



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

Διπλωματική Εργασία

<<Ορυκτολογική μελέτη και δυνατότητα ανάκτησης νικελίου με χρήση μεθόδων εμπλουτισμού του λατεριτικού σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος της περιοχής Mamez (Αλβανία)>>

Γκίκας Ιάσων

Εξεταστική επιτροπή:

Γεώργιος Αλεβίζος, Αναπληρωτής Καθηγητής, Επιβλέπων

Κωνσταντίνος Κομνίτσας, Καθηγητής

Αντώνιος Στρατάκης Δρ., ΕΔΙΠ

Χανιά
Σεπτέμβριος, 2019

Αφιερώνεται στην μητέρα μου και στα αδέρφια μου που με στήριξαν όσο κανείς,
καθώς και στον πατέρα μου, που έφυγε πολύ νωρίς, αλλά που με έμαθε τόσα πολλά

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία εξετάζει την ορυκτολογία, την γεωχημική συμπεριφορά καθώς και τις μεθόδους εμπλουτισμού που ακολουθήθηκαν, σε μετάλλευμα που προέκυψε από το νικελιούχο λατεριτικό κοίτασμα της περιοχής Mamez της βορειοανατολικής Αλβανίας.

Το κοίτασμα φιλοξενείται σε λατεριτικό φλοιό αποσάθρωσης που βρίσκεται σε επαφή με Υπερβασικά (Δουνιτικά) πετρώματα, και υπόκειται Κρητιδικών Ασβεστολίθων. Ο λατεριτικός φλοιός όπως και τα μητρικά του πετρώματα ανήκουν στην γεωτεκτονική ενότητα 'Mirdita' και πιο συγκεκριμένα στους Ανατολικού Τύπου Οφιολίθους της ενότητας. Από κοιτασματολογική σκοπιά το κοίτασμα του Mamez ανήκει στην ομάδα κοιτασμάτων της ΒΑ Αλβανίας, 'Has-Kukes-Lures'.

Ο λατερίτης έχει στρωματοειδή μορφή και περιλαμβάνει τους τυπικούς ορίζοντες λατεριτικής αποσάθρωσης, δηλαδή πisolιθικό, αργιλικό και σαπρολιτικό. Ως κύρια ορυκτολογικά του χαρακτηριστικά εμφανίζονται, αιματίτης, χρωμίτης, χαλαζίας, βιλλεμζέιτης, λίζαρδίτης και νοντρονίτης ενώ σε μεμονωμένες περιπτώσεις εμφανίζονται ασβεστίτης και τάλκης. Η γεωχημική μελέτη, φανέρωσε τις περιεκτικότητες των οξειδίων Fe_2O_3 , Cr_2O_3 , Al_2O_3 , MnO , CoO , SiO_2 , NiO , CaO , MgO , TiO_2 και έδειξε την κατανομή τους κατά μήκος της τομής του κοιτάσματος καθώς και τις σχέσεις μεταξύ τους. Η κατανομή του NiO στο κοίτασμα είναι της τάξης του 1.2% κ.β. στον πisolιθικό ορίζοντα, 0.7% στον αργιλικό ορίζοντα και 1.8% στον σαπρολιτικό ορίζοντα. Η μικροσκοπική εξέταση SEM-EDS σε συσχέτιση με τις άλλες αναλυτικές μεθόδους έδειξαν πως το Ni βρίσκεται στο αργιλικό ορυκτό βιλλεμζέιτης, που αποτελεί και το συνδετικό υλικό μεταξύ των κόκκων του πετρώματος.

Για τον εμπλουτισμό του μεταλλεύματος ακολουθήθηκαν μέθοδοι βαρυτομετρικού και μαγνητικού διαχωρισμού. Πιό συγκεκριμένα, δείγματα από όλους τους ορίζοντες ενοποιήθηκαν σε ένα ενιαίο δείγμα, από το οποίο προέκυψαν στην συνέχεια δύο ομάδες δειγμάτων (c και d).

Η πρώτη ομάδα (c), υποβλήθηκε σε κοκκομετρικό διαχωρισμό με παραγωγή κλασμάτων διαμέτρων: $-8+4 \text{ mm}$, $-4+1 \text{ mm}$, $-1+0.250 \text{ mm}$, $-0.250+0.063 \text{ mm}$, -0.063 mm . Στην συνέχεια από το κλάσμα διαμέτρου -0.063 mm προέκυψαν δύο ακόμη κοκκομετρικά κλάσματα διαμέτρων $-0.063+0.010 \text{ mm}$ και -0.010 mm . Τα δείγματα με διάμετρο κόκκων μεγαλύτερη του 0.063 mm ακολούθησαν βαρυτομετρικό διαχωρισμό σε βαρύ υγρό διάλυμα αραιωμένου τετραβρωμοαιθανίου ($\text{Br}_4\text{C}_2\text{H}_2$) με πυκνότητα $d=2.85 \text{ gr/cm}^3$ και μαγνητικό διαχωρισμό σε δονούμενη τράπεζα στα 220, 180 και 140 rpm και τάση $V=3 \text{ Ampere}$. Το δείγμα διαμέτρου $-0.063+0.010 \text{ mm}$ υπέστη υγρό μαγνητικό διαχωρισμό στα 6 στα 3 και στο 1.5 Ampere, ενώ για το δείγμα διαμέτρου -0.010 mm δεν ακολουθήθηκε κάποια μέθοδος διαχωρισμού.

Η δεύτερη ομάδα (d), που είχε προκύψει από το ενιαίο αρχικό δείγμα κονιορτοποιήθηκε απευθείας στα κοκκομετρικά κλάσματα διαμέτρων $-0.063+0.010 \text{ mm}$ και -0.010 mm χωρίς να δημιουργηθούν ενδιάμεσα κοκκομετρικά κλάσματα. Στην συνέχεια το κλάσμα διαμέτρου $-0.063+0.010 \text{ mm}$ πέρασε υγρό μαγνητικό διαχωρισμό στα 6, 3 και 1.5 Ampere, ενώ για το κλάσμα -0.010 mm επίσης δεν ακολουθήθηκε κάποια μέθοδος εμπλουτισμού. Αυτή η δεύτερη διαφορετική προσέγγιση του ίδιου μεταλλεύματος έγινε με σκοπό να εξακριβωθούν διαφορές που μπορεί να προκύψουν στις συγκεντρώσεις των στοιχείων, εάν δεν κατασκευαστούν διαδοχικά τα κοκκομετρικά κλάσματα και γίνει κατευθείαν η δημιουργία πολύ λεπτόκοκκων κλασμάτων.

Μετά το πέρας κάθε μεθόδου διαχωρισμού τα δείγματα αναλύθηκαν ακτινοσκοπικά και γεωχημικά (XRD, XRF) και επιλεκτικά αναλύθηκαν μικροσκοπικά με μεταλλογραφικό μικροσκόπιο, ώστε να εξακριβωθούν τα ορυκτολογικά τους χαρακτηριστικά.

Ο εμπλουτισμός ήταν γενικά ικανοποιητικός στα μικρότερα κοκκομετρικά κλάσματα για όλες τις μεθόδους. Το βέλτιστο προϊόν του εμπλουτισμού για το Ni με γνώμονα τις κατανομές του στοιχείου στα επιμέρους κλάσματα του εμπλουτισμού είναι το ελαφρύ προϊόν στο κλάσμα $-0.250+0.063\text{mm}$. Η κατανομή του νικελίου στο προϊόν αυτό είναι 83.77% και έχει περιεκτικότητα σε NiO 1.14% κ.β. Ο μαγνητικός διαχωρισμός και τα αθροιστικά μαγνητικά, έφεραν λιγότερο σημαντικά όμως πετυχημένα αποτελέσματα εμπλουτισμού σε NiO. Στις καλύτερες περιπτώσεις η κατανομή του NiO φτάνει το 81% στο μαγνητικό προϊόν 1 του κλάσματος $-4+1\text{mm}$. Πετυχημένος από την άποψη των περιεκτικοτήτων και κατανομών του NiO στα επιμέρους κλάσματα μπορεί να θεωρηθεί και ο υγρός μαγνητικός διαχωρισμός για τα κλάσματα της πρώτης ομάδας του μεταλλεύματος.

ABSTRACT

The scope of this study is the mineralogical - geochemical investigation and potentially nickel recovery through beneficiation methods from nickel laterite ore deposit located in the region 'Mamez', in Northeast Albania.

The ore is hosted in a lateritic crust in contact with ultramafic (Dunite) rocks in its basis and Cretaceous Limestones in its top. The lateritic crust as well as the hosting rocks belong to the tectonic unit 'Mirdita' and more specifically in the East Mirdita Ophiolite Unit.

The lateritic ore has a layered structure and includes the classic zoning of a lateritic ore deposit; Limonite, Clay rich and Saprolite zones. The mineralogical investigation through XRD analysis showed that the main mineral phases are hematite, chromite, quartz, willemseite, lizardite and nontronite, while talc and calcite are also present as minor phases. Chemical analysis through XRF, showed that the content of NiO in the ore body is 1.2% in the limonite zone, 0.7% in the clay-rich zone and 1.8% in the saprolite zone.

Beneficiation methods, namely gravimetric and magnetic separation were used to nickel upgrade of the laterite ore. For this, specific samples selected from all zones of the ore deposit were homogenized by the cone and quarter method and representative materials were used for the tests. Two beneficiation stages were used for the treatment of laterite ore.

In the first stage, a representative material was wet sieved and five fractions, i.e. $-8+4\text{mm}$, $-4+1\text{mm}$, $-1+0.250\text{ mm}$, $-0.250+0.063\text{mm}$ and -0.063 mm were produced. The -0.063mm size fraction was classified into $-0.063+0.010\text{ mm}$ and -0.010mm fractions using a hydrocyclone separator. Then, the $+0.063$ size fractions were treated by both gravimetric separation, using a heavy solution of $\text{Br}_4\text{C}_2\text{H}_2$ ($d=2.85\text{ gr/cm}^3$) and magnetic separation using a perm roll separator in different rpms; 220, 180 and 140 rpm and current $V=3$ Ampere. The $-0.063+0.010\text{mm}$ size fraction was treated by magnetic separation using a high intensity induced wet magnetic separator (Carpco MIH 111-5) in different currents 6, 3 and 1.5 Ampere, while for the -0.010mm size fraction wasn't any other treatment.

In the second stage, representative material was crushed to -0.063mm and was classified using a hydrocyclone separator to the size fractions $-0.063+0.010\text{mm}$ and -0.010mm . The size fraction $-0.063+0.010\text{mm}$ was treated by magnetic separation using a high intensity induced wet magnetic separator (Carpco MIH 111-5) again using currents of 6, 3 and 1.5 Amperes.

All the samples produced by the beneficiation methods were analysed mineralogically and geochemically using XRD and XRF analytical techniques. Additionally, representative samples from all stages of the beneficiation process, were investigated using reflected light microscopy.

The beneficiation process was successful especially for the finer size fractions in all methods. The best beneficiation product was the Float of the size fraction $-0.250+0.063\text{mm}$ where the distribution of NiO was 83.77% and chemical composition 1.14%. The magnetic separation had less significant but successful results. The distribution of NiO reached 81% in the magnetic product 1 of the size fraction $-4+1\text{mm}$. The wet magnetic separation of NiO was successful for the products of the first stage.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1°

1.1: Νικέλιο: Γενικές Πληροφορίες	5
1.2 Χρήσεις Νικελίου	5
1.3 Αλβανική Βιομηχανία Νικελίου	5
1.4 : Ελληνική και παγκόσμια βιομηχανία νικελίου	6

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2°

2.1 Λατερίτες	8
2.2 Σχηματισμός Λατεριτών	8
2.3 Κοιτασματολογία Λατεριτών	8
2.3.1 Το νικέλιο (Ni) στους Λατερίτες	9
2.4 Κοιτάσματα που συνδέονται με Λατεριτίωση	10
2.4.1 Λατεριτικά Κοιτάσματα	10
2.4.2 Ιζηματογενή κοιτάσματα από μεταφορά Λατερίτη	11
2.5 Ορυκτολογία-Πετρογραφία Νικελιούχων Λατεριτικών Κοιτασμάτων	12
2.5.1 Δομή ενός τυπικού Νικελιούχου Λατεριτικού Κοιτάσματος	12
2.5.2 Ταξινόμηση των Λατεριτικών Μεταλλευμάτων	13

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3°

3.1 Γεωτεκτονική Εξέλιξη των Αλβανίδων	14
3.2 Οφιολιθικό Σύμπλεγμα Mirdita	16
3.3 Νικελιούχος Μεταλλοφορία της ΒΑ Αλβανίας	18
3.3.1 Νικελιούχοι Λατερίτες της Περιοχής Krumes-Kukes-Lure	18

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4°

4.1 Ορυκτολογική ανάλυση των δειγμάτων	20
4.1.1 Το μεταλλογραφικό μικροσκόπιο	20
4.1.2 Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM)	21
4.1.3 Περιθλασιμετρία ακτίνων-X (XRD)	22

4.2 Χημική ανάλυση των δειγμάτων	23
4.2.1 Φασματομετρία Φθορισμού ακτίνων X – X Ray Fluorescence (XRF)	23
4.3 Δοκιμές Εμπλουτισμού του Σιδηρονικελιούχου Μεταλλεύματος	25
4.3.1 Θεωρητικό υπόβαθρο της μεθόδου του βαρυτομετρικού διαχωρισμού	25
4.3.2 Εργαστηριακή Μέθοδος των Βαρέων Υγρών:	26
4.3.3 Θεωρητικό υπόβαθρο της μεθόδου του μαγνητικού διαχωρισμού	26
4.3.4 Είδη Μαγνητικού Διαχωρισμού	28
4.3.5 Διαχωρισμός Αργιλικού Κλάσματος με Φυγοκέντρωση	29
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5°	
5.1 Γεωλογία της Περιοχής Mamez	30
5.2 Χαρτογράφηση - Δειγματοληψία του Κοιτάσματος	32
5.3 Χαρακτηριστικά του Λατερίτη του Mamez	33
5.3.1 Ορυκτολογία του Κοιτάσματος του Mamez	35
5.3.2 Μικροφωτογραφίες του Κοιτάσματος του Mamez	36
5.3.2.1 Ανάλυση SEM-EDS για το Κοίτασμα του Mamez	40
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6°	
6.1 Συντελεστής Pearson	42
6.2 Κατανομή κύριων χημικών στοιχείων κατά μήκος της τομής του Λατεριτικού Φλοιού Αποσάθρωσης	47
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7°	
7.1 Σκοπός των Πειραμάτων	49
7.1.1 Προετοιμασία των Δειγμάτων	49
7.2 Κοκκομετρικός Διαχωρισμός των Δειγμάτων	50
7.2.1 Κοκκομετρικός Διαχωρισμός της Ομάδας Δειγμάτων (c) του Μεταλλεύματος	50
7.2.2 Κοκκομετρικός Διαχωρισμός της Ομάδας Δειγμάτων (d) του Μεταλλεύματος	52
7.2.3 Χημική Ανάλυση Κοκκομετρικών Κλασμάτων	52
7.3 Βαρυτομετρικός Διαχωρισμός	54
7.3.1 Προετοιμασία Δειγμάτων του Βαρυτομετρικού Διαχωρισμού	54
7.3.2 Αποτελέσματα του Βαρυτομετρικού Διαχωρισμού	55
7.3.2.1 Κατανομή Βάρους στα Βαριά και Ελαφριά Προϊόντα του Βαρυτομετρικού Διαχωρισμού	57

7.3.2.2 Περιεκτικότητες των Κλασμάτων του Βαρυτομετρικού Διαχωρισμού σε NiO, SiO ₂ , Fe ₂ O ₃	58
7.3.2.3 Κατανομή των NiO, SiO ₂ , Fe ₂ O ₃ στα Προϊόντα του Βαρυτομετρικού Διαχωρισμού	61
7.3.3 Ορυκτολογική Ανάλυση στα Προϊόντα του Βαρυτομετρικού Διαχωρισμού	63
7.3.3.1 Μικροσκοπική Εξέταση Ενδεικτικών Δειγμάτων του Βαρυτομετρικού Διαχωρισμού	64
7.3.4 Σχολιασμός των Αποτελεσμάτων	67
7.4 Μαγνητικός Διαχωρισμός	67
7.4.1 Σκοπός των Πειραμάτων	67
7.4.1.1 Περίληψη της Πειραματικής Διαδικασίας	68
7.4.2 Αποτελέσματα του μαγνητικού διαχωρισμού	69
7.4.2.1 Κατανομή Βάρους στα Μαγνητικά και Μη Μαγνητικά Κλάσματα	72
7.4.2.2 Ανάλυση των NiO, Fe ₂ O ₃ , SiO ₂ στα Κλάσματα του Μαγνητικού Διαχωρισμού	74
7.4.2.3 Κατανομή των NiO, Fe ₂ O ₃ , SiO ₂ στα Κλάσματα του Μαγνητικού Διαχωρισμού	75
7.4.2.4 Υπολογισμός των SiO ₂ , Fe ₂ O ₃ , NiO στα Αθροιστικώς Μαγνητικά και Μη Μαγνητικά Κλάσματα	78
7.4.2.5 Ανάλυση NiO, Fe ₂ O ₃ , SiO ₂ στα Αθροιστικώς Μαγνητικά και μη Μαγνητικά	80
7.4.2.6 Κατανομή NiO-FeO-SiO ₂ στα Αθροιστικώς Μαγνητικά	83
7.4.3 Μικροσκοπική Εξέταση Ενδεικτικών Δειγμάτων του Υγρού Μαγνητικού Διαχωρισμού	86
7.4.4 Παρατηρήσεις Συμπεράσματα	88
7.5 Υγρός Μαγνητικός Διαχωρισμός	89
7.5.1 Σκοπός των Πειραμάτων	89
7.5.1.1 Περίληψη της Πειραματικής Διαδικασίας	89
7.5.2 Αποτελέσματα του υγρού μαγνητικού διαχωρισμού	90
7.5.2.1 Κατανομή Μάζας στα Κλάσματα του Υγρού Μαγνητικού Διαχωρισμού	93
7.5.2.2 Ανάλυση των SiO ₂ , Fe ₂ O ₃ , NiO	96
7.5.2.3 Κατανομή των SiO ₂ , Fe ₂ O ₃ , NiO	99
7.5.3 Μικροσκοπική Εξέταση Δειγμάτων του Υγρού Μαγνητικού Διαχωρισμού	103
7.5.4 Παρατηρήσεις Συμπεράσματα	104
7.5.4.1 Σχολιασμός των Αποτελεσμάτων του κλάσματος c7(-0.063+0.010mm)	104
7.5.4.2 Σχολιασμός των Αποτελεσμάτων του κλάσματος d1(-0.063+0.010mm)	104
7.5.4.3 Σύγκριση Μεταξύ των δύο Ομάδων c7 - d1	105
7.6 Διαδικασία Διαχωρισμού Αργιλικού Μέρους	107
7.6.1 Ορυκτολογική Ανάλυση σε δείγματα Ξηρού Αέρα και δείγματα Γλυκόλης	108
7.7 Αξιολόγηση, Παρατηρήσεις, Συμπεράσματα	108

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8°	
8.1 Αξιολόγηση του Κοιτάσματος	109
8.2 Αξιολόγηση του Εμπλουτισμού του Μεταλλεύματος	110
8.3 Συζήτηση	111
 ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	 112
 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	 113
 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ XRD	 117

Κεφάλαιο 1^ο- Γενικά για το Νικέλιο

1.1: Νικέλιο: Γενικές Πληροφορίες

Το νικέλιο (Ni) είναι μέταλλο με ατομικό αριθμό 28 και αποτελεί το 5ο πιο κοινό στοιχείο στη Γη. Είναι ένα στοιχείο το οποίο συναντάται κυρίως στη δομή θειούχων, οξειδίων και αλάτων ανόργανων ουσιών. Αποτελεί εξαιρετικά σημαντικό μέταλλο για την παγκόσμια βιομηχανία καθώς απαρτίζει βασικό στοιχείο σε χιλιάδες εμπορικά προϊόντα. Μερικά από τα χαρακτηριστικά που το καθιστούν τόσο σημαντικό στη βιομηχανία είναι η μηχανική αντοχή του, η αντίσταση του στη διάβρωση, η ελαστικότητα του, η καλή θερμική και ηλεκτρική του αγωγιμότητα, τα μαγνητικά του χαρακτηριστικά και οι καταλυτικές ιδιότητες που διαθέτει.

1.2 Χρήσεις Νικελίου

Η παγκόσμια παραγωγή νικελίου έχει εφαρμογές στους παρακάτω τομείς: κατά 70% σε παραγωγή ανοξειδωτου χάλυβα, 9% σε μη σιδηρούχα κράματα χάλυβα, 9% σε κράματα ατσαλιού, 8 % σε επιμεταλλώσεις, 3% για μπαταρίες και 1% για άλλες χρήσεις ([nickelinstitute](#)). Το σιδηρονικέλιο χρησιμοποιείται πρωτίστως στην κατασκευή Ωστενιτικών ανοξειδωτων χαλύβων. Αυτοί είναι μη μαγνητικοί και περιέχουν μεταξύ 8.5% και 25% νικέλιο, ενισχύοντας την αντιδιαβρωτική τους αντίσταση. Είναι η πιο ευρέως διαδεδομένη ομάδα ανοξειδωτων χαλύβων, αναλογώντας στο 70%-75% περίπου της παγκόσμιας παραγωγής. Οι Φερριτικοί ανοξειδωτοι χάλυβες δεν περιέχουν νικέλιο ([Larco](#)) .

1.3 Αλβανική Βιομηχανία Νικελίου

Η μεταλλευτική και μεταλλουργική βιομηχανία στην Αλβανία σημειώνει σημαντική ανάπτυξη τις τελευταίες δεκαετίες. Μετά από ειδική μεταλλευτική νομοθεσία του 1994 οι φυσικοί πόροι και τα δικαιώματα εκμετάλλευσής τους ανήκουν στο κράτος, για τα οποία όμως μπορούν να εκδοθούν άδειες στον ιδιωτικό τομέα, τόσο διεθνή όσο και εγχώριο. Η ευρύτερη μεταλλευτική βιομηχανία της Αλβανίας στηρίζεται στην εξόρυξη χρωμίου, σιδήρου, παραγωγή τσιμέντου ενώ γίνονται βήματα για την εκμετάλλευση των κοιτασμάτων υδρογονανθράκων της.

Η βιομηχανία νικελίου της αλβανίας περιορίζεται στις περιοχές: Has-Kukes (Mamez-Trull, Surroj, Nome, Has), Devol (Bitinicke, Strane, Kokogllave, Kapshtice), Pogradec (Guri Kuq, Cervenake), Librazhd (prrenjas, Stroske, Xixilias, Bushtrice). Το μετάλλευμα εμφανίζεται με μορφή σιδηρονικελίου της τάξης του 0.8-1.1% Ni και με μορφή πυριτικού νικελίου της τάξης του 1.1-1.4% Ni. Τα κοιτάσματα αποτελούνται από τους παρακάτω τύπους μεταλλεύματος: Γαρνιεριτικό μετάλλευμα

δευτερογενούς ή πρωτογενούς λατεριτικού φλοιού αποσάθρωσης, λειμωνιτικό μέταλλευμα και λειμωνιτικό μέταλλευμα σε δευτερογενείς ιζηματογενείς λατερίτες. Τα κοιτάσματα πληρούν τις κατάλληλες συνθήκες για εξόρυξη ανοικτού τύπου.

Η μεταλλευτική εταιρεία Proto Resources & Investments Ltd ('Proto') έχει εισέλθει σε μία συμφωνία να αποκτήσει το 50% των εργασιών ενός προϋπάρχοντος έργου εξόρυξης νικελίου στην περιοχή Has-Kukes. Η Proto τελείωσε τις αρχικές εργασίες πεδίου το 2011 και έκτοτε σχεδιάζει τις εγκαταστάσεις εξόρυξης των κοιτασμάτων. Μία δεύτερη συμφωνία ακόμη έχει ολοκληρωθεί η οποία επιτρέπει τη μεταφορά του μεταλλεύματος ('DSO'- Direct Shipping Material) σε εργοστάσιο εμπλουτισμού σε απόσταση 100km ενώ κατασκευάζονται και οικονομοτεχνικές μελέτες. Το πρόγραμμα Kukes της Proto περιλαμβάνει την εκμετάλλευση των κοιτασμάτων νικελίου της περιοχής, για το οποίο έχουν παρθεί ήδη 2 άδειες εκμετάλλευσης που καλύπτουν δραστηριότητες εκμετάλλευσης για τα κοιτάσματα 'Trulli' και 'Mamez'. Δικαιώματα ακόμη ανήκουν στην εταιρία NI-AL Sh.pk. Η εταιρία αυτή κατείχε παραδοσιακά τα δικαιώματα εκμετάλλευσης του νικελίου όμως παρέδωσε το 50% στην Proto ([Αποστολίκας 2007](#)). Ακόμη, εταιρείες διεθνούς δραστηριότητας, έχουν δείξει ενδιαφέρον για την εξόρυξη νικελίου από αλβανικά κοιτάσματα, όπως και η ελληνική εταιρία LARCO GMM S.A η οποία έχει προβεί σε σημαντικά βήματα για να συνεργαστεί με τις αλβανικές αρχές ώστε να αναπτυχθεί δραστηριότητα στην περιοχή Has-Kukes. Η LARCO είναι από τις πιο έμπειρες εταιρείες στην παραγωγή σιδηρονικελίου στην ΕΕ, και ο μοναδικός εξαγωγέας νικελίου στην ΕΕ.

1.4 : Ελληνική και παγκόσμια βιομηχανία νικελίου

Το νικέλιο είναι ένα από τα σημαντικότερα μεταλλουργικά προϊόντα της Ελλάδας. Η βασική γεωλογική έρευνα όσον αφορά την εκμετάλλευση του νικελίου διεξάγεται κυρίως από το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ) το οποίο παρέχει γενικές πληροφορίες σχετικά με τη γεωλογική δομή της χώρας, το μέγεθος, την τοποθεσία και την ποιότητα των διαφόρων μεταλλείων της Ελλάδας και κατά δεύτερο λόγο από άλλους φορείς ([Larco](#)). Στην Ελλάδα τα κοιτάσματα νικελίου υπόκεινται εκμετάλλευσης από την εταιρεία Λάρκο, η οποία αποτελεί τη μοναδική επιχείρηση παραγωγής νικελίου όχι μόνο στη χώρα αλλά και σε ολόκληρη την Ευρωπαϊκή ένωση. Η Λάρκο διεξάγει εκτεταμένη και λεπτομερή έρευνα που περιλαμβάνει γεωλογική αναγνώριση, χαρτογράφηση και ερευνητικές γεωτρήσεις δειγματοληψίας. Η μελέτη και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της γεωλογικής έρευνας έχει ως στόχο το υπολογισμό του όγκου και της ποιότητας των αποθεμάτων των νικελιούχων μεταλλευμάτων. Οι πόροι από Λατεριτικά σιδηρονικελιούχα κοιτάσματα που υπάρχουν στη χώρα μας υπερβαίνουν τους 240 εκατομμύρια τόνους και είναι εξαπλωμένοι κυρίως σε τρεις μεγάλες περιοχές στους νομούς Εύβοιας, Βοιωτίας και Καστοριάς. Η Λάρκο, εξορύσσει μέταλλευμα σιδηρονικελίου από τις περιοχές της Λοκρίδας, της κεντρικής Ευβοίας αλλά και της Καστοριάς. Η εξόρυξη μεταλλεύματος γίνεται κυρίως με επιφανειακές μεθόδους εκμετάλλευσης (98%) και σε πολύ μικρότερο βαθμό με υπόγειες μεθόδους. Το εργοστάσιο της εταιρίας βρίσκεται στη Λάρυμνα. Η βασική γραμμή παραγωγής αποτελείται από 4 περιστροφικές καμίνους, 5 ηλεκτρικές καμίνους και 2 μεταλλάκτες τύπου OBM, δυναμικότητας 50 τόνων μετάλλου έκαστος. Πέραν των ανωτέρω υπάρχουν και οι αναγκαίες βοηθητικές εγκαταστάσεις, όπως οι 2 μονάδες για την παραγωγή οξυγόνου και αζώτου, μονάδα πελλετοποίησης κόνεων, μονάδα κοκκοποίησης FeNi και μονάδες μαγνητικού εμπλουτισμού ([Larco](#)). Όσον αφορά την

παγκόσμια βιομηχανία νικελίου οι κυριότεροι παραγωγοί νικελίου είναι οι χώρες που εμφανίζονται στον πίνακα 1.1.

Πινάκας 1.1: Παγκόσμια παράγωγή πρωτογενούς νικελίου τα έτη 2017-2018 (U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, February 2019)

Χώρα	Μεταλλευτική Παραγωγή (tons)		Αποθέματα (tons)
	2017	2018	
Η.Π.Α	22.100	19.000	11.000
Αυστραλία	179.000	170.000	19.000.000
Βραζιλία	78.600	80.000	11.000.000
Καναδάς	214.000	160.000	2.700.000
Κίνα	103.000	110.000	2.800.000
Κολομβία	45.500	43.000	440.000
Κούβα	52.800	53.000	5.500.000
Φινλανδία	34.600	46.000	—
Γουατεμάλα	53.700	49.000	1.800.000
Ινδονησία	345.000	560.000	21.000.000
Μαδαγασκάρη	41.700	39.000	1.600.000
Νέα Καληδονία	215.000	210.000	—
Φιλιππίνες	366.000	340.000	4.800.000
Ρωσία	214.000	210.000	7.600.000
Νότιος Αφρική	48.400	44.000	3.700.000
Λοιπές Χώρες	146.000	180.000	6.500.000
Παγκόσμια Συνολική Παραγωγή (κατά προσέγγιση)	2.160.000	2.300.000	89.000,000

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο – ΓΕΩΛΟΓΙΑ, ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑ

2.1 Λατερίτες

Με τον όρο Λατερίτες χαρακτηρίζεται μία κατηγορία πετρωμάτων, πλούσια σε Al και Fe, που έχουν δημιουργηθεί από την αποσάθρωση προϋπαρχόντων πετρωμάτων. Το είδος της αποσάθρωσης που οδηγεί στο σχηματισμό λατεριτών, ονομάζεται λατεριτίωση, αποτελείται από πολλά στάδια και εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως το κλίμα, το είδος των μητρικών πετρωμάτων, τη δράση του νερού κ.α. Η λατεριτίωση οδηγεί στο σχηματισμό ενός μανδύα από νέα ορυκτά που καλύπτουν αναλλοίωτα μητρικά πετρώματα και ο οποίος κατέχει τη θέση των αρχικών ορυκτών που μετασχηματίστηκαν και τη θέση ορυκτών που διαλύθηκαν και τα στοιχεία τους μετανάστευσαν. Ο μανδύας αυτός ονομάζεται μανδύας ή φλοιός λατεριτικής αποσάθρωσης (Σκαρπέλης 2002).

2.2 Σχηματισμός Λατεριτών

Η αποσάθρωση είναι μία διαδικασία αλλοίωσης των πετρωμάτων, που προκύπτει από την δράση ατμοσφαιρικών παραγόντων στα πετρώματα, η οποία αλλάζει την ορυκτολογική τους και χημική τους σύσταση in situ. Το σημαντικότερο μέσο με το οποίο δρά η αποσάθρωση είναι το νερό. Η κυκλοφορία του νερού στην περίπτωση των υπερβασικών πετρωμάτων γίνεται μέσω ρωγμών και διακλάσεων. Η κυκλοφορία και η δράση του νερού προκαλεί χημικές αντιδράσεις, με μεταφορά χημικών στοιχείων στην κατακόρυφη στήλη του πετρώματος, ή και ακόμη την εξ ολοκλήρου απομάκρυνση χημικών στοιχείων από τα πετρώματα. Κατά την αποσάθρωση σχηματίζονται νέα ορυκτά που ονομάζονται υπεργενετικά και που ο σχηματισμός τους οφείλεται στην δράση ατμοσφαιρικών παραγόντων (Σκαρπέλης 2002).

2.3 Κοιτασματολογία Λατεριτών

Αν σε ένα λατερίτη υπάρχουν εκμεταλλεύσιμες ποσότητες ενός ή περισσότερων μετάλλων, τότε το πέτρωμα χαρακτηρίζεται ως λατεριτικό κοιτάσμα. Χαρακτηριστικά είναι τα νικελιούχα λατεριτικά κοιτάσματα και οι βωξιτικοί λατερίτες. Η πρώτη περίπτωση έχει σαν κύρια προϊόντα το νικέλιο, οι περιεκτικότητες του οποίου συνήθως δεν ξεπερνούν το 2% κ.β. ή και άλλα μέταλλα όπως το Co και τα

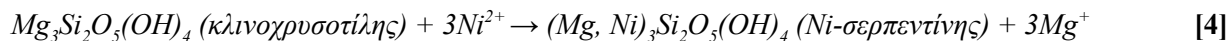
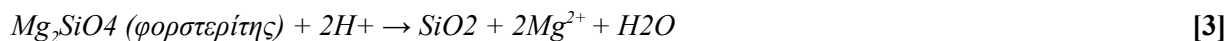
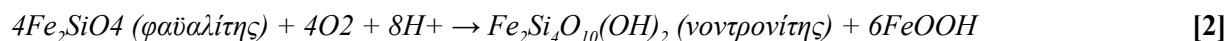
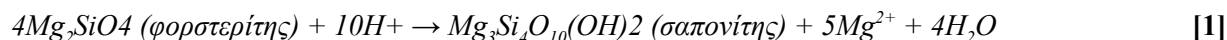
PGE, εάν εμφανίζουν κατάλληλες συγκεντρώσεις. Οι βωξιτικοί λατερίτες έχουν σαν βασικό προϊόν το Al. Βασικό γνώρισμα και των δύο τύπων κοιτασμάτων είναι πως προέρχονται από λατεριτώση υπερβασικών πετρωμάτων. Ενδέχεται ακόμη, το αποσαθρωμένο υλικό να μεταφερθεί σε νέες θέσεις και να σχηματίσει νέα κοιτάσματα. Σε αυτήν την περίπτωση δημιουργούνται, τα ιζηματογενή κοιτάσματα από μεταφορά λατεριτών (Σκαρπέλης 2002).

Η δομή των λατεριτικών κοιτασμάτων, καθώς και η ορυκτολογική τους σύνθεση και η γεωχημεία τους είναι σχετικά απλή και θεωρείται πως παρότι δεν περιέχουν αυξημένες περιεκτικότητες σε κύρια στοιχεία συγκριτικά με άλλους τύπους κοιτασμάτων Ni, έχουν πολλά πλεονεκτήματα τόσο στην εκμετάλλευση όσο και στην επεξεργασία τους. Για αυτό το λόγο τα νικελιούχα λατεριτικά κοιτάσματα θεωρούνται βασική πηγή νικελίου παγκοσμίως, και οι βωξιτικοί λατερίτες βασική πηγή αργιλίου. Ακόμη να αναφερθεί πως οι λατερίτες είναι χρήσιμοι όχι μόνο για την ανάκτηση βασικών μετάλλων, αλλά και γιατί μπορούν να προσφέρουν υλικά που είναι αξιοποιήσιμα για άλλες χρήσεις όπως τη βιομηχανία κεραμικών, χάρτου, πορσελάνης.

2.3.1 Το νικέλιο (Ni) στους Λατερίτες

Η περιεκτικότητά των λατεριτών σε Ni, κυμαίνεται από 0,8 – 3% κατά μέσο όρο και βρίσκεται σε μικρά ποσά στο πλέγμα δευτερογενών ορυκτών που προέκυψαν από αντιδράσεις αντικατάστασης αρχικών πυριτικών ορυκτών όπως ο ολιβίνης (0,3% Ni) και οι πυρόξενοι (0,03-0,06% Ni) ή ο χλωρίτης αντικαθιστώντας το Mg. Τα δευτερογενή ορυκτά που προκύπτουν όπως φαίνεται στις αντιδράσεις 1-4 είναι πυριτικά ορυκτά (νικελιούχος τάλκης, νικελιούχος χλωρίτης, νικελιούχος μοντμοριλονίτης, νικελιούχος σερπεντίνης). Το νικέλιο ακόμη μπορεί να βρίσκεται στην πηλολιθική ζώνη είτε στον αιματίτη, είτε στον γκαιτίτη (Σκαρπέλης 2002).

Αντιδράσεις Σχηματισμού Δευτερογενών Ορυκτών



2.4 Κοιτάσματα που συνδέονται με Λατεριτίωση

Με τον όρο κοιτάσμα χαρακτηρίζεται μία συγκέντρωση ορυκτής πρώτης ύλης η οποία κάτω από τρέχουσες οικονομικές συνθήκες μπορεί να υποστεί εκμετάλλευση (Postle J. Et al 2000). Με την ορολογία αυτή αναφερόμαστε στην πρώτη ύλη, που στην προκειμένη εργασία είναι το νικέλιο και μία σειρά παραπροϊόντων μετάλλων. Βέβαια και άλλα κοιτάσματα προκύπτουν από λατεριτίωση που συνδέεται με υπερβασικά πετρώματα. Σε μία πρώτη προσέγγιση μπορούμε να ξεχωρίσουμε τα κοιτάσματα αναλόγως με το είδος της πρώτης ύλης, έτσι αν η πρώτη ύλη είναι το νικέλιο, μιλάμε για νικελιούχα λατεριτικά κοιτάσματα, ενώ αν η πρώτη ύλη είναι το αργίλιο τότε αναφερόμαστε σε βωξιτικά κοιτάσματα. Επιπλέον, προκύπτει πως πολλά κοιτάσματα αυτού του είδους είτε βρίσκονται στην ίδια θέση στην οποία το μητρικό πέτρωμα αποσαθρώθηκε και φιλοξενούνται στους ίδιους τους λατεριτικούς φλοιούς αποσάθρωσης, είτε ο λατερίτης μέσω διαδικασιών διάβρωσης-ιζηματογένεσης μετακινήθηκε σε δεύτερη τοποθεσία και πλέον αναφερόμαστε σε ιζηματογενή λατεριτικά κοιτάσματα.

2.4.1 Λατεριτικά Κοιτάσματα

Τα κοιτάσματα αυτού του τύπου, φιλοξενούνται από λατεριτικούς φλοιούς αποσάθρωσης που βρίσκονται σε σύνδεση με τα μητρικά τους υπερβασικά πετρώματα.

Νικελιούχα Λατεριτικά Κοιτάσματα

Μετά το σχηματισμό ενός λατεριτικού φλοιού αποσάθρωσης σε πολλές περιπτώσεις έχει επικρατήσει ένας φυσικός εμπλουτισμός σε μέταλλα, διαφορετικός στη βάση και στην κορυφή του λατεριτικού σώματος. Στα ανώτερα επίπεδα επικρατούν υψηλές συγκεντρώσεις σιδήρου, χρωμίου κυρίως ενώ στα κατώτερα επίπεδα υψηλές συγκεντρώσεις νικελίου που βρίσκεται σε πυριτικά ορυκτά.

Βωξιτικοί Λατερίτες

Σε αυτήν την περίπτωση κοιτασμάτων, η βασική πρώτη ύλη εκμετάλλευσης είναι το Al. Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, έτσι και εδώ το κοιτάσμα φιλοξενείται σε λατεριτικό φλοιό αποσάθρωσης σε σύνδεση με το μητρικό πέτρωμα που υπέστη λατεριτίωση. Υπάρχει αντίστοιχα μεταβολή της ορυκτολογίας στους διάφορους ορίζοντες, με κυριαρχία αιματίτη στο ανώτερο τμήμα και γκαϊτίτη στο κατώτερο. Το κύριο ορυκτό του Al είναι ο γκιμπσίτης. Οι βωξιτικοί λατερίτες παρουσιάζουν διαφορές στο μοντέλο γένεσης τους, σε σύγκριση με τους νικελιούχους λατερίτες.

2.4.2 Ιζηματογενή κοιτάσματα από μεταφορά Λατερίτη

Οι φλοιοί λατερικής αποσάθρωσης όταν μεταβληθεί το ανάγλυφο διαβρώνονται. Τα υλικά της διάβρωσης μεταφέρονται σε υψομετρικά χαμηλότερα σημεία και αποτίθενται στις κλιτείς είτε επί του μητρικού πετρώματος (δευτερογενείς λατερίτες) είτε επί των πετρωμάτων τα οποία μηχανικά μπορούν να παγιδεύσουν το υλικό. Αυτή είναι η περίπτωση των αποκαρστωμένων ανθρακικών πετρωμάτων. Με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται οι παρακάτω τύποι κοιτασμάτων (Σκαρπέλης 2002):

Σιδηρονικελιούχα Ιζηματογενή Μεταλλεύματα

Τα σιδηρονικελιούχα ιζηματογενή μεταλλεύματα είναι εξ ολοκλήρου μηχανικά ιζήματα (Σκαρπέλης 1999) που είτε δημιουργούν κοιτάσματα καρστικού τύπου (κοιτάσματα καρστικού νικελίου), είτε έχουν αποτεθεί σε άλλα υπερβασικά πετρώματα ή και σε άλλα λατεριτικά σώματα (δευτερογενή λατεριτικά κοιτάσματα). Η πετρολογική ορυκτολογική και ιστολογική μελέτη δείχνει, πως αποτελούνται από σφαιροειδή σιδηρούχα σωματίδια, θραύσματα silcrete και σαπρολίτη, και κλαστικούς κόκκους χλωρίτη, νικελιούχου χλωρίτη, γκαιτίτη, αιματίτη, χρωμίτη, ιλμενίτη, μαγνητίτη, μαγκεμίτη, μαρτίτη και χαλαζία. Σύνθετα σφαιροειδή ακόμη εμφανίζονται που αποτελούνται από πλήθος πελλοειδών και πισσοειδών και προέρχονται από τμήματα της σιδηρούχου ζώνης του φλοιού λατεριτικής αποσάθρωσης.

Η ιστολογική περιγραφή του μεταλλεύματος μπορεί να θεωρηθεί άθροισμα τριών κλασμάτων σε διαφορετικές αναλογίες: Σιδηρούχων σφαιροειδών σωματιδίων, λεπτομερών θραυσμάτων ορυκτών σιδήρου και αργίλικών ορυκτών. Αντίστοιχα έτσι προκύπτουν τρεις ακραίοι τύποι μεταλλεύματος. Το πισολιθικό μετάλλευμα, το συμπαγές σιδηρούχο μετάλλευμα και το πηλιτικό μετάλλευμα.

Καρστικοί Βωξίτες

Οι καρστικοί βωξίτες αντιπροσωπεύουν κοιτάσματα βωξίτη που διαβρώθηκε, μεταφέρθηκε και παγιδεύτηκε σε καρστικά έγκοιλα σε ανθρακικά πετρώματα. Σε συνέχεια λόγω τεκτονικών παραγόντων τα έγκοιλα αυτά καλύφθηκαν από θάλασσα με επικράτηση εκ νέου ιζηματογένεσης.

2.5 Ορυκτολογία-Πετρογραφία Νικελιούχων Λατεριτικών Κοιτασμάτων

2.5.1 Δομή ενός τυπικού Νικελιούχου Λατεριτικού Κοιτάσματος

Σε ένα τυπικό μοντέλο ενός φλοιού λατεριτικής αποσάθρωσης, σε επαφή με το υγιές πέτρωμα στη βάση του λατερίτη, εμφανίζεται ένας ορίζοντας που ονομάζεται σαπρολιτικός οποίος είναι πλούσιος σε πυριτικά ορυκτά. Πάνω από το σαπρολιτικό ορίζοντα γίνεται μετάβαση σε έναν ορίζοντα μικρού πάχους που περιλαμβάνει αργιλικά ορυκτά, και στο ανώτερο επίπεδο εμφανίζεται ένας ορίζοντας πλούσιος σε οξειδία του Fe που ονομάζεται πισολιθικός. Η κατανομή αυτή των οριζόντων δεν είναι πάντα η ίδια σε κάθε περίπτωση. Θα πρέπει να σημειωθεί πως κατά τη λατεριτίωση ενδέχεται να σχηματισθεί λόγω κινητοποίησης χημικών στοιχείων, σχηματισμός συγκεντρώσεων ορυκτών σε ποσοστά που να δημιουργούν νέο είδος πετρώματος. Αυτή είναι η περίπτωση Silcrete, που αφορά μορφές ψευδοστρώσεων είτε στην οροφή του κοιτάσματος είτε στη ζώνη των αργιλικών ορυκτών. Ο σχηματισμός αυτός οφείλεται κατά βάση στις μεταβολές της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα κατά τη λατεριτίωση (Σκαρπέλης 2002).

Πισολιθικός Ορίζοντας - Λειμωνιτικό Μετάλλευμα

Βασικό γνώρισμα του ορίζοντα αυτού, είναι η έντονη παρουσία οξειδίων και υδροξειδίων κυρίως αιματίτη-γκαιίτη σε μορφή ωοειδών. Το νικέλιο στη ζώνη αυτή σχετίζεται με τον γκαιίτη. Παραγενέσεις μπορεί ακόμη να περιλαμβάνουν γκιψίτη, λεπιδοκροκίτη, χρωμίτη, μαγνητίτη. Ο πισολιθικός ορίζοντας χαρακτηρίζεται από την παρουσία του γκαιίτη FeO(OH) ή του αιματίτη Fe_2O_3 στον ορίζοντα Ferricrete, καολινίτη $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$, χρωμίτη FeCr_2O_4 και χαλαζία SiO_2 .

Στο κατώτερο τμήμα του ορίζοντα αναπτύσσονται συγκεντρώσεις ορυκτών μαγγανίου με τα ορυκτά ασβολάνης $(\text{Co,Ni})\text{Mn}_2\text{O}_4(\text{OH}) \cdot x\text{H}_2\text{O}$ και λιθιοφορίτη $(\text{Al,Li})\text{MnO}_2(\text{OH})_2$ εμπλουτισμένα σε νικέλιο και κοβάλτιο. Τα ίδια ορυκτά παρατηρούνται επίσης στο ανώτερο τμήμα της αργιλικής ζώνης και όπου αυτή απουσιάζει στο ανώτερο τμήμα της σαπρολιτικής ζώνης. Δευτερευόντως εμφανίζονται τα ορυκτά χρωμίτης, μαγνητίτης, μαγκεμίτης, λεπιδοκροκίτης και χλωρίτης.

Αργιλικός Ορίζοντας

Χαρακτηριστικό της αργιλικής ζώνης είναι η παρουσία των ορυκτών της ομάδας του σμεκτίτη τα οποία περιέχουν νικέλιο, όπως ο νικελιούχος νοντρονίτης $\text{Na}_{0.33}(\text{Fe,Ni})_2(\text{SiAl})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, ο

νικελιούχος μοντμοριλλονίτης $\text{Na}_{0.33}(\text{Al},\text{Mg},\text{Ni})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ και ο νικελιούχος σαπονίτης $\text{Ca}_{0.25}(\text{Mg},\text{Fe},\text{Ni})_3(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Επίσης συναντώνται γκαιτίτης, αιματίτης, μαγνητίτης, ασβολάνης, χαλαζίας και χλωρίτης.

Σαπρολιτικός Ορίζοντας - Γαρνιεριτικό μετάλλευμα

Στα κατώτερα τμήματα του λατεριτικού προφίλ, κυριαρχούν το Al και το Mg τα οποία σε συνδυασμό με το Si σχηματίζουν πυριτικά ορυκτά αντί για οξείδια. Χαρακτηριστικό είναι το αργιλικό στρώμα συνήθως μικρού πάχους στα ανώτερα τμήματα της ζώνης με παρουσία φυλλοπυριτικών ορυκτών πλούσιων σε Ni. Τα πυριτικά ορυκτά που περιέχουν Ni αναφέρονται με τον όρο γαρνιερίτες. Στη σαπρολιτική ζώνη συγκεντρώνεται και το μεγαλύτερο ποσοστό του Ni. Παραγενέσεις σε αυτή τη φάση μπορεί να περιλαμβάνουν τα ορυκτά: νιμίτης, νεπουίτης, βίλλεμζεϊτης.

2.5.2 Ταξινόμηση των Λατεριτικών Μεταλλευμάτων

Τα μεταλλεύματα που προκύπτουν από λατερίτες ταξινομούνται, σε γαρνιεριτικό μετάλλευμα (νικελιο-πυριτικό), και λειμωνιτικό μετάλλευμα (νικελιούχο σιδηρομετάλλευμα). Σύμφωνα με τους [Brand et al. \(1998\)](#) και [Gleeson et al. \(2003\)](#), ταξινομούνται σε τρεις κύριους τύπους: Ένυδρα-πυριτικά (Hydrous Mg silicate) μεταλλεύματα, Άργιλο - πυριτικά (Clay silicate) μεταλλεύματα και Μετάλλευμα Οξειδίων (Oxide).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο- ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΑΛΒΑΝΙΑΣ

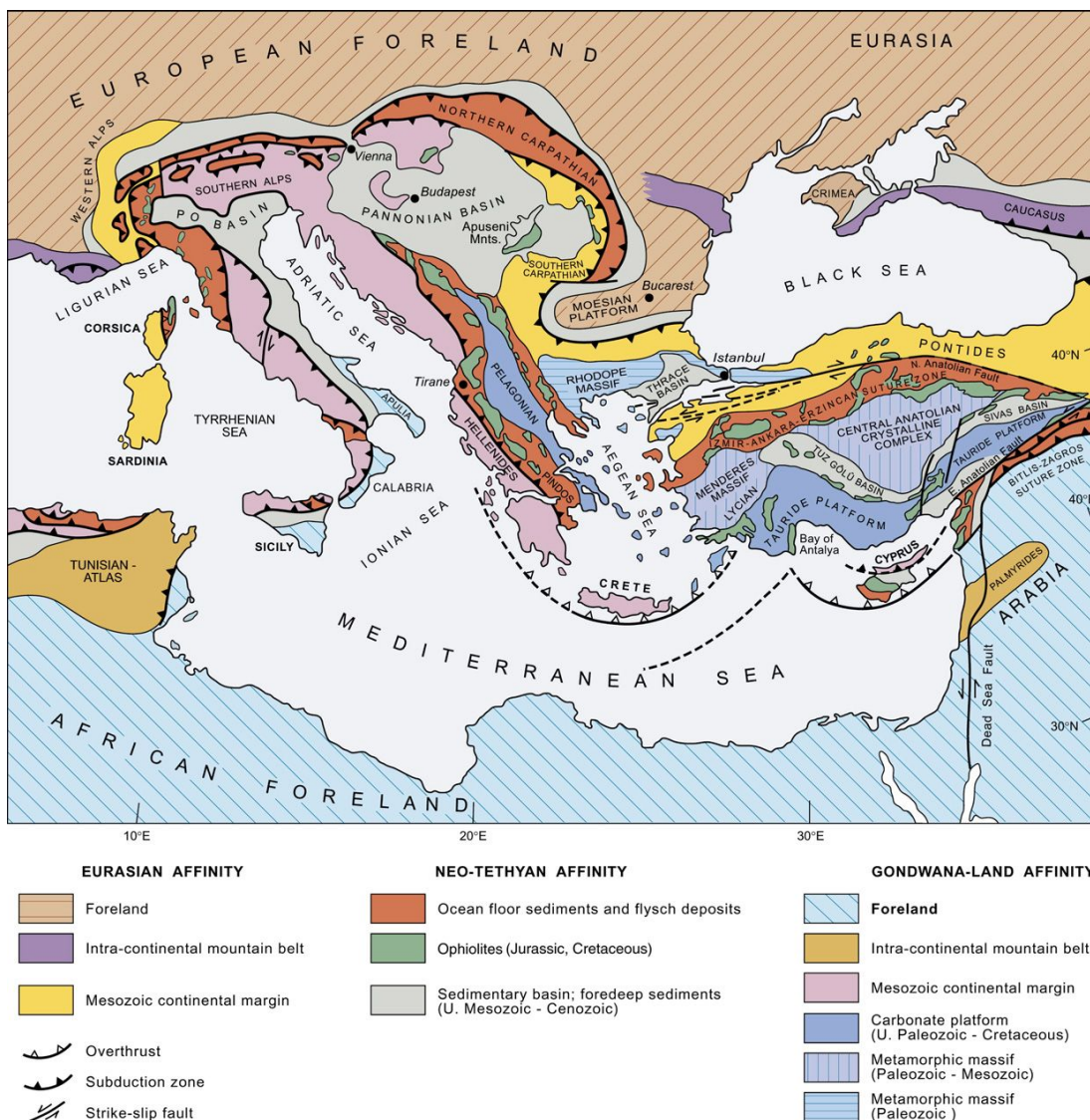
Η Αλβανία και πιο συγκεκριμένα οι Αλβανίδες, αποτελούν ένα τμήμα του ορογενετικού συστήματος των Άλπεων. Συνδέονται άμεσα τόσο με τον ωκεανό της Τηθύος, τμήματα του οποίου εμφανίζονται διακριτά ως οφιολιθικά καλύμματα, όσο και με μικροηπείρους που αποτελούσαν μέρους μεγαλύτερων ηπειρωτικών μαζών που προσκολήθηκαν στο ευρωπαϊκό περιθώριο σε διάφορα ορογενετικά στάδια. Μπορούν δε, να παρατηρηθούν ομοιότητες τόσο και με τις Ελληνίδες προς νότο, καθώς και με τμήματα των Δειναρίδων, προς βορρά. Χαρακτηριστική είναι η παρουσία οφιολιθικών μαζών του Ιουρασικού που εκτείνονται για πολλά χιλιόμετρα από βορρά προς νότο.

Έχει παρουσιαστεί ο διαχωρισμός της χώρας σε τρεις ξεχωριστές μεγάλες γεωτεκτονικές ενότητες που περιλαμβάνουν με τη σειρά τους άλλες μικρότερες. Στα δυτικά, το δυτικό περιθώριο της Απούλιας (ηπειρωτικό περιθώριο), περιλαμβάνει τις ενότητες (Sazani, Ionian, Kruja, Krasta-Cukali), και αποτελεί ηπειρωτικό terrain της Β. Αφρικής από το μέσο Μεσοζωικό. Στα ανατολικά εμφανίζεται η ζώνη Korabi, που αντιμετωπίζεται ως μικροηπειρωτική πλάκα της Νεοτουθούς ([Alastair Robertson, Minella Shallo 1999](#)). Ανάμεσα στις δύο αυτές μεγάλες ενότητες εμφανίζεται η ενότητα Mirdita που κυριαρχείται από δύο αντίθετα οφιολιθικά καλύμματα του Ιουρασικού. Το ‘Δυτικού τύπου’ οφιολιθικό κάλυμμα και το ‘Ανατολικού τύπου’. Στην εικόνα 3.1 φαίνονται τα βασικά γεωτεκτονικά καλύμματα - ανθρακικές πλατφόρμες καθώς και τα Οφιολιθικά Συμπλέγματα, τα Ηπειρωτικά Περιθώρια και τα Μεταμορφικά Massif της Ανατολικής Μεσογείου ([Yildirim Dilek, Harald Furnes, Minella Shallo, 2007](#)).

3.1 Γεωτεκτονική Εξέλιξη των Αλβανίδων

Λαμβάνοντας υπόψη, δεδομένα από την Ελλάδα και τη FYROM, έχει προταθεί το παρακάτω μοντέλο για τη γεωτεκτονική εξέλιξη των Αλβανίδων ([Alastair Robertson, Minella Shallo 1999](#)). Από το πρώιμο Μεσοζωικό και έπειτα, η Νεοτουθής στην Αλβανία υπήρχε ως μία συνέχεια του ωκεανού της Πίνδου προς βορρά (Ωκεανός Πίνδου-Mirdita). Η μικροηπειρωτική πλάκα ‘Korabi’, αποκολλήθηκε (rifting) από την Απούλια στο Κατώτερο-Μέσο Τριαδικό με υποχώρηση του παθητικού περιθωρίου έως το μέσο Ιουρασικό. Ένα οφιολιθικό σύμπλεγμα MOR-τύπου (Mid Ocean Ridge/ Μεσοωκεάνιας Ράχης) διανοίχθηκε στον ωκεανό Πίνδου-Mirdita από το Άνω Τριαδικό έως το τέλος του Ιουρασικού. Δεδομένα από τους ελληνικούς οφιόλιθους, δείχνουν πως οι ανατολικού τύπου οφιόλιθοι της Mirdita, δημιουργήθηκαν υπεράνω ενός δυτικής κλίσης ένδο-ωκεάνιου συστήματος ζώνης υπαγωγής στο τέλος του Ιουρασικού. Μεταμορφικές σόλες σχηματίστηκαν σε αυτήν τη ζώνη κατά τη διάρκεια καλυμματοποίησης των οφιολιθικών μαζών στα 162-174 Ma (Million years ago/εκατομμύρια χρόνια πριν). Το δυτικού τύπου MOR οφιολιθικό σύμπλεγμα, εξελίχθηκε σταδιακά σε ΙΑΤ -βονινιτικού τύπου (Island Arc Tholeiites/ Θολεΐτες Ηφαιστειακού Τόξου) οφιολιθικό σύμπλεγμα, αφότου η υπαγωγή ξεκίνησε. Κατά το Τιθώνιο-Βερριάσιο, ηπειρωτική σύγκρουση τοποθέτησε τους οφιόλιθους ανατολικότερα υπεράνω του περιθωρίου Korabi μαζί με ταυτόχρονη, επανατοποθέτηση τμημάτων του

οφιολιθικού καλύμματος και τμημάτων του ηπειρωτικού περιθωρίου καθώς και ταυτόχρονες αποθέσεις ιζημάτων και τουρβιδιτών. Στα ανατολικά μετά από ηπειρωτική σύγκρουση, τμήματα ωκεάνιου φλοιού παρέμειναν σε μία μικρή λεκάνη του ωκεανού Πίνδου-Mirdita. Παθητικές συνθήκες επανήλθαν στο τέλος του Κρητιδικού, με χαμηλής στάθμης ανθρακική ιζηματογένεση σε μικροηπειρωτικές μάζες, με ταυτόχρονη πελαγική ιζηματογένεση στις βαθιές λεκάνες. Από το Μαιστρίχτιο και έπειτα, ακολούθησε δυτικής κατεύθυνσης επωθητικό επεισόδιο μεγάλης κλίμακας, που παραμόρφωσε την Απούλια ηπειρωτική μάζα στο Ολιγόκαινο-Μειόκαινο.



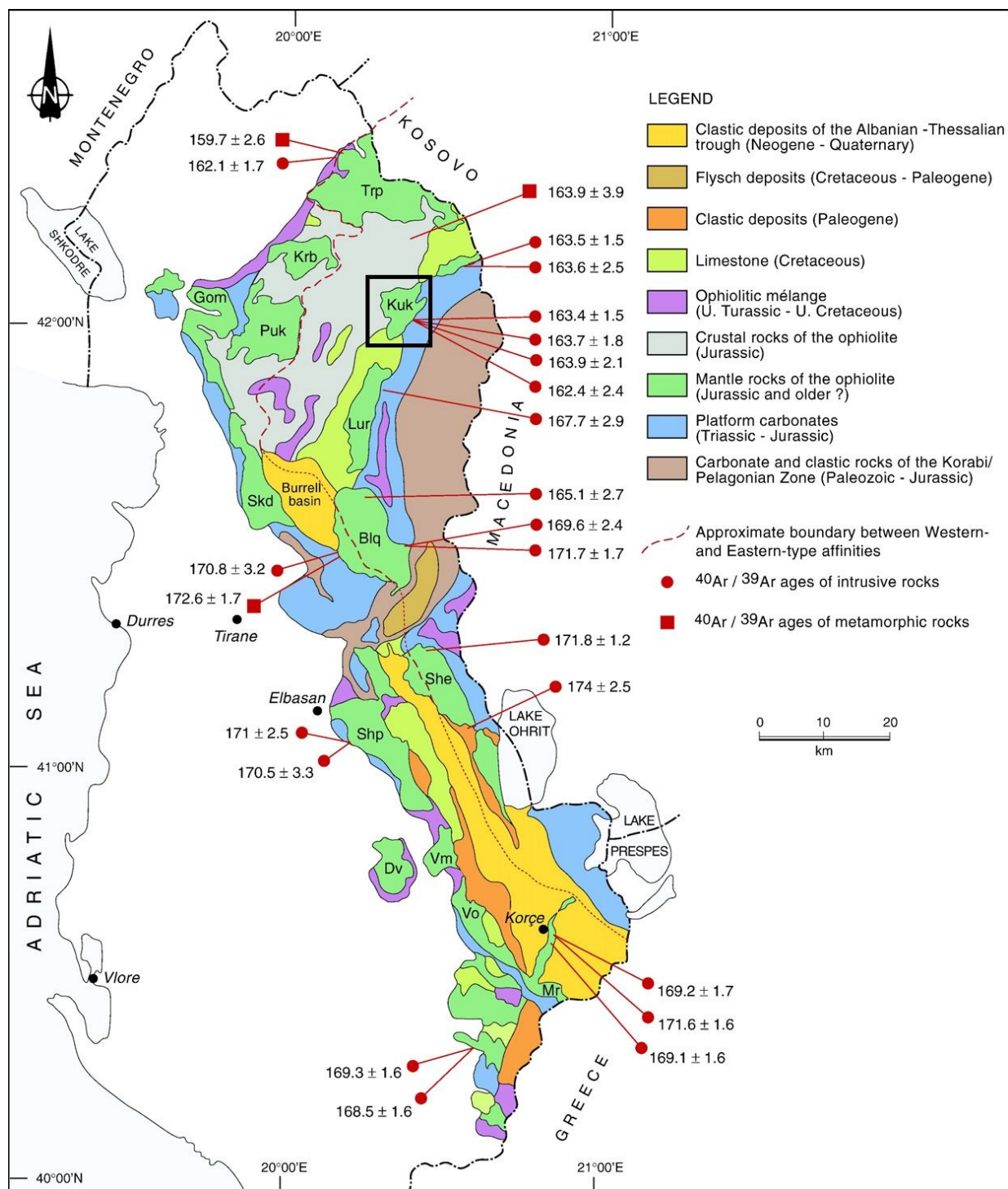
Εικόνα 3.1: Βασικά Γεωτεκτονικά Καλύμματα - Ανθρακικές Πλατφόρμες, Οφιολιθικά Συμπλέγματα, Ηπειρωτικά Περιθώρια και Μεταμορφικά Massif της Ανατολικής Μεσογείου Yildirim Dilek., Harald Furnes, Minella Shallo 2007.

