσότερες φορές με τη μορφή συσσωματωμάτων τόσο μεταξύ τους, όσο και με μη μαγνητικά υλικά. Ιδιαίτερα στα δείγματα 9E, 50E και 16E είναι έντονη η παρουσία του μαγνητικού κλάσματος και το μαγνητικό υλικό παρουσιάζεται συχνά με τη μορφή συσσωματωμάτων. Όπως αποτυπώνεται στις Εικόνες A.1E, A.2A, A.3E και A.20A, εντοπίστηκαν μαύρα σφαιρίδια με διάμετρο $<0,1 \text{ mm}$ τα οποία πιθανόν να αποτελούν ανθρωπογενή μαγνητικά σωματίδια προερχόμενα από την ιπτάμενη τέφρα (Μικροφωτογραφίες στερεοσκοπίου, ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II). Ωστόσο η ακριβής συμμετοχή τους σε κάθε δείγμα αποτυπώνεται στα αποτελέσματα από την μορφολογική παρατήρηση στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης. Στα δείγματα 15A, 25A, 40E και 54A εντοπίστηκαν λιθογενή μαγνητικά σωματίδια με τη μορφή οκταέδρου και με διάμετρο $0,1\text{mm} - 1,2\text{mm}$ (Εικόνες A.15A, A.25A, A.40E και A.54A).



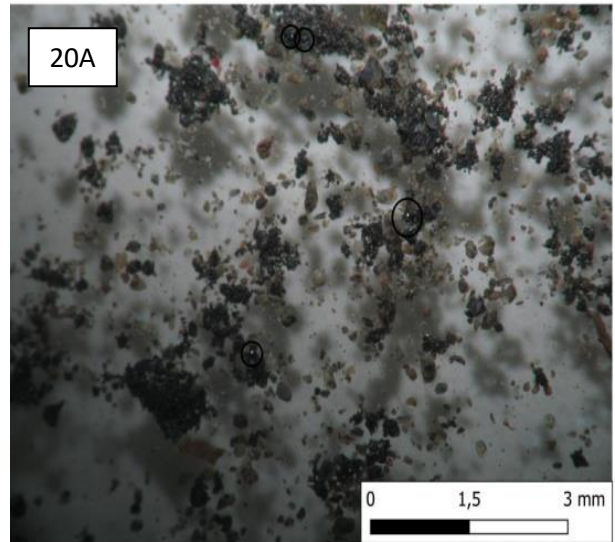
Εικόνα A.1E Μικροφωτογραφία από τη στερεοσκοπική παρατήρηση του δείγματος 1E όπου σε μαύρους κύκλους σημειώνονται πιθανά ανθρωπογενή μαγνητικά σωματίδια προερχόμενα από την ιπτάμενη τέφρα (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II : ΜΙΚΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΟΥ).



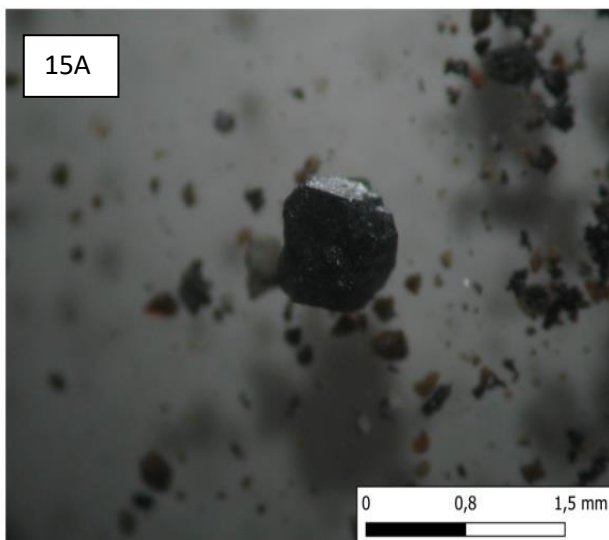
Εικόνα A.2A Μικροφωτογραφία από τη στερεοσκοπική παρατήρηση του δείγματος 2A όπου σε μαύρους κύκλους σημειώνονται πιθανά ανθρωπογενή μαγνητικά σωματίδια προερχόμενα από την ιπτάμενη τέφρα (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II : ΜΙΚΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΟΥ).



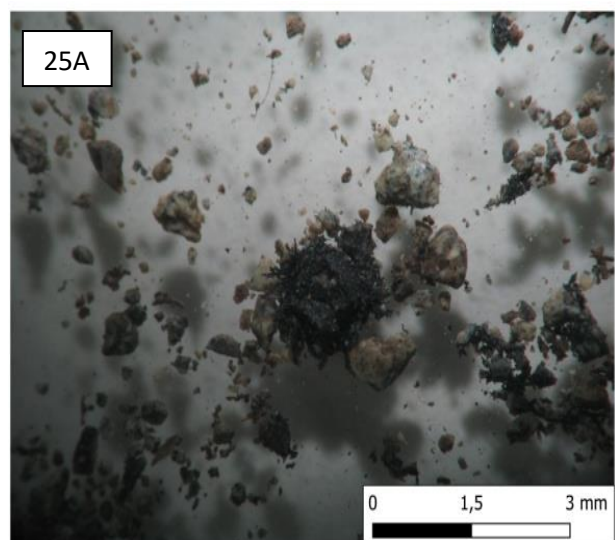
Εικόνα Α.3Ε Μικροφωτογραφία από τη στερεοσκοπική παρατήρηση του δείγματος 3Ε όπου σε μαύρους κύκλους σημειώνονται πιθανά ανθρωπογενή μαγνητικά σωματίδια προερχόμενα από την ιπτάμενη τέφρα (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II : ΜΙΚΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΟΥ).



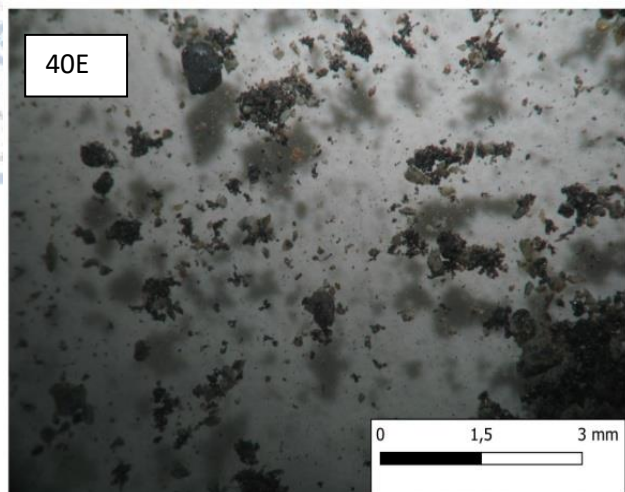
Εικόνα Α.20Α Μικροφωτογραφία από τη στερεοσκοπική παρατήρηση του δείγματος 20Α όπου σε μαύρους κύκλους σημειώνονται πιθανά ανθρωπογενή μαγνητικά σωματίδια προερχόμενα από την ιπτάμενη τέφρα (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II : ΜΙΚΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΟΥ).



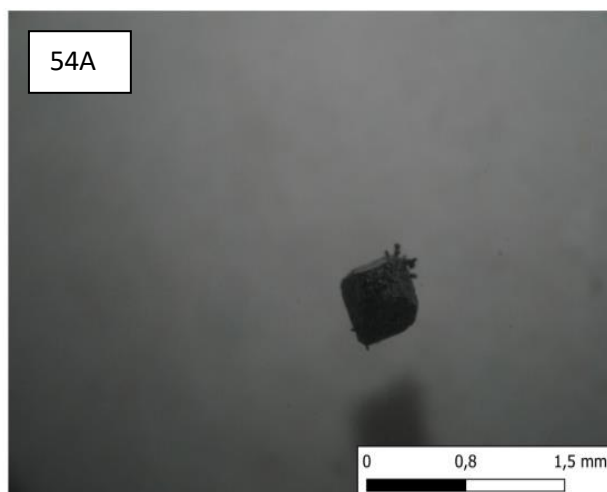
Εικόνα Α.15Α Μικροφωτογραφία από τη στερεοσκοπική παρατήρηση του δείγματος 15Α στο κέντρο της οποίας φαίνεται ένας κόκκος λιθογενούς μαγνητίτη με την μορφή οκταέδρου κατά τόπους καταπονημένου (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II : ΜΙΚΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΟΥ).



Εικόνα Α.25Α Μικροφωτογραφία από τη στερεοσκοπική παρατήρηση του δείγματος 25Α στο κέντρο της οποίας φαίνεται ένας κόκκος λιθογενούς μαγνητίτη με την μορφή οκταέδρου κατά τόπους καταπονημένου (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II : ΜΙΚΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΟΥ).

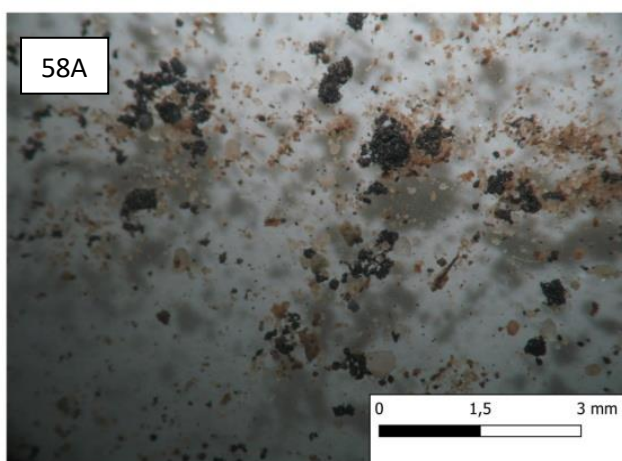


Εικόνα Α.40Ε Μικροφωτογραφία από τη στερεοσκοπική παρατήρηση του δείγματος 40Ε στο πάνω μέρος της οποίας φαίνεται ένας κόκκος λιθογενούς μαγνητίτη με την μορφή πυραμίδας κατά τόπους καταπονημένη (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ : ΜΙΚΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΟΥ).

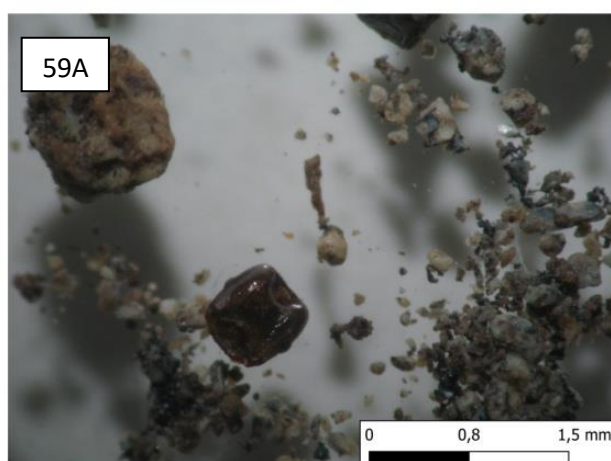


Εικόνα Α.54Α Μικροφωτογραφία από τη στερεοσκοπική παρατήρηση του δείγματος 54Α στο κέντρο της οποίας φαίνεται ένας κόκκος λιθογενούς μαγνητίτη με την μορφή πυραμίδας κατά τόπους καταπονημένη (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ : ΜΙΚΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΟΥ).

Το μη μαγνητικό υλικό που εντοπίζεται στα δείγματα αποτελείται από κόκκους πετρωμάτων, κρυστάλλους λευκοκρατικών ορυκτών π.χ. χαλαζίας, αλλά και υπολείμματα φυτών (Εικόνες Α.58Α και Α.59Α). Επίσης στα δείγματα 9Ε και 53Α μαύρα, σφαιρικά σωματίδια διαμέτρου 0,8 mm πιθανόν αποτελούν λιθογενείς κόκκους ιλμενίτη (Grimley et al. 2021). Αυτό ενισχύεται από το γεγονός ότι η υψηλότερη τιμή Ti εντοπίστηκε στο δείγμα 9Ε (Εικόνα Α.9Ε).



Εικόνα Α.58Α Μικροφωτογραφία από τη στερεοσκοπική παρατήρηση του δείγματος 58Α στην οποία αποτυπώνονται μη μαγνητικοί κόκκοι λευκοκρατικών ορυκτών (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ : ΜΙΚΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΟΥ).



Εικόνα Α.59Α Μικροφωτογραφία από τη στερεοσκοπική παρατήρηση του δείγματος 59Α στην οποία αποτυπώνονται μη μαγνητικοί κόκκοι ορυκτών καθώς και μέρη από τμήματα φυτών (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ : ΜΙΚΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΟΥ).



Εικόνα Α.9Ε Μικροφωτογραφία από τη στερεοσκοπική παρατήρηση του δείγματος 9Ε στην οποία αποτυπώνονται μη μαγνητικοί κόκκοι λευκοκρατικών ορυκτών καθώς και ένας κόκκος πιθανόν ιλμενίτη στο κάτω μέρος της χρώματος καφέ (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II : ΜΙΚΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΟΥ).

4.4.2 Ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης

4.4.2.1 Μέγεθος των μαγνητικών σωματιδίων

Από την μορφολογική παρατήρηση του μαγνητικού κλάσματος, τα μαγνητικά σωματίδια που προέρχονται από τα πετρώματα της περιοχής εμφανίζονται ιδιόμορφα με την μορφή πυραμίδων και έχουν διάμετρο από 10 έως 400 μm . Τα μαγνητικά σφαιρίδια που προέρχονται από την ιπτάμενη τέφρα, είναι κυρίως σφαιρικά και έχουν διάμετρο που κυμαίνεται από 4,7 έως 140 μm . Η πλειοψηφία των σφαιριδίων έχει διάμετρο 10-50 μm , ένα σημαντικό ποσοστό 50-80 μm και ένας περιορισμός αριθμός <10 ή >80 μm . Σύμφωνα με τους Grimley et al. (2021), όσο πιο μικρή είναι η απόσταση ενός Α.Η.Σ από μία θέση, τόσο μεγαλύτερα σε διάμετρο σφαιρικά σωματίδια κυριαρχούν στο έδαφος. Ωστόσο στην συγκεκριμένη περίπτωση δεν ισχύει κάτι τέτοιο, καθώς οι μεγαλύτερες διαμέτρους που εμφανίζονται στα σφαιρικά σωματίδια, εντοπίζονται στο κέντρο της λεκάνης, σε ίσες αποστάσεις από τους Α.Η.Σ. Οι διαμέτρους των μαγνητικών σφαιριδίων που εντοπίζονται στα δείγματα πλησίον του Α.Η.Σ Αγίου Δημητρίου κυμαίνονται από 10-50 μm , ενώ σε αυτά πλησίον του Α.Η.Σ Καρδιάς τείνουν περισσότερο στο κλάσμα των 50-80 μm .

Ένας από τους παράγοντες που ελέγχουν το μέγεθος των σφαιριδίων της ιπτάμενης τέφρας που εμφανίζονται σε μία θέση είναι η απόσταση μεταφοράς και απόθεσης αυτής από έναν Α.Η.Σ, ωστόσο η σύσταση του αρχικού λιγνίτη φαίνεται πως υπερτερεί ως παράγοντας ελέγχου

του μεγέθους τους. Κατά την καύση του λιγνίτη και τον σχηματισμό των σφαιριδίων της ιπτάμενης τέφρας πραγματοποιούνται αντικαταστάσεις, προσθήκες και απομακρύνσεις στοιχείων, διαδικασίες οι οποίες επιταχύνονται όταν το αρχικό κοίτασμα αποτελεί ένα πολύμεικτο υλικό και ειδικά όταν είναι έντονη η παρουσία των άγονων υλικών όπως στην περίπτωση του λιγνίτη του ΛΚΔΜ ο οποίος συνεξορύσσεται με μαργαϊκούς ασβεστόλιθους. Συνεπώς η απόσταση ενός Α.Η.Σ από την θέση απόθεσης της τέφρας δεν αποτελεί όλες τις φορές κυρίαρχο παράγοντα ελέγχου του μεγέθους των σφαιριδίων της ιπτάμενης τέφρας που εμφανίζονται σε μία θέση.

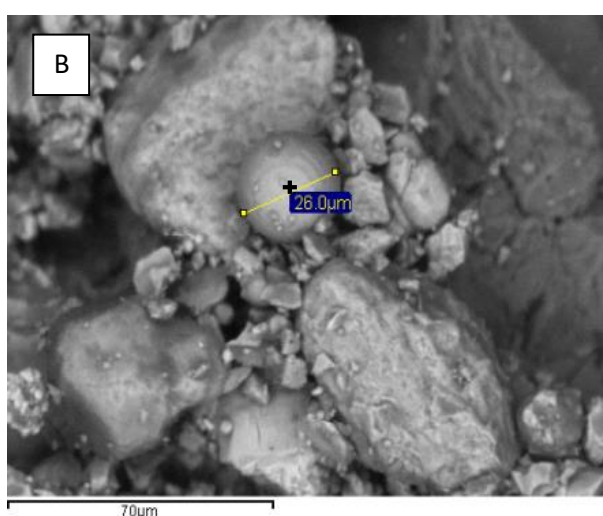
Σύμφωνα με μελέτη που πραγματοποιήθηκε σε δείγματα ιπτάμενης τέφρας από τους Α.Η.Σ Πτολεμαΐδας και Α.Η.Σ Καρδιάς, το μέγεθος των σφαιριδίων της ιπτάμενης τέφρας κυμαίνονται από 0,5 έως 20 μm (Iordanidis et al. 2008). Σε μελέτη σε δείγματα μαγνητικού κλάσματος από σκόνη στο οδικό δίκτυο του αστικού δικτύου της Θεσσαλονίκης, τα σφαιρικά μαγνητικά σωματίδια, γνωστά και με τον όρο σιδηροσφαίρια, έχουν μέγεθος <10 έως και >150 μm (Bourliva et al. 2016). Σφαιρικά μαγνητικά σωματίδια με μέγεθος $<5\mu\text{m}$ είναι μαζώδη και συνήθως κενά στο εσωτερικό τους ενώ μεγαλύτερα σφαιρίδια με μέγεθος 10-80 μm διαθέτουν πιο πολύπλοκες δομές οι οποίες μπορεί να είναι είτε καθαρά και ιδιαίτερα πλούσια οξειδία του σιδήρου είτε σφαίρες αποτελούμενες από εγκλείσματα από σιδηρούχα οξείδια μαζί με αργιλοπυριτικό άμορφο υλικό, με την τελευταία να αποτελεί τυπική μορφή σωματιδίων προερχόμενων από καύση ορυκτών ανθράκων (Wilczynska-Michalik et al. 2020).

Ο μαγνητίτης είναι ιδιαίτερα κοινός στο κλάσμα 0,063-2 mm χωρίς να αποκλείεται η παρουσία του σε λεπτομερέστερα κλάσματα, ενώ ο μαγκεμίτης παρουσιάζεται κυρίως σε λεπτομερέστερα κλάσμα (Santana et al. 2001). Σύμφωνα με τον Hatfield (2014) ο μαγνητίτης μπορεί να εμφανιστεί σε κλάσματα $<0,002$ mm έως και $>0,063$ mm, ενώ είναι πιθανό να μην εμφανίζεται μόνος του, αλλά με μορφή εγκλεισμάτων σε πολυκρυσταλλικά συμπλέγματα.

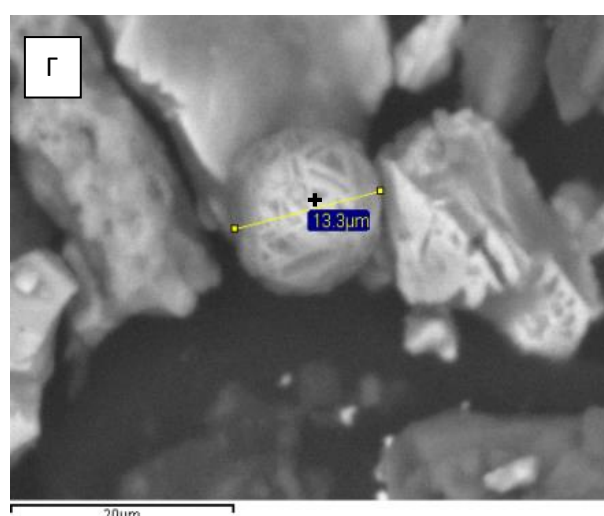
4.4.2.2 Μορφολογία των μαγνητικών σωματιδίων

Η μορφολογία των σφαιριδίων ποικίλει καθώς παρατηρούνται ομοιόμορφα σχηματισμένα, ελαφρώς πολυγωνικά ή και πιο πολύπλοκα σφαιρίδια με μορφολογίες οι οποίες χαρακτηρίζονται από έντονες ραβδώσεις και ποικίλες πτυχώσεις ενώ σε ορισμένα δείγματα παρατηρήθηκαν και συσσωματώματα (Εικόνες B.2AB, B.22ΑΓ, B.30AA, B.30AB, B.7ΕΣΤ και B.49ΕΑ). Σε κάποιες περιπτώσεις εντοπίστηκαν και κενοσφαίρια, σφαιρίδια δηλαδή όπου ο πυρήνας τους είναι κενός και έχει διατηρηθεί μόνο το περίβλημά τους. Τέτοιου είδους μορφολογίες αντικατοπτρίζουν καύση ανθράκων σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες καθιστώντας την προέλευσή τους καθαρά ανθρωπογενή (Spiteri et al. 2005) και συνεπώς συνδέονται με την

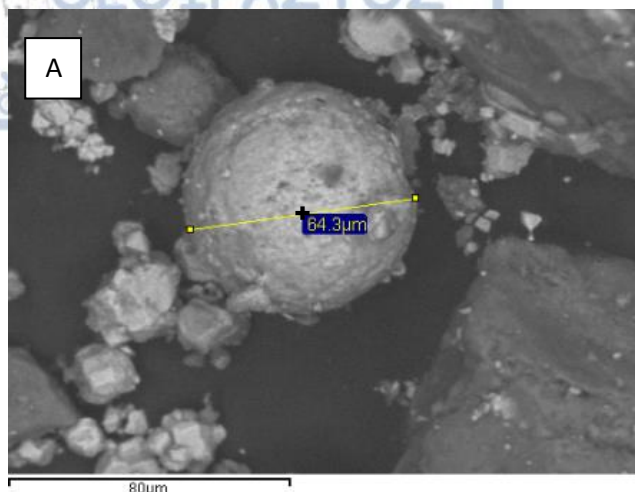
καύση του λιγνίτη από τους Α.Η.Σ της περιοχής. Σύμφωνα με τους Georgakopoulos et al. (1992), σωματίδια ιπτάμενης τέφρας από την καύση λιγνίτη του Κεντρικού και Βορείου Τομέα φαίνεται να εμφανίζουν ακανόνιστες μορφές ή και πλήρως σφαιρικές με τις τελευταίες να διαχωρίζονται σε κενοσφαίρια (σφαιρίδια με κενό πυρήνα) και πλεροσφαίρια (σφαιρίδια πληρωμένα με μικρότερα σφαιρίδια). Οι Apostolidou and Georgakopoulos (2018), σε δείγματα ιπτάμενης τέφρας από τη καύση λιγνίτη των Α.Η.Σ Αγίου Δημητρίου, Αμυνταίου και Καρδιάς παρατήρησαν σωματίδια με τη μορφή πλεροσφαιρίων, κενοσφαιρίων και συσσωματωμάτων, τα οποία οφείλονται στις διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα κατά την καύση του λιγνίτη.



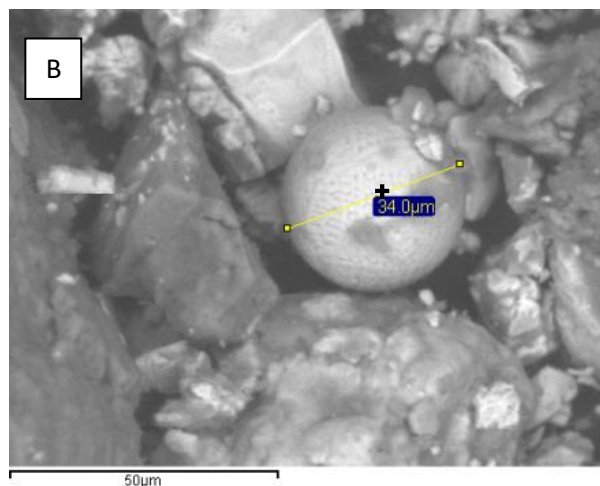
Εικόνα B.2AB Μικροφωτογραφία του μαγνητικού κλάσματος στο δείγμα 2A ,από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης όπου αποτυπώνεται ένα ανθρωπογενές μαγνητικό σωματίδιο με τη μορφή ομοιόμορφης σφαίρας προερχόμενο από ιπτάμενη τέφρα (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ : ΜΙΚΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟΥ ΣΑΡΩΣΗΣ).



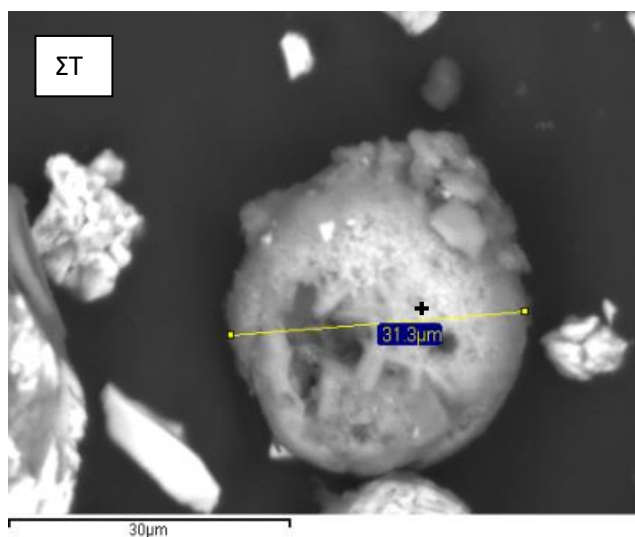
Εικόνα B.22AΓ Μικροφωτογραφία του μαγνητικού κλάσματος στο δείγμα 22A ,από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης όπου αποτυπώνεται ένα ανθρωπογενές μαγνητικό σωματίδιο με πολύπλοκη μορφολογία και έντονες πτυχώσεις προερχόμενο από ιπτάμενη τέφρα (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ : ΜΙΚΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟΥ ΣΑΡΩΣΗΣ).



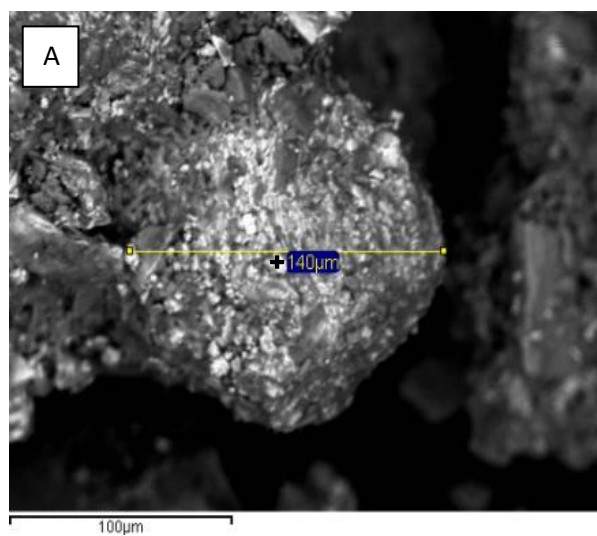
Εικόνα B.30AA Μικροφωτογραφία του μαγνητικού κλάσματος στο δείγμα 30A, από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης όπου αποτυπώνεται ένα ανθρωπογενές μαγνητικό σωματίδιο με πολύπλοκη μορφολογία και έντονες πτυχώσεις προερχόμενο από ιπτάμενη τέφρα (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ III : ΜΙΚΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟΥ ΣΑΡΩΣΗΣ).



Εικόνα B.30AB Μικροφωτογραφία του μαγνητικού κλάσματος στο δείγμα 30A, από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης όπου αποτυπώνεται ένα ανθρωπογενές μαγνητικό σωματίδιο με πολύπλοκη μορφολογία και έντονες πτυχώσεις προερχόμενο από ιπτάμενη τέφρα (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ III : ΜΙΚΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟΥ ΣΑΡΩΣΗΣ).



Εικόνα B.7EΣΤ Μικροφωτογραφία του μαγνητικού κλάσματος στο δείγμα 7E, από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης όπου αποτυπώνεται ένα ανθρωπογενές μαγνητικό σωματίδιο που χαρακτηρίζεται ως κενοσφαίριο προερχόμενο από ιπτάμενη τέφρα (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ III : ΜΙΚΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟΥ ΣΑΡΩΣΗΣ).



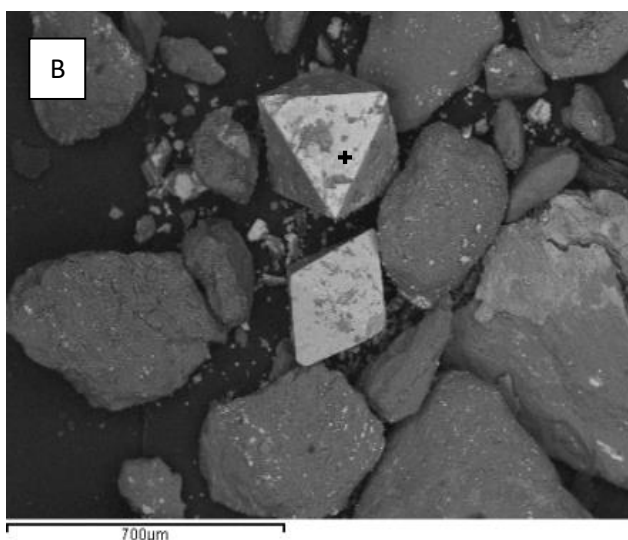
Εικόνα B.49EA Μικροφωτογραφία του μαγνητικού κλάσματος στο δείγμα 49E, από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης όπου αποτυπώνεται ένα συσσωμάτωμα ανθρωπογενών μαγνητικών σωματιδίων προερχόμενο από ιπτάμενη τέφρα (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ III : ΜΙΚΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟΥ ΣΑΡΩΣΗΣ).

Πίνακας 4.3 Στοιχειακή μικροανάλυση με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM-EDX), σε συγκεκριμένες θέσεις των δειγμάτων όπου με + συμβολίζονται οι θέσεις που έγινε η μικροανάλυση (βλ. Εικόνες B.2AB-B.49EA).

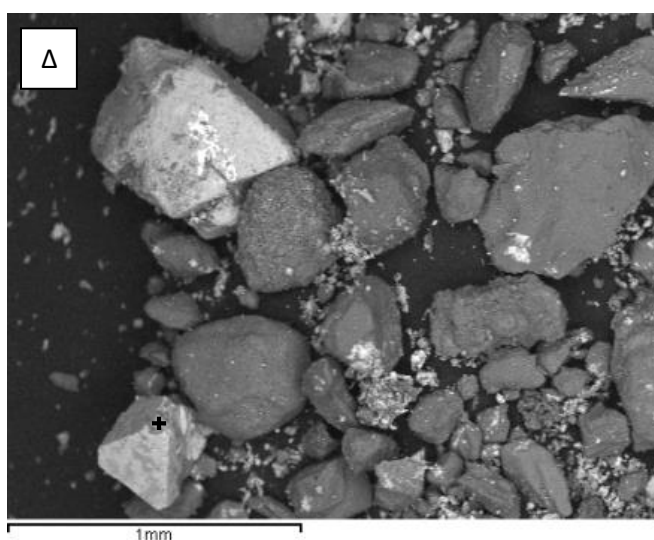
Element (Weight %)	2A	22A	30A	30A	7E	49E
Mg	bdl	1.37	2.1	bdl	7.25	2.64
Al	bdl	1.74	bdl	bdl	11.84	1.37
Si	1.47	3.17	bdl	bdl	11.44	4.23
K	bdl	bdl	bdl	bdl	0.44	bdl
Ca	bdl	12.15	9.77	bdl	3.75	bdl
Cr	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.87
Ti	bdl	bdl	bdl	bdl	0.63	bdl
Fe	75.29	54.93	64.4	77.73	26.68	62
O	23.24	26.64	23.73	22.27	37.98	26.87
Totals	100	100	100	100	100	100

bdl: below detection limit

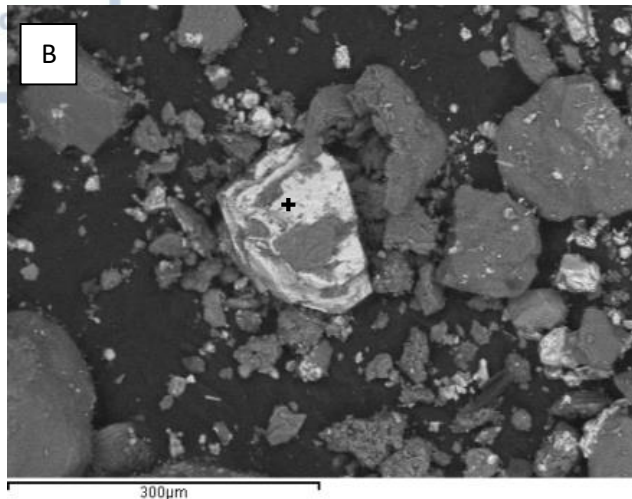
Τα μαγνητικά σωματίδια τα οποία προέρχονται από τα πετρώματα της περιοχής εμφανίζονται με την μορφή οκταέδρου και με επιφάνειες τις περισσότερες φορές να είναι ιδιαίτερα λείες, κάποιες φορές κατακερματισμένες (π.χ. σπασμένες κορυφές) ή σε σπάνιες περιπτώσεις διαθέτουν ακανόνιστες επιφάνειες (Εικόνες B.8AB, B.15AΔ και B.35AB)



Εικόνα B.8AB Μικροφωτογραφία του μαγνητικού κλάσματος στο δείγμα 8A ,από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης όπου αποτυπώνεται ένα λιθογενές μαγνητικό σωματίδιο με πυραμιδοειδή μορφή και ομοιόμορφες, λείες επιφάνειες (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ : ΜΙΚΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟΥ ΣΑΡΩΣΗΣ).