3.2 Οφιολιθικό Σύμπλεγμα Mirdita

Το οφιολιθικό σύμπλεγμα Mirdita εκτείνεται σε μία ζώνη 30-40 km περιορισμένη μεταξύ, των παθητικών ηπειρωτικών περιθωρίων της Απούλιας στα δυτικά, και του Korabi στα ανατολικά (Dilek et al., 2005).

Τμήματα του ανώτερου μανδύα εκτίθενται τόσο στα δυτικά όσο και στα ανατολικά τμήματα της ζώνης των οφιολίθων. Μετά από μελέτη σε αυτά τα τμήματα του ανώτερου μανδύα που είναι σε επαφή με τις ενότητες της Απούλιας στα δυτικά (i.e., Krabbi, Gomsiqe, Skenderbeu), φάνηκε πως κατά βάση αποτελούν πλαγιοκλαστικούς λερζολίθους, ενώ αυτά που έρχονται σε επαφή με τις ενότητες του Korabi, είναι χαρτσβουργίτες με σημαντικά κοιτάσματα χρωμίτη (Nicolas et al., 1999; Hoxha and Boullier, 1995). Οι δυτικοί λερζολίθοι φανερώνουν μία μυλωνιτική υφή, που προκλήθηκε από έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες (1000–800 °C), πλαστική παραμόρφωση από συνθήκες λιθόσφαιρας ενώ σε σημεία έχουν παρατηρηθεί επικαλύψεις εμποτισμού τηγμένου υλικού (Nicolas et al., 1999). Αυτά τα πετρώματα του ανώτερου μανδύα υπερκαλύπτονται από πλαστικά παραμορφωμένους γάββρους. Οι γάββροι και οι σωρειτικές διεισδύσεις παρατηρούνται, σε κάποια τμήματα του φλοιού. Παρατηρούνται ακόμη διεισδύσεις διαβασικών σωρειτών σε παραμορφωμένους γάββρους που υπερκαλύπτονται από βασαλτικές λάβες (Nicolas et al. 1999).

Οι διαφορές μεταξύ περιδοτιτών του ανώτερου μανδύα και της πιο εσωτερικής δομής και χημικής σύστασης ανώτερων ενοτήτων των οφιολίθων, έδειξαν πως υπάρχουν δύο τύποι οφιολίθων στην ζώνη Mirdita (Shallo et al., 1985; Shallo, 1990; Shallo et al., 1990; Kodra et al., 1993b; Beccaluva et al., 1994; Shallo, 1994; Bortolotti et al., 1996; Tashko, 1996; Bébien et al., 1998; Nicolas et al., 1999; Bébien et al., 2000; Insergueix-Filippi et al., 2000; Hoeck et al., 2002; Shallo and Dilek, 2003; Beccaluva et al., 2005; Bortolotti et al., 2005). Στην εικόνα 3.2 των Yildirim Dilek, Harald Furnes, Minella Shallo 2007 φαίνονται οι δύο τύποι οφιολίθων (ανατολικού και δυτικού τύπου) της Mirdita. Στην εικόνα μπορούμε να παρατηρήσουμε τους διαφορετικού τύπου πετρωμάτων στις δύο ομάδες των οφιολίθων καθώς και τα ανθρακικά πετρώματα της ενότητας Korabi ενώ με διακεκομμένη γραμμή διαχωρίζονται οι ανατολικού τύπου από τους δυτικού τύπου οφιολίθους. Τέλος φαίνεται τετραγωνισμένη η περιοχή ενδιαφέροντος της εργασίας, στην οποία βρίσκεται το κοιτάσμα του Mamez.



Εικόνα 3.2. Οφιολιθικό Σύμπλεγμα Mirdita στο σύνολό του. Ανατολικού τύπου και Δυτικού Τύπου Οφιολιθικά Συμπλέγματα διαχωρίζονται με κόκκινη διακεκομμένη γραμμή *Yildirim Dilek,, Harald Furnes, Minella Shallo,2007*

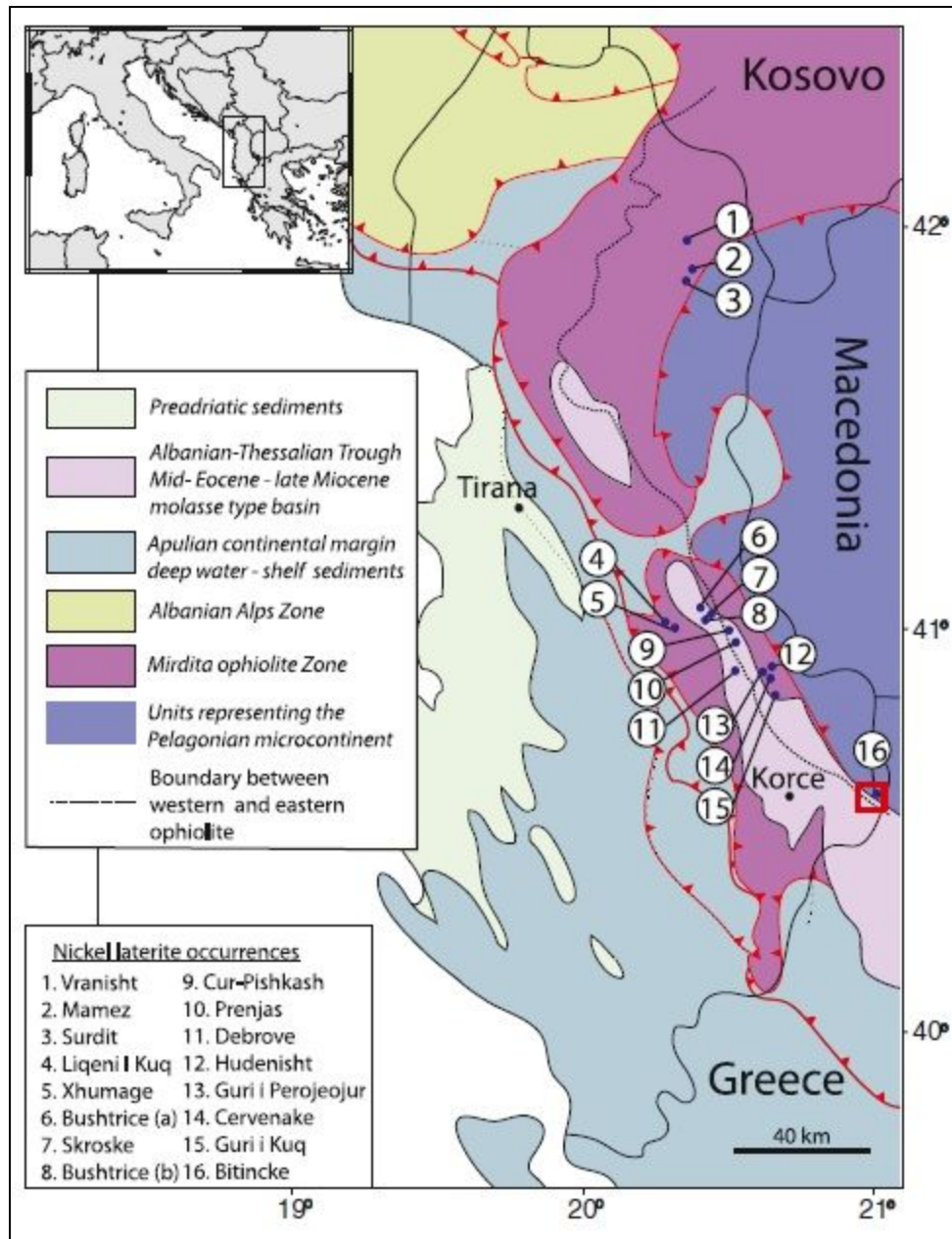
3.3 Νικελιούχος Μεταλλοφορία της ΒΑ Αλβανίας

Στην ενότητα της Mirdita αναπτύσσεται νικελιούχος μεταλλοφορία σε τρεις ξεχωριστές περιοχές. Στο βορρά στην περιοχή Has-Kukes-Lure, στα κεντρικά της ενότητας στο Pogradec-Librazhd και στα νότια στο Devoll. Έχουν καταγραφεί περισσότερα από 16 νικελιούχα λατεριτικά κοιτάσματα στην Αλβανία (εικ. 3.3) τα οποία στο σύνολο τους περιέχουν ένα απόθεμα της τάξης των 367 Mt σε νικέλιο (Fujita 1996). Η βιομηχανία παραγωγής νικελίου στην Αλβανία, δραστηριοποιείται κυρίως γύρω από τις περιοχές: Has-Kukes και περιλαμβάνει τα κοιτάσματα Mamez, Trull, Suproj, Nome και Has, στην περιοχή Devoll που περιλαμβάνει τα κοιτάσματα (Bilisht, Bitinicke, Strane, Kokogllave, Kapshtice, και στο Pogradec με τα κοιτάσματα Guri Kuq, Cervenake κ.α και στο Librazhd με τα κοιτάσματα Prrenjas, Skroske, Xixilias, Bushtrice. Το νικέλιο εμφανίζεται σε μετάλλευμα σιδηρονικελίου (Pogradec-Librazhd) με περιεκτικότητες 0.8-1.1% Ni, και με μέταλλευμα γαρνιεριτικό στο Devol-Kukes-Has με περιεκτικότητες 1.1-1.4% Ni (Apostolikas et.al 2007).

3.3.1 Νικελιούχοι Λατερίτες της Περιοχής Krumes-Kukes-Lure

Η περιοχή Krumes-Kukes-Lure βρίσκεται στο ΒΑ τμήμα της τεκτονικής ενότητας της Mirdita και περιέχει λατεριτικούς φλοιούς αποσάθρωσης. Οι λατερίτες καλύπτουν εκτάσεις σε μία ευρύτερη ζώνη μήκους 45 km και πλάτους 2-10 km και διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ. Το κάθε λατεριτικό σώμα βρίσκεται σε διαφορετικά υψόμετρα από 300 έως 1000 μέτρα. Σε γενικές γραμμές, οι λατερίτες υπόκεινται ανθρακικών ή ηπειρωτικών κλαστικών ιζημάτων Κρητιδικής ηλικίας, ενώ η ευρύτερη περιοχή που εμφανίζονται τα λατεριτικά σώματα έχει διαστάσεις της τάξης των 0.4 km² έως δεκάδες τετραγωνικά χιλιόμετρα, που σημαίνει πως τα αποθέματα νικελίου έχουν σημαντικό μέγεθος.

Η περιοχή Krume-Kukes-Lure, χωρίζεται σε τρεις ξεχωριστές περιοχές ενδιαφέροντος. Βορειοανατολικά, στο Krume-Kukes, στα κεντρικά της ζώνης το Κεντρικό Kukes και το ΝΔ Kukes-Lure. Κοινό γνώρισμα όλης της ζώνης είναι πως το μέταλλευμα εμφανίζεται αμφοτέρως και ως γαρνιεριτικό και ως λειμωνιτικό. Τα κοιτάσματα αποτελούνται από τους παρακάτω τύπους μεταλλευμάτων: Νικέλιο-πυριτικά μεταλλεύματα δευτερογενούς ή πρωτογενούς λατεριτικού φλοιού, Σιδηρονικελιούχοι φλοιοί λατεριτικής αποσάθρωσης και Νικελιοπυριτικά μεταλλεύματα επανατοποθετημένα σε δευτερογενείς φλοιούς. Ακόμη είναι σημαντικό να αναφερθεί, πως χαρακτηρίζονται με τον όρο 'κοίτασμα' εφόσον έχει αποδειχθεί πως επιδέχονται εκμετάλλευσης επιφανειακού τύπου (open-pit) (Apostolikas et.al 2007).



Εικόνα 3.3 Λατεριτικά Νικελιούχα Κοιτάσματα της Αλβανίας *Robert Thorne, Stephen Roberts, Richard Herrington, 2012*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ

4.1 Ορυκτολογική ανάλυση των δειγμάτων

Η ορυκτολογική ανάλυση των αρχικών δειγμάτων πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης με τη χρήση αυτοματοποιημένου περιθλασίμετρου ακτίνων-X (XRD, X-Ray Diffraction Analysis), τύπου D8-Advance της εταιρείας Bruker AXS και χρησιμοποιήθηκε λυχνία χαλκού με τις ακόλουθες συνθήκες μέτρησης: $U=35\text{kV}$, $I=35\text{mA}$, καταμετρητή Lynx Eye με φίλτρο Ni. Η μελέτη και φωτογράφιση των αρχικών δειγμάτων, έγινε σε στιλπνές τομές που παρασκευάστηκαν στο Εργαστήριο Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης, σε μεταλλογραφικό μικροσκόπιο.

Για την ανάλυση και τη φωτογράφιση των ορυκτολογικών συστατικών των αρχικών δειγμάτων έγινε χρήση ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (SEM) τύπου Jeol JSM 5400 σε συνδυασμό με EDS-μικροανάλυσεις. Η μελέτη των ορυκτολογικών συστατικών πραγματοποιήθηκε μέσω στιλπνών τομών με τη βοήθεια του μεταλλογραφικού μικροσκοπίου (μικροσκόπιο ανακλώμενου φωτός) και χρήση κάμερας τύπου SONY-A5000 της σχολής Μεταλλειολόγων Μηχανικών και Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, και τη χρήση του λογισμικού SONY-Imaging Edge, ενώ οι στιλπνές τομές, κατασκευάστηκαν στο κέντρο μελετών Preparation Lab-wwu Münster, στη Γερμανία.

4.1.1 Το μεταλλογραφικό μικροσκόπιο

Το μεταλλογραφικό μικροσκόπιο εμφανίζει διαφορές με το πετρογραφικό μικροσκόπιο στα εξής σημεία:

- i) Ο ανακλαστήρας, που έχει τοποθετηθεί μεταξύ του αντικειμενικού και του προσοφθάλμιου φακού, κατευθύνει το προσπίπτον φως κάθετα στη στιλβωμένη επιφάνεια του μελετώμενου παρασκευάσματος.
- ii) Χρησιμοποιούνται ειδικοί αντικειμενικοί φακοί για την παρατήρηση μη καλυμμένων παρασκευασμάτων.
- iii) Η περιστρεφόμενη τράπεζα μετακινείται ελεύθερα προς τα πάνω ή προς τα κάτω, ώστε να είναι εφικτή η εστίαση σε διαφορετικά πάχη παρασκευασμάτων. Τα συνήθη μεταλλογραφικά μικροσκόπια διαθέτουν δύο τύπους ανακλαστήρων: τη γυάλινη πλάκα και το πρίσμα ολικής ανάκλασης, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν επιλεκτικά (Αλεβίζος, 2005).

Προετοιμασία δειγμάτων:

Για τη σωστή εξέταση ενός μεταλλεύματος μικροσκοπικά είναι απαραίτητη η παρασκευή μίας στιλπνής τομής, η επιφάνεια της οποίας δεν θα έχει χαραγές και ανωμαλίες. Το προς στίλβωση υλικό πρέπει αρχικά, να εμποτιστεί σε ειδικό μείγμα εποξικής ρητίνης και σκληρυντικού υγρού, ειδικά σε περίπτωση που το υλικό αποτελεί ξεχωριστούς κόκκους ώστε να συσσωματωθεί και να αποκτήσει αντοχή, και στη συνέχεια να τοποθετηθεί σε ειδικές φόρμες διαμέτρου 2-4 cm, στις οποίες προστίθεται ποσότητα του υγρού υλικού εγκλίσεως, συνήθως σε συνθήκες κενού ώστε να αποφευχθούν φυσαλίδες αέρα στη ρητίνη. Έπειτα, ακολουθεί η λείανση της επιφάνειας του δείγματος. Ως λειαντικό μέσο χρησιμοποιείται καρβίδιο πυριτίου ή βολφραμίου. Η διαδικασία της λείανσης ολοκληρώνεται σε τρία στάδια με διαφορετικές κοκκομετρίες λειαντικών μέσων το καθένα. Το παρασκεύασμα λειαίνεται πάνω σε έναν περιστρεφόμενο μεταλλικό δίσκο ή με το χέρι πάνω σε γυάλινη πλάκα με τις κοκκομετρίες των λειαντικών μέσων του πρώτου σταδίου. Σημειώνεται ότι η λείανση του παρασκευάσματος γίνεται πάντα παρουσία νερού. Τα διάφορα στάδια της λείανσης ξεκινούν από λειαντικά μέσα της τάξης των 120 μm και φτάνουν τα 400 μm ενώ ακολουθεί λείανση για μερικά λεπτά αναλόγως τη σκληρότητα έως τα 1200 μm . Τέλος, ακολουθεί η διαδικασία της στίλβωσης. Κατά τη μέθοδο Vanderwilt-Rehwald χρησιμοποιείται η συσκευή Rehwald και γίνεται επιλογή διάφορων μέσων στίλβωσης (π.χ. αλοιφές Rehwald, αδαμανταλοιφές, καρβίδιο του βορίου με εκχύλισμα πίσσας) διάφορων κοκκομετριών (από 6 μm έως 0.05 μm). Η μέθοδος Rehwald είναι η μοναδική μέθοδος στίλβωσης με την οποία παρασκευάζονται στιλπνές τομές ελεύθερες από ανάγλυφο και χαραγές (Αλεβίζος, 2005).

4.1.2 Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM)

Το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης είναι ένα όργανο, που λειτουργεί όπως περίπου και ένα οπτικό μικροσκόπιο, μόνο που χρησιμοποιεί δέσμη ηλεκτρονίων υψηλής ενέργειας αντί για φως, ώστε να εξετάσει αντικείμενα σε λεπτομερή κλίμακα. Τα ηλεκτρόνια λόγω της κυματικής τους φύσης υπόκεινται σε εστίαση, όπως και τα φωτεινά κύματα, αλλά σε πολύ μικρότερη επιφάνεια (π.χ. κόκκος υλικού). Η δέσμη ηλεκτρονίων σαρώνει την επιφάνεια του δείγματος με την οποία αλληλεπιδρά. Από την αλληλεπίδραση αυτή προκύπτουν πληροφορίες σε σχέση με τα άτομα των στοιχείων που απαρτίζουν το εξεταζόμενο υλικό. Από τα άτομα των στοιχείων εκπέμπονται κυρίως δευτερογενή (secondary) και οπισθοσκεδαζόμενα (backscattered) ηλεκτρόνια καθώς και ακτίνες-X. Η ένταση των εκπεμπόμενων ηλεκτρονίων επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας. Έτσι, το SEM δίνει πληροφορίες, που αφορούν κυρίως στη μορφολογία και στη σύσταση της επιφάνειας. Εφαρμόζοντας ένα σύστημα ανίχνευσης της διασποράς των ενεργειών των ακτίνων- X, που δημιουργούνται στην επιφάνεια από την προσπίπτουσα δέσμη, μπορεί να γίνει ημιποσοτική στοιχειακή ανάλυση του υλικού (www.ntua.gr).

Επομένως, το SEM χρησιμοποιείται για την εξέταση μικροδομής στερεών δειγμάτων και για να δίνει εικόνες υψηλού βαθμού διεύθυνσης.

Η λειτουργία του SEM στηρίζεται στις αλληλεπιδράσεις του προς εξέταση δείγματος και της προσπίπτουσας σε αυτό δέσμης ηλεκτρονίων. Οι βασικές διατάξεις που υπάρχουν στο μικροσκόπιο είναι το σύστημα παραγωγής δέσμης ηλεκτρονίων, το σύστημα κατεύθυνσης της δέσμης, το σύστημα πληροφοριών και τέλος το σύστημα κενού (www.ntua.gr).

Προετοιμασία Δειγμάτων

Για τη μελέτη των ορυκτολογικών συστατικών γίνονται μετρήσεις σε στιλπνές τομές. Για τη λήψη καλής εικόνας, είναι απαραίτητο οι επιφάνειες να μην έχουν μολυνθεί, να υπάρχει αντίσταση του δείγματος στο υψηλό κενό και στην ηλεκτρική ακτίνα δέσμης, απουσία ηλεκτρικής φόρτισης και αρκετά υψηλή παροχή ηλεκτρονίων. Η κάθε περιοχή της επιφάνειας προετοιμάζεται με τον ίδιο τρόπο όπως και στο οπτικό μικροσκόπιο, όμως πρέπει να προσέξουμε τον καθαρισμό, καθώς και τα υπολείμματα των υλικών καθαρισμού. Εάν κατά τη διάρκεια της μέτρησης έχουμε φόρτιση της επιφάνειας, παρατηρείται ανάκλαση της εκπεμπόμενης ακτίνας, πράγμα που φαίνεται στην εικόνα και έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή της εκπομπής δευτερευόντων ηλεκτρονίων. Αυτό μπορεί να αποφευχθεί ή με τη χρήση ανιχνευτή για μη αγωγή υλικά σε περιβάλλον χαμηλού κενού, ή με την χρήση αγωγικών επικαλυπτικών στρωμάτων. Το στρώμα πρέπει να είναι αρκετά παχύ ούτως ώστε να δημιουργεί ένα αγωγίμο μονοπάτι, αλλά και όσο γίνεται πιο λεπτό, για να αποφευχθεί η κάλυψη των λεπτομερειών. Συνήθως χρησιμοποιείται στρώμα από χρυσό, γραφίτη ή λευκόχρυσο (Μ.Κουή, Θ.Λυμπεροπούλου 2003).

4.1.3 Περιθλασιμετρία ακτίνων-X (XRD)

Με τη μέθοδο του περιθλασίμετρου ακτίνων-X, μετρώνται απευθείας τόσο οι γωνίες όσο και οι εντάσεις των ανακλάσεων των ακτίνων-X, που προσπίπτουν πάνω σε ένα παρασκεύασμα κρυσταλλικής κόνεως. Οι μονάδες σύνθεσης του περιθλασίμετρου ακτίνων-X είναι: η μονάδα παραγωγής της υψηλής τάσεως, η λυχνία ακτίνων-X, το γωνιόμετρο, ο απαριθμητής των ακτίνων-X με την ηλεκτρονική μονάδα επεξεργασίας και καταγραφής των κρούσεων και τέλος η μονάδα μικροϋπολογιστή, μέσω του οποίου γίνεται η διαχείριση ολόκληρου του συστήματος και η αξιολόγηση των δεδομένων, που προκύπτουν από εξέταση του δείγματος. Το προς μελέτη παρασκεύασμα τοποθετείται στο δειγματοφορέα του γωνιόμετρου του περιθλασίμετρου, ο οποίος βρίσκεται σε τέτοια θέση, ώστε να παραμένει πάντα στο κέντρο ενός κύκλου, που διαγράφει ο απαριθμητής των ακτίνων-X, και το επίπεδο του δείγματος να είναι πάντα κάθετο προς το επίπεδο του κύκλου. Την ίδια στιγμή ως προς τον ίδιο άξονα περιστρέφεται ο απαριθμητής με σταθερή γωνιακή ταχύτητα (2θ/min) και το επίπεδο του δείγματος με γωνιακή ταχύτητα (θ/min), τη μισή, δηλαδή, τιμή της γωνιακής ταχύτητας του απαριθμητή, με τρόπο τέτοιο, ώστε με ταυτόχρονη μετατόπιση του απαριθμητή και περιστροφή του δείγματος, ο απαριθμητής να σχηματίζει την ίδια γωνία ως προς το επίπεδο του δείγματος με το σημείο εξόδου των ακτίνων-X της λυχνίας.

Τοιουτοτρόπως, είναι δυνατή η καταγραφή της ακτινοβολίας που περιθλάται στους κρυσταλλικούς κόκκους του δείγματος, που βρίσκονται σε τέτοια γωνία ως προς την κατεύθυνση της δέσμης των ακτίνων-X, που προέρχονται από τη λυχνία, ώστε για κάποια ομάδα πλεγματικών επιπέδων να επαληθεύεται η εξίσωση του Bragg: $n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin \theta$ (όπου n: η τάξη ανάκλασης, λ: το μήκος κύματος, θ: η γωνία πρόσπτωσης και d: η πλεγματική απόσταση των επιπέδων ανάκλασης του κρυστάλλου) (Κωστάκης, 1988).

Προετοιμασία δειγμάτων:

Το δείγμα που πρόκειται να αναλυθεί βρίσκεται υπό μορφή κόνεως μέσα στην κοιλότητα ενός μεταλλικού ή πλαστικού πλακιδίου. Το βάθος της κοιλότητας αυτής είναι περίπου 1mm και έχει έκταση μερικών cm^2 ώστε να μπορεί σε αυτό να φιλοξενηθεί μάζα ίση με 1g, η οποία κατανέμεται στο δειγματοφορέα, έτσι ώστε η επιφάνειά της να είναι επίπεδη (Κωστάκης, 1988).

4.2 Χημική ανάλυση των δειγμάτων

Η χημική ανάλυση των δειγμάτων έγινε με τη μέθοδο φασματοσκοπίας ακτίνων-X φθορισμού (XRF) με χρήση του φασματοσκοπίου του Εργαστηρίου Ανόργανης Γεωχημείας, Οργανικής Γεωχημείας και Οργανικής Πετρογραφίας του Πολυτεχνείου Κρήτης.

4.2.1 Φασματομετρία Φθορισμού ακτίνων X – X Ray Fluorescence (XRF)

Η τεχνική XRF αποτελεί μία φασματοσκοπική τεχνική με δυνατότητα πολυστοιχειακής ανάλυσης στερεών, κονιαμάτων, και υγρών δειγμάτων κάνοντας χρήση του φυσικού φαινομένου του φθορισμού ακτίνων X των στοιχείων που περιέχονται σε ένα δείγμα.

Οι ακτίνες X καλύπτουν ενεργειακά την περιοχή από 1-1000 keV του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και σχετίζονται με την μετακίνηση ατομικών ηλεκτρονίων μεταξύ διαφορετικών ενεργειακών στιβάδων. Για την παραγωγή των ακτίνων X απαιτείται η διέγερση των ατόμων με χρήση μιας εξωτερικής πηγής ακτινοβολίας υψηλής ενέργειας. Όταν η ενέργεια της ακτινοβολίας είναι υψηλότερη από την ενέργεια που συγκρατεί τα ηλεκτρόνια μιας δεδομένης στιβάδας τότε προκαλείται η αποβολή του ηλεκτρονίου από τη στιβάδα αυτή με δημιουργία μιας κενής θέσης. Η κενή θέση καλύπτεται από τη μετάπτωση ενός ηλεκτρονίου από μία από τις εξωτερικότερες στιβάδες με σύγχρονη εκπομπή ακτινοβολίας X.

Η διέγερση του δείγματος για εκπομπή ακτίνων-X γίνεται με ειδικές λυχνίες ακτίνων-X, ενέργειας πολλαπλάσιας αυτής που θέλουμε να διεγείρουμε. Η γεωμετρία του φασματομέτρου ακτίνων-X είναι όμοια με αυτή του περιθλασιμέτρου ακτίνων-X. Ο προσδιορισμός του μήκους κύματος γίνεται με τη βοήθεια της εξίσωσης του Bragg : $n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin \theta$, όπου θ : η γωνία περίθλασης και $2d$: η ενδοκρυσταλλική απόσταση ενός μονοκρυσταλλου αναλυτή. Το δείγμα διεγείρεται και στη συνέχεια εκπέμπει ακτίνες X των στοιχείων που το αποτελούν. Σαρώνοντας μια συγκεκριμένη περιοχή 2θ με το γωνιόμετρο του φασματομέτρου, παρατηρούνται ανακλάσεις, εφόσον πληρούται η εξίσωση του Bragg. Στη συνέχεια, λύνοντας την εξίσωση αυτή ως προς λ , ($2d$: σταθερό, θ : μετράται) προσδιορίζεται το αντίστοιχο χημικό στοιχείο (Περδικάκης & Πεντάρη, 2003).

Προετοιμασία δειγμάτων

Οι μέθοδοι προετοιμασίας των δειγμάτων ποικίλουν ανάλογα με το είδος της μελέτης. Η ομοιογένεια του δείγματος είναι σημαντικός παράγοντας για την ποιότητα της ανάλυσης. Δείγματα με μορφή λεπτών κόκκων διαμορφώνονται συνήθως σε λεπτά δισκία με τη βοήθεια υδραυλικού πιεστηρίου.

Η ξήρανση των δισκίων είναι απαραίτητη, εφόσον το ποσοστό υγρασίας ανέρχεται στο 20%, λόγω των αλλαγών που προκαλούνται στη μήτρα του δείγματος. Τα υγρά δείγματα τοποθετούνται σε διαφανή για τις ακτίνες-X δοχεία (πολυαιθυλενίου, Kapton, Mylar κ.λπ.). Τα στερεά δείγματα είναι προτιμότερο να έχουν λεία επιφάνεια. Για αναλύσεις μεγαλύτερης ακρίβειας τα δείγματα υποβάλλονται σε καύση με πυροφωσφορικά ή τετραβορικά άλατα (<http://omega.physics.uoi.gr>). Οι χημικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια αυτοματοποιημένου φασματοσκοπίου ακτίνων-X φθορισμού τύπου S2-Ranger της εταιρείας Bruker AXS με συνθήκες μέτρησης : $U=15\text{kV}$, Al φίλτρο ($500\text{ }\mu\text{m}$) για τα βαριά στοιχεία και $U=20\text{kV}$ για τα ελαφρά στοιχεία, $I=100\text{mA}$ και λυχνία Pd.

4.3 Δοκιμές Εμπλουτισμού του Σιδηρονικελιούχου Μεταλλεύματος

4.3.1 Θεωρητικό υπόβαθρο της μεθόδου του βαρυτομετρικού διαχωρισμού

Με τον όρο βαρυτομετρικό διαχωρισμό χαρακτηρίζουμε μία σειρά μεθόδων εμπλουτισμού μεταλλευμάτων, οι οποίες στηρίζονται στη διαφορά των πυκνοτήτων των ορυκτών. Το αποτέλεσμα του διαχωρισμού αυτού εξαρτάται τόσο από το μέγεθος όσο και από το σχήμα των τεμαχιδίων (Σταμπολιάδης, 2008). Οι βαρυτομετρικές μέθοδοι εμπλουτισμού ήταν οι πρώτες μηχανικές διεργασίες, που χρησιμοποιήθηκαν για τον εμπλουτισμό των μεταλλευμάτων και εφαρμόζονται για μία μεγάλη ποικιλία ορυκτών, από τα βαρέα σουλφίδια μετάλλων, όπως ο γαληνίτης (πυκνότητα $7,5\text{gr/cm}^3$), μέχρι το γαιάνθρακα (πυκνότητα $1,3\text{gr/cm}^3$). Το μέγεθος των τεμαχιδίων, που μπορούν να υποστούν βαρυτομετρικό διαχωρισμό, ποικίλλει ανάλογα με τη μέθοδο που εφαρμόζεται, από τα 200mm έως τα 50μm (Σταμπολιάδης 2008). Προϋπόθεση της μεθόδου είναι τα προς διαχωρισμό ορυκτά να έχουν μια διαφορά ειδικού βάρους τουλάχιστον $0,05\text{g/cm}^3$. Τα βαρέα υγρά (πίν. 4.1) μπορούν μεν να επαναχρησιμοποιηθούν, αλλά η παραγωγή τους έχει υψηλό κόστος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η χρήση τους να είναι περιορισμένη (Μαρτίνι, 2004).

Πίνακας 4.1: Συνήθη βαρέα υγρά (Σταμπολιάδης, 2008)

ΒΑΡΥ ΥΓΡΟ	Πυκνότητα (g/cm^3)
Τετραβρωμιούχος ασετυλίνη (CHBr_3)	2.90
Διάλυμα Thoulet	3.20
Ιωδιούχο μεθυλένιο (CH_2I_2)	3.32
Διάλυμα Clerici	4.50
Τετραχλωράνθρακας	1.59
Τετραβρωμοαιθάνιο	2.96
Βρωμοαιθάνιο	2.89

4.3.2 Εργαστηριακή Μέθοδος των Βαρέων Υγρών:

Εάν σε ένα υγρό με πυκνότητα ρ_{ν} προσθέσουμε κόκκους δύο ορυκτών α και β με αντίστοιχες πυκνότητες $\rho_{\alpha} < \rho_{\nu}$ και $\rho_{\nu} < \rho_{\beta}$, τότε οι κόκκοι του ορυκτού α θα επιπλεύσουν (float), ενώ αυτοί του ορυκτού β θα βυθιστούν (sink). Με τον τρόπο αυτό μπορεί κανείς να χωρίσει εύκολα τα ορυκτά α και β . Τα ορυκτά έχουν πυκνότητες αρκετά μεγαλύτερες από το νερό και, για το λόγο αυτό, ένα υγρό που έχει ενδιάμεση πυκνότητα μεταξύ δύο ορυκτών, ονομάζεται βαρύ υγρό. Τα προς χρήση στο εργαστήριο βαρέα υγρά είναι οργανικά υγρά ή ακόμη υδατικά διαλύματα ευδιάλυτων αλάτων βαρέων μετάλλων, όπως του βολφραμίου W. Η μέθοδος των βαρέων υγρών είναι μία καθαρά βαρυτομετρική μέθοδος. Επειδή τα οργανικά υγρά είναι αναμίξιμα, μπορεί κανείς, χρησιμοποιώντας δύο από αυτά, να φτιάξει οποιαδήποτε ενδιάμεση πυκνότητα. Η πυκνότητα των υδατικών διαλυμάτων ευδιάλυτων αλάτων μεταβάλλεται ανάλογα με την περιεκτικότητα του άλατος στο διάλυμα, η οποία δεν μπορεί να υπερβεί τη συγκέντρωση κορεσμού. Τα βαρέα υγρά χρησιμοποιούνται στο εργαστήριο για να διαχωρίσουν όχι μόνο ελεύθερους κόκκους δύο ορυκτών, αλλά και σύμμεικτους κόκκους με διαφορετικά ποσοστά συμμετοχής της κάθε ορυκτολογικής φάσης. Για την πειραματική διαδικασία του βαρυτομετρικού διαχωρισμού της συγκεκριμένης εργασίας το μείγμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν τετραβρωμοαιθάνιο ($C_2H_2Br_4$) αραιωμένο με White Spirit, που αποτελεί ένα διάφανο διαλύτη με πολύ μικρή διαλυτότητα στο νερό, και είναι μείγμα κορεσμένων αλιφατικών και αλικυκλικών C_7 - C_{12} υδρογονανθράκων. Με αυτόν τον τρόπο καταφέραμε να μειώσουμε την πυκνότητα του τετραβρωμοαιθανίου στα 2.85 gr/cm^3 . Ανεξαρτήτως του τρόπου παρασκευής τους, τα βαρέα υγρά είναι ομοιογενείς υγρές φάσεις και διατηρούν την πυκνότητά τους σταθερή για αρκετό χρόνο, πράγμα που επιτρέπει σχολαστική εργαστηριακή εργασία. Η πυκνότητα των βαρέων υγρών αλλάζει πολύ αργά, λόγω εξατμίσεως των φάσεων που τα απαρτίζουν ([Σταμπολιάδης 2008](#)).

4.3.3 Θεωρητικό υπόβαθρο της μεθόδου του μαγνητικού διαχωρισμού

Μαγνητικός διαχωρισμός είναι η μέθοδος εμπλουτισμού, η οποία εκμεταλλεύεται τη διαφορά στις μαγνητικές ιδιότητες των ορυκτών. Εφαρμόζεται με σκοπό τον διαχωρισμό των ορυκτών με μαγνητικές ιδιότητες, από τα μη μαγνητικά ορυκτά. Όλα τα υλικά αντιδρούν με κάποιο τρόπο όταν βρεθούν σε ένα μαγνητικό πεδίο, μόνο που σε μερικά η αντίδραση αυτή είναι τόσο μικρή, που δεν μπορεί πρακτικά να προσδιοριστεί. Τα υλικά χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, ανάλογα με το εάν έλκονται ή απωθούνται από το μαγνητικό πεδίο.

Διαμαγνητικά

Ονομάζονται τα υλικά, που απωθούνται από τις γραμμές ενός μαγνητικού πεδίου και οδεύουν προς τα σημεία, όπου η ένταση του πεδίου εξασθενεί.

Παραμαγνητικά

Ονομάζονται τα υλικά, που έλκονται από τις γραμμές ενός μαγνητικού πεδίου και οδεύουν προς τα σημεία, όπου η ένταση του πεδίου αυξάνει. Οι ασκούμενες δυνάμεις είναι, κατά κανόνα, πολύ μικρές και τα διαμαγνητικά υλικά, πρακτικά, δεν επηρεάζονται από τον μαγνητικό διαχωρισμό. Πολλά παραμαγνητικά υλικά μπορούν να εμπλουτισθούν με μαγνητικούς διαχωριστές υψηλής έντασης. Παραδείγματα παραμαγνητικών ορυκτών, που εμπλουτίζονται βιομηχανικά με μαγνητικό διαχωρισμό είναι ο ιλμενίτης (FeTiO_3), το ρουτίλιο (TiO_2), ο αιματίτης (Fe_2O_3), ο σιδηρίτης (FeCO_3), ο χρωμίτης (FeCr_2O_4) κ.ά

Σιδηρομαγνητικά

Είναι μία κατηγορία παραμαγνητικών υλικών, που η δύναμη έλξης τους από τα μαγνητικά πεδία είναι πολύ μεγάλη σε σύγκριση με τα υπόλοιπα παραμαγνητικά υλικά. Τα σιδηρομαγνητικά υλικά είναι πολύ επιδεκτικά στις μαγνητικές δυνάμεις και πολλά απ' αυτά παραμένουν μαγνητισμένα, όταν απομακρύνονται από το μαγνητικό πεδίο. Τα υλικά αυτά μπορούν να εμπλουτισθούν εύκολα με μαγνητικούς διαχωριστές χαμηλής έντασης. Το κυριότερο σιδηρομαγνητικό ορυκτό είναι ο μαγνητίτης (Fe_3O_4). Πολλές φορές είναι δυνατόν ορυκτά μη μαγνητικά ή ελάχιστα μαγνητικά να μετατραπούν σε ισχυρώς μαγνητικά μέσω κάποιας διαδικασίας, όπως είναι η φρύξη. Έτσι, τα παραμαγνητικά ορυκτά σιδηρίτης και αιματίτης μπορούν να μετατραπούν σε μαγνητίτη μετά από οξειδωτική και αναγωγική φρύξη αντίστοιχα, ενώ ο σιδηροπυρίτης (FeS_2) ενδέχεται να μετατραπεί σε μαγνητικό πυρροτίτη (FeS) μετά από οξειδωτική φρύξη ([Σταμπολιάδης 2008](#)).

Όσον αφορά στο μελετώμενο μέταλλευμα, ο σίδηρος και το νικέλιο ανήκουν στα σιδηρομαγνητικά υλικά. Επομένως, μαγνητική συμπεριφορά στο μέταλλευμα εμφανίζουν τα ορυκτά που περιέχουν σίδηρο, δηλαδή ο αιματίτης (Fe_2O_3), ο γκαιτίτης ($\text{FeO}\cdot\text{OH}$), καθώς και ο χρωμίτης [$(\text{Fe},\text{Mg})\text{Cr}_2\text{O}_4$]. Στα μη μαγνητικά ανήκουν ο χαλαζίας (SiO_2), ο σερπεντίνης [$\text{Mg}_6(\text{OH})_8\text{Si}_4\text{O}_{10}$] και ο ασβεστίτης (CaCO_3). Κατά τη διαδικασία εμπλουτισμού με τη χρήση του μαγνητικού διαχωρισμού το ποσοστό του μαγνητικού συστατικού καθορίζει τη μαγνητική ιδιότητα κάθε ενδιάμεσου κλάσματος. Ακόμη, η ένταση του μαγνητικού πεδίου καθορίζει την καθαρότητα του συμπυκνώματος ή την ανάκτηση σε χρήσιμο μέταλλο. Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται για το μαγνητικό διαχωρισμό καλούνται μαγνητικοί διαχωριστές και υπάρχουν διάφοροι τύποι αυτών.

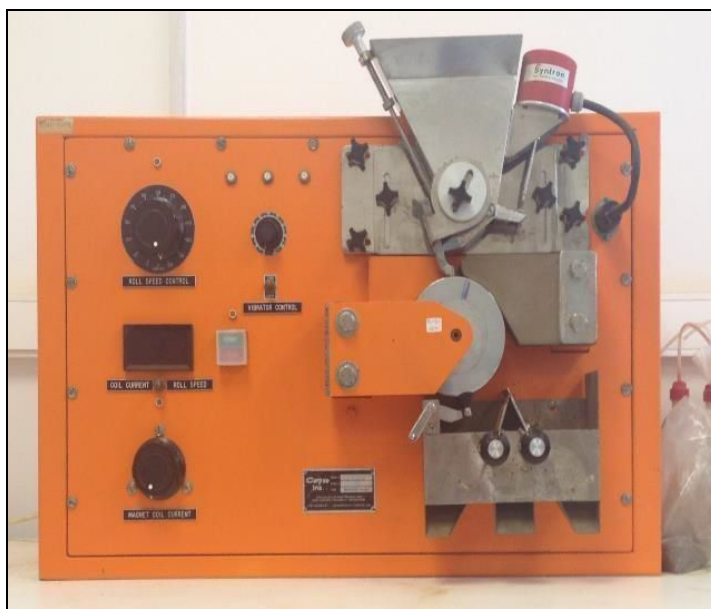
4.3.4 Είδη Μαγνητικού Διαχωρισμού

Οι μαγνητικοί διαχωριστές χωρίζονται σε διαχωριστές χαμηλής ή υψηλής έντασης, ανάλογα με το πεδίο που δημιουργούν. Χωρίζονται, ακόμη, σε υγρούς και ξηρούς μαγνητικούς διαχωριστές. Στους ξηρούς μαγνητικούς διαχωριστές το τροφοδοτούμενο μέταλλευμα είναι ξηρό ή σχεδόν ξηρό, ενώ στους υγρούς μαγνητικούς διαχωριστές η τροφοδοσία του μεταλλεύματος γίνεται υπό μορφή πολφού.

Ανεξάρτητα από τον τύπο των μαγνητικών διαχωριστών, υπάρχουν ορισμένα χαρακτηριστικά της σχεδιάσής τους που είναι κοινά για όλους. Καταρχήν, πρέπει να δημιουργείται ένα μαγνητικό πεδίο σ' ένα χώρο, μέσω του οποίου να διέρχεται το υλικό. Όσο μεγαλύτερος είναι ο χώρος αυτός, τόσο δυσκολότερο είναι να δημιουργηθεί πεδίο υψηλής έντασης ([Σταμπολιάδης 2008](#)).



Εικόνα 4.1: ταινιοφόρος μαγνητικός διαχωριστής (Perm Roll).



Εικόνα 4.2: Ξηρός μαγνητικός διαχωριστής υψηλής έντασης (high intensity induced magnetic separator Carpco MIH 111-5)

4.3.5 Διαχωρισμός Αργιλικού Κλάσματος με Φυγοκέντρωση

Η αρχή του εμπλουτισμού μεταλλεύματος στηρίζεται στον διαχωρισμό των κλασμάτων ενός υλικού πλούσιου στα συστατικά ενδιαφέροντος και υλικών φτωχών στα ίδια συστατικά. Σε λατερίτες, είναι σημαντικό να διαχωρισθούν τα αργιλικά ορυκτά και να μελετηθούν ξεχωριστά, ώστε να γίνει κατανοητό το είδος της ορυκτολογίας τους και τα χημικά τους χαρακτηριστικά. Αυτό επιτυγχάνεται με επιλογή των δειγμάτων που ήδη χαρακτηρίζονται από μεγάλες συγκεντρώσεις σε αργιλικά ορυκτά και η μελέτη τους γίνεται ξεχωριστά. Σε αυτά τα δείγματα πρέπει να επιτευχθεί αραίωση και φυγοκέντρωση σε δοκιμαστικό σωλήνα για μερικά λεπτά, ώστε το αργιλικό μέρος του διαλύματος να επιπλεύσει στην επιφάνεια του διαλύματος. Το αργιλικό αυτό μέρος συλλέγεται και τοποθετείται σε ειδικά γυαλάκια. Τα γυαλάκια αυτά με το αργιλικό κλάσμα του δείγματος ξεραίνονται στον αέρα ώστε να μελετηθεί ορυκτολογικά το αργιλικό κλάσμα, ενώ στη συνέχεια γίνεται κορεσμός με γλυκόλη ώστε από την διαφοροποίηση των ακτινοδιαγραμμάτων να καθοριστούν οι ορυκτολογικές φάσεις που βρίσκονται στο αργιλικό κλάσμα (Hosterman J.W., 1969).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο - ΤΟ ΛΑΤΕΡΙΤΙΚΟ ΚΟΙΤΑΣΜΑ ΤΟΥ MAMEZ

5.1 Γεωλογία της Περιοχής Mamez

Η περιοχή Mamez βρίσκεται στη βορειοανατολική Αλβανία, ανήκει στην ευρύτερη περιοχή Has-Kukes-Lure και κατά συνέπεια στη βόρεια νικελιούχο μεταλλοφορία της ενότητας Mirdita, ενώ φιλοξενεί ένα λατεριτικό φλοιό αποσάθρωσης πλούσιο σε νικέλιο, ο οποίος αποτελεί και το αντικείμενο μελέτης αυτής της εργασίας. Τα πετρώματα της περιοχής Mamez, ανήκουν στην ενότητα της Mirdita και πιο συγκεκριμένα στους Ανατολικούς Οφιολίθους της Μίρδιτα (AOM), όπως φαίνεται από τον χάρτη των [Dilek.et.al 2005](#) στην εικόνα 3.2.

Οι λιθολογίες που εμφανίζονται στην ευρύτερη περιοχή όπως φαίνεται στον χάρτη της εικόνας 5.1, είναι κατά βάση ιζηματογενή πετρώματα ανθρακικής σύστασης, κροκαλοπαγή και πυριτικά πετρώματα του Κρητιδικού και του Ιουρασικού, μεταμορφωμένα πετρώματα (Αμφιβολίτες, Παραγνεύσιοι του Μ. Ιουρασικού), υπερβασικά πετρώματα (Δουνίτες, Χαρτσβουργίτες, Πυροξενίτες) και βασικά πετρώματα (Γάββροι, Νορίτες, Διορίτες, Πλαγιογρανίτες). Εμφανίζεται ακόμη μία σειρά από βασικής σύστασης ηφαιστειακά πετρώματα του Τριαδικού. Οι παραπάνω σχηματισμοί είναι τμήματα του οφιολιθικού συμπλέγματος των Ανατολικών Οφιολίθων της Μίρδιτα (AOM). Στην περιοχή ακόμη εμφανίζεται ένας σχηματισμός τύπου μελάνζ του ανωτέρου Ιουρασικού, ενώ σε ασυμφωνία υπερκαλύπτουν την ενότητα, κλαστικά ιζήματα του τεταρτογενούς.

5.2 Χαρτογράφηση - Δειγματοληψία του Κοιτάσματος

Η χαρτογράφηση του κοιτάσματος πραγματοποιήθηκε από την εταιρία Proton, περιλαμβάνει την έκταση του λατεριτικού σώματος και την επαφή του με τα περιβάλλοντα πετρώματα, το Δουνίτη και τους Κρητιδικούς Ασβεστόλιθους. Ο λατερίτης έχει σημαντική επιφανειακή εξάπλωση, με μήκος περίπου 3 χιλιομέτρων και πλάτος εμφάνισης αρκετές δεκάδες μέτρα, όπως φαίνεται και στον χάρτη της εικόνας 5.2 (κόκκινο χρώμα). Κατά κύριο λόγο η εμφάνιση του λατεριτικού σώματος περιορίζεται στην επαφή του Δουνίτη και των Ασβεστολίθων, ενώ διακρίνονται και κάποιες ξεχωριστές εμφανίσεις του στην επιφάνεια του Δουνίτη, χωρίς κάλυμμα Ασβεστολίθων. Ρήγματα έχουν ανά περιπτώσεις μετατοπίσει τη συνέχεια του κοιτάσματος κατά δεκάδες μέτρα, ενώ το ανάγλυφο φαίνεται να είναι ιδιαίτερα έντονο. Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε με συλλογή δειγμάτων χειρός από τους ξεχωριστούς ορίζοντες του λατεριτικού φλοιού. Συλλέχθηκαν 10 αρχικά δείγματα από τους διάφορους ορίζοντες του λατερίτη. Από τον ανώτερο λειμωνιτικό ορίζοντα, συλλέχθηκαν τα δείγματα 528, 522, 521 και 520. Από τον αργιλικό ορίζοντα συλλέχθηκαν τα δείγματα 518 και 519, ενώ από τον κατώτερο σαπρολιτικό ορίζοντα συλλέχθηκαν τα δείγματα 523, 524, 525, 526 και 527.

Πίνακας 5.1 Χημικές Αναλύσεις Αρχικών Δειγμάτων Πεδίου

Αρχικά Δείγματα	Fe ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	CaO (%)	MnO (%)	K ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	NiO (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	CoO (%)	LOI (%)	SUM (%)
528	57.372	17.651	3.462	1.464	0.23	0.563	0.081	0.675	0.925	12.15	0.128	5.46	100.16
522	47.897	25.033	2.62	2.788	0.359	1.587	0.097	0.582	1.436	11.135	0.105	6.57	100.21
521	56.449	17.719	2.414	2.559	0.34	1.054	0.07	0.569	1.243	10.208	0.126	6.87	99.62
520	48.036	26.138	0.522	4.915	0.571	1.046	0.046	0.472	1.42	9.9	0.111	6.64	99.82
519	9.784	66.737	1.046	12.273	0.201	0.168	0.058	0.136	0.937	0.568	0.036	7.86	99.8
518	10.274	59.241	0.656	23.225	0.033	0.158	0.075	0.092	0.445	0.194	0.033	5.27	99.7
523	20.219	42.496	1.346	18.492	0.48	0.63	0.05	0.264	2.208	1.108	0.043	13.05	100.39
524	20.731	42.281	0.336	18.806	0.37	0.691	0.028	0.243	2.382	1.352	0.009	12.85	100.08
525	11.864	36.482	1.383	13.582	12.908	0.26	0.083	0.1	0.828	0.524	0.023	21.88	99.92
526	18.613	43.74	2.479	15.841	0.515	0.645	0.159	0.27	1.85	1.098	0.041	14.84	100.09
527	18.986	44.011	1.039	20.61	0.212	0.188	0.048	0.23	1.861	0.712	0.041	12.31	100.25

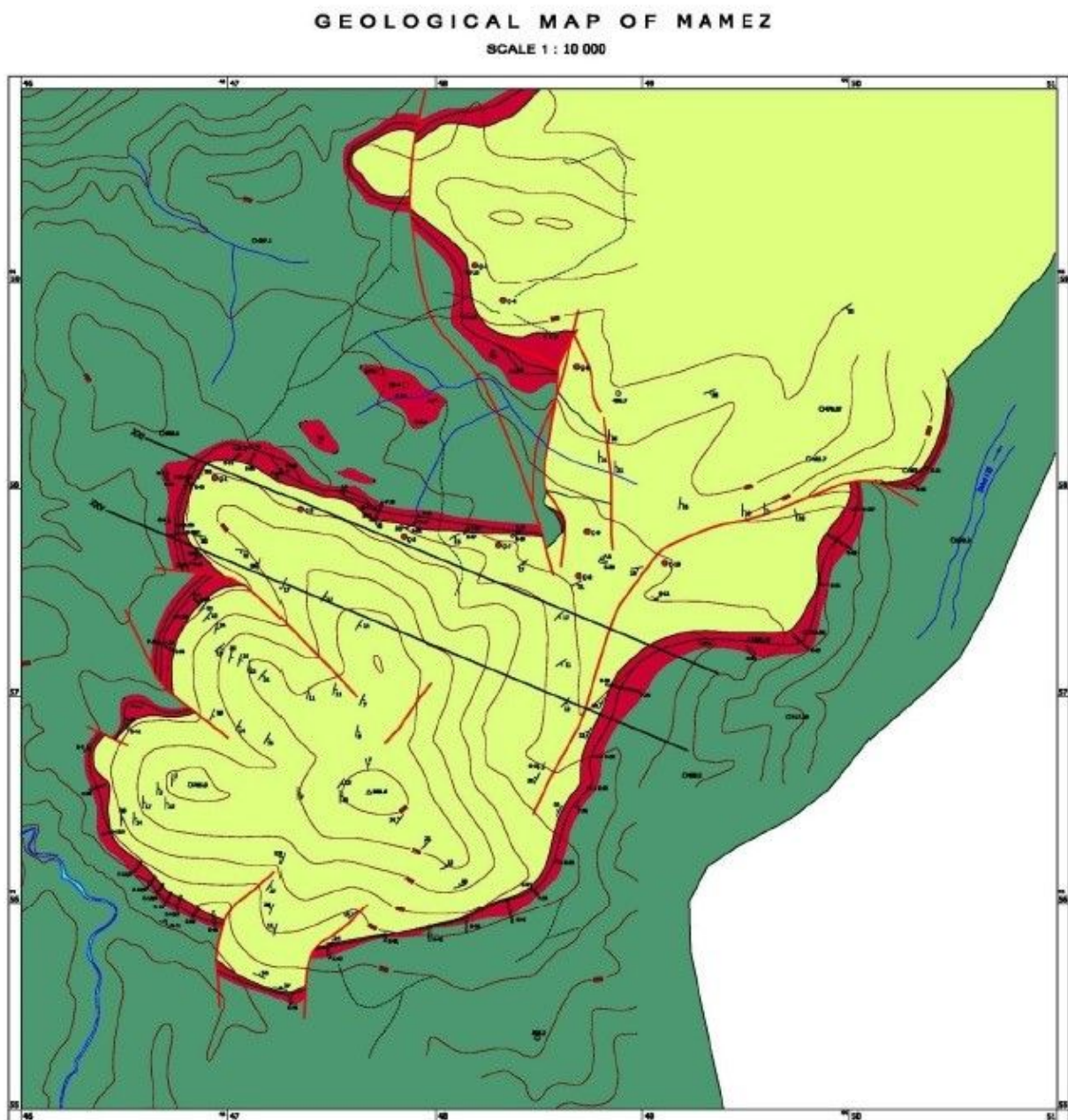
5.3 Χαρακτηριστικά του Λατερίτη του Mamez

Ο λατερίτης του Mamez, αποτελεί ένα νικελιούχο λατεριτικό κοίτασμα, με γαρνιεριτικό-πυριτονικελιούχο μετάλλευμα της τάξης του 1.19% κ.β. ενώ εμφανίζονται και υψηλά ποσοστά Fe και Cr.

Το πάχος του λατεριτικού σώματος είναι περίπου 15m και χωρίζεται σε τρεις διακριτούς ορίζοντες. Στη βάση του λατερίτη, σε επαφή με το αναλλοίωτο υπερβασικό μητρικό πέτρωμα βρίσκεται ο ορίζοντας σαπρολίτη ο οποίος περιλαμβάνει φυλλοπυριτικά ορυκτά βιλλεμζείτη, λιζαρδίτη με το βιλλεμζείτη να αποτελεί το γαρνιεριτικό μετάλλευμα και ταυτόχρονα το συνδετικό υλικό μεταξύ των κόκκων, σμεκτίτη καθώς και μικρές ποσότητες χρωμίτη, αιματίτη και χαλαζία. Σε κάποιες περιπτώσεις εμφανίζεται και ασβεστίτης. Η περιεκτικότητα αυτού του ορίζοντα σε νικέλιο είναι της τάξης του 1.82%.

Ο λατερίτης περιλαμβάνει τρεις ξεχωριστούς ορίζοντες, πισολιθικό (ανώτερο), αργιλικό-Silcrete (ενδιάμεσο) και σαπρολιτικό (κατώτερο), ενώ υπέρκειται του μητρικού του πετρώματος (Δουνίτη) και υπόκειται Κρητιδικών Ασβεστολίθων και χερσαίων ιζημάτων του Τεταρτογενούς, στη μεγαλύτερη έκταση της εμφάνισής του.

Από ορυκτολογικής άποψης στο κοίτασμα εμφανίζονται είτε οξείδια μετάλλων: χρωμίτης, αιματίτης, ασβεστίτης, χαλαζίας, είτε φυλλοπυριτικά ορυκτά: τάλκης, βιλλεμζείτης, νοντρονίτης, λιζαρδίτης. Όπως φανέρωσαν οι μικροφωτογραφίες του μεταλλογραφικού μικροσκοπίου και η ανάλυση SEM - EDS, ο βιλλεμζείτης και τα άλλα φυλλοπυριτικά ορυκτά αποτελούν το συνδετικό υλικό του κοιτάσματος, ενώ ο αιματίτης ο χρωμίτης και ο χαλαζίας βρίσκονται με μορφή διάσπαρτων κόκκων συγκολλημένοι στο συνδετικό υλικό. Ο αιματίτης εμφανίζεται στο κοίτασμα, είτε με μορφή σφαιροειδών σωματιδίων, πελλοειδών με ρωγμές συρρίκνωσης, με μορφή κλαστικών κόκκων ή με μεταλλοφορία υπό μορφή φλεβών. Ο χρωμίτης κατά κύριο λόγο εμφανίζεται με τη μορφή κλαστικών κόκκων με κατακλαστικό ιστό, και ο χαλαζίας αποτελεί στις περισσότερες περιπτώσεις εγκλείσματα μέσα στους κόκκους του αιματίτη ή του χρωμίτη. Εμφανίζονται ακόμη σύνθετα σφαιροειδή από αιματίτη με εγκλείσματα χρωμίτη και χαλαζία. Το μετάλλευμα του κοιτάσματος είναι γαρνιεριτικό, με το Ni να περιέχεται στο φυλλοπυριτικό ορυκτό βιλλεμζείτης



Εικόνα 5.2. Γεωλογικός Χάρτης του Mamez. Κόκκινο χρώμα- Λατεριτικός Φλοιός Αποσάθρωσης, Πράσινο χρώμα- Δουνίτης, Κίτρινο χρώμα- Κρητιδικοί Ασβεστόλιθοι. Διακρίνονται ακόμα οι τομές που πραγματοποιήθηκαν κατά μήκος των πετρωμάτων σε διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ.

5.3.1 Ορυκτολογία του Κοιτάσματος του Mamez

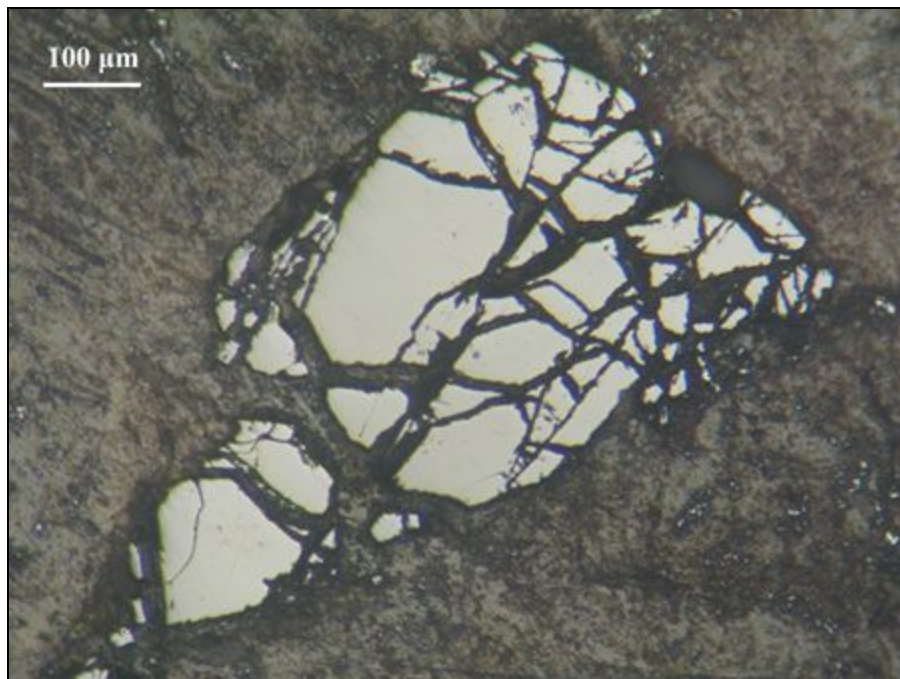
Όλα τα αρχικά δείγματα πεδίου μελετήθηκαν με την τεχνική XRD ώστε να εξακριβωθούν τα ορυκτολογικά τους χαρακτηριστικά. Με την τεχνική SEM-EDS μελετήθηκε το δείγμα 524 που ανήκει στον ορίζοντα σαπρόλιτη ενώ τα δείγματα 518, 519, 520, 521, 522, 524, 526, 528 εξετάστηκαν με μεταλλογραφικό μικροσκόπιο. Ορυκτά που παρατηρήθηκαν είναι: αιματίτης Fe_2O_3 , χρωμίτης $FeCr_2O_4$, χαλαζίας SiO_2 , νικελιούχος τάλκης (βιλλεμζεϊτης) - $(Ni,Mg)_3Si_4O_{10}(OH)_2$, λιζαρδίτης - $Mg_3(Si_2O_5)(OH)_4$, νοντρονίτης - $(CaO_{0.5},Na)_{0.3}Fe^{3+}_2(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2 \cdot nH_2O$ και σε κάποιες περιπτώσεις ασβεστίτης - $CaCO_3$ και τάλκης - $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$.

Στη βάση του κοιτάσματος παρατηρείται η μετάβαση του λατεριτικού φλοιού αποσάθρωσης με το αναλλοίωτο μητρικό δουνιτικό πέτρωμα. Υπεράνω του δουνιτικού σώματος βρίσκεται ο ορίζοντας σαπρόλιτη του λατεριτικού φλοιού αποσάθρωσης. Από τον ορίζοντα αυτόν έχουν ληφθεί τα δείγματα 523, 524, 525, 526 και 527. Τα ορυκτολογικά χαρακτηριστικά αυτών των δειγμάτων είναι κατά βάση αργιλικά ορυκτά, βιλλεμζεϊτης, λιζαρδίτης και νοντρονίτης, ενώ εμφανίζονται σημαντικά ποσοστά από κόκκους αιματίτη και χρωμίτη. Μετά από εξέταση μέσω της μεθόδου SEM-EDS στο δείγμα 525, φαίνεται πως το κύριο ορυκτολογικό συστατικό των δειγμάτων από τον ορίζοντα σαπρόλιτη είναι ο βιλλεμζεϊτης που μαζί με τον νοντρονίτη και τον λιζαρδίτη αποτελούν το συνδετικό υλικό μεταξύ των κόκκων του αιματίτη και του χρωμίτη (εικ.5.11). Οι συγκεντρώσεις του νικελίου στα εν λόγω δείγματα είναι της τάξης του 1.82% (πίνακας 5.1) που αποτελεί το γαρνιεριτικό μετάλλευμα του κοιτάσματος.

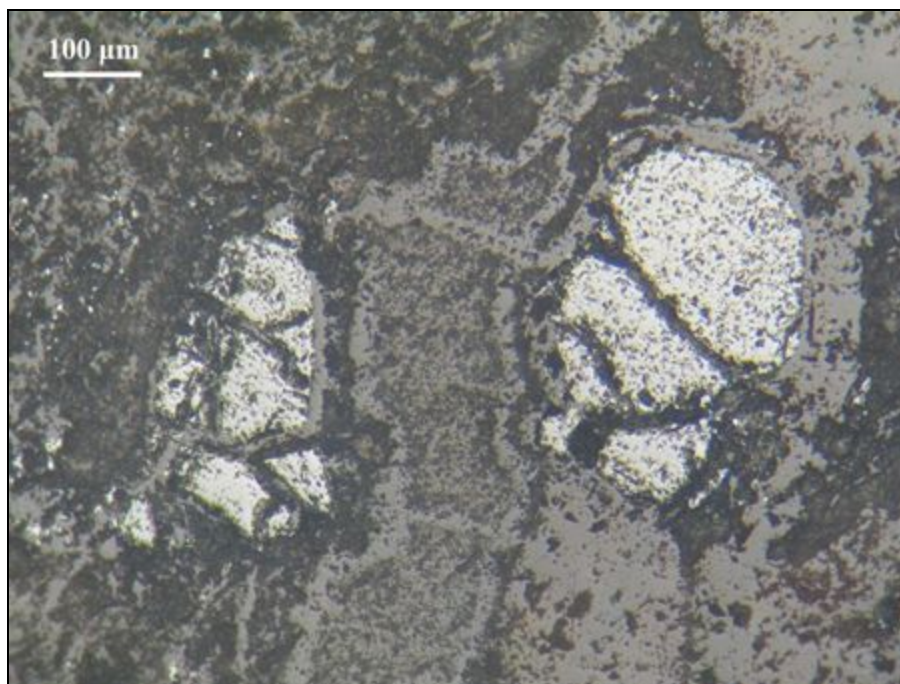
Πάνω από τον ορίζοντα του σαπρόλιτη εμφανίζεται ένας ορίζοντας πυριτικών ορυκτών κατά βάση αργίλων από το οποίο λήφθηκαν τα δείγματα 518 και 519. Το δείγμα 518 περιέχει κυρίως τάλκη και βιλλεμζεϊτη και σε μικρά ποσοστά αιματίτη και χρωμίτη σε διάσπαρτους κόκκους. Περιέχει υψηλά ποσοστά σε Mg και θεωρείται πως αποτελεί τον αργιλικό ορίζοντα του φλοιού αποσάθρωσης. Αντίστοιχα, ενώ το δείγμα 519 περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις σε αργιλικά ορυκτά, δεν περιέχει τάλκη αλλά εμφανίζονται πολύ υψηλά ποσοστά σε χαλαζία (περί το 50%). Αυτό μας οδηγεί στην υπόθεση πως ίσως πρόκειται για ψευδοστρώμα silcrete μέσα στη στρώση των αργιλικών ορυκτών.

Ο ανώτερος ορίζοντας του λατερίτη του Mamez είναι ο πισολιθικός ορίζοντας ο οποίος αντιπροσωπεύεται από τα δείγματα 528, 522, 521, 520. Η ακτινοσκοπική εξέταση στα δείγματα αυτά έδειξε υψηλές συγκεντρώσεις σε αιματίτη, χρωμίτη και χαλαζία και μικρά ποσοστά συνδετικού υλικού. Τα ποσοστά του νικελίου σε αυτόν τον ορίζοντα περιορίζονται σε περιεκτικότητα της τάξης του 1.25%.

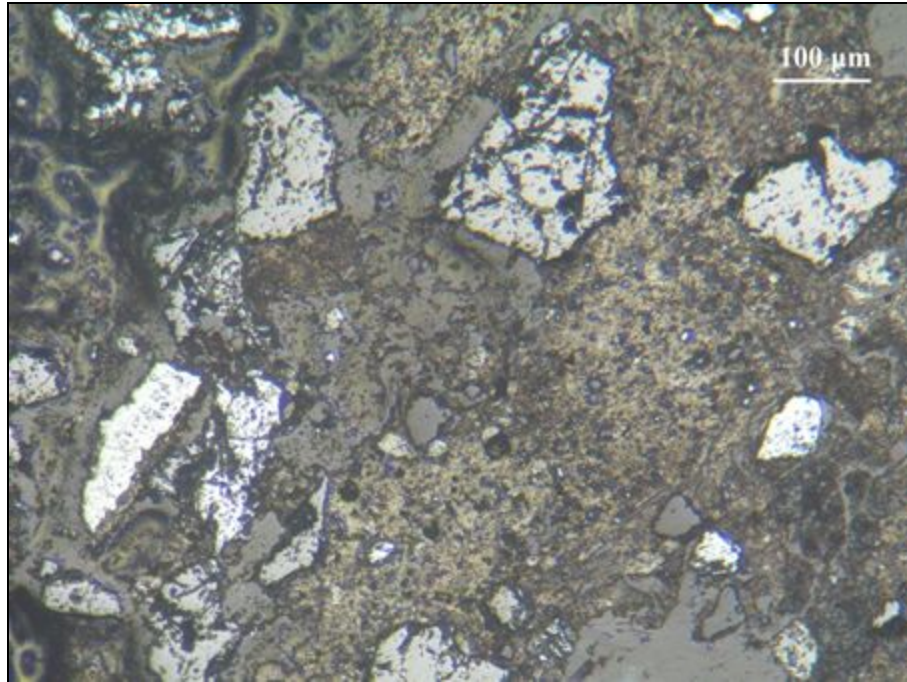
5.3.2 Μικροφωτογραφίες του Κοιτάσματος του Mamez



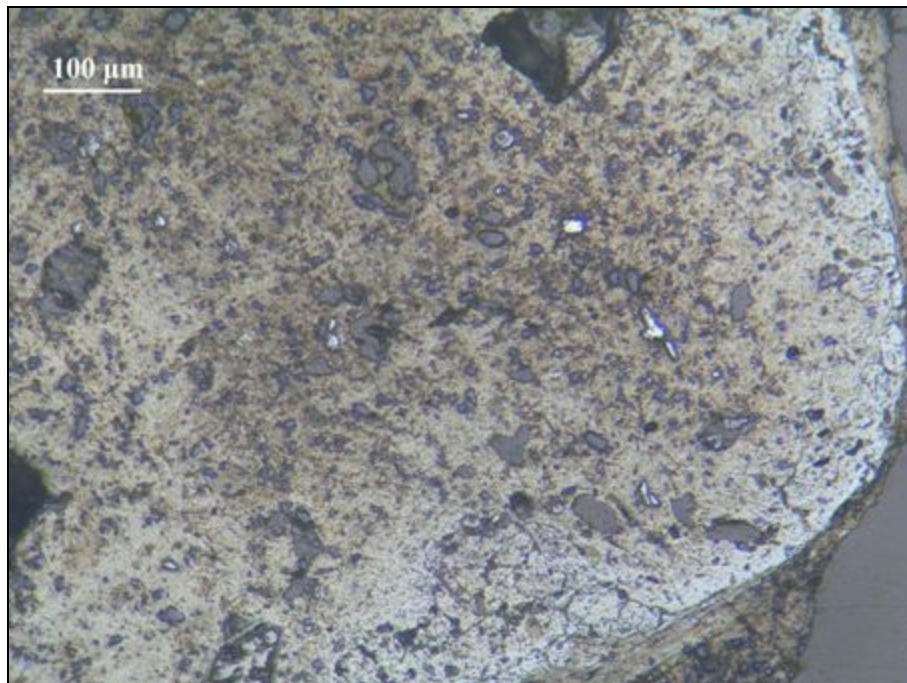
Εικόνα 5.3 Κλαστικός Κόκκος Χρωμίτη (κατακλαστικός ιστός). Δείγμα 518, Ανακλώμενο φως, //Nicols.



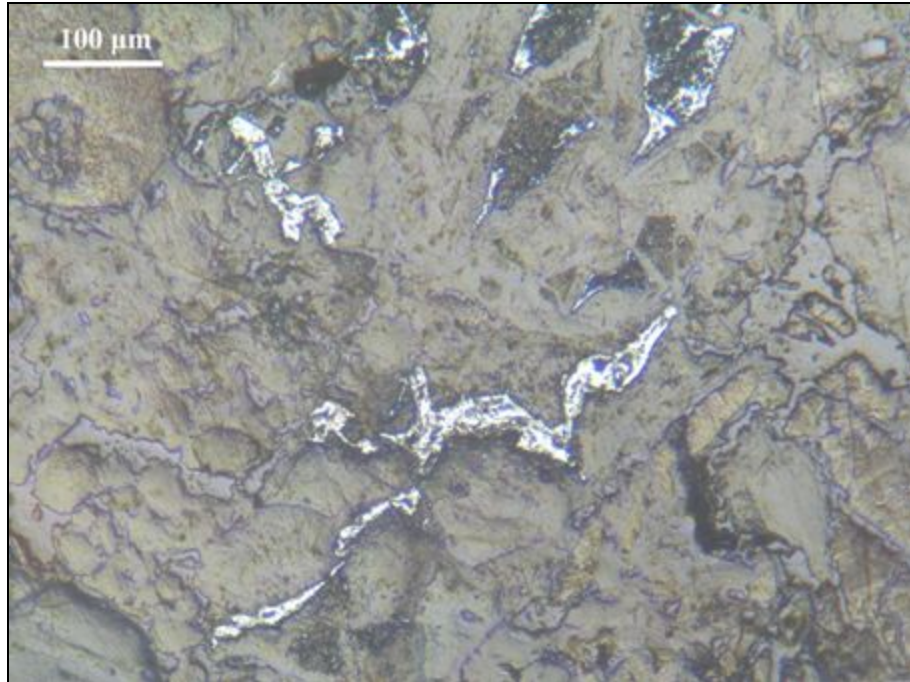
Εικόνα 5.4. Κλαστικοί κόκκοι αιματίτη μέσα σε πυριτικό συνδετικό υλικό. Δείγμα 519, Ανακλώμενο φως, //Nicols.



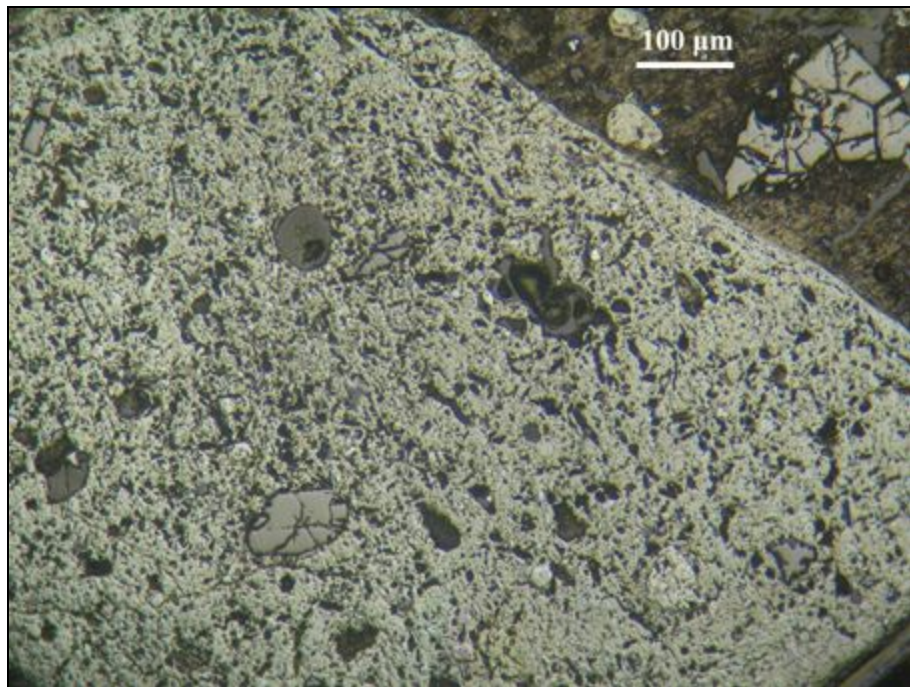
Εικόνα 5.5. Κλαστικοί κόκκοι χρωμίτη και αιματίτη μέσα σε πυριτικό συνδετικό υλικό. Δείγμα 520, Ανακλώμενο φως, //Nicols.



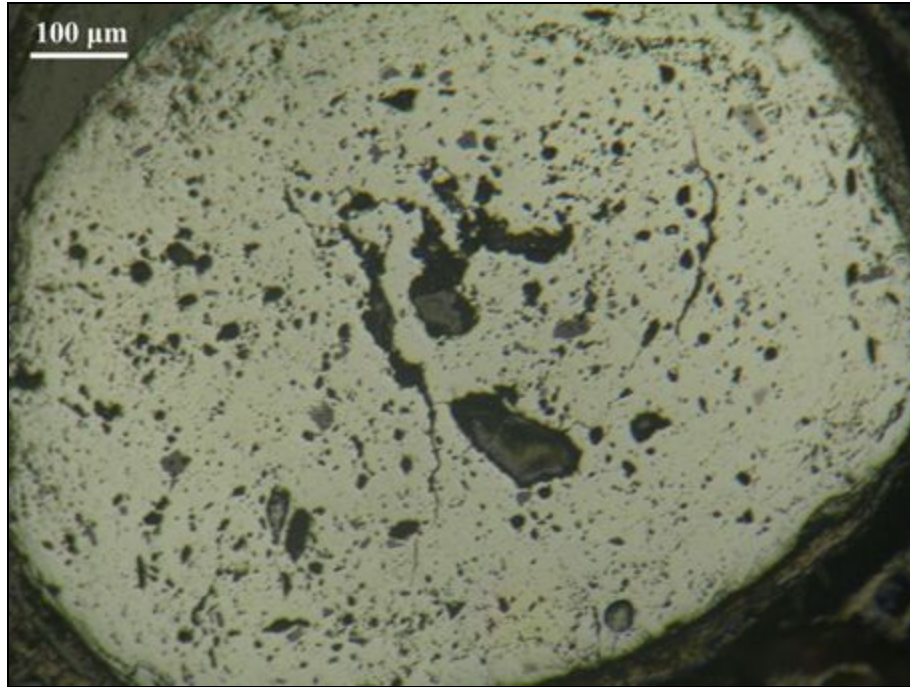
Εικόνα 5.6 .Σύνθετο σφαιροειδές από αιματίτη με εγκλείσματα χαλαζιακού υλικού. Δείγμα 521, Ανακλώμενο φως, //Nicols.



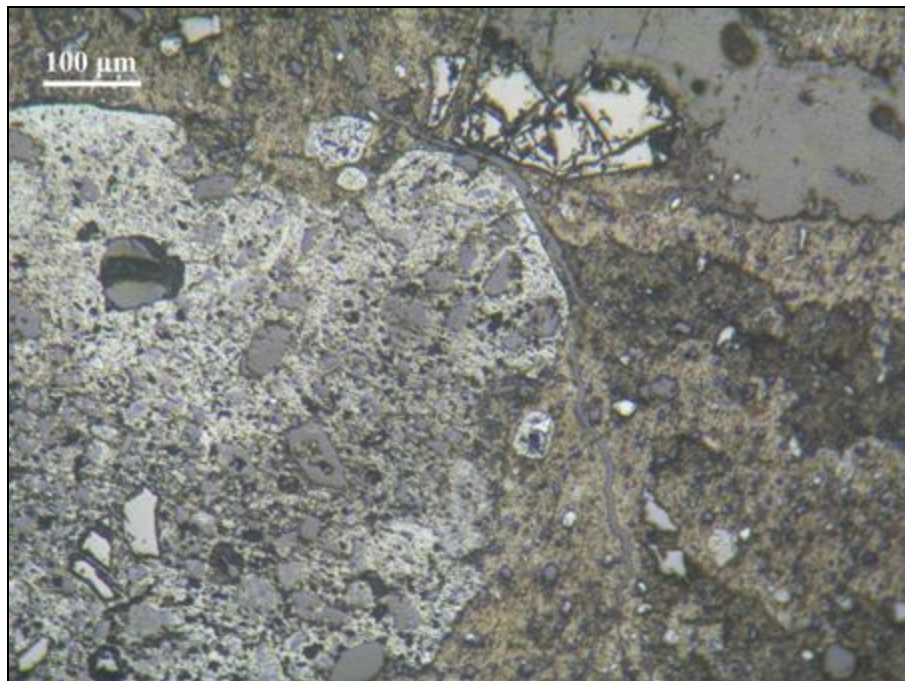
Εικόνα 5.7 Μεταλλοφορία από αιματίτη με μορφή φλεβών μέσα σε πυριτικό συνδετικό υλικό.
Δείγμα 524, Ανακλώμενο φως, //Nicols.



Εικόνα 5.8. Σύνθετο σφαιροειδές από αιματίτη με εγκλείσματα (χαλαζία και χρωμίτη) και κλαστικός κόκκος χρωμίτη. Δείγμα 528, Ανακλώμενο φως, //Nicols.



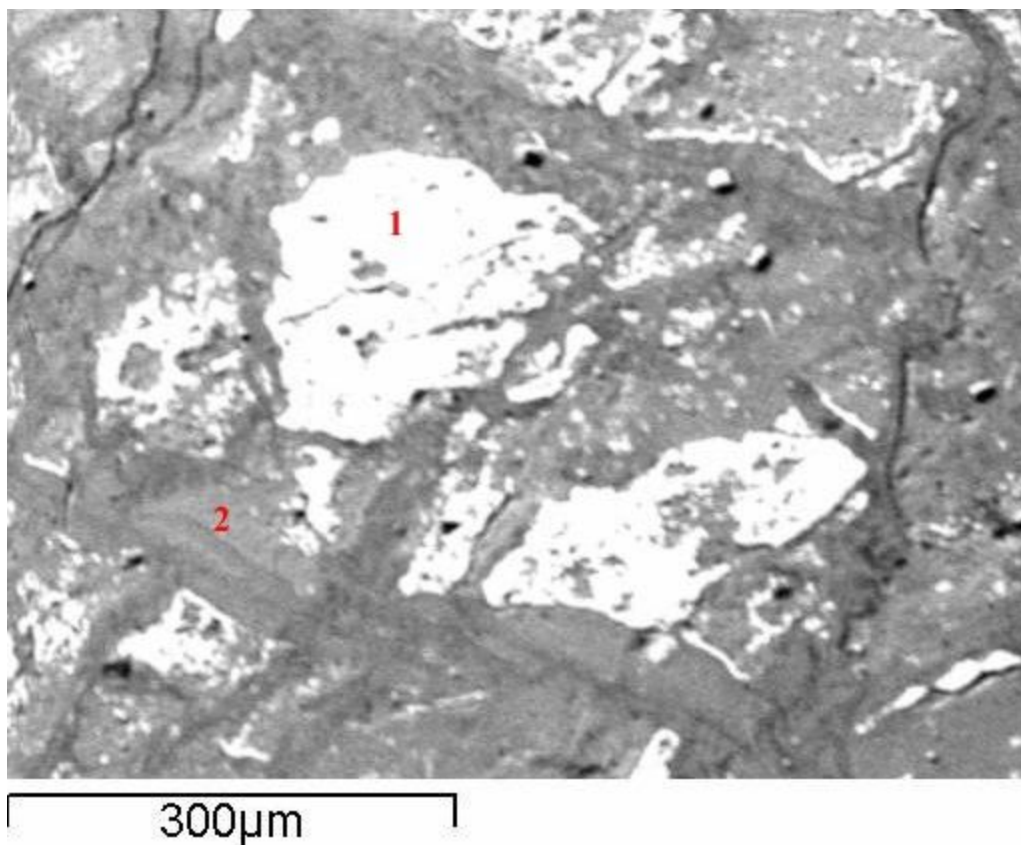
Εικόνα 5.9. Πελοειδές από αιματίτη με ρωγμές συρρίκνωσης. Δείγμα 528, Ανακλώμενο φως, //Nicols.



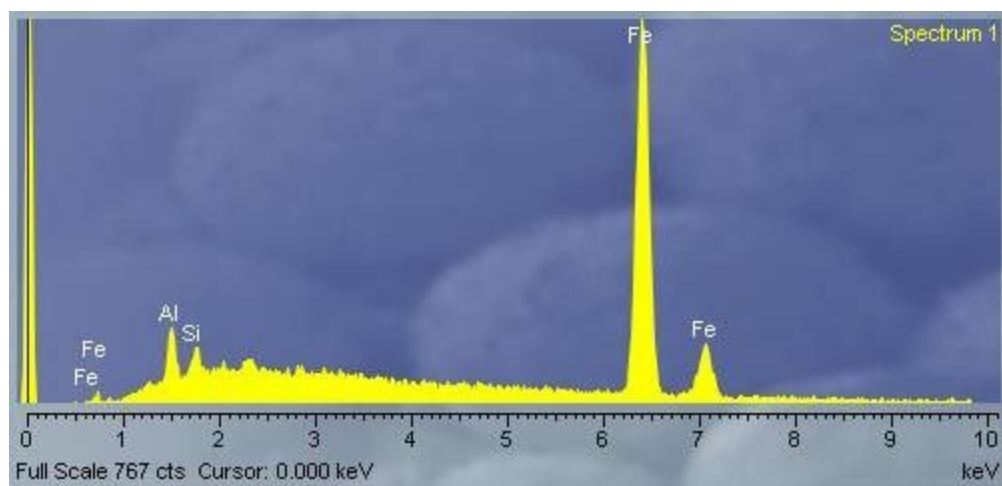
Εικόνα 5.10. Σύνθετο σφαιροειδές από αιματίτη με πληθώρα εγκλεισμάτων (χαλαζία και χρωμίτη) και κλαστικός κόκκος χρωμίτη. Δείγμα 528, Ανακλώμενο φως, //Nicols.

5.3.2.1 Ανάλυση SEM-EDS για το Κοίτασμα του Mamez

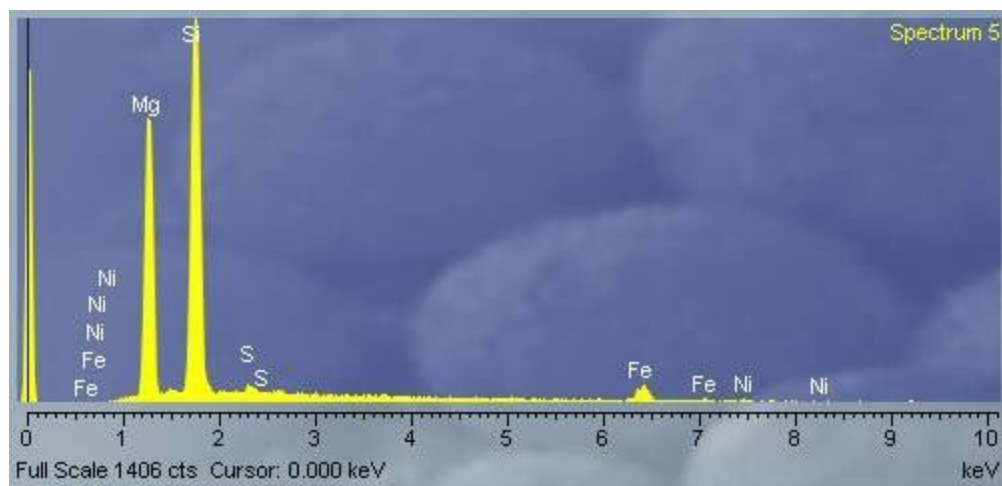
Το δείγμα 526, του κατώτερου σαπρολιτικού ορίζοντα του κοιτάσματος αναλύθηκε με την αναλυτική τεχνική SEM-EDS. Στην εικόνα 5.11 φαίνονται κόκκοι αιματίτη (1) σε πυριτικό συνδετικό υλικό (2), ενώ στις εικόνες 5.11.α και 5.11.β παρουσιάζεται η χημική ανάλυση των σημείων 1 και 2. Οι κόκκοι του αιματίτη είναι κλαστικοί και διάσπαρτοι στο πυριτικό υλικό. Η ανάλυση του σημείου (1) φανερώνει παρουσία Al στον αιματίτη. Όπως παρατηρούμε από τις αναλύσεις του σημείου (2) το συνδετικό υλικό περιέχει Si, Mg, Ni και Fe που αποδίδονται στην ύπαρξη βιλλεμζέιτη.



Εικόνα 5.11 Μικροφωτογραφία από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM) του σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος: (1) αιματίτης, (2) συνδετικό υλικό. Δείγμα 526.



Εικόνα 5.11.α: Στοιχειακή ανάλυση (EDS) κλαστικού κόκκινου αιματίτη (1).



Εικόνα 5.11.β: Στοιχειακή ανάλυση (EDS) συνθετικού υλικού (βιλλεμζιίτη) (2).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο- ΓΕΩΧΗΜΕΙΑ

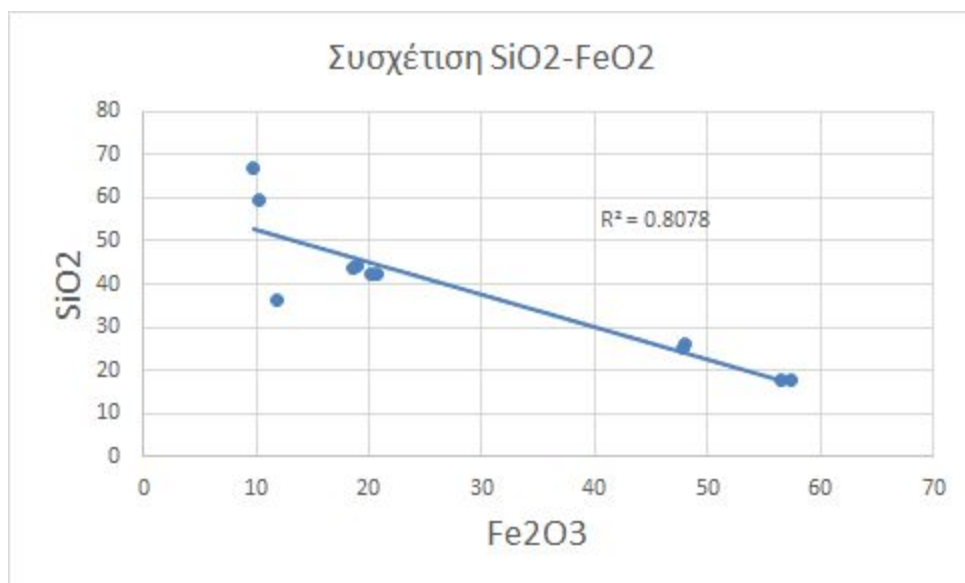
6.1 Συντελεστής Pearson

Το μέγεθος της στατιστικής σχέσης μεταξύ των ζευγών των παρατηρήσεων στη γεωχημεία φαίνεται από μια πληθώρα αριθμητικών μέτρων. Ένα από αυτά τα μέτρα είναι ο συντελεστής συσχέτισης Pearson (r). Ο συντελεστής αυτός είναι ένα αριθμητικό μέτρο που συσχετίζει δύο τιμές. Οι τιμές που περιλαμβάνει κυμαίνονται μεταξύ +1.00 και -1.00. Ένα θετικό πρόσημο σημαίνει θετική συσχέτιση που υποδηλώνει αύξηση των τιμών της μίας μεταβλητής αναλογικά με την αύξηση της αντίστοιχης της. Ένα αρνητικό πρόσημο σημαίνει πως οι τιμές της μίας μεταβλητής αυξάνονται όσο της αντίστοιχης της μειώνονται. Τέλος συντελεστής με τιμή 1.00 υποδηλώνει τέλεια συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών.

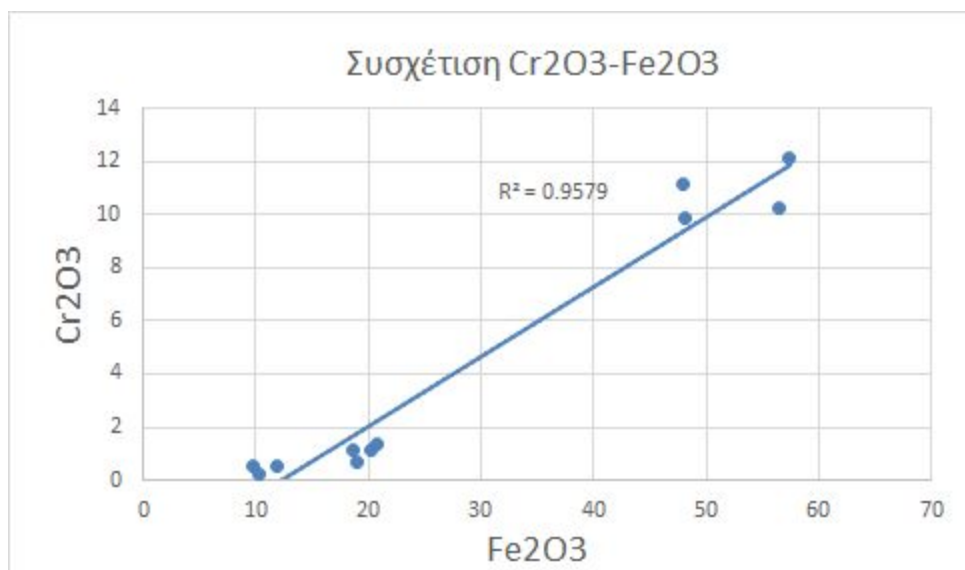
Στα αρχικά δείγματα που λήφθηκαν από τομή του λατεριτικού φλοιού αποσάθρωσης 'Mamez' μελετήθηκε η συσχέτιση των κύριων στοιχείων με τη βοήθεια του συντελεστή συσχέτισης Pearson (r) όπως παρουσιάζεται στο διάγραμμα 6.1 Με βάση τη συσχέτιση των κύριων στοιχείων μπορεί να γίνει μία υπόθεση για την κατανομή των κύριων στοιχείων στις ορυκτολογικές φάσεις που έδειξαν οι ακτινοσκοπικές αναλύσεις. Η υπόθεση είναι πως εφόσον ο συντελεστής ' r ' είναι θετικός τότε θα πρέπει τα στοιχεία να βρίσκονται σε ίδιες ή παρόμοιες ορυκτολογικές φάσεις, ενώ το αντίθετο θα ισχύει εάν ο συντελεστής ' r ' είναι αρνητικός. Σε αυτήν τη βάση θα πρέπει ακόμη να γίνει κατανοητό πως στο κοίτασμα του Mamez εμφανίζονται σε υψηλές συγκεντρώσεις και αποτελούν τις βασικές ορυκτολογικές φάσεις, δύο είδη ορυκτών. Αφενός τα οξειδία, κυρίως Fe και Cr, αιματίτη και χρωμίτη αντίστοιχα και είναι οι κύριοι φορείς για τα εν λόγω στοιχεία ενώ εμφανίζεται και ασβεστίτης και χαλαζίας. Έπειτα, τα φυλλοπυριτικά ορυκτά: λιζαρδίτης, βιλλεμζεϊτης και νοντρονίτης, τα οποία είναι φορείς του Si και του Mg και τα οποία λόγω της δομής τους και πιο συγκεκριμένα του φορτίου των στιβάδων τους έχουν τη δυνατότητα να αφομοιώσουν κατιόντα στο πλέγμα τους.

Πίνακας 6.1. Πίνακας Συσχέτισης Κύριων Χημικών Στοιχείων στα Αρχικά Δείγματα

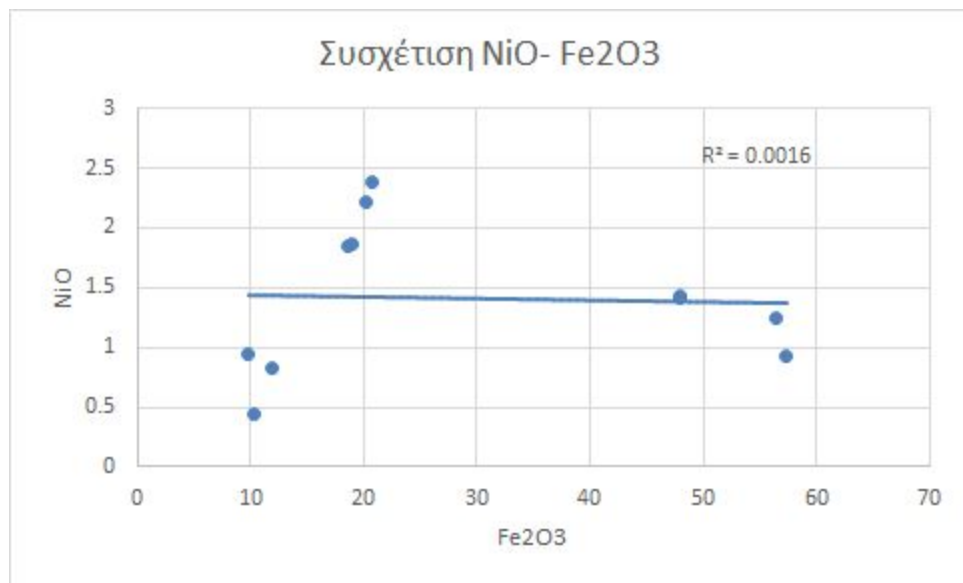
	Fe ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	CaO (%)	MnO (%)	K ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	NiO (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	CoO (%)
Fe ₂ O ₃ (%)	1.00										
SiO ₂ (%)	-0.90	1.00									
Al ₂ O ₃ (%)	0.59	-0.59	1.00								
MgO (%)	-0.88	0.77	-0.64	1.00							
CaO (%)	-0.29	-0.06	-0.06	0.04	1.00						
MnO (%)	0.74	-0.69	0.37	-0.67	-0.25	1.00					
K ₂ O (%)	0.01	-0.08	0.62	-0.14	0.11	0.14	1.00				
TiO ₂ (%)	0.98	-0.87	0.69	-0.87	-0.36	0.75	0.10	1.00			
NiO (%)	-0.04	-0.08	-0.16	0.24	-0.29	0.27	-0.18	0.04	1.00		
Cr ₂ O ₃ (%)	0.98	-0.85	0.60	-0.93	-0.25	0.75	0.05	0.96	-0.16	1.00	
CoO (%)	0.96	-0.80	0.62	-0.90	-0.29	0.65	0.10	0.93	-0.23	0.96	1.00



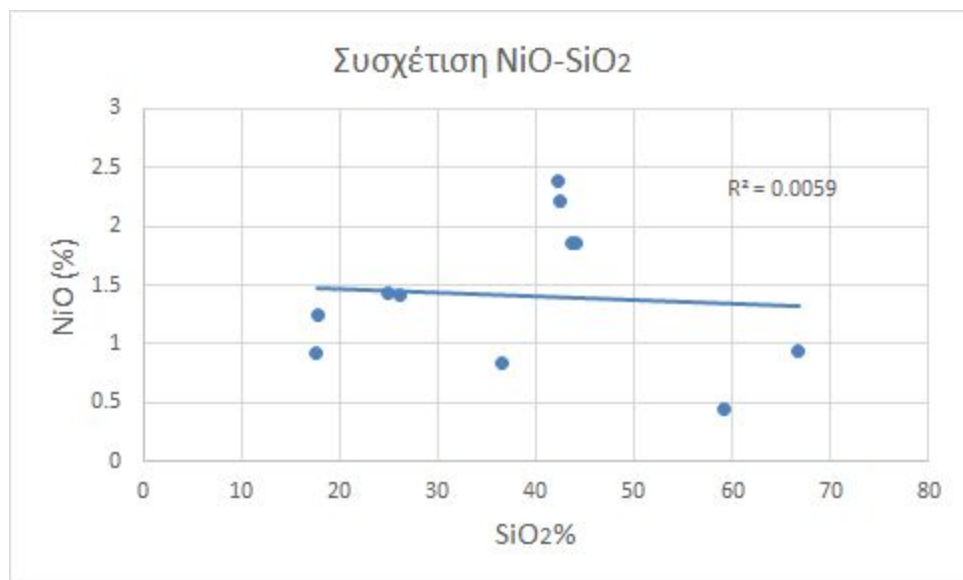
Σχήμα 6.1. Διάγραμμα Συσχέτισης SiO₂ - Fe₂O₃ στα Αρχικά Δείγματα



Σχήμα 6.2. Διάγραμμα Συσχέτισης Fe₂O₃-Cr₂O₃ στα Αρχικά Δείγματα



Σχήμα 6.3. Διάγραμμα Συσχέτισης NiO-Fe₂O₃ στα Αρχικά Δείγματα



Σχήμα 6.4. Διάγραμμα Συσχέτισης NiO-SiO₂ στα Αρχικά Δείγματα

Από τον πίνακα 6.1 γίνεται κατανοητό πως τα οξείδια Fe_2O_3 , K_2O , Cr_2O_3 , TiO_2 , Al_2O_3 , MnO , CoO εμφανίζουν θετικές συσχετίσεις μεταξύ τους και αρνητικές με τα οξείδια SiO_2 , MgO , NiO , CaO . Για παράδειγμα, το Fe_2O_3 έχει πολύ θετική συσχέτιση με το TiO_2 ($r=0.98$), με το Cr_2O_3 ($r=0.98$), με το CoO ($r=0.96$), ενώ έχει πολύ αρνητική συσχέτιση με το SiO_2 ($r=-0.90$) και με το MgO ($r=-0.88$).

Αντίστοιχα τα στοιχεία SiO_2 , MgO , NiO , CaO εμφανίζουν αρνητική συσχέτιση με τα Fe_2O_3 , K_2O , Cr_2O_3 , TiO_2 , Al_2O_3 , MnO , CoO , ενώ μεταξύ τους δεν εμφανίζουν πάντα θετικές συσχετίσεις. Για παράδειγμα, το SiO_2 έχει θετικό συντελεστή μόνο για το Mg ($r=0.77$) και αρνητικό για όλα τα άλλα οξείδια, ενώ το Ni έχει θετικό συντελεστή για τα MgO ($r=0.24$), MnO ($r=0.27$), μία μικρή θετική συσχέτιση με το TiO ($r=0.04$) και αρνητική με όλα τα υπόλοιπα.

Αυτή η παρατήρηση στη συσχέτιση των οξειδίων, μας οδηγεί στο συμπέρασμα πως τα Fe_2O_3 , K_2O , Cr_2O_3 , TiO_2 , Al_2O_3 , MnO , CoO θα πρέπει να βρίσκονται σε αντίστοιχα ή ίδια ορυκτά. Έρευνα για τα λατεριτικά κοιτάσματα του ελληνικού χώρου έδειξε παρουσία Mn σε χρωμίτες, ενώ η παρουσία Al και Ti , τόσο σε αιματίτες όσο και χρωμίτες είναι ιδιαίτερα συχνή με τη μορφή προσμίξεων (Michailidis et.al 1990). Εφόσον η συσχέτιση μεταξύ αυτών των στοιχείων είναι θετική μπορούμε να υποθέσουμε πως ο αιματίτης - Fe_2O_3 και ο χρωμίτης - $(\text{Fe,Mg})\text{Cr}_2\text{O}_4$ περιέχουν τις μεγαλύτερες ποσότητες Fe και Cr ενώ στο πλέγμα τους βρίσκονται και τα Ti , Al , Mn , Co , K , τουλάχιστον σε ένα ποσοστό τέτοιο, ώστε να δικαιολογεί τη θετική συσχέτιση που αναφέραμε.

Πέρα από τα οξείδια το κοίτασμα του Mamez περιλαμβάνει και φυλλοπυριτικά ορυκτά. Πιο συγκεκριμένα περιλαμβάνει τα: λιζαρδίτη - $\text{Mg}_3(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$, βιλλεμζέιτη - $(\text{Ni,Mg})_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ και νοντρονίτη - $(\text{CaO}_{0.5},\text{Na})_{0.3}\text{Fe}^{3+}_2(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, με τον τελευταίο να αποτελεί μέλος της ομάδας των σμεκτιτών. Από του χημικούς τύπους των φυλλοπυριτικών αυτών ορυκτών φαίνεται πως είναι φορείς των Mg , Si , Ca , Ni . Ακόμη, τα φυλλοπυριτικά ορυκτά ενδέχεται να δεσμεύουν κάποια κατιόντα στο πλέγμα τους, όπως το K ή τον Fe ανάμεσα στις στιβάδες της εσωτερικής τους δομής, αναλόγως το σθένος των ακραίων μελών των στιβάδων τους και το σθένος των κατιόντων που δεσμεύονται.

Με τις αναλυτικές τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτήν τη μελέτη δεν είναι εφικτό να γνωρίζουμε με ακρίβεια ούτε ποια στοιχεία περιλαμβάνονται στο πλέγμα των οξειδίων, ούτε αντίστοιχα ποια στοιχεία περιλαμβάνονται επακριβώς στο πλέγμα και στις στιβάδες των φυλλοπυριτικών ορυκτών.

Δεδομένης της συσχέτισης και όπως θα δούμε παρακάτω της κατανομής των στοιχείων σε εμπλουτισμένα κλάσματα, θεωρούμε πως ο βιλλεμζέιτης είναι ο κύριος φορέας του Ni , ενώ ενδέχεται το Ni να δεσμεύεται και από το Νοντρονίτη, ενώ το Co βρίσκεται είτε στον αιματίτη είτε στο χρωμίτη.

6.2 Κατανομή κύριων χημικών στοιχείων κατά μήκος της τομής του Λατεριτικού Φλοιού Αποσάθρωσης

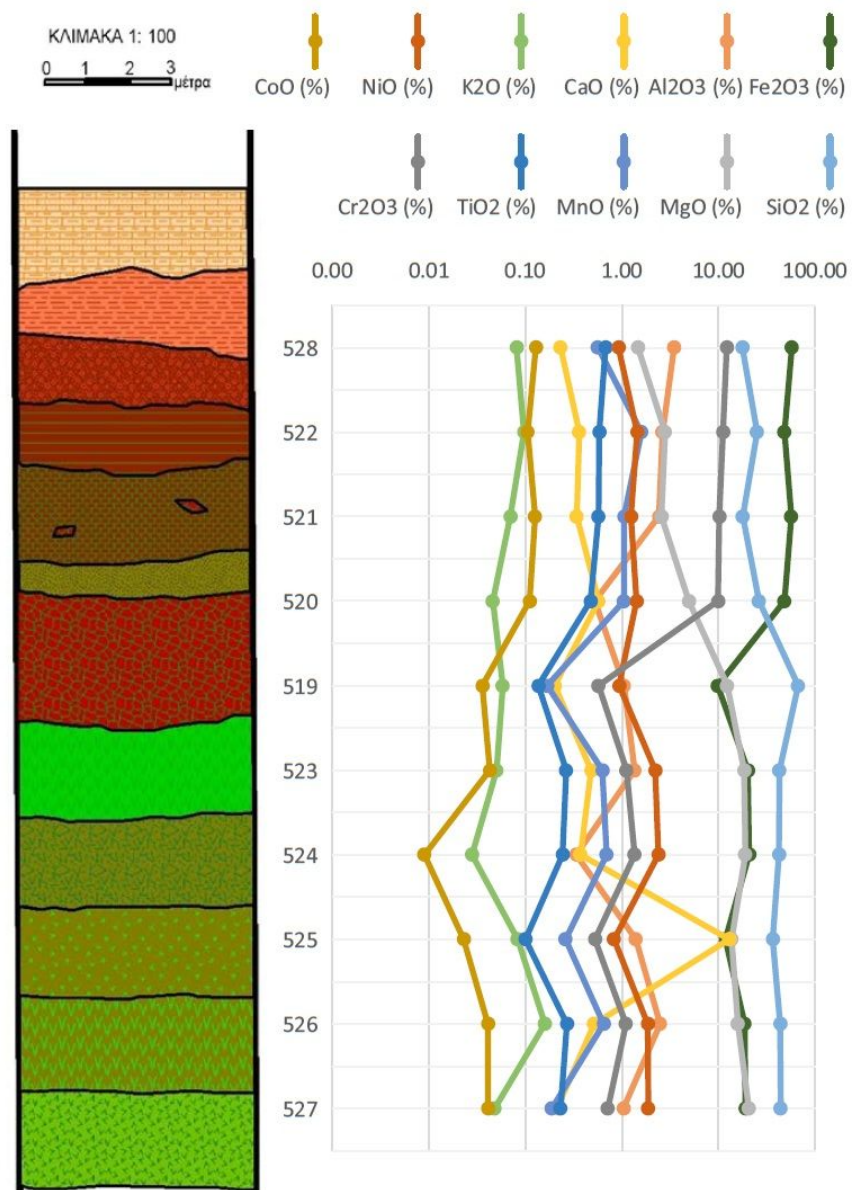
Η δειγματοληψία στο κοίτασμα του Mamez πραγματοποιήθηκε από όλους τους χαρακτηριστικούς ορίζοντες του κοιτάσματος, με εξαίρεση την οροφή του (νεογενή ιζήματα και Κρητιδικό Ασβεστόλιθοι) και του πατώματος (Δουνίτης). Οι χημικές αναλύσεις παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο στον πίνακα 5.1. Σε αυτό το κεφάλαιο εμφανίζονται οι κατανομές των χημικών στοιχείων κατά μήκος της τομής του λατεριτικού φλοιού αποσάθρωσης.

Τα δείγματα 518-528 συλλέχθηκαν από το λατερίτη του Mamez. Όπως φαίνεται στον πίνακα από τα δείγματα 528, 522, 521, 520 του λειμονιτικού ορίζοντα, εμφανίζονται υψηλά ποσοστά Fe, Cr, Mn, Ti, Co, Al και χαμηλά ποσοστά Si, Mg, Ca ενώ το Ni διατηρεί ενδιάμεσες τιμές.

Στην τομή εμφανίζεται το δείγμα 519 του αργιλικού ορίζοντα, ενώ λείπει το πλούσιο σε αργίλους δείγμα, 518. Στον ορίζοντα αυτό, φανερώνεται υψηλή συγκέντρωση Si και Mg ενώ τα υπόλοιπα μέταλλα, εμφανίζουν λιγότερο υψηλές τιμές.

Τέλος, στον κατώτερο ορίζοντα αυξάνονται οι τιμές του Mg, Si, Ca και του Ni ενώ για το δείγμα 525 εμφανίζεται και μία αύξηση του K.

Είναι ενδιαφέρον να παρατηρήσουμε την πορεία των κατανομών του CoO στους διάφορους ορίζοντες. Όπως φαίνεται στο σχήμα 6.2 οι κατανομές του CoO του Cr_2O_3 του MnO και του Fe_2O_3 ταυτίζονται σε μεγάλο βαθμό. Όπως είδαμε και από το συντελεστή Pearson στην προηγούμενη παράγραφο έτσι και από αυτήν την προσέγγιση καταλήγουμε πως τα συγκεκριμένα στοιχεία βρίσκονται στις ίδιες ή παραπλήσιες ορυκτολογικές φάσεις, οι οποίες αυξομειώνονται με ταυτόσημο τρόπο και άρα έχουν παρόμοια συμπεριφορά.



Σχήμα 6.2: Κατανομή των οξειδίων των μετάλλων στους ορίζοντες του Λατεριτικού Φλοιού Αποσάθρωσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο – ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ

7.1 Σκοπός των Πειραμάτων

Η διαδικασία του εμπλουτισμού έχει σαν στόχο να επιτευχθούν οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις συγκεκριμένων στοιχείων, στην προκειμένη περίπτωση του νικελίου, σε ένα μέταλλευμα. Βασικές αρχές και πειραματικά υπόβαθρα του εμπλουτισμού αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 4. Στόχος της συγκεκριμένης πειραματικής διαδικασίας ήταν να εξακριβωθεί ο τρόπος με τον οποίο μπορεί να επιτευχθεί η μεγαλύτερη συγκέντρωση νικελίου από το λατεριτικό κοίτασμα του Mamez. Λόγω του ότι το Ni βρίσκεται στο ορυκτό βιλλεμζέϊτης λίθου αποτελεί το συνδετικό λεπτόκοκκο υλικό μεταξύ των κόκκων του λατεριτικού κοιτάσματος, θα πρέπει να εξακριβωθεί η μέθοδος που θα μπορέσει να απομονώσει το συνδετικό αυτό υλικό, στο μεγαλύτερο βαθμό από τους άλλους κόκκους.

Η πειραματική διαδικασία κάλυψε τις μεθόδους, του βαρυτομετρικού, του μαγνητικού και του υγρού μαγνητικού διαχωρισμού. Η κάθε μέθοδος συγκρίνεται με βάση την περιεκτικότητα των παραγόμενων δειγμάτων σε νικέλιο κ.β. σε συσχέτιση με το βάρος των δειγμάτων αυτών. Ακόμη μελετώνται οι κατανομές του νικελίου στα παραγόμενα δείγματα, με βάση την περιεκτικότητά τους σε NiO, συγκριτικά με τα άλλα κύρια στοιχεία. Τέλος για κάθε δείγμα μελετάται η ορυκτολογία του, με χρήση ακτινοσκοπικής εξέτασης XRD, και επιλεκτικά με χρήση SEM-EDS και ανακλώμενου μικροσκοπίου.

7.1.1 Προετοιμασία των Δειγμάτων

Τα αρχικά δείγματα ενοποιήθηκαν και ξηράνθηκαν στους 105°C, για 24 ώρες, ώστε να χαθεί η υγρασία τους και οδηγήθηκαν σε σπαστήρα ώστε να αποκτήσουν κοκκομετρία μικρότερη των 8mm. Μετά το πέρας αυτής της διαδικασίας όλο το υλικό ζύγιζε 4.803g. Έπειτα, με χρήση του διαχωριστή Jones επιτεύχθηκε η ομογενοποίηση του υλικού και ο διαχωρισμός του σε δύο ομάδες. Η πρώτη ομάδα δειγμάτων, με βάρος 4.206 g ονομάστηκε (c) και η δεύτερη, με βάρος 600.3 g, ονομάστηκε (d).

Η πρώτη ομάδα δειγμάτων (c), ακολούθησε διαδικασίες κοκκομετρικού διαχωρισμού, με παραγωγή των κοκκομετρικών κλασμάτων : -8+4mm, -4+1mm, -1+0.250mm, -0.250+0.063mm, -0.063mm. Από το κλάσμα -0.063mm κατασκευάστηκαν τα κλάσματα, -0.063+0.010mm και -0.010mm. Κάθε κλάσμα της πέρασε από διαδικασίες εμπλουτισμού, βαρυτομετρικού και μαγνητικού με εξαίρεση το τελευταίο κλάσμα -0.010mm που δεν υπέστη κάποια διαδικασία εμπλουτισμού.

Η δεύτερη ομάδα δειγμάτων (d), λειοτριβήθηκε απευθείας στο κλάσμα -0.063mm και στη συνέχεια από αυτό μέσω διαχωρισμού με υδροκυκλώνα κατασκευάστηκαν: το κλάσμα -0.063+0.010mm

που υπέστη υγρό μαγνητικό διαχωρισμό και το κλάσμα -0.010mm που δεν πέρασε από στάδιο εμπλουτισμού.

Ο διαχωρισμός αυτός του αρχικού υλικού σε δύο ομάδες, διεξάχθηκε με σκοπό να υπάρξει σύγκριση μεταξύ, υλικού που εμπλουτίστηκε αφότου χωρίστηκε σε ξεχωριστά και διαδοχικά κοκκομετρικά κλάσματα, και υλικού που απευθείας λειοτριβήθηκε σε μικρής διαμέτρου κοκκομετρικά κλάσματα.

7.2 Κοκκομετρικός Διαχωρισμός των Δειγμάτων

7.2.1 Κοκκομετρικός Διαχωρισμός της Ομάδας Δειγμάτων (c) του Μεταλλεύματος

Η πρώτη ομάδα δειγμάτων (c) του μεταλλεύματος, όπως προαναφέρθηκε, είχε κοκκομετρία -8mm και ζύγιζε 4206.1 g . Το δείγμα αυτό υπέστη ανάμειξη με νερό και τοποθετήθηκε σε περιστρεφόμενο εργαστηριακό ραβδόμυλο, χωρίς μεταλλικές ράβδους, για 20 λεπτά. Έπειτα, το υλικό πέρασε από κόσκινο διαμέτρου 0.250mm με παρασκευή έτσι δύο κλασμάτων. Το κλάσμα $+0.250\text{mm}$ ξηράνθηκε σε ειδικό κλίβανο και το κλάσμα -0.250mm παρέμεινε σε σκεύος ως υδάτινο μίγμα.

Από το κλάσμα $+0.250\text{mm}$ που ξηράνθηκε, παράχθηκαν τα κλάσματα διαμέτρων: $-8+4\text{mm}$, $-4+1\text{mm}$, $-1+0.250\text{mm}$ και -0.250mm με χρήση μηχανής κοσκίνισης, σε κόσκινα μεγέθους: 4mm , 1mm και 0.250mm , για 6 λεπτά. Έπειτα, το κλάσμα -0.250mm ενώθηκε με το -0.250mm που είχε παραμείνει ως υδάτινο μίγμα και μέσω υγρής κοσκίνισης με κόσκινο 0.063mm , προέκυψαν δύο νέα κλάσματα, το $-0.250+0.063\text{mm}$ και το -0.063mm .

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενα κεφάλαια, το νικέλιο στο κοίτασμα του Mamez, βρίσκεται στο ορυκτό βιλλεμζέϊτης, που αποτελεί το συνδετικό υλικό μεταξύ των κόκκων του πετρώματος. Το συνδετικό υλικό αυτό είναι λεπτόκοκκο, συνεπώς ήταν σημαντικό για την πειραματική διαδικασία να καταφέρουμε να απομονώσουμε, κοκκομετρικά κλάσματα ακόμη μικρότερης διαμέτρου. Δημιουργήσαμε έτσι, κλάσματα μεγέθους $-0.063+0.010\text{mm}$ και -0.010mm ως εξής.

Από το κλάσμα -0.063mm , λάβαμε 500 g υλικού, τα οποία τοποθετήθηκαν σε ποτήρι ζέσεως 2L στο οποίο προστέθηκε $1\text{L H}_2\text{O}$. Ακολούθησε ανάδευση με αναδευτήρα στα $500-600\text{ rpm}$. Έπειτα το υδατικό μίγμα τοποθετήθηκε σε υδροκυκλώνα, από τον οποίον προέκυψαν δύο κοκκομετρικά κλάσματα ($-0.063+0.010\text{mm}$ και -0.010mm). Τα δύο διαλύματα τοποθετήθηκαν σε ταψιά και ξηράνθηκαν σε ειδικό κλίβανο, στους 105°C για 24h ώστε να εξατμιστεί το νερό και να ανακτηθεί το υλικό.

Στον παρακάτω πίνακα 7.2.1, αναγράφονται τα δείγματα που προέκυψαν από τον κοκκομετρικό διαχωρισμό της πρώτης ομάδας του μεταλλεύματος. Μετά το πέρας του κοκκομετρικού διαχωρισμού τα δείγματα c1 ($-8+4\text{mm}$), c2 ($-4+1\text{mm}$), c3 ($-1+0.250\text{mm}$), c4 ($-0.250+63\text{mm}$) χωρίστηκαν σε δύο ίσα μέρη, α και β. Τα παράγωγα δείγματα a1 ($-8+4\text{mm}$), a2 ($-4+1\text{mm}$), a3 ($-1+0.250\text{mm}$), a4 ($-0.250+63\text{mm}$) πέρασαν μαγνητικό διαχωρισμό και τα b1 ($-8+4\text{mm}$), b2 ($-4+1\text{mm}$), b3 ($-1+0.250\text{mm}$), b4 ($-0.250+63\text{mm}$) βαρυτομετρικό διαχωρισμό. Στον πίνακα 7.2.2 αναγράφονται τα βάρη των παραγόμενων δειγμάτων.

Πίνακας 7.2.1: Βάρη των Κλασμάτων του Κοκκομετρικού Διαχωρισμού της ομάδας (c), του Μεταλλεύματος

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ (mm)	ΒΑΡΟΣ ΚΛΑΣΜΑΤΟΣ(g)	ΒΑΡΟΣ ΚΛΑΣΜΑΤΟΣ %
c1	-8+4	1092.5	25.97
c2	-4+1	1526.8	36.30
c3	-1+0.250	407.9	9.70
c4	-0.250+0.063	246.6	5.86
c5	-0.063	932.3	22.17
TOTAL(c6)	-8	4206.1	100.00

Πίνακας 7.2.2: Βάρη των Κλασμάτων του Κοκκομετρικού Διαχωρισμού της ομάδας (c), του Μεταλλεύματος

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ (mm)	ΒΑΡΟΣ ΚΛΑΣΜΑΤΟΣ(g)	ΒΑΡΟΣ ΚΛΑΣΜΑΤΟΣ %
c7	-0.063+0.010	228.3	46
c8	-0.010	268	54
TOTAL(c5)	-0.063	496.3	100

Πίνακας 7.2.3: Τα βάρη των δειγμάτων που προορίζονται για βαρυντομετρικό και μαγνητικό διαχωρισμό. Οι δύο ομάδες δειγμάτων α και β προέκυψαν από τα δείγματα δειγμάτων c1,c2,c3,c4.