Εικόνα B.15AΔ Μικροφωτογραφία του μαγνητικού κλάσματος στο δείγμα 15A ,από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης όπου αποτυπώνεται στο κάτω μέρος ένα λιθογενές μαγνητικό σωματίδιο με πυραμιδοειδή μορφή και κατακερματισμένη κορυφή (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ : ΜΙΚΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟΥ ΣΑΡΩΣΗΣ).



Εικόνα B.35AB Μικροφωτογραφία του μαγνητικού κλάσματος στο δείγμα 35A, από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης όπου αποτυπώνεται ένα λιθογενές μαγνητικό σωματίδιο με ακανόνιστη επιφάνεια (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ : ΜΙΚΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟΥ ΣΑΡΩΣΗΣ).

Πίνακας 4.4 Στοιχειακή μικροανάλυση με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM-EDX), σε συγκεκριμένες θέσεις των δειγμάτων όπου με + συμβολίζονται οι θέσεις που έγινε η μικροανάλυση (βλ. Εικόνες B.8AB, B.15AΔ και B.35AB).

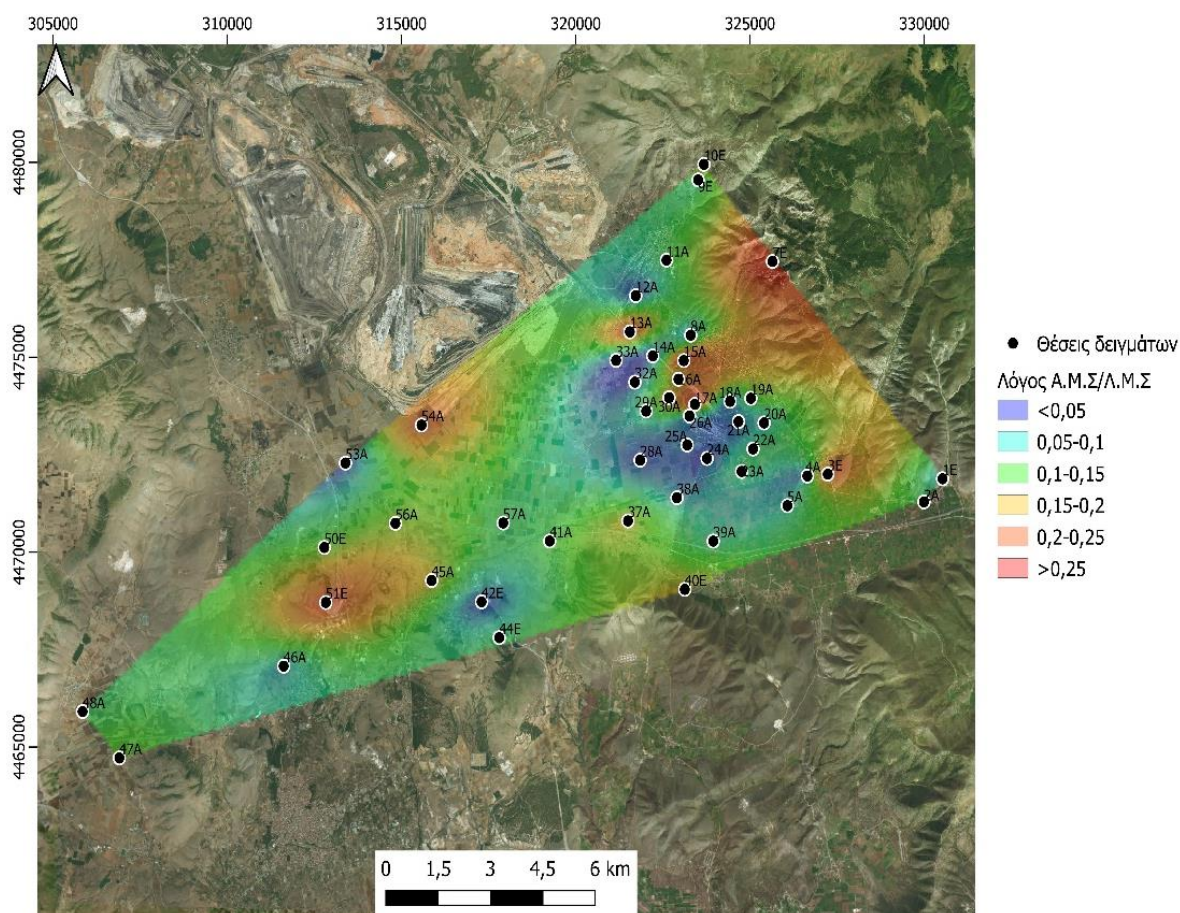
Elements/Weight %	8A	15A	35A
Si	bdl	0.62	1.6
Fe	77.73	76.94	75.07
O	22.27	22.45	23.33
Totals	100	100	100

bdl: below detection limit

4.4.2.3 Κατανομή του λόγου των ανθρωπογενών μαγνητικών σωματιδίων (Α.Μ.Σ) προς τα λιθογενή μαγνητικά σωματίδια (Λ.Μ.Σ)

Παράγοντες που επηρεάζουν την διασπορά, το μέγεθος και την ποσότητα της ιπτάμενης τέφρας, και συνεπώς των μαγνητικών σωματιδίων αυτής, αποτελούν η σύσταση του ορυκτού άνθρακα που καίγεται, η απόσταση του Α.Η.Σ ή κάποιας άλλης πηγής καύσης (οδικό δίκτυο, οικιακή θέρμανση), το ύψος της καπνοδόχου και η θερμοκρασία καύσης, ωστόσο το σύστημα ελέγχου του περιβαλλοντικού αποτυπώματος του Α.Η.Σ αποτελεί τον σημαντικότερο και επικρατέστερο παράγοντα. Το ποσοστό Α.Μ.Σ είναι μηδενικό σε μικρό αριθμό δειγμάτων ενώ η μέγιστη συμμετοχή του αγγίζει το 22,22% κ.β. Η ελάχιστη τιμή των Λ.Μ.Σ είναι 77,78% κ.β., ενώ σε μερικά δείγματα κυριαρχούν πλήρως. Η μέση τιμή των Α.Μ.Σ είναι 7,41% κ.β. ενώ των Λ.Μ.Σ 92,59% κ.β (Πίνακας Β, ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι). Στην Εικόνα 4.3 αποτυπώνεται η κατανομή των λόγων των Α.Μ.Σ/Λ.Μ.Σ. Για την κατανομή των λόγων Α.Μ.Σ /Λ.Μ.Σ εξαιρέθηκαν τα δείγματα που διέθεταν λιγότερα από 10 σωματίδια προκειμένου η αποτύπωση του λόγου να είναι αντιπροσωπευτική και να μην βασίζεται σε έναν περιορισμένο αριθμό σωματιδίων του εκάστοτε δείγματος. Σε μελέτη η οποία πραγματοποιήθηκε σε δείγματα ιπτάμενης τέφρας και τέφρας εσχάρας από Α.Η.Σ της Ρουμανίας και της Πολωνίας, το μαγνητικό κλάσμα έχει μέση τιμή 1,2% κ.β., και τα ορυκτά τα οποία ανιχνεύτηκαν είναι ο μαγνητίτης και ο μαγκεμίτης (Valentim et al. 2018).

Οι Grimley et al. (2021), μελέτησαν την συμμετοχή των μαγνητικών σωματιδίων της ιπτάμενης τέφρας στο σύνολο του μαγνητικού κλάσματος που εμπεριέχεται σε αλλουβιακά και λιμναία ιζήματα και σε βάθη από 15 cm έως 80 cm. Η μέγιστη συμμετοχή των μαγνητικών σωματιδίων της ιπτάμενης τέφρας στο μαγνητικό κλάσμα κυμαίνεται από 5 έως 59% κ.β. με την πλειοψηφία των τιμών να είναι <10% κ.β. Οι τιμές της συγκέντρωσής τους είναι υψηλές στην επιφάνεια και μειώνονται με το βάθος (από τα 10 έως 30 cm βάθους). Το μέγεθος των σφαιριδίων είναι 10-50 μm με ελάχιστα να έχουν διάμετρο 90-125 μm και κάποια <5 μm . Η παρουσία δύο Α.Η.Σ στην περιοχή, και συγκεκριμένα η απόστασή τους από τα δείγματα, σύμφωνα με τους ερευνητές, αποτελεί τον κύριο παράγοντα ελέγχου της συμμετοχής των μαγνητικών σωματιδίων της ιπτάμενης τέφρας στο έδαφος.



Εικόνα 4.3 Χάρτης κατανομής του λόγου των ανθρωπογενών μαγνητικών σωματιδίων (Α.Μ.Σ) προς τα λιθογενή μαγνητικά σωματίδια (Λ.Μ.Σ).

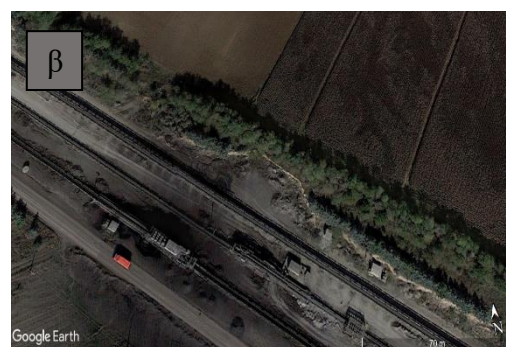
Οι τιμές των λόγων Α.Μ.Σ/Λ.Μ.Σ είναι μηδενικές σε κάποια δείγματα, ενώ η μέγιστη τιμή είναι 0,29, με τον μέσο όρο να είναι 0,08 (Πίνακας Β, ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι). Οι υψηλότερες τιμές εμφανίζονται εκτενώς στο ΒΑ άκρο της περιοχής και με μία τάση διατήρηση τους προς το κέντρο της περιοχής μελέτης (πλησίον Α.Η.Σ Αγίου Δημητρίου). Επιπλέον, περιμετρικά της θέσης δειγματοληψίας του δείγματος 51Ε στο δυτικό τμήμα της περιοχής καθώς και τοπικά στο βόρειο (ΝΑ του Α.Η.Σ Καρδιάς) και ανατολικό τμήμα της (ΝΑ του Α.Η.Σ Αγίου Δημητρίου) οι τιμές είναι από τις υψηλότερες που εμφανίζονται. Στα ΒΑ, οι τιμές των αναλογιών είναι $> 0,25$ και εμφανίζουν μία τάση μείωσης προς τα ΝΔ, με την υψηλότερη τιμή να ανήκει στο 7Ε (0,29). Οι υψηλές τιμές συνεχίζουν να εμφανίζονται μέχρι και τον προσωρινό χώρο απόθεσης τέφρας, βόρεια του Α.Η.Σ Αγίου Δημητρίου καθώς και βορειότερα, τοπικά στο δείγμα 13Α. Βορειοδυτικά και δυτικά του Α.Η.Σ Αγίου Δημητρίου οι τιμές είναι ιδιαίτερα χαμηλές.

Όπως αποτυπώνεται και στις Εικόνες 4.1 και 4.2, το ποσοστό του μαγνητικού κλάσματος είναι ιδιαίτερα υψηλό στο ΒΑ της περιοχής μελέτης με μία τάση μείωσης προς τα ΝΔ, μοτίβο

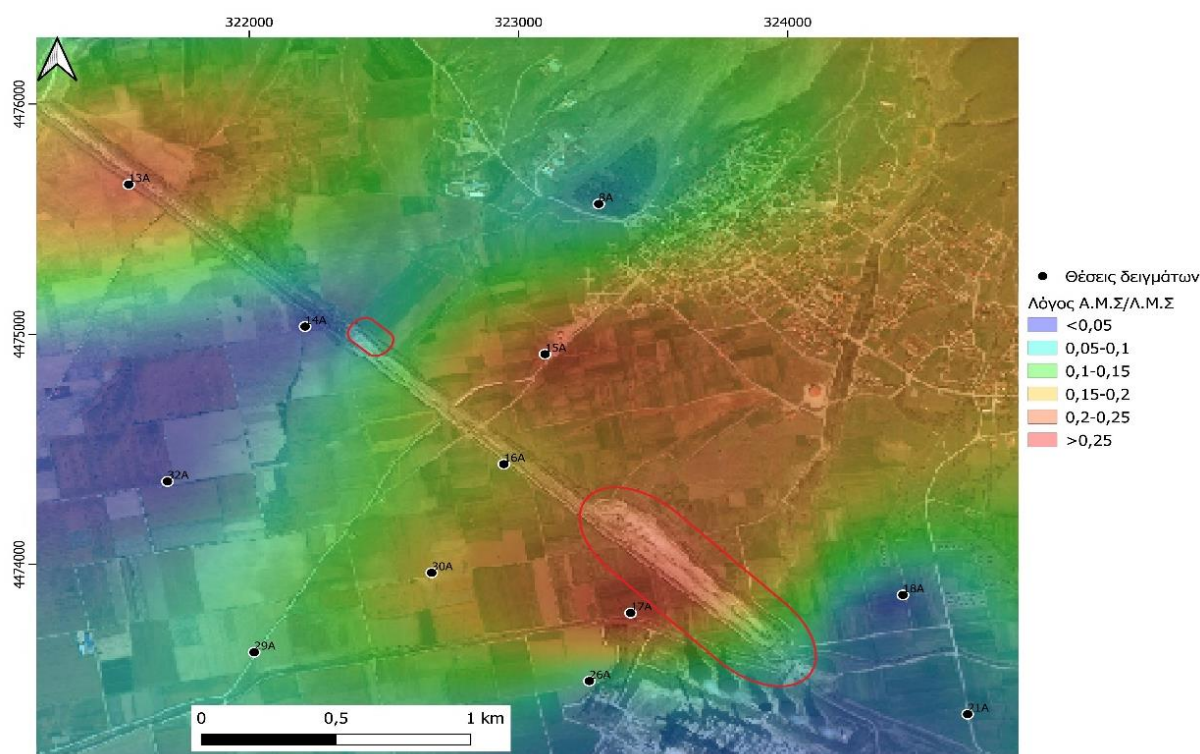
παρόμοιο με τις τιμές του λόγου $A.M.S/L.M.S$ για την συγκεκριμένη περιοχή. Στο δείγμα 7E το οποίο εμφανίζεται να έχει την υψηλότερη τιμή του λόγου $A.M.S/L.M.S$, μπορεί να εντοπίζεται πλησίον εκτεταμένης εμφάνισης οφιολιθικών συμπλεγμάτων στα ΒΑ, ωστόσο όπως φαίνεται συνεισφέρει σημαντικά ο Α.Η.Σ Αγίου Δημητρίου με τη διασπορά ιπτάμενης τέφρας.

ΒΔ του Α.Η.Σ Αγίου Δημητρίου βρίσκεται ένας χώρος προσωρινής απόθεσης τέφρας, γνωστός ως Α9, ενώ ακόμα βορειότερα εντοπίζεται ένας χώρος προσωρινής μεταφόρτωσης και περιορισμένης έκτασης (Εικόνες 4.4 α, β) με τις τιμές των λόγων $A.M.S/L.M.S$ να είναι υψηλές όπως αποτυπώνεται και στην Εικόνα 4.5. Οι τιμές των λόγων $A.M.S/L.M.S$ είναι υψηλές στην ευρύτερη περιοχή των προσωρινών χώρων απόθεσης τέφρας και τοπικά στο δείγμα 13Α, δίπλα από τον ταινιόδρομο μεταφοράς τέφρας. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.2 το ποσοστό του μαγνητικού κλάσματος των δειγμάτων ιζήματος στην περιοχή είναι 1-1,5% κ.β., τιμές μεγαλύτερες του μέσου όρου του μαγνητικού κλάσματος στην περιοχή (0,67% κ.β.). Η υψηλή διαπερατότητα των εδαφών στην περιοχή καθώς επίσης και η ΝΝΑ διεύθυνση του ανέμου αποτελούν παράγοντες ενίσχυσης της κατείσδυσης και διατήρησης της ιπτάμενης τέφρας στις συγκεκριμένες θέσεις η οποία διαφεύγει από τους δύο αυτούς χώρους, κυρίως από τον Α9, αλλά και τον ταινιόδρομο. Οι δύο αυτοί παράγοντες σε συνδυασμό με τις αυξημένες τιμές του μαγνητικού κλάσματος περιμετρικά των προσωρινών χώρων απόθεσης της ιπτάμενης τέφρας συμβάλλουν σημαντικά στην ενισχυμένη παρουσία των Α.Μ.Σ και συνεπώς στις υψηλές τιμές του λόγου $A.M.S/L.M.S$.

Νοτιοανατολικά του Α.Η.Σ Αγίου Δημητρίου και συγκεκριμένα στη θέση 3E παρατηρείται αύξηση του λόγου $A.M.S/L.M.S$. Η μικρή σχετικά απόσταση από τον Α.Η.Σ και η διαπερατότητα του εδάφους στην περιοχή αποτελούν παράγοντες οι οποίοι συνεισφέρουν πιθανόν στην απόθεση της ιπτάμενης τέφρας και συνεπώς των μαγνητικών σωματιδίων από τον Α.Η.Σ στην συγκεκριμένη θέση.



Εικόνα 4.4 α) Δορυφορικές φωτογραφίες του προσωρινού χώρου απόθεσης τέφρας A9 ΒΔ του Α.Η.Σ Αγίου Δημητρίου και **β)** του προσωρινού χώρου μεταφόρτωσης τέφρας περιορισμένης έκτασης και σε μεγαλύτερη απόσταση από τον Α.Η.Σ.



Εικόνα 4.5 Χάρτης κατανομής των λόγων των ανθρωπογενών μαγνητικών σωματιδίων (Α.Μ.Σ) προς τα λιθογενή μαγνητικά σωματίδια (Λ.Μ.Σ) βόρεια του Α.Η.Σ Αγίου Δημητρίου, (με κόκκινους κύκλους σημειώνονται οι προσωρινοί χώροι απόθεσης τέφρας).

Προς το δυτικό άκρο της περιοχής μελέτης και συγκεκριμένα πέριξ της θέσης του δείγματος 51E, παρουσιάζεται αύξηση του λόγου των Α.Μ.Σ/Λ.Μ.Σ. Σύμφωνα με την Εικόνα 2.4, το έδαφος πέριξ της περιοχής όπου σημειώνεται ο υψηλός λόγος Α.Μ.Σ/Λ.Μ.Σ χαρακτηρίζεται από υψηλή διαπερατότητα. Βορειότερα παρατηρείται άλλη μία αύξηση του λόγου των Α.Μ.Σ/Λ.Μ.Σ (δείγμα 54A). Η θέση είναι πιο κοντά στον Α.Η.Σ Καρδιάς καθώς και στο

ορυχείο του Νοτίου Πεδίου, σε σχέση με την προηγούμενη θέση που εμφάνισε αυξημένο λόγο A.M.Σ/Λ.Μ.Σ. Η διαπερατότητα του εδάφους στην ευρύτερη περιοχή και η διεύθυνση του ανέμου ευνοούν πιθανότατα στην θέση του δείγματος 54Α την μεταφορά, απόθεση και κατείσδυση της ιπτάμενης τέφρας (συνεπώς των μαγνητικών σωματιδίων αυτής) από τον Α.Η.Σ Καρδιάς με αποτέλεσμα τον υψηλό λόγο A.M.Σ/Λ.Μ.Σ. Νοτιότερα στη θέση 51Ε, ο υψηλός λόγος A.M.Σ/Λ.Μ.Σ καθώς και η μεγάλη σχετικά απόσταση της τοποθεσίας από τον Α.Η.Σ Καρδιάς, δεν υπερισχύει της εκτεταμένης εμφάνισης οφιολιθικών συμπλεγμάτων τα οποία περικυκλώνουν τη θέση από τα βόρεια. Συνεπώς μπορεί ο λόγος A.M.Σ/Λ.Μ.Σ να εμφανίζει υψηλή τιμή, ωστόσο τα οφιολιθικά συμπλέγματα αποτελούν την βασική πηγή μαγνητικών σωματιδίων στη συγκεκριμένη τοποθεσία.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η διεύθυνση του ανέμου σε μία περιοχή παίζει σημαντικό ρόλο στην απόθεση και κατανομή των σωματιδίων της ιπτάμενης τέφρας. Ωστόσο αξίζει να σημειωθεί ότι ο μαγνητίτης έχει περίπου διπλάσια πυκνότητα από τον χαλαζία. Συνεπώς το βάρος των μαγνητικών σωματιδίων πιθανότατα να ελέγχει την απόθεση και κατείσδυση τους.

Τέλος η υψηλή συμμετοχή του μαγνητικού κλάσματος στη θέση 53Α στο βόρειο τμήμα της περιοχής μελέτης (νότια του Α.Η.Σ Καρδιάς), όπως αποτυπώνεται στην Εικόνα 4.1, οφείλεται στην παρουσία των οφιολιθικών συμπλεγμάτων στα ΝΔ και δυτικά της θέσης, καθώς ο λόγος A.M.Σ/Λ.Μ.Σ είναι ιδιαίτερα χαμηλός στη συγκεκριμένη θέση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση τα αποτελέσματα της μελέτης της ορυκτολογίας, της γεωχημικής σύστασης και της μορφολογίας των μαγνητικών σωματιδίων στα εδάφη της λεκάνης Σαριγκιόλ στην Κοζάνη, συμπεραίνουμε τα εξής :

- Για τα δείγματα εδάφους από τον μανδύα αποσάθρωσης, η υψηλή συμμετοχή του μαγνητικού κλάσματος στο ΒΑ και ΝΔ τμήμα οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην παρουσία εκτεταμένων αποθέσεων οφιολιθικών συμπλεγμάτων στο ΒΑ και ΝΔ τμήμα της περιοχής μελέτης. Ωστόσο για τα υπόλοιπα εδαφικά δείγματα όπως το 7Ε στα ΒΑ και το 51Ε στα Δ φαίνεται πως είναι σημαντική και η συμβολή της διασποράς της ιπτάμενης τέφρας από τους Α.Η.Σ Αγίου Δημητρίου και Καρδιάς αντίστοιχα. Όσον αφορά τα δείγματα ιζήματος, η υψηλή συμμετοχή του μαγνητικού κλάσματος στο ΒΑ, Ν και ΒΔ τμήμα οφείλεται στην εκτεταμένη παρουσία των οφιολιθικών πετρωμάτων στα ΒΑ και ΝΔ. Ωστόσο και για αυτά οι Α.Η.Σ Καρδιάς και Αγίου Δημητρίου φαίνεται πως συμβάλλουν σημαντικά με την διασπορά και απόθεση της ιπτάμενης τέφρας.
- Το μαγνητικό κλάσμα εμφανίζει μία τάση συσσώρευσης στα εδαφικά δείγματα του μανδύα αποσάθρωσης επί των υποκείμενων πετρωμάτων ενώ στα δείγματα ιζήματος μέχρι τα 10 cm μειώνεται αισθητά.
- Τα μαγνητικά σωματίδια που έχουν λιθογενή προέλευση στα υπό εξέταση δείγματα σε γενικές γραμμές έχουν παρόμοια μεγέθη με αυτά που έχουν τα ανθρωπογενή, ωστόσο σε μερικά δείγματα τα μεγέθη τους είναι αρκετά μεγαλύτερα.
- Τα μαγνητικά σφαιρίδια της ιπτάμενης τέφρας των υπό εξέταση δειγμάτων ανήκουν σε γενικές γραμμές στο εύρος μεγέθους των σφαιριδίων της ιπτάμενης τέφρας (10 μm έως 90 μm). Δεν αποτυπώνεται κάποιο μοτίβο σε σχέση με την απόσταση τους από τους δύο Α.Η.Σ της περιοχής και συνεπώς η απόσταση δεν αποτελεί τον κύριο παράγοντα ελέγχου του μεγέθους των σφαιριδίων στην συγκεκριμένη περιοχή.

- Η προέλευση του λιζαρδίτη στο μαγνητικό κλάσμα αλλά και του χαλαζία, του πυρόξενου και του ολιβίνη είναι λιθογενής. Ο ασβεστίτης και τα αργιλικά ορυκτά προέρχονται τόσο από τους περικείμενους σχηματισμούς όσο και από την συμμετοχή των ανθρακικών και αργιλικών ορυκτών στην ιπτάμενη τέφρα, με πιθανή τη συμβολή των μαργαϊκών ασβεστόλιθων με τους οποίους συνεξορύσσεται τα κοίτασμα του λιγνίτη.
- Ο Fe ο οποίος κυριαρχεί στη δομή των μαγνητικών σωματιδίων, προέρχεται τόσο από τους υπερβασικούς σχηματισμούς της περιοχής όσο και από δραστηριότητες των δύο Α.Η.Σ στην περιοχή έρευνας.
- Το Ca, Si και Al προέρχονται τόσο από τους σχηματισμούς που επικρατούν στην ευρύτερη περιοχή έρευνας όσο και από την ιπτάμενη τέφρα. Το Ca, το πιο κοινό στοιχείο στα υποεξέταση Α.Μ.Σ και προέρχεται από τα ανθρακικά ορυκτά που συμμετέχουν στη σύσταση της ιπτάμενης τέφρας των Α.Η.Σ Αγίου Δημητρίου και Καρδιάς. Το Si και Al που εντοπίζεται στα Α.Μ.Σ προέρχεται από αργιλοπυριτικά ορυκτά της ιπτάμενης τέφρας ή από τον σχηματισμό πιθανόν μουλίτη με τη μορφή επικαλύμματος στα Α.Μ.Σ κατά την καύση του λιγνίτη.
- Το Mg, προέρχεται από τα περιβάλλοντα υπερβασικά πετρώματα αλλά και από τους αλλουβιακούς σχηματισμούς της περιοχής έρευνας. Τα ποσοστά εμφάνισης του στα Α.Μ.Σ δεν οδηγούν στο σχηματισμό του μαγνησιοφερρίτη. Ωστόσο αποτελεί και συστατικό των σωματιδίων της ιπτάμενης τέφρας από τους Α.Η.Σ της περιοχής.
- Το Cr και το Ni εντοπίζονται σε ανθρωπογενή και λιθογενή μαγνητικά σωματίδια. Η προέλευση τους είναι τα υπερβασικά συμπλέγματα της περιοχής ενώ η παρουσία τους στα Α.Μ.Σ οφείλεται στην συμμετοχή του στην ιπτάμενη τέφρα.
- Το Mn αποτελεί ένα από τα αφθονότερα στοιχεία στην ιπτάμενη τέφρα του Α.Η.Σ Αγίου Δημητρίου, πηγή προέλευσης του στα Α.Μ.Σ, ενώ εμφανίζεται στα υπερβασικά πετρώματα και στις αλλουβιακές αποθέσεις της περιοχής τα οποία και αποτελούν και πηγές του στα Α.Μ.Σ
- Το Ti συμμετέχει σε μεγαλύτερη συχνότητα στα Α.Μ.Σ και πιθανόν προέρχεται από ορυκτά όπως ο ιλμενίτης ο οποίος πιθανόν να συμμετέχει στα υπερβασικά πετρώματα της περιοχής μελέτης.
- Η προέλευση του K και του Na στα σωματίδια οφείλεται τόσο στους περιβάλλοντες σχηματισμούς της περιοχής όσο και στη συμμετοχή των αστρίων στη σύσταση της ιπτάμενης τέφρας.

- Η παρουσία του V και του Zn, σε ιδιαίτερα περιορισμένο αριθμό μαγνητικών σωματιδίων, εμφανίζονται κυρίως σε Λ.Μ.Σ και προέρχονται από τους υπερβασικούς λιθολογικούς σχηματισμούς της περιοχής. Ο P προέρχεται από εκτεταμένη χρήση λιπασμάτων και εντομοκτόνων εξαιτίας των έντονων γεωργικών δραστηριοτήτων που λαμβάνουν χώρα στην περιοχή μελέτης.
- Στο ΒΑ τμήμα της περιοχής μελέτης, οι λόγοι των Α.Μ.Σ/Λ.Μ.Σ είναι υψηλοί και εμφανίζουν μία τάση μείωσης προς το κέντρο της περιοχής μελέτης. Αν και η συμμετοχή του μαγνητικού κλάσματος στο δείγμα 7E δεν είναι υψηλή φαίνεται πως η συνεισφορά της διασποράς της ιπτάμενης τέφρας από τον Α.Η.Σ Αγίου Δημητρίου είναι σημαντική.
- ΒΔ του Α.Η.Σ Αγίου Δημητρίου οι υψηλές αναλογίες του λόγου Α.Μ.Σ/Λ.Μ.Σ οφείλονται στην παρουσία των προσωρινών χώρων απόθεσης τέφρας που εντοπίζονται ΒΔ του Α.Η.Σ και στον ταινιόδρομο μεταφοράς τέφρας οι οποίοι έχουν σαν αποτέλεσμα τη διασπορά και κατείσδυση της τέφρας στα εδάφη στην ευρύτερη περιοχή. Στη διασπορά και την κατείσδυση συμβάλλουν η διεύθυνση του ανέμου καθώς επίσης και η διαπερατότητα των εδαφών της περιοχής.
- Στα ΝΑ του Α.Η.Σ Αγίου Δημητρίου και συγκεκριμένα περίξ της θέσης του δείγματος 3E, η υψηλή αναλογία που παρατηρείται οφείλεται πιθανόν στη δραστηριότητα του Α.Η.Σ Αγίου Δημητρίου.
- Τέλος προς το δυτικό άκρο της περιοχής μελέτης τα Α.Μ.Σ που εμφανίζονται αυξημένα στη θέση 51E και νότια του Α.Η.Σ Καρδιάς, στη θέση 54A, οφείλονται στην δραστηριότητα του Α.Η.Σ Καρδιάς.

Τα παραπάνω αποτελέσματα αποδίδουν μία πρωταρχική εικόνα της συμμετοχής του μαγνητικού κλάσματος στα εδάφη της λεκάνης Σαριγκιόλ, ωστόσο θα ήταν εφικτή μία δειγματοληψία σε βάθος προκειμένου να γίνει μία καλύτερη αποτύπωση της κατανομής του μαγνητικού κλάσματος στους βαθύτερους εδαφικούς ορίζοντες αλλά και των ιδιοτήτων του.

Επίσης μέθοδοι που συμπεριλαμβάνουν την μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας των εδαφών τόσο με μία όσο και με περισσότερες συχνότητες θα μπορούσαν να προσδιορίσουν τη συμμετοχή των μαγνητικών σωματιδίων καθώς και τη διαφοροποίηση μεταξύ τους στα εδάφη της περιοχής με αποτέλεσμα να επιτευχθεί η αποτύπωση της έκτασης αλλά και της έντασης της ρύπανσης στην περιοχή μελέτης.