	ΔΕΙΓΜΑ	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ(mm)	ΒΑΡΟΣ (g)
ΒΑΡ/ΚΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ	b1	-8+4	546.3
	b2	-4+1	747.2
	b3	-1+0.250	197.7
	b4	-0.250+0.063	117.1
ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ	a1	-8+4	546.3
	a2	-4+1	747.2
	a3	-1+0.250	197.7
	a4	-0.250+0.063	117.1

7.2.2 Κοκκομετρικός Διαχωρισμός της Ομάδας Δειγμάτων (d) του Μεταλλεύματος

Η ομάδα δειγμάτων (d) του μεταλλεύματος, λειοτριβήθηκε απευθείας σε κοκκομετρία -0.063mm. Για αυτόν τον σκοπό 550 gr από το δείγμα τοποθετήθηκαν σε περιστρεφόμενο εργαστηριακό ραβδόμυλο με μεταλλικές ράβδους, για λειοτρίβηση για 30 min με 1/2L H₂O, ώστε να αποκτήσει κοκκομετρία -0.063mm. Έπειτα οδηγήθηκε στον υδροκυκλώνα, από τον οποίο προέκυψαν δύο κλάσματα ξινισμένη, το -0.063+ 0.010mm και το -0.010mm. Έπειτα αυτά τοποθετήθηκαν σε ταψιά και ξηράνθηκαν σε ειδικό κλίβανο στους 105°C για 24h, ώστε να εξατμιστεί το νερό και να ανακτηθεί το υλικό. Τα κλάσματα που προέκυψαν καθώς και τα βάρη τους διατίθενται στον παρακάτω πίνακα 7.2.4.

Πίνακας 7.2.4 Βάρη των Κλασμάτων του Κοκκομετρικού Διαχωρισμού του Δεύτερου Μέρους (d), του Μεταλλεύματος

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ (mm)	ΒΑΡΟΣ (g)	ΒΑΡΟΣ ΚΛΑΣΜΑΤΟΣ %
d1	-0.063+0.010	350	64.58
d2	-0.010	192	35.42
TOTAL	-8	542	100

7.2.3 Χημική Ανάλυση Κοκκομετρικών Κλασμάτων

Από κάθε ένα κοκκομετρικό κλάσμα, κατασκευάστηκαν pellets σε συνδυασμό 1:10 με βορικό άλας και μετρήθηκαν με αναλυτική τεχνική XRF όπως έγινε κατανοητό στο κεφάλαιο 4. Οι μετρήσεις των κύριων στοιχείων των δειγμάτων καθώς και οι μετρήσεις σε απώλεια πύρωσης στα δείγματα παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 7.2.5 α: Χημικές Αναλύσεις των Κλασμάτων του Κοκκομετρικού Διαχωρισμού της ομάδας δειγμάτων (c), του Μεταλλεύματος

Δείγμα	Κοκκομετρία (mm)	Fe ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	CaO (%)	MnO (%)	K ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	NiO (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	CoO (%)	LOI (%)	SUM (%)
c1	-8+4	32.14	43.13	1.88	7.2	3.71	0.33	0.074	0.222	0.626	4.28	0.107	6.72	100.44
c2	-4+1	43.28	29.72	2.508	6.69	0.53	0.91	0.057	0.42	1.074	8.07	0.149	6.71	100.15
c3	-1+0.250	35.46	34.57	0.551	10.58	1.09	0.87	0.082	0.318	1.186	6.55	0.12	8.22	99.63
c4	-0.250+0.063	18.90	40.87	0.879	19.07	1.17	0.99	0.014	0.557	1.086	7.16	0.08	9.40	100.2
c5	-0.063	23.22	41.621	2.426	16.39	0.64	0.59	0.101	0.261	1.801	2.32	0.083	10.92	100.39
c6	-8	37.13	33.86	2.264	9.91	0.64	0.81	0.074	0.334	1.191	6.11	0.127	7.53	100.01

Πίνακας 7.2.5 β: Χημικές Αναλύσεις των Κλασμάτων του Κοκκομετρικού Διαχωρισμού της ομάδας δειγμάτων (c), του Μεταλλεύματος

Δείγμα	Κοκκομετρία (mm)	Fe ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	CaO (%)	MnO (%)	K ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	NiO (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	CoO (%)	LOI (%)	SUM (%)
c7	-0.063+0.010	21.32	39.04	0.40	16.92	2.44	0.81	0.042	0.229	1.482	5.55	0.052	11.78	100.09
c8	-0.010	23.04	40.29	2.52	16.16	0.75	0.49	0.120	0.256	1.834	0.85	0.052	13.27	99.67
c5	-0.063	23.22	41.62	2.42	16.39	0.64	0.59	0.101	0.261	1.801	2.32	0.083	10.92	100.39

Πίνακας 7.2.6 Χημικές Αναλύσεις των Κλασμάτων του Κοκκομετρικού Διαχωρισμού της ομάδας δειγμάτων (d), του Μεταλλεύματος

Δείγμα	Κοκκομετρία (mm)	Fe ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	CaO (%)	MnO (%)	K ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	NiO (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	CoO (%)	LOI (%)	SUM (%)
d1	-0.063+0.010	32.132	37.897	0.481	11.62	0.846	0.772	0.04	0.297	1.079	8.543	0.072	6.55	100.33
d2	-0.010	33.043	36.848	2.173	11.838	0.748	0.54	0.075	0.267	1.444	1.754	0.07	10.9	99.7
TOTAL	-8	37.13	33.86	2.264	9.91	0.64	0.81	0.074	0.334	1.19	6.11	0.127	7.53	100.01

7.3 Βαρυτομετρικός Διαχωρισμός

7.3.1 Προετοιμασία Δειγμάτων του Βαρυτομετρικού Διαχωρισμού

Στα πειράματα που ακολουθούν έγινε επιτυχημένη προσπάθεια να διαχωριστούν τα βαριά ορυκτά, αιματίτης και χρωμίτης, από τα ελαφριά φυλλοπυριτικά ορυκτά. Στην προκειμένη περίπτωση ήταν σημαντικό να βρεθεί ένα κατάλληλο βαρύ υγρό, στο οποίο θα μπορούν ελαφριοί κόκκοι του μεταλλεύματος να επιπλεύσουν, ενώ οι βαριοί κόκκοι να καθιζήσουν. Το βαρύ υγρό που επιλέχθηκε ήταν το Τετραβρωμοαιθάνιο. Λόγω του ότι το τετραβρωμοαιθάνιο έχει υψηλή πυκνότητα ($d=2.96 \text{ g/cm}^3$), ακατάλληλη όπως παρατηρήθηκε για να διαχωρίσει σωστά το υλικό του μεταλλεύματος, έπειτα από δοκιμές, αραιώθηκε με ‘White Spirit’, έως ότου το τελικό διάλυμα να έχει πυκνότητα $d=2.85 \text{ g/cm}^3$.

Σύμφωνα με τις δοκιμές που έγιναν, στο αραιωμένο διάλυμα τετραβρωμοαιθανίου παρατηρήθηκε πως οι κόκκοι μπορούν να διαχωριστούν κατάλληλα σε ελαφριά και βαριά κλάσματα. Στην επιφάνεια του υγρού παρέμειναν οι κόκκοι με πυκνότητα μικρότερη του 2.85 g/cm^3 ενώ στον πυθμένα του δοχείου καθίζησαν οι κόκκοι με πυκνότητα μεγαλύτερη του 2.85 g/cm^3 .

Τα δείγματα b1, b2, b3, b4 που προέκυψαν από τα δείγματα c1(-8+4mm), c2(-4+1mm), c3(-1+0.250mm), c4 (-0.250+0.063mm), όπως φαίνεται στον πίνακα 7.2.2, ήταν τα αντικείμενα μελέτης του βαρυτομετρικού διαχωρισμού. Η πειραματική διαδικασία έγινε ως εξής: Σε ποτήρι ζέσεως των 1000ml τοποθετήθηκαν 650ml τετραβρωμοαιθανίου αραιωμένου με white spirit και πυκνότητα $d=2.85 \text{ g/cm}^3$. Σε αυτό το δοχείο προστέθηκε προοδευτικά το κάθε κοκκομετρικό κλάσμα (b1,b2) ξεχωριστά και αυτή η διαδικασία είχε σαν αποτέλεσμα να προκύψουν δύο προϊόντα, ένα ελαφρύ (FLOAT) και ένα βαρύ (SINK). Στον πάτο του ποτηριού βρίσκονταν τα βαριά προϊόντα ενώ στην επιφάνεια τα ελαφριά, πράγμα που έκανε και σχετικά εύκολη τη συλλογή τους. Στη συνέχεια τα προϊόντα μετά τη συλλογή τους από το βαρύ υγρό ξεπλύθηκαν τρεις φορές με ακετόνη με σκοπό να μην παραμείνει βαρύ υγρό στους κόκκους του υλικού και να αποφευχθούν λάθος μετρήσεις στα βάρη τους. Εν τέλει ξηράνθηκαν σε φούρνο για 24 h στους 105°C και ζυγίστηκαν σε ζυγό ακριβείας.

Για τα δείγματα b1 (-8+4mm) και b2 (-4+1mm) χρησιμοποιήθηκε ποτήρι ζέσεως, ενώ για τα δείγματα b3 (-1+0.250mm) και b4(-0.250+0.063mm) χρησιμοποιήθηκε διαφορετικό πειραματικό όργανο, πιο συγκεκριμένα φιάλη διαχωρισμού με στόμιο στο κατώτερο μέρος, για τη διαφυγή του βαριού (SINK) προϊόντος. Η πειραματική διαδικασία όμως ήταν η ίδια κατά τα άλλα και για τα τέσσερα κλάσματα.

7.3.2 Αποτελέσματα του Βαρυτομετρικού Διαχωρισμού

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της δοκιμής εμπλουτισμού του μεταλλεύματος με τη μέθοδο βαρέων υγρών.

Πίνακας 7.3.1 Χημικές αναλύσεις και κατανομή βάρους στα δείγματα του Βαρομετρικού Διαχωρισμού

			ΒΑΡΟΣ			ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ						
Κλάσμα (mm)	Προϊόν Βαρυτ/κού Διαχωρισμού	Πυκνότητα (g/cm ³)	Βάρος (g)	Βάρος %	Βάρος επί του αρχικού %	NiO (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)
b1 (-8+4)	SINK (H)	+2.85	215.9	40.12	8.48	0.806	52.03	22.546	10.792	2.403	0.319	2.797
	FLOAT (L)	-2.85	322.3	59.88	12.65	0.454	8.63	67.396	1.062	0.265	0.116	14.894
	SUM		538.2	100	21.13							
b2 (-4+1)	SINK (H)	+2.85	295.3	38.95	11.59	1.044	53.49	20.905	10.066	2.421	0.324	2.987
	FLOAT (L)	-2.85	462.9	61.05	18.17	0.984	26.16	45.224	3.866	1.786	0.674	11.72
	SUM		758.2	100	29.77							
b3 (-1+0.250)	SINK (H)	+2.85	92.6	46.98	3.64	1.048	50.96	21.547	12.187	0.98	0.392	2.95
	FLOAT (L)	-2.85	104.5	53.02	4.10	1.299	14.78	45.421	1.459	0.923	3.63	17.737
	SUM		197.1	100	7.74							
b4 (-0.250 +0.063)	SINK (H)	+2.85	34.9	28.72	1.37	0.548	48.63	18.807	16.718	1.817	0.255	4.886
	FLOAT (L)	-2.85	86.6	71.28	3.40	1.14	12.13	45.418	1.018	0.577	3.352	16.675
	SUM		121.5	100	4.47							
c5(-0.063)	SUM		932	100	36.59	1.801	23.224	41.621	2.32	2.426	0.645	16.394
SUM			2547		100							

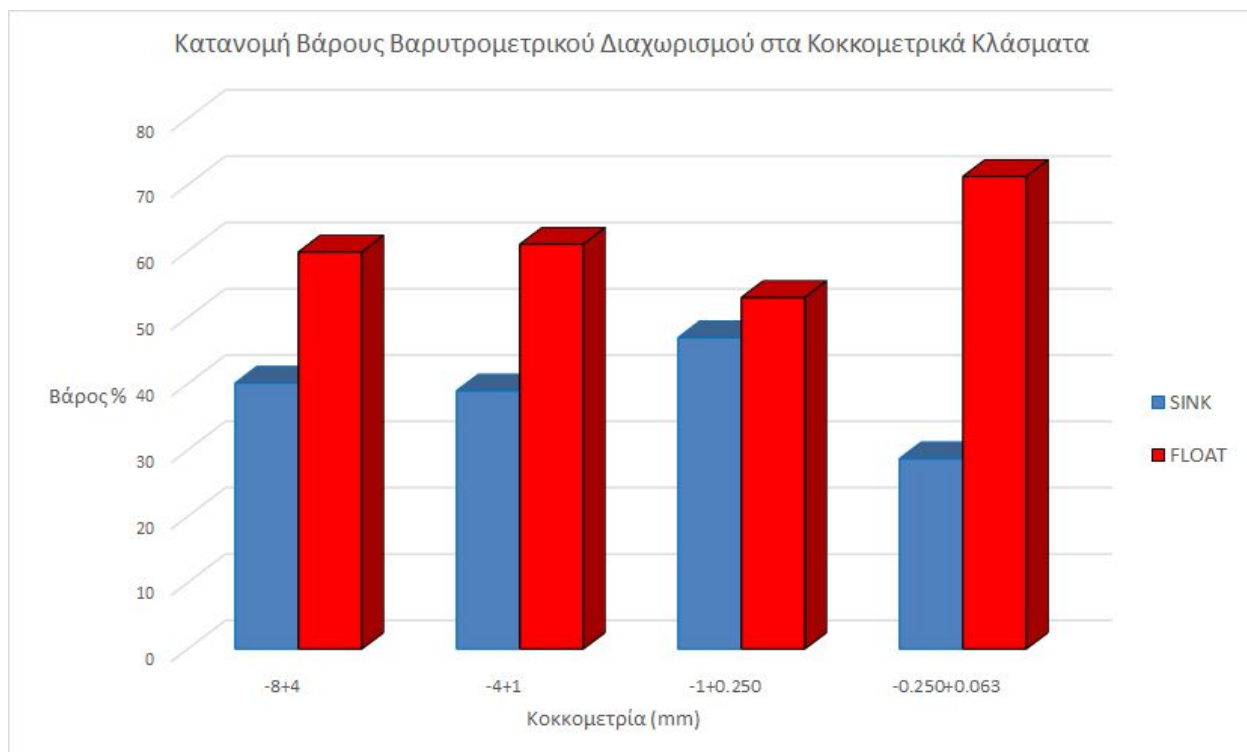
Πίνακας 7.3.2 Πίνακας Κατανομής των Οξειδίων στα Κλάσματα του Βαρυτομετρικού Διαχωρισμού

		ΚΑΤΑΝΟΜΗ						
Κλάσμα (mm)	Κλάσμα Διαχωρισμού	Fe ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	Cr ₂ O ₃ %	NiO %	Al ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %
b1 (-8+4)	SINK (H)	80.14	18.31	87.19	54.32	85.86	64.82	11.17
	FLOAT (L)	19.86	81.69	12.81	45.68	14.14	35.18	88.83
	SUM	100	100	100	100	100	100	100
b2 (-4+1)	SINK (H)	56.61	22.77	62.42	40.36	46.37	23.47	13.98
	FLOAT (L)	43.39	77.23	37.58	59.64	53.63	76.53	86.02
	SUM	100	100	100	100	100	100	100
b3 (-1+0.250)	SINK (H)	75.33	29.6	88.1	41.69	48.48	8.73	12.84
	FLOAT (L)	24.67	70.4	11.9	58.31	51.52	91.27	87.16
	SUM	100	100	100	100	100	100	100
b4 (-0.250 +0.063)	SINK (H)	61.76	14.3	86.87	16.23	55.93	2.97	10.56
	FLOAT (L)	38.24	85.7	13.13	83.77	44.07	97.03	89.44
	SUM	100	100	100	100	100	100	100
c5 (-0.063)	SUM	100	100	100	100	100	100	100

7.3.2.1 Κατανομή Βάρους στα Βαριά και Ελαφριά Προϊόντα του Βαρυτομετρικού Διαχωρισμού

Στον πίνακα 7.3.1 φαίνεται η κατανομή του βάρους στα ελαφριά (FLOAT) και στα βαριά (SINK) προϊόντα για το κάθε κοκκομετρικό κλάσμα που μελετήθηκε. Στο σχήμα 7.1 δίνονται οι παραπάνω κατανομές του βάρους στα προϊόντα του διαχωρισμού.

Σχήμα 7.1 Κατανομή βάρους % στα SINK και FLOAT στα κοκκομετρικά κλάσματα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού.



Όπως φαίνεται στο σχήμα 7.1 αλλά και στον πίνακα 7.3.1, η κατανομή του βάρους στα FLOAT είναι μεγαλύτερη από τα SINK με μικρές αποκλίσεις. Συνεπώς μπορεί να σχολιαστεί πως η οριακή πυκνότητα των 2.85 cm/g^3 , ήταν καταλυτικής σημασίας για τον σωστό διαχωρισμό του υλικού του μεταλλεύματος και πως η κατανομή μάζας, στα κλάσματα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού, μπορεί να θεωρηθεί επιτυχημένη.

7.3.2.2 Περιεκτικότητες των Προϊόντων του Βαρυτομετρικού Διαχωρισμού σε NiO, SiO₂, Fe₂O₃

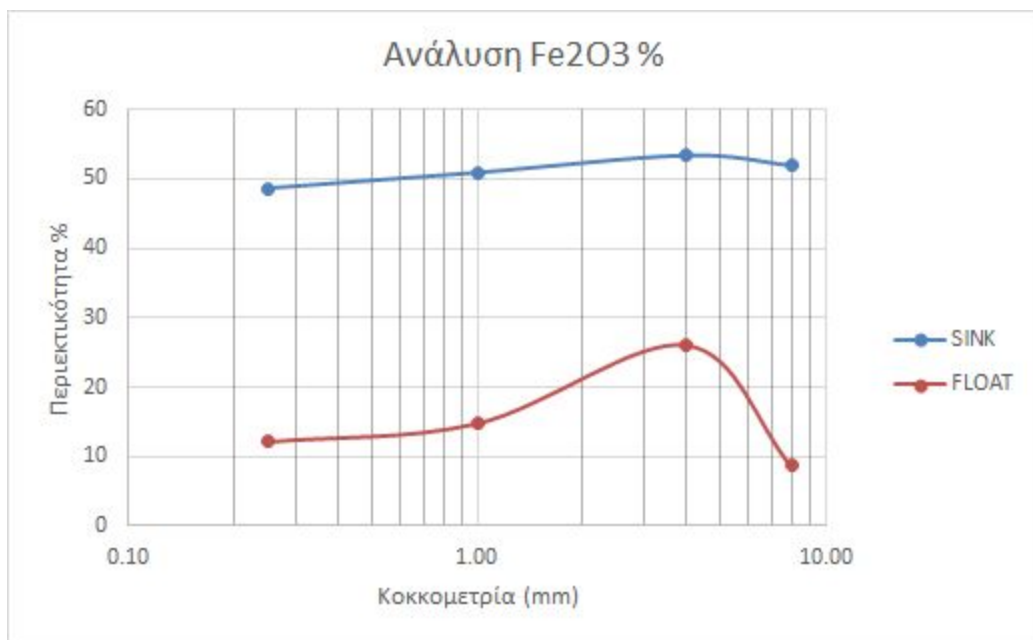
Στα σχήματα 7.2 έως 7.4 απεικονίζονται οι αναλύσεις σε SiO₂, Fe₂O₃ και NiO των προϊόντων του βαρυτομετρικού διαχωρισμού.



Σχήμα 7.2: Ανάλυση σε NiO στα προϊόντα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού

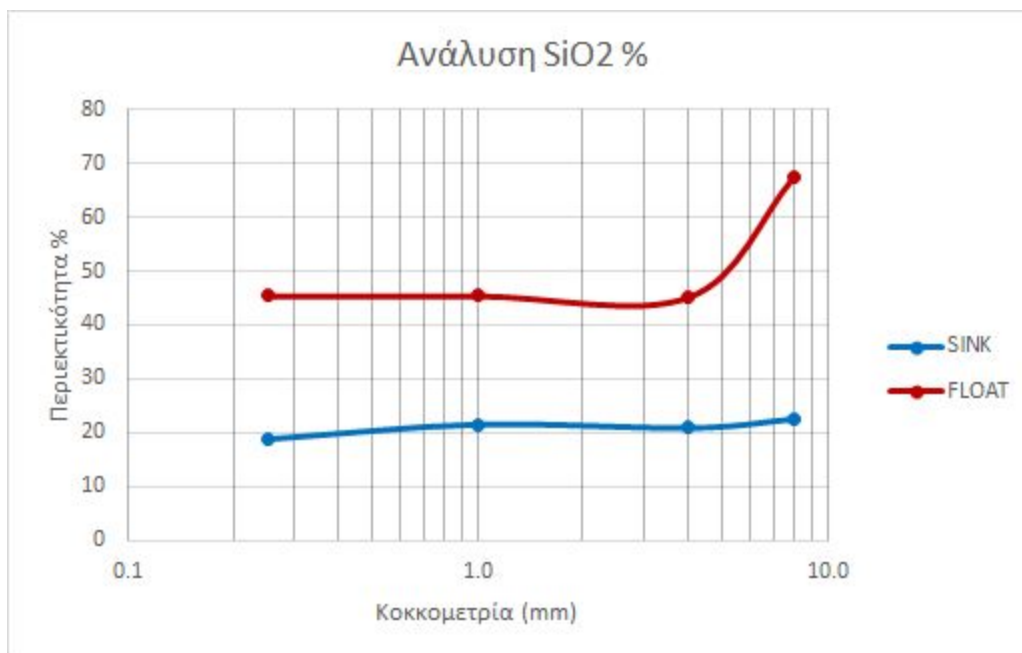
Παρατηρώντας το σχήμα 7.2, φαίνεται πως για τα FLOAT δείγματα, b1L (-8+4mm) και b2L (-4+1mm), οι περιεκτικότητες σε Ni είναι σχετικά μικρές και οπωσδήποτε μικρότερες των αντίστοιχων SINK b1H (-8+4mm) και b2H (-4+1mm). Σε κοκκομετρίες μικρότερες του 1mm, το Ni έχει κατανεμηθεί σε μεγαλύτερο βαθμό στα FLOAT έναντι των SINK.

Αντίστοιχα και σε αυτό το σχήμα 7.4, όπως και στα προηγούμενα σχήματα 7.3 και 7.2, είναι εμφανής η παρατήρηση πως ο κατάλληλος εμπλουτισμός των στοιχείων, μπορεί να θεωρηθεί επιτυχημένος για τα μικρότερης κοκκομετρίας κλάσματα, όσον αφορά τον βαρυτομετρικό διαχωρισμό. Σημαντικός παράγοντας για αυτό το φαινόμενο είναι, όπως φαίνεται και από τις φωτογραφίες μικροσκοπίου για τα αντίστοιχα δείγματα, η μικρή κοκκομετρία των πυριτικών ορυκτών που περιέχουν νικέλιο (βιλλεμζεϊτης), που ως συνδετικό υλικό, μπορεί να απομονωθεί καλύτερα σε κλάσματα μικρής κοκκομετρικής κλίμακας.



Σχήμα 7.3: Ανάλυση σε Fe_2O_3 στα προϊόντα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού

Στο σχήμα 7.3 φαίνεται η διαφορά στην περιεκτικότητα σε Fe_2O_3 , για τα SINK και για τα FLOAT. Στα SINK, οι περιεκτικότητες είναι περίπου σταθερές στο 50%, ενώ στα FLOAT, διαφοροποιούνται στο κοκκομετρικό κλάσμα b2L (-4+1mm) και μειώνονται στο μεγαλύτερο κοκκομετρικό κλάσμα b1L (-8+4mm). Παρόλα αυτά φαίνεται πως τα SINK έχουν υψηλότερη περιεκτικότητα σε Fe, γεγονός που υποδηλώνει και την επιτυχία των πειραμάτων. Συμπεραινουμε από τις περιεκτικότητες αυτές πως τα πλούσια σε Fe και Cr ορυκτά, αιματίτης και χρωμίτης, έχουν διαχωριστεί και απομονωθεί στα SINK προϊόντα.

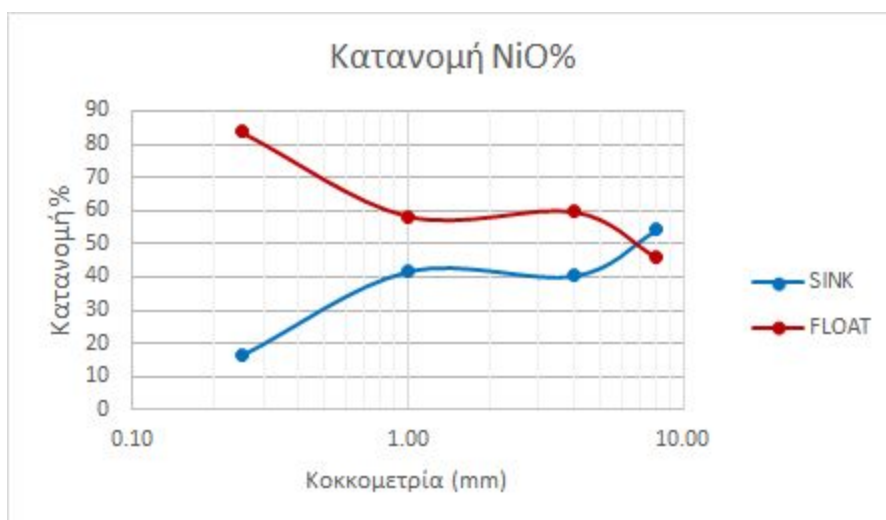


Σχήμα 7.4: Ανάλυση σε SiO_2 στα κλάσματα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού

Στο σχήμα 7.4, μπορεί να παρατηρηθεί η διαφορά στις περιεκτικότητες σε SiO_2 μεταξύ των SINK και FLOAT. Η περιεκτικότητα σε SiO_2 για τα FLOAT, είναι σαφώς μεγαλύτερες των SINK, διατηρούν μία σταθερή τιμή στα προϊόντα: b4L (-0.250+0.063mm), b3L (-1+0.250mm), b2L (-4+1mm), περίπου 45% κ.β. και αυξάνονται, στο προϊόν b1L (-8+4mm) στο 65%. Αυτό σημαίνει πως το μεγαλύτερο κοκκομετρικό κλάσμα, περιέχει πυριτικά ορυκτά σε μεγάλες συγκεντρώσεις, οι οποίες όμως για τις μικρότερες κοκκομετρίες δεν υφίστανται. Αντίστοιχα μπορούμε να παρατηρήσουμε πως οι περιεκτικότητες σε SiO_2 , στα SINK κλάσματα είναι ναι μεν, μικρότερες από τα FLOAT, όμως έχουν σταθερές περιεκτικότητες, περίπου στο 20% κ.β. σε όλα τα κοκκομετρικά κλάσματα.

7.3.2.3 Κατανομή των NiO, SiO₂, Fe₂O₃ στα Προϊόντα του Βαρυτομετρικού Διαχωρισμού

Στα σχήματα 7.5 έως και 7.7 απεικονίζονται οι κατανομές των SiO₂, Fe₂O₃ και NiO στα κοκκομετρικά κλάσματα που προέκυψαν από το βαρυτομετρικό διαχωρισμό. Στα διαγράμματα απεικονίζεται στον άξονα Y η κατανομή %, ενώ στον άξονα X το μέγεθος κόκκων των κλασμάτων του βαρυτομετρικού διαχωρισμού.

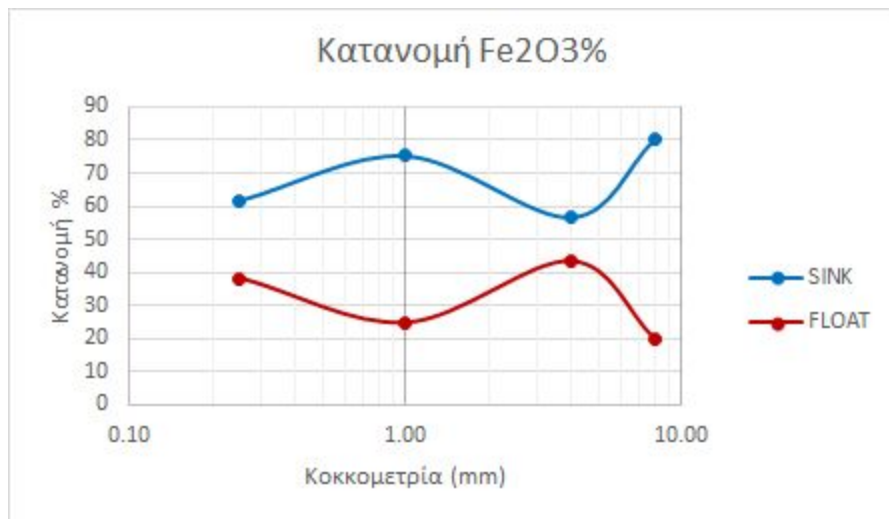


Σχήμα 7.5: Κατανομή του NiO στα κοκκομετρικά κλάσματα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού

Η κατανομή του NiO στα κλάσματα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού, είναι μεγάλης σημασίας, αφού δείχνει τον βαθμό στον οποίο το NiO κατανέμεται μεταξύ των SINK και FLOAT. Στα προϊόντα b1L(-8+4mm) και b1H(-8+4mm) του κοκκομετρικού κλάσματος b1(-8+4mm), φαίνεται πως η κατανομή είναι αντίθετη με την αναμενόμενη και πως τα SINK κλάσματα έχουν παραλάβει το μεγαλύτερο ποσοστό σε NiO. Σε μικρότερης κοκκομετρίας κλάσματα το NiO κατανέμεται όπως αναμένεται στα FLOAT με μεγαλύτερο το ποσοστό να ανήκει στο b4L(-0.250+0.063mm) με 84% κατανομή έναντι του b4H(-0.250+0.063mm) με ποσοστό κατανομής το 16%.

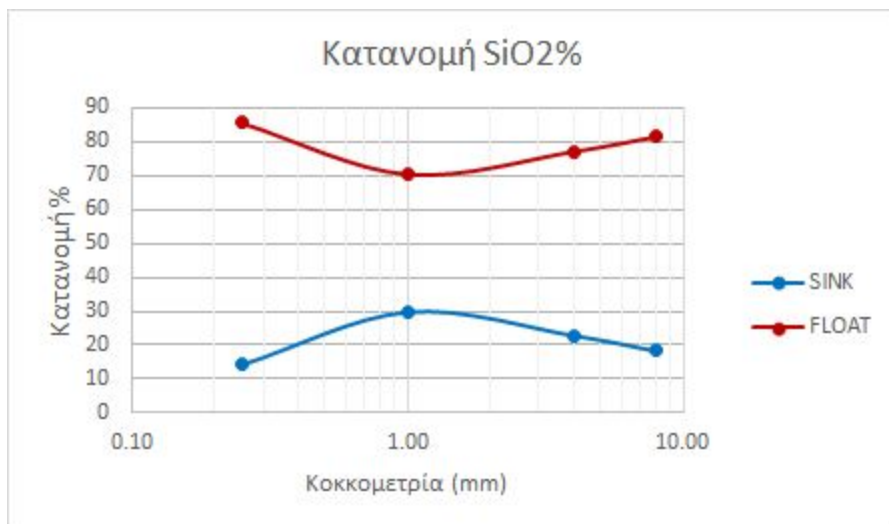
Την υψηλότερη τιμή κατανομής του NiO βλέπουμε στο προϊόν b4L(-0.250+0.063mm), με ποσοστό της τάξης του 83.77% και περιεκτικότητα σε NiO το 1.14% κ.β. Υψηλές περιεκτικότητες σε NiO εμφανίζει και το κλάσμα b3L(-1+0.250mm), της τάξης του 1.30% κ.β. όμως με μικρότερο ποσοστό κατανομής (58.31%).

Συνεπώς ο βαρυτομετρικός διαχωρισμός μπορεί να θεωρηθεί πιο επιτυχημένος στο ελαφρύ προϊόν του κλάσματος -0.250+0.063 mm (b4L), αφού παρουσίασε υψηλή περιεκτικότητα και κατανομή σε NiO.



Σχήμα 7.6: Κατανομή του Fe_2O_3 στα κοκκομετρικά κλάσματα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού

Στο σχήμα 7.6 παρατηρούμε την κατανομή του Fe_2O_3 στα προϊόντα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού. Όπως φαίνεται στο σχήμα, το Fe_2O_3 κατανέμεται στα SINK προϊόντα με υψηλότερο ποσοστό κατανομής το 80.14% για το b1H (-8+4mm). Αυτό είναι αναμενόμενο δεδομένου πως ο αιματίτης που είναι ο κύριος φορέας του Fe λόγω της υψηλής του πυκνότητας θα βρεθεί στα SINK προϊόντα.



Σχήμα 7.7: Κατανομή του SiO_2 στα κοκκομετρικά κλάσματα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού

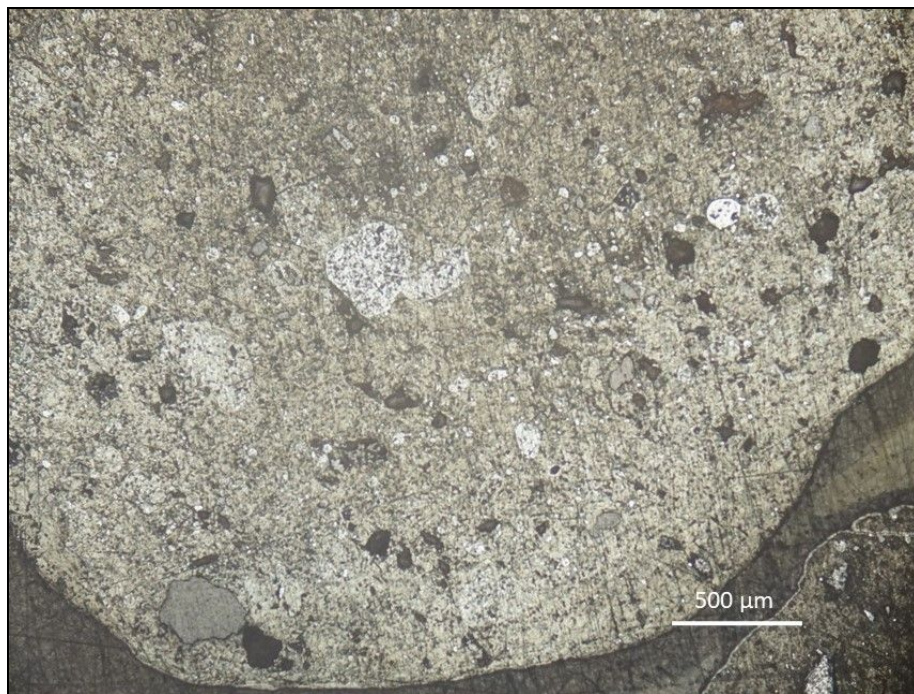
Στο σχήμα 7.7 παρατηρούμε πως κατανεμήθηκε το SiO_2 , στα προϊόντα SINK και FLOAT του βαρυτομετρικού διαχωρισμού. Φαίνεται από το σχήμα πως το SiO_2 στα έχει κατανεμηθεί FLOAT, σε ποσοστά μεγαλύτερα του 70% έναντι των SINK με ποσοστά μικρότερα του 30% αντίστοιχα. Οι υψηλότερες κατανομές αποδίδονται στο κλάσμα b4L (-0.250+0.063mm) με ποσοστό 86% έναντι του b4H(-0.250+0.063mm), με κατανομή 14%. Αυτό σημαίνει πως στην περίπτωση του SiO_2 , παρότι η περιεκτικότητα του, όπως είδαμε στο σχήμα 7.2 ήταν περίπου ίδια για τα κλάσματα b3L (-1+0.250mm) και b4L(-0.250+0.063mm), η κατανομή τους διαφέρει σημαντικά. Ακόμη φαίνεται πως η κατανομή εμφανίζει υψηλές διαφορές και για τα μεγαλύτερης κοκκομετρίας κλάσματα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού.

7.3.3 Ορυκτολογική Ανάλυση στα Προϊόντα του Βαρυτομετρικού Διαχωρισμού

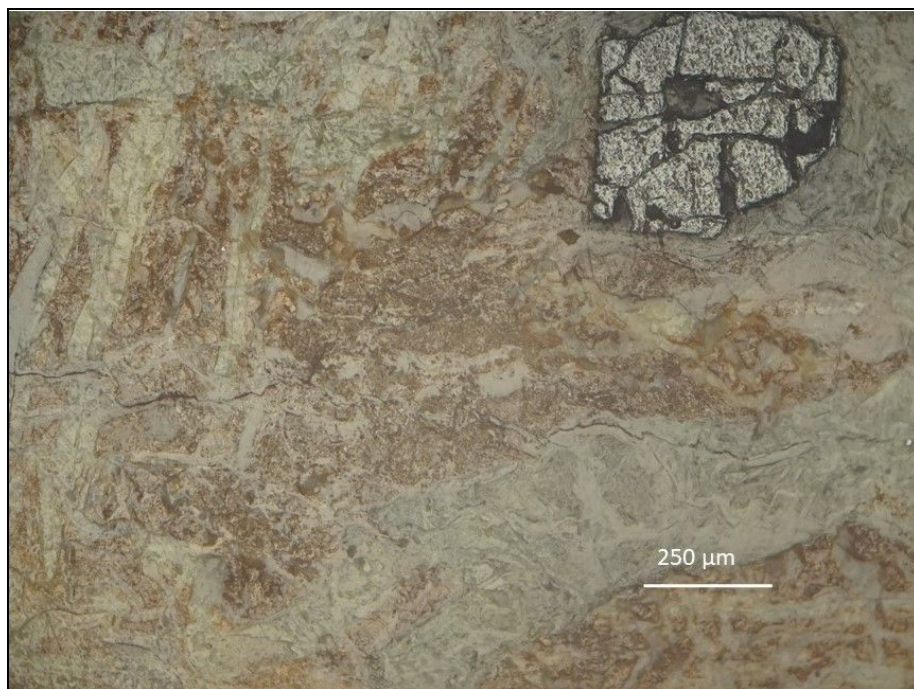
Τα δείγματα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού b1L,b1H,b2L,b2H,b3L,b3H,b4L,b4H αναλύθηκαν ακτινοσκοπικά με την μέθοδο XRD. Λεπτομέρειες της μεθόδου έγιναν κατανοητές στο κεφάλαιο 4, ενώ τα ακτινοδιαγράμματα των αναλύσεων, είναι διαθέσιμα στο τέλος της εργασίας.

Είναι εμφανής η διαφοροποίηση στα βαριά και στα ελαφριά προϊόντα του εμπλουτισμού, σχετικά με τα οξείδια και τα φυλλοπυριτικά ορυκτά. Όπως δείχνουν οι αναλύσεις, η μεγάλη πλειονότητα των πυριτικών ορυκτών έχει κατανεμηθεί στα ελαφριά κλάσματα του εμπλουτισμού σε αντίθεση με τα οξείδια του σιδήρου και του χρωμίου που έχουν κατανεμηθεί στα βαριά κλάσματα.

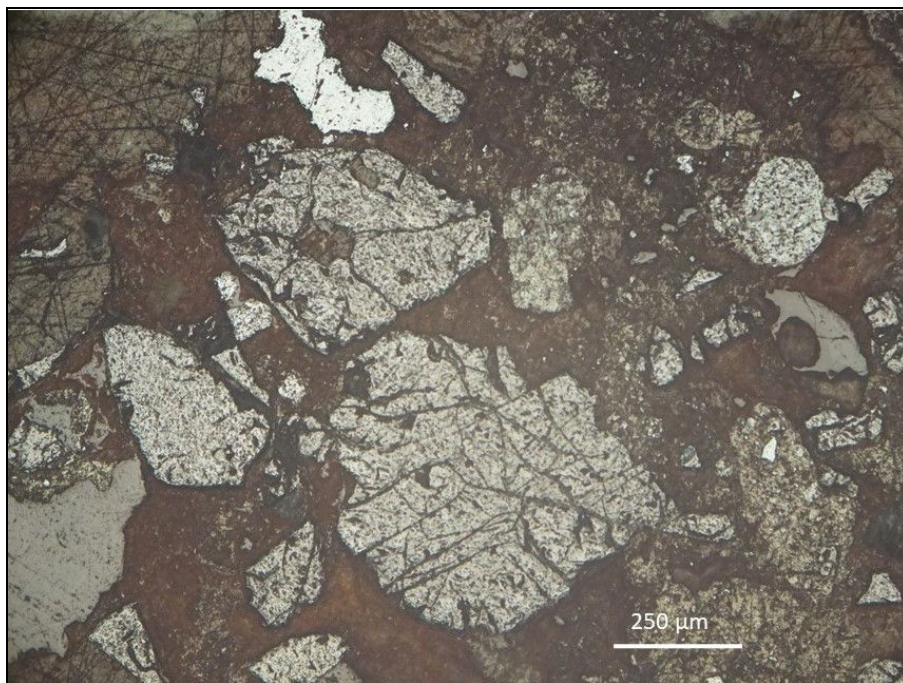
7.3.3.1 Μικροσκοπική Εξέταση Ενδεικτικών Δειγμάτων του Βαρυτομετρικού Διαχωρισμού



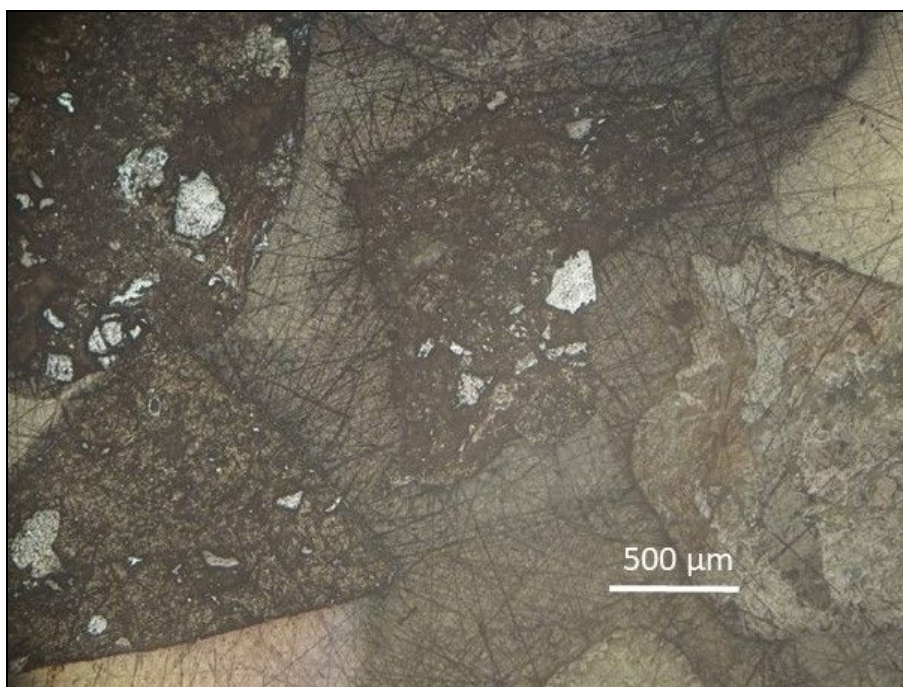
Εικόνα 7.3.1: Δείγμα b1H (-8+4)SINK, ανακλώμενο φως, // Nicols. Σύνθετο σφαιροειδές από αιματίτη (μερική έκπλυση Fe) με εγκλείσματα από κλαστικούς κόκκους αιματίτη και χαλαζία.



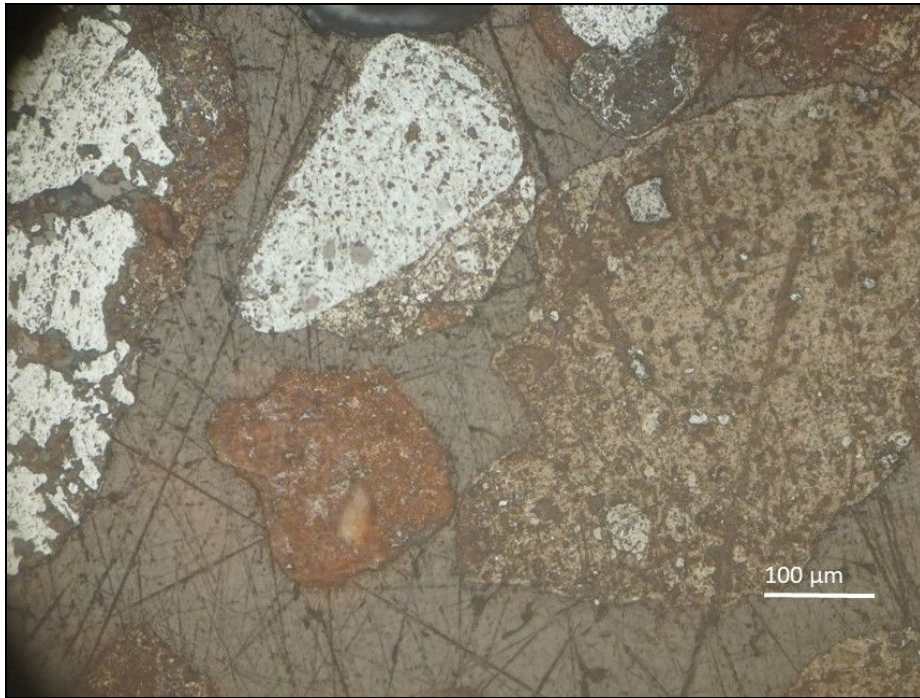
Εικόνα 7.3.1: b1L (-8+4)FLOAT, ανακλώμενο φως, // Nicols: Κόκκος πυριτικού συνδετικού υλικού με εγκλείσματα από κλαστικούς κόκκους χρωμίτη.



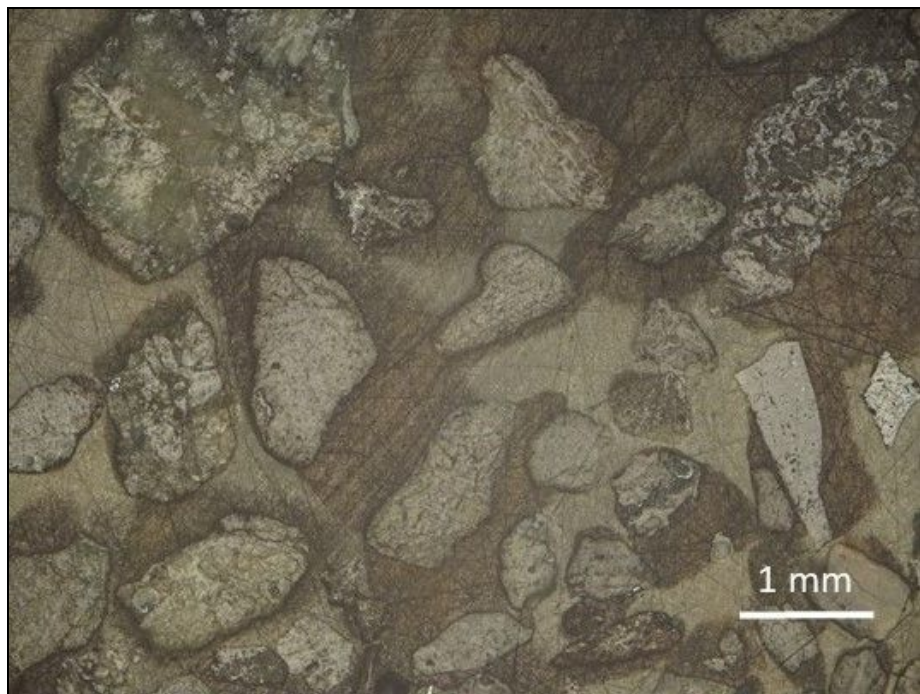
Εικόνα 7.3.3: b2H (-4+1)SINK, ανακλώμενο φώς, // Nicols: Κόκκοι χρωμίτη με κατακλαστικό ιστό, αιματίτη και πυριτικού συνδετικού υλικού.



Εικόνα 7.3.4: b2L (-4+1)FLOT, ανακλώμενο φώς, // Nicols: Κόκκοι πυριτικού συνδετικού υλικού με εγκλείσματα αιματίτη και χρωμίτη.



Εικόνα 7.3.5: b3H (-1+0.250)SINK, ανακλώμενο φώς, // Nicols: Κόκκοι αιματίτη και πυριτικού συνδετικού υλικού με εγκλείσματα χρωμίτη.



Εικόνα 7.3.6: b3L (-1+0.250)FLOAT, ανακλώμενο φώς, // Nicols: Κόκκοι πυριτικού συνδετικού υλικού με υπολείμματα αιματίτη.

7.3.4 Σχολιασμός των Αποτελεσμάτων

Ο πίνακας 7.3.1 δείχνει πως στα προϊόντα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού τις μεγαλύτερες κατανομές βάρους, εμφανίζουν τα SINK προϊόντα, με σημαντικό όμως ποσοστό κατανομής και στα FLOAT. Μπορούμε να θεωρήσουμε πως με το βαρύ υγρό που διαλέξαμε, καταφέραμε να διαχωρίσουμε με επιτυχία τους βαριούς από τους ελαφρείς κόκκους του μεταλλεύματος. Αυτό φαίνεται κυρίως από τα ποσοστά κατανομής του Fe_2O_3 και του Cr_2O_3 που είναι κατανεμημένα σε μεγαλύτερο βαθμό στα βαριά κλάσματα (SINK) και από τα ποσοστά κατανομής του SiO_2 που έχει κατανεμηθεί σε μεγαλύτερο βαθμό στα ελαφριά κλάσματα.

Παρατηρούμε ακόμη, στον πίνακα 7.3.1, τις χημικές αναλύσεις. Φαίνεται πως τις πιο υψηλές συγκεντρώσεις σε νικέλιο, τις έχουν τα προϊόντα b3L(-1+0.250mm) με συγκέντρωση NiO 1.299% κ.β. και b4L(-0.250+0.063mm) με συγκέντρωση NiO 1.14% κ.β., δηλαδή τα ελαφριά μέρη, των πιο λεπτόκοκκων κοκκομετρικών κλασμάτων.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του πίνακα 7.3.1 και του πίνακα 7.3.2 γίνεται κατανοητό πως το προϊόν με την μεγαλύτερη κατανομή νικελίου είναι το b4L(-0.250+0.063mm) με ποσοστό κατανομής 83.77%. Το γεγονός πως τα ελαφριά (FLOAT) προϊόντα είναι πλούσια σε NiO ενώ τα βαριά (SINK) πιο φτωχά, είναι λογικό δεδομένου πως ο βύλλεμζεϊτης, που είναι φορέας του νικελίου είναι φυλλοπυριτικό ορυκτό και ως εκ τούτου βρίσκεται στα ελαφριά προϊόντα.

7.4 Μαγνητικός Διαχωρισμός

7.4.1 Σκοπός των Πειραμάτων

Η μέθοδος του μαγνητικού διαχωρισμού, έχει σαν αρχή την εκμετάλλευση των μαγνητικών ιδιοτήτων των ορυκτών ενός μεταλλεύματος με σκοπό τον διαχωρισμό τους.

Η μέθοδος είχε σκοπό, να επιτευχθεί ο διαχωρισμός των κόκκων αιματίτη και χρωμίτη από το συνδετικό υλικό που περιέχει το νικέλιο. Γνωρίζουμε πως βασικό μαγνητικό υλικό του μεταλλεύματος του Mamez είναι καταρχάς ο αιματίτης, οι κόκκοι του οποίου θα πρέπει να βρίσκονται στο μαγνητικό υλικό έπειτα από τον διαχωρισμό, όμως και τα άλλα υλικά του μεταλλεύματος συμπεριλαμβανομένων και τον κόκκων του συνδετικού υλικού λόγω της παρουσίας Fe, στο πλέγμα τους όπως και της συμπεριφοράς του Ni ως παραμαγνητικό υλικό, να μπορέσουν να απομονωθούν σε κάποιο κλάσμα του μαγνητικού διαχωρισμού επιτυχώς.

Τα πειράματα για να καλύψουν μεγαλύτερο εύρος αποτελεσμάτων, είχαν ακόμη σκοπό την παραγωγή όσο το δυνατόν περισσότερων κλασμάτων μαγνητικού διαχωρισμού. Με αυτήν την νοοτροπία δημιουργήθηκαν για το κάθε δείγμα a1(-8+4mm), a2(-4+1mm), a3(-1+0.250mm), a4(-0.250+0.063mm), τέσσερα κλάσματα μαγνητικού διαχωρισμού.

7.4.1.1 Περίληψη της Πειραματικής Διαδικασίας

Η πειραματική διαδικασία περιλαμβάνει την παραγωγή μαγνητικών κλασμάτων από τα κοκκομετρικά κλάσματα $a1(-8+4)\text{mm}$, $a2(-4+1)\text{mm}$, $a3(-1+0.250)\text{mm}$, $a4(-0.250+0.063)\text{mm}$.

Σε αυτό το στάδιο χρησιμοποιήθηκαν δυο διαφορετικές μέθοδοι μαγνητικού διαχωρισμού ανάλογα με την κοκκομετρία του δείγματος. Για τα κοκκομετρικά κλάσματα $-8+4\text{mm}$ και $-4+1\text{mm}$ χρησιμοποιήθηκε ο ταινιοφόρος μαγνητικός διαχωριστής (perm roll), που φαίνεται στην εικόνα 4.1. Για τα δύο μικρότερα κοκκομετρικά κλάσματα $-1+0,250\text{ mm}$ και $-0.250 +0.063\text{ mm}$ χρησιμοποιήθηκε ο ξηρός μαγνητικός διαχωριστής υψηλής έντασης (high intensity induced magnetic separator Carpco MIH 111-5), που φαίνεται στην εικόνα 4.2.

Η πειραματική πορεία κάθε κλάσματος είναι η ακόλουθη:

- Κλάσματα: $a1(-8 +4\text{ mm})$ και $a2 (-4+1\text{ mm})$: Αρχικά, ο ταινιοφόρος μαγνητικός διαχωριστής ρυθμίστηκε για το πρώτο πέρασμα στα 160rpm (στροφές ανά λεπτό). Όμως, το προϊόν αυτής της ρύθμισης ήταν κατά το μέγιστο μαγνητικό, οπότε ήταν απαραίτητο να ρυθμίσουμε εκ νέου το διαχωριστή στα 220rpm. Δηλαδή, αυξήθηκε η συχνότητα των στροφών ανά λεπτό (ανέβασμα στροφών), ώστε να συλλέξουμε μικρότερη ποσότητα, αλλά καλύτερη ποιότητα μαγνητικού προϊόντος. Από το πρώτο πέρασμα συλλέχθηκε το πρώτο μαγνητικό προϊόν, το οποίο ζυγίστηκε και αποθηκεύτηκε. Το μη μαγνητικό κλάσμα χρησιμοποιήθηκε σαν τροφοδοσία του επόμενου περάσματος, το οποίο έγινε στα 180rpm. Από το δεύτερο πέρασμα προέκυψαν το δεύτερο μαγνητικό, και το μη μαγνητικό προϊόν, το οποίο και πάλι χρησιμοποιήθηκε σαν τροφοδοσία για το τρίτο πέρασμα. Το τρίτο πέρασμα έγινε στα 140rpm. Από το τρίτο και τελευταίο πέρασμα προέκυψαν το τρίτο μαγνητικό και μη μαγνητικό προϊόν.
- Κλάσμα $a3(-1 +0,250\text{ mm})$: αρχικά, ο μαγνητικός διαχωριστής ρυθμίστηκε για το πρώτο πέρασμα στα 140rpm με ένταση μαγνήτη στα 3,06 A και με τη λεπίδα στη θέση 4. Από το πέρασμα αυτό προέκυψαν το πρώτο μαγνητικό προϊόν καθώς και το μη μαγνητικό, το οποίο αποτέλεσε την τροφοδοσία του επόμενου περάσματος. Στο δεύτερο πέρασμα ο μαγνητικός διαχωριστής ρυθμίστηκε στα 120rpm με την ένταση του μαγνήτη στα 2,95A και τη λεπίδα στη θέση 4, από όπου προέκυψαν το δεύτερο μαγνητικό και μη μαγνητικό προϊόν. Το μη μαγνητικό χρησιμοποιήθηκε με τη σειρά του στο τρίτο και τελευταίο πέρασμα με ρύθμιση στα 100rpm, ένταση στα 2,82 A και λεπίδα στη θέση 4.
- Κλάσμα $a4(-0.250+0.063\text{mm})$: Σε ότι αφορά στο κλάσμα $a4(-0,250 +0,063\text{ mm})$, η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν ίδια με εκείνη που πραγματοποιήθηκε στο κλάσμα $a3(-1,00 +0,250\text{ mm})$ με μόνη διάφορα την ένταση του μαγνήτη στα περάσματα. Στο πρώτο, αλλά και στο δεύτερο πέρασμα η ένταση του μαγνήτη ήταν 2,70A. Στην κοκκομετρία αυτή επιχειρήθηκε και τρίτο πέρασμα αλλά το αποτέλεσμα δεν ήταν ικανοποιητικό, καθώς τα δύο προϊόντα ήταν παραπλήσια σε ποιότητα.

7.4.2 Αποτελέσματα του μαγνητικού διαχωρισμού

Στους παρακάτω πίνακες 7.4.1, 7.4.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του μαγνητικού διαχωρισμού.

Πίνακας 7.4.1 Κατανομή βάρους και χημικές αναλύσεις στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού

		ΒΑΡΟΣ			ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ						
Κλάσμα (mm)	Προϊόντα του Μαγνητικού Διαχωρισμού	Βάρος (g)	Βάρος %	Βάρος επί του αρχικού %	NiO (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)
a1 (-8+4)	Μαγνητικό a1M1 (220rpm)	173.5	33.09	6.85	1.173	41.344	26.913	10.562	1.963	0.281	9.021
	Μαγνητικό a1M2 (180rpm)	118.8	22.65	4.69	1.191	41.103	28.487	10.524	2.016	0.321	7.742
	Μαγνητικό a1M3 (140rpm)	32.3	6.16	1.28	0.961	36.269	39.807	7.561	2.075	0.607	6.322
	Μη Μαγνητικό a1MM (140rpm)	199.8	38.10	7.89	0.403	11.641	63.185	0.604	0.236	3.342	13.705
	SUM	524.4	100	20.72							
a2 (-4+1)	Μαγνητικό a1M1 (220rpm)	550.3	72.55	21.74	1.111	43.493	28.386	10.355	2.176	0.303	6.384
	Μαγνητικό a1M2 (180rpm)	90.7	11.96	3.58	1.029	40.7	31.011	7.936	2.231	0.85	8.434
	Μαγνητικό a1M3 (140rpm)	33.8	4.46	1.34	0.771	15.25	59.518	0.845	0.321	0.822	15.103
	Μη Μαγνητικό a1MM (140rpm)	83.7	11.03	3.31	0.268	7.529	68.945	0.339	0.196	3.799	13.052
	SUM	758.5	100	29.97							
a3 (-1+0.250)	Μαγνητικό a1M1 (140rpm)	110.6	55.33	4.37	1.121	38.721	30.862	11.058	1.674	0.341	7.54
	Μαγνητικό a1M2 (120rpm)	33	16.51	1.30	1.232	36.57	30.752	8.342	1.823	0.388	11.348
	Μαγνητικό a1M3 (100rpm)	11.4	5.70	0.45	1.328	22.686	44.905	1.702	0.363	0.492	17.492
	Μη Μαγνητικό a1MM (100rpm)	44.9	22.46	1.77	0.748	8.77	54.527	0.356	0.965	8.401	16.464
	SUM	199.9	100	7.90							
a4 (-0.250 +0.063)	Μαγνητικό a1M1 (140rpm)	66.8	57.39	2.64	1.192	30.952	27.821	16.753	1.792	0.415	11.063
	Μαγνητικό a1M2 (120rpm)	21.8	18.73	0.86	1.338	17.203	39.891	12.744	0.399	0.414	17.188
	Μη Μαγνητικό a1MM (100rpm)	27.8	23.88	1.10	0.962	6.58	51.803	0.643	0.981	9.655	18.526
	SUM	116.4	100	4.60							
c5 (-0.063)		932	100	36.82	1.801	23.224	41.621	2.32	2.426	0.645	16.394
SUM		2531.2		100							

Πίνακας 7.4.2 Κατανομή Κύριων Στοιχείων στα προϊόντα του Μαγνητικού Διαχωρισμού

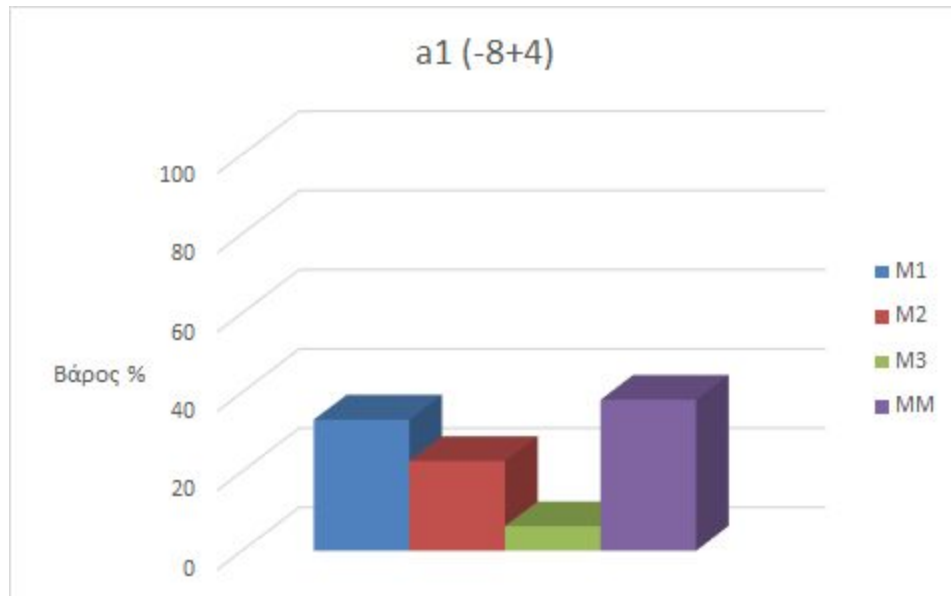
		ΚΑΤΑΝΟΜΗ						
Προϊόν Μαγνητικού Διαχωρισμού		Fe ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	Cr ₂ O ₃ %	NiO %	Al ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %
-8+4	a1M1	46.12	21.26	53.15	44.58	49.06	6.30	28.84
	a1M2	31.39	15.41	36.26	30.99	34.50	4.93	16.95
	a1M3	7.53	5.85	7.08	6.80	9.65	2.53	3.76
	a1MM	14.95	57.48	3.50	17.64	6.79	86.25	50.45
	SUM	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
-4+1	a2M1	84.71	64.54	88.39	84.08	84.55	29.68	65.41
	a2M2	13.06	11.62	11.17	12.84	14.29	13.72	14.24
	a2M3	1.82	8.31	0.44	3.58	0.77	4.95	9.51
	a2MM	2.23	23.84	0.44	3.08	1.16	56.60	20.34
	SUM	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
-1+0.250	a3M1	69.73	46.20	79.74	58.11	63.24	8.70	38.84
	a3M2	19.65	13.74	17.95	19.05	20.55	2.95	17.44
	a3M3	4.21	6.93	1.27	7.10	1.41	1.29	9.29
	a3MM	6.41	33.14	1.04	15.74	14.80	87.05	34.43
	SUM	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
-0.250 +0.063	a4M1	78.75	44.59	79.10	58.75	76.89	9.08	45.37
	a4M2	14.28	20.86	19.64	21.52	5.59	2.96	23.01
	a4MM	6.97	34.55	1.26	19.73	17.52	87.96	31.62
	SUM	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
-0.063	SUM	100	100	100	100	100	100	100

Παρατηρώντας τον πίνακα 7.4.1, γίνεται αντιληπτός ο τρόπος με τον οποίο κατανεμήθηκε η μάζα του υλικού του κάθε δείγματος, στα επιμέρους μαγνητικά και στο μη μαγνητικό κλάσμα. Φαίνεται πως το κάθε κοκκομετρικό κλάσμα έχει διαφορετική κατανομή του υλικού στο κάθε επιμέρους μαγνητικό κλάσμα καθώς και στο μη μαγνητικό. Αυτό που μπορεί να παρατηρηθεί είναι πως το υλικό του μεταλλεύματος του Mamez, εμφάνιζε στο σύνολό του έντονες μαγνητικές ιδιότητες, και χρειάστηκε να αυξηθούν στα 220rpm οι στροφές, ώστε να μπορέσουν να διαχωρισθούν σωστά τα μαγνητικά από τα μη μαγνητικά προϊόντα, ενώ αντίστοιχα στα μικρότερα κλάσματα να τοποθετηθεί στην θέση 4 η λεπίδα, και να αυξηθεί η τάση του ηλεκτρικού πεδίου. Αυτές οι μαγνητικές ιδιότητες μπορούν να αποδοθούν στους κόκκους του αιματίτη, που είναι γνωστό πως αποτελεί μαγνητικό υλικό, και βρίσκεται όχι μόνο σε κόκκους στο υλικό αλλά και σαν υλικό αντικατάστασης σε άλλους κόκκους του μεταλλεύματος, αλλά και στην παρουσία του Fe, στο πλέγμα άλλων ορυκτών.

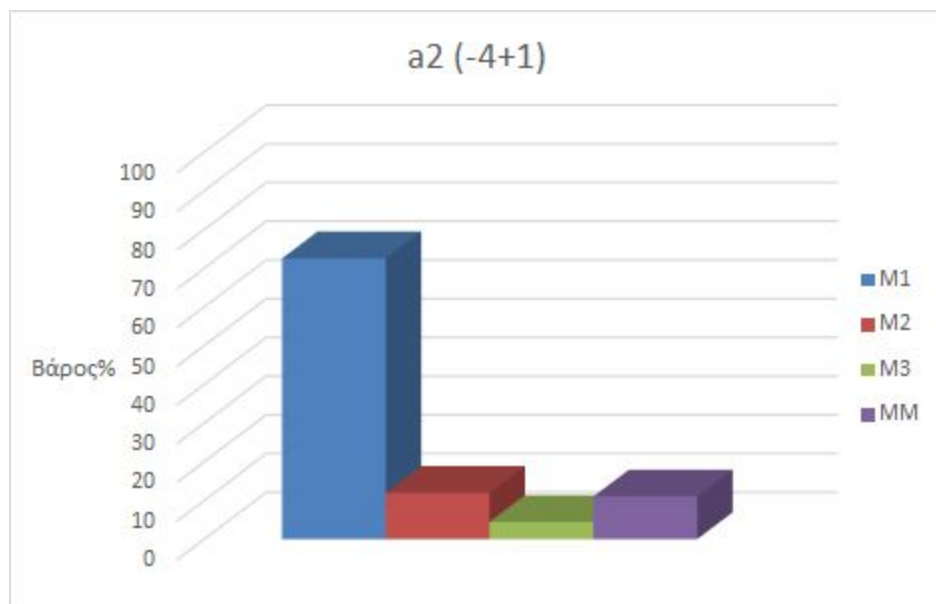
Από τους πίνακες 7.4.1 και 7.4.2 φαίνονται οι χημικές αναλύσεις για τα κύρια στοιχεία αλλά και οι κατανομές των στοιχείων που ενδιαφέρουν τον εμπλουτισμό στα επιμέρους κλάσματα του μαγνητικού διαχωρισμού. Είναι ενδιαφέρον να παρατηρήσουμε πως το περισσότερο νικέλιο βρίσκεται στα μαγνητικά κλάσματα και όχι στα μη μαγνητικά. Μάλιστα η κατανομή του Ni στα μαγνητικά κλάσματα, ξεπερνά σε κάθε περίπτωση το 50% στα κλάσματα M1 με υψηλότερο ποσοστό την κατανομή στο κλάσμα a2M1 που η κατανομή είναι της τάξης του 81.17%. Ο λόγος για την υψηλή κατανομή του Ni στα μαγνητικά κλάσματα μπορεί να αποδοθεί όχι μόνο στην σύνδεση του βιλλεμζείτη με τον αιματίτη αλλά και σε μαγνητικές ιδιότητες του ίδιου του Ni αλλά και του Fe στο πλέγμα του βιλλεμζείτη.

7.4.2.1 Κατανομή Βάρους στα Μαγνητικά και Μη Μαγνητικά Κλάσματα

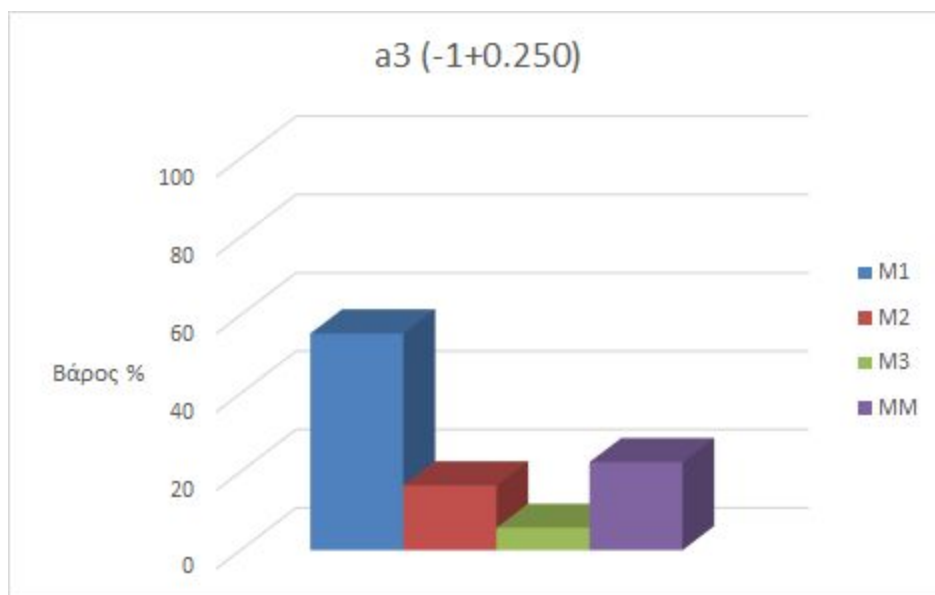
Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζεται η κατανομή μάζας των δειγμάτων του μαγνητικού διαχωρισμού.



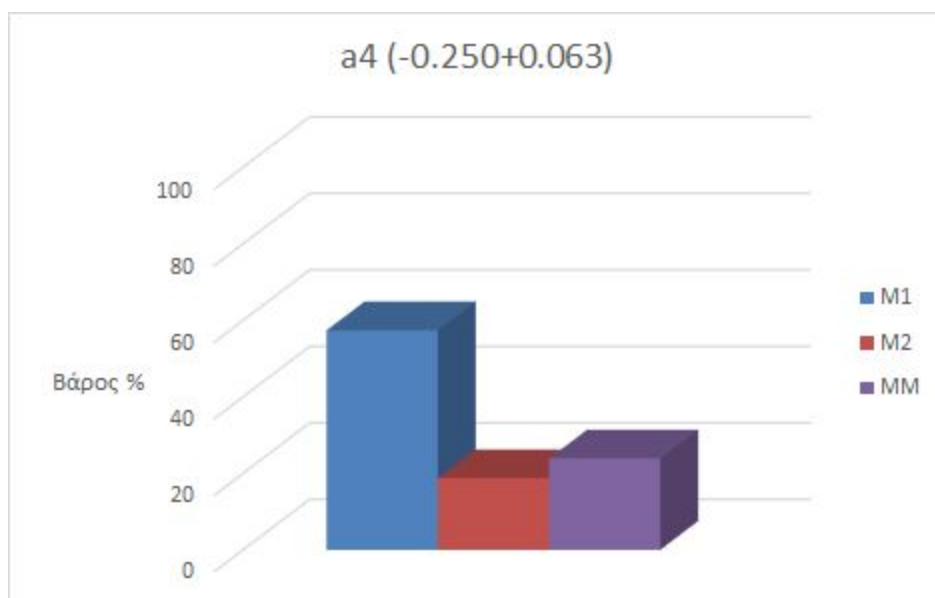
Σχήμα 7.8: Κατανομή Μάζας στα μαγνητικά προϊόντα (M1,M2,M3) και στο μη μαγνητικό προϊόν (MM), για το κοκκομετρικό κλάσμα a1 (-8+4)



Σχήμα 7.9: Κατανομή Μάζας στα μαγνητικά προϊόντα (M1,M2,M3) και στο μη μαγνητικό προϊόν (MM), για το κοκκομετρικό κλάσμα a2 (-4+1)



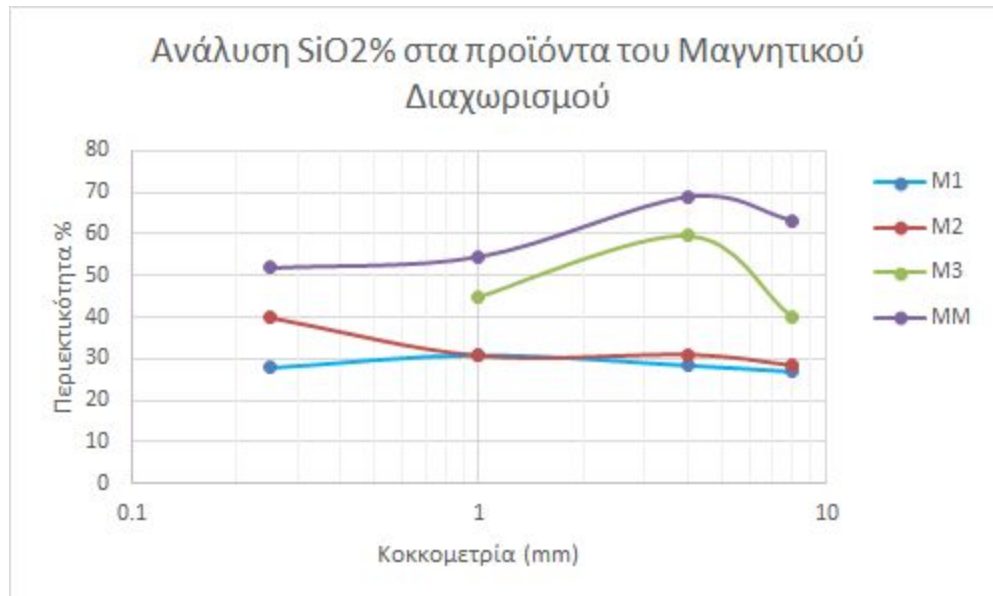
Σχήμα 7.10: Κατανομή Μάζας στα μαγνητικά προϊόντα (M1, M2, M3) και στο μη μαγνητικό προϊόν (MM), για το κοκκομετρικό κλάσμα a3 (-1+0.250)



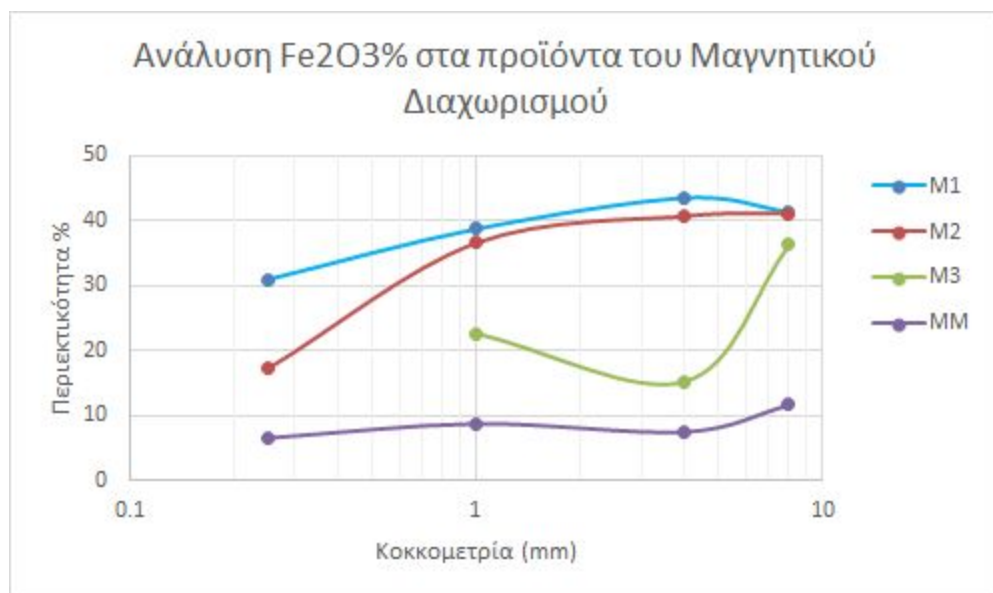
Σχήμα 7.11: Κατανομή Μάζας στα μαγνητικά προϊόντα (M1, M2, M3) και στο μη μαγνητικό προϊόν (MM), για το κοκκομετρικό κλάσμα a4 (-0.250+0.063)

7.4.2.2 Ανάλυση των NiO , Fe_2O_3 , SiO_2 στα Κλάσματα του Μαγνητικού Διαχωρισμού

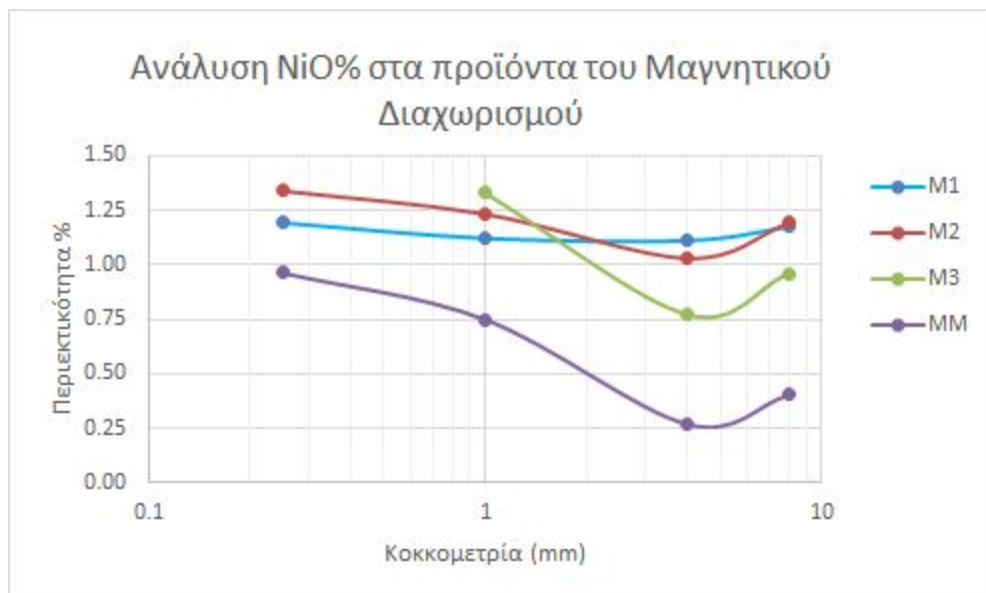
Στα σχήματα που ακολουθούν 7.12, 7.13, 7.14, παρουσιάζονται οι αναλύσεις των οξειδίων SiO_2 , Fe_2O_3 και NiO .



Σχήμα 7.12: Περιεκτικότητα του SiO_2 στα μαγνητικά προϊόντα (M1,M2,M3) και στο μη μαγνητικό προϊόν (MM) για όλα τα κοκκομετρικά κλάσματα



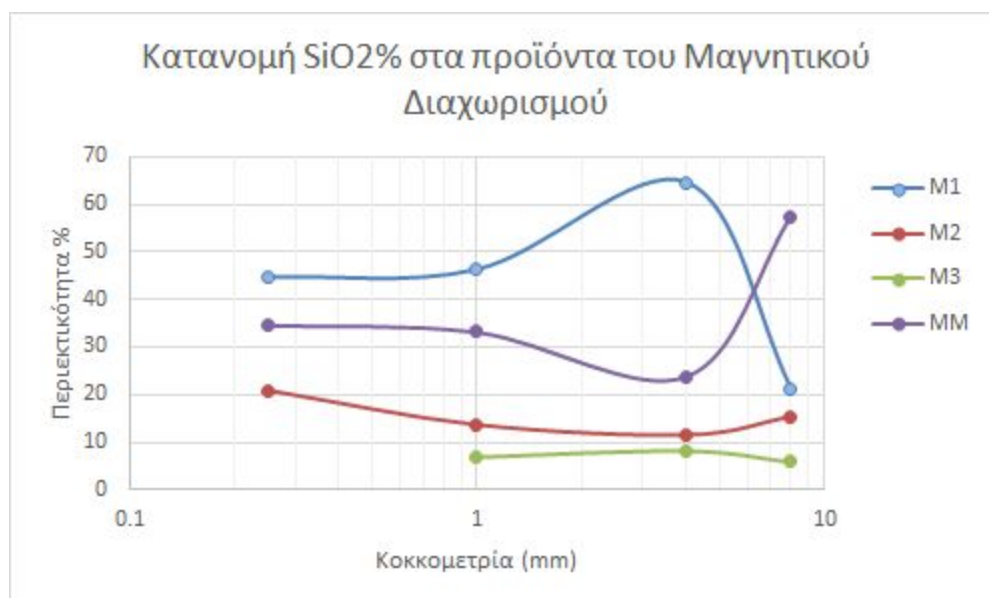
Σχήμα 7.13: Περιεκτικότητα του Fe_2O_3 στα μαγνητικά προϊόντα (M1,M2,M3) και στο μη μαγνητικό προϊόν (MM) για όλα τα κοκκομετρικά κλάσματα



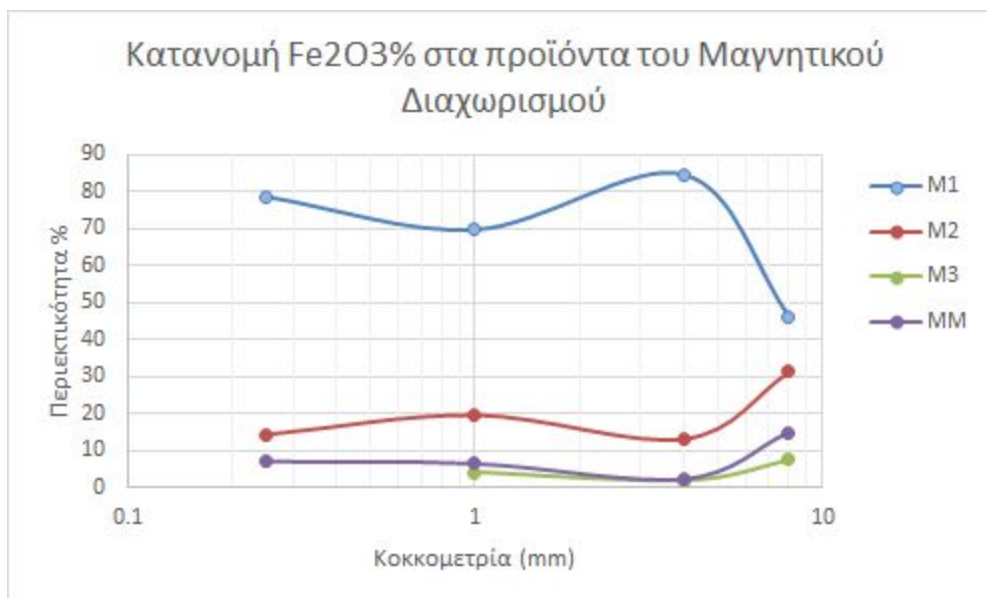
Σχήμα 7.14: Περιεκτικότητα του NiO στα μαγνητικά προϊόντα (M1,M2,M3) και στο μη μαγνητικό προϊόν (MM) για όλα τα κοκκομετρικά κλάσματα

7.4.2.3 Κατανομή των NiO, Fe₂O₃, SiO₂, στα Κλάσματα του Μαγνητικού Διαχωρισμού

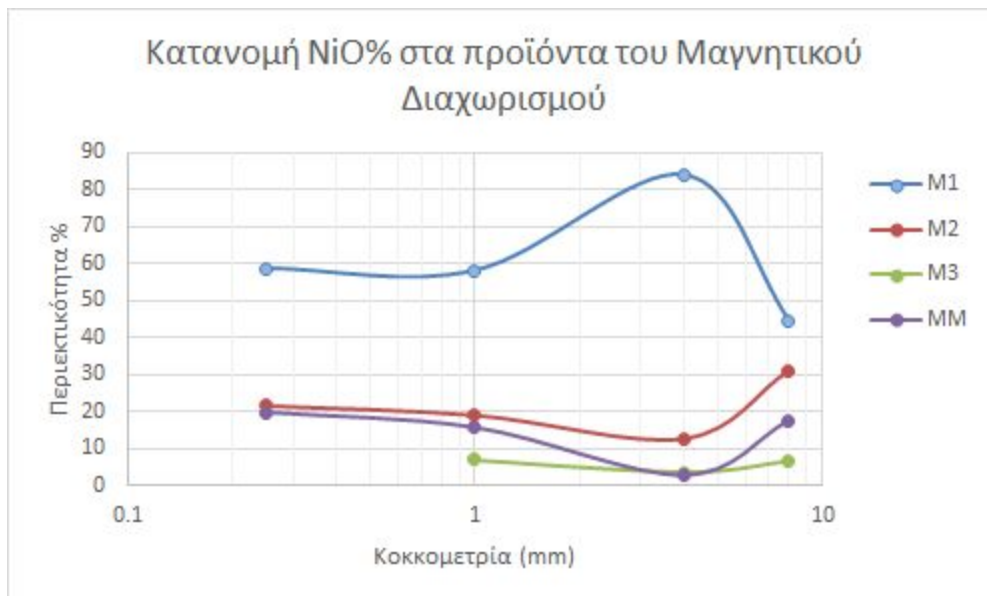
Στα σχήματα 7.15, 7.16, 7.17 που ακολουθούν, παρουσιάζονται οι κατανομές των οξειδίων NiO, Fe₂O₃, SiO₂, για τα διάφορα διαδοχικά προϊόντα του εμπλουτισμού.



Σχήμα 7.15: Κατανομή SiO₂ στα μαγνητικά προϊόντα (M1,M2,M3) και στο μη μαγνητικό προϊόν (MM) για όλα τα κοκκομετρικά κλάσματα



Σχήμα 7.16: Κατανομή Fe_2O_3 στα μαγνητικά προϊόντα (M1,M2,M3) και στο μη μαγνητικό προϊόν (MM) για όλα τα κοκκομετρικά κλάσματα



Σχήμα 7.17: Κατανομή NiO στα επιμέρους κλάσματα μαγνητικών (M1,M2,M3) και μη μαγνητικού κλάσματος (MM) για όλα τα κοκκομετρικά κλάσματα ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$)

Παρατηρώντας αρχικά τα σχήματα ανάλυσης 7.12-7.14, φαίνεται πως το μη μαγνητικό μέρος του εμπλουτισμού, είναι σε κάθε περίπτωση πλούσιο σε SiO_2 και φτωχό σε Fe_2O_3 . Πιο συγκεκριμένα η περιεκτικότητα σε Fe_2O_3 στα μαγνητικά κλάσματα μειώνεται με την μείωση της κοκκομετρίας των δειγμάτων, ενώ αντίστοιχα η περιεκτικότητα σε SiO_2 στα μη μαγνητικά κλάσματα μειώνεται αντίστοιχα με την μείωση της κοκκομετρίας των δειγμάτων. Όσον αφορά το NiO , φαίνεται τα πλούσια κλάσματα είναι τα μικρής κοκκομετρίας μαγνητικά κλάσματα. Στα μη μαγνητικά κλάσματα η περιεκτικότητα σε NiO , είναι χαμηλή, με το κλάσμα a2MM (-4+1mm, Μη Μαγνητικό) να καταγράφει την χαμηλότερη τιμή (0.27% κ.β.). Αντίστοιχα τα πιο πλούσια προϊόντα σε NiO είναι τα, a4M2 (-0.250+0.063mm, Μαγνητικό 2) και a3M3 (-1+0.250mm, Μαγνητικό 3). Τέλος μπορεί να σχολιαστεί από τα διαγράμματα ανάλυσης πως η περιεκτικότητα σε NiO , αυξάνεται με την μείωση της κοκκομετρίας.

Από τα διαγράμματα κατανομής 7.15-7.17, φαίνεται πως ο Fe κατανεμήθηκε στα μαγνητικά προϊόντα και το Si στα μη μαγνητικά με τις υψηλότερες κατανομές και για τα δύο στοιχεία να σημειώνονται στο προϊόν a2M1(-4+1mm). Με βάση τις κατανομές αυτές η πειραματική διαδικασία μπορεί να θεωρηθεί επιτυχημένη, και πως ο μαγνητικός εμπλουτισμός κατάφερε να διαχωρίσει τους μαγνητικούς κόκκους του αιματίτη από τους μη μαγνητικούς. Όσον αφορά την κατανομή του NiO , φαίνεται πως ακολουθεί την κατανομή του αιματίτη. Το NiO είναι συνδεδεμένο με τα μαγνητικά προϊόντα του εμπλουτισμού, ενώ το βέλτιστο προϊόν με βάση την κατανομή μπορεί να θεωρηθεί το προϊόν a2M1 (-4+1mm, Μαγνητικό 1) με ποσοστό κατανομής 81.17% κ.β και περιεκτικότητα 1.11 % κ.β.

7.4.2.4 Υπολογισμός των SiO₂, Fe₂O₃, NiO στα Αθροιστικώς Μαγνητικά και Μη Μαγνητικά Κλάσματα

Εξετάσθηκαν αθροιστικώς τα προϊόντα του διαχωρισμού, ώστε να εξακριβωθεί η κατανομή του NiO, του Fe₂O₃, και του SiO₂ στα νέα αθροιστικά προϊόντα. Τα αθροιστικά προϊόντα προκύπτουν από την άθροιση των διαφορετικών μαγνητικών ή μη μαγνητικών προϊόντα του κάθε περάσματος του υλικού από τον μαγνήτη. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών για τα νέα αθροιστικώς μαγνητικά M1, M2, M3 προϊόντα και μη μαγνητικά MM1, MM2, MM3 προϊόντα κατατίθενται στους παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 7.4.3: Αποτελέσματα του αθροιστικού μαγνητικού διαχωρισμού ως προς τα οξείδια: NiO, Fe₂O₃, SiO₂, για τα αθροιστικώς μαγνητικά προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού.

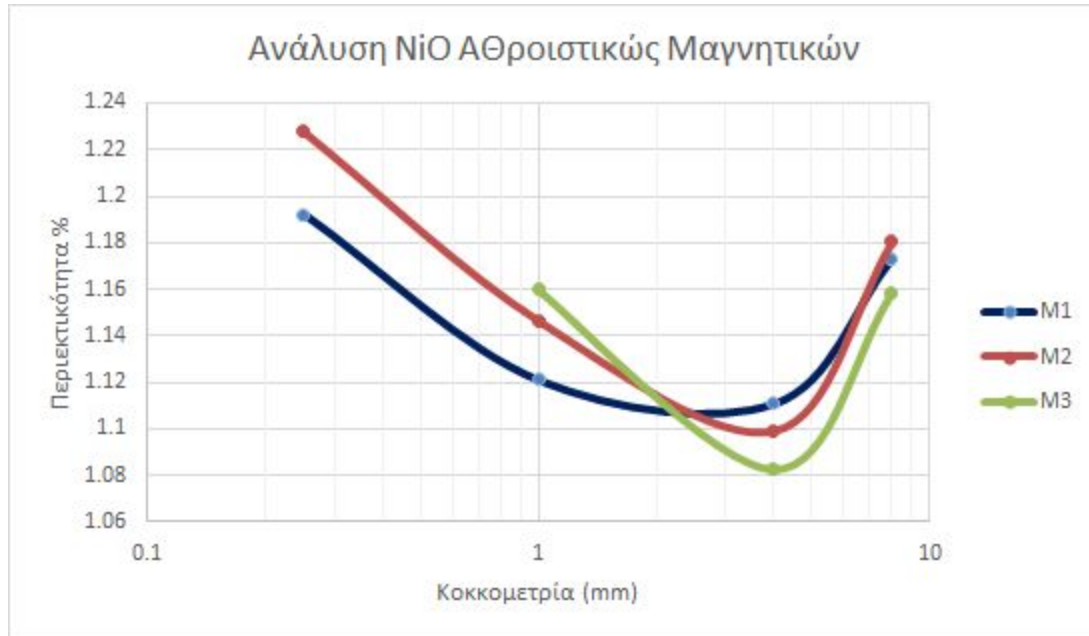
			Περιεκτικότητα %			Κατανομή %		
Κλάσμα Αθροιστικού Μαγν/κού Διαχωρισμού		Βάρος %	NiO%	SiO ₂ %	Fe ₂ O ₃ %	NiO%	SiO ₂ %	Fe ₂ O ₃ %
8+4	M1	33.09	1.173	26.91	41.34	44.58	21.26	46.12
	M2	22.65	1.180	27.55	41.25	75.57	36.67	77.51
	M3	6.16	1.158	28.77	40.75	82.36	42.52	85.05
-4+1	M1	72.55	1.111	28.39	43.49	81.17	59.59	83.19
	M2	11.96	1.099	28.76	43.10	93.56	70.31	96.02
	M3	4.46	1.083	30.30	41.70	97.02	77.99	97.81
-1+0.250	M1	55.33	1.121	30.86	38.72	58.11	46.20	69.73
	M2	16.51	1.147	30.84	38.23	77.16	59.93	89.38
	M3	5.70	1.160	31.87	37.08	84.26	66.86	93.59
-0.250+0.063	M1	57.39	1.192	27.82	30.95	58.75	44.59	78.75
	M2	18.73	1.228	30.79	27.57	80.27	65.45	93.03

Πίνακας 7.4.4: Αποτελέσματα του αθροιστικού μαγνητικού διαχωρισμού ως προς τα οξείδια: NiO, Fe_2O_3, SiO_2 , για τα αθροιστικώς μη μαγνητικά κλάσματα του μαγνητικού διαχωρισμού.

			Περιεκτικότητα %			Κατανομή %		
Κλάσμα		Βάρος %	NiO%	SiO ₂ %	Fe ₂ O ₃ %	NiO%	SiO ₂ %	Fe ₂ O ₃ %
8+4	MM1	66.91	0.721	49.29	23.88	55.42	78.74	53.88
	MM2	44.26	0.481	59.93	15.07	24.43	63.33	22.49
	MM3	38.10	0.403	63.19	11.64	17.64	57.48	14.95
-4+1	MM1	27.45	0.681	50.89	23.23	21.48	40.41	16.81
	MM2	15.49	0.413	66.23	9.75	7.34	29.69	3.98
	MM3	11.03	0.268	68.95	7.53	3.40	22.01	2.19
-1+0.250	MM1	44.67	1.001	44.51	20.82	51.36	53.80	30.27
	MM2	28.16	0.865	52.58	11.59	28.00	40.07	10.62
	MM3	22.46	0.748	54.53	8.77	19.30	33.14	6.41
-0.250+0.063	MM1	42.61	1.127	46.57	11.25	41.25	47.38	21.25
	MM2	23.88	0.962	51.80	6.58	19.73	29.54	6.97

7.4.2.5 Ανάλυση NiO, Fe₂O₃, SiO₂ στα Αθροιστικώς Μαγνητικά και μη Μαγνητικά

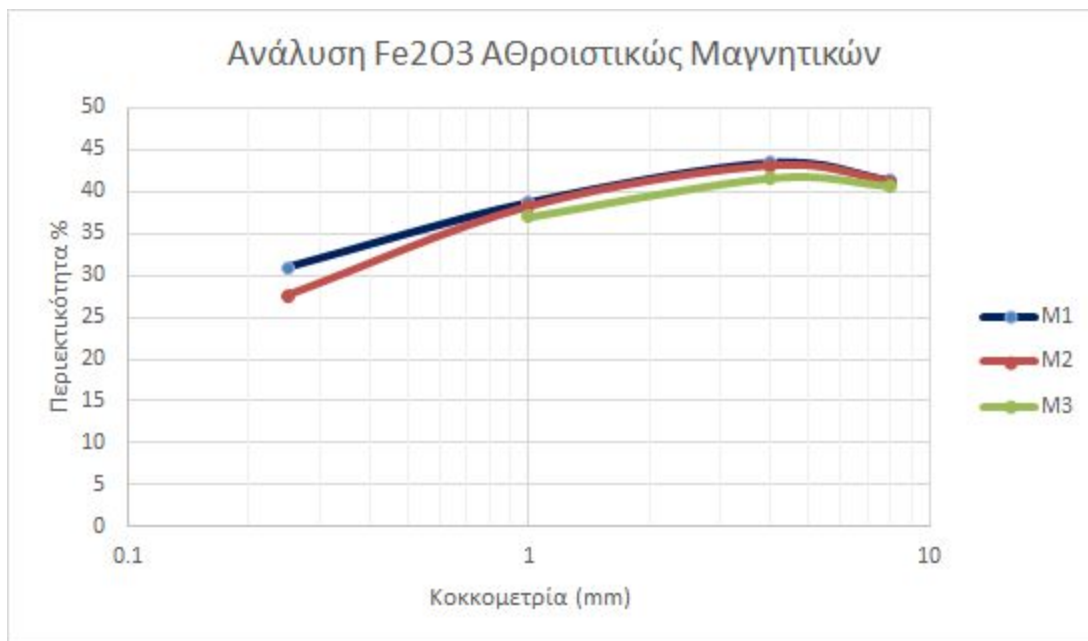
Στα παρακάτω σχήματα 7.18, 7.19, 7.20 παρουσιάζονται οι αναλύσεις σε SiO₂, Fe₂O₃, NiO των αθροιστικών μαγνητικών M1, M2, M3 και μη μαγνητικών αθροιστικών MM1, MM2, MM3.



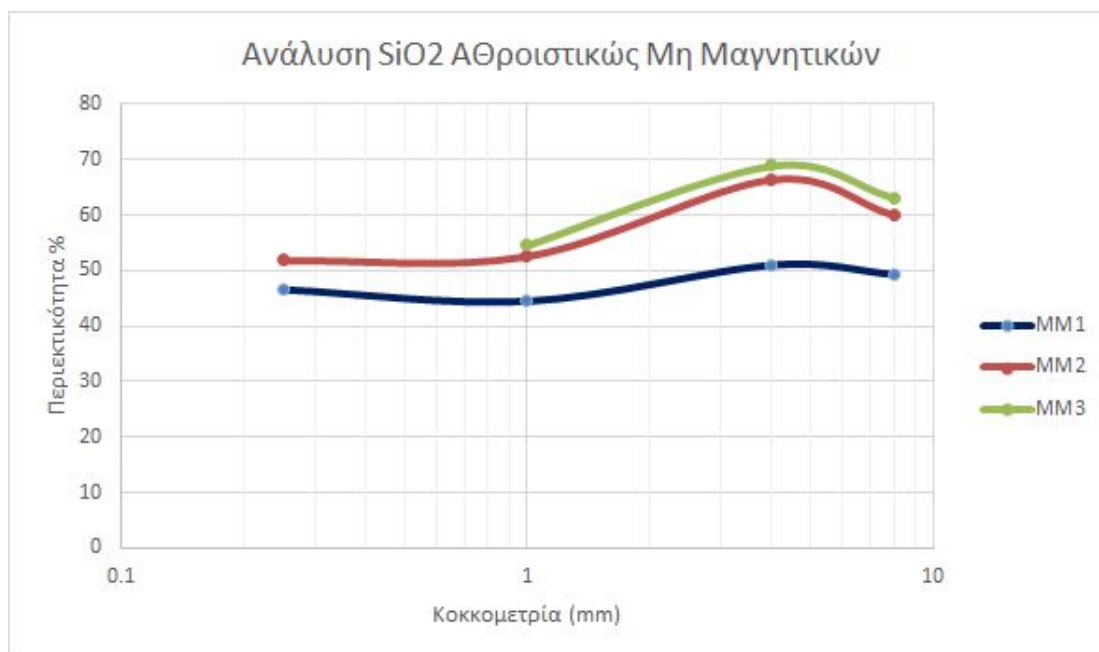
Σχήμα 7.18: Ανάλυση NiO Αθροιστικώς Μαγνητικών



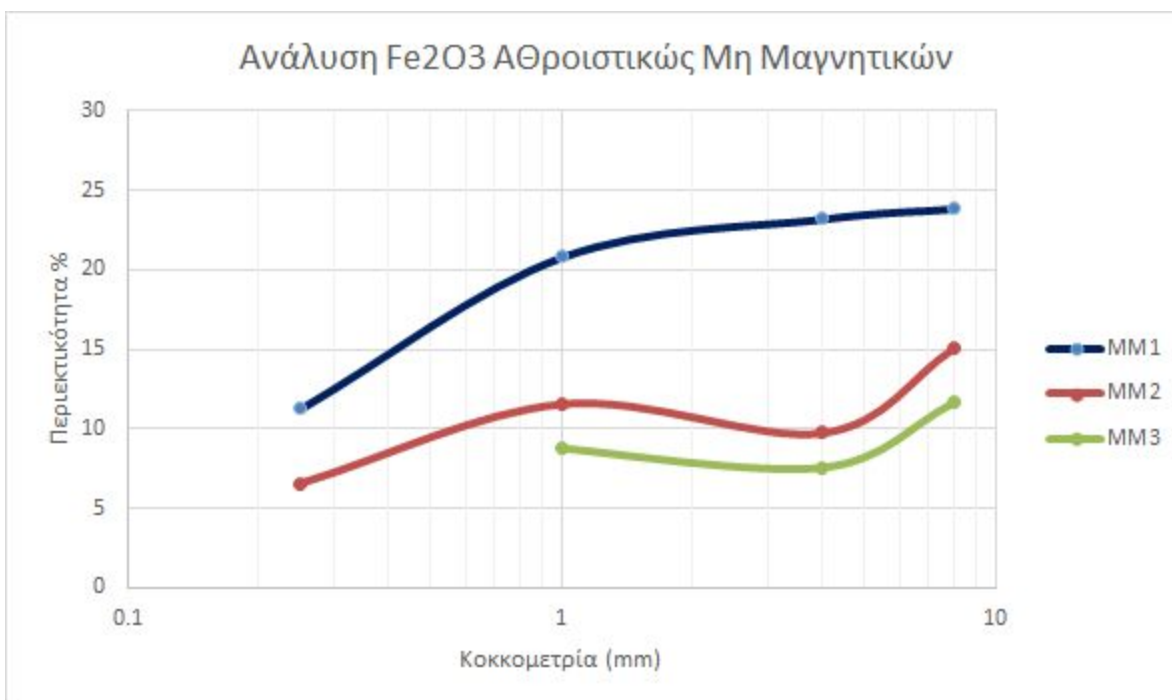
Σχήμα 7.19: Ανάλυση SiO₂ Αθροιστικώς Μαγνητικών



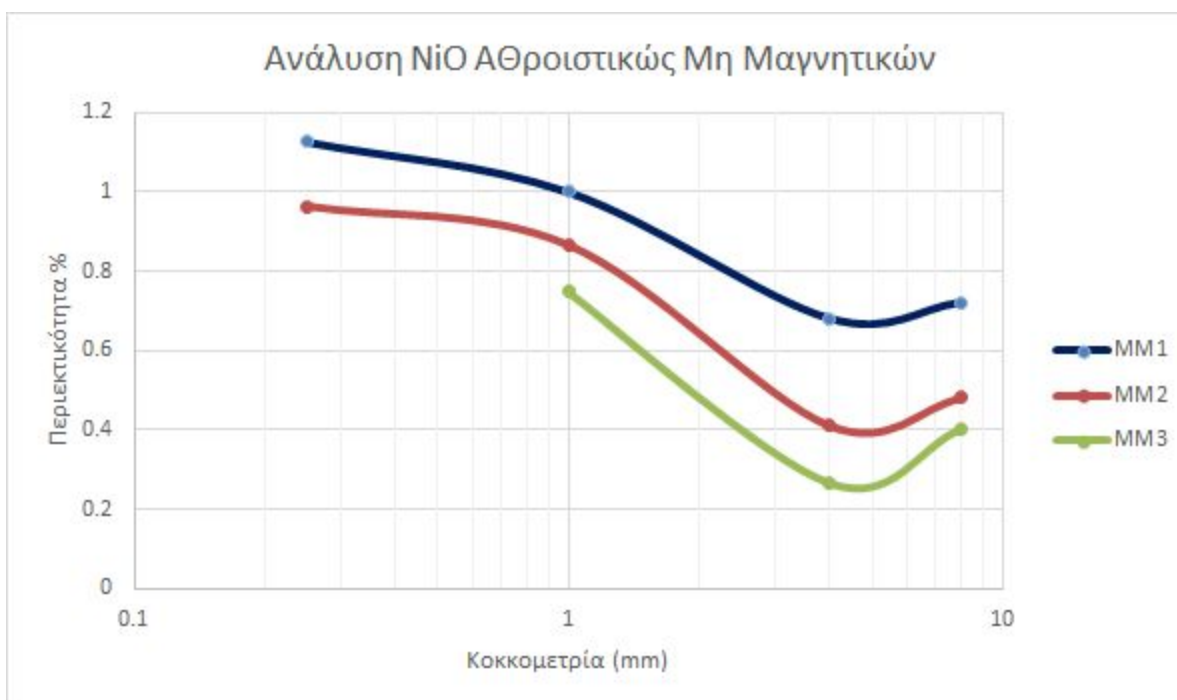
Σχήμα 7.20: Ανάλυση Fe_2O_3 Αθροιστικώς Μαγνητικών



Σχήμα 7.21: Ανάλυση SiO_2 Αθροιστικώς μη Μαγνητικών



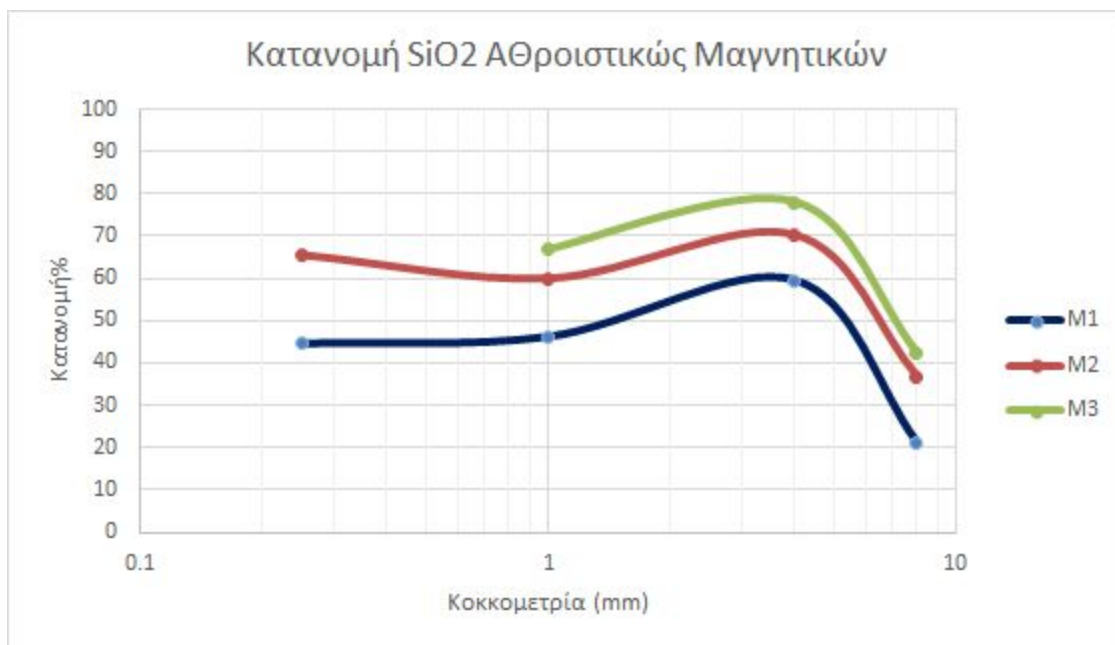
Σχήμα 7.22: Ανάλυση Fe_2O_3 Αθροιστικώς μη Μαγνητικών



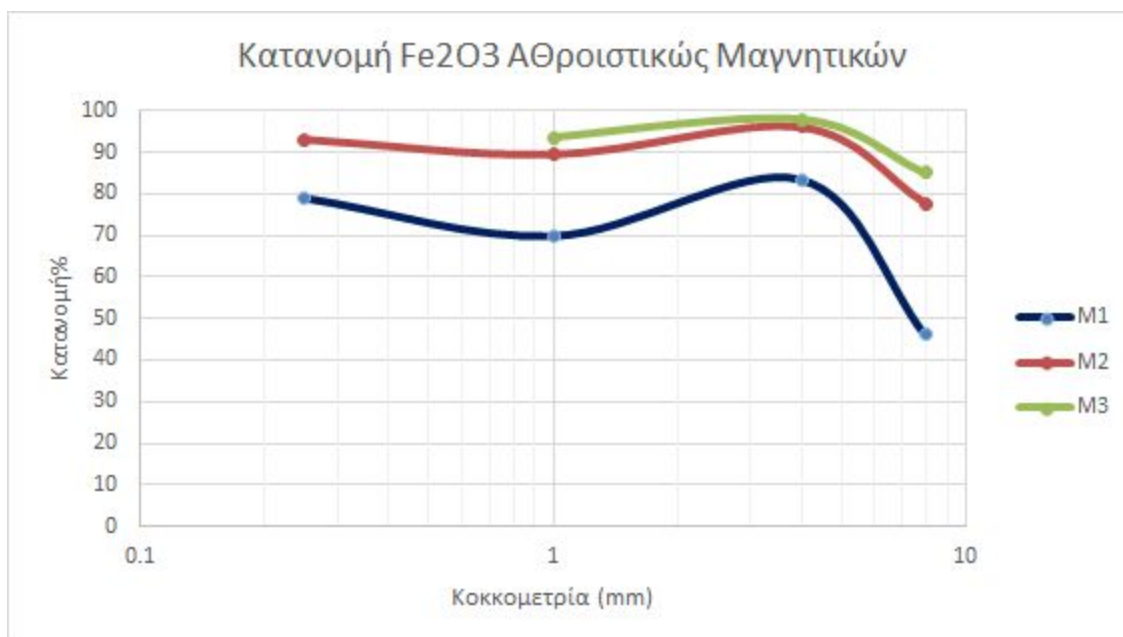
Σχήμα 7.23: Ανάλυση Fe_2O_3 Αθροιστικώς μη Μαγνητικών

7.4.2.6 Κατανομή NiO-Fe₂O₃-SiO₂ στα Αθροιστικώς Μαγνητικά

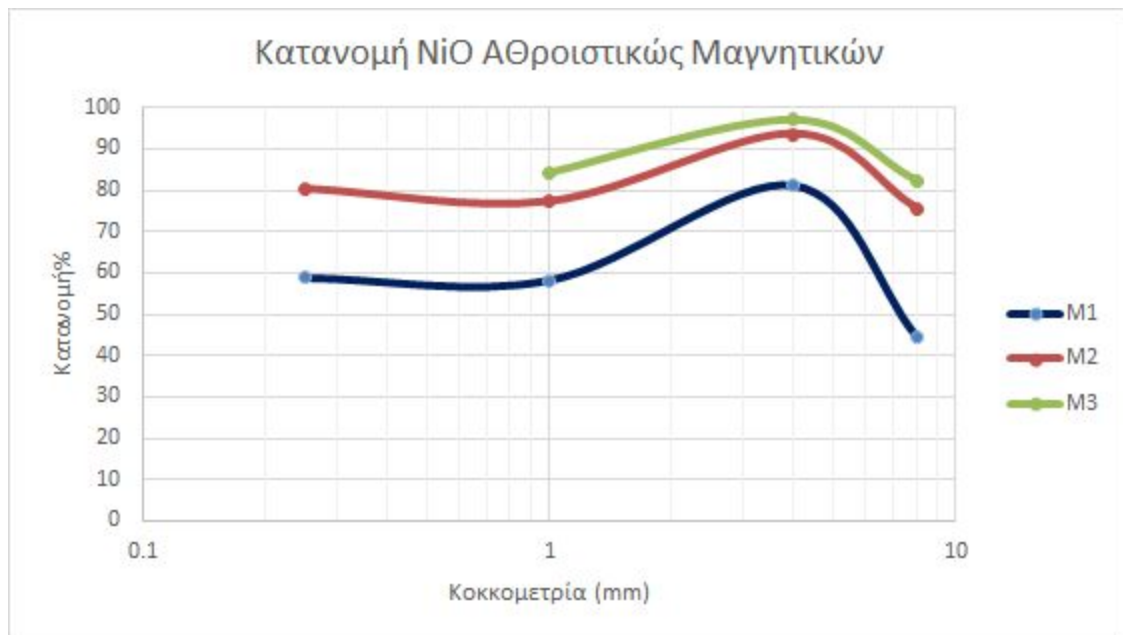
Στα σχήματα 7.21 - 7.26 παρουσιάζονται οι κατανομές των NiO, Fe₂O₃, SiO₂, στα αθροιστικώς μαγνητικά και μη μαγνητικά κλάσματα.



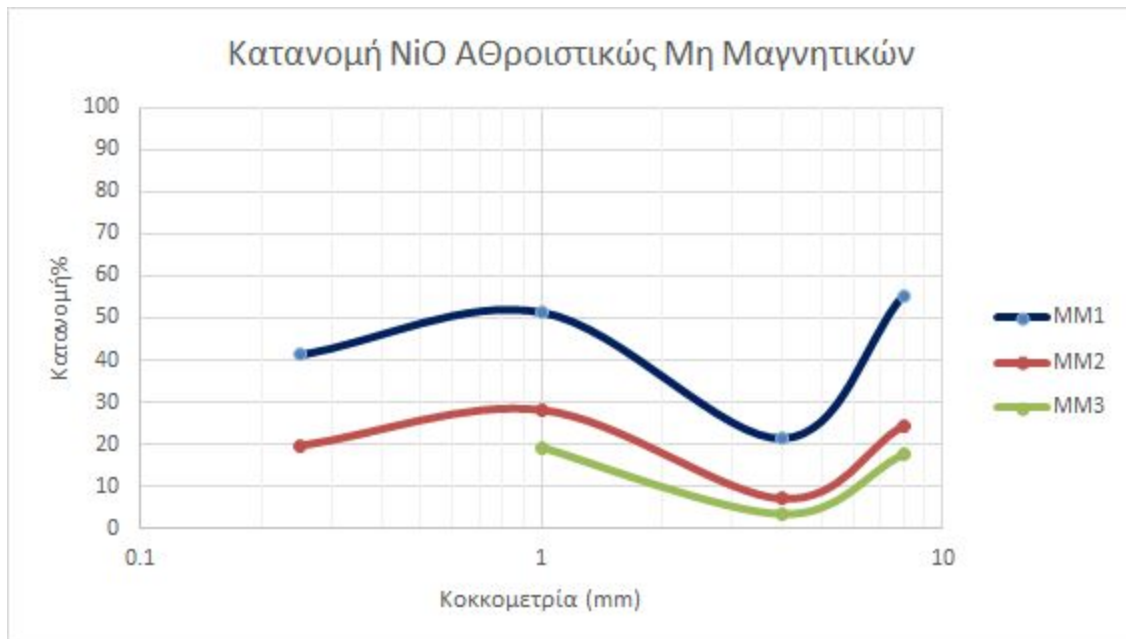
Σχήμα 7.24: Κατανομή SiO₂ Αθροιστικώς Μαγνητικών



Σχήμα 7.25: Κατανομή Fe₂O₃ Αθροιστικώς Μαγνητικών



Σχήμα 7.26: Κατανομή NiO Αθροιστικώς Μη Μαγνητικών



Σχήμα 7.27: Κατανομή NiO Αθροιστικώς Μη Μαγνητικών

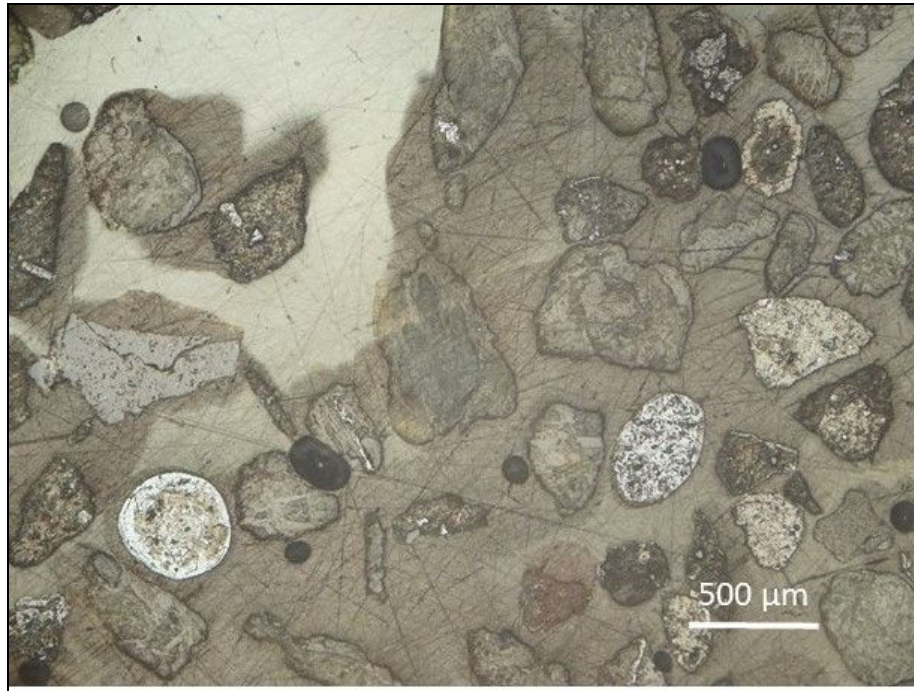


Σχήμα 7.27: Κατανομή Fe_2O_3 Αθροιστικώς Μη Μαγνητικών



Σχήμα 7.28: Κατανομή SiO_2 Αθροιστικώς Μη Μαγνητικών

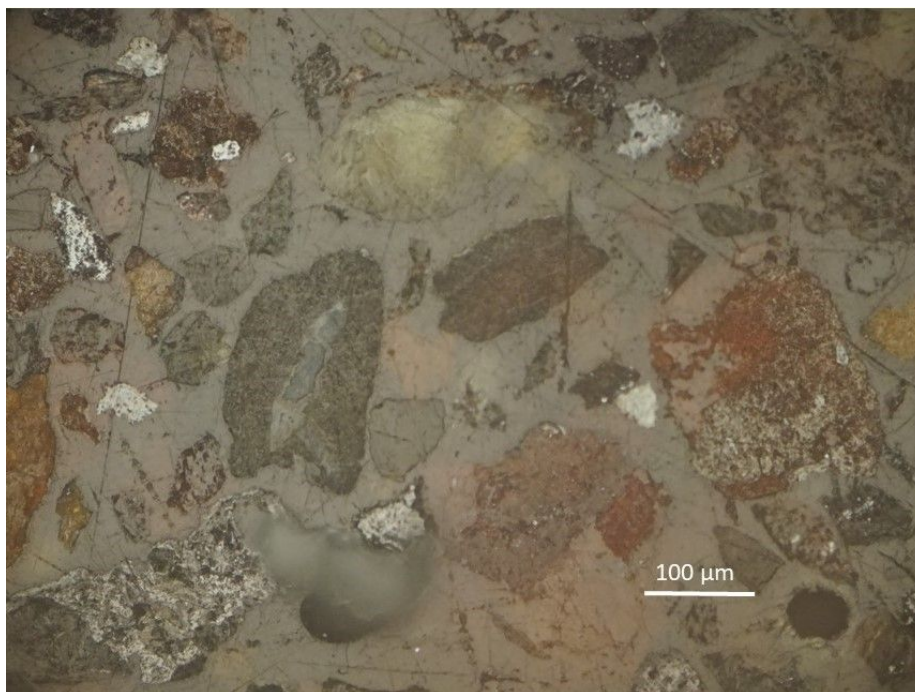
7.4.3 Μικροσκοπική Εξέταση Ενδεικτικών Δειγμάτων του Μαγνητικού Διαχωρισμού



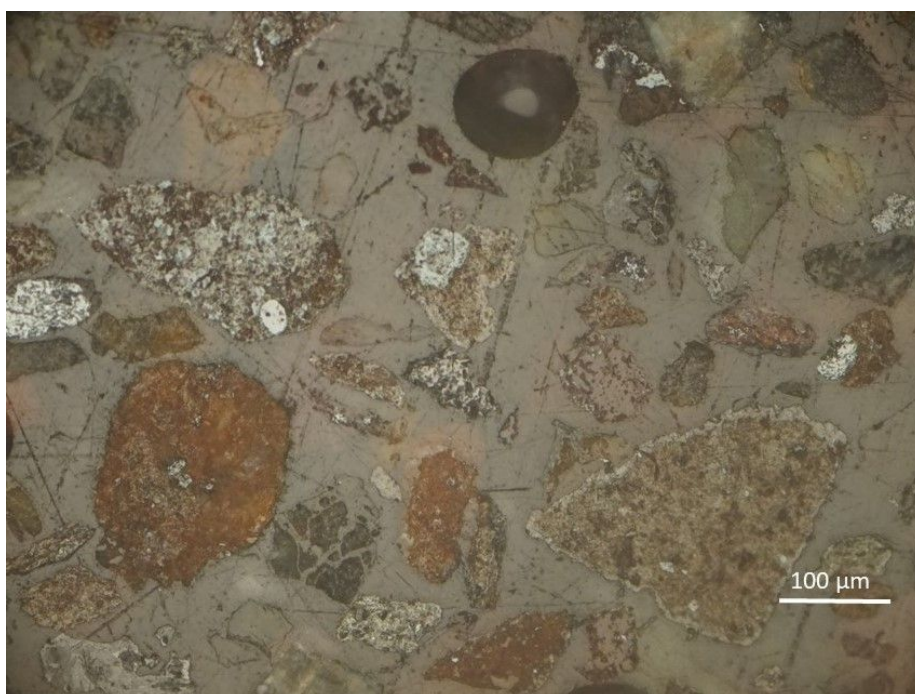
Εικόνα 7.4.3: Δείγμα α3M1 ($-1+0.250$, μαγνητικό I), ανακλώμενο φώς, // Nicols. Πελοειδή από αιματίτη και κόκκοι συνδετικού υλικού και χαλαζία.