- Apostolidou, Ch. and Georgakopoulos, A., 2018. Morphology, Mineralogy, and Chemistry of Fly Ash from the Ptolemais Power Stations, Northern Greece, and its potential as partial Portland cement substitute. *14th International Symposium of Continuous Surface Mining, ISCSM2018, Thessaloniki*.
- Bourliva, A., Papadopoulou, L., and Aidona, E., 2016. Study of road dust magnetic phases as the main carrier of potentially harmful trace elements. *Science of the Total Environment*, 553, 383.
- Causevic, H., Morras, H., Mijovilovich, A. and Saragovi, C., 2004. Evidences of the stability of magnetite in soil from Northeastern Argentina by Mossbauer spectroscopy and magnetization measurements. *Physica B: Condensed Matter*, 354, 373-376.
- Filippidis, A., Georgakopoulos, A., and Kassoli-Fournaraki, A., 1996. Mineralogical components of some thermally decomposed lignite and lignite ash from the Ptolemais basin, Greece. *International Journal of Coal Geology*, 30, 309-311.
- Foth, H.D., 1991. *Fundamentals of Soil Science*. John Wiley & Sons, Canada, 11-13.
- Georgakopoulos, A., Kassoli-Fournaraki, A. and Philippidis, A., 1992. Morphology, mineralogy and chemistry of the fly ash from the Ptolemais lignite basin (Greece) in relation to same problems in human health. *29th International Geological Congress, 24/08-3/09, Kyoto*.
- Georgakopoulos, A., Fillipidis A., Kassoli-Fournaraki A., Fernandez-Turiel J.L. and Llorens J.F., 1996. The content of some trace elements in surface soils and fly ash of Ptolemais lignite basin, Macedonia, Greece. *3th International Conference on Environmental Pollution, 16-20/09/1996, Thessaloniki*, 114-118.
- Georgakopoulos, A., Philippidis, A., Kassoli-Fournaraki, A., Iordanidis, A., Fernandez-Turiel, J.L., Llorens, J.F., and Gimeno, D., 2002. Environmentally Important Elements in Fly Ashes and Their Leachates of the Power Stations of Greece. *Energy Sources*, 24, 83-91.

Grimley, D.A., Lynn, A.S., Brown, C.W., and Blair, N.E., 2021. Magnetic Fly Ash as a Chronological Marker in Post-Settlement Alluvial and Lacustrine Sediment: Examples from North Carolina and Illinois. *Minerals*, 11,2-3,7-8,10-11,20.

Hatfield, R.G., 2014. Particle Size-Specific Magnetic Measurements as a Tool for Enhancing Our Understanding of the Bulk Magnetic Properties of Sediments. *Minerals*, 4, 3.

Hansford, T.S. and Boerngen, G.J., 1984. Element Concentrations in Soils and Other Surficial Materials of the Conterminous United States. s.l. : *U.S. Geological Survey, Professional paper* 1270, 105.

Hartemink, A.E., Zhang, Y., Bockheim, J.G., Curi, N., Silva, S.H.G., Grauer-Gray, J., Lowe, D.J. and Krasilnikov, P., 2020. Soil horizon variation: A review. *Elsevier*, 148-150.

Iordanidis, A., Buckman, J., Triantafyllou, A.G., and Asvetsa, A., 2008. Fly ash–airborne particles from Ptolemais–Kozani area, northern Greece, as determined by ESEM-EDX. *International Journal of Coal Geology*, 73, 67-69.

Kabata-Pendias, A., 2011. *Trace Elements in Soils and Plants*, 4th ed., Taylor and Francis Group, LLC, U.S.A, 22, 40-44, 50, 82, 505.

Kantiranis, N., Filippidis, A., Tsirambides, A., Christaras, B. and Kassoli-Fournaraki, A., 1998. Volatilization of arsenic during calcination of crystalline limestone from Agios Panteleimonas, Florina, Macedonia, Greece. *5th International Conference on Environmental Pollution: Toxic Metals, Thessaloniki, Greece*, 73-78.

Kantiranis, N., Tsirambides, A., Filippidis, A., and Christaras, B., 1999. Technological characteristics of the calcined limestone from Agios Panteleimonas, Macedonia, Greece. *Materials and Structures*, 32, 546-551.

Kantiranis, N., Filippidis, A., Tsirambides, A., Kassoli-Fournaraki, A. and Christaras, B., 2000. Environmental uses of lime from Agios Panteleimonas, Florina, Macedonia, Greece. *5th International Conference on Environmental Pollution, Thessaloniki, Greece*, 192-198.

Kantiranis, N., Filippidis, A., and Georgakopoulos, A., 2005. Investigation of the uptake ability of fly ashes produced after lignite combustion. *Journal of Environmental Management*, 76, 119-123.

Kapicka, A., Jordanova, N., Petrovsky, E., and Ustjak, S., 2001. Effect of different soil conditions on magnetic parameters of power-plant fly ashes. *Journal of Applied Geophysics*, 48, 93-102.

Kassoli-Fournaraki, A., Georgakopoulos, A., Michailidis, A. and Filippidis, A., 1993. Morphology, mineralogy and chemistry of the respirable-size ($<5\mu\text{m}$) fly ash fraction from the Main and Northern lignite fields in Ptolemais, Macedonia, Greece. In: Current Research in Geology Applied to Ore Deposits (P. Fenoll Hach-Ali, J. Torres-Ruiz, F. Gervilla, eds), La Guioconda. *Second Biennial SGA Meeting, Granada, Spain*, 727-730.

Kazakis, N., Kantiranis, N., Kalaitzidou, K., Kaprara, E., Mitrakas, M., Frei, R., Vargemezis, G., Tsourlos, P., Zouboulis, A., and Filippidis, A., 2017. Origin of hexavalent chromium in groundwater: The example of Sarigkiol Basin, Northern Greece. *Science of the Total Environment*, 552-566.

Kazakis, N., Kantiranis, N., Kalaitzidou, K., Kaprara, E., Mitrakas, M., Frei, R., Vargemezis, G., Vogiatzis, D., Zouboulis, A., and Filippidis, A., 2018. Environmentally available hexavalent chromium in soils and sediments impacted by dispersed fly ash in Sarigkiol basin (Northern Greece). *Environmental Pollution*, 235, 635-637.

Krauskopf, K. and Bird, D., 1995. *Introduction to Geochemistry*. McGraw-Hill, 637.

Landrigan, P.J., Fuller, R., Acosta, N.J.R., Adeyi, O., Arnold, R. and Basu, N., 2017. The Lancet Commission on pollution and health. *Lancet*, 391, 462-512.

Magiera, T., Goluchowska, B., and Jablonska, M., 2012. Technogenic Magnetic Particles in Alkaline Dusts from Power and Cement Plants. *Water, Air and Soil Pollution*, 224, 1, 5-6, 10.

Mason, B. and Moore, C.B., 1982. *Principles of geochemistry, 4th Edition*, John Willey & Sons, New York.

Meij, R., 1995. The distribution of trace elements during the combustion of coal. [book auth.] Dalwai J. Swaine and Fari Goodarzi. *Environmental Aspects of Trace Elements in Coal*, Dortrecht : Springer.

Petrotou, A., Skordas, K., Papastergios, G., and Filippidis, A., 2010. Concentrations and bioavailability of potentially toxic elements in soils of an industrialized area of northwestern Greece. *Fresenius Environmental Bulletin*, 19, 2769-2776.

Petrotou, A., Skordas, K., Papastergios, G., and Filippidis, A., 2012. Factors affecting the distribution of potentially toxic elements in surface soils around an industrialized area of northwestern Greece. *Environmental Earth Sciences*, Springer, 65, No.3, 829.

Prince, U.O., Ugochukwu, E. and Chibuzo, O.V., 2020. Environmental pollution: causes, effects and the remedies. Abhay Raj, Digvijay Verma and Yusuf Akhter Pankaj Chowdhary. *Microorganisms for Sustainable Environment and Health*. s.l. : Elsevier, 419-429.

Santana, Fabris, J.D., Goulart, A.T., and Santana, D.P., 2001. Magnetite and its transformation to hematite in a soil derived from steatite. *RBCS*. 25,34-35, 37-38.

Sidhu, P.S., Gilkes, R.J., and Posner, A.M., 1980. The Behavior of Co, Ni, Zn, Cu, Mn, and Cr in Magnetite during Alteration to Maghemite and Hematite. *SOIL SCI. SOC. AM. J.*, 44, 1-2.

Spiteri, C., Kalinski, V., Rosler, W., Hoffmann, V., Appel, E., and Team, M.A.G.P.R.O.X, 2005. Magnetic screening of a pollution hotspot in the Lausitz area, Eastern Germany: correlation analysis between magnetic proxies and heavy metal contamination in soils. *Environmental Geology*, 49, 4.

Subway, J.J., Roy, W.R., Skelly, T.M., Dickerson, T.R., Schuller, R.M., and Griffin, R.A., 1983. Chemical and toxicological properties of coal fly ash. *Illinois Dept. of Energy and Natural Resources, State Geological Survey Division, State Natural History Survey Division*, 105, 1-70.

Valentim, B., Bialecka, B., Goncalves, P. A., Guedes, A., Guimaraes, R., Cruceru, M., Moszko, J.C., Popescu, L.G., Predeanu, G., and Santos, and A.C., 2018. Undifferentiated Inorganics in Coal Fly Ash and Botoom Ash : Calcispheres, Magnesiocalcispheres, and Magnesiaspheres. *Minerals*. 140.

- Veneva, L., Hoffmann, V., Jordanova, D., Jordanova, N. and Fehr, Th., 2004. Rock magnetic, mineralogical and microstructural characterization of fly ashes from Bulgarian power plants and the nearby anthropogenic soils. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 29, 4.
- Wawer, M., Magiera, T., Górka-Kostrubiec, B., and Szumiata, T., 2019. Soil contamination with technogenic magnetic particles derived from metallurgical processes. *Geophysical Research Abstracts*, 21,1.
- Wechsler, B.A., Lindsley, D.H., and Prewitt, C.T., 1984. Crystal structure and cation distribution in titanomagnetites ($\text{Fe}_{3-x}\text{Ti}_x\text{O}_4$) MT100-1350. *American Mineralogist*, 69,654-770.
- Wilczynska-Michalik, W., Michalik, J.M., Kapusta, C., and Michalik, M., 2020. Airborne Magnetic Technoparticles in Soils as a Record of Anthropocene. *Atmosphere*, 11, 44, 11- 15.
- Zajzon, N., Marton, E., Sipos, P., Kristaly, F., Nemeth, T., Kiss-Kovacs, V., and Weiszbarg, T.G., 2013. Integrated mineralogical and magnetic study of magnetic airborne particles from potential pollution sources in industrial-urban environment. *Carpathian Journal of Earth Environmental Sciences*, 8, 179-186.

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Γεωργακόπουλος, Α., Φιλιππίδης, Α., Fernandez-Turiel, J.L., Κασωλη-Φουρναράκη, Α., και Ιορδανίδης, Α., 2002. Λιθογενής και ανθρωπογενής προέλευση των ιχνοστοιχείων σε επιφανειακά εδάφη της λιγνιτοφόρου λεκάνης Αμυνταίου-Πτολεμαΐδας-Κοζάνης. 6^ο Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο, Πρακτικά, 03-06/10/2002, Θεσσαλονίκη, 335-342 σελ.
- Ιορδανίδης, Α., Γεωργακόπουλος, Α., Φιλιππίδης, Α., και Κασώλη-Φουρναράκη, Α., 2000. Γεωχημική μελέτη του λιγνιτικού κοιτάσματος Αμυνταίου. 1^ο Συνέδριο της Επιτροπής

Οικονομικής Γεωλογίας, Ορυκτολογίας και Γεωχημείας της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Πρακτικά, 12-13/02/2000, Κοζάνη, 124-136 σελ.

Καλαϊτζίδης, Σ., 2007. Τυρφογένεση και εξελικτική πορεία τυρφώνων στην Ελλάδα.

Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας, 35 σελ.

Καντηράνης Ν., Φιλίππιδης Α., Χρηστάρας Β., Τσιραμπίδης Α., και Κασώλη-Φουρναράκη Α., 1999. Ο ρόλος της οργανικής ύλης των ανθρακικών πετρωμάτων στη δραστικότητα της παραγόμενης ασβέστου. *Δελτίου της Γεωλογικής Ελληνικής Εταιρίας*, 33, 105-111 σελ.

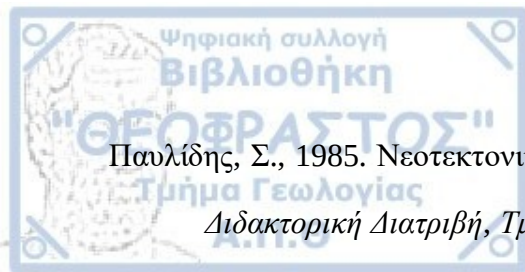
Καντηράνης Ν., Τσιραμπίδης Α., Φιλίππιδης Α., Χρηστάρας Β., και Κασώλη-Φουρναράκη Α., 2000α. Μελέτη του κρυσταλλικού ασβεστολίθου Αγίου Παντελεήμονα Φλώρινας. *1^ο Συνέδριο της Επιτροπής Οικονομικής Γεωλογίας, Ορυκτολογίας και Γεωχημείας της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας*, Πρακτικά, 12-13/02/2000, Κοζάνη, 184-195 σελ.

Καντηράνης Ν., Φιλίππιδης Α., Τσιραμπίδης Α., Χρηστάρας Β., και Κασώλη-Φουρναράκη Α., 2000β. Υψηλού-ασβεστίου άσβεστος και υδράσβεστος του ασβεστολίθου Αγίου Παντελεήμονα Φλώρινας για χρήση στην κατεργασία νερού. *1^ο Συνέδριο της Επιτροπής Οικονομικής Γεωλογίας, Ορυκτολογίας και Γεωχημείας της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας*, Πρακτικά, 12-13/02/2000, Κοζάνη, 117-183 σελ.

Καντηράνης, Ν., Στεργίου, Χ.Α., Φιλίππιδης, Α., και Δρακούλης, Α., 2004. Υπολογισμός του ποσοστού του άμορφου υλικού με τη χρήση περιθλασιογραμμάτων ακτίνων-Χ. *10^ο Διεθνές Συνέδριο Ε.Γ.Ε., Θεσσαλονίκη, Δελτίο. Ελληνικής Γεωλογικής. Εταιρίας*, 36/1:, 446-453 σελ.

Καντηράνης, Ν., Μήτρακας, Μ., Φιλίππιδης, Α., Βαργεμέζης, Γ., Ζουμπούλης, Α., Τσούρλος, Π., Φίκος, Η., Βαμβακάρης, Δ., Καραγιάννη, Ε., Παραδεισοπούλου, Π., Καζάκης, Ν., Βογιατζής, Δ., Καπράρα, Ε., Καλαϊτζίδου, Κ., Δρακούλης, Α., Ιωαννίδης, Μ., Κόλλιας, Π., και Γεωργίου, Ι., 2016. Εκτίμηση της προέλευσης του Cr(VI) στο υπόγειο νερό ύδρευσης των Δημοτικών Διαμερισμάτων Ακρινής - Αγίου Δημητρίου - Ρυακίου του Δήμου Κοζάνης. *Τελική έκθεση, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Τμήμα Γεωλογίας και Τμήμα Χημείας*, 7-32 και 85-243 σελ.

Κουκουβέλας, Ι., 2019. Γεωλογία Ελλάδας. Liberal Books, Αθήνα, 213-231 σελ.



Παυλίδης, Σ., 1985. Νεοτεκτονική εξέλιξη της λεκάνης Φλώρινας-Βεγορίτιδας-Πτολεμαΐδας.

Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Σαχανίδης, Χ., Γεωργακόπουλος, Α., Φιλιππίδης, Α., και Κασώλη-Φουρναράκη, Α., 2001.

Περιεκτικότητα σε ιχνοστοιχεία των μαργαικών ενστρώσεων της λιγνιτοφόρου λεκάνης Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου, Δ.Μακεδονία Δ. *Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας*, 34(3), 1115-1122 σελ.

Σιαβάλας, Γ., 2013. Η μελέτη των στερεών ρύπων που διασπείρονται σε εδάφη και ιζήματα σε

σχέση με τα κοιτασματολογικά χαρακτηριστικά των ενεργειακά αξιοποιούμενων συμβατικών καυσίμων. *Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας*, 62 σελ.

Χρηστάνης, Κ., 2017. Ορυκτοί Άνθρακες. Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας, 128-134 σελ.



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας Α. Συμμετοχή του μαγνητικού κλάσματος στα δείγματα της περιοχής μελέτης.

Δείγμα	Αρχικό βάρος (gr)	Βάρος μαγνητικού υλικού μετά τον διαχωρισμό (gr)	%
2A	20	0.026	0.13
4A	20	0.05	0.28
5A	20	bdl	bdl
8A	20	0.165	0.82
11A	20	0.905	4.53
12A	20	0.213	1.06
13A	20	0.035	0.18
14A	20	0.399	1.99
15A	20	0.157	0.79
16A	20	0.17	0.85
17A	20	0.262	1.31
18A	20	0.216	1.08
19A	20	0.201	1.00
20A	20	0.088	0.44
21A	20	0.181	0.91
22A	20	0.02	0.10
23A	20	0.024	0.12
24A	20	0.078	0.39
25A	20	0.218	1.09
26A	20	0.125	0.62
27A	20	0.083	0.41
28A	20	0.086	0.43
29A	20	0.34	1.70
30A	20	0.117	0.58
31A	20	0.237	1.18
32A	20	0.163	0.81
33A	20	0.156	0.78
34A	20	0.176	0.88
35A	20	0.176	0.88
36A	20	0.007	0.03
37A	20	0.001	0.01
38A	20	0.017	0.08
39A	20	0.015	0.07
41A	20	0.076	0.38
43A	20	0.509	2.54
45A	20	0.013	0.06
46A	20	0.017	0.08
47A	20	0.003	0.02
48A	20	0.022	0.11
52A	20	0.004	0.02
53A	20	0.524	2.62
54A	20	0.01	0.05

55A	20	0.012	0.06
56A	20	0.013	0.06
57A	20	0.002	0.01
58A	20	0.002	0.01
59A	20	0.001	0.00
M.O			0.67
1E	20	0.01	0.05
3E	20	0.027	0.14
6E	20	1.49	7.46
7E	20	0.038	0.19
9E	20	2.908	14.54
10E	20	0.009	0.04
40E	20	0.001	0.00
42E	20	1.831	9.15
44E	20	0.054	0.27
49E	20	1.224	6.12
50E	20	0.097	0.48
51E	20	0.383	1.91
M.O			3.36

Πίνακας Β. Συμμετοχή των ανθρωπογενών μαγνητικών σωματιδίων (Α.Μ.Σ) και των λιθογενών μαγνητικών σωματιδίων (Λ.Μ.Σ).

Δείγμα	Α.Μ.Σ	Λ.Μ.Σ	Σύνολο	%Α.Μ.Σ	%Λ.Μ.Σ	Λόγος Α.Μ.Σ/Λ.Μ.Σ
2A	1	12	13	7.69	92.31	0.08
4A	1	47	48	2.08	97.92	0.02
5A	1	23	24	4.17	95.83	0.04
8A	1	32	33	3.03	96.97	0.03
11A	1	12	13	7.69	92.31	0.08
12A	0	10	10	0.00	100.00	0.00
13A	4	16	20	20.00	80.00	0.25
14A	0	13	13	0.00	100.00	0.00
15A	2	8	10	20.00	80.00	0.25
16A	2	14	16	12.50	87.50	0.14
17A	3	11	14	21.43	78.57	0.27
18A	0	36	36	0.00	100.00	0.00
19A	2	18	20	10.00	90.00	0.11
20A	1	23	24	4.17	95.83	0.04
21A	1	51	52	1.92	98.08	0.02
22A	5	65	70	7.14	92.86	0.08
23A	3	41	44	6.82	93.18	0.07
24A	0	27	27	0.00	100.00	0.00
25A	1	35	36	2.78	97.22	0.03

26A	1	31	32	3.13	96.88	0.03	
27A	0	4	4	0.00	100.00	0.00	
28A	0	12	12	0.00	100.00	0.00	
29A	1	15	16	6.25	93.75	0.07	
30A	2	13	15	13.33	86.67	0.15	
31A	1	4	5	20.00	80.00	0.25	
32A	0	13	13	0.00	100.00	0.00	
33A	0	10	10	0.00	100.00	0.00	
34A	0	7	7	0.00	100.00	0.00	
35A	0	5	5	0.00	100.00	0.00	
36A	0	3	3	0.00	100.00	0.00	
37A	2	14	16	12.50	87.50	0.14	
38A	1	42	43	2.33	97.67	0.02	
39A	2	36	38	5.26	94.74	0.06	
41A	2	23	25	8.00	92.00	0.09	
43A	0	3	3	0.00	100.00	0.00	
45A	2	14	16	12.50	87.50	0.14	
46A	1	27	28	3.57	96.43	0.04	
47A	3	26	29	10.34	89.66	0.12	
48A	2	26	28	7.14	92.86	0.08	
52A	5	4	9	55.56	44.44	1.25	
53A	0	18	18	0	100	0	
54A	2	9	11	18.18	81.82	0.22	
55A	0	0	0	0.00	0.00	0.00	
56A	2	17	19	10.53	89.47	0.12	
57A	1	14	15	6.67	93.33	0.07	
58A	1	4	5	20.00	80.00	0.25	
59A	1	3	4	25.00	75.00	0.33	
1E	2	56	58	3.45	96.55	0.04	
3E	2	9	11	18.18	81.82	0.22	
6E	0	2	2	0.00	100.00	0.00	
7E	4	14	18	22.22	77.78	0.29	
9E	1	15	16	6.25	93.75	0.07	
10E	4	22	26	15.38	84.62	0.18	
40E	3	19	22	13.64	86.36	0.16	
42E	0	3	3	0.00	100.00	0.00	
44E	3	40	43	6.98	93.02	0.08	
49E	1	4	5	20.00	80.00	0.25	
50E	3	29	32	9.38	90.63	0.10	
51E	4	17	21	19.05	80.95	0.24	
Μ.Ο/Σ	Σ:93	Σ:1146	Σ:1239	Μ.Ο :7.51	Μ.Ο:92.49	Μ.Ο:0.08	

Πίνακας Γ. Σημειακή, στοιχειακή χημική ανάλυση, κατά την μορφολογική εξέταση με το Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης (SEM), των λιθογενών μαγνητικών σωματιδίων (Λ.Μ.Σ) και ανθρωπογενών μαγνητικών σωματιδίων.

2A	ΛΜΣ	ΑΜΣ	4A	ΛΜΣ(1)	ΛΜΣ(2)	ΑΜΣ
Si	1.14	1.47	Mg	3.6	1.08	bdl
Fe	75.83	75.29	Al	1.11	1.32	1.35
O	23.03	23.24	Si	5.27	3.78	2.64
Totals	100	100	Ca	bdl	bdl	0.67
			Cr	1.44	17.7	bdl
			Mn	bdl	1.65	bdl
			Fe	61.05	46.35	70.62
			O	27.52	28.12	24.71
			Totals	100	100	100
5A	ΑΜΣ					
Si	0.83		8A	ΛΜΣ	ΑΜΣ	
Ca	13.71		Fe	77.73	77.73	
Fe	61.45		O	22.27	22.27	
O	24.02		Totals	100	100	
Totals	100					
11A	ΛΜΣ (1)	ΛΜΣ(2)	ΛΜΣ(3)	ΑΜΣ		
Mg	bdl	bdl	bdl	1.1		
Al	2.01	bdl	bdl	bdl		
Si	3.38	bdl	bdl	1.21		
Cr	1.45	bdl	bdl	5.69		
Fe	67.52	77.73	77.73	67.83		
O	25.65	22.27	22.27	24.16		
Totals	100	100	100	100		
12A	ΛΜΣ (1)	ΛΜΣ(2)	ΛΜΣ(3)			
Mg	1.34	bdl	bdl			
Al	3.22	bdl	bdl			
Si	2.69	bdl	3.31			
Ca	bdl	bdl	2.83			
Ti	3.39	bdl	bdl			
Mn	1.1	bdl	bdl			
Fe	61.31	77.73	69.15			
O	26.96	22.27	24.71			
Totals	100	100	100			
13A	ΛΜΣ (1)	ΛΜΣ(2)	ΑΜΣ(1)	ΑΜΣ(2)	ΑΜΣ(3)	ΑΜΣ(4)
Mg	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.83
Al	bdl	bdl	bdl	1.74	bdl	5.38
Si	bdl	bdl	bdl	4.22	bdl	1.47
Ca	bdl	bdl	bdl	4.02	1.05	6.69
Fe	77.73	77.73	77.73	63.78	76.59	56.45
O	22.27	22.27	22.27	26.24	22.36	27.17
Totals	100	100	100	100	100	100

14A	ΛΜΣ (1)	ΛΜΣ(2)	ΛΜΣ(3)	15A	ΛΜΣ (1)	ΛΜΣ(2)	ΛΜΣ(3)	ΑΜΣ(1)	ΑΜΣ(2)
Mg	1.88	bdl	bdl	Mg	bdl	0.62	bdl	2.32	bdl
Si	1.12	11.54	bdl	Al	bdl	bdl	bdl	3.18	bdl
Fe	73.44	58.53	77.73	Si	bdl	bdl	1.04	5.94	bdl
O	23.56	29.92	22.27	K	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
Totals	100	100	100	Ca	bdl	bdl	bdl	5.38	bdl
				Cr	0.98	bdl	bdl	bdl	bdl
				Fe	76.61	76.94	76.01	54.34	77.73
				O	22.4	22.45	22.96	28.84	22.27
				Totals	100	100	100	100	100
16A	ΛΜΣ (1)	ΛΜΣ(2)	ΑΜΣ(1)	ΑΜΣ(2)	17A	ΑΜΣ(1)	ΑΜΣ(2)	ΑΜΣ(3)	
Mg	3.95	bdl	bdl	bdl	Mg	2.2	2.15	0.68	
Al	9.36	bdl	bdl	bdl	Si	bdl	1.12	0.99	
Si	20.36	3.63	bdl	3.87	Ca	bdl	bdl	1.38	
K	1.99	bdl	bdl	bdl	Fe	74.9	71.79	73.7	
Ca	0.58	bdl	5.48	bdl	Ni	bdl	1.33	bdl	
Cr	1.33	bdl	bdl	bdl	O	22.9	23.62	23.24	
Fe	21.05	71.69	71.77	71.3	Totals	100	100	100	
O	41.4	24.68	22.75	24.83					
Totals	100	100	100	100					
18A	ΛΜΣ (1)	ΛΜΣ(2)	ΛΜΣ(3)	ΛΜΣ(4)	ΛΜΣ(5)	ΛΜΣ(6)			
Al	bdl	bdl	bdl	3.01	bdl	bdl			
Si	2.53	bdl	bdl	4.03	bdl	1.71			
Fe	73.52	77.73	77.73	66.62	77.73	74.88			
O	23.95	22.27	22.27	26.35	22.27	23.4			
Totals	100	100	100	100	100	100			
19A	ΛΜΣ (1)	ΛΜΣ(2)	ΛΜΣ(3)	ΑΜΣ(1)	ΑΜΣ(2)				
Al	bdl	bdl	bdl	1.3	bdl				
Si	bdl	bdl	0.59	1.54	2.83				
Fe	77.73	77.73	76.75	73.27	73.03				
O	22.27	22.27	22.66	23.9	24.14				
Totals	100	100	100	100	100				
20A	ΛΜΣ (1)	ΛΜΣ(2)	ΛΜΣ(3)	ΑΜΣ					
Mg	bdl	1.19	bdl	1.73					
Al	bdl	bdl	2.27	3.86					
Si	1.74	1.1	3.8	5.52					
Ca	bdl	bdl	bdl	1.27					
Fe	74.84	74.37	68.09	59.26					
O	23.42	23.34	25.85	28.35					
Totals	100	100	100	100					

21A	ΛΜΣ (1)	ΛΜΣ(2)	ΛΜΣ(3)	ΛΜΣ(4)	ΛΜΣ(5)	ΑΜΣ(1)	ΑΜΣ(2)
Mg	bdl	13.08	bdl	1.18	1.73	bdl	bdl
Al	1.15	bdl	bdl	bdl	1.61	1.57	bdl
Si	2.23	12.89	bdl	1.46	1.89	2.62	1.99
Cr	bdl	bdl	bdl	bdl	8.41	bdl	bdl
Ca	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.69
Fe	72.35	39.44	77.73	73.78	60.45	71.08	73.67
O	24.28	34.59	22.27	23.58	25.92	24.74	23.65
Totals	100	100	100	100	100	100	100
22A	ΛΜΣ (1)	ΑΜΣ(1)	ΑΜΣ(2)	ΑΜΣ(3)	ΑΜΣ(4)	ΑΜΣ(5)	
Mg	2.16	bdl	bdl	1.37	bdl	bdl	
Al	5.04	bdl	bdl	1.74	bdl	bdl	
Si	9.2	2.57	1.57	3.17	0.99	1.22	
K	0.79	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	
Ca	bdl	bdl	bdl	12.15	bdl	bdl	
Cr	0.99	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	
Fe	50.4	73.45	75.13	54.93	76.08	75.7	
O	31.43	23.97	23.31	26.64	22.93	23.08	
Totals	100	100	100	100	100	100	
23A	ΛΜΣ (1)	ΛΜΣ(2)	ΛΜΣ(3)	ΑΜΣ(1)	ΑΜΣ(2)	ΑΜΣ(3)	
Mg	2.14	1.78	2.15	3.01	bdl	2.84	
Al	1.9	4.51	bdl	bdl	bdl	2.83	
Si	bdl	6.2	2.14	1.48	bdl	5.33	
Ca	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	21.4	
Ti	3.85	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	
Cr	bdl	18.97	bdl	bdl	bdl	bdl	
Fe	67.19	36.95	71.41	71.4	77.73	37.78	
O	24.92	31.59	24.31	24.12	22.27	29.82	
Totals	100	100	100	100	100	100	
24A	ΛΜΣ(1)	ΛΜΣ(2)		25A	ΛΜΣ (1)	ΛΜΣ(2)	
Mg	1.28	2.62		Si	bdl	1.48	
Si	0.87	2.53		Fe	77.73	75.27	
Cr	3.6	bdl		O	22.27	23.25	
Ti	bdl	5.75		Totals	100	100	
Fe	70.55	62.69					
O	23.7	26.41		26A	ΛΜΣ (1)	ΑΜΣ(1)	
Totals	100	100		Si	3.56	1.02	
				Ca	bdl	1.66	
				Fe	71.82	74.22	
				O	24.63	23.09	
				Totals	100	100	

27A	ΛΜΣ (1)	ΛΜΣ(2)	ΛΜΣ(3)	ΛΜΣ(4)	ΛΜΣ(5)	ΛΜΣ(6)		
Mg	bdl	bdl	bdl	1.73	bdl	bdl		
Al	bdl	1.39	bdl	2.9	bdl	bdl		
Si	bdl	1.33	0.99	3.81	1.16	bdl		
Ti	bdl	5.29	bdl	3.5	bdl	bdl		
Mn	bdl	1.65	bdl	bdl	bdl	bdl		
Cr	8.65	bdl	bdl	bdl	bdl	1.39		
V	bdl	bdl	0.76	bdl	bdl	bdl		
Fe	67.9	64.96	75.03	60.36	75.8	76.15		
O	23.45	25.38	23.22	27.69	23.04	22.46		
Totals	100	100	100	100	100	100		
				29A	ΛΜΣ(1)	ΛΜΣ(2)	ΛΜΣ(3)	ΛΜΣ(1)
				Mg	2.1	1.33	2.48	5.5
				Al	3.36	0.85	3.27	11.34
				Si	5.65	1.63	7.92	15.04
				Ca	bdl	bdl	bdl	1.58
28A	ΛΜΣ (1)	ΛΜΣ(2)		Ti	bdl	bdl	bdl	1.94
Mg	bdl	1.13		Cr	bdl	bdl	2.24	bdl
Si	1.16	bdl		Fe	75.8	76.28	75.8	24.73
Fe	75.8	76.28		O	28.2	24.13	30.07	39.86
O	23.04	22.59		Totals	100	100	100	100
Totals	100	100		31A	ΛΜΣ(1)	ΛΜΣ(2)	ΛΜΣ	
				Mg	bdl	2.7	bdl	
				Al	bdl	0.68	bdl	
30A	ΛΜΣ(1)	ΛΜΣ(1)	ΛΜΣ(2)	Si	0.54	2.4	2.2	
Mg	bdl	bdl	2.1	Cr	0.64	bdl	bdl	
Ca	bdl	bdl	9.77	Fe	76.11	69.27	74.07	
Fe	77.73	77.73	64.4	O	22.71	24.96	23.73	
O	22.27	22.27	23.73	Totals	100	100	100	
Totals	100	100	100					
32A	ΛΜΣ(1)	ΛΜΣ(2)	ΛΜΣ(3)	ΛΜΣ(4)	ΛΜΣ(5)	ΛΜΣ(6)	ΛΜΣ(7)	ΛΜΣ(8)
Mg	1.31	3.53	2.51	11.36	3.97	bdl	1.13	2.46
Al	1.46	bdl	1.15	0.92	1.87	bdl	0.74	2.58
Si	2.01	11.78	3.44	7.16	4.62	0.79	1.94	4.59
Ca	bdl	bdl	0.76	bdl	1.11	bdl	bdl	0.67
Cr	bdl	bdl	2.01	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
Fe	70.56	53.59	63.97	49.83	60.99	76.41	71.96	62.41
O	24.66	31.1	26.15	30.73	27.45	22.79	24.23	27.29
Totals	100	100	100	100	100	100	100	100
32A	ΛΜΣ(9)	ΛΜΣ(10)						
Mg	4.85	3.32						
Al	1.16	bdl						
Si	3.33	2.4						
Cr	2.9	bdl						
Fe	60.96	69.46						
O	26.81	24.82						
Totals	100	100						