Εικόνα 7.4.4: Δείγμα α3MM ($-1+0.250$, μη μαγνητικό). Κόκκοι πυριτικού συνδετικού υλικού και κόκκοι χαλαζία.



Εικόνα 7.4.6: Δείγμα α4MI (-0.250+0.063, μαγνητικό I) , ανακλώμενο φώς, // Nicols, Κόκκοι πυριτικού συνδετικού υλικού με υπολείμματα αιματίτη και μεμονωμένοι κόκκοι χαλαζία.



Εικόνα 7.4.7: Δείγμα α4MM (-0.250+0.063, μη μαγνητικό) , ανακλώμενο φώς, // Nicols, Κόκκοι πυριτικού συνδετικού υλικού με εγκλείσματα αιματίτη.

7.4.4 Παρατηρήσεις Συμπεράσματα

Ο μαγνητικός διαχωρισμός έχει σαν στόχο την απομόνωση των μαγνητικών ορυκτών από τα μη μαγνητικά. Σύμφωνα με αυτή την θεώρηση τα μαγνητικά διαχωρίστηκαν από τα μη μαγνητικά σε ικανοποιητικό βαθμό. Σύμφωνα με τις χημικές αναλύσεις, τις αναλύσεις του XRD και τις φωτογραφίες μικροσκοπίου, το νικέλιο είναι μέρος των M1 μαγνητικών στο μεγαλύτερο βαθμό σε ποσοστά κατανομής που αγγίζουν το 80%. Είναι ακόμη γνωστό πως το νικέλιο βρίσκεται στα ορυκτά βιλλεμζείτης και νοντρονίτης που αποτελούν αργιλικά ορυκτά. Τα αργιλικά ορυκτά αποτελούν στην περίπτωση του μεταλλεύματος του Mamez το συνδετικό υλικό μεταξύ των κόκκων. Όπως δείχνουν οι φωτογραφίες μικροσκοπίου σε όλες τις κλίμακες μεγέθους, ο αιματίτης και ο χρωμίτης αποτελούν συσσωμάτωμα με τους κόκκους του συνδετικού υλικού. Συνεπώς με τον μαγνητισμό των κόκκων αιματίτη το συνδετικό υλικό καταλήγει μηχανικά στα μαγνητικά προϊόντα. Επιπλέον μπορεί να θεωρηθεί πως και οι συγκεκριμένες άργιλοι έχουν μαγνητικές ιδιότητες. Μελέτες περί των μαγνητικών ιδιοτήτων των σμεκτιτών (R. Schuette á B.A. Goodman á J.W. Stucki, 2000), έδειξαν πως ο Νοντρονίτης λόγω των ιόντων σιδήρου στις στιβάδες του μπορεί να αποκτήσει ιδιότητες αντιφερομαγνητισμού, ειδικότερα σε χαμηλές θερμοκρασίες. Ακόμη να αναφερθεί πως, το Ni είναι σιδηρομαγνητικό υλικό και επιδέχεται μαγνητισμού, όπως και ο Fe και το Co. Σύμφωνα με τα παραπάνω, μπορεί να γίνει κατανοητό πως ο βιλλεμζείτης κατέληξε στα μαγνητικά προϊόντα του διαχωρισμού.

Στα αθροιστικά μαγνητικά και μη μαγνητικά βλέπουμε πως η κατανομή του NiO στα αθροιστικώς μαγνητικά κλάσματα φτάνει το 97% για το M3 προϊόν του κλάσματος -4+1mm. Επιπλέον οι περιεκτικότητες σε NiO στα αθροιστικώς μαγνητικά παρότι διαφέρουν σε μικρό βαθμό μεταξύ τους (τάξη των 0.10 % κ.β) δείχνουν ανοδική τάση στα μικρόκοκκα κλάσματα των M2 και M3. Συνεπώς η κατανομή και η περιεκτικότητα βλέπουμε πως αυξάνεται με την πρόσθεση των κάθε φορά μαγνητικών προϊόντων του διαχωρισμού.

7.5 Υγρός Μαγνητικός Διαχωρισμός

7.5.1 Σκοπός των Πειραμάτων

Ο σκοπός των πειραμάτων του υγρού μαγνητικού διαχωρισμού ήταν διπλός. Αφενός ήταν σημαντικό να μελετηθούν οι μαγνητικές ιδιότητες του μεταλλεύματος για τα μικρότερα κλάσματα ($-0.063+0.010\text{mm}$) αφετέρου έγινε συγκριτική μελέτη μεταξύ των δύο ομάδων c και d του αρχικού μεταλλεύματος όπως προαναφέρθηκε στις παραγράφους 7.1 και 7.2. Η πρώτη ομάδα (c) έφτασε σε κοκκομετρίες της τάξης των $-0.063+0.010\text{ mm}$ με χρήση υδροκυκλώνα ύστερα από κοσκίνιση σε πολλά διαδοχικά στάδια ($-8+4\text{mm}$, $-4+1\text{mm}$, $-1+0.0250\text{mm}$, $+0.250+0.063\text{mm}$ και το -0.063mm , από το οποίο προέκυψαν τα κλάσματα $-0.063+0.010\text{mm}$, -0.010mm) ενώ η δεύτερη ομάδα (d) λειοτριβήθηκε απευθείας στα κλάσματα $-0.063+0.010\text{mm}$ και -0.010 mm . Στόχος ήταν να εξακριβωθούν τυχόν διαφορές στην περιεκτικότητα και στην κατανομή των κύριων στοιχείων στα δείγματα.

Στην πειραματική διαδικασία συμμετείχαν: το δείγμα c7 ($-0.063+0.010\text{mm}$) της πρώτης ομάδας και το δείγμα d1 ($-0.063+0.010\text{mm}$) της δεύτερης ομάδας. Τα δείγματα c8 (-0.010mm) και d2 (-0.010mm) δεν μπορούσαν λόγω υπερβολικά μικρού μεγέθους να συμμετέχουν στον υγρό μαγνητικό διαχωρισμό.

7.5.1.1 Περίληψη της Πειραματικής Διαδικασίας

Ο υγρός μαγνητικός διαχωρισμός επιλέχθηκε στην περίπτωση του μεταλλεύματος του Mamez για τα δείγματα μεγέθους $-0.063+0.010\text{mm}$ λόγω της καλύτερης του απόδοσης για το μέγεθος αυτό.

Ο διαχωρισμός στον μαγνήτη περιλαμβάνει τρία διαφορετικά πέρασμα. Ένα πέρασμα στα 6 A ένα πέρασμα στα 3 A και ένα πέρασμα στο 1.5 A, λόγω του έτσι παρατηρήθηκε πως διαχωρίζεται πιο ισόποσα το υλικό έπειτα από παρακολούθηση. Κατασκευάστηκαν έτσι για την κάθε ομάδα, τρία υδατικά μίγματα, με το υλικό του μεταλλεύματος και το νερό να είναι σε αναλογία 1:10, με αποτέλεσμα την παραγωγή συνολικά, 6 υδατικών μιγμάτων, δηλαδή 3 για την κάθε ομάδα. Το κάθε υδατικό μίγμα οδηγήθηκε στον μαγνήτη που περιλαμβάνει ένα μεταλλικό χωνί στο οποίο διοχετεύεται το μίγμα, και περνάει από μία άλλη μεταλλική περιοχή που περιλαμβάνει σφαίρες σιδήρου μεγέθους μερικών εκατοστών. Οι σφαίρες επιδέχονται μαγνητισμού που προκύπτει από ηλεκτρομαγνήτη ρυθμισμένο στην τάση που επιθυμούμε και μπορούν να συγκρατούν το μαγνητισμένο υλικό στην επιφάνειά τους. Το υλικό που δεν επιδέχεται μαγνητισμού, ξεφεύγει και συνεχίζει την πορεία του σε μία μικρή πλατφόρμα για να καταλήξει σε ειδικό ταψάκι. Όταν όλο το υδατικό μίγμα έχει περάσει από τον διαχωριστή, το μεταλλικό δοχείο που περιλαμβάνει τις σφαίρες στις οποίες έχει δεσμευτεί επιφανειακά το μαγνητισμένο υλικό πλένεται με νερό προσεκτικά εκτός του μαγνήτη ώστε το μαγνητισμένο υλικό να μπορέσει να διαφύγει από τις σφαίρες και να συλλεχθεί σε διαφορετικό ταψάκι. Όλα τα ταψάκια στην συνέχεια οδηγήθηκαν σε κλίβανο στους 105°C για 24 h ώστε να εξατμιστεί το νερό και να παραμείνει το υλικό.

Με αυτήν την μεθοδολογία πραγματοποιήθηκαν 3 ξεχωριστά περάσματα για κάθε ένα από τα τρία υδάτινα μίγματα της πρώτης ομάδας (c) και για κάθε ένα από τα τρία υδάτινα μίγματα της δεύτερης ομάδας (d).

Το κάθε πέρασμα πραγματοποιήθηκε σε διαφορετική τάση του μαγνήτη (6, 3, 1.5 Ampere) με σκοπό από το κάθε πέρασμα να παραχθούν δύο διαφορετικά προϊόντα. Ένα μαγνητικό προϊόν (M) και ένα μη μαγνητικό προϊόν (MM).

7.5.2 Αποτελέσματα του υγρού μαγνητικού διαχωρισμού

Στους πίνακες που ακολουθούν 7.5.1 και 7.5.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του υγρού μαγνητικού διαχωρισμού ως προς τα βάρη των κλασμάτων που παρήχθησαν για τις δύο ομάδες c και d του μεταλλεύματος.

Πίνακας 7.5.1 Αποτελέσματα του υγρού μαγνητικού διαχωρισμού ως προς το βάρος και τις χημικές αναλύσεις των προϊόντων του υγρού μαγνητικού διαχωρισμού του δείγματος c7 (-0.063+0.010mm)

Μέγεθος Κόκκων (mm)	Βάρος ολ. %	Κλάσμα Μαγν/κού Διαχ/μου	ΒΑΡΟΣ		ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ						
			βάρος κλ. %	βάρος επί αρχ/κού	NiO (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)
c7 (-0.063 +0.010)	46.00	Μαγνητικό (M6)	40.48	6.21	1.49	28.41	32.66	9.44	0.47	0.65	13.95
		Μη Μαγν/κό (MM6)	59.52	9.13	1.66	16.57	43.59	0.86	1.65	3.76	18.42
		TOTAL	100	15.33							
		Μαγνητικό (M3)	40.43	6.20	1.53	29.55	31.32	10.72	0.47	0.65	13.41
		Μη Μαγν/κό (MM3)	59.57	9.13	1.61	16.45	42.38	1.05	1.47	4.03	17.73
		TOTAL	100	15.33							
		Μαγνητικό (M1.5)	20.00	3.07	1.48	32.02	28.34	13.82	0.52	0.59	11.82
		Μη Μαγν/κό (MM1.5)	80.00	12.27	1.72	19.59	42.85	1.38	0.37	4.01	18.17
		TOTAL	100	15.33							
		TOTAL		46.00							
c8 (-0.010)	54.00		100	54.00	1.83	23.04	40.29	0.86	2.53	0.75	16.17
ΣΥΝΟΛΟ	100	TOTAL		100							

Πίνακας 7.5.2 Αποτελέσματα του υγρού μαγνητικού διαχωρισμού ως προς το βάρος και τις χημικές αναλύσεις των προϊόντων του υγρού μαγνητικού διαχωρισμού του δείγματος d1 (-0.063+0.010mm)

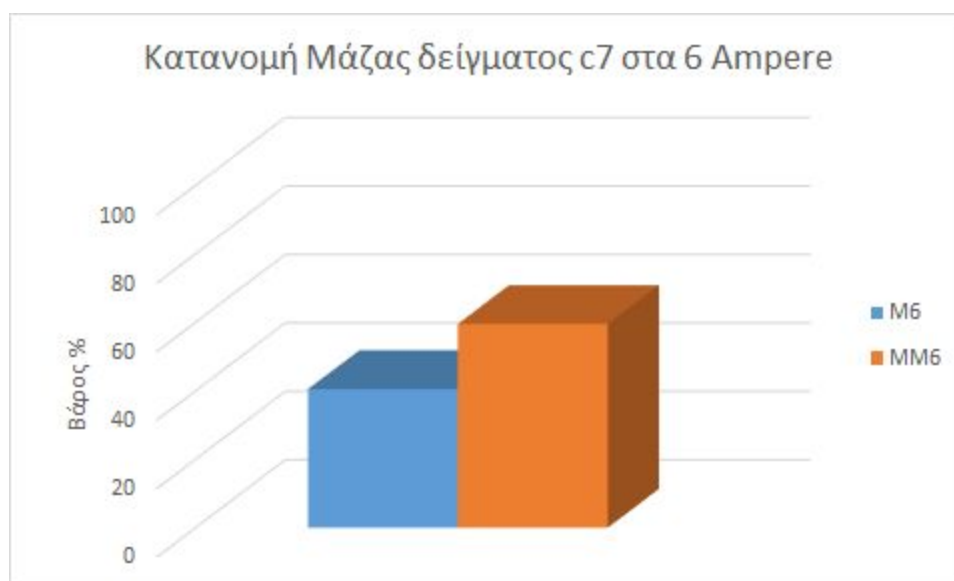
			ΒΑΡΟΣ		ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ						
Μέγεθος Κόκκων (mm)	Βάρος ολ. %	Προϊόν Μαγν/κού Διαχ/μου	βάρος κλ. %	βάρος επί αρχ/κού	NiO (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)
d1 (-0.063 +0.010)	64.58	Μαγνητικό (M6)	38.61	8.31	1.13	40.31	31.68	12.38	2.04	0.51	9.14
		Μη Μαγν/κό (MM6)	61.39	13.22	1.00	17.24	53.77	1.15	1.41	3.25	14.65
		TOTAL	100	21.53							
		Μαγνητικό (M3)	51.87	11.17	1.07	38.98	28.42	12.15	1.93	0.46	8.22
		Μη Μαγν/κό (MM3)	48.13	10.36	1.05	20.63	49.69	1.60	1.52	2.98	13.92
		TOTAL	100	21.53							
		Μαγνητικό (M1.5)	37.02	7.97	1.03	39.99	28.80	12.42	1.88	0.41	6.99
		Μη Μαγν/κό (MM1.5)	62.98	13.56	1.13	25.43	46.69	2.38	0.41	2.47	13.64
		TOTAL	100	21.53							
		TOTAL		64.58							
d2 (-0.010)	35.42		100	35.42	1.44	33.04	36.85	1.75	2.17	0.75	11.84
ΣΥΝΟΛΟ	100	TOTAL		100							

Πίνακας 7.5.3: Κατανομή των Οξειδίων των Κύριων Στοιχείων για τα κλάσματα του υγρού μαγνητικού διαχωρισμού για τα δείγματα c7 και d1

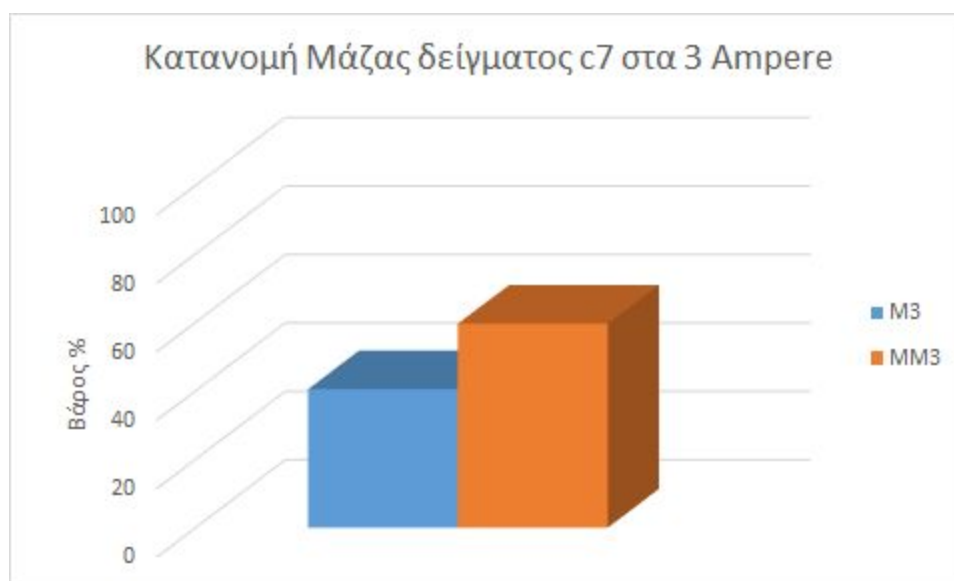
	ΚΑΤΑΝΟΜΗ						
Προϊόν Μαγνητικού Διαχωρισμού	Fe ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	Cr ₂ O ₃ %	NiO %	Al ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %
C7M6	53.83	33.75	88.14	37.78	16.18	10.51	34.00
C7MM6	46.17	66.25	11.86	62.22	83.82	89.49	66.00
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100
C7M3	54.95	33.40	87.35	39.15	17.82	9.88	33.93
C7MM3	45.05	66.60	12.65	60.85	82.18	90.12	66.07
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100
C7M1.5	29.01	14.19	71.42	17.72	25.83	3.53	13.99
C7MM1.5	70.99	85.81	28.58	82.28	74.17	96.47	86.01
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100
D1M6	59.52	27.04	87.18	41.54	47.62	8.95	28.19
D1MM6	40.48	72.96	12.82	58.46	52.38	91.05	71.81
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100
D1M3	67.06	38.13	89.13	52.31	57.78	14.23	38.90
D1MM3	32.94	61.87	10.87	47.69	42.22	85.77	61.10
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100
D1M1.5	48.04	26.61	75.40	34.78	72.89	8.82	23.16
D1MM1.5	51.96	73.39	24.60	65.22	27.11	91.18	76.84
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100

7.5.2.1 Κατανομή Μάζας στα Κλάσματα του Υγρού Μαγνητικού Διαχωρισμού

Στα σχήματα που ακολουθούν 7.24-7.29, παρουσιάζονται οι κατανομές της μάζας των προϊόντων του υγρού μαγνητικού διαχωρισμού επί τοις εκατό και για τα δύο δείγματα c7 και d1.



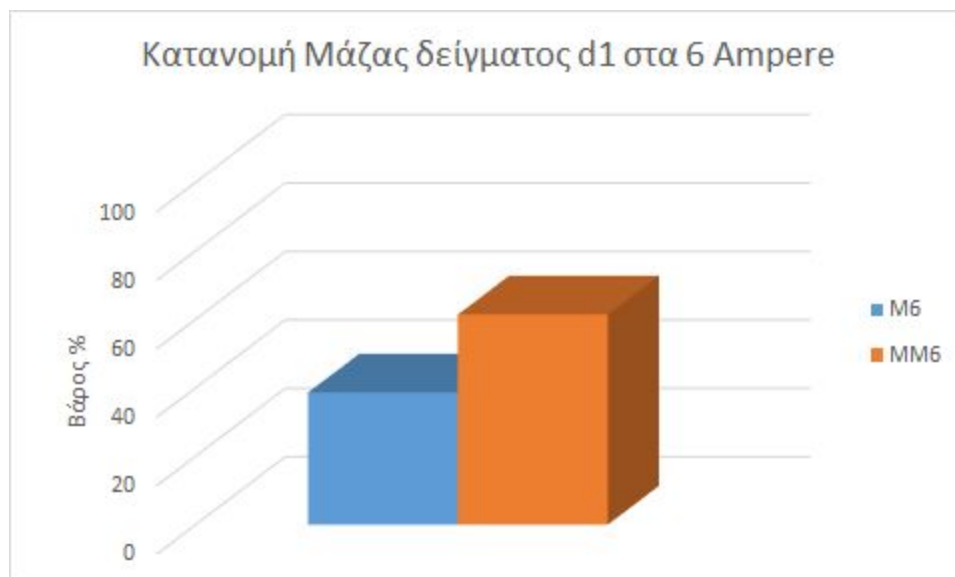
Σχήμα 7.29: Κατανομή μάζας στα μαγνητικά και μη μαγνητικά προϊόντα για το δείγμα c7 στα 6 A.



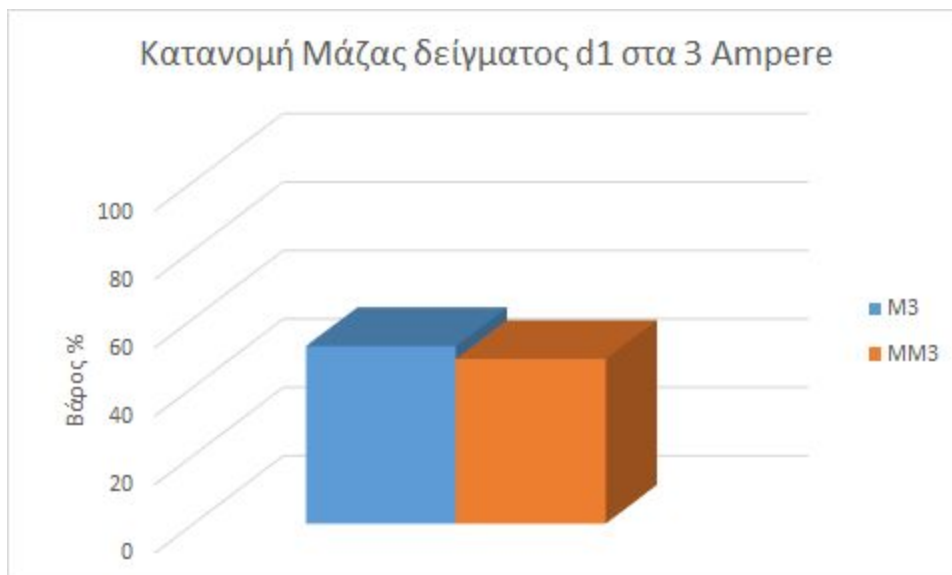
Σχήμα 7.30: Κατανομή μάζας στα μαγνητικά και μη μαγνητικά προϊόντα για το δείγμα c7 στα 3 A.



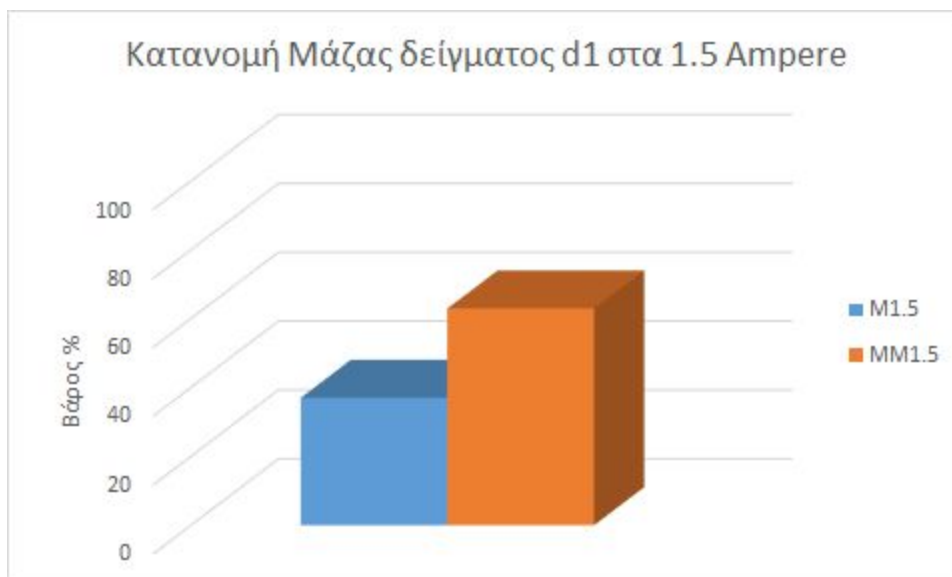
Σχήμα 7.31: Κατανομή μάζας στα μαγνητικά και μη μαγνητικά προϊόντα για το δείγμα c7 στα 1.5 A.



Σχήμα 7.32: Κατανομή μάζας στα μαγνητικά και μη μαγνητικά προϊόντα για το δείγμα d1 στα 6 A.



Σχήμα 7.33: Κατανομή μάζας στα μαγνητικά και μη μαγνητικά προϊόντα για το δείγμα d1 στα 3 A.



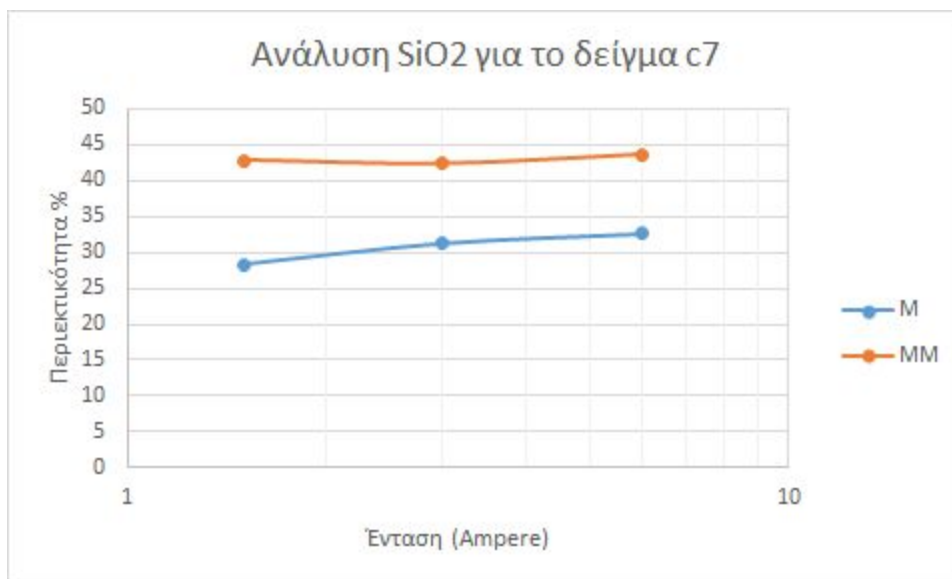
Σχήμα 7.34: Κατανομή μάζας στα μαγνητικά και μη μαγνητικά προϊόντα για το δείγμα d1 στα 1.5 A.

Σχολιασμός των Αποτελεσμάτων

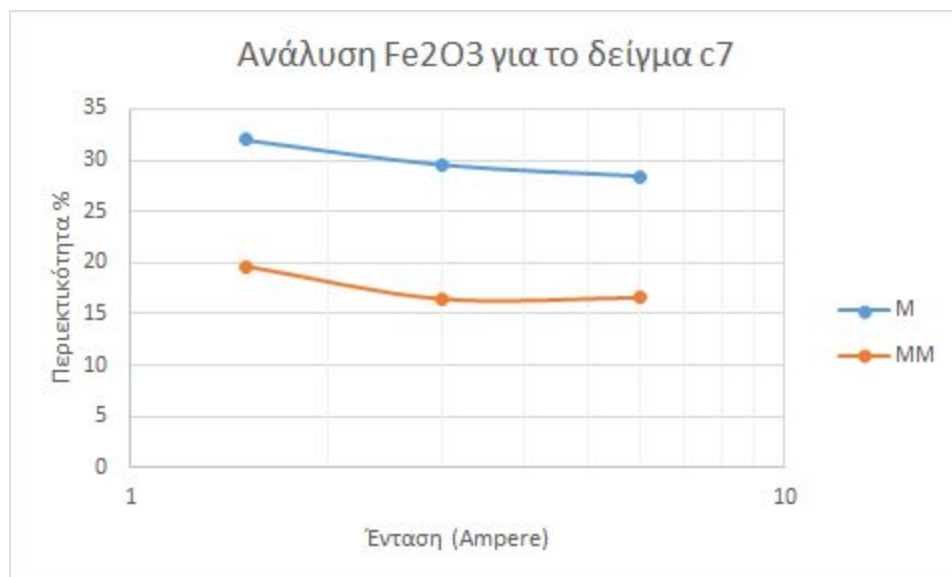
Παρατηρούμε από τα διαγράμματα πως η κατανομή της μάζας στα μαγνητικά και τα μη μαγνητικά προϊόντα είναι περίπου ίδια (40% μαγνητικά 60% μη μαγνητικά) για τα διαφορετικά περάσματα από τον μαγνήτη, με εξαίρεση το c7 MM1.5 που είχε κατανομή μάζας 80%. Αυτό μπορεί να ερμηνευθεί από το γεγονός πως στην κοκκομετρία που εξετάζουμε $-0.063+0.010\text{mm}$, το μη μαγνητικό υλικό δηλαδή πυριτικά ορυκτά είναι περισσότερα από τα μαγνητικά δηλαδή τον αιματίτη. Τέλος έγινε η υπόθεση πως με την διαλυτοποίηση των κόκκων σε νερό, κατάφερε το συνδετικό υλικό να διαχωριστεί από τους μαγνητικούς κόκκους του αιματίτη και άρα να καταλήξει στα μη μαγνητικά.

7.5.2.2 Ανάλυση των SiO_2 , Fe_2O_3 , NiO

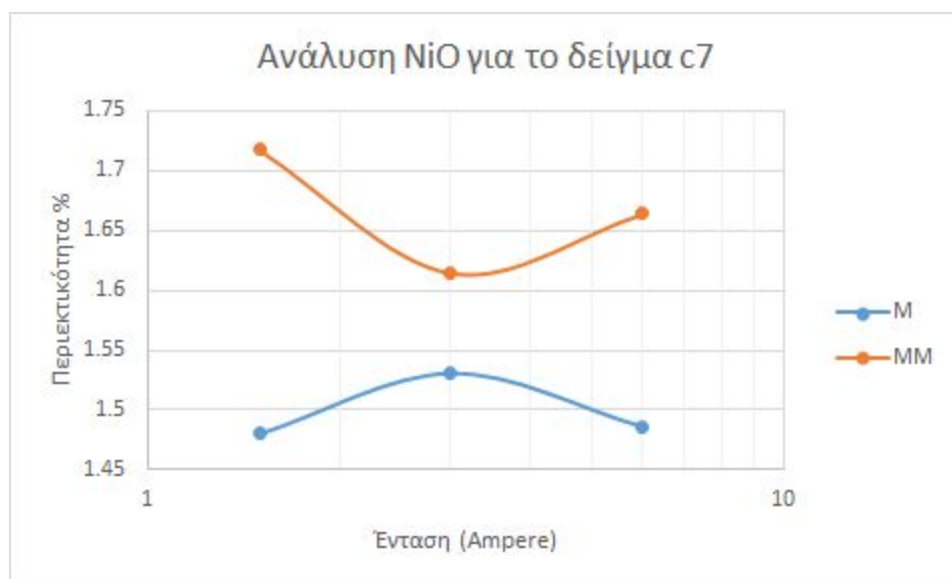
Στα σχήματα που ακολουθούν 7.30-7.35 παρουσιάζονται οι χημικές αναλύσεις για τα οξείδια SiO_2 , Fe_2O_3 και NiO .



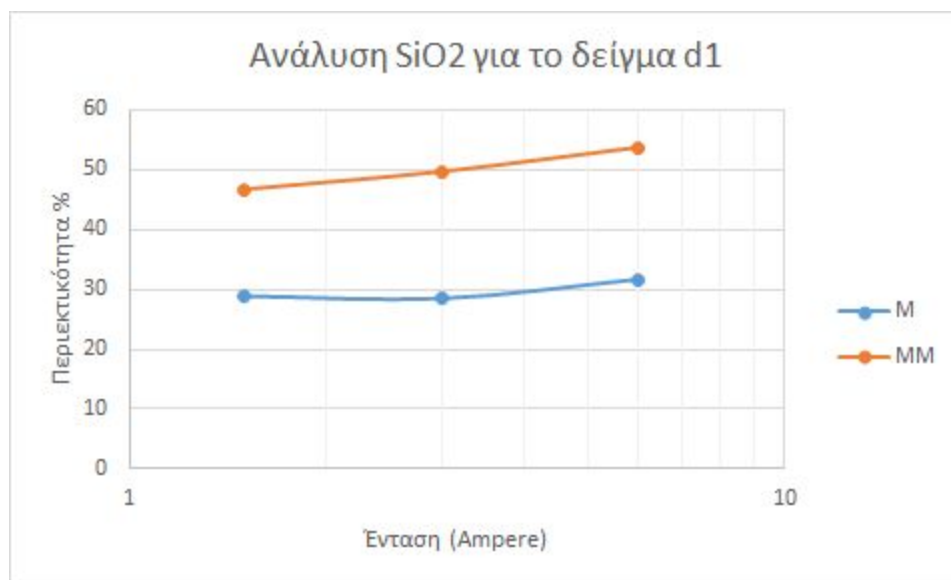
Σχήμα 7.35: Ανάλυση SiO_2 για το δείγμα c7 στο μαγνητικό και μη μαγνητικό προϊόν, στα 6, 3 και 1.5 Ampere



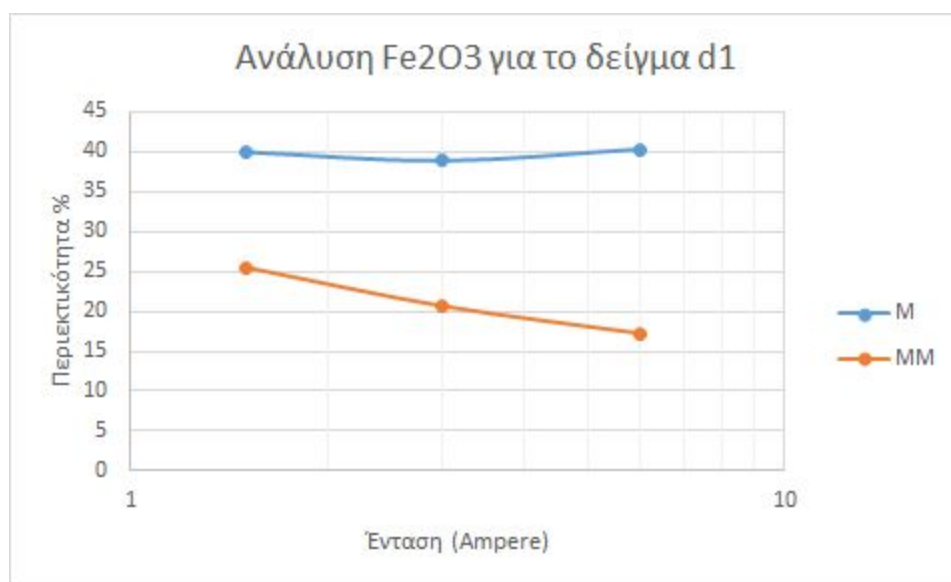
Σχήμα 7.36: Ανάλυση Fe_2O_3 για το δείγμα c7 στο μαγνητικό και μη μαγνητικό προϊόν, στα 6, 3 και 1.5 Ampere



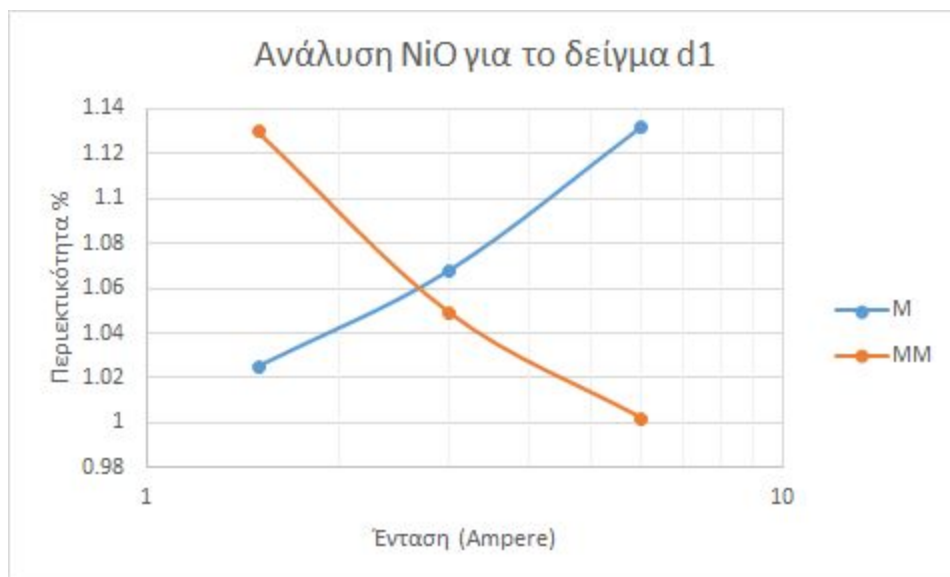
Σχήμα 7.37: Ανάλυση NiO για το δείγμα c7 στο μαγνητικό και μη μαγνητικό προϊόν, στα 6, 3 και 1.5 Ampere



Σχήμα 7.38: Ανάλυση SiO₂ για το δείγμα d1 στο μαγνητικό και μη μαγνητικό προϊόν, στα 6, 3 και 1.5 Ampere



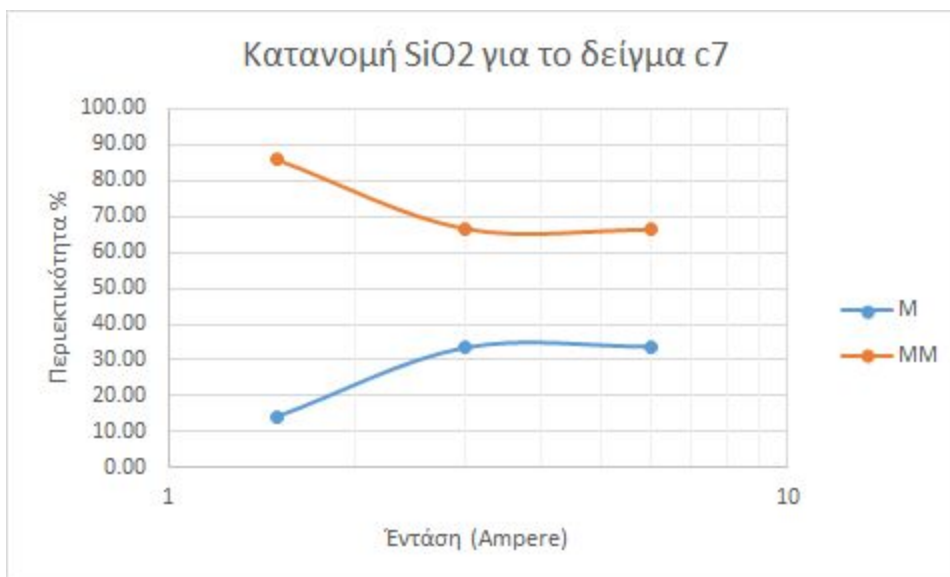
Σχήμα 7.39: Ανάλυση Fe₂O₃ για το δείγμα d1 στο μαγνητικό και μη μαγνητικό προϊόν, στα 6, 3 και 1.5 Ampere



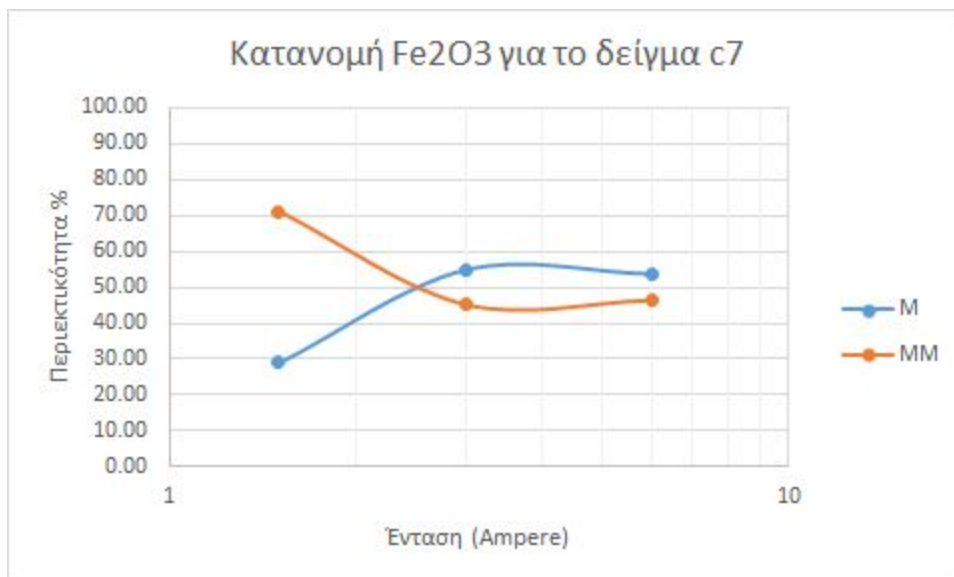
Σχήμα 7.40: Ανάλυση NiO για το δείγμα d1 στο μαγνητικό και μη μαγνητικό προϊόν, στα 6, 3 και 1.5 Ampere

7.5.2.3 Κατανομή των SiO₂, Fe₂O₃, NiO

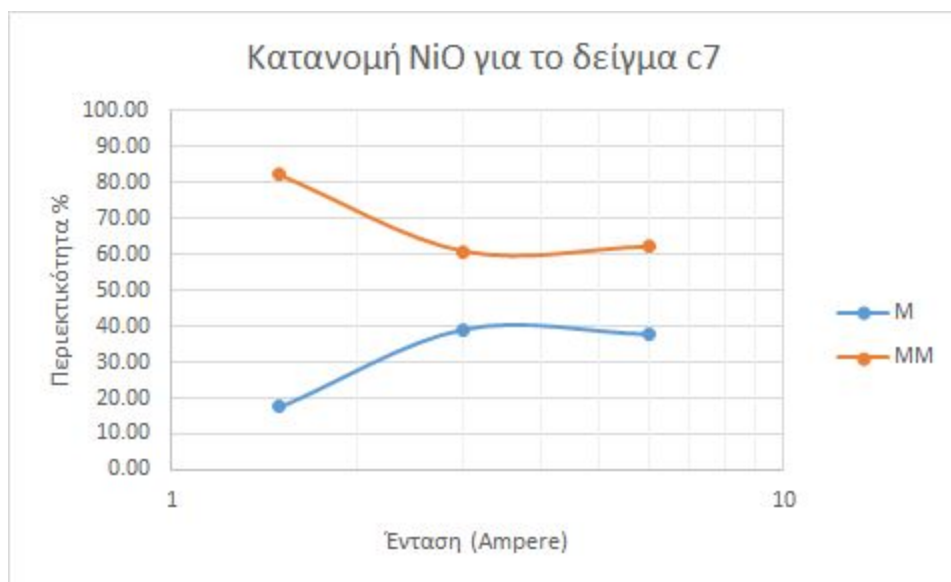
Στα σχήματα που ακολουθούν 7.35-7.40 παρουσιάζονται οι κατανομές των οξειδίων Fe₂O₃, SiO₂, NiO στα μαγνητικά και μη μαγνητικά προϊόντα των δειγμάτων c7 και d1 του υγρού μαγνητικού διαχωρισμού.



Σχήμα 7.41: Κατανομή SiO₂ για το δείγμα c7 στο μαγνητικό και μη μαγνητικό προϊόν, στα 6, 3 και 1.5 Ampere



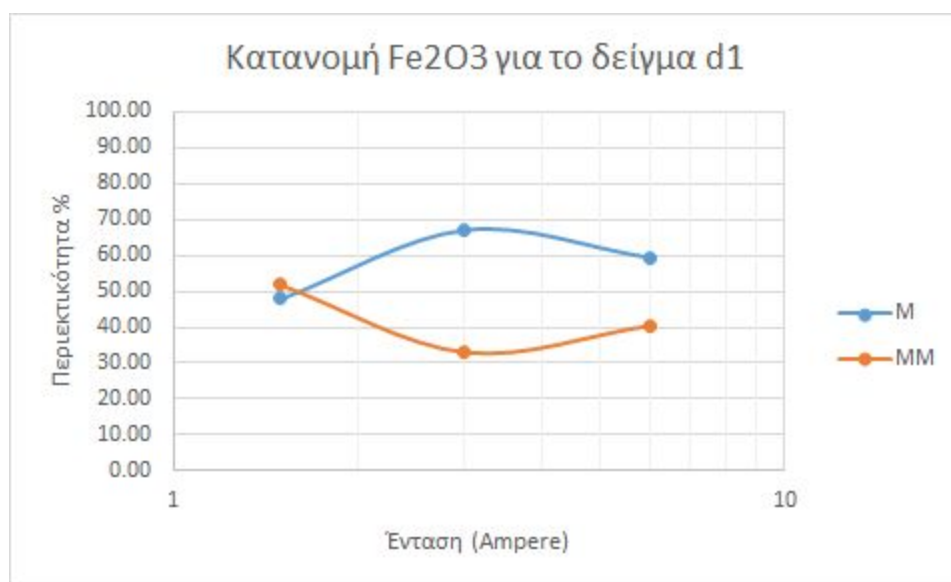
Σχήμα 7.42: Κατανομή Fe_2O_3 για το δείγμα c7 στο μαγνητικό και μη μαγνητικό προϊόν, στα 6, 3 και 1.5 Ampere



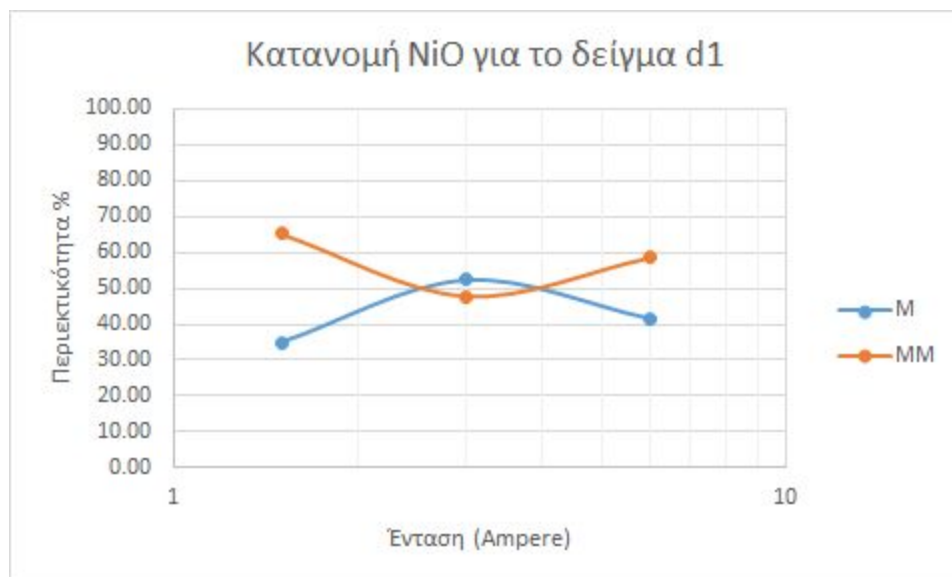
Σχήμα 7.43: Κατανομή NiO για το δείγμα c7 στο μαγνητικό και μη μαγνητικό προϊόν, στα 6, 3 και 1.5 Ampere



Σχήμα 7.44: Κατανομή SiO₂ για το δείγμα d1 στο μαγνητικό και μη μαγνητικό προϊόν, στα 6, 3 και 1.5 Ampere

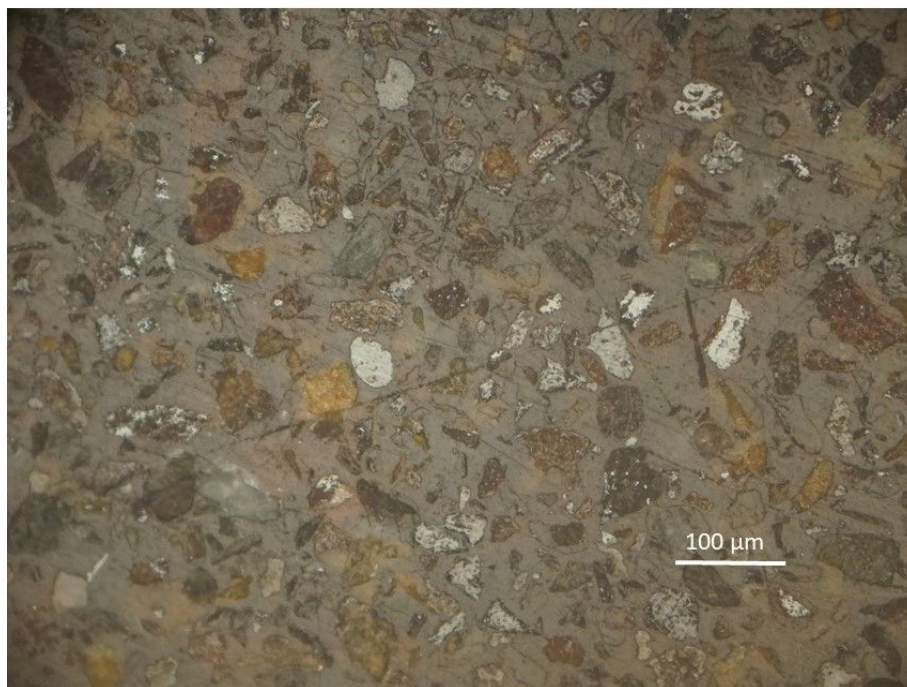


Σχήμα 7.45: Κατανομή Fe₂O₃ για το δείγμα d1 στο μαγνητικό και μη μαγνητικό προϊόν, στα 6, 3 και 1.5 Ampere

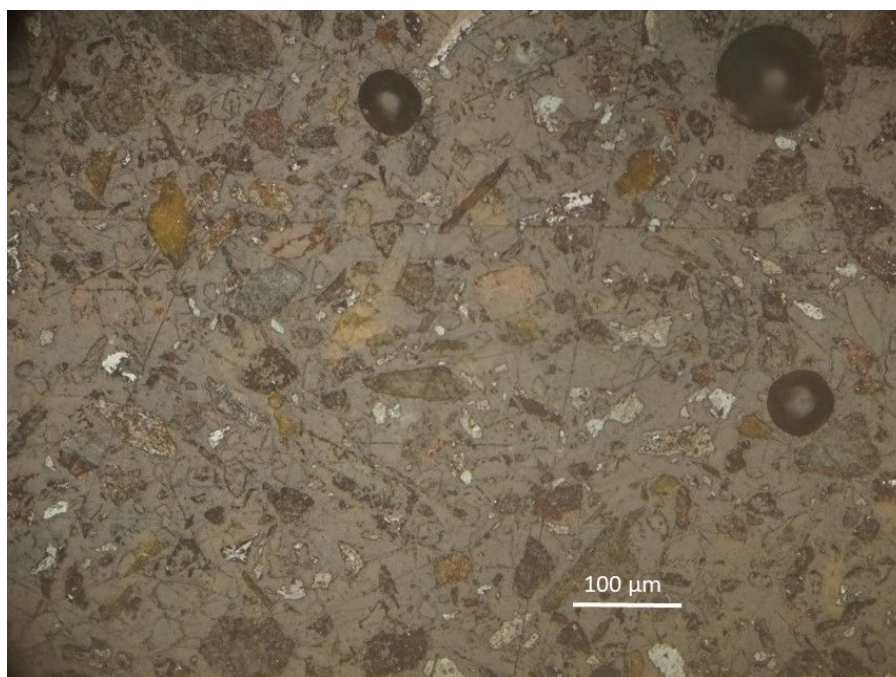


Σχήμα 7.46: Κατανομή NiO για το δείγμα d1 στο μαγνητικό και μη μαγνητικό προϊόν, στα 6, 3 και 1.5 Ampere

7.5.3 Μικροσκοπική Εξέταση Δειγμάτων του Υγρού Μαγνητικού Διαχωρισμού



Εικόνα 7.5.1: Δείγμα c7M3 ($-0.063+0.010$, Μαγνητικό στα 3 Ampere): Κόκκοι αιματίτη, χρωμίτη και πυριτικού συνδετικού υλικού.



Εικόνα 7.5.2: Δείγμα d1MM1.5 ($-0.063+0.010$, Μη Μαγνητικό στα 1.5 Ampere): εγκλείσματα από αιματίτη καθώς και μεμονωμένοι κόκκοι αιματίτη.

7.5.4 Παρατηρήσεις Συμπεράσματα

7.5.4.1 Σχολιασμός των Αποτελεσμάτων του κλάσματος c7(-0.063+0.010mm)

Παρατηρούμε στα σχήματα κατανομής και ανάλυσης καθώς και στους πίνακες χημικών αναλύσεων και κατανομών πως το SiO_2 έχει υψηλότερες περιεκτικότητες αλλά και κατανομή στα μη μαγνητικά κλάσματα, που είναι απόλυτα λογικό δεδομένου πως δεν έχει μαγνητικές ιδιότητες.

Το Fe_2O_3 , παρότι εμφανίζει υψηλότερες περιεκτικότητες στα μαγνητικά φαίνεται από το σχήμα κατανομής του 7.36, πως για το προϊόν c7MM1.5 δηλαδή το μη μαγνητικό στο 1.5 Ampere, η κατανομή του σιδήρου είναι υψηλότερη από ότι στο c7M1.5 δηλαδή η κατανομή του Fe είναι μεγαλύτερη στα μη μαγνητικά. Αυτό συνέβη γιατί η κατανομή μάζας των κλασμάτων είναι κατά πολύ υψηλότερη στα μη μαγνητικά όπως φαίνεται και από τις κατανομές μάζας στο σχήμα 7.26, άρα στα μη μαγνητικά εμφανίζεται υψηλότερη κατανομή. Μπορούμε εδώ να υποθέσουμε πως με ένταση 1.5 Ampere δεν μπορεί να διαχωριστεί σωστά σε μαγνητικά και μη μαγνητικά προϊόντα το υλικό του δείγματος c7(-0.063+0.010mm), τουλάχιστον όχι τόσο όσο στις μεγαλύτερες εντάσεις 3 και 6 Ampere.

Όσον αφορά το NiO στα προϊόντα του c7(-0.063+0.010mm), παρατηρούμε πως τόσο οι περιεκτικότητες όσο και οι κατανομές είναι υψηλότερες στα μη μαγνητικά προϊόντα. Παρόλα αυτά τα μαγνητικά εμφανίζουν επίσης αρκετά υψηλές τιμές. Στα προηγούμενα πειράματα μαγνητικού διαχωρισμού ήταν ξεκάθαρο πως το NiO κατανέμεται χωρίς αμφιβολία στα μαγνητικά μέρη του διαχωρισμού, εδώ όμως συμβαίνει το αντίθετο. Αυτό μπορούμε να υποθέσουμε πως συμβαίνει διότι τα αργιλικά μπόρεσαν και λόγω του μικρού μεγέθους της κοκκομετρίας του δείγματος αλλά και λόγω της δράσης του νερού να απομονωθούν από τον αιματίτη. Άρα ενώ στον ξηρό μαγνητικό διαχωρισμό τα πλούσια σε NiO αργιλικά κατέληγαν μηχανικά μαζί με τον μαγνητικά επιδεκτικό αιματίτη, στην προκειμένη περίπτωση κατάφεραν να διαχωρισθούν και να καταλήξουν στα μη μαγνητικά.

7.5.4.2 Σχολιασμός των Αποτελεσμάτων του κλάσματος d1(-0.063+0.010mm)

Η διαφορά d1(-0.063+0.010mm) με το c7 (-0.063+0.010mm) είναι πως το αρχικό υλικό του d1 κονιορτοποιήθηκε απευθείας στο κοκκομετρικό αυτό κλάσμα. Παρατηρώντας τις κατανομές της μάζας και τα σχήματα ανάλυσης και κατανομής των στοιχείων παρατηρούμε πως το SiO_2 εμφανίζει μεγαλύτερες περιεκτικότητες αλλά και κατανομές στα μη μαγνητικά κλάσματα, που είναι λογικό δεδομένου πως το SiO_2 δεν έχει μαγνητικές ιδιότητες.

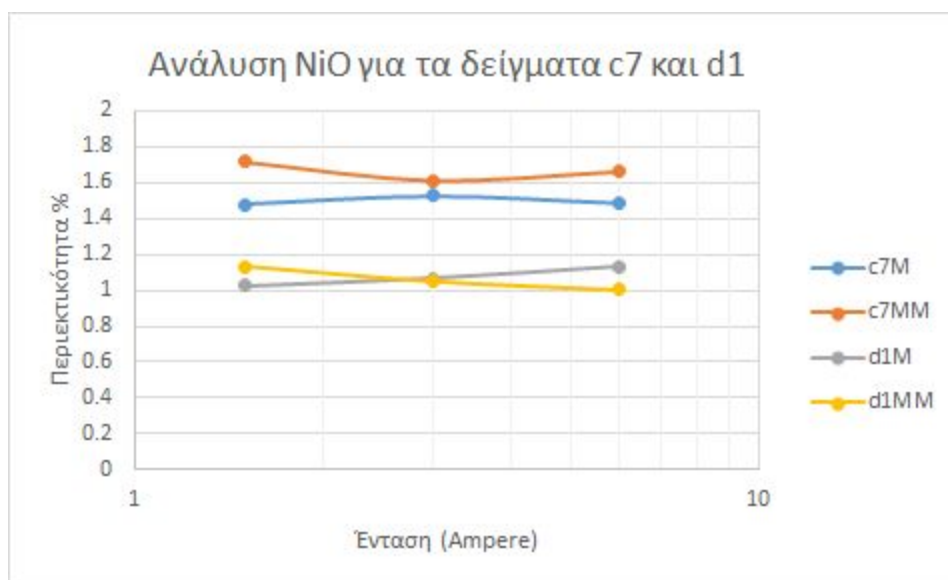
Αντίστοιχα, το Fe_2O_3 εμφανίζει υψηλές συγκεντρώσεις αλλά και κατανομές στα μαγνητικά κλάσματα, επίσης λογικό δεδομένης της επιδεκτικότητας του αιματίτη στον μαγνητισμό. Εξαίρεση μπορεί να θεωρηθεί η κατανομή στο 1.5 Ampere, που το Fe_2O_3 με μικρή διαφορά κατανέμεται στα μη μαγνητικά σε μεγαλύτερο ελαφρώς ποσοστό. Όπως και στο δείγμα c7(-0.063+0.010mm), έτσι και εδώ, η

υψηλή αυτή κατανομή οφείλεται και στην υψηλή κατανομή της μάζας στα μη μαγνητικά, παρότι τα μαγνητικά περιέχουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις Fe.

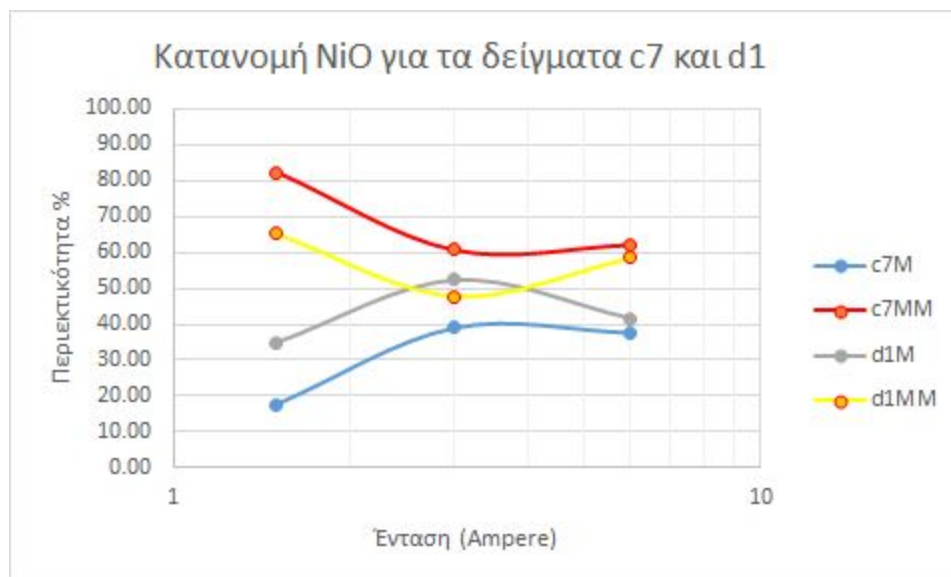
Όσον αφορά το NiO, φαίνεται πως οι περιεκτικότητες στα μαγνητικά μειώνεται με την μείωση της έντασης, ενώ το αντίθετο συμβαίνει με τα μη μαγνητικά (σχήμα 7.40). Οι κατανομές παρόλα αυτά δείχνουν πως επι το πλείστον το NiO κατανέμεται στα μη μαγνητικά με εξαίρεση την ένταση των 3 Ampere που όμως οι τιμές των κατανομών έχουν μικρές διαφορές.

7.5.4.3 Σύγκριση Μεταξύ των δύο Ομάδων c7 - d1

Στα σχήματα που ακολουθούν φαίνονται συγκριτικά οι περιεκτικότητες και οι κατανομές του NiO στα προϊόντα του υγρού μαγνητικού διαχωρισμού για τα δείγματα c7 και d1.



Σχήμα 7.47: Ανάλυση NiO για τα δείγματα c7 και d1 στα μαγνητικά και μη μαγνητικά, στα 6, 3 και 1.5 Ampere



Σχήμα 7.48: Κατανομή NiO για τα δείγματα c7 και d1 στα μαγνητικά και μη μαγνητικά προϊόντα, στα 6, 3 και 1.5 Ampere

Στο σχήμα 7.41 φαίνονται συγκριτικά οι περιεκτικότητες του NiO στα παραγόμενα προϊόντα των δύο δειγμάτων c7(-0.063+0.010mm) και d1(-0.063+0.010mm), από τον υγρό μαγνητικό διαχωρισμό. Όπως φαίνεται, οι περιεκτικότητες του δείγματος c7(-0.063+0.010mm) είναι υψηλότερες από του d1(-0.063+0.010mm) περίπου κατά 0.5%. Ακόμη παρατηρούμε πως οι περιεκτικότητες του NiO στο δείγμα c7(-0.063+0.010mm) είναι σταθερά υψηλότερες στα μη μαγνητικά προϊόντα έναντι των μαγνητικών. Αντίθετα στο δείγμα d1(-0.063+0.010mm) οι περιεκτικότητες δεν είναι σταθερές αλλά μειώνονται με την αύξηση της έντασης στα μη μαγνητικά και αυξάνονται με την αύξηση της έντασης στα μαγνητικά προϊόντα. Συνεπώς το υλικό του δείγματος που ακολούθησε διαδοχική μείωση της κοκκομετρίας εμφανίζει πιο σαφή αποτελέσματα στον υγρό μαγνητικό διαχωρισμό. Λόγω του ότι το NiO βρίσκεται στο λεπτόκοκκο υλικό του μεταλλεύματος, είναι λογικό να εμφανίζονται υψηλές τιμές στο δείγμα c7(-0.063+0.010mm) διότι αυτό προέκυψε από κοκκομετρικό διαχωρισμό του μεταλλεύματος και άρα περιέχει και περισσότερο λεπτόκοκκο υλικό. Αντίθετα το δείγμα d1 (-0.063+0.010mm) προέκυψε με απευθείας λειοτρίβηση του αρχικού υλικού και άρα περιέχει όλα τα υλικά του μεταλλεύματος χονδρόκοκκα (φτωχά σε NiO) και λεπτόκοκκα (πλούσια σε NiO).

Στο σχήμα 7.42 φαίνονται συγκριτικά οι κατανομές του NiO στα παραγόμενα κλάσματα των δύο δειγμάτων c7(-0.063+0.010mm) και d1(-0.063+0.010mm), από τον υγρό μαγνητικό διαχωρισμό. Οι κατανομές των μαγνητικών αλλά και των μη μαγνητικών φαίνεται πως ακολουθούν την ίδια πορεία τόσο για το δείγμα c7 όσο και για το δείγμα d1(-0.063+0.010mm). Αυτό σημαίνει πως το NiO κατανέμεται με τον ίδιο τρόπο και στα δύο δείγματα, τόσο στα μαγνητικά όσο και στα και μη μαγνητικά κλάσματα του διαχωρισμού. Παρόλα αυτά φαίνεται πως οι κατανομές είναι υψηλότερες για τα μη μαγνητικά κλάσματα του c7 (0.063+0.010mm) ενώ οι μικρότερες κατανομές ανήκουν στο c7M (0.063+0.010 μαγνητικά). Αντίστοιχα οι τιμές των κατανομών των κλασμάτων του d1 είναι πιο παραπλήσιες μεταξύ τους. Αυτό

σημαίνει πως το NiO στο δείγμα c7 κατάφερε σε μεγαλύτερο ποσοστό να κατανεμηθεί σε έναν τύπο προϊόντων, στην προκειμένη περίπτωση τα μη μαγνητικά, σε μεγαλύτερο βαθμό από ότι στο d1. Άρα η διαδοχική μείωση της κοκκομετρίας του υλικού έπαιξε καίριο ρόλο στο να καταφέρει να διαχωριστεί το υλικό καλύτερα.

7.6 Διαδικασία Διαχωρισμού Αργιλικού Μέρους

Η ακτινοσκοπική εξέταση XRD καθώς και η εξέταση με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο SEM, έδειξαν πως η ορυκτολογική σύνθεση του κοιτάσματος του Mamez, είναι: οξείδια Fe - αιματίτης, οξείδια Cr και Fe- χρωμίτης, οξείδια Si- χαλαζίας καθώς και αργιλικά ορυκτά. Τα αργιλικά ορυκτά όπως έδειξε περαιτέρω ανάλυση των δειγμάτων είναι ο λιζαρδίτης, ο βιλλεμζέϊτης και ορυκτά της ομάδας των σμεκτιτών ενώ σε κάποιες περιπτώσεις εμφανίζονται ίχνη τάλκη και ασβεστίτη. Έπρεπε ακόμη όμως να εξακριβωθούν τα ορυκτά της ομάδας των Σμεκτιτών, να βρεθούν ποιά είναι και αν πρόκειται για ένα ορυκτό ή περισσότερα. Αυτή η σύγχυση δημιουργείται γιατί οι Σμεκτίτες εμφανίζουν παρόμοιες κορυφές στα διαγράμματα της ακτινοσκοπικής εξέτασης XRD με αποτέλεσμα να μην είναι ξεκάθαρη η ταυτοποίησή τους.

Για την εξακρίβωση και ταυτοποίηση των Σμεκτιτών, ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία. Αρχικά διαλέχθηκαν τρία δείγματα πλούσια σε φυλλοπυριτικά ορυκτά, ένα από τα αρχικά δείγματα (524) και τα δείγματα του εμπλουτισμού (c7 και d1). Από τα δείγματα αυτά απομονώθηκαν 5 g, τα οποία τοποθετήθηκαν σε πλαστικό σωλήνα φυγοκέντρησης με νερό, όπου ακολούθησε ανάδευση έως ότου το υλικό να διαλυτοποιηθεί εντελώς. Η ανάδευση έγινε σε υπέρηχο για 2 min, έπειτα ακολούθησε ηρεμία για 1h και επανάληψη αυτής της διαδικασίας.

Τέλος τα δείγματα φυγοκεντρήθηκαν στα 9.500 rpm για 12 min, σε μηχανή φυγοκέντρησης. Ύστερα από την φυγοκέντρηση το αργιλικό μέρος των δειγμάτων είχε διαχωριστεί πλήρως και συγκεντρωθεί στην επιφάνεια του διαλύματος ενώ το υπόλοιπο υλικό του δείγματος είχε συγκεντρωθεί στον πάτο του πλαστικού σωλήνα. Με ειδική σύριγγα συλλέχθηκε από την επιφάνεια του διαλύματος το αργιλικό υλικό και τοποθετήθηκε σε ξεχωριστά γυάλινα δισκία. Το αργιλικό δείγμα τοποθετήθηκε σε δύο δισκία ξεχωριστά, έτσι ώστε το ένα δισκίο να μετρηθεί σε ξηρό αέρα (Dry Air) και το άλλο να μελετηθεί με διάλυμα γλυκόλης (Glycol).

7.6.2 Ορυκτολογική Ανάλυση σε δείγματα Ξηρού Αέρα και δείγματα Γλυκόλης

Όπως έδειξαν οι μετρήσεις του XRD και φαίνεται και στα διαγράμματα, ιδιαίτερα του δείγματος 524 η κορυφή του Σμεκτίτη στην περίπτωση του ξηρού αέρα (524AD) έχει $d=14,64057 \text{ \AA}$ και γωνία $2\theta=6^\circ$ ενώ στην περίπτωση της γλυκόλης (524GL) έχει $d=16,73027 \text{ \AA}$ και $2\theta=5.2^\circ$. Το αντίστοιχο συμβαίνει και στις περιπτώσεις των δειγμάτων c7 και d1. Η διαφορά αυτή υποδηλώνει, πως ορυκτό της ομάδας του σμεκτίτη που υπάρχει στο μετάλλευμα του Mamez είναι ο νοντρονίτης ([Hosterman J.W. 1969](#)).

7.7 Αξιολόγηση, Παρατηρήσεις, Συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο 7, παρουσιάστηκαν και αναλύθηκαν οι διαδικασίες των πειραμάτων και τα αποτελέσματα του εμπλουτισμού του μεταλλεύματος του Mamez, σε Ni. Στην ενότητα 7.7 έγινε η τελική παρουσίαση της μάζας του Ni σε κάθε δείγμα. Με βάση αυτά τα δεδομένα αλλά και τις κατανομές των μαζών των κλασμάτων του εμπλουτισμού αλλά και των κατανομών των στοιχείων και των αναλύσεων του XRD, μπορούμε να φτάσουμε στα εξής συμπεράσματα:

- Το Ni στο μετάλλευμα του Mamez βρίσκεται στο αργιλοπυριτικό συνδετικό υλικό του μεταλλεύματος, δηλαδή στο βιλλεμζέιτη.
- Το συνδετικό υλικό που περιέχει Ni διαχωρίζεται καλύτερα από τα οξείδια στα μικρότερου μεγέθους κοκκομετρικά κλάσματα.
- Το συνδετικό υλικό που περιέχει Ni μπορεί να διαχωριστεί με ικανοποιητικά αποτελέσματα μέσω βαρυτομετρικού διαχωρισμού, με τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις NiO να αποδίδονται στο FLOAT προϊόν b4L (-0.250+0.063mm). Η περιεκτικότητα σε NiO είναι 1.14% κ.β. και η κατανομή του NiO στο προϊόν αυτό είναι 83.77%.
- Ο μαγνητικός διαχωρισμός, δεν επιτρέπει τα φυλλοπυριτικά ορυκτά πλούσια σε Ni να διαχωριστούν στα μη μαγνητικά, συνεπώς τα μαγνητικά προϊόντα είναι τα πιο πλούσια σε Ni. Τα αθροιστικά μαγνητικά και μη μαγνητικά προϊόντα δεν αυξάνουν σημαντικά τις συγκεντρώσεις NiO.
- Ο υγρός μαγνητικός διαχωρισμός, καταφέρνει να πετύχει διαχωρισμό των φυλλοπυριτικών ορυκτών στα μη μαγνητικά προϊόντα. Παρόλα αυτά και τα μαγνητικά προϊόντα περιέχουν σημαντικές ποσότητες Ni. Επίσης ο υγρός μαγνητικός διαχωρισμός βρίσκει πιο αποδοτική εφαρμογή στα κλάσματα που έχουν προέλθει από διαδοχικά στάδια μείωσης της κοκκομετρίας τους (c7), από ότι σε κλάσματα που υπέστησαν απευθείας μετατροπή σε μικρή κοκκομετρία (d1).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο- ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

8.1 Αξιολόγηση του Κοιτάσματος

Το κοιτάσμα του Mamez ανήκει στο ΒΑ τμήμα των Ανατολικού Τύπου Οφιολίθων της ενότητας Mirdita της Αλβανίας. Το κοιτάσμα φιλοξενείται σε ένα λατεριτικό φλοιό αποσάθρωσης με σημαντική έκταση εμφάνισης, περί τα 3km, όπως φανέρωσε η χαρτογράφηση της περιοχής και πάχος εμφάνισης τα 12m μέσο όρο, όπως φαίνεται στην τομή που σχεδιάστηκε από την εταιρία Proton. Ο λατερίτης περιλαμβάνει τρεις ξεχωριστούς ορίζοντες, πisolιθικό (ανώτερο), αργιλικό-Silcrete (ενδιάμεσο) και σαπρολιθικό (κατώτερο), ενώ υπέρκειται του μητρικού του πετρώματος (Δουνίτη) και υπόκειται Κρητιδικών Ασβεστολίθων και χερσαίων ιζημάτων του Τεταρτογενούς, στη μεγαλύτερη έκταση της εμφάνισής του. Από ορυκτολογικής άποψης στο κοιτάσμα εμφανίζονται είτε οξείδια μετάλλων: χρωμίτης, αιματίτης, ασβεστίτης, χαλαζίας, είτε φυλλοπυριτικά ορυκτά: τάλκης, βιλλεμζεΐτης, νοντρονίτης, λιζαρδίτης.

Όπως φανέρωσαν οι μικροφωτογραφίες του μεταλλογραφικού μικροσκοπίου και η ανάλυση SEM - EDS, ο βιλλεμζεΐτης και τα άλλα φυλλοπυριτικά ορυκτά αποτελούν το συνδετικό υλικό του κοιτάσματος, ενώ ο αιματίτης ο χρωμίτης και ο χαλαζίας βρίσκονται με μορφή διάσπαρτων κόκκων συγκολλημένοι στο συνδετικό υλικό. Ο αιματίτης εμφανίζεται στο κοιτάσμα, είτε με μορφή σφαιροειδών σωματιδίων, πελλοειδών με ρωγμές συρρίκνωσης, με μορφή κλαστικών κόκκων ή με μορφή μεταλλοφορίας υπό μορφή φλεβών. Ο χρωμίτης κατά κύριο λόγο εμφανίζεται με τη μορφή κλαστικών κόκκων με κατακλαστικό ιστό, και ο χαλαζίας αποτελεί στις περισσότερες περιπτώσεις εγκλείσματα μέσα στους κόκκους του αιματίτη. Εμφανίζονται ακόμη σύνθετα σφαιροειδή από αιματίτη με εγκλείσματα χρωμίτη και χαλαζία.

Το μέταλλευμα του κοιτάσματος είναι γαρνιεριτικό, με το Ni να περιέχεται στο φυλλοπυριτικό ορυκτό βιλλεμζεΐτης. Οι αναλυτικές μέθοδοι SEM - EDS και XRD, δεν έδειξαν παρουσία Ni σε άλλες αργίλους ή στα οξείδια του αιματίτη ή του χρωμίτη. Τα μέταλλα, Fe,Al,Mn,Ti,Cr,Co απαντώνται σαν κύρια κατιόντα (Fe,Cr), είτε σαν προσμίξεις (Al,Mn,Ti) στον αιματίτη και το χρωμίτη. Τα παραπάνω μας είναι γνωστά από το συντελεστή συσχέτισης Pearson, αλλά και από τις κατανομές των στοιχείων κατά μήκος της τομής του κοιτάσματος. Το Co δεν είναι δυνατόν να εξακριβωθεί αν βρίσκεται στον αιματίτη ή στο χρωμίτη με τις αναλυτικές μεθόδους που εφαρμόστηκαν στα αρχικά δείγματα. Το Ni στο κοιτάσμα του Mamez στα αρχικά δείγματα έχει περιεκτικότητα NiO κατά μέσο όρο 1.41% κ.β., ενώ το Co έχει μέσο όρο 0.063% κ.β στα ίδια αρχικά δείγματα.

8.2 Αξιολόγηση του Εμπλουτισμού του Μεταλλεύματος

Ο εμπλουτισμός του μεταλλεύματος αναλύθηκε διεξοδικά στο κεφάλαιο 7. Το αρχικό ενιαίο δείγμα του μεταλλεύματος, δηλαδή το σύνολο των αρχικών δειγμάτων είχε συγκέντρωση NiO 1.19% κ.β.

Παρατηρήθηκε πως από τον κοκκομετρικό διαχωρισμό επιτεύχθηκε σημαντικός εμπλουτισμός στα κλάσματα του διαχωρισμού, με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις να σημειώνονται για τα κλάσματα μικρότερης κοκκομετρικής διαμέτρου c5 -0.063mm και c8 -0.010mm.

Το βέλτιστο προϊόν του εμπλουτισμού για το Ni με γνώμονα τις κατανομές του στοιχείου στα επιμέρους κλάσματα του εμπλουτισμού, είναι το FLOAT προϊόν B4L (-0.250+0.063mm). Η κατανομή του νικελίου στο προϊόν αυτό είναι 83.77% και έχει περιεκτικότητα σε NiO 1.14% κ.β. Ο μαγνητικός διαχωρισμός και τα αθροιστικά μαγνητικά, έφεραν λιγότερο σημαντικά όμως πετυχημένα αποτελέσματα εμπλουτισμού σε NiO. Στις καλύτερες περιπτώσεις η κατανομή του NiO φτάνει το 80% στο προϊόν a2M1 (-4+1mm, μαγνητικό 1).

Πετυχημένος από την άποψη των συγκεντρώσεων NiO και των περιεκτικοτήτων και κατανομών του NiO στα επιμέρους κλάσματα μπορεί να θεωρηθεί και ο υγρός μαγνητικός διαχωρισμός για τα κλάσματα της πρώτης ομάδας του μεταλλεύματος (c). Το Ni εμφανίζει υψηλότερες κατανομές όμως με μικρή διαφορά στα μη μαγνητικά κλάσματα, όπως συμβαίνει και με την κατανομή μάζας για το διαχωρισμό αυτό. Επιτεύχθηκαν υψηλές συγκεντρώσεις NiO σε όλα τα προϊόντα μαγνητικά και μη, αυτής της μεθόδου. Η δεύτερη ομάδα του μεταλλεύματος d, που λειοτριβήθηκε απευθείας στην κοκκομετρία -0.063 mm χωρίς ενδιάμεσα διαδοχικά κοκκομετρικά κλάσματα και η οποία χωρίστηκε με την μέθοδο του υγρού μαγνητικού διαχωρισμού, εμφάνισε ιδιαίτερα μικρότερες συγκεντρώσεις σε NiO έναντι της αντίστοιχης ομάδας (c).

8.3 Συζήτηση

Το νικελιούχο λατεριτικό κοιτάσμα του Mamez εξετάστηκε σε αυτήν την εργασία από ορυκτολογική και γεωχημική σκοπιά, ενώ το μέταλλευμα του μελετήθηκε με βάση διαφορετικές μεθόδους εμπλουτισμού. Σκοπός του εμπλουτισμού ήταν να εξακριβωθεί η μέθοδος μέσω της οποίας θα προέκυπτε το βέλτιστο συμπύκνωμα. Ως προς την ορυκτολογία του κοιτάσματος η τεχνική XRD καθώς και οι αναλύσεις με SEM-EDS και η εξέταση του μεταλλεύματος με μεταλλογραφικό μικροσκόπιο αποδείχθηκαν επαρκείς για την εξακρίβωση των ορυκτολογικών συστατικών και των ιστολογικών χαρακτηριστικών του μεταλλεύματος. Οι αναλύσεις SEM-EDS κατέγραψαν την παρουσία των διαφόρων στοιχείων στις ορυκτολογικές φάσεις, αλλά σε αρκετές περιπτώσεις χρειάζεται επιπλέον και ποσοτική ανάλυση για τον ακριβή προσδιορισμό των στοιχείων στο πλέγμα και υπολογισμό των χημικών τύπων των ορυκτών. Αυτές οι πληροφορίες θα αποτελέσουν χρήσιμα στοιχεία για τον καλύτερο εμπλουτισμό του μεταλλεύματος καθώς και για την ανάκτηση του Ni και του Co σε μεταλλουργικά στάδια.

Η μέθοδος XRF αποδείχθηκε πολύ αξιόπιστη και χρήσιμη για την εξακρίβωση των χημικών στοιχείων των δειγμάτων στο βαθμό που απαιτούσε η συγκεκριμένη εργασία. Όμως με χρήση τεχνικών με μικρότερα όρια ανιχνευσιμότητας θα μπορέσουν να μελετηθούν πέρα από τα κύρια στοιχεία του μεταλλεύματος και ιχνοστοιχεία, όπως σπάνιες γαίες (REE) και βαριές σπάνιες γαίες (HREE). Θα πρέπει επίσης να εξακριβωθούν, εάν υπάρχουν, συγκεντρώσεις στοιχείων της ομάδας των πλατινοειδών (PGE), όπως έχει παρατηρηθεί σε άλλα λατεριτικά κοιτάσματα.

Ο εμπλουτισμός του μεταλλεύματος έδειξε πως όλες οι μέθοδοι που ακολουθήθηκαν σε αυτήν τη μελέτη ήταν επιτυχείς, με άλλες μεθόδους να εμφανίζουν καλύτερα αποτελέσματα ως προς την ανάκτηση του νικελίου στα τελικά κλάσματα από άλλες. Χαρακτηριστικά είναι τα παραδείγματα του υγρού μαγνητικού διαχωρισμού της ομάδας (c), και του βαρυτομετρικού διαχωρισμού. Επιπλέον, από τον κοκκομετρικό διαχωρισμό παρατηρείται σημαντικός εμπλουτισμός του Ni στα μικρότερα κοκκομετρικά κλάσματα. Είναι λοιπόν υπό συζήτηση, η επιλογή της βέλτιστης μεθόδου και θα πρέπει να μελετηθούν περαιτέρω τα ποιοτικά και τα ποσοτικά χαρακτηριστικά των τελικών κλασμάτων του εμπλουτισμού, από μεταλλουργική και από οικονομική σκοπιά.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ θερμά το προσωπικό των εργαστηρίων του Πολυτεχνείου Κρήτης για την υποστήριξη που μου παρείχαν για την επιτυχημένη ολοκλήρωση των πειραματικών διαδικασιών και των χημικών και ορυκτολογικών αναλύσεων των δειγμάτων. Ευχαριστώ την τριμελή μου επιτροπή, τον κ. Γεώργιο Αλεβίζο, κ. Κωνσταντίνο Κομνίτσα, κ. Αντώνιο Στρατάκη καθώς και τον κ. Ευάγγελο Πετράκη για την συμβολή τους στην εργασία και την καθοδήγηση τους. Ευχαριστώ ακόμη θερμά το προσωπικό του εργαστηρίου ‘Preparation Lab-www Münster’ και τον υποψήφιο διδάκτορα Σταμάτη Φλεμετάκη, για την παρασκευή των στιλπνών τομών των δειγμάτων. Επιπλέον ευχαριστώ τον κ. Χατζηθεοδωρίδη Ηλία, καθηγητή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου για την παροχή μεταλλογραφικού μικροσκοπίου και φωτογραφικής κάμερας για την λήψη μικροφωτογραφιών των δειγμάτων. Θέλω τέλος να ευχαριστήσω θερμά, την οικογένεια μου, για την στήριξη και την καθοδήγηση που μου παρείχαν.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Apostolikas T., Bakallbashi J., Gaskolli E., Maglaras C., Frogoudakis E., Albanian Nickel Industry in the frame of Latest Developments of Mineral Mining&Processing Strategy. Second Balkan Mining Congress, Book of Proceedings p. 93-99, Belgrade Serbia, 2007

Bébién, J., Shallo, M., Manika, K., Gega, D., 1998. The Shebenik Massif (Albania): a link between MOR- and SSZ-type ophiolites? *Ofioliti* 23, 7–15.

Bébién, J., Dimo-Lahitte, A., Vergély, P., Insergueix-Filippi, D., Dupeyrat, L., 2000. Albanian ophiolites. I-Magmatic and metamorphic processes associated with the initiation of a subduction. *Ofioliti* 25, 39–45.

Beccaluva, L., Coltorti, M., Premti, I., Saccani, E., Siena, F., Zeda, O., 1994. Mid-ocean ridge and supra-subduction affinities in ophiolitic belts from Albania. In: Beccaluva, L. (Ed.), *Albanian Ophiolites: State of the Art and Perspectives*. *Ofioliti*, vol. 19, pp. 77–96.

Beccaluva, L., Coltorti, M., Saccani, E., Siena, F., 2005. Magma generation and crustal accretion as evidenced by supra-subduction ophiolites of the Albanide–Hellenide Subpelagonian zone. *Island Arc* 14, 551–563.

Bortolotti, V., Kodra, A., Marroni, M., Mustafa, F., Pandolfi, L., Principi, G., & Saccani, E. (1996). Geology and petrology of ophiolitic sequences in the Mirdita region (northern Albania). *Ofioliti*, 21(1), 3–20.

Bortolotti, V., Marroni, M., Pandolfi, L., Principi, G., 2005. Mesozoic to Tertiary tectonic history of the Mirdita ophiolites, northern Albania. *Island Arc* 14, 471–493.

Brand, N.W. , Butt, CRM , Elias, M., 1998. ‘‘Nickel laterites: Classification and features’’ *AGSO Journal of Australian Geology& Geophysics*, vol. 17(4), pp. 81-88.

Dilek, Y., & Furnes, H. (2009). Structure and geochemistry of Tethyan ophiolites and their petrogenesis in subduction rollback systems. *Lithos*, 113(1–2), 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2009.04.022>

Dilek, Y., Furnes, H., & Shallo, M. (2008). Geochemistry of the Jurassic Mirdita Ophiolite (Albania) and the MORB to SSZ evolution of a marginal basin oceanic crust. *Lithos*, 100(1–4), 174–209. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2007.06.026>

Dilek, Y., Shallo, M., Furnes, H., 2005. Rift-drift, seafloor spreading, and subduction tectonics of Albanian ophiolites. *International Geology Review* 47, 147–176.

Fujita K (1996) Report on the cooperative mineral exploration in Shebenik area, the Republic of Albania, Phase 1. Japan International Cooperation Agency, Metal Mining Agency of Japan, 49 p

Gkoutzioupa K., Quality Characteristics and Washability Treatment of Nickeliferous Iron Ore of Agios Athanasios Deposit (Kastoria, Greece). *Geomaterials*, 2016

Hosterman J.W. (1969), "Clay Deposits of Spokane County Washington", Geological survey bulletin 1270, Washington

Hoxha, M., Boullier, A.-M., 1995. The peridotites of the Kukës ophiolite (Albania): structure and kinematics. *Tectonophysics* 249, 217–231.

Insergueix-Filippi, D., Dupeyrat, L., Dimo-Lahitte, A., Vergély, P., Bébien, J., 2000. Albanian ophiolites. II-Model of subduction zone infancy at a mid-ocean ridge. *Ofioliti* 25, 47–53.

Kodra, A., Vergely, P., Gjata, K., Bakalli, F., Godroli, M., 1993b. La formation volcano-sédimentaire du Jurassique du domaine ophiolitique dans les Albanides internes. *Bulletin de la Societe Géologique de France* 164, 61–67.

McRae, M. E. (2019). Nickel Statistics and Information. (703), 648–7743. Retrieved from <https://www.usgs.gov/centers/nmic/nickel-statistics-and-information>

Michailidis, K. M. (1990). Zoned chromites with high Mn-contents in the Fe-Ni-Cr-laterite ore deposits from the Edessa area in Northern Greece. *Mineralium Deposita*, 25(3), 190–197. <https://doi.org/10.1007/BF00190380>

Morris, M. C., McMurdie, H. F., Evans, E. H., Paretzkin, B., Parker, H. S., & Panagiotopoulos, N. C. (1981). Standards X-ray Diffraction Powder Patterns Section 18 - Data for 58 Substances. In *Standard X-ray Diffraction Powder Patterns*.

Postle, J. et. al (2000). CIM Standards on mineral resources and reserves: Definitions and guidelines. Unpubl. Report, Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum

Reilly F. James, U.S. Geological Survey, 2019, Mineral commodity summaries 2019: U.S. Geological Survey, 200 p., <https://doi.org/10.3133/70202434>. ISBN 978-1-4113-4283-5

Robertson, A., & Shallo, M. (2000). Mesozoic-Tertiary tectonic evolution of Albania in its regional Eastern Mediterranean context. *Tectonophysics*, 316(3–4), 197–254. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(99\)00262-0](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(99)00262-0)

Schuette, R., Goodman, B. A., & Stucki, J. W. (2000). Magnetic properties of oxidized and reduced smectites. *Physics and Chemistry of Minerals*, 27(4), 251–257. <https://doi.org/10.1007/s002690050254>

Thorne, R., Roberts, S., & Herrington, R. (2012). The formation and evolution of the Bitincke nickel laterite deposit, Albania. *Mineralium Deposita*, 47(8), 933–947. <https://doi.org/10.1007/s00126-012-0411-x>

Αλεβίζος Γ., Αποστολίκας Α., Ρεπούσκου Ε.. Ορυκτολογική-Πετρογραφική και Γεωχημική εξέταση του νικελιούχου λατεριτικού κοιτάσματος του Νόμε (Β.Α. Αλβανία). Ορυκτός Πλούτος/Mineral Wealth 2011.

Αλεβίζος, Γ. (2005). *Μικροσκοπία ορυκτών πρώτων υλών και τεχνητών προϊόντων*, τεύχος Β', Σημειώσεις του μαθήματος, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, σελ. 101.

Αρβανιτάκη Χριστίνα, 'Ανάκτηση Ni από φτωχό λατεριτικό μέταλλευμα με τη μέθοδο της εκχύλισης'. Διπλωματική Εργασία, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά 2015

Γκουτζιούπα Κωνσταντίνα. 'Αξιολόγηση ποιοτικών χαρακτηριστικών και διερεύνηση εμπλουτισιμότητας του νικελιούχου σιδηρομεταλλεύματος του κοιτάσματος Αγίου Αθανασίου (Καστοριά)' Διπλωματική Εργασία, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης (2015) .

Κατσαγιαννάκης, Ν. ''Ορυκτολογική-Πετρογραφική μελέτη και δυνατότητες εμπλουτισμού του νικελιούχου λατεριτικού σιδηρομεταλλεύματος του κοιτάσματος Nome (Αλβανία)'' Διπλωματική Εργασία, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης (2013)

Κοκκινάκης Ανδρέας . 'Μαγματικά Πετρώματα', Σημειώσεις του μαθήματος, Τμήμα Γεωλογίας, Σχολή Θετικών Επιστημών, ΕΚΠΑ Αθήνα 2007

Κουή Μ. Αναπλ.Καθ. Ε.Μ.Π Λυμπεροπούλου Θ. Δρ Χημικός – Ε.Ε.ΔΙ.Π Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης με Φασματόμετρο Ενεργειακής Διασποράς Ακτίνων Χ, SCANNING ELECTRON MICROSCOPE WITH ENERGY DISPERSIVE X-RAY SPECTROMETER (SEM-EDAX), 'Εργαστηριακή Άσκηση' 2003.

Κωστάκης, Γ. (1988). *Φυσικές ιδιότητες των ορυκτών*, Σημειώσεις του μαθήματος, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, σελ. 33.

Μαρτίνη, Σ. (2004). Έρευνα αποδέσμευσης και εμπλουτισμού νικελιούχου λατερίτη Ευβοίας, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, σελ. 158.

Περδικάκης, Β. και Πεντάρη, Δ. (2003). *Εργαστηριακές ασκήσεις γεωχημείας*, Εργαστηριακές σημειώσεις, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, σελ. 71.

Σκαρπέλης Νικόλαος. 'Εισαγωγή στην Κοιτασματολογία'. Σημειώσεις του μαθήματος, Τμήμα Γεωλογίας, Σχολή Θετικών Επιστημών, ΕΚΠΑ Αθήνα 2002

Σταμπολιάδης, Η. (2008). *Εμπλουτισμός των μεταλλευμάτων*, Σημειώσεις του μαθήματος, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, σελ. 246.

Online Citations

<https://www.usgs.gov/>

<http://www.larco.gr/el.index.php>

[http://www.omega.physics.uoi.gr \](http://www.omega.physics.uoi.gr/)

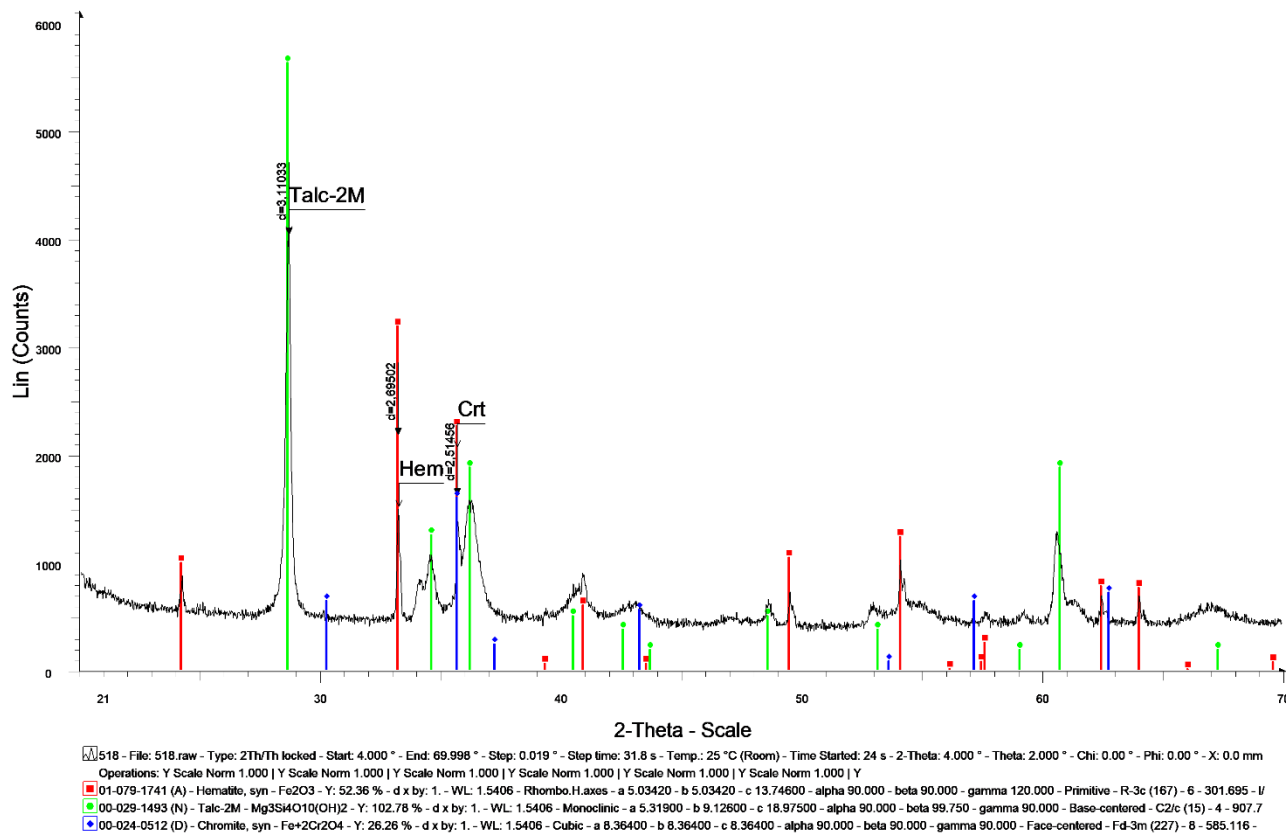
<https://nickelinstitute.org/about-nickel#03-first-use-nickel>

<https://ntua.gr>

Παράρτημα Αναλύσεων XRD

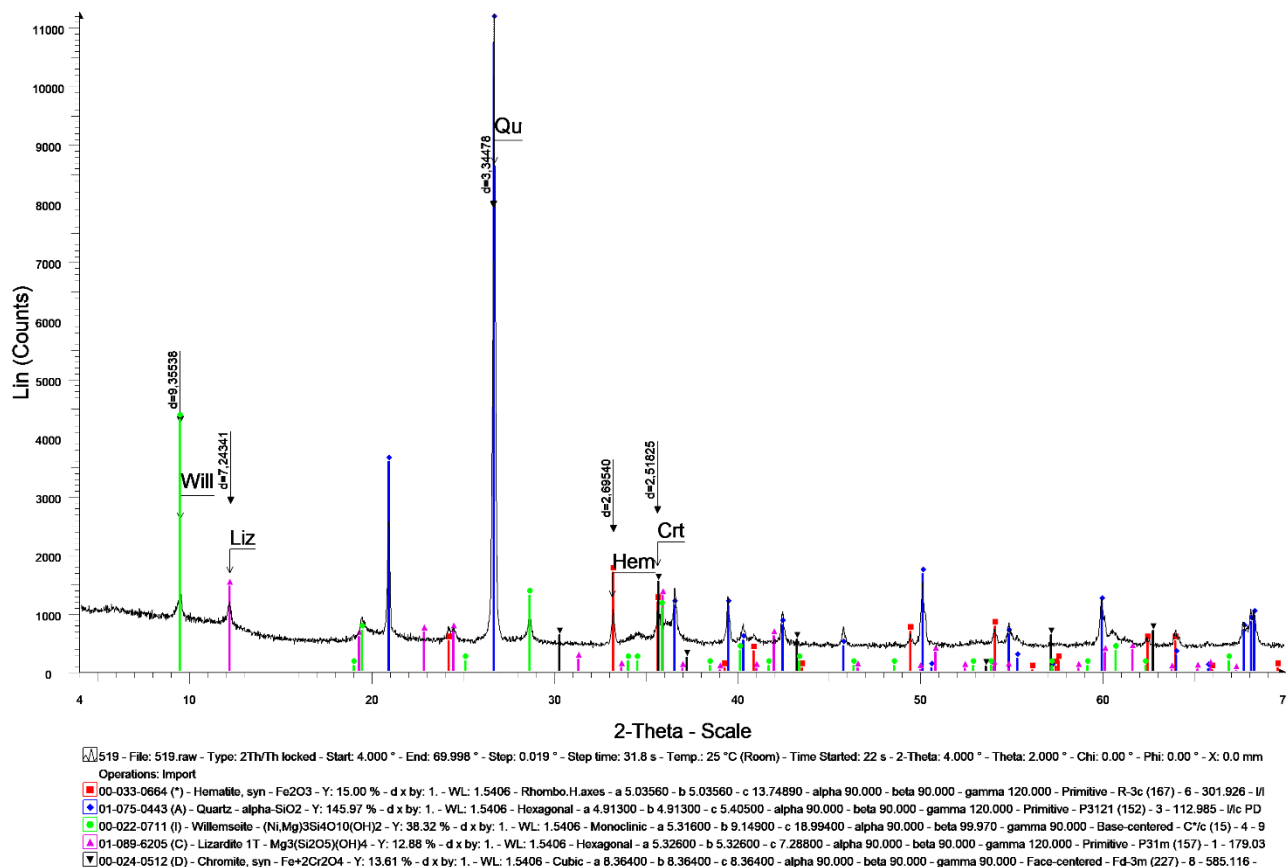
Στο παράρτημα που ακολουθεί, παρουσιάζονται τα γραφήματα των αναλύσεων του XRD, μέσω του λογισμικού EVA, μετά από επεξεργασία που έγινε ώστε να ταυτοποιηθούν οι κορυφές των αναλύσεων και να εξακριβωθούν οι ορυκτολογικές φάσεις των δειγμάτων. Περιλαμβάνονται τα αρχικά δείγματα πεδίου, καθώς και τα δείγματα από τις μεθόδους εμπλουτισμού καθώς και της διαδικασίας φυγοκέντρωσης του αργιλικού κλάσματος.