33A	ΛΜΣ(1)	ΛΜΣ(2)	ΛΜΣ(3)	ΛΜΣ(4)				
Mg	5.39	1.77	bdl	bdl				
Al	bdl	bdl	1.26	bdl				
Si	4.25	1.45	3.35	2.04				
Ca	bdl	bdl	1.08	bdl				
Fe	63.72	73.03	69.14	72.69				
Ni	bdl	bdl	bdl	1.66				
O	26.64	23.74	25.17	23.61				
Totals	100	100	100	100				
34A	ΛΜΣ(1)	ΛΜΣ(2)	ΛΜΣ(3)	ΛΜΣ(4)		37A	ΛΜΣ(1)	ΛΜΣ(2)
Mg	2.53	1.49	2.58	1.95		Al	1.39	bdl
Al	bdl	2.09	1.11	bdl		Fe	75.69	77.73
Si	1.94	3.38	3.11	1.57		O	22.92	22.27
Ca	bdl	bdl	bdl	0.83		Totals	100	100
Cr	bdl	1.47	0.65	bdl				
Fe	71.24	65.45	66.91	66.35				
Ni	bdl	bdl	bdl	5.41				
O	24.29	26.12	25.65	23.88				
Totals	100	100	100	100				
35A	ΛΜΣ(1)	ΛΜΣ(2)	ΛΜΣ(3)	ΛΜΣ(4)		36A	ΛΜΣ(1)	
Mg	4.34	bdl	1.35	bdl		Fe	77.73	
Al	bdl	bdl	2.52	bdl		O	22.27	
Si	2.83	bdl	4.52	1.6		Totals	100	
Cr	2.93	bdl	bdl	bdl				
Fe	64.09	77.73	64.77	75.07				
O	25.8	22.27	26.84	23.33				
Totals	100	100	100	100				
38A	ΛΜΣ(1)	ΛΜΣ(2)	ΛΜΣ(3)	ΛΜΣ(4)	ΛΜΣ(5)	ΛΜΣ(6)	ΛΜΣ(7)	ΛΜΣ(8)
Mg	bdl	bdl	1.28	bdl	2.45	bdl	bdl	bdl
Al	2.37	bdl	1.15	bdl	3.33	6.99	bdl	0.83
Si	3.63	0.86	2.54	0.53	2.44	7.12	bdl	1.55
Ti	bdl	15.32	bdl	bdl	3.73	bdl	bdl	bdl
Mn	bdl	6.84	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
Cr	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1
Fe	68.2	46.9	70.16	76.85	60.78	55.62	77.73	72.79
Zn	bdl	2.76	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
O	25.79	27.32	24.86	22.62	27.26	30.27	22.27	23.82
Totals	100	100	100	100	100	100	100	100

39A	ΛΜΣ(1)	ΛΜΣ(2)	ΑΜΣ(1)	ΑΜΣ(2)		41A	ΛΜΣ	ΑΜΣ
Mg	bdl	4.12	bdl	bdl		Si	bdl	3.47
Al	3.05	2.08	bdl	2.45		Ca	bdl	0.83
Si	3.91	7.15	bdl	2.57		Fe	77.73	71.06
P	1.34	bdl	bdl	bdl		O	22.27	24.64
Ca	1.91	0.84	bdl	bdl		Totals	100	100
Ti	0.87	bdl	bdl	bdl				
Fe	61.16	56.56	77.73	69.87				
O	27.76	29.25	22.27	25.12				
Totals	100	100	100	100				
43A	ΛΜΣ(1)	ΛΜΣ(2)	ΛΜΣ(3)	ΛΜΣ(4)				
Mg	7.44	bdl	1.16	bdl				
Al	bdl	bdl	bdl	2.44				
Si	5.33	2.07	0.97	4.72				
Cr	bdl	bdl	bdl	2.87				
Fe	59.28	74.29	74.62	63.04				
O	27.95	23.64	23.25	26.93				
Totals	100	100	100	100				
45A	ΛΜΣ(1)	ΛΜΣ(2)	ΛΜΣ(3)	ΑΜΣ				
Mg	1.35	bdl	2.4	bdl				
Al	1.4	bdl	3.57	bdl				
Si	2.29	bdl	1.15	1.69				
Ti	3.52	bdl	6.68	bdl				
V	bdl	bdl	1.17	bdl				
Cr	bdl	0.81	30.85	bdl				
Fe	65.56	76.82	57.2	74.92				
O	25.88	22.38	27.83	23.39				
Totals	100	100	100	100				
46A	ΛΜΣ(1)	ΛΜΣ(2)	ΛΜΣ(3)	ΑΜΣ				
Si	bdl	1.83	bdl	bdl				
Mn	bdl	bdl	1.78	bdl				
Fe	77.73	74.68	75.94	77.73				
O	22.27	23.48	22.28	22.27				
Totals	100	100	100	100				

47A	ΛΜΣ(1)	ΛΜΣ(2)	ΛΜΣ(3)	ΑΜΣ(1)	ΑΜΣ(2)	ΑΜΣ(3)
Mg	bdl	bdl	5.72	1.32	bdl	bdl
Al	bdl	2.7	bdl	3.14	3.29	bdl
Si	bdl	3.43	4.4	2.01	4.39	0.39
K	bdl	bdl	bdl	bdl	0.41	bdl
Ca	bdl	bdl	bdl	bdl	0.16	bdl
Ti	bdl	bdl	bdl	4.26	bdl	bdl
Cr	2.19	bdl	bdl	bdl	bdl	0.68
Fe	75.24	68.06	63.05	62.55	65.05	76.31
O	22.57	25.81	26.84	26.72	26.71	22.62
Totals	100	100	100	100	100	100
48A	ΛΜΣ(1)	ΛΜΣ(2)	ΛΜΣ(3)	ΛΜΣ(4)	ΑΜΣ(1)	ΑΜΣ(2)
Mg	bdl	4.91	bdl	1.07		1.61
Al	bdl	0.53	bdl	4.74	4.98	3.92
Si	0.87	3.15	0.85	4.86	9.27	4.41
P	bdl	bdl	bdl	bdl	1.06	bdl
Ca	0.56	bdl	bdl	bdl	1.23	bdl
Ti	bdl	bdl	bdl	3.93	bdl	5.3
Mn	bdl	bdl	bdl	1	bdl	1.18
Fe	75.67	65.39	76.31	55.22	51.78	54.51
O	22.9	26.02	22.83	29.19	31.68	29.07
Totals	100	100	100	100	100	100
52A	ΑΜΣ(1)	ΑΜΣ(2)	ΑΜΣ(3)	ΑΜΣ(4)		
Mg	2.31	1.68	bdl	4.13		
Al	2.45	2.76	1.26	2.77		
Si	2.74	1	bdl	1.79		
Ca	14.43	0.89	bdl	4.21		
Ti	bdl	bdl	4.31	bdl		
Mn	bdl	bdl	1.24	bdl		
Cr	bdl	bdl	bdl	1.49		
Fe	50.92	68.89	69.04	59.11		
O	27.16	24.79	24.14	26.51		
Totals	100	100	100	100		



54A	ΑΜΣ					
Fe	77.73					
O	22.27					
Totals	100					
56A	ΛΜΣ (1)	ΛΜΣ(2)	ΛΜΣ(3)	ΛΜΣ(4)	ΛΜΣ(5)	ΑΜΣ
Mg	bdl	1.11	1.01	1.51	bdl	2.25
Al	2.27	2.83	1.18	3.28	bdl	5.53
Si	8.52	1.63	1.96	3.8	bdl	3.31
Ca	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	6.61
Ti	bdl	bdl	bdl	3.95	1.93	bdl
Cr	bdl	17.14	bdl	bdl	1.49	bdl
Fe	60.24	48.15	71.43	59.53	73.54	54.01
Zn	bdl	1.87	bdl	bdl	bdl	bdl
O	28.98	27.27	24.42	27.93	23.04	28.28
Totals	100	100	100	100	100	100
57A	ΑΜΣ					
Al	0.88					
Si	3.07					
Ca	0.59					
Fe	70.7					
O	24.77					
Totals	100					
58A	ΛΜΣ	ΑΜΣ		59A	ΛΜΣ	ΑΜΣ
Mg	bdl	0.96		Mg	bdl	1.8
Al	0.47	3.93		Al	bdl	2.47
Si	0.58	14.66		Si	bdl	4.3
Ca	0.64	14.76		Ca	4.25	1.53
Mn	1.63	2.55		Mn	bdl	1.73
Fe	73.74	27.73		Fe	73.11	61.23
O	22.94	35.41		O	22.64	26.94
Totals	100	100		Totals	100	100

1E	ΑΜΣ(1)	ΑΜΣ(2)		6E	ΑΜΣ(1)	ΑΜΣ(2)			
Mg	6.78	2.42		Mg	6.63	2.83			
Al	1.09	2.3		Si	5.39	2.73			
Si	bdl	2.03		Cr	1.68	1.05			
Ca	5.48	22.29		Fe	58.33	68.36			
Fe	61.44	43.62		O	27.98	25.04			
O	25.21	27.34		Totals	100	100			
Totals	100	100							
3E	ΑΜΣ(1)	ΑΜΣ(2)	ΑΜΣ(3)	ΑΜΣ(1)	ΑΜΣ(2)				
Mg	bdl	bdl	bdl	bdl	1.17				
Al	bdl	bdl	bdl	1.73	bdl				
Si	bdl	bdl	bdl	2.75	0.66				
Ca	bdl	bdl	bdl	23.79	0.73				
Mn	bdl	bdl	bdl	bdl	2.14				
Fe	77.73	77.73	77.73	44.75	72.2				
O	22.27	22.27	22.27	26.99	23.11				
Totals	100	100	100	100	100				
7E	ΑΜΣ(1)	ΑΜΣ(2)	ΑΜΣ(3)	ΑΜΣ(1)	ΑΜΣ(2)	ΑΜΣ(3)			
Mg	bdl	1.53	bdl	bdl	bdl	bdl			
Al	bdl	7.27	0.71	4.41	bdl	1.63			
Si	1.55	8.91	1.47	2.75	bdl	0.73			
Ca	bdl	1.09	bdl	1.71	bdl	14.03			
Cr	bdl	bdl	2.58	bdl	bdl	bdl			
Fe	75.15	49.08	71.3	64.83	77.73	58.87			
O	23.3	32.12	23.93	26.31	22.27	24.74			
Totals	100	100	100	100	100	100			
9E	ΑΜΣ(1)	ΑΜΣ(2)	ΑΜΣ(3)	ΑΜΣ(4)	ΑΜΣ(5)	ΑΜΣ(6)	ΑΜΣ(7)	ΑΜΣ(8)	ΑΜΣ
Mg	6.18	1.45	1.34	1.47	1.25	2.97	19.65	bdl	6.35
Al	bdl	bdl	3.04	bdl	bdl	0.27	bdl	bdl	7.04
Si	3.27	0.96	4.07	1.35	1.04	1.87	15.87	1.06	11.51
K	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.48
Ca	bdl	bdl	0.87	0.92	bdl	bdl	bdl	bdl	5.5
Ti	bdl	bdl	bdl	16.62	bdl	bdl	bdl	bdl	0.52
Cr	1.24	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
Fe	62.91	74.25	63.83	51.04	74.38	70.39	26.01	75.97	32.96
O	26.39	23.33	26.85	28.6	23.32	24.49	38.47	22.97	35.64
Totals	100	100	100	100	100	100	100	100	100

10E	ΛΜΣ(1)	ΛΜΣ(2)	ΛΜΣ(3)	ΑΜΣ(1)	ΑΜΣ(2)	ΑΜΣ(3)	ΑΜΣ(4)
Na	2.34	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
Mg	0.94	1.17	0.98	bdl	bdl	bdl	bdl
Al	2.21	1.67	5.14	bdl	5.03	bdl	bdl
Si	3.32	0.59	7.48	0.43	4.85	bdl	bdl
K	bdl	bdl	0.44	bdl	0.65	bdl	bdl
Ca	1.18	bdl	0.98	0.5	0.93	bdl	0.42
Ti	bdl	3.99	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
Cr	0.82	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
Fe	63.09	67.62	55	76.48	60.66	77.73	77.28
O	26.1	24.96	29.98	22.59	27.88	22.27	22.31
Totals	100	100	100	100	100	100	100
40E	ΛΜΣ(1)	ΛΜΣ(2)	ΛΜΣ(3)	ΑΜΣ(1)	ΑΜΣ(2)	ΑΜΣ(3)	
Mg	1.02	bdl	3.46	2.02	1.05	bdl	
Al	3.76	bdl	6.28	2.51	2.58	2.85	
Si	4.28	bdl	4.61	3.03	3.08	3.59	
P	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.46	
Ca	1.53	bdl	0.78	bdl	0.67	1	
Mn	2.19	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	
Ti	bdl	bdl	4.24	11.03	bdl	bdl	
Fe	59.91	77.73	50.02	52.11	66.74	63.9	
O	27.31	22.27	30.6	29.3	25.88	27.21	
Totals	100	100	100	100	100	100	
42E	ΛΜΣ(1)	ΛΜΣ(2)	ΛΜΣ(3)				
Mg	3.74	bdl	4.48				
Al	1.18	bdl	2.93				
Si	9.56	0.67	8.33				
Cr	1.05	bdl	bdl				
Fe	54.09	76.61	53.8				
O	30.38	22.72	30.46				
Totals	100	100	100				
44E	ΛΜΣ(1)	ΛΜΣ(2)	ΛΜΣ(3)	ΑΜΣ(1)	ΑΜΣ(2)	ΑΜΣ(3)	
Mg	0.93	1.11	1.37	bdl	1.58	4.53	
Al	1.14	1.01	1.5	bdl	2.35	1.74	
Si	1.82	2.23	bdl	bdl	1.57	4.81	
Ti	2.79	bdl	3.96	bdl	bdl	bdl	
Ca	bdl	bdl	bdl	1.5	1.4	bdl	
Mn	bdl	1.57	1.21	24.81	1	bdl	
Fe	68.21	69.53	67.4	51.2	67.1	61.33	
O	25.11	24.55	24.55	22.49	25	27.58	
Totals	100	100	100	100	100	100	

49E	ΛΜΣ(1)	ΛΜΣ(2)	ΛΜΣ(3)	ΑΜΣ(1)	
Mg	3.16	7.84	1.51	2.64	
Al	1.43	3.3	0.92	1.37	
Si	6.25	11.85	2.57	4.23	
Ca	bdl	0.5	bdl	bdl	
Cr	2.68	bdl	bdl	2.87	
Fe	58.11	42.53	70.17	62	
O	28.36	33.98	24.84	26.87	
Totals	100	100	100	100	
50E	ΛΜΣ	ΑΜΣ(1)	ΑΜΣ(2)	ΑΜΣ(3)	
Mg	0.69	bdl	bdl	bdl	
Al	1.54	bdl	0.82	1.1	
Si	4.57	1.16	1.22	2.22	
K	bdl	0.87	bdl	bdl	
Ca	bdl	bdl	0.87	bdl	
Fe	65.56	74.99	73.54	72.43	
Ni	1.44	bdl	bdl	bdl	
O	26.2	22.98	23.54	24.25	
Totals	100	100	100	100	
51E	ΛΜΣ(1)	ΛΜΣ(2)	ΛΜΣ(3)	ΑΜΣ(1)	ΑΜΣ(2)
Mg	1.16	5.44	1.12	1.35	3.1
Al	bdl	bdl	bdl	4.39	0.99
Si	bdl	2.94	2.62	6.38	2.79
Ca	bdl	bdl	bdl	1.27	1.59
Cr	bdl	bdl	1.81	bdl	bdl
Fe	75.09	65.83	69.87	57.55	65.93
Ni	1.16	bdl	bdl	bdl	bdl
O	22.59	25.79	24.57	29.06	25.61
Totals	100	100	100	100	100

Πίνακας Δ. Μέση τιμή % των στοιχείων στο μαγνητικό κλάσμα κάθε δείγματος όπως προέκυψε από τη σημειακή στοιχειακή σύσταση σε λιθογενή μαγνητικά σωματίδια (Λ.Μ.Σ) και ανθρωπογενή μαγνητικά σωματίδια (Α.Μ.Σ)

*bdl : below detection limit

Δείγμα/Στοιχείο	Fe	Si	Ca	Mg	Al	Cr	Ti	Mn
2A	75.56	1.31	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
4A	59.34	3.90	0.22	1.56	1.26	6.38	bdl	0.55
5A	61.45	0.83	13.71	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
8A	77.73	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
11A	72.70	1.15	bdl	0.28	0.50	1.79	bdl	bdl
12A	69.40	2.00	0.94	0.45	1.07	bdl	1.13	0.37
13A	71.67	0.95	1.96	0.47	1.19	bdl	bdl	bdl
14A	69.90	4.22	bdl	0.63	bdl	bdl	bdl	bdl
15A	72.33	1.40	1.08	0.59	0.64	0.20	bdl	bdl
16A	58.95	6.97	1.52	0.99	2.34	0.33	bdl	bdl
17A	73.46	0.70	0.46	1.68	bdl	bdl	bdl	bdl
18A	74.70	1.38	bdl	bdl	0.50	bdl	bdl	bdl
19A	75.70	0.99	bdl	bdl	0.21	bdl	bdl	bdl
20A	69.14	3.04	0.32	0.73	1.53	bdl	bdl	bdl
21A	66.93	3.30	0.10	2.28	0.62	1.20	bdl	bdl
22A	67.62	3.12	2.03	0.59	1.13	0.17	bdl	bdl
23A	60.41	2.53	3.57	1.99	1.54	3.16	0.64	bdl
24A	66.62	1.70	bdl	1.95	bdl	3.60	2.88	bdl
25A	76.50	0.74	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
26A	73.02	2.29	0.83	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
27A	70.03	1.22	bdl	0.21	0.72	1.67	1.47	0.28
28A	76.04	0.58	bdl	0.57	bdl	bdl	bdl	bdl
29A	76.04	7.56	0.40	2.85	4.71	0.56	0.49	bdl
30A	73.29	bdl	3.26	0.70	bdl	bdl	bdl	bdl
31A	73.15	1.71	bdl	0.90	0.23	0.64	bdl	bdl
32A	64.01	4.21	0.25	3.44	0.99	0.49	bdl	bdl
33A	69.65	2.77	0.27	1.79	0.25	bdl	bdl	bdl
34A	67.49	2.50	0.21	2.14	0.80	0.53	bdl	bdl
35A	70.42	2.24	bdl	1.42	0.63	0.73	bdl	bdl
36A	77.73	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
37A	76.71	bdl	bdl	bdl	0.70	bdl	bdl	bdl
38A	66.13	2.33	bdl	0.47	1.83	0.13	2.38	0.86
39A	66.33	3.41	0.69	1.03	1.90	bdl	0.22	bdl
41A	74.40	1.74	0.42	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
43A	67.81	3.27	bdl	2.15	0.61	0.72	bdl	bdl
45A	68.63	1.28	bdl	0.94	1.24	0.20	2.55	bdl
46A	76.52	0.46	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.78
47A	66.45	3.22	0.02	1.01	2.19	0.41	0.61	0.00

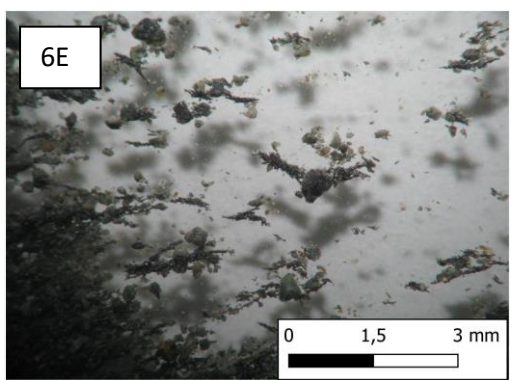
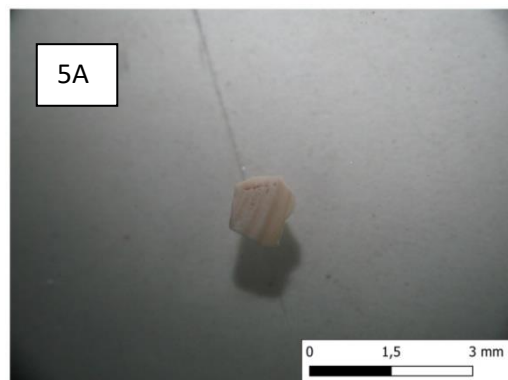
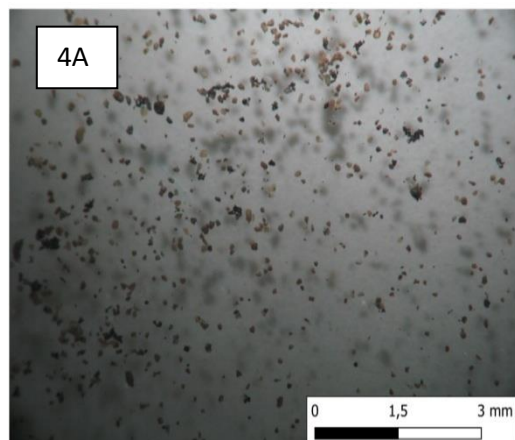
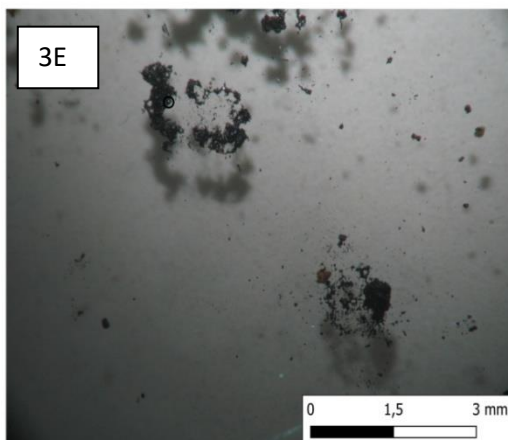
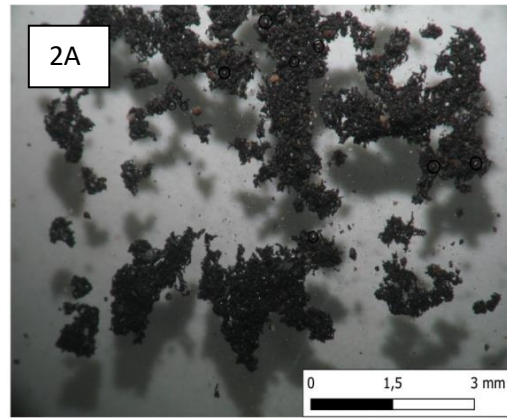
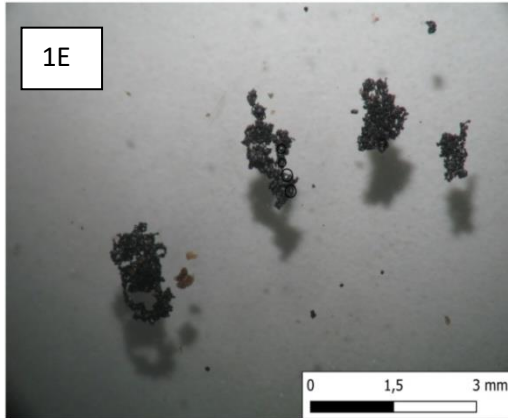
48A	63.15	3.34	0.30	1.27	2.36	bdl	1.54	1.09
52A	61.99	1.38	4.88	2.03	2.31	0.37	1.08	1.24
53A	70.35	2.13	bdl	0.92	0.79	0.47	0.75	bdl
54A	77.73	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
55A	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
56A	61.15	3.20	1.10	1.96	2.52	3.11	0.98	bdl
57A	70.70	3.07	0.59	bdl	0.88	bdl	bdl	bdl
58A	50.74	7.62	7.70	0.48	2.20	bdl	bdl	2.09
59A	67.17	2.15	2.89	0.90	1.24	bdl	bdl	1.73
1E	52.53	1.02	13.89	4.60	1.70	bdl	bdl	bdl
3E	70.03	0.68	4.90	0.23	0.35	bdl	bdl	2.14
6E	63.35	4.06	bdl	4.73	bdl	1.37	bdl	bdl
7E	66.16	2.57	2.81	0.26	2.34	0.43	bdl	bdl
9E	59.08	4.56	0.81	4.52	1.15	0.14	1.90	bdl
10E	68.27	2.38	0.57	0.44	1.29	0.12	0.57	bdl
40E	61.74	3.10	0.66	1.26	3.00	bdl	2.55	2.19
42E	36.90	3.71	bdl	1.64	0.82	0.21	bdl	bdl
44E	64.13	1.74	0.48	1.59	1.29	bdl	1.13	7.15
49E	58.20	6.23	0.13	5.69	1.76	1.39	bdl	bdl
50E	71.63	2.29	0.02	0.17	0.87	bdl	bdl	bdl
51E	66.85	2.95	0.57	2.03	1.08	0.30	bdl	bdl
M.O	66.71	2.36	1.26	1.16	0.97	0.52	0.39	0.36

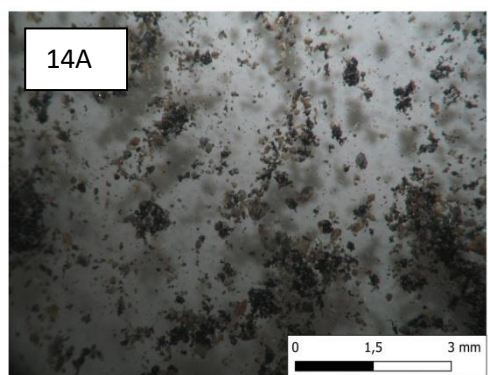
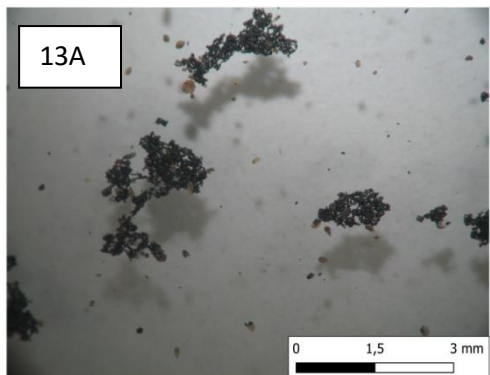
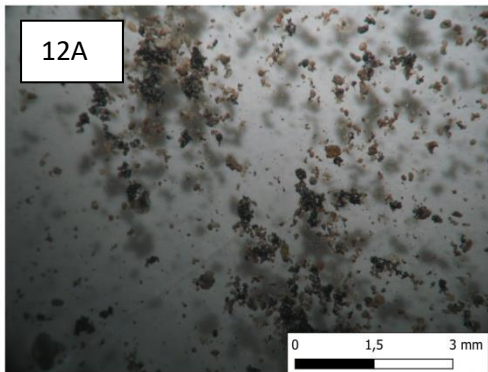
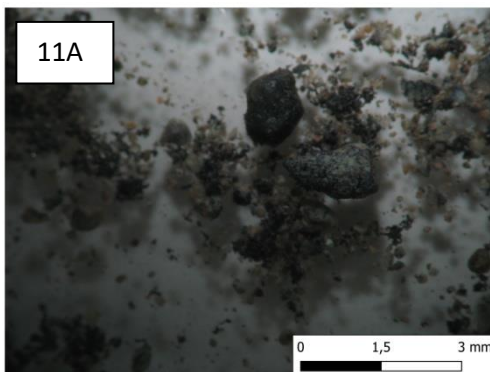
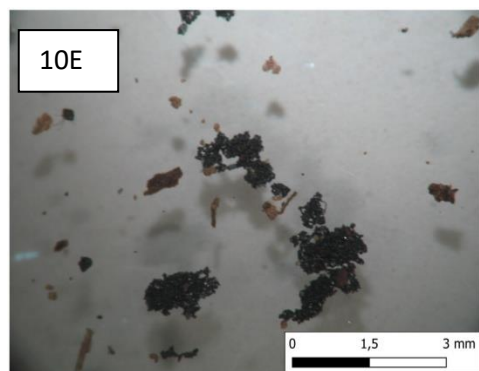
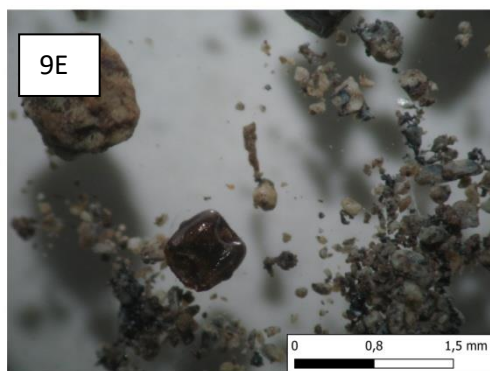
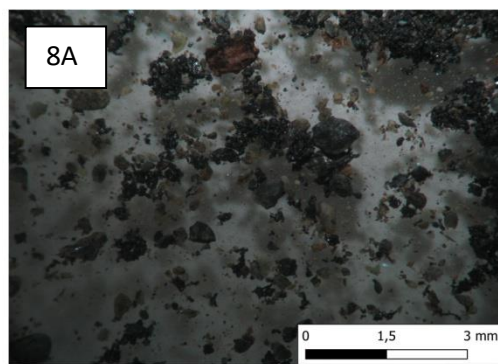
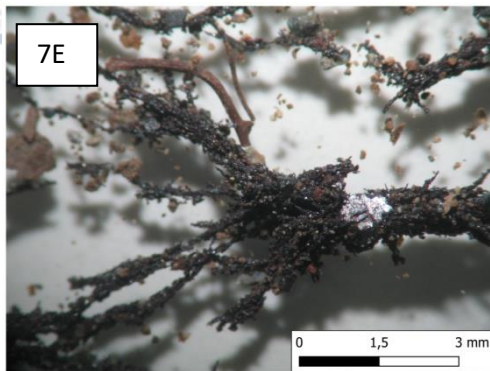
Δείγμα/Στοιχείο	Ni	P	K	Zn	V	Na
2A	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
4A	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
5A	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
8A	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
11A	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
12A	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
13A	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
14A	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
15A	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
16A	bdl	bdl	0.50	bdl	bdl	bdl
17A	0.44	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
18A	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
19A	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
20A	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
21A	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
22A	bdl	bdl	0.13	bdl	bdl	bdl
23A	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
24A	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
25A	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
26A	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
27A	bdl	bdl	bdl	bdl	0.13	bdl
28A	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl

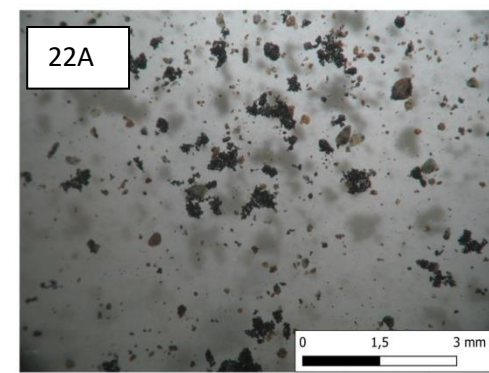
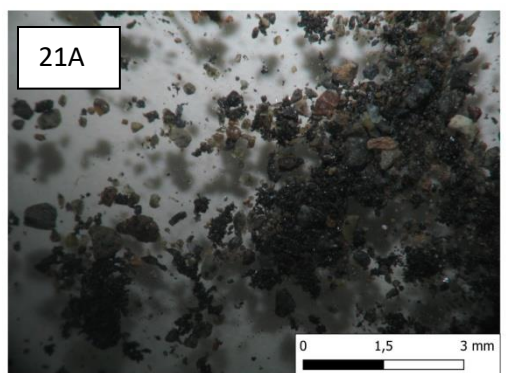
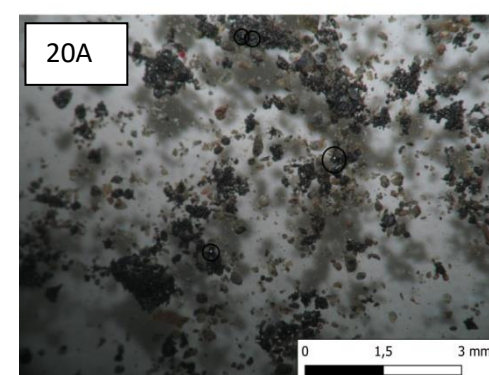
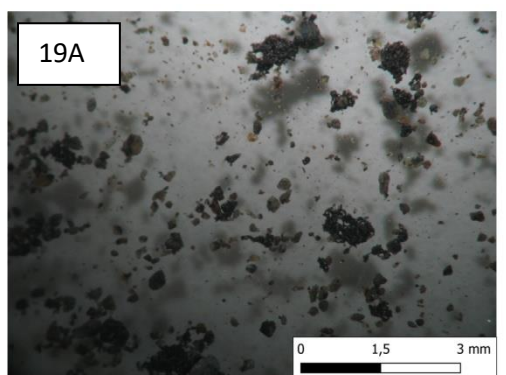
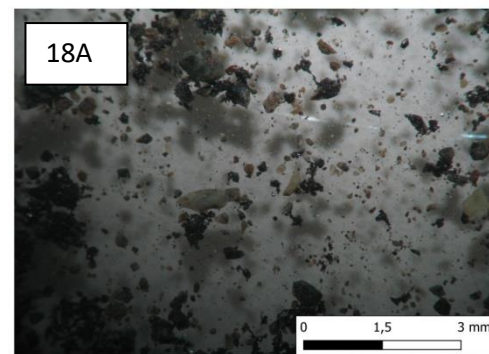
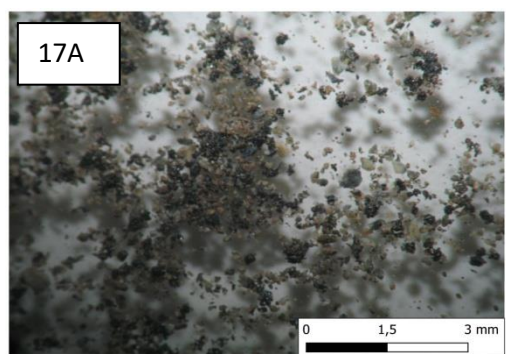
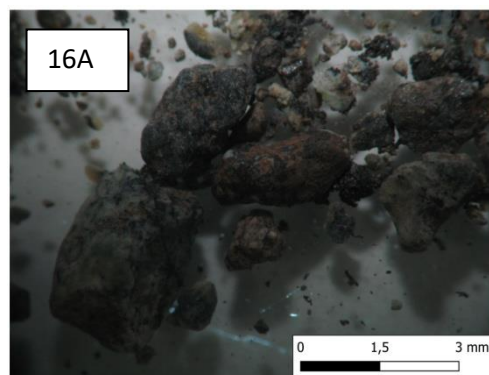
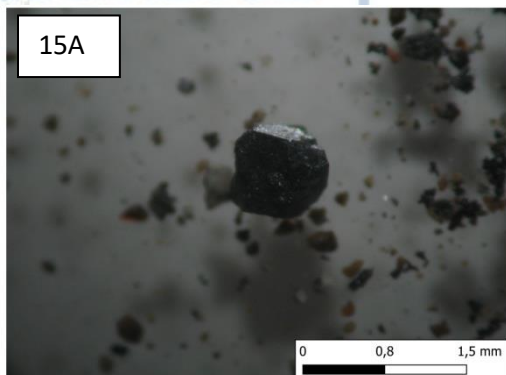
29A	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
30A	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
31A	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
32A	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
33A	0.42	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
34A	1.35	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
35A	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
36A	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
37A	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
38A	bdl	bdl	bdl	0.35	bdl	bdl
39A	bdl	0.34	bdl	bdl	bdl	bdl
41A	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
43A	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
45A	bdl	bdl	bdl	bdl	0.29	bdl
46A	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
47A	bdl	bdl	0.14	bdl	bdl	bdl
48A	bdl	0.53	bdl	bdl	bdl	bdl
52A	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
53A	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
54A	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
55A	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
56A	bdl	bdl	bdl	0.31	bdl	bdl
57A	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
58A	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
59A	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
1E	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
3E	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
6E	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
7E	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
9E	bdl	bdl	0.05	bdl	bdl	bdl
10E	bdl	bdl	0.16	bdl	bdl	0.33
40E	bdl	1.46	bdl	bdl	bdl	bdl
42E	0.36	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
44E	0.23	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
49E	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
50E	bdl	bdl	0.22	bdl	bdl	bdl
51E	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
M.O	0.05	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01

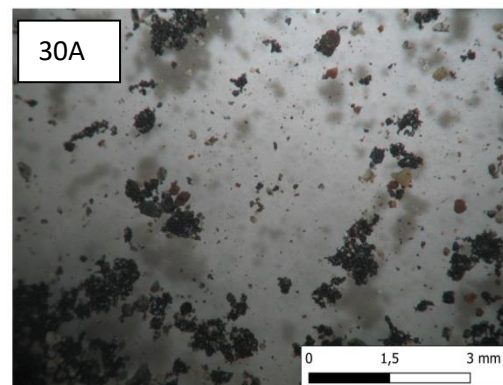
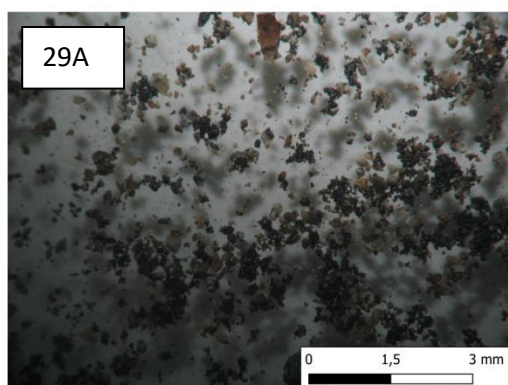
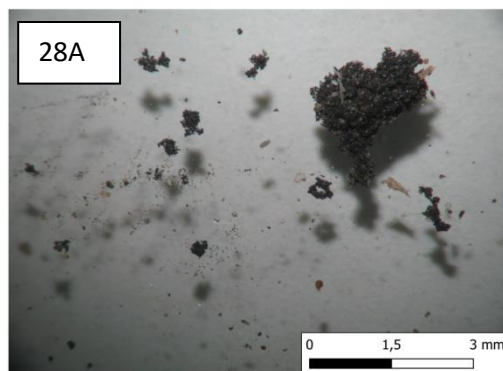
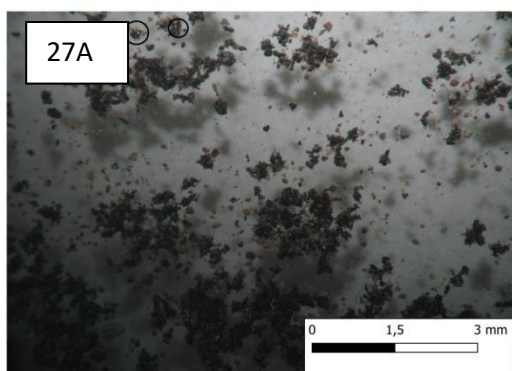
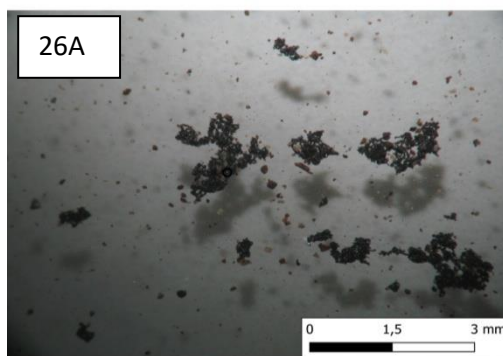
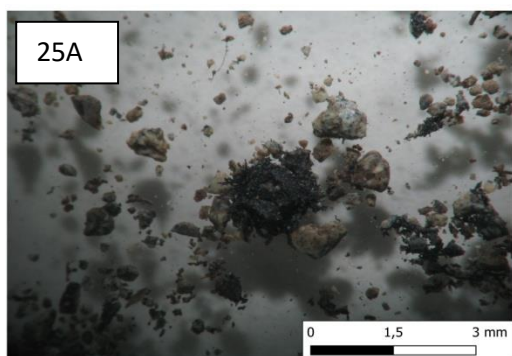
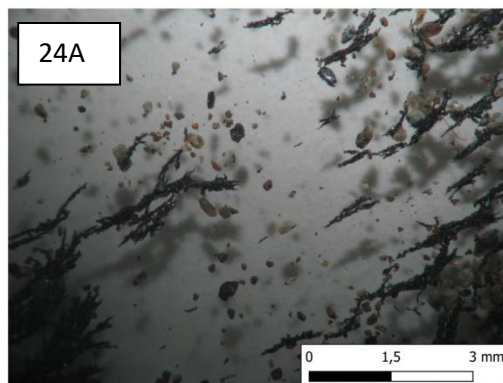
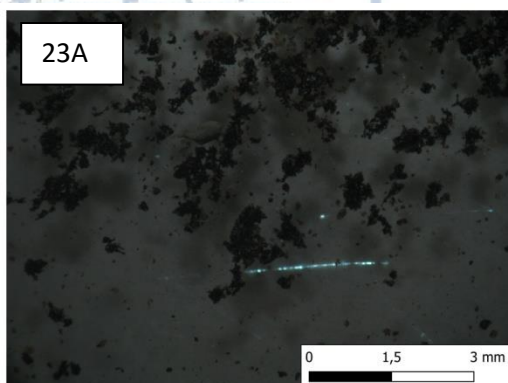
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II : ΜΙΚΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΟΥ

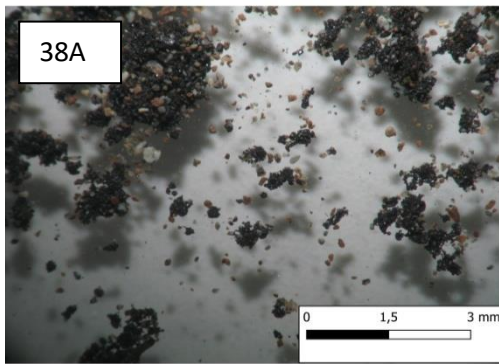
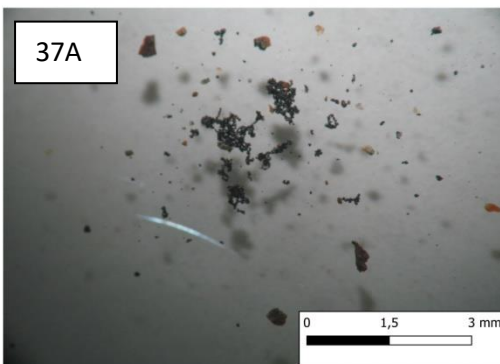
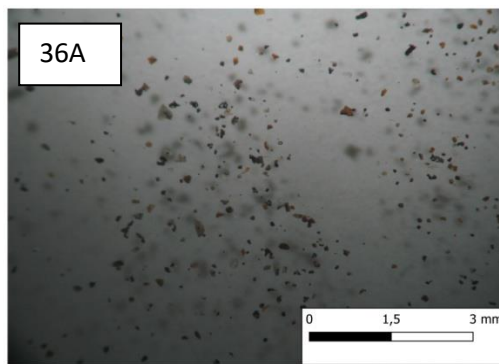
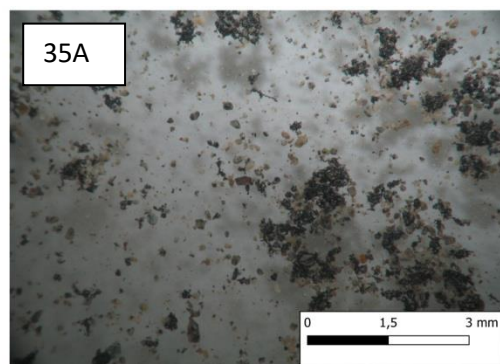
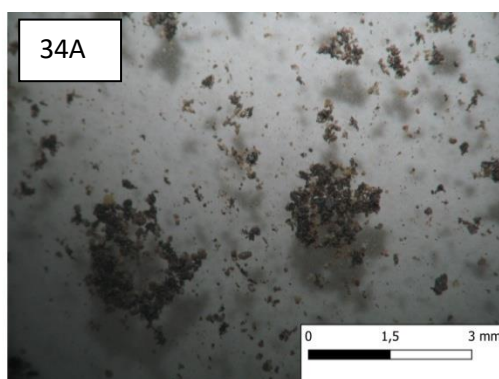
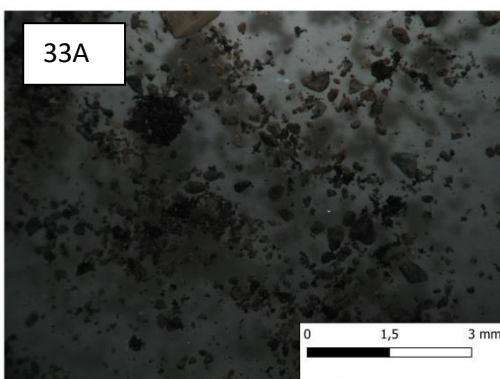
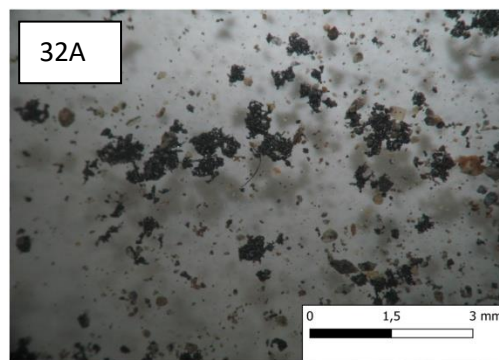
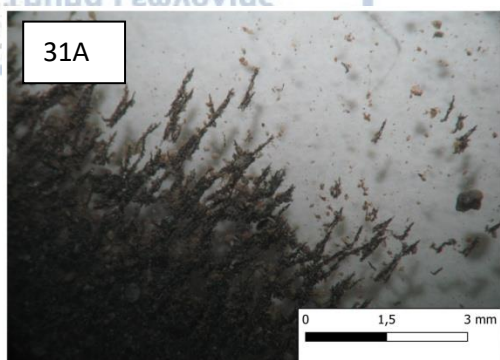
Εικόνες Α. 1Ε-59Α. Μικροφωτογραφίες από το στερεοσκόπιο στις οποίες αποτυπώνεται μακροσκοπικά το μαγνητικό κλάσμα ενώ σε μαύρους κύκλους σημειώνονται πιθανά σφαιρικά μαγνητικά σωματίδια.

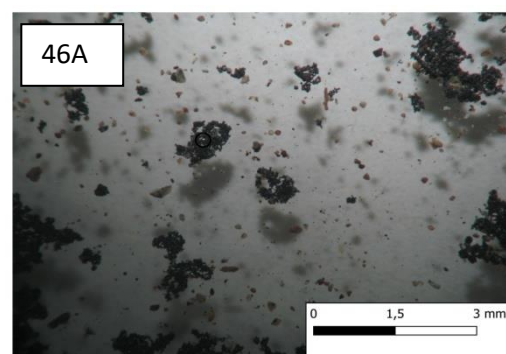
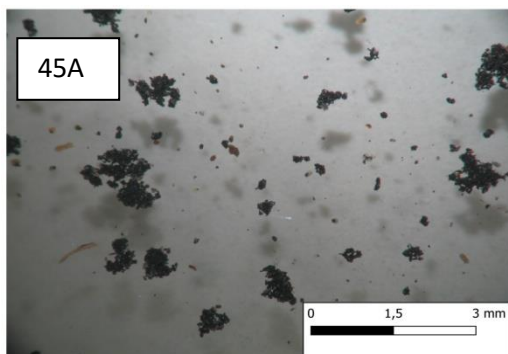
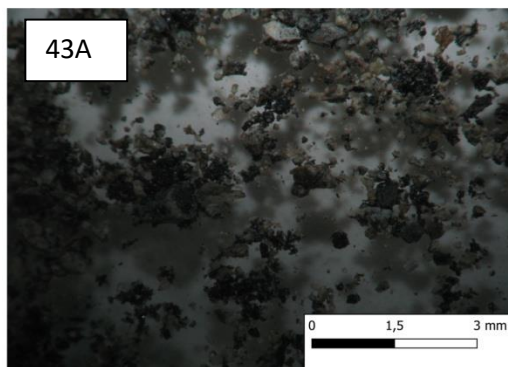
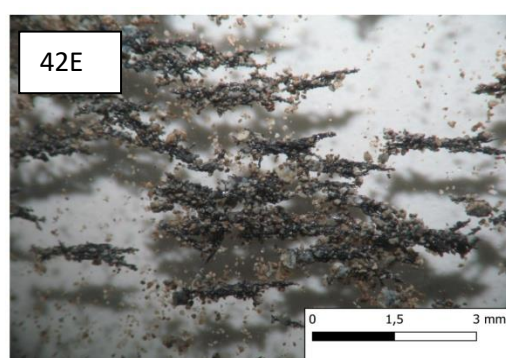
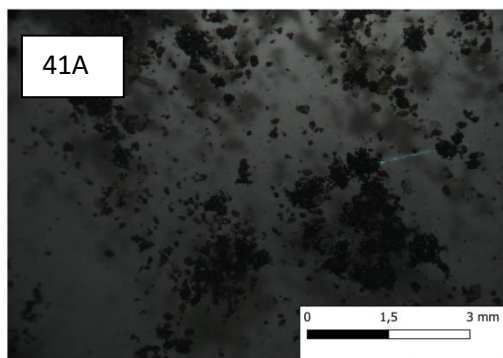
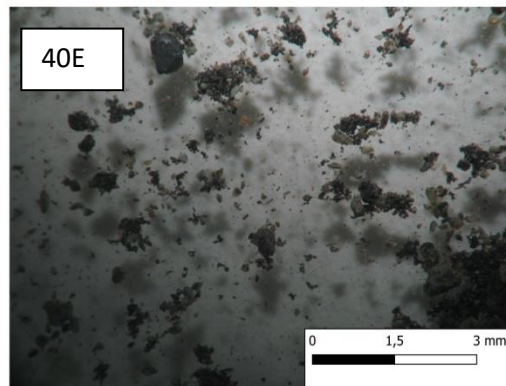
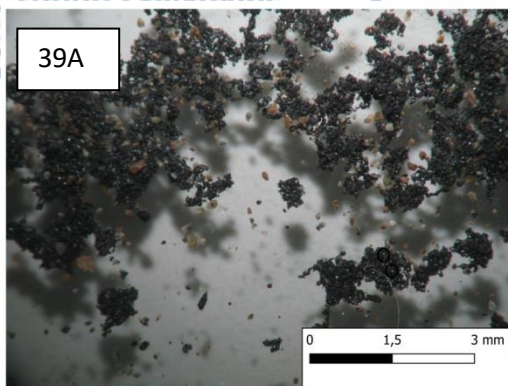


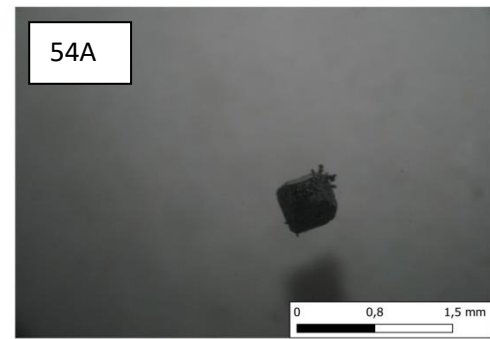
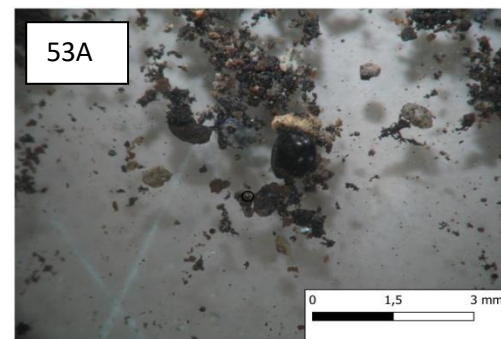
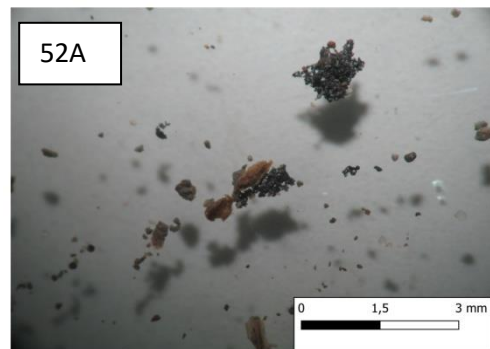
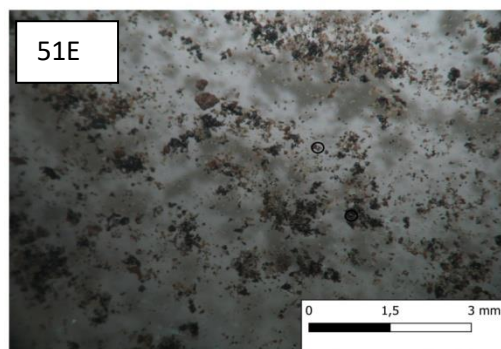
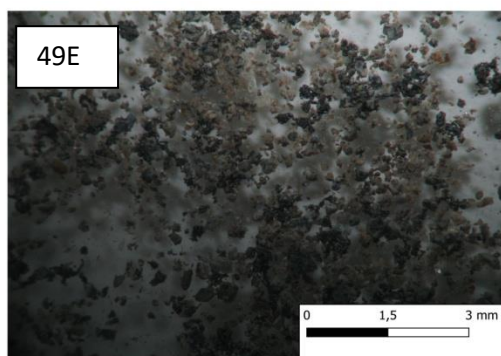
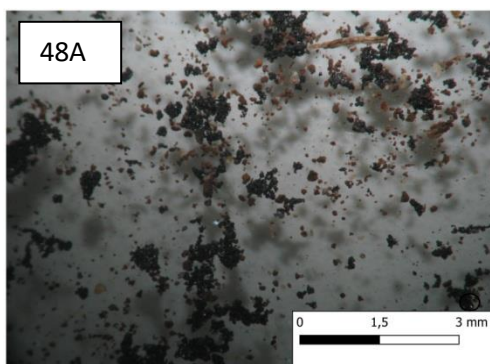
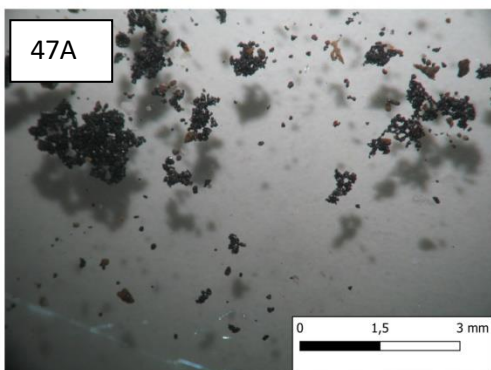


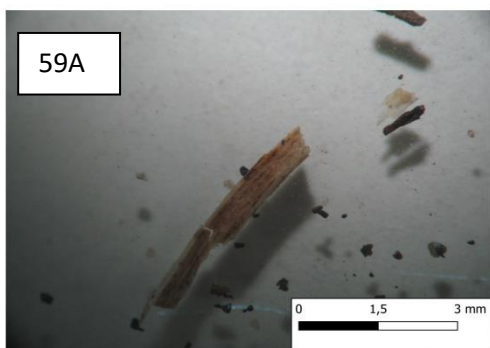
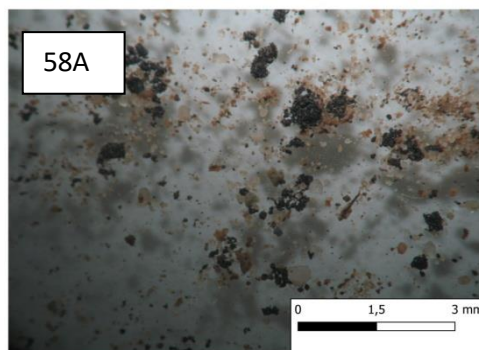
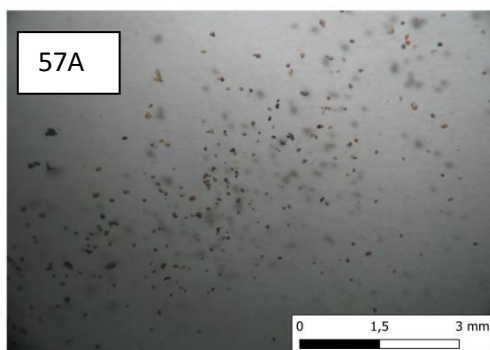
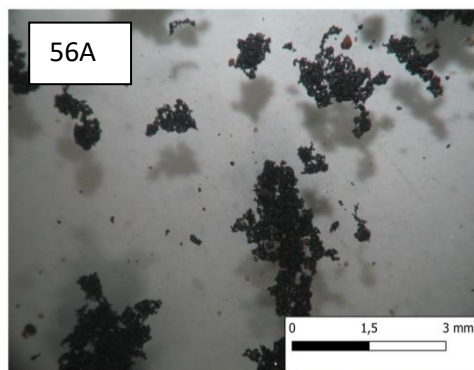








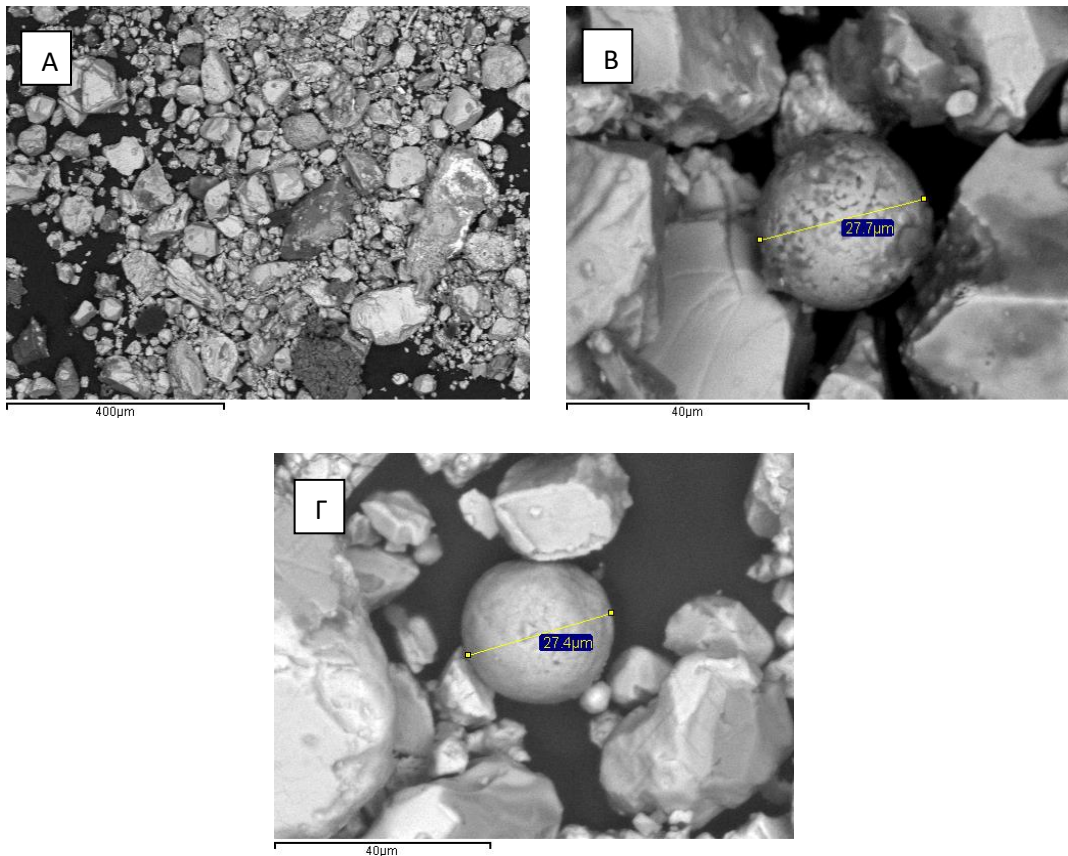


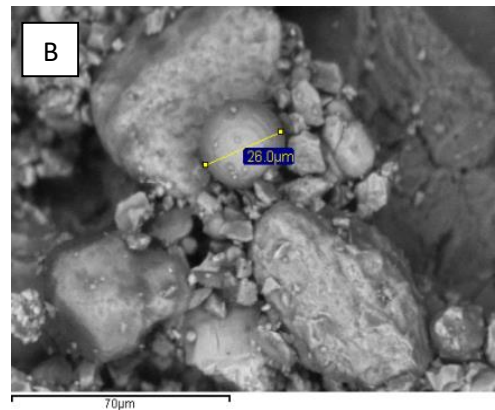
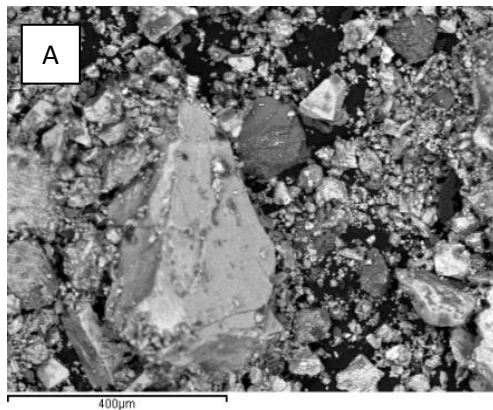


ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ : ΜΙΚΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟΥ ΣΑΡΩΣΗΣ

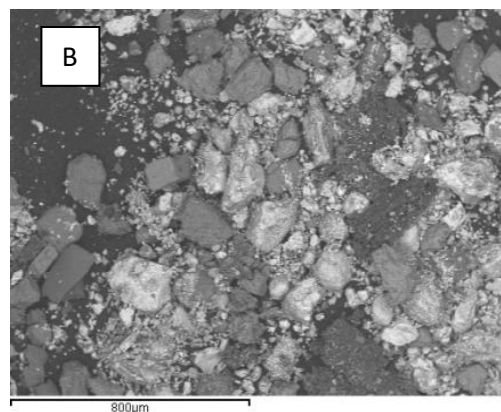
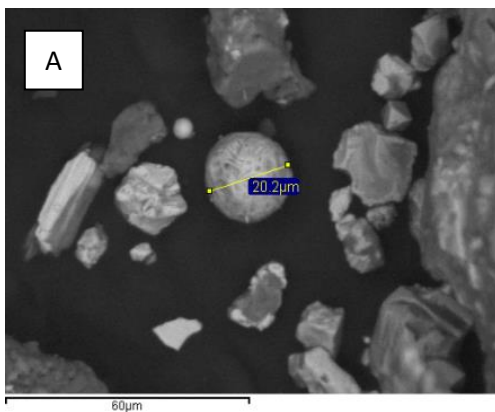
Εικόνες Β. 1Ε-59Α. Μικροφωτογραφίες του μαγνητικού κλάσματος από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM) στις οποίες τα μαγνητικά σωματίδια με μορφή πυραμίδας αντιστοιχούν σε λιθογενή μαγνητικά σωματίδια (Λ.Μ.Σ) και με τη μορφή σφαιριδίων αντιστοιχούν σε ανθρωπογενή μαγνητικά σωματίδια (Α.Μ.Σ)

Εικόνα Β. 1ΕΑ,Β,Γ

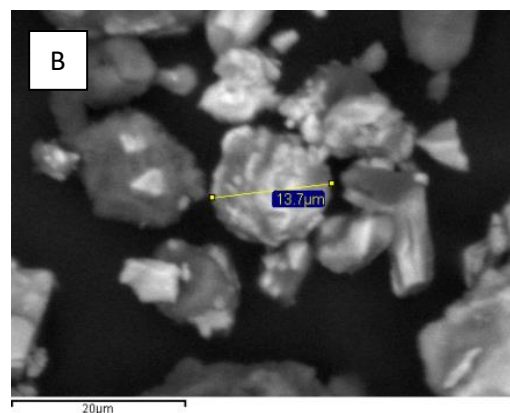
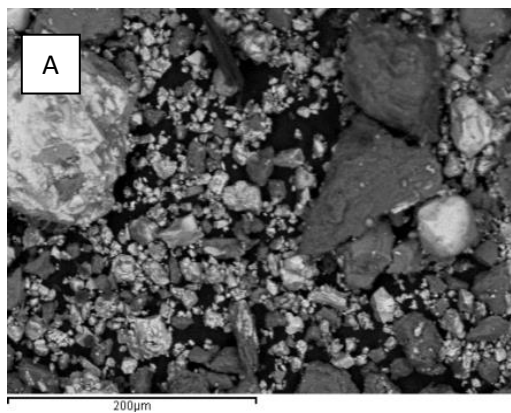


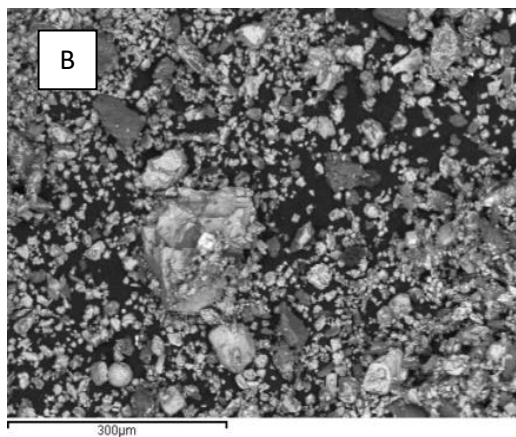
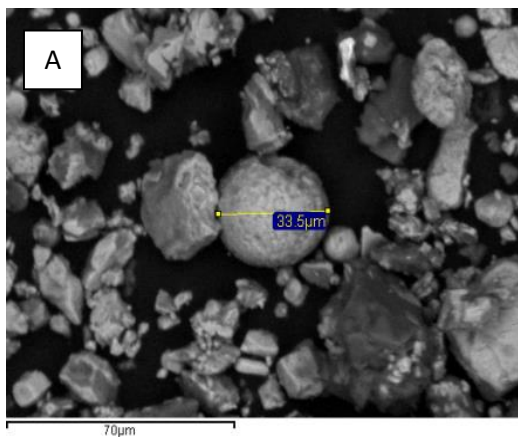


Εικόνα Β. 3ΕΑ,Β

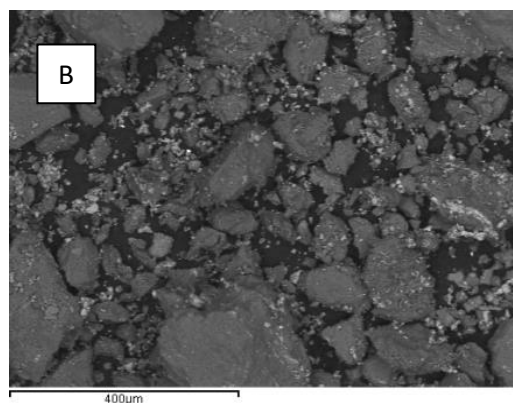
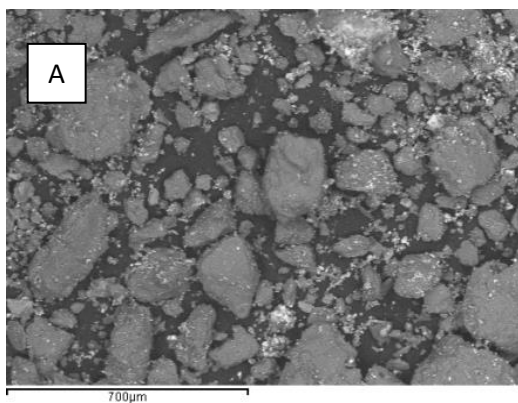


Εικόνα Β. 4ΑΑ,Β

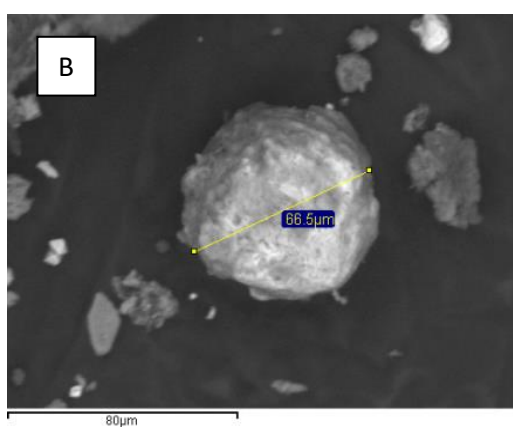
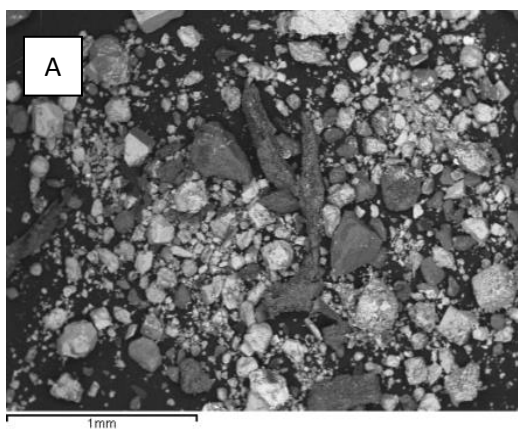


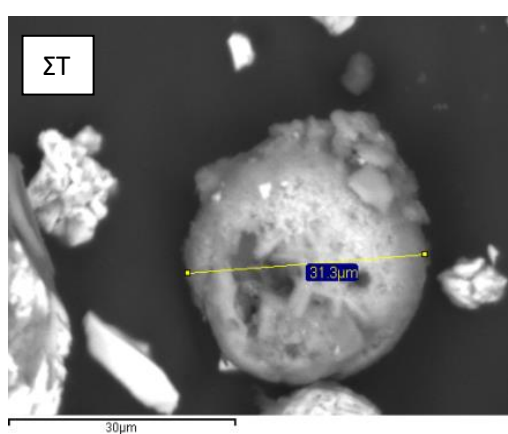
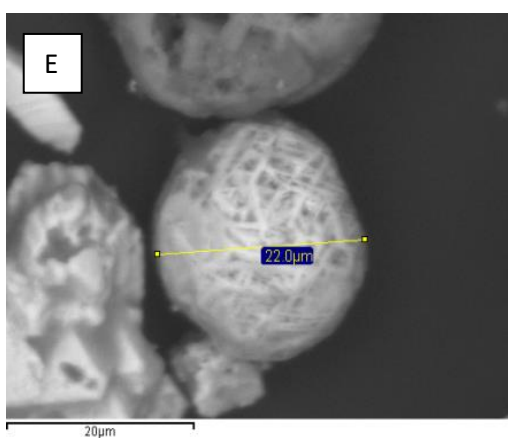
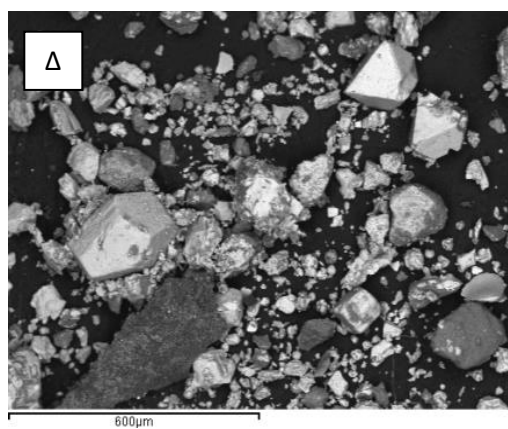
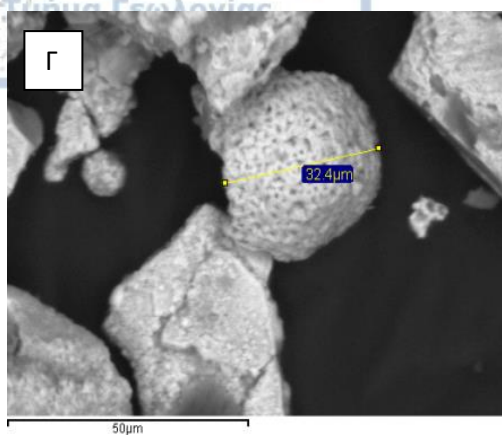


Εικόνα Β. 6ΕΑ,Β

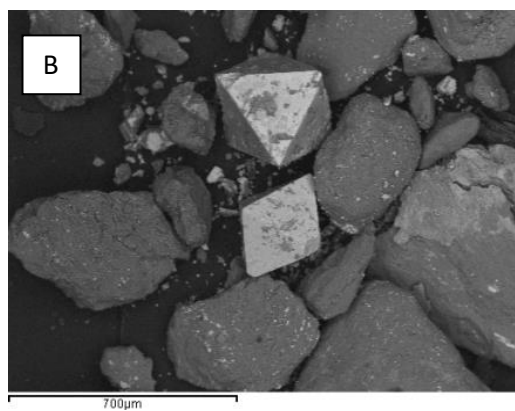
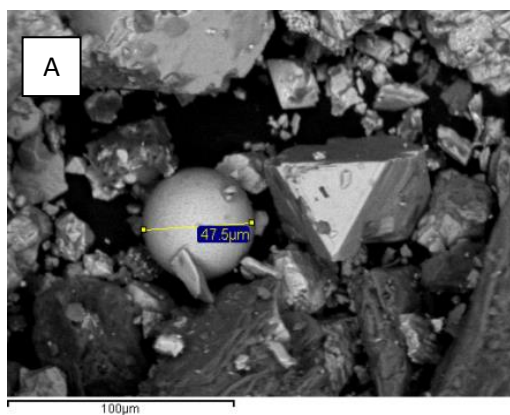


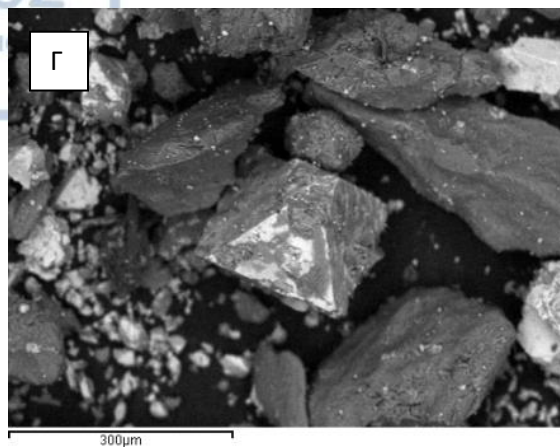
Εικόνα Β. 7ΕΑ,Β,Γ,Δ,Ε,ΣΤ



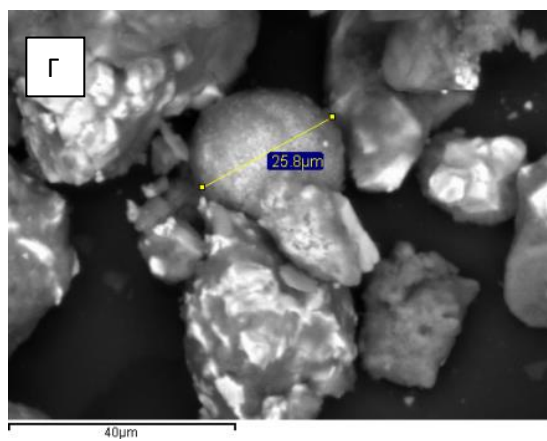
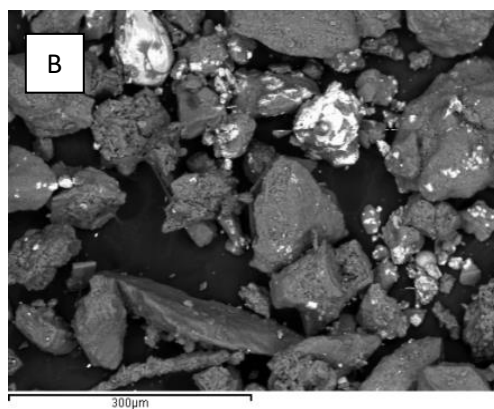
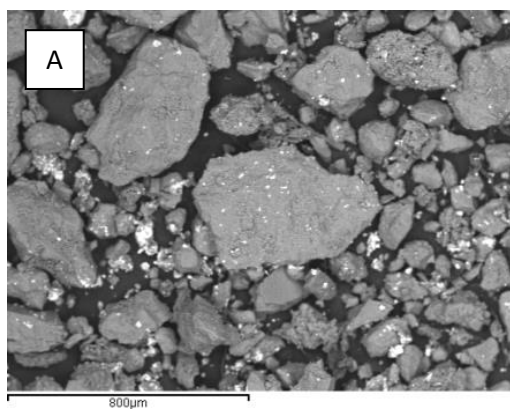


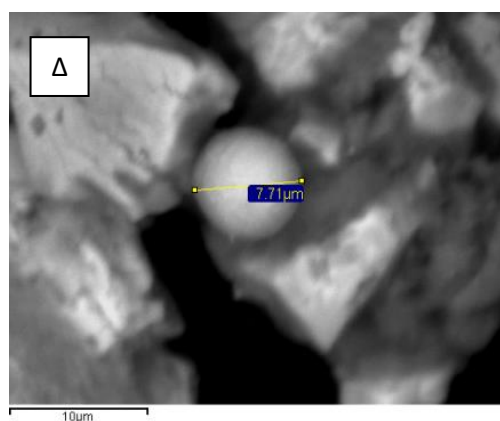
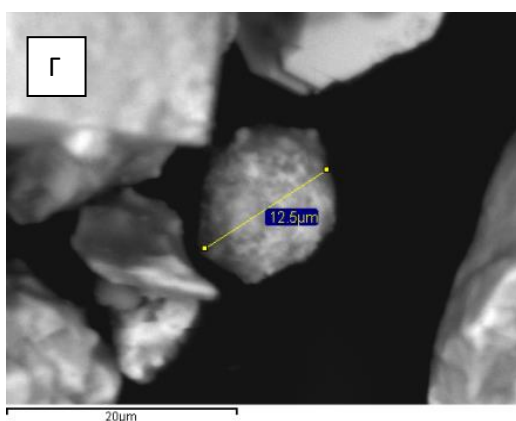
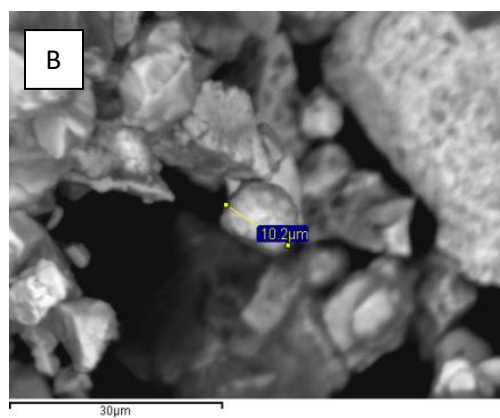
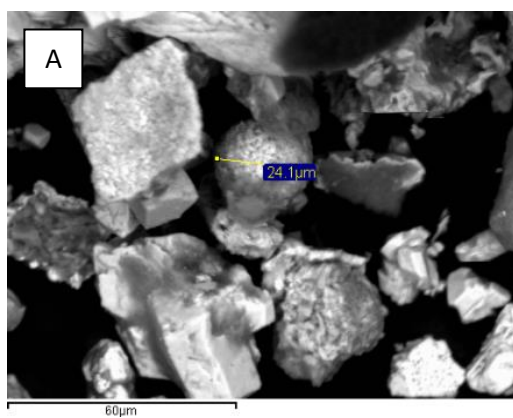
Εικόνα Β. 8ΑΑ,Β,Γ



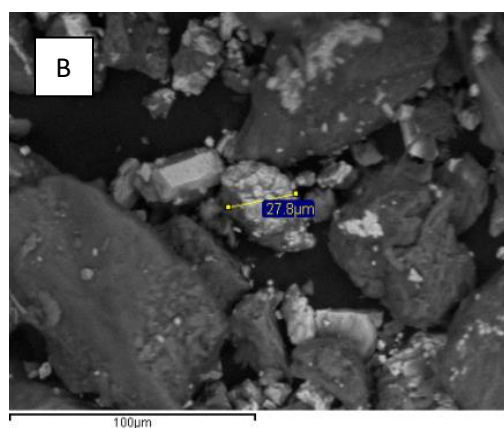
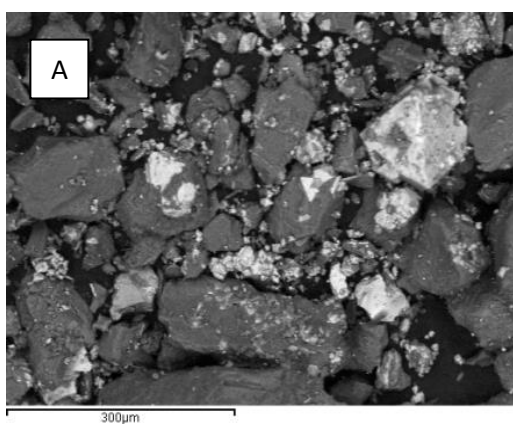


Εικόνα Β. 9ΕΑ,Β,Γ

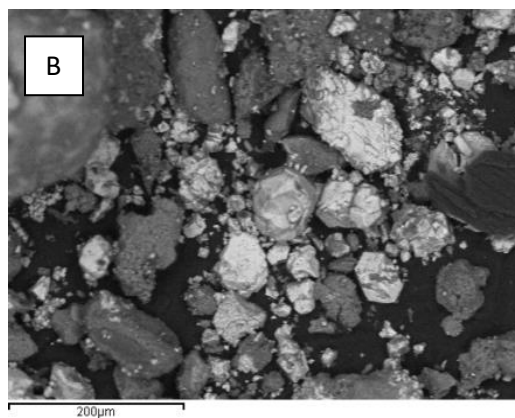
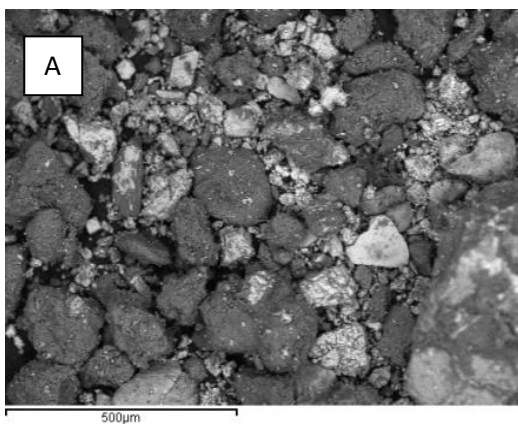




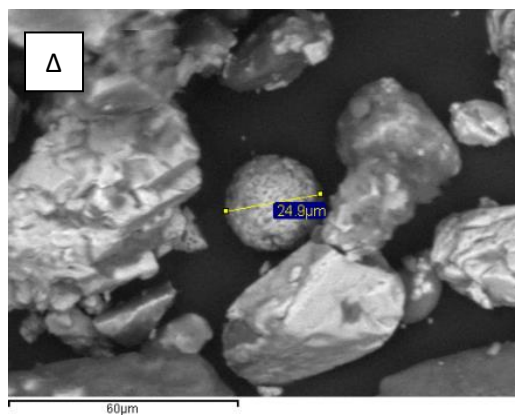
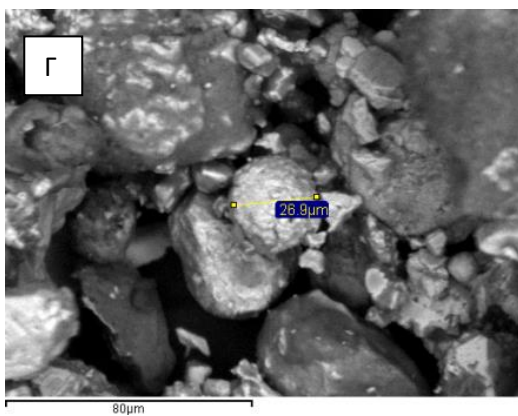
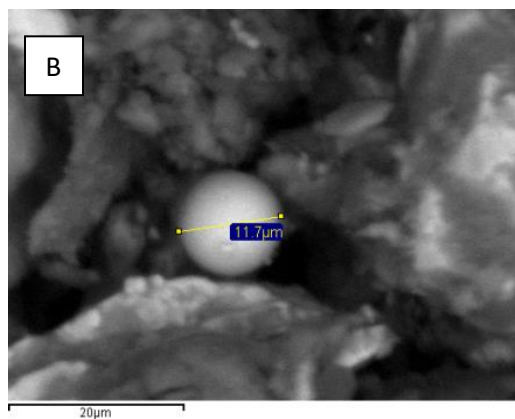
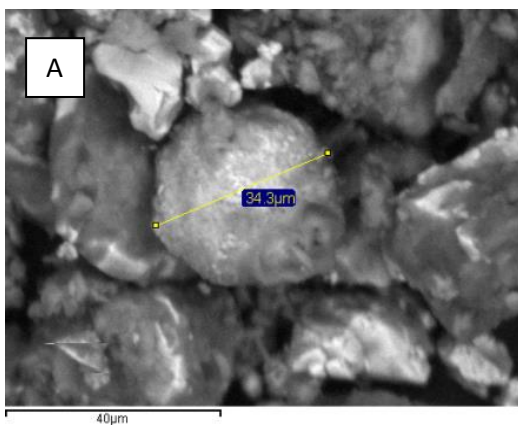
Εικόνα Β. 11ΑΑ,Β

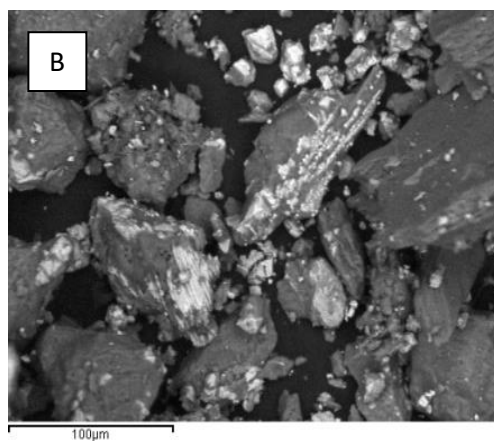
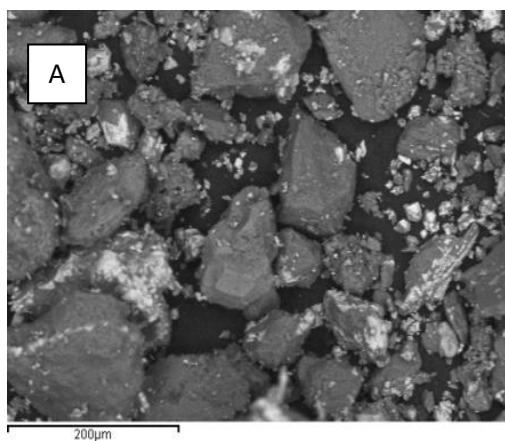


Εικόνα Β. 12ΑΑ,Β

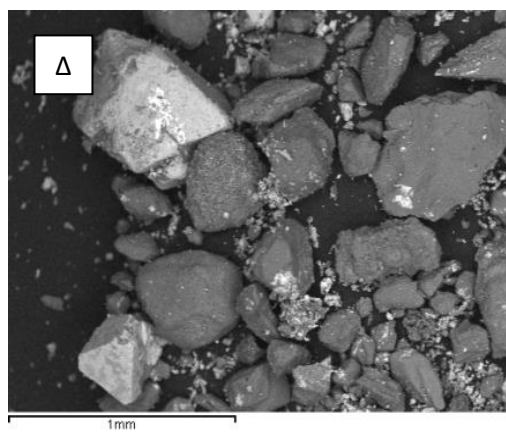
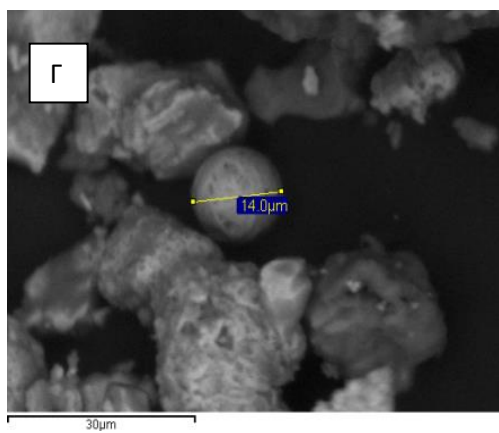
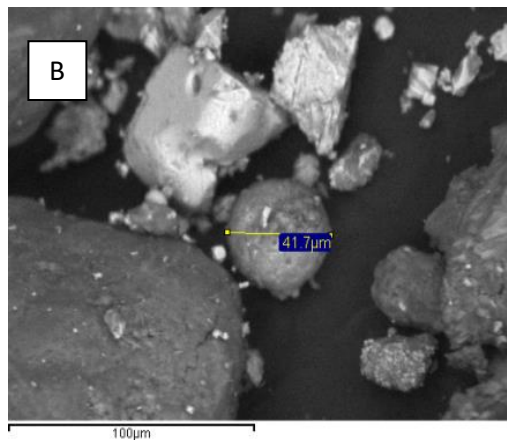
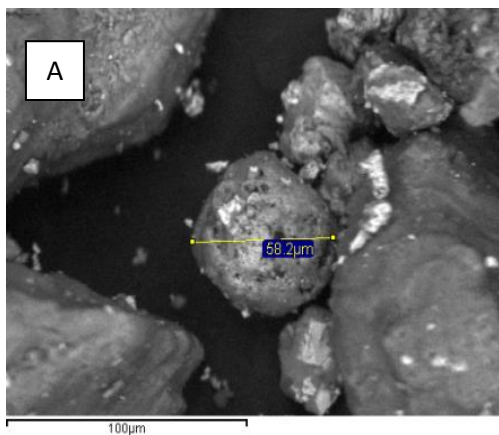


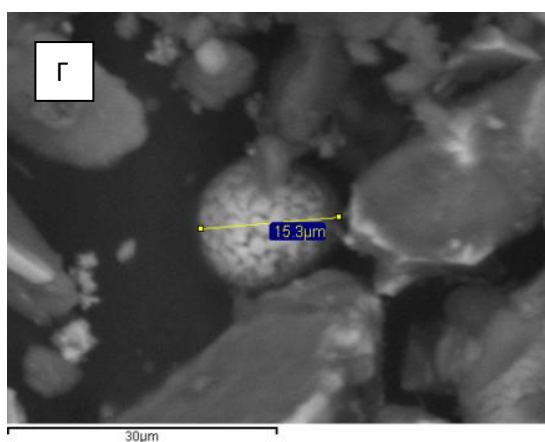
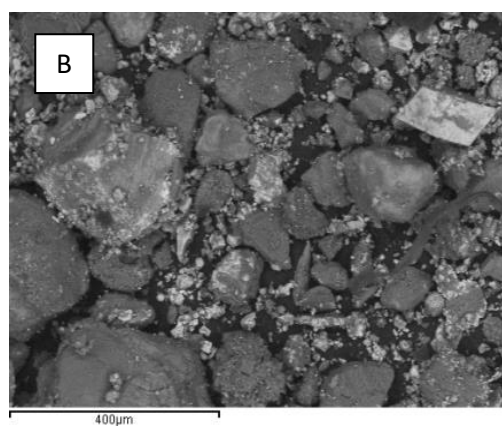
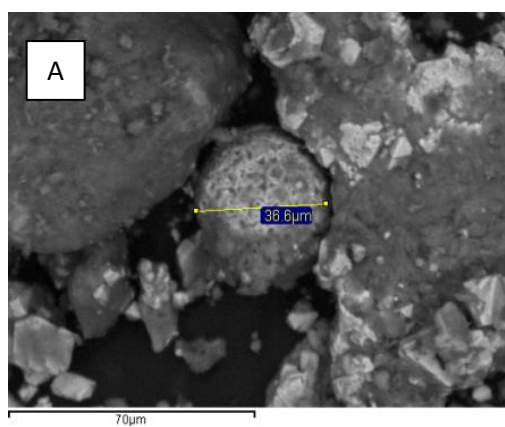
Εικόνα Β. 13ΑΑ,Β,Γ,Δ



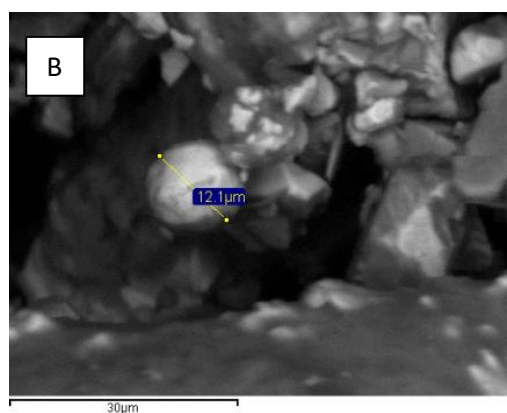
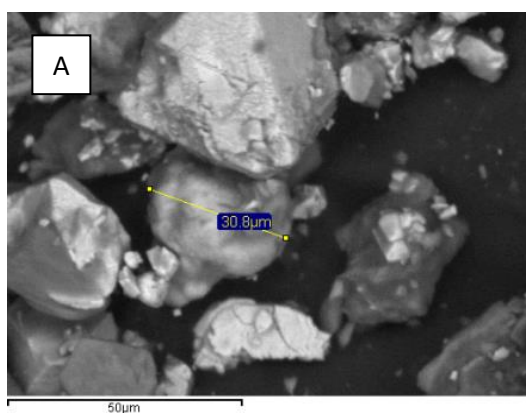


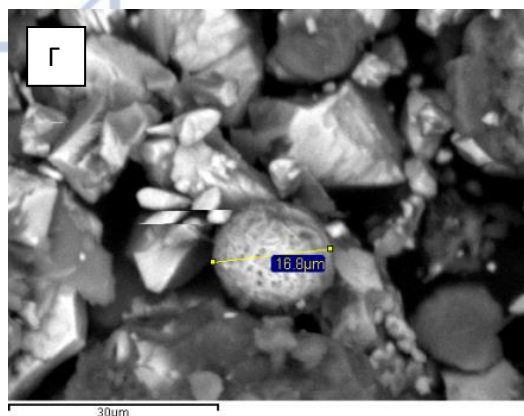
Εικόνα Β. 15ΑΑ,Β,Γ,Δ



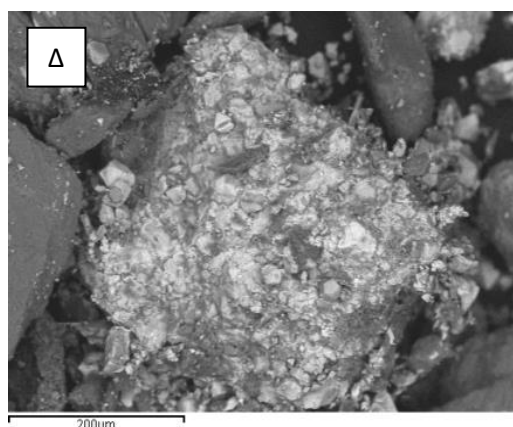
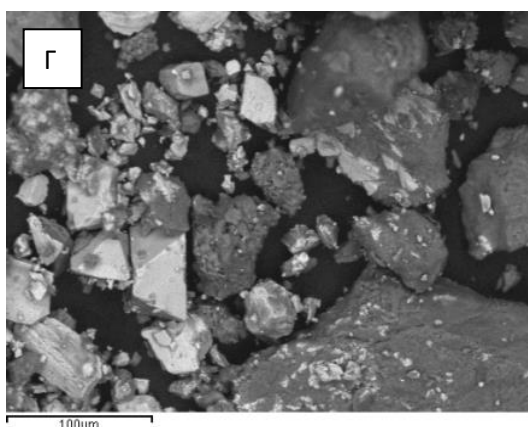
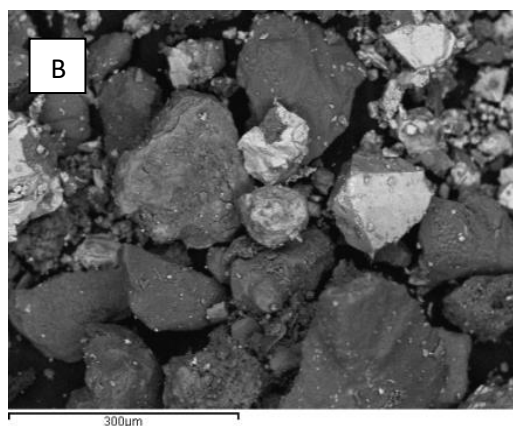
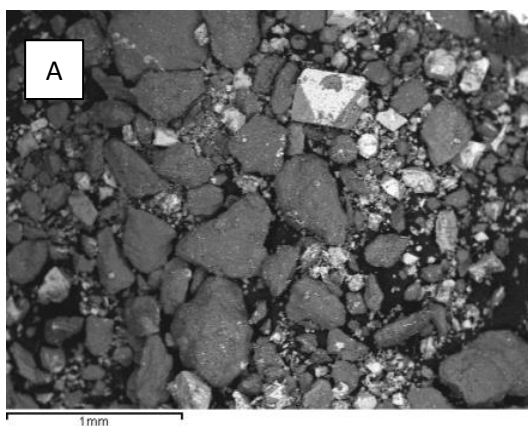


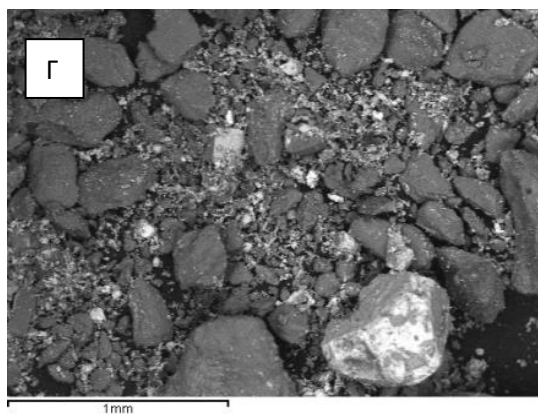
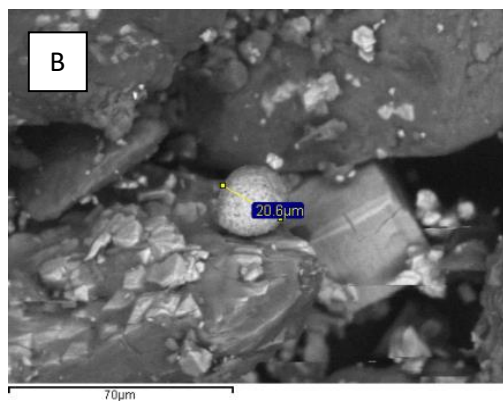
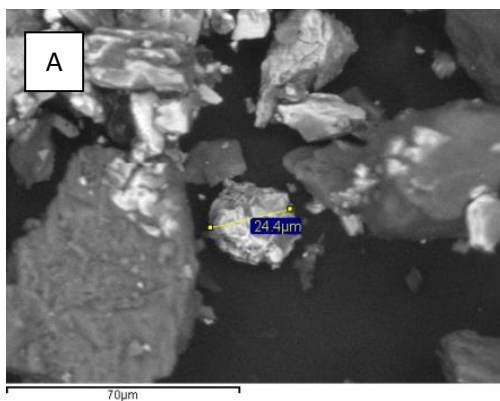
Εικόνα Β. 17ΑΑ,Β,Γ



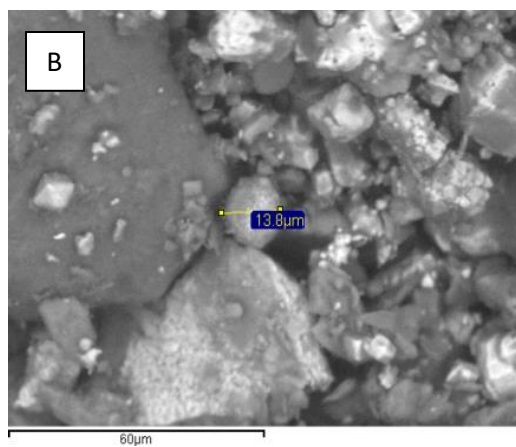
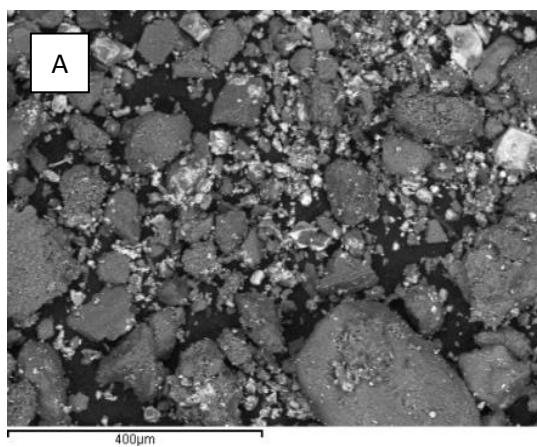


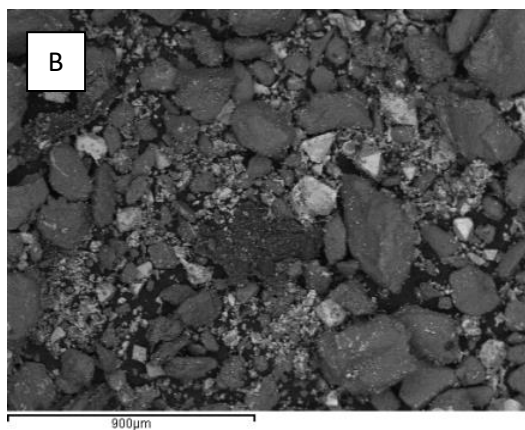
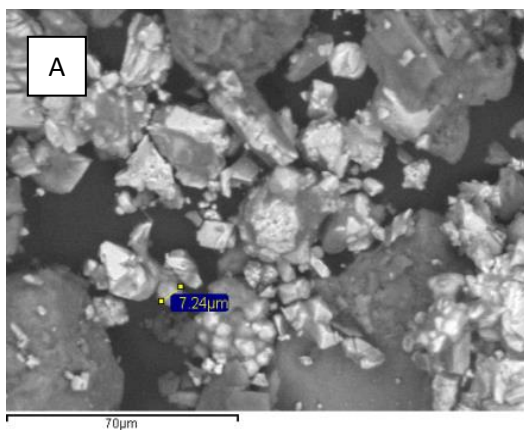
Εικόνα Β. 18ΑΑ,Β,Γ,Δ



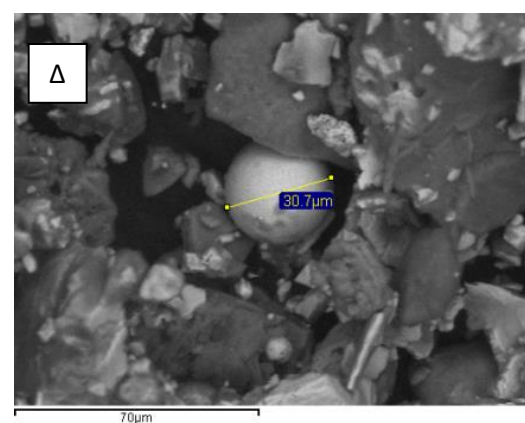
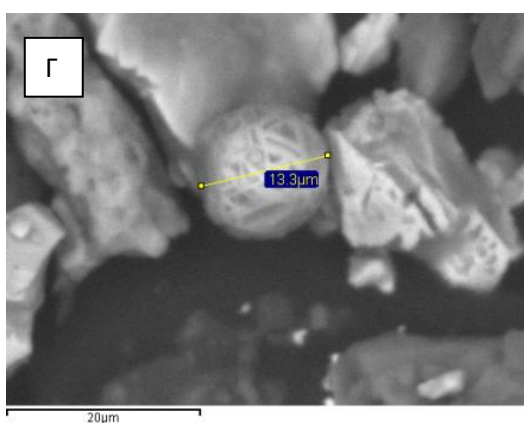
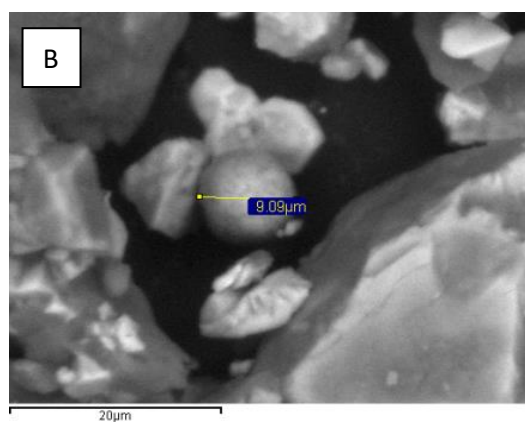
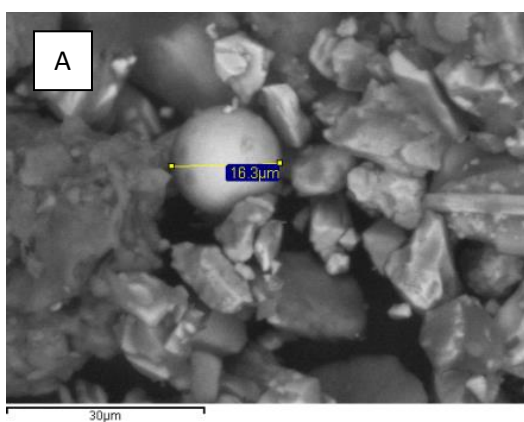


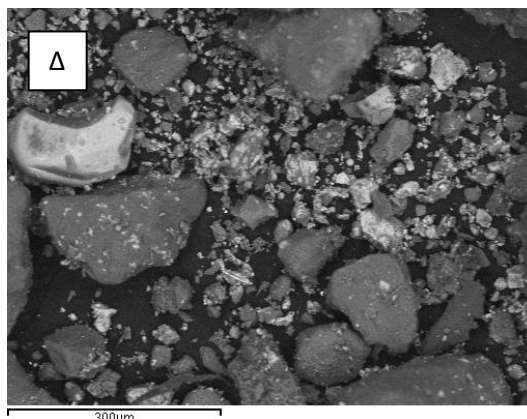
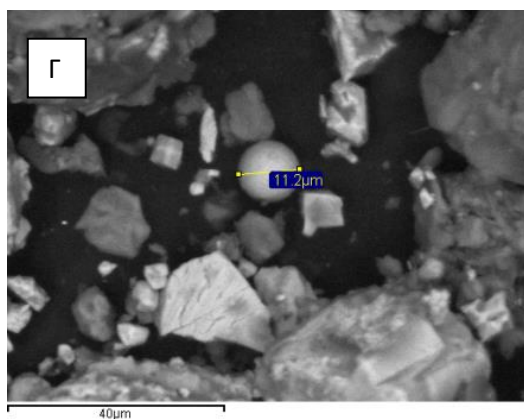
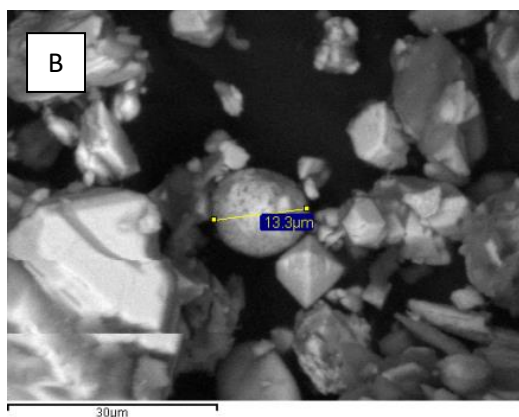
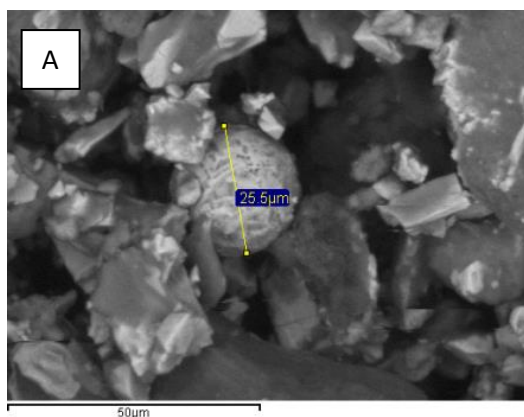
Εικόνα Β. 20ΑΑ,Β



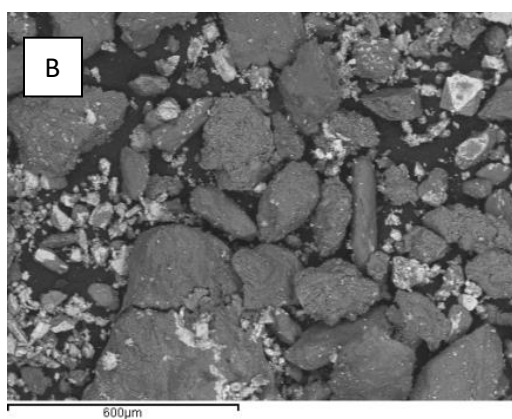
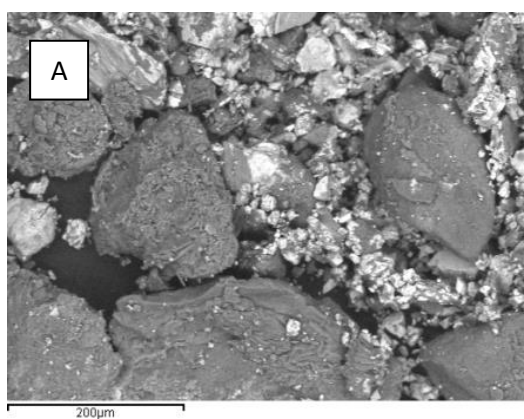


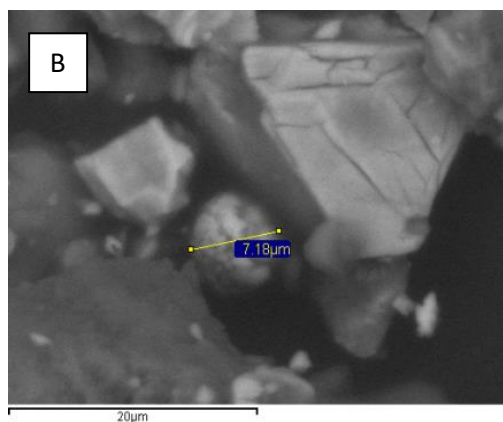
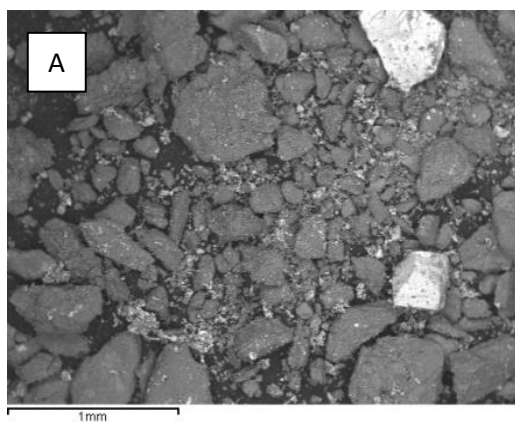
Εικόνα Β. 22ΑΑ,Β,Γ,Δ



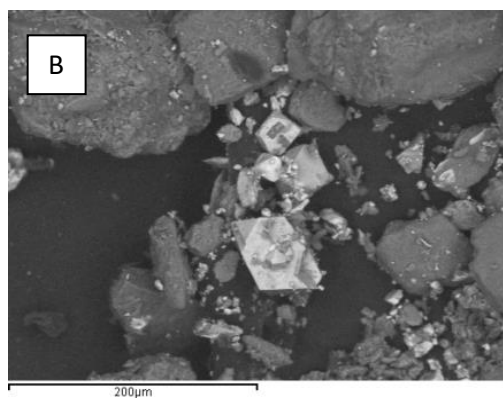
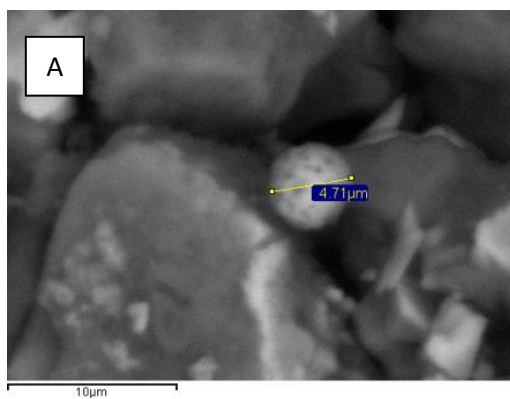


Εικόνα Β. 24ΑΑ,Β

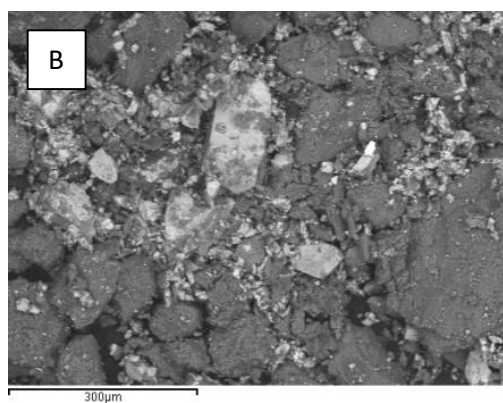
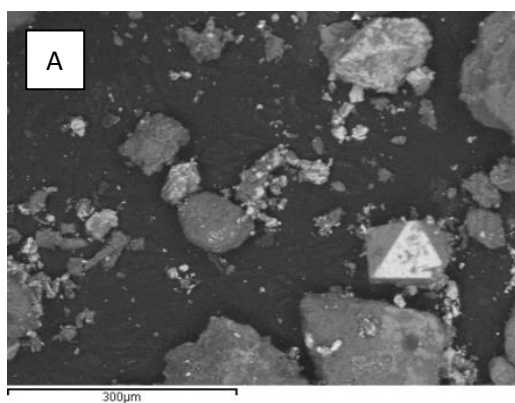


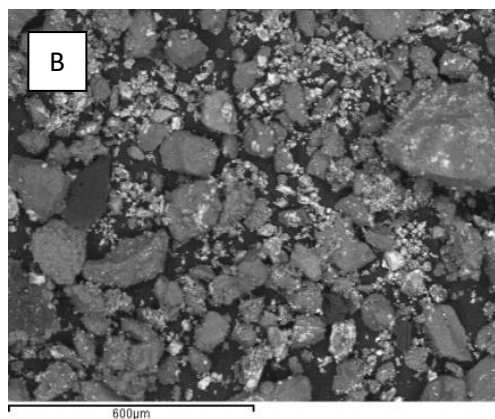
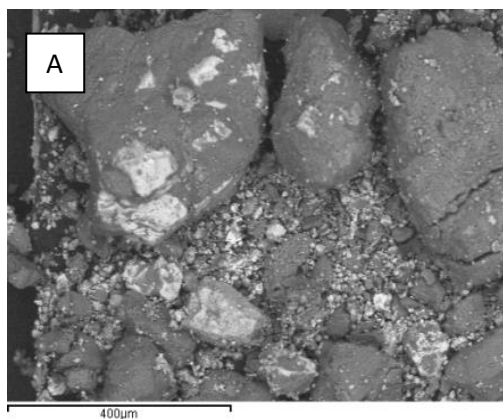


Εικόνα Β. 26ΑΑ,Β

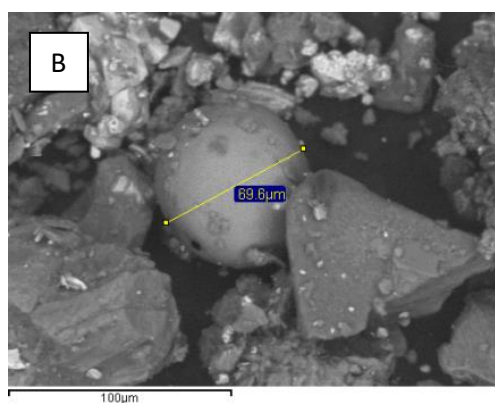
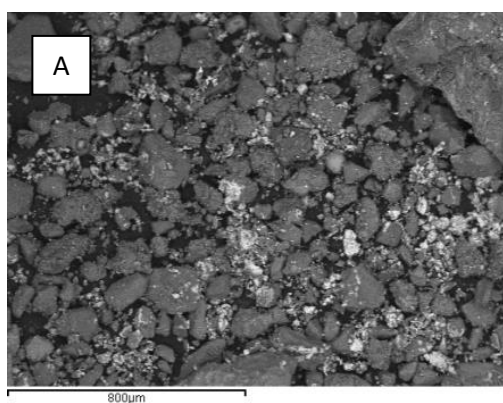


Εικόνα Β. 27ΑΑ,Β

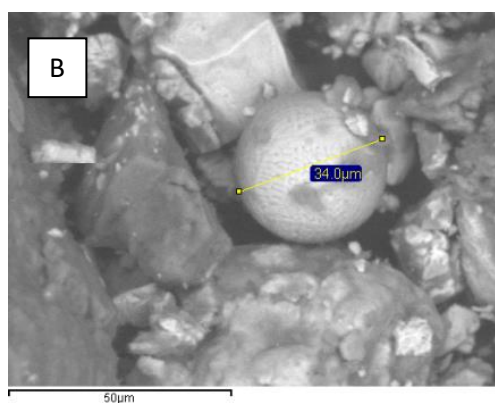
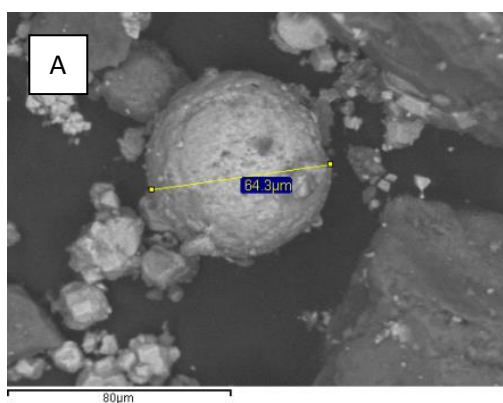




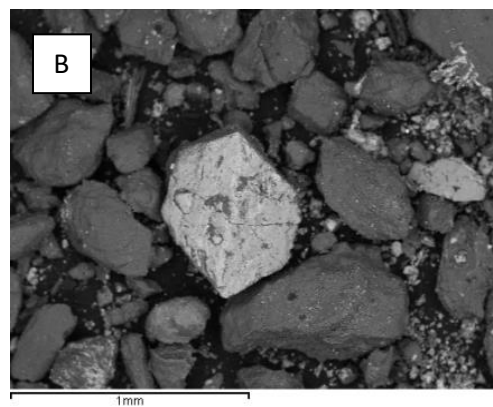
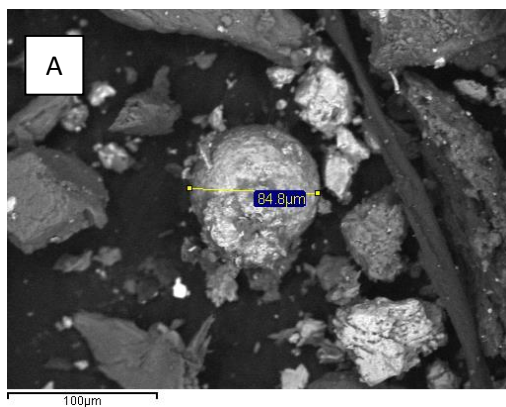
Εικόνα Β. 29ΑΑ,Β



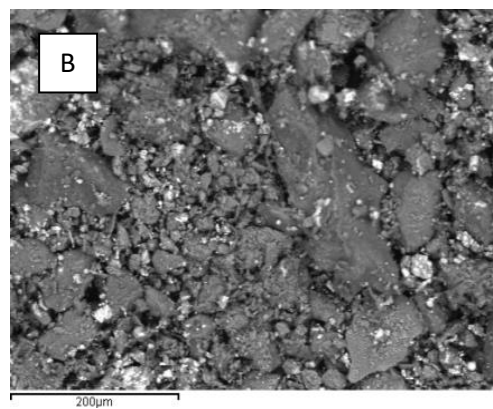
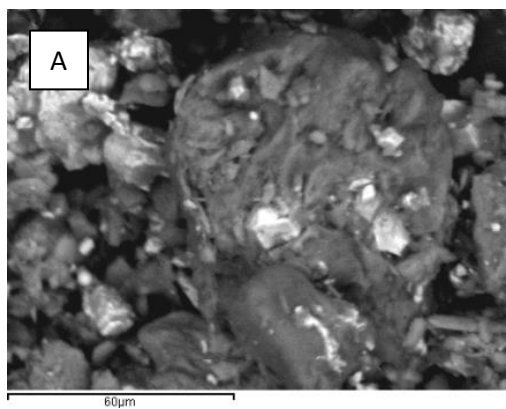
Εικόνα Β. 30ΑΑ,Β



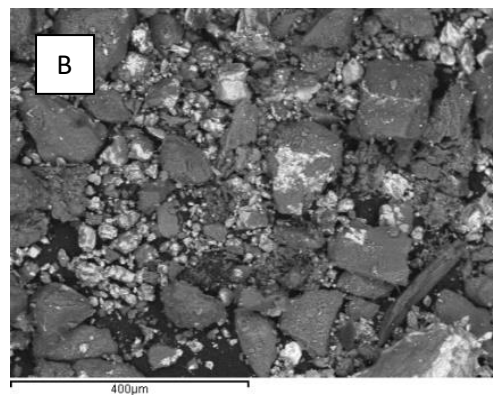
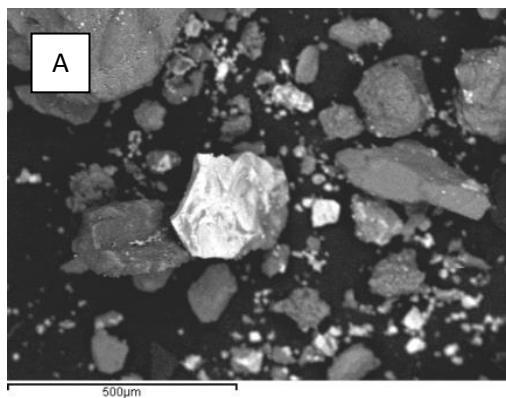
Εικόνα B. 31AA,B

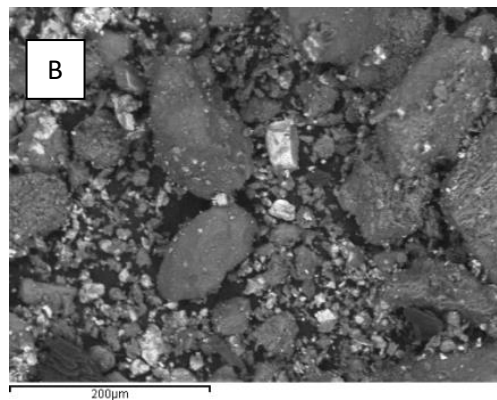
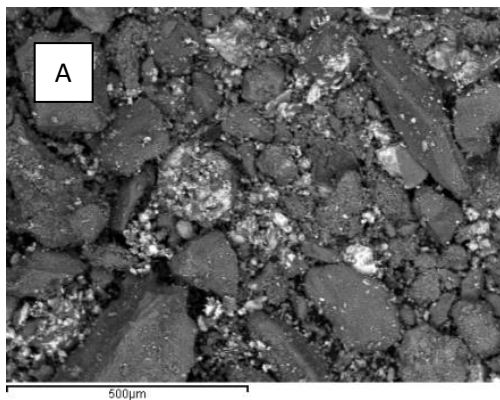


Εικόνα B. 32AA,B

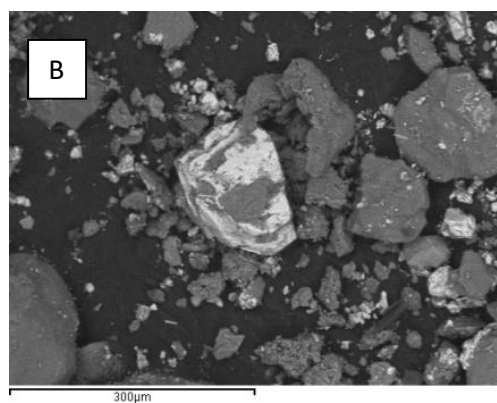
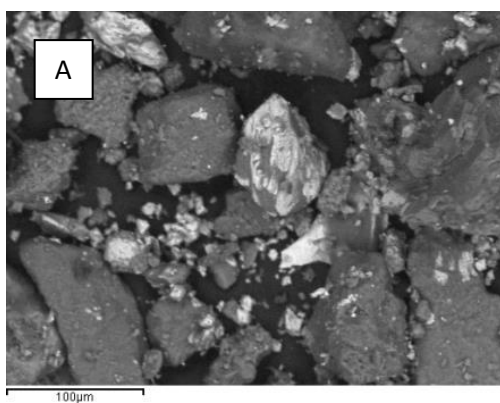


Εικόνα B. 33AA,B

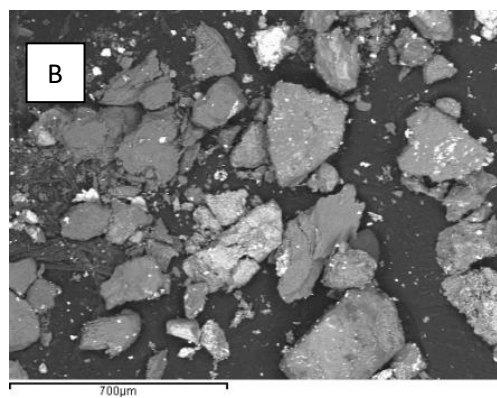
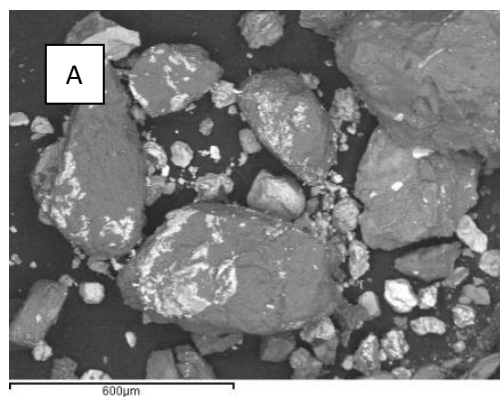


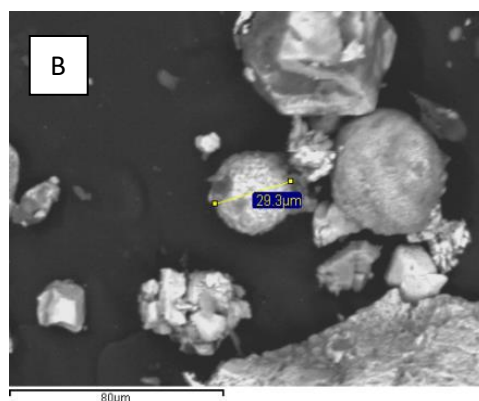
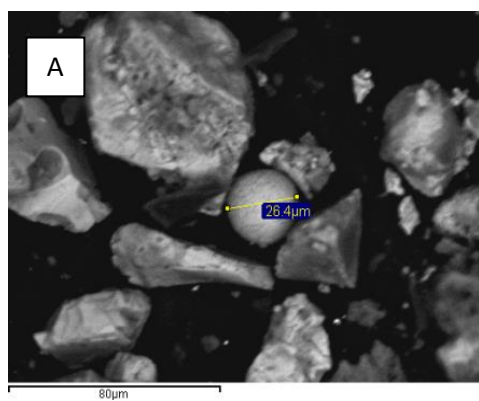


Εικόνα Β. 35ΑΑ,Β

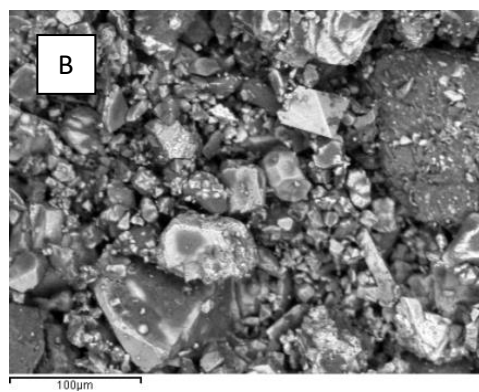
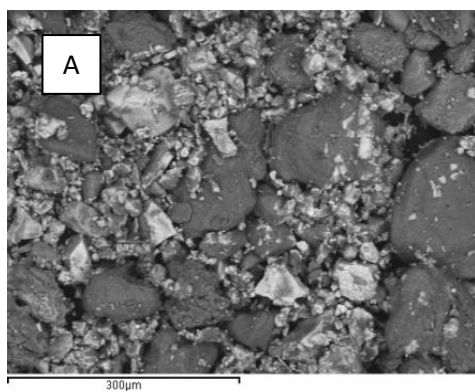


Εικόνα Β. 36ΑΑ,Β

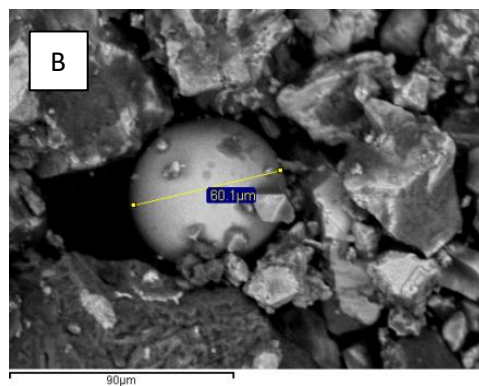
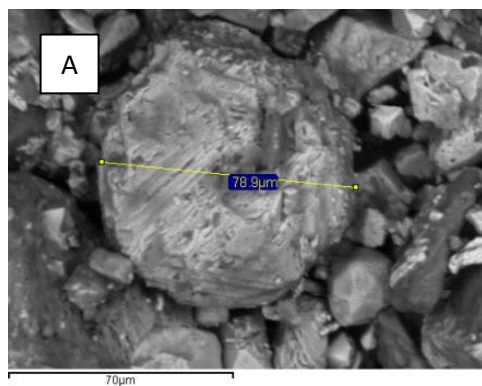


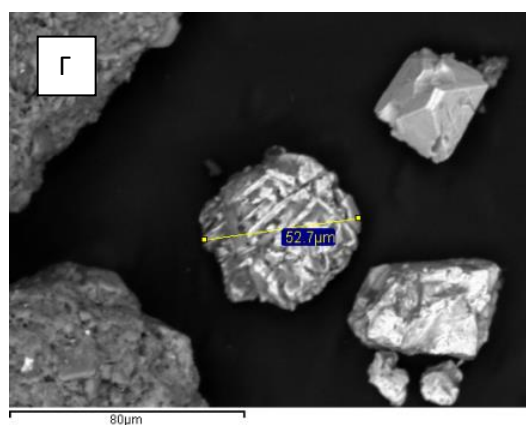
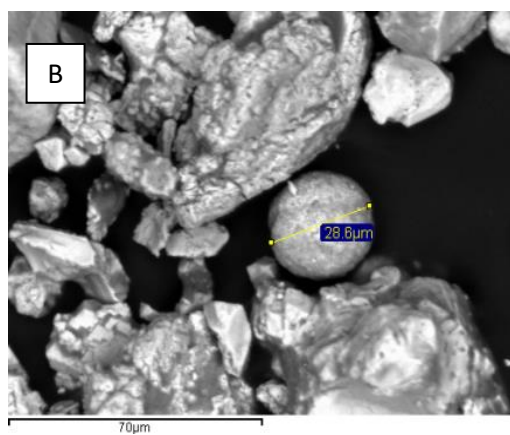
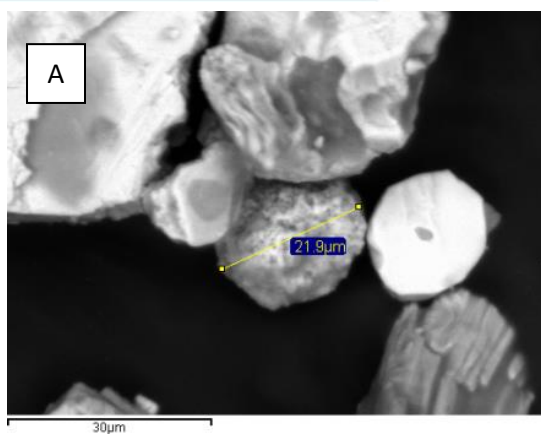


Εικόνα Β. 38ΑΑ,Β

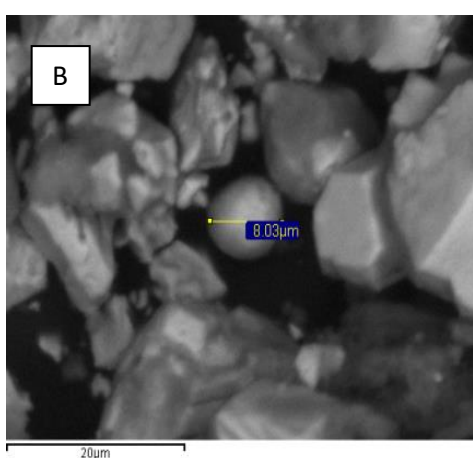
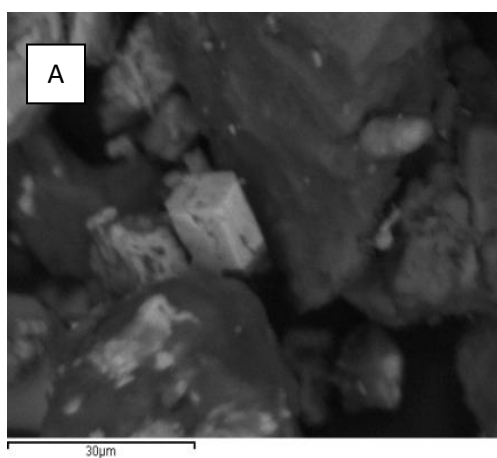


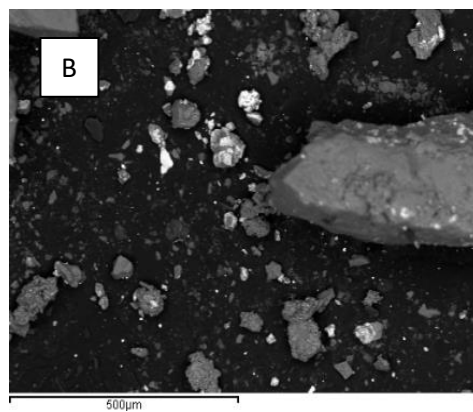
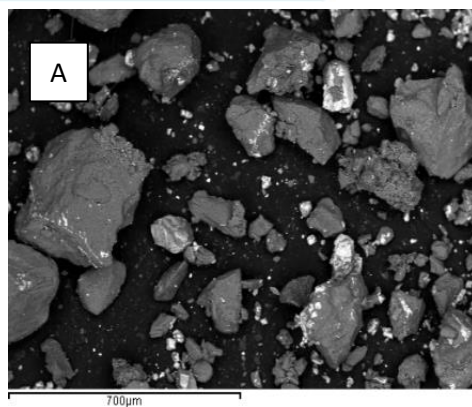
Εικόνα Β. 39ΑΑ,Β



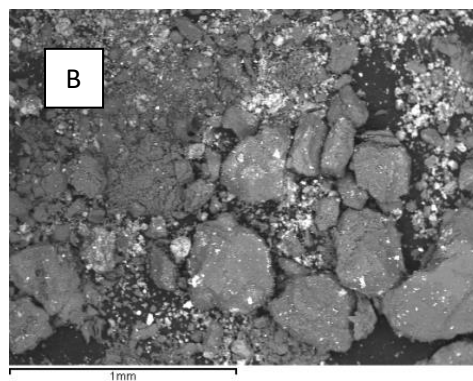
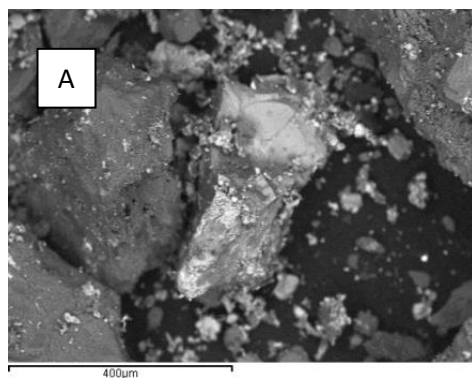


Εικόνα Β. 41ΑΑ,Β

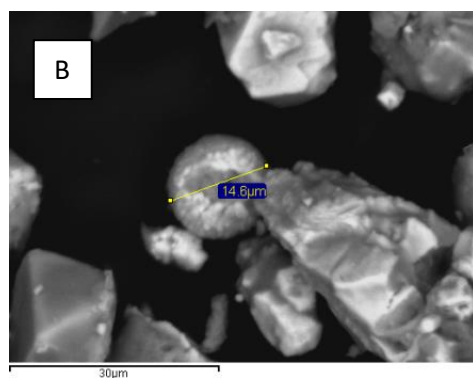
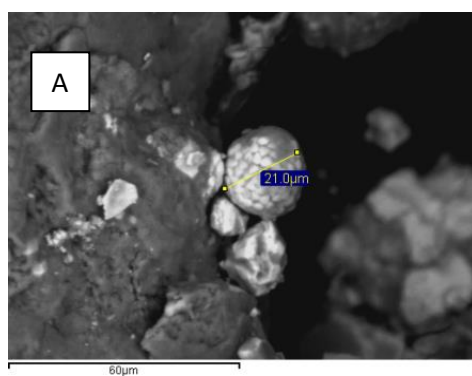


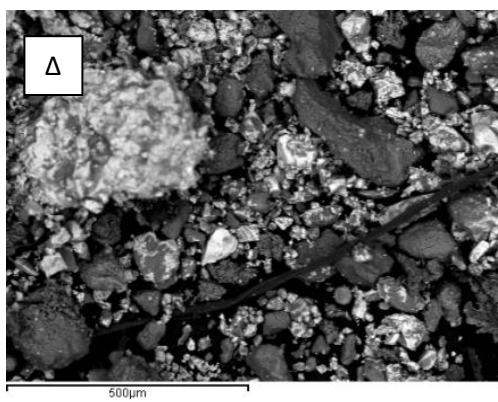
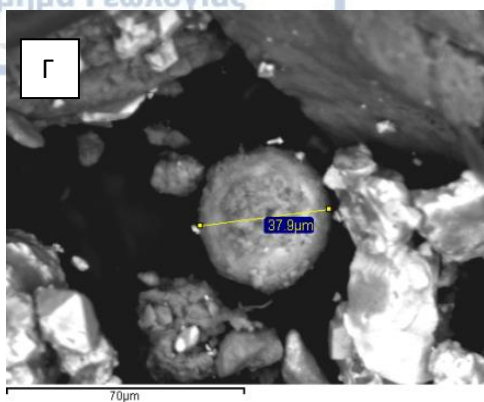


Εικόνα Β. 43ΑΑ,Β

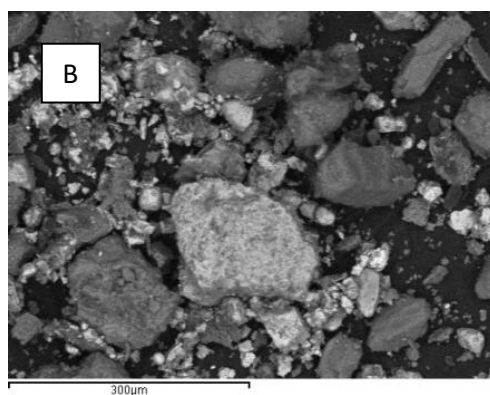
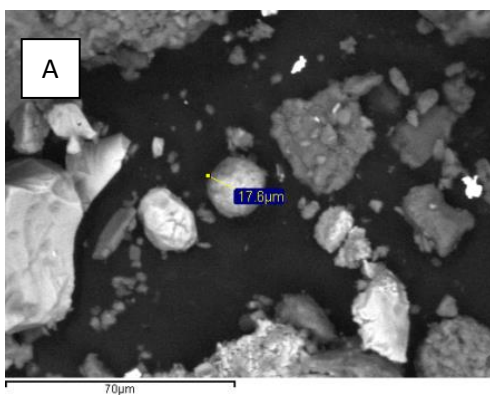


Εικόνα Β. 44ΕΑ,Β,Γ,Δ

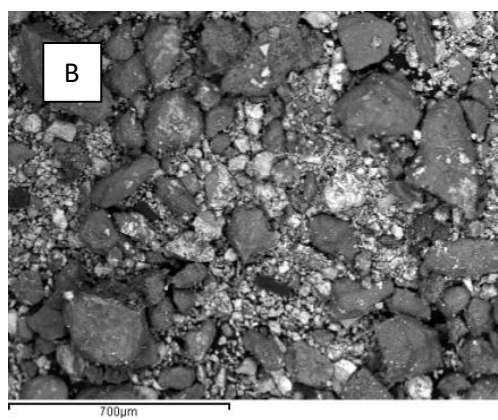
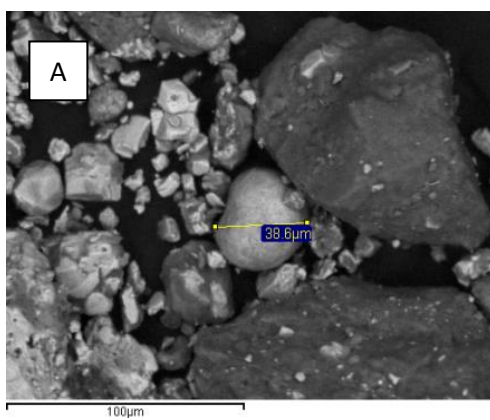


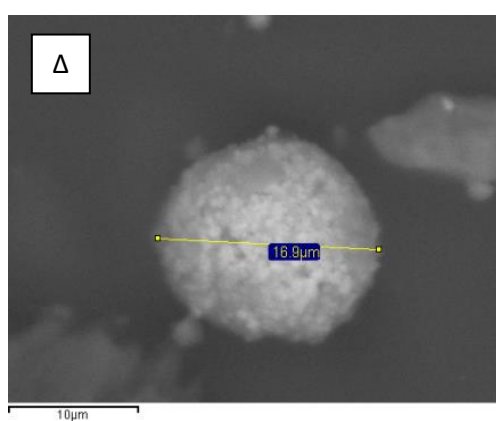
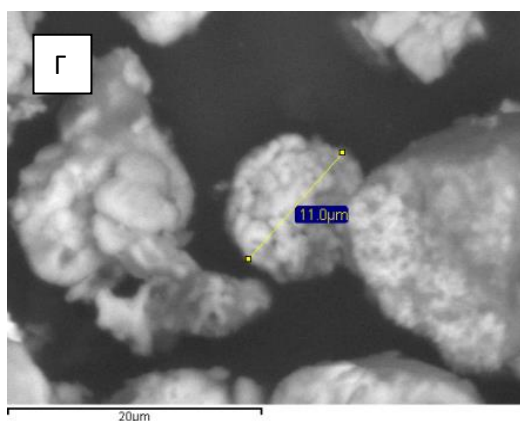
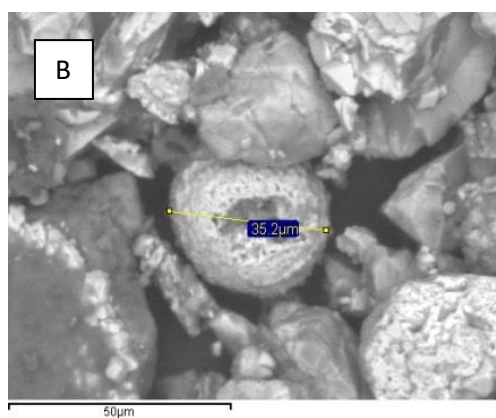
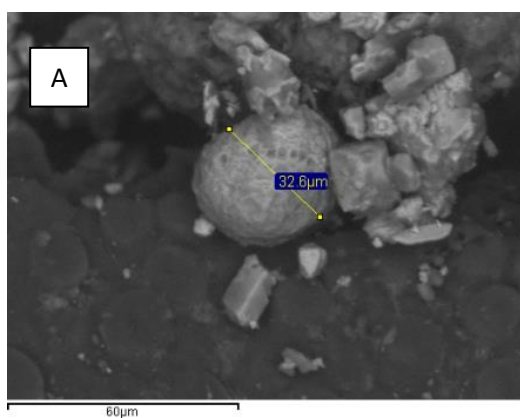


Εικόνα B. 45AA,B

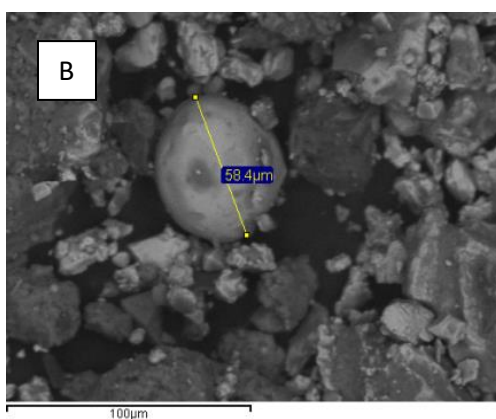
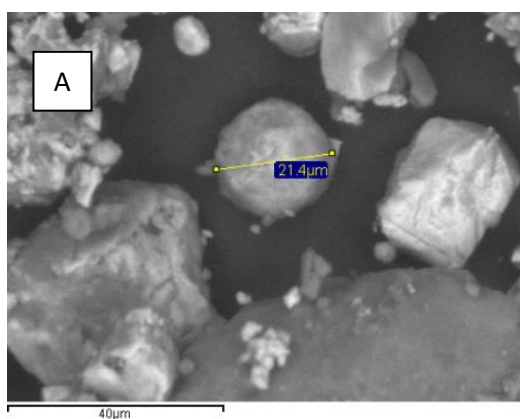


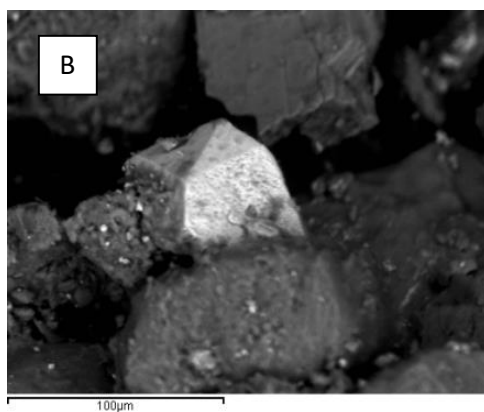
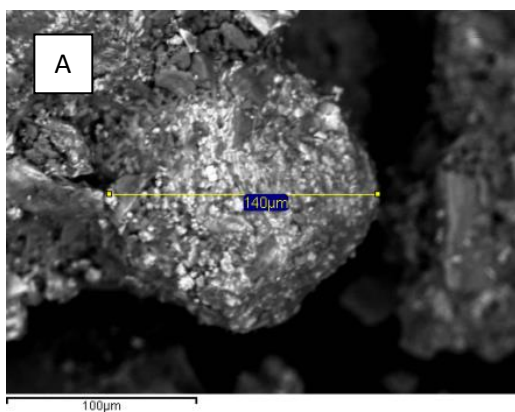
Εικόνα B. 46AA,B



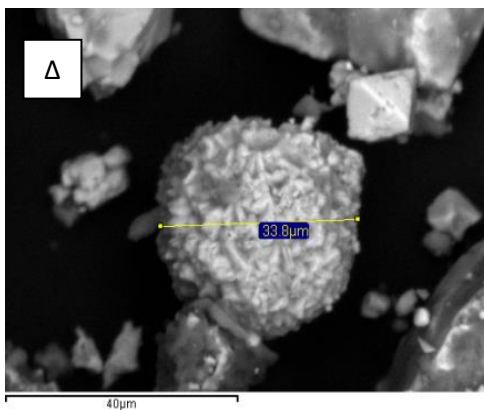
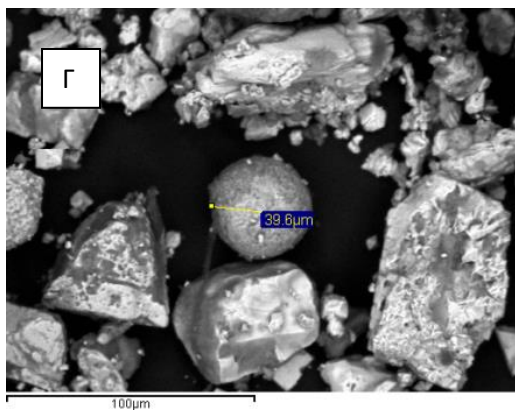
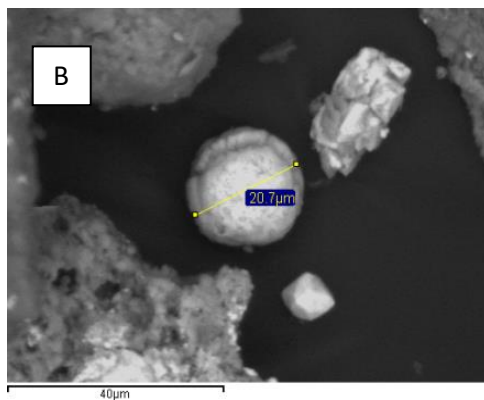
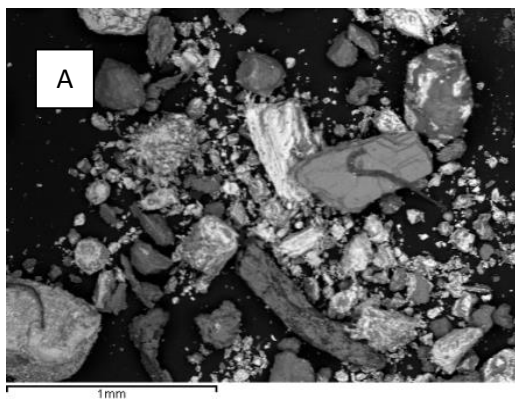


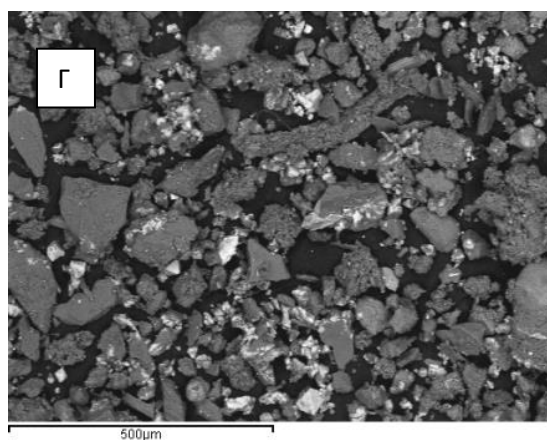
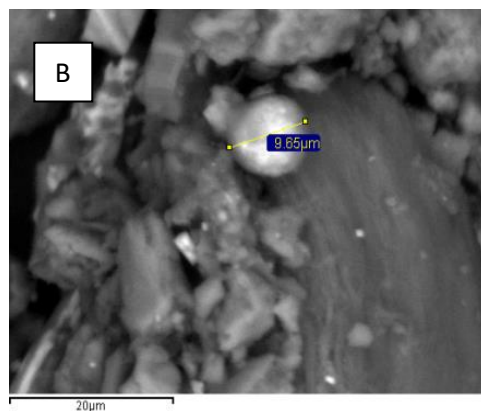
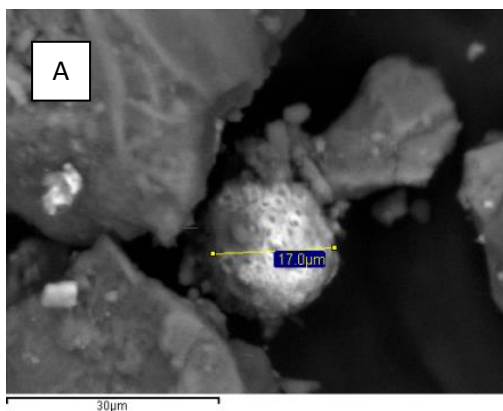
Εικόνα Β. 48ΑΑ,Β



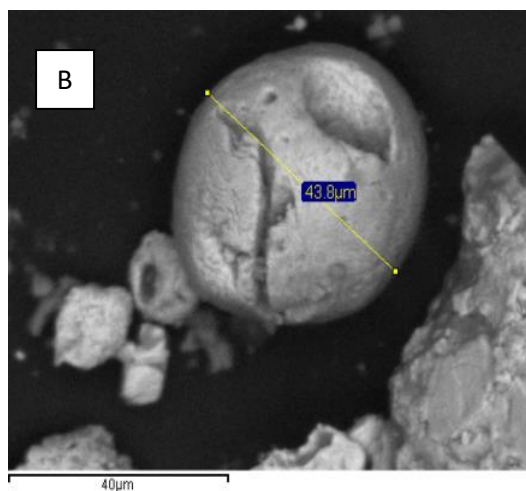
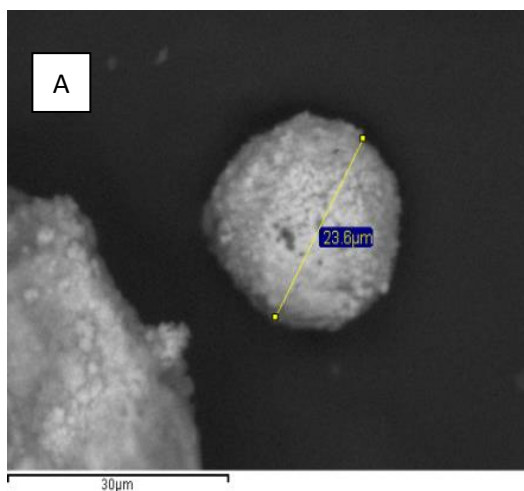


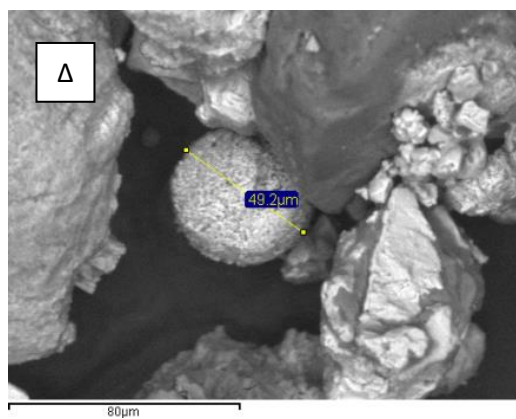
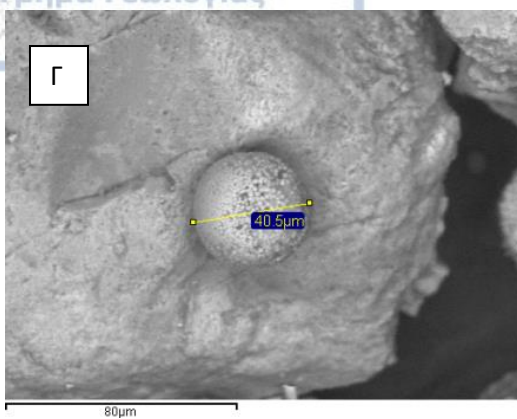
Εικόνα Β. 50ΕΑ,Β,Γ,Δ



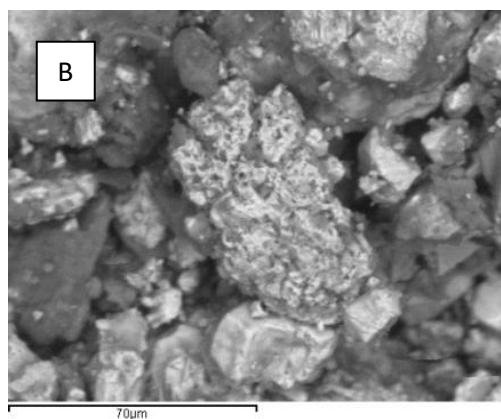
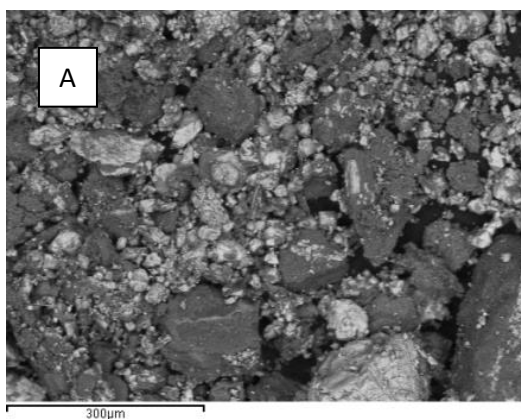


Εικόνα Β. 52ΑΑ,Β,Γ,Δ

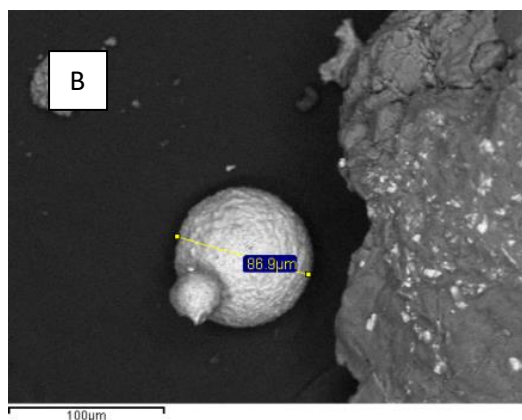
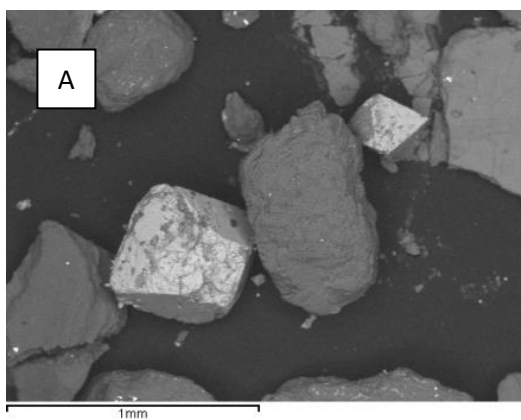




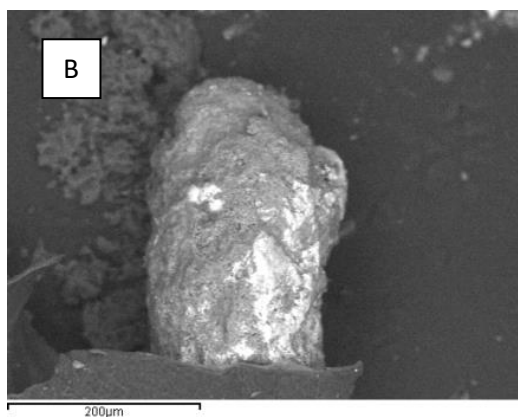
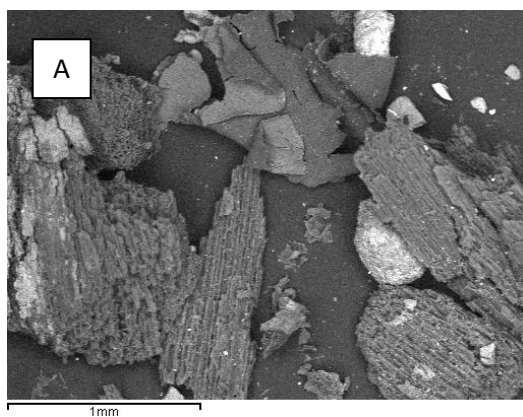
Εικόνα Β. 53ΑΑ,Β



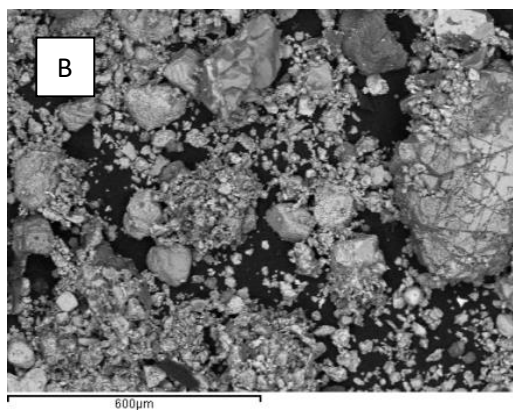
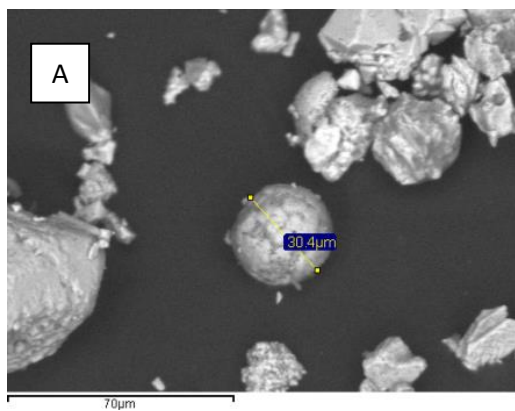
Εικόνα Β. 54ΑΑ,Β



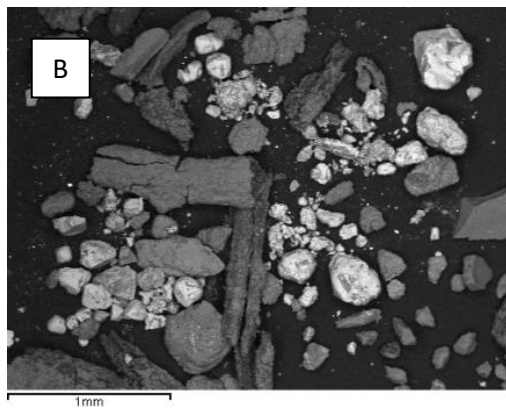
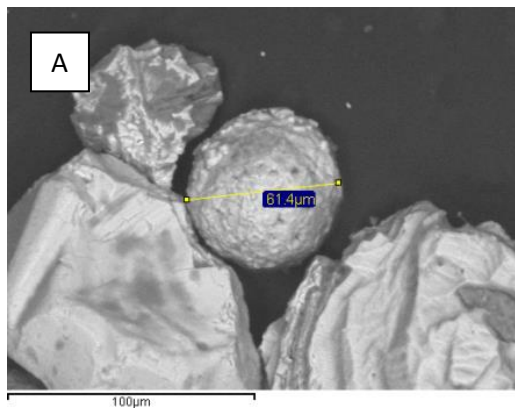
Εικόνα B. 55AA,B

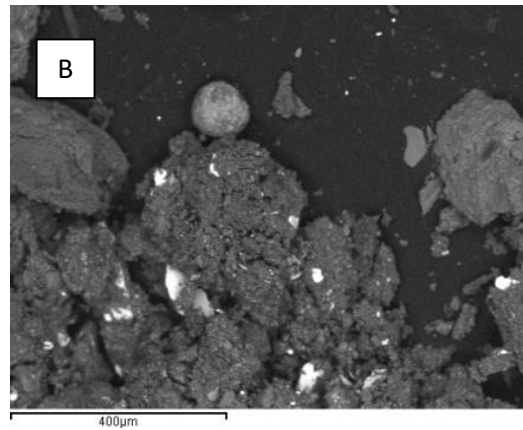
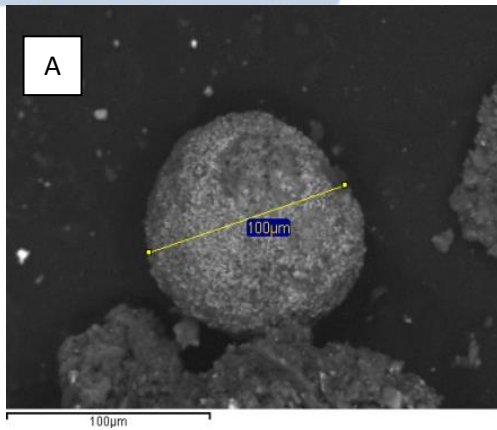


Εικόνα B. 56AA,B



Εικόνα B. 57AA,B





Εικόνα B. 59AA,B