518

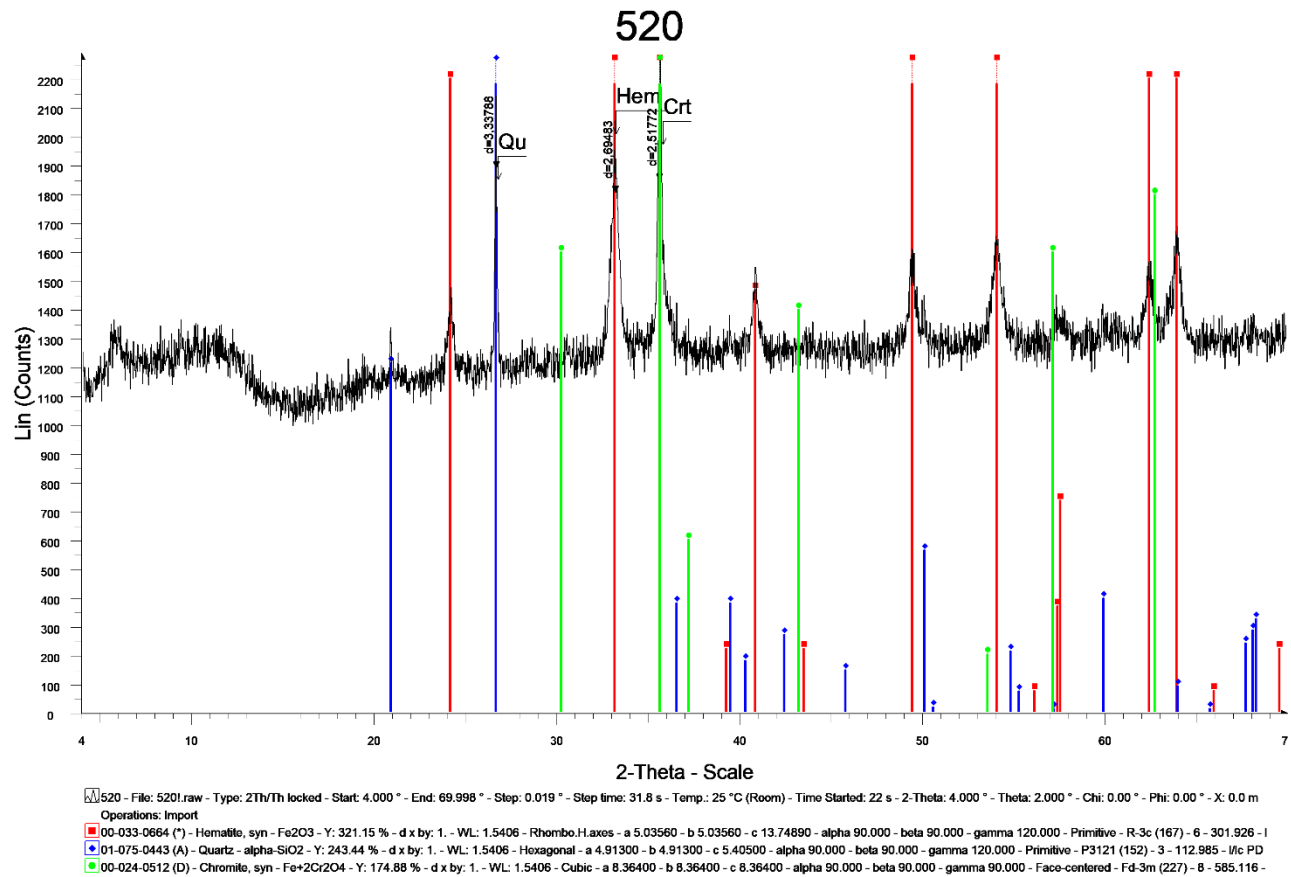


Ανάλυση XRD, Αρχικό Δείγμα 518

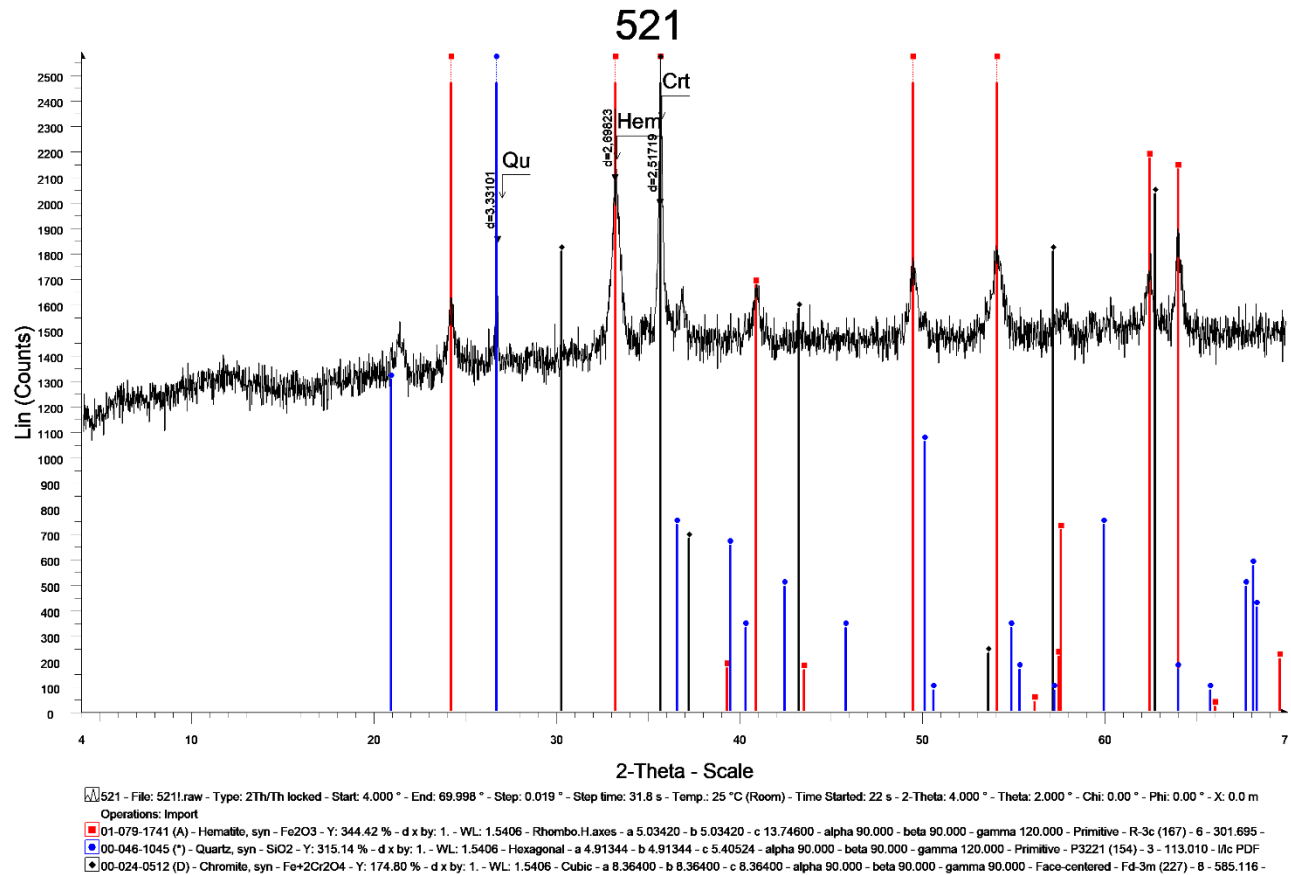
519



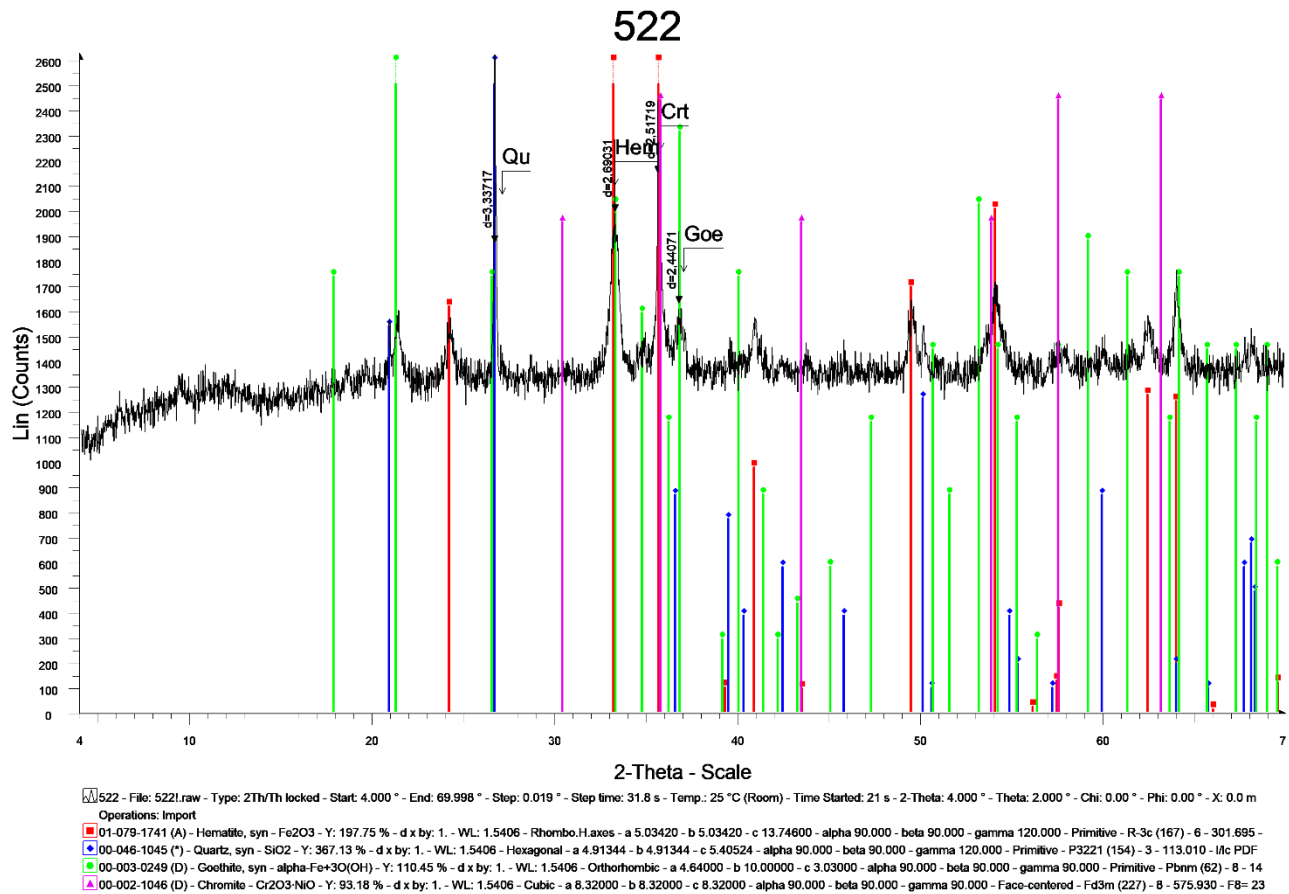
Ανάλυση XRD, Αρχικό Δείγμα 519



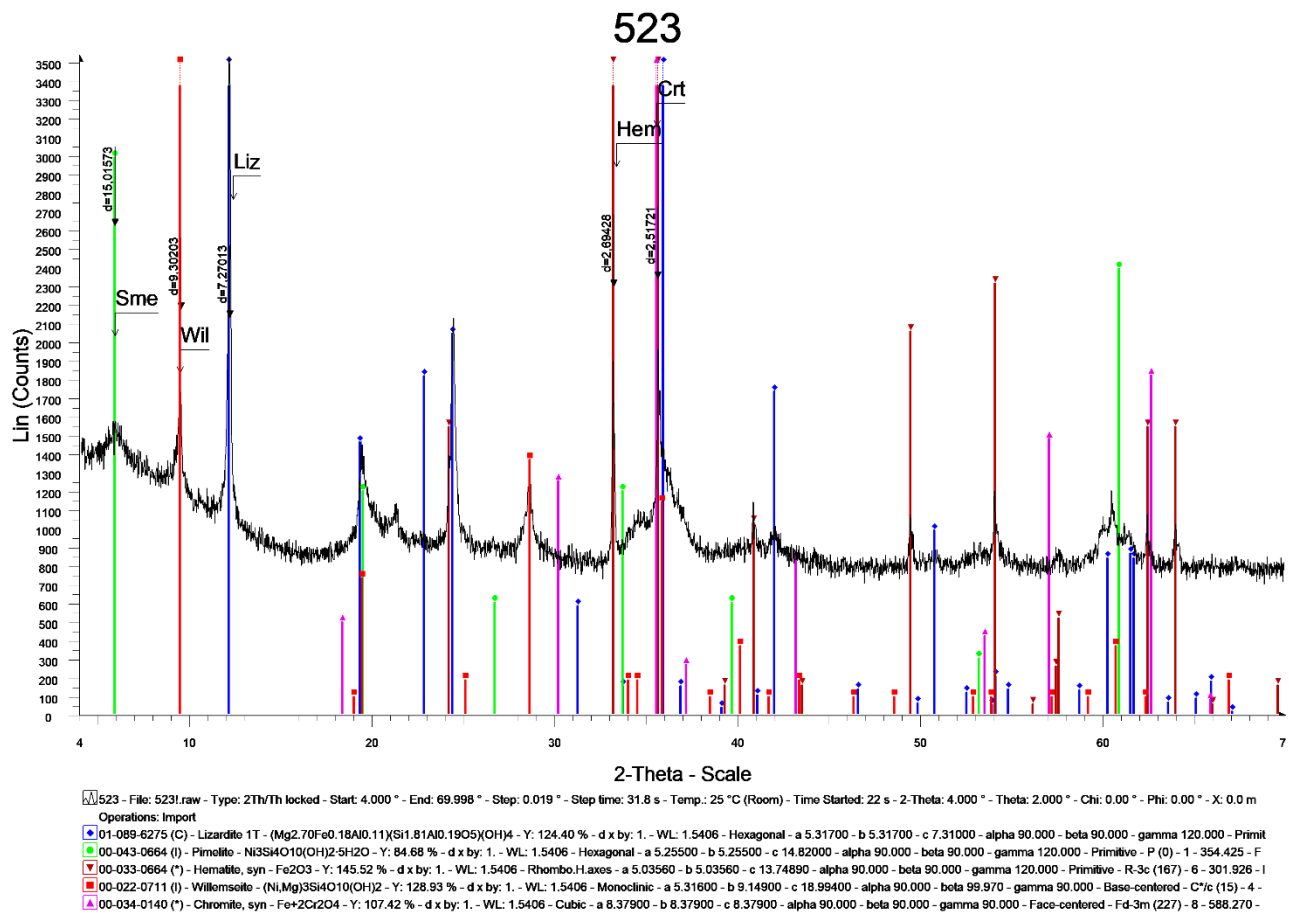
Ανάλυση XRD, Αρχικό Δείγμα 520



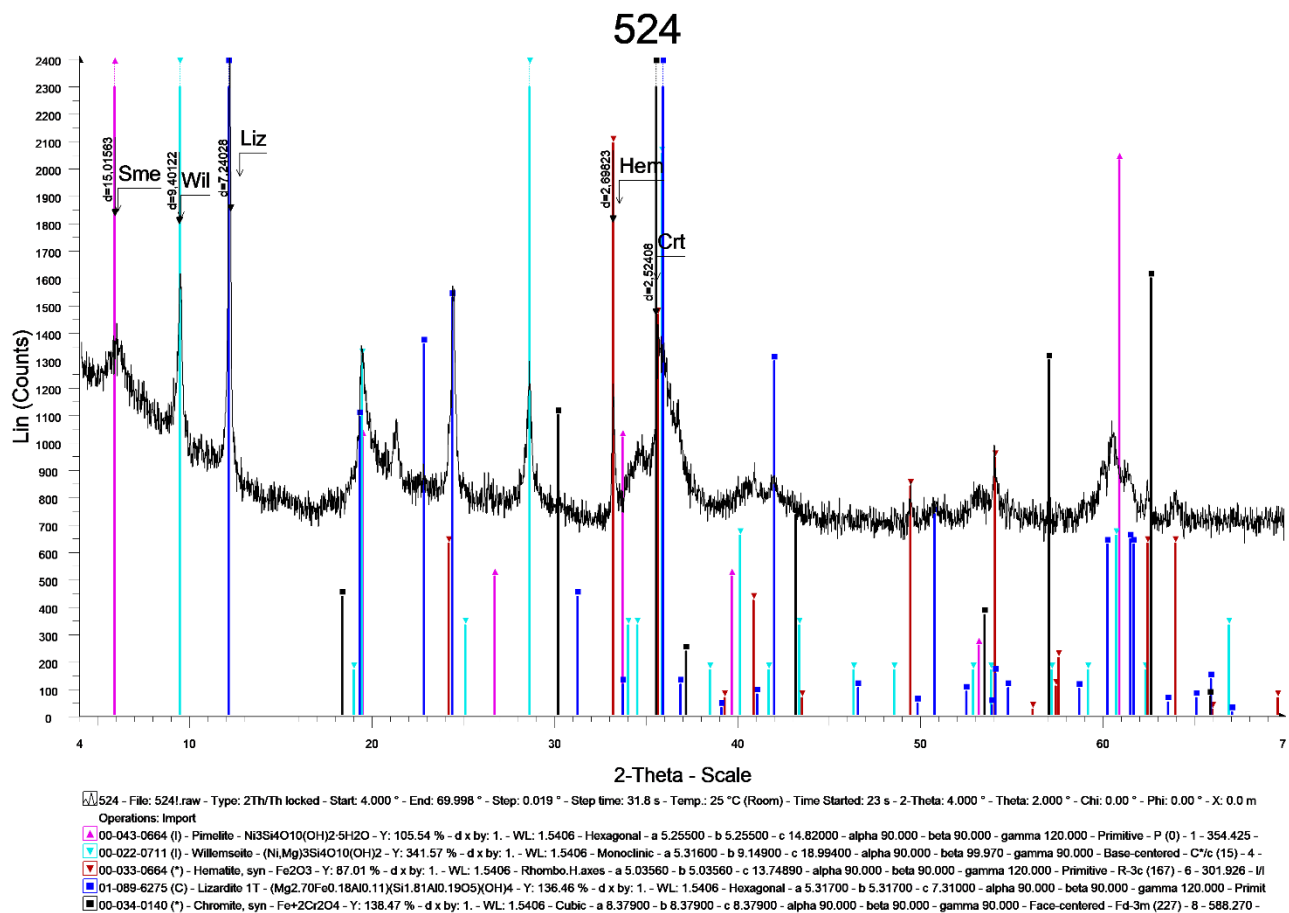
Ανάλυση XRD, Αρχικό Δείγμα 521



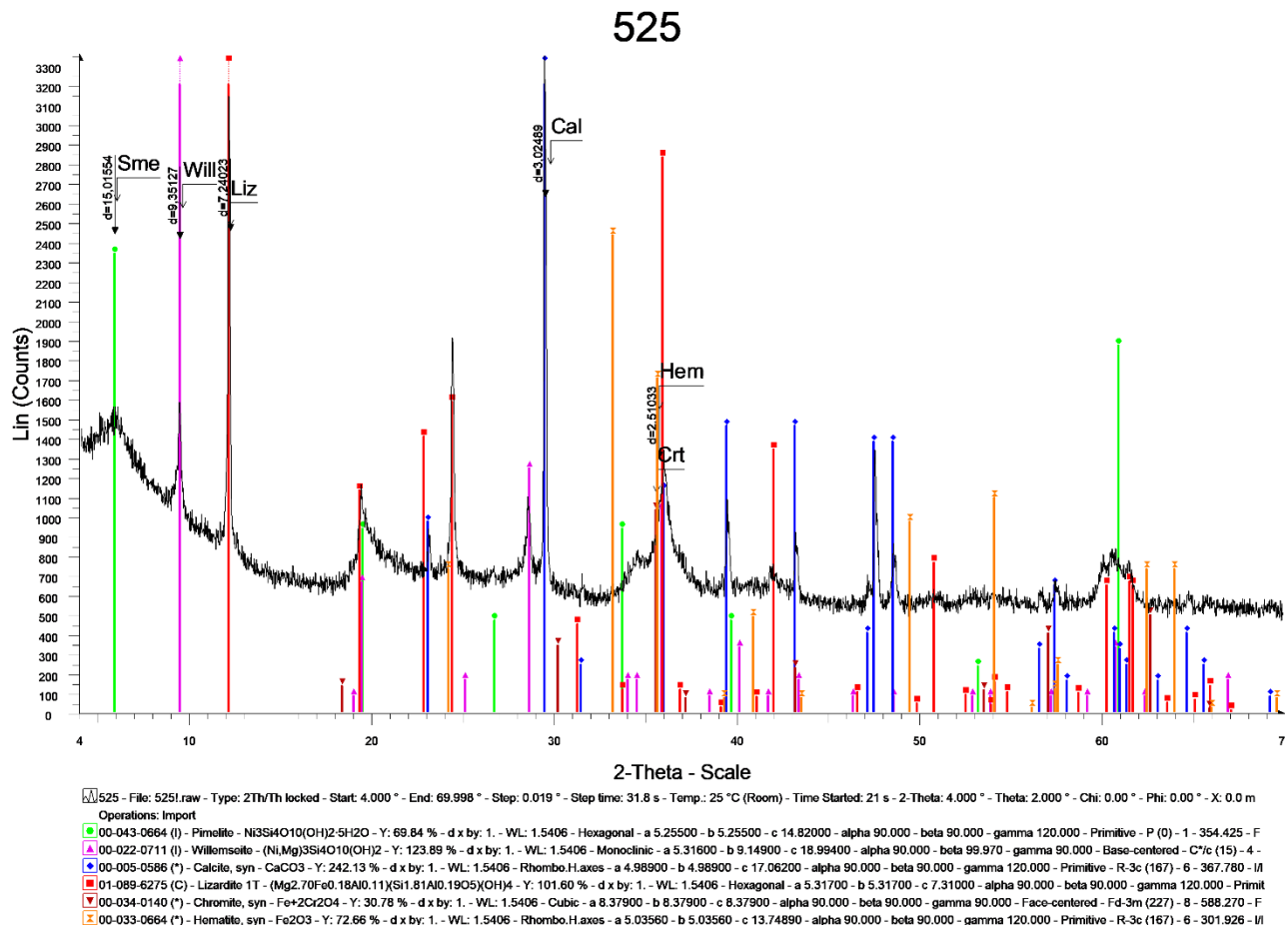
Ανάλυση XRD, Αρχικό Δείγμα 522



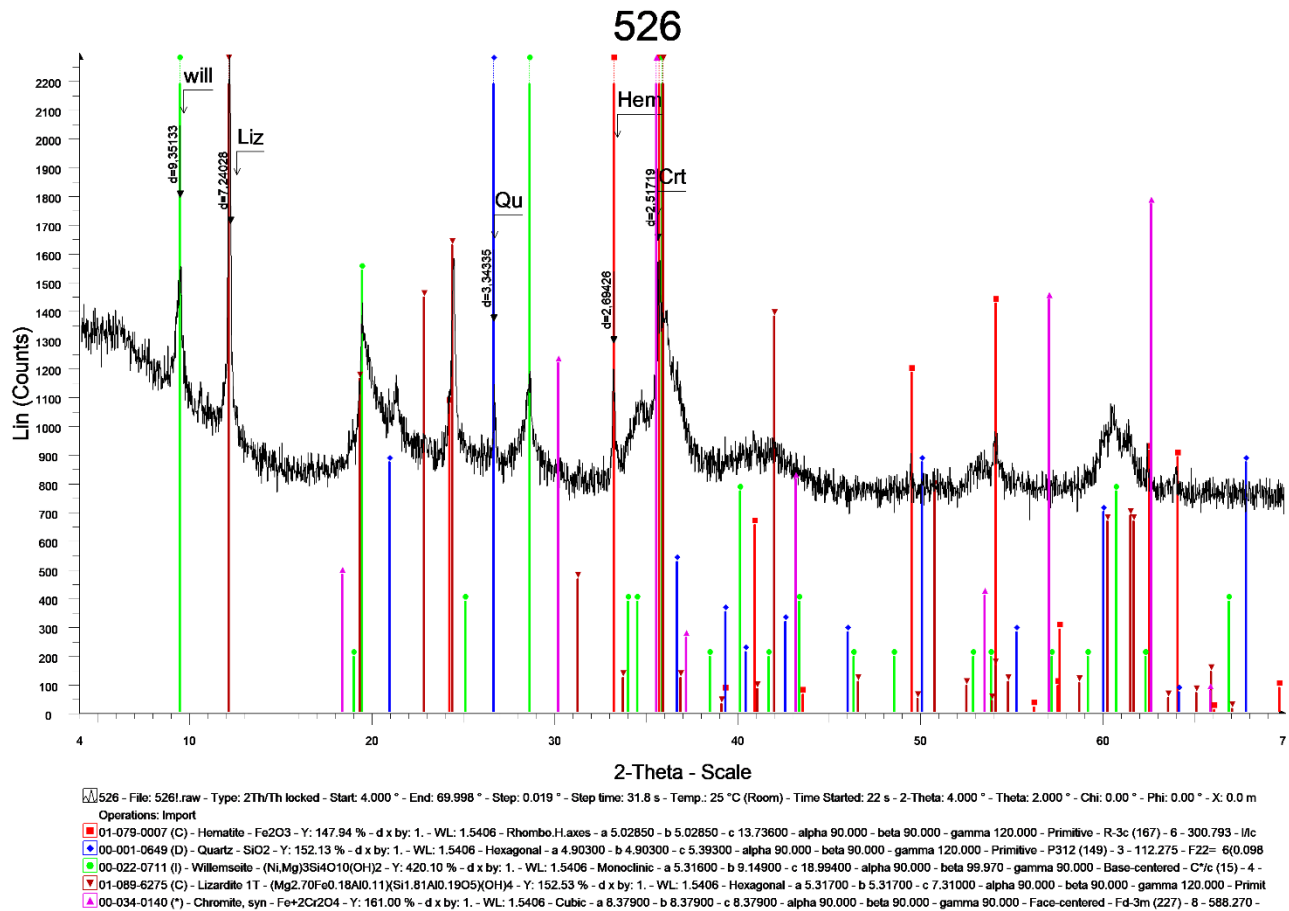
Ανάλυση XRD, Αρχικό Δείγμα 523



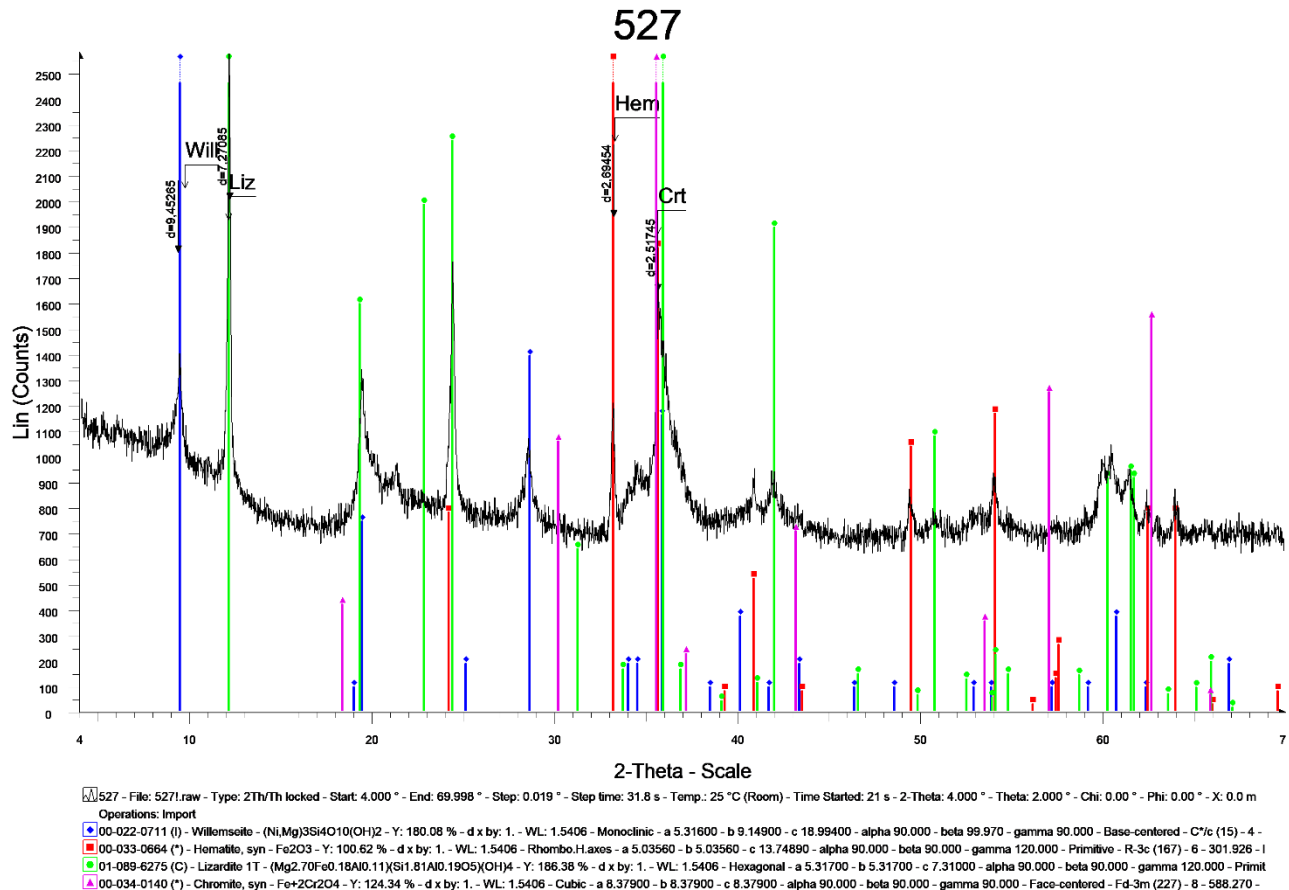
Ανάλυση XRD, Αρχικό Δείγμα 524



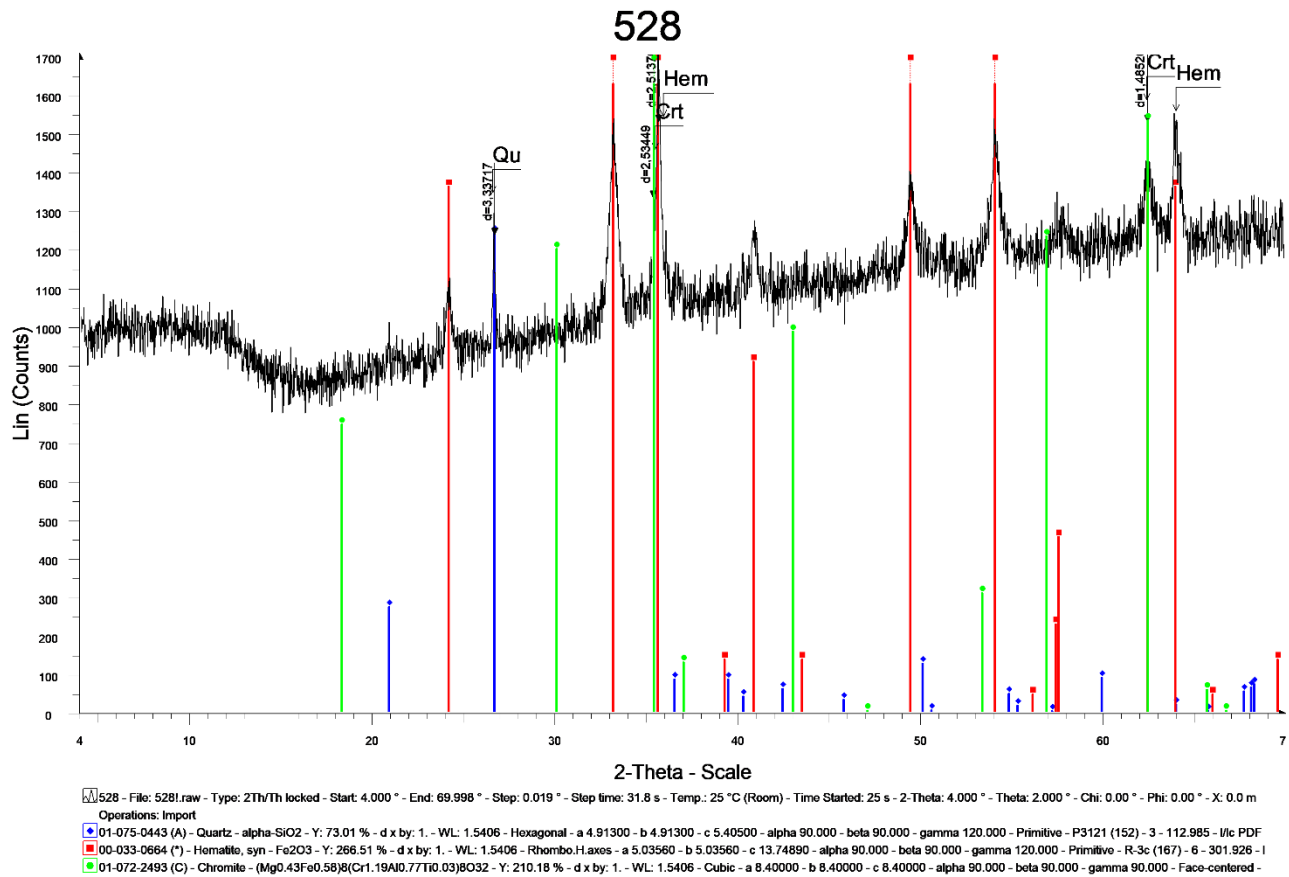
Ανάλυση XRD, Αρχικό Δείγμα 525



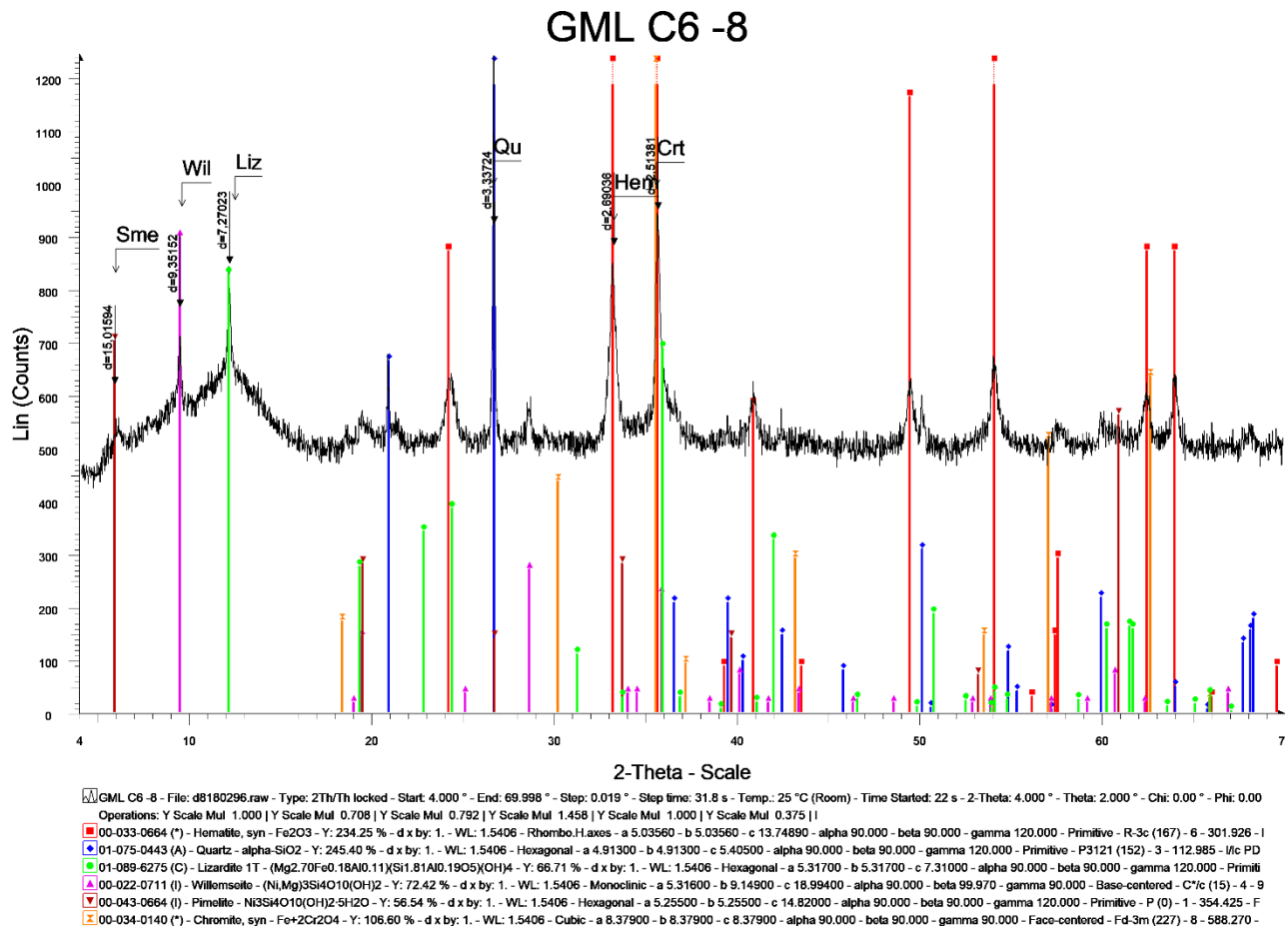
Ανάλυση XRD, Αρχικό Δείγμα 526



Ανάλυση XRD, Αρχικό Δείγμα 527

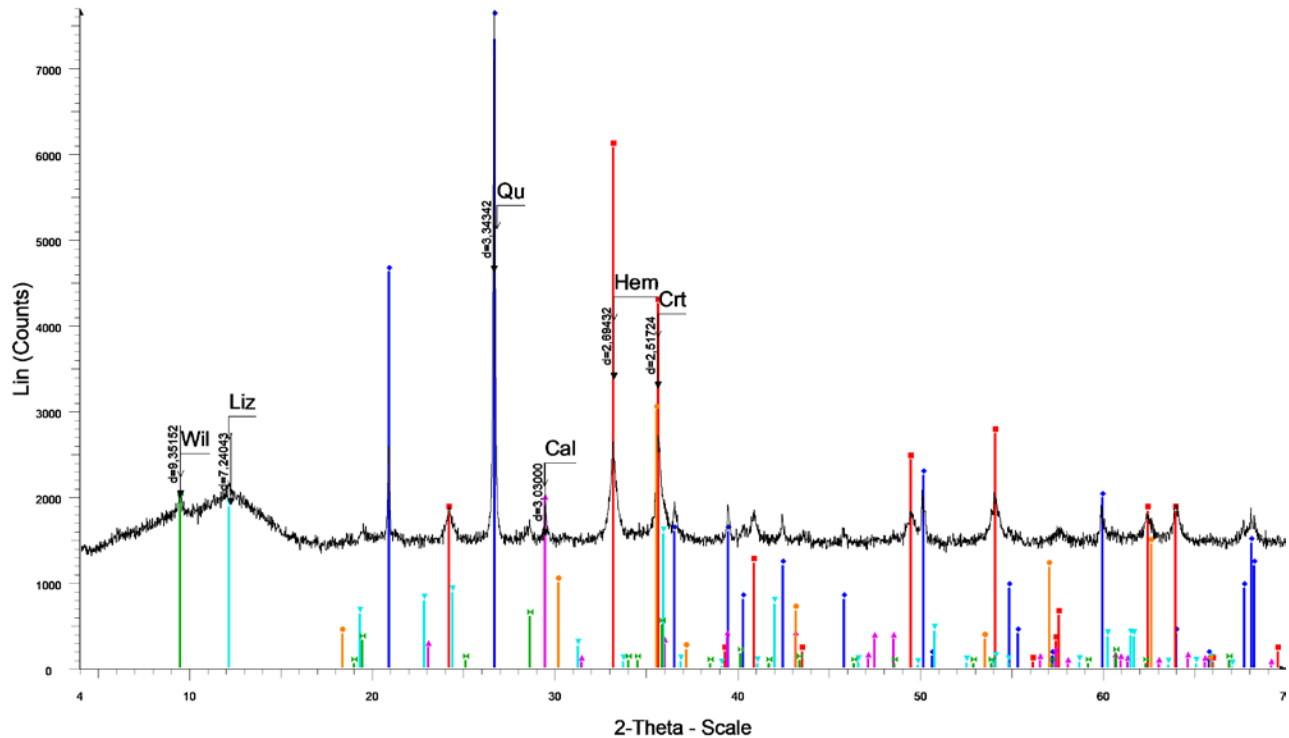


Ανάλυση XRD, Αρχικό Δείγμα 527



Ανάλυση XRD, Κοκκομετρικός Διαχωρισμός -8, ομάδα c

GML C1 -8+4



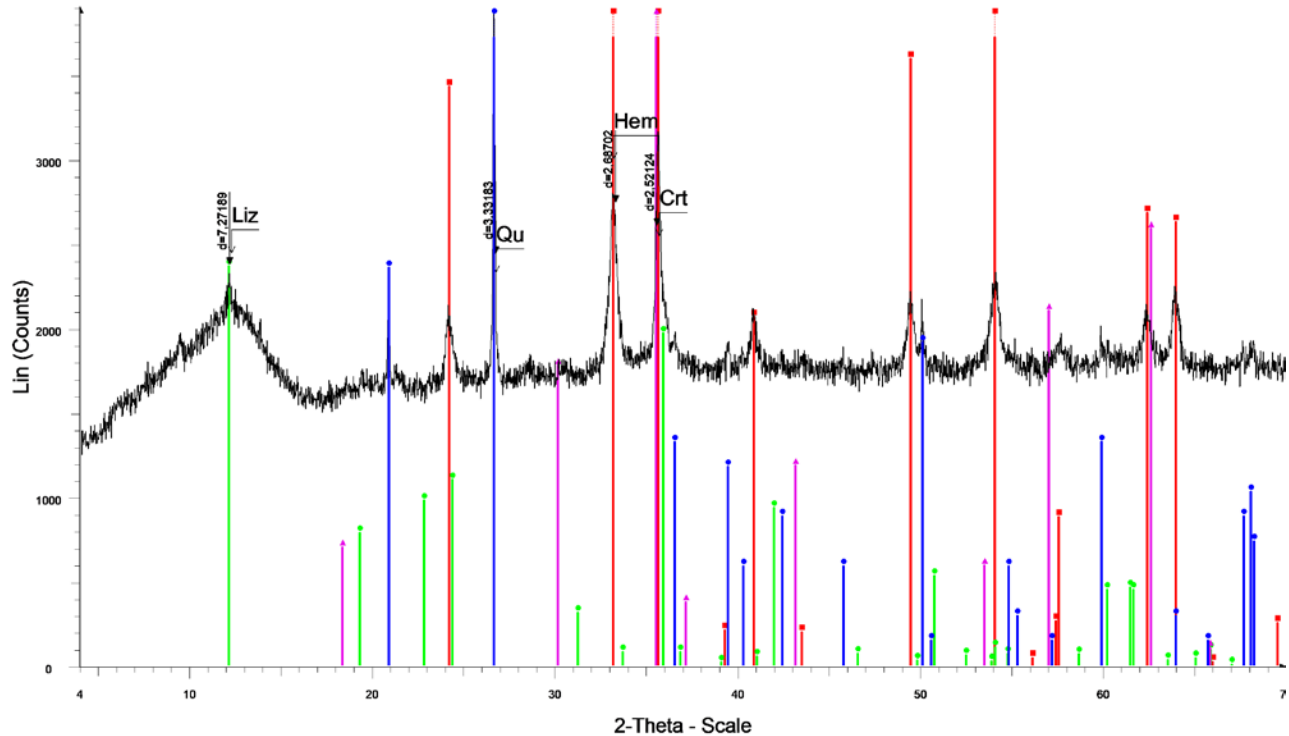
GML C1 -8+4 - File: d8180297.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 69.996 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 0.

Operations: Import

- 00-005-0490 (D) - Quartz, low - α -SiO₂ - Y: 171.96 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91300 - b 4.91300 - c 5.40500 - α 90.000 - β 90.000 - γ 120.000 - Primitive - P3121 (152) - 3 - 112.985 - I/I
- 00-033-0664 (*) - Hematite, syn - Fe₂O₃ - Y: 79.05 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03560 - b 5.03560 - c 13.74890 - α 90.000 - β 90.000 - γ 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 301.926 - I/I
- 00-005-0586 (*) - Calcite, syn - CaCO₃ - Y: 25.34 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.98900 - b 4.98900 - c 17.06200 - α 90.000 - β 90.000 - γ 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 367.780 - I/I
- 00-034-0140 (*) - Chromite, syn - Fe₂Cr₂O₄ - Y: 39.02 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 8.37900 - b 8.37900 - c 8.37900 - α 90.000 - β 90.000 - γ 90.000 - Face-centered - Fd-3m (227) - 8 - 588.270 - F
- 01-089-6275 (C) - Lizardite 1T - (Mg₂70Fe_{0.18}Al_{0.11})(Si_{1.81}Al_{0.19}O₅)(OH)₄ - Y: 24.43 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 5.31700 - b 5.31700 - c 7.31000 - α 90.000 - β 90.000 - γ 120.000 - Primitive - P3121 (152) - 3 - 112.985 - I/I
- 00-022-0711 (I) - Willemseite - (Ni,Mg)3Si₄O₁₀(OH)₂ - Y: 25.86 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 5.31600 - b 9.14900 - c 18.99400 - α 90.000 - β 99.970 - γ 90.000 - Base-centered - C₂/c (15) - 4 - 9

Ανάλυση XRD, Κοκκομετρικός Διαχωρισμός, κλάσμα -8 +4, ομάδα c

GML C2 -4+1

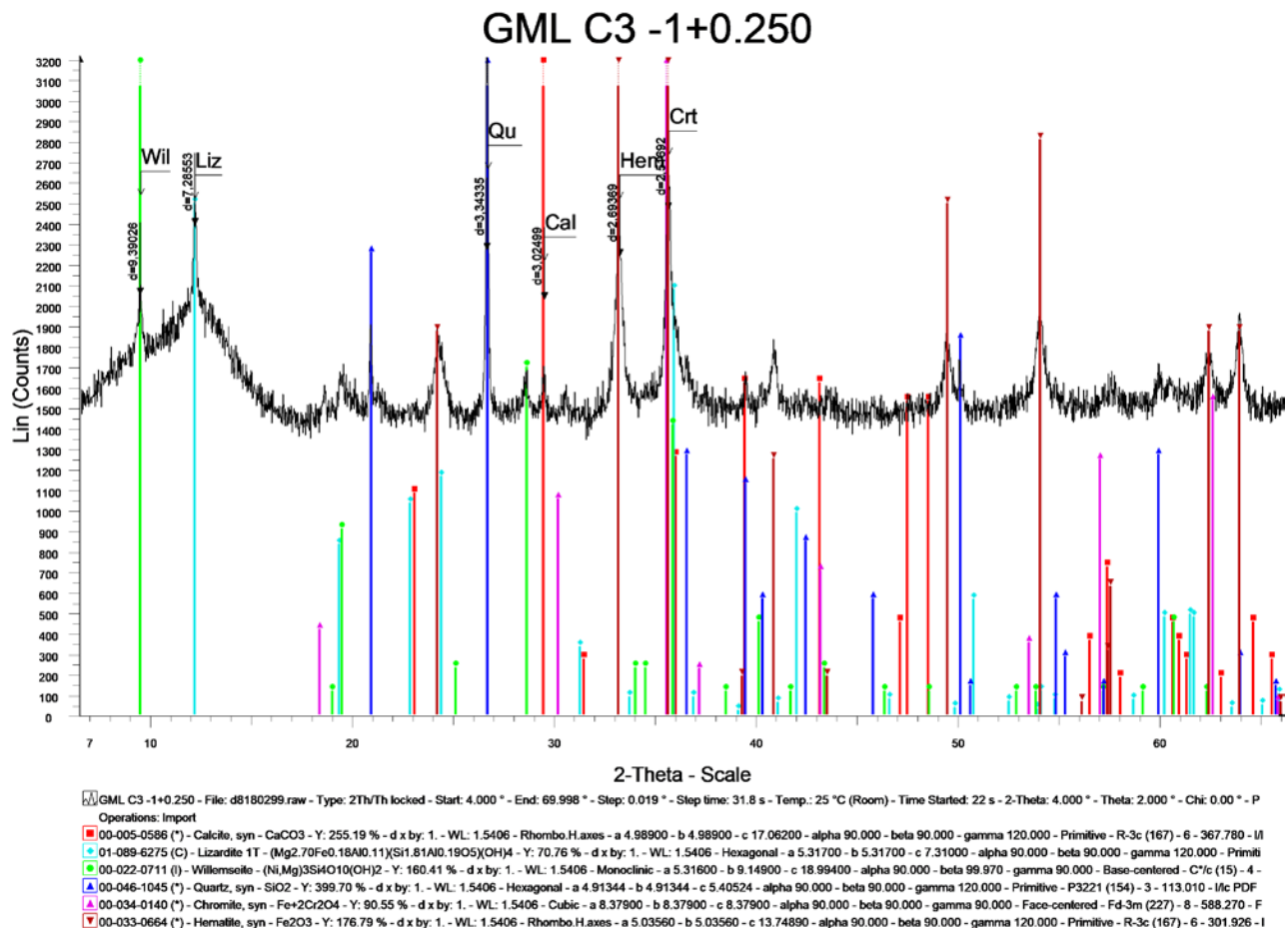


GML C2 -4+1 - File: d8180298.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 69.996 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 0.

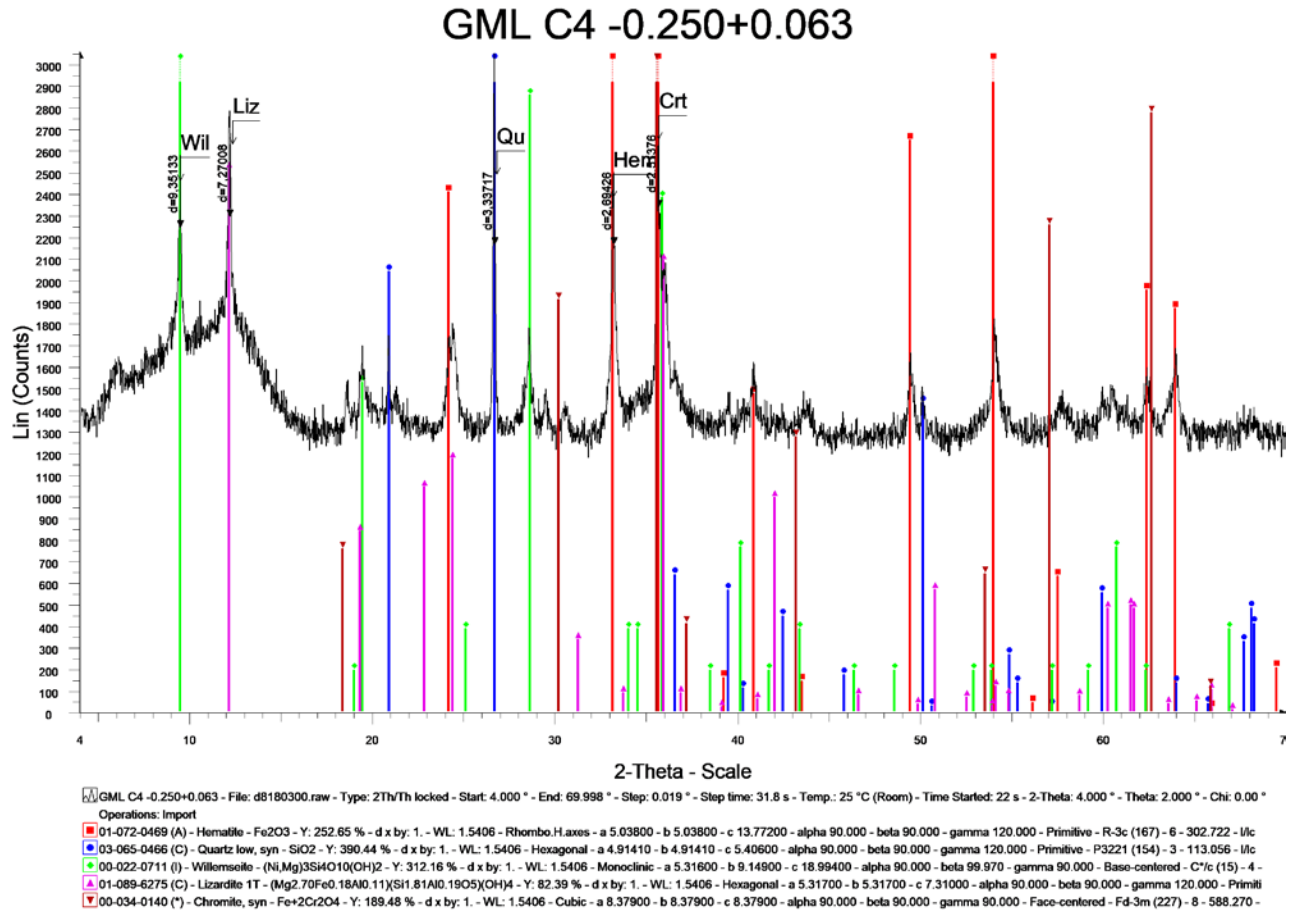
Operations: Import

- 01-079-1741 (A) - Hematite, syn - Fe₂O₃ - Y: 281.99 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03420 - b 5.03420 - c 13.74600 - α 90.000 - β 90.000 - γ 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 301.695 - I/I
- 00-046-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂ - Y: 378.25 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91344 - b 4.91344 - c 5.40524 - α 90.000 - β 90.000 - γ 120.000 - Primitive - P3121 (154) - 3 - 113.010 - I/I
- 01-089-6275 (C) - Lizardite 1T - (Mg₂70Fe_{0.18}Al_{0.11})(Si_{1.81}Al_{0.19}O₅)(OH)₄ - Y: 60.79 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 5.31700 - b 5.31700 - c 7.31000 - α 90.000 - β 90.000 - γ 120.000 - Primitive - P3121 (152) - 3 - 112.985 - I/I
- 00-034-0140 (*) - Chromite, syn - Fe₂Cr₂O₄ - Y: 138.48 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 8.37900 - b 8.37900 - c 8.37900 - α 90.000 - β 90.000 - γ 90.000 - Face-centered - Fd-3m (227) - 8 - 588.270 - F

Ανάλυση XRD, Κοκκομετρικός Διαχωρισμός, κλάσμα -4+1, ομάδα c

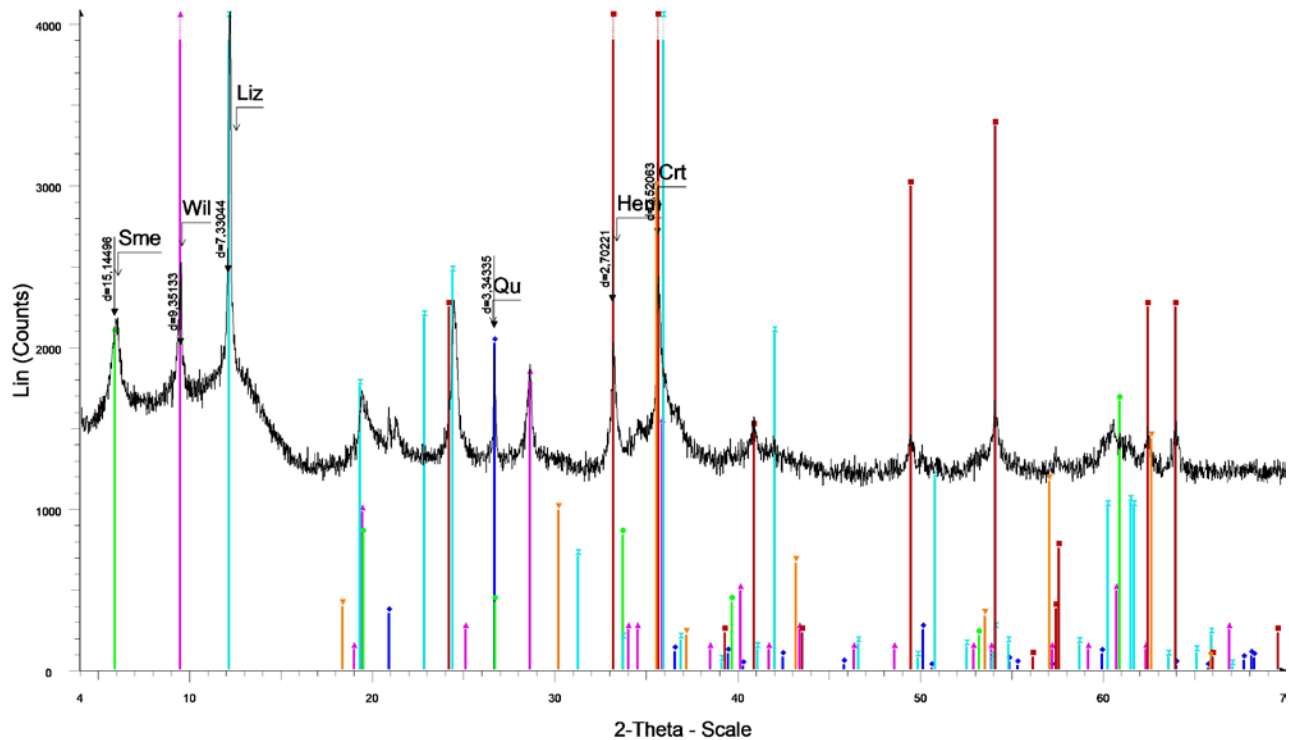


Ανάλυση XRD, Κοκκομετρικός Διαχωρισμός, κλάσμα -1+0.250mm, ομάδα c



Ανάλυση XRD, Κοκκομετρικός Διαχωρισμός, κλάσμα -0.250+0.063mm, ομάδα c

GML C5 -0.063



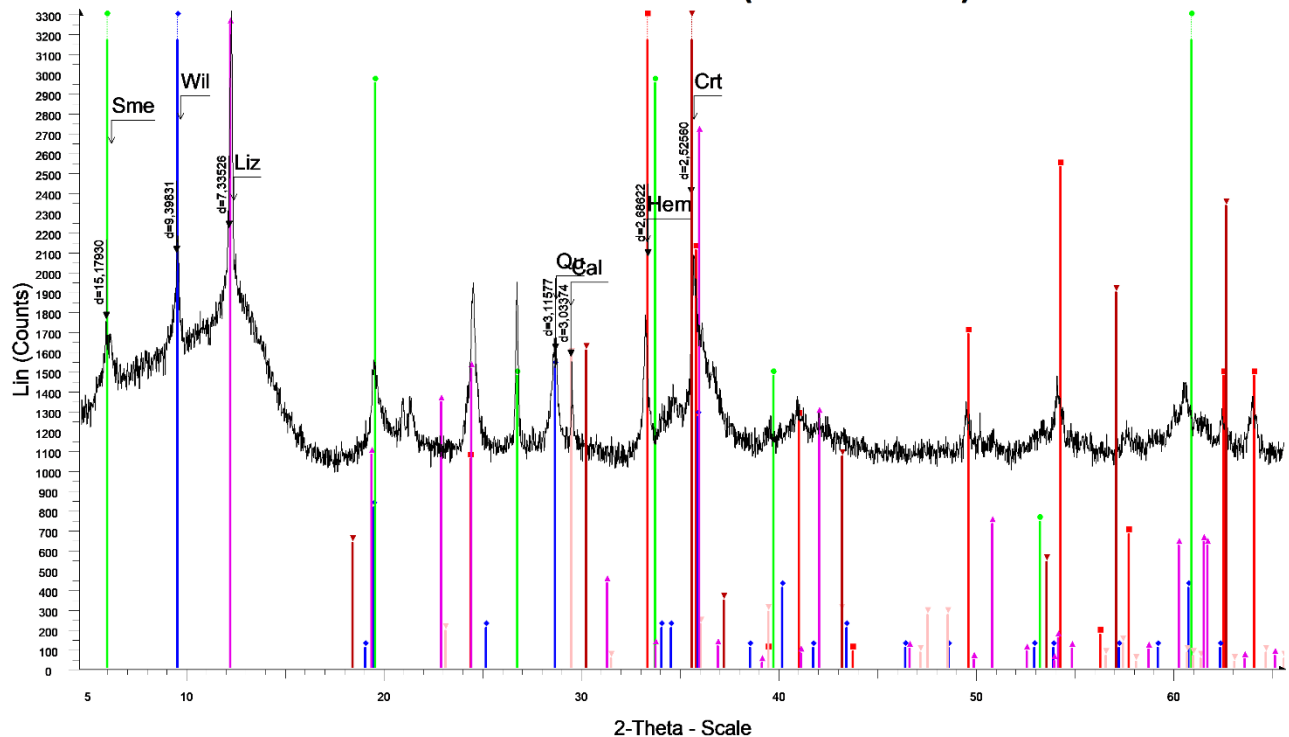
GML C5 -0.063 - File: d8180301.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 0.00 °

Operations: Import

- 03-065-0466 (C) - Quartz low, syn - SiO_2 - Y: 49.57 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91410 - b 4.91410 - c 5.40600 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 - 113.056 - I/c P
- 00-022-0711 (I) - Willemseite - $(\text{Ni,Mg})_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ - Y: 149.04 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 5.31600 - b 9.14900 - c 18.99400 - alpha 90.000 - beta 99.970 - gamma 90.000 - Base-centered - C*/c (15) - 4 -
- 00-043-0664 (I) - Pimelite - $\text{Ni}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ - Y: 50.90 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 5.25500 - b 5.25500 - c 14.82000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P (0) - 1 - 354.425 - F
- 00-034-0140 (*) - Chromite, syn - $\text{Fe}+2\text{Cr}_2\text{O}_4$ - Y: 73.05 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 8.37900 - b 8.37900 - c 8.37900 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Face-centered - Fd-3m (227) - 8 - 588.270 - F
- 01-089-6275 (C) - Lizardite 1T - $(\text{Mg}_2.70\text{Fe}_0.18\text{Al}_0.11)(\text{Si}_1.81\text{Al}_0.19\text{O}_5)(\text{OH})_4$ - Y: 129.39 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 5.31700 - b 5.31700 - c 7.31000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 301.926 - I
- 00-033-0664 (*) - Hematite, syn - Fe_2O_3 - Y: 183.46 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03560 - b 5.03560 - c 13.74890 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 301.926 - I

Ανάλυση XRD, Κοκκομετρικός Διαχωρισμός, κλάσμα -0.063mm, ομάδα c

GML C7 (-0.063+0.010)



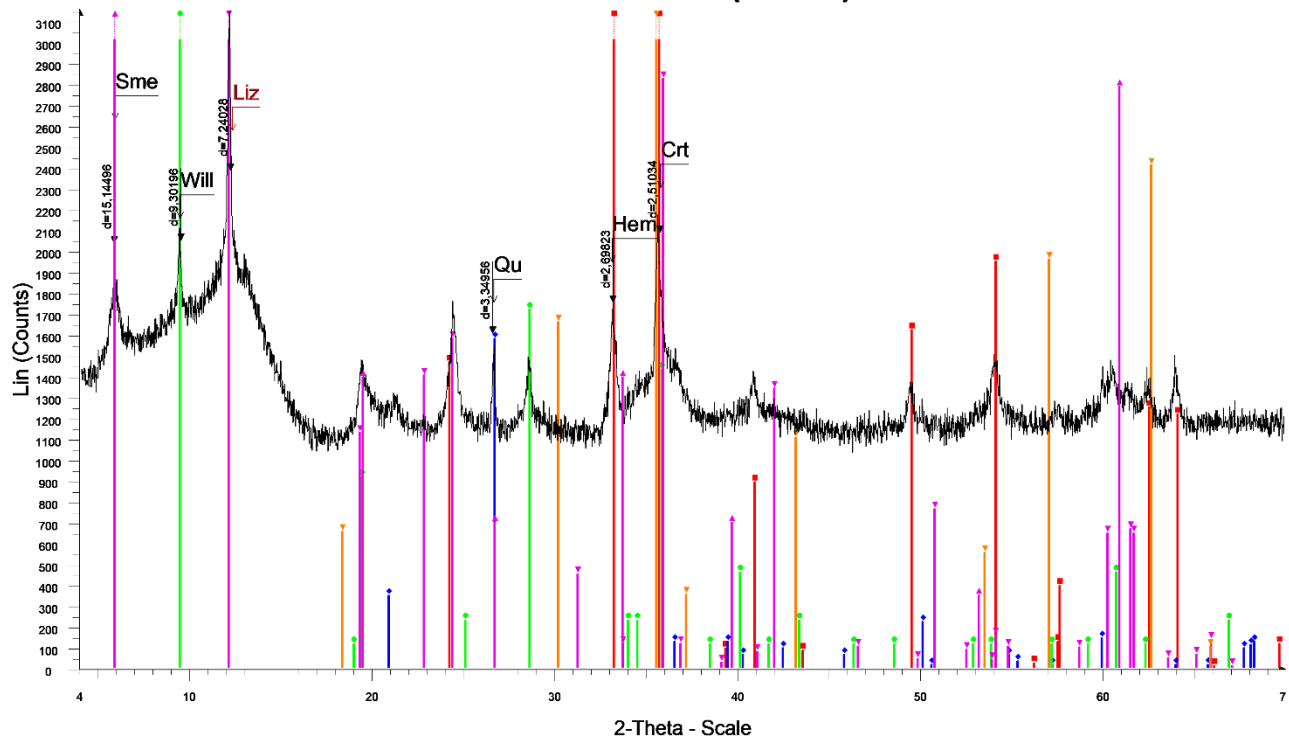
GML C7 - File: d8180552.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 0.00 °

Operations: Import

- 00-013-0534 (D) - Hematite, syn - Fe_2O_3 - Y: 127.10 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03100 - b 5.03100 - c 13.73700 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 301.114 -
- 00-022-0711 (I) - Willemseite - $(\text{Ni,Mg})_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ - Y: 152.84 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 5.31600 - b 9.14900 - c 18.99400 - alpha 90.000 - beta 99.970 - gamma 90.000 - Base-centered - C*/c (15) - 4 -
- 00-043-0664 (I) - Pimelite - $\text{Ni}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ - Y: 222.47 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 5.25500 - b 5.25500 - c 14.82000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P (0) - 1 - 354.425 - F
- 00-005-0586 (*) - Calcite, syn - CaCO_3 - Y: 47.55 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.98900 - b 4.98900 - c 17.06200 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P (0) - 1 - 354.425 - F
- 01-089-6275 (C) - Lizardite 1T - $(\text{Mg}_2.70\text{Fe}_0.18\text{Al}_0.11)(\text{Si}_1.81\text{Al}_0.19\text{O}_5)(\text{OH})_4$ - Y: 97.88 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 5.31700 - b 5.31700 - c 7.31000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 367.780 - I/c
- 00-034-0140 (*) - Chromite, syn - $\text{Fe}+2\text{Cr}_2\text{O}_4$ - Y: 146.50 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 8.37900 - b 8.37900 - c 8.37900 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Face-centered - Fd-3m (227) - 8 - 588.270 - F

Ανάλυση XRD, Κοκκομετρικός Διαχωρισμός, κλάσμα -0.063+0.010mm, ομάδα c

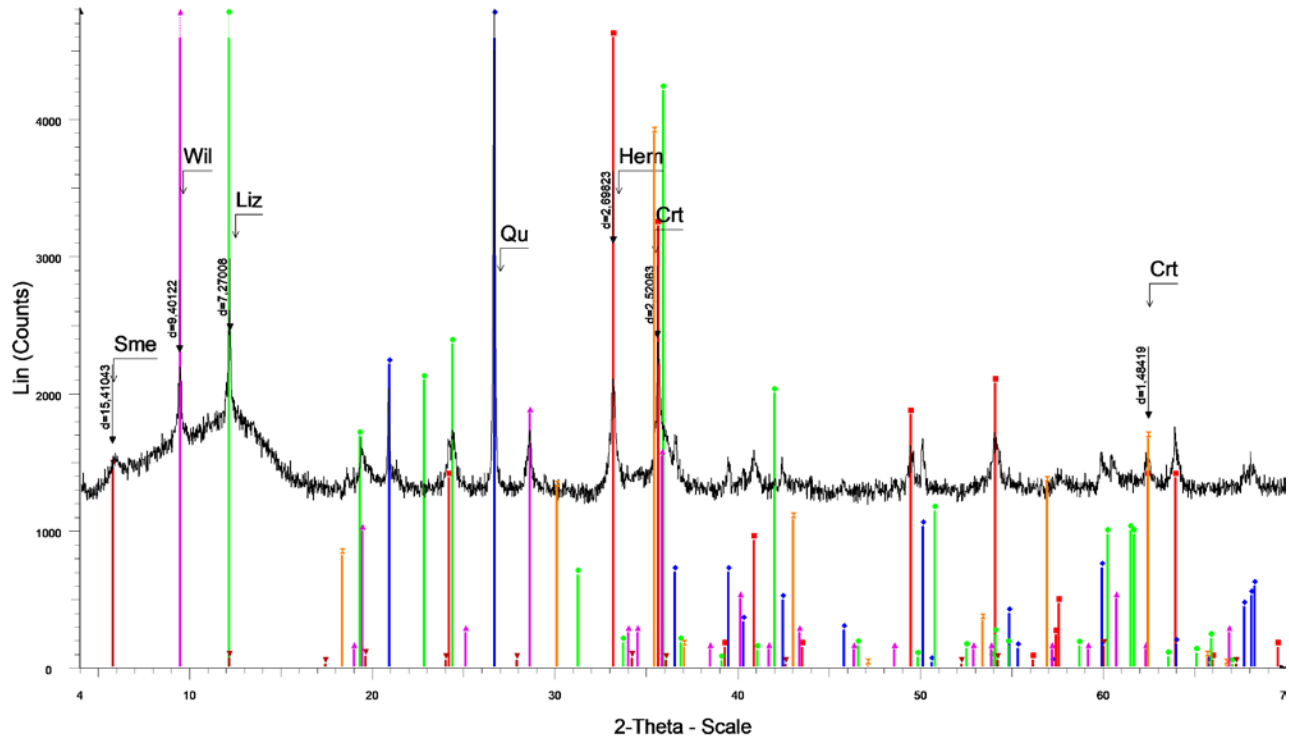
GML C8(-0.010)



GML C8 - File: d8180553.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 0.00 ° -
 Operations: Import
 01-079-0007 (C) - Hematite - Fe₂O₃ - Y: 147.15 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.02850 - b 5.02850 - c 13.73600 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 300.793 - I/c
 00-033-1161 (D) - Quartz, syn - SiO₂ - Y: 50.07 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91340 - b 4.91340 - c 5.40530 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 - 113.009 - I/c PDF 3
 00-022-0711 (I) - Willemseite - (Ni,Mg)₃Si₄O₁₀(OH)₂ - Y: 181.85 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 5.31600 - b 9.14900 - c 18.99400 - alpha 90.000 - beta 99.970 - gamma 90.000 - Base-centered - C^{*}/c (15) - 4 -
 00-043-0664 (I) - Pimolito - Ni₃Si₄O₁₀(OH)₂·5H₂O - Y: 110.61 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 5.25500 - b 5.25500 - c 14.82000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P (0) - 1 - 354.425 -
 01-089-6275 (C) - Lizardite 1T - (Mg₂,70Fe,0.18Al,0.11Si,1.81Al,0.19O₅)(OH)₄ - Y: 107.78 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 5.31700 - b 5.31700 - c 7.31000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primit
 00-034-0140 (*) - Chromite, syn - Fe₂Cr₂O₄ - Y: 159.42 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 8.37900 - b 8.37900 - c 8.37900 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Face-centered - Fd-3m (227) - 8 - 588.270 -

Ανάλυση XRD, Κοκκομετρικός Διαχωρισμός, κλάσμα -0.010mm, ομάδα c

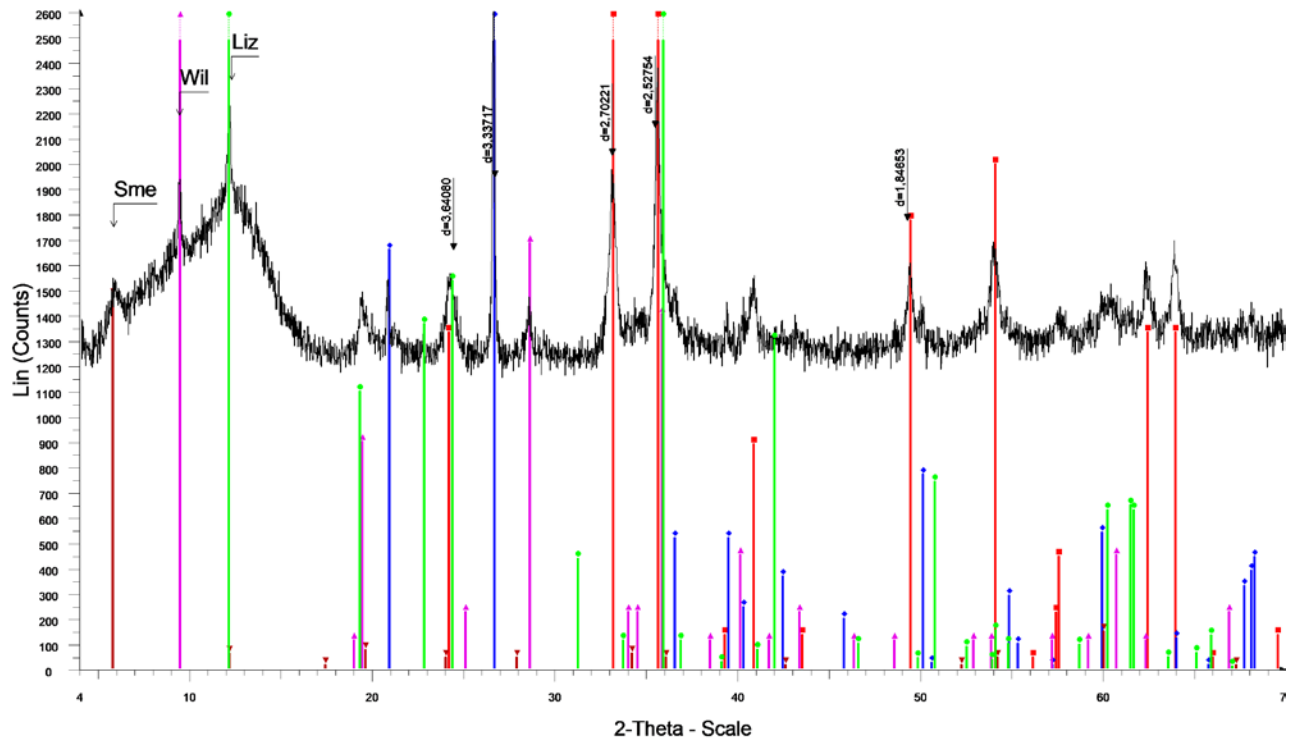
GML D1



GML D1 - File: d8180554.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 23 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 0.00 ° -
 Operations: Import
 00-033-0664 (*) - Hematite, syn - Fe₂O₃ - Y: 95.70 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03560 - b 5.03560 - c 13.74890 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 301.926 - I/c
 01-075-0443 (A) - Quartz - alpha-SiO₂ - Y: 210.60 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91300 - b 4.91300 - c 5.40500 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3121 (152) - 3 - 112.985 - I/c PD
 01-089-6275 (C) - Lizardite 1T - (Mg₂,70Fe,0.18Al,0.11Si,1.81Al,0.19O₅)(OH)₄ - Y: 105.36 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 5.31700 - b 5.31700 - c 7.31000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primit
 00-022-0711 (I) - Willemseite - (Ni,Mg)₃Si₄O₁₀(OH)₂ - Y: 128.21 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 5.31600 - b 9.14900 - c 18.99400 - alpha 90.000 - beta 99.970 - gamma 90.000 - Base-centered - C^{*}/c (15) - 4 -
 00-005-0068 (D) - Saponite - Ca_{0.5}(Mg,Fe)₃(Si₄Al₄O₁₀(O,H)₂·4H₂O - Y: 30.32 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 -
 01-072-2493 (C) - Chromite - (Mg_{0.43}Fe_{0.58})₈(Cr_{1.19}Al_{0.77}Ti_{0.03})₈O₃₂ - Y: 81.02 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 8.40000 - b 8.40000 - c 8.40000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Face-centered - F

Ανάλυση XRD, Κοκκομετρικός Διαχωρισμός, κλάσμα -0.063+0.010mm, ομάδα d

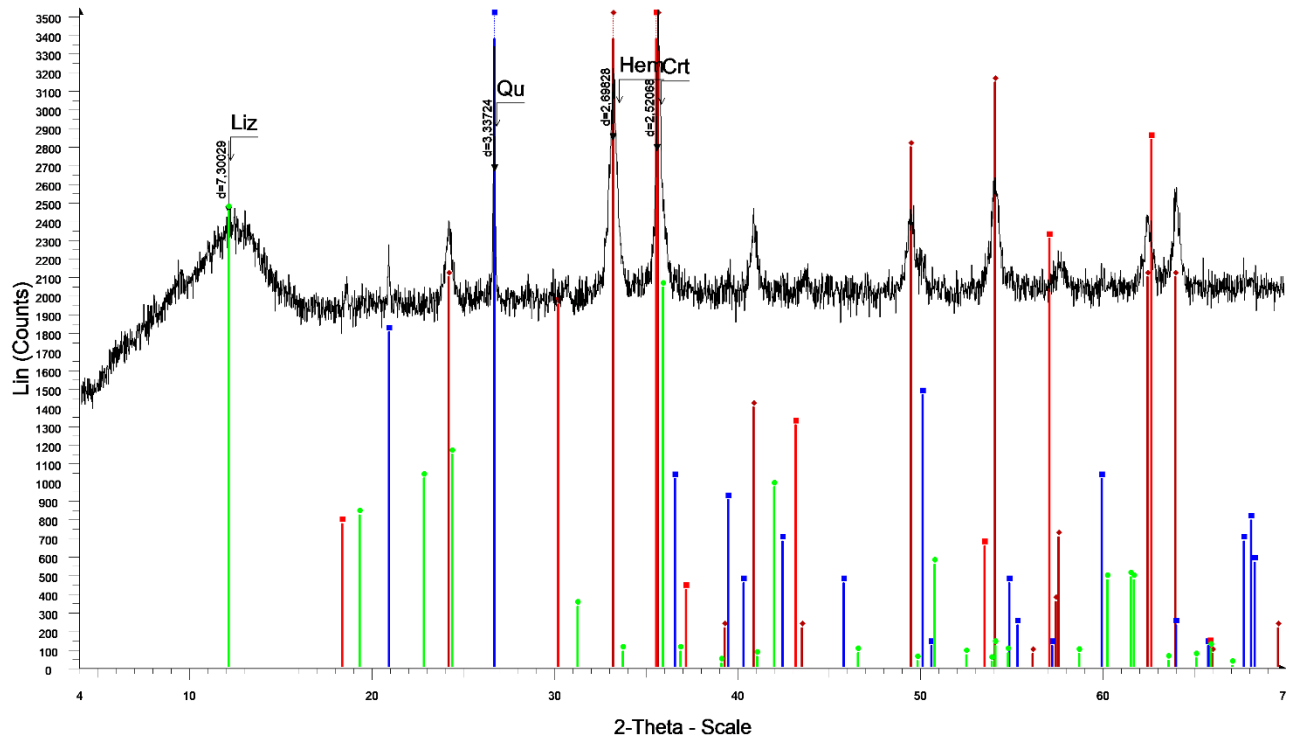
GML D2



GML D2 - File: d8180555.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° -
 Operations: Import
 00-033-0664 (*) - Hematite, syn - Fe₂O₃ - Y: 170.56 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03560 - b 5.03560 - c 13.74890 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 301.926 - I
 01-075-0443 (A) - Quartz - alpha-SiO₂ - Y: 292.02 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91300 - b 4.91300 - c 5.40500 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3121 (152) - 3 - 112.985 - Ilc PD
 01-089-6275 (C) - Lizardite 1T - (Mg₂70Fe0.18Al0.11)(Si1.81Al0.19O5)(OH)4 - Y: 126.88 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 5.31700 - b 5.31700 - c 7.31000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primit
 00-022-0711 (I) - Willemseite - (Ni,Mg)3Si4O10(OH)2 - Y: 216.01 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 5.31600 - b 9.14900 - c 18.99400 - alpha 90.000 - beta 99.970 - gamma 90.000 - Base-centered - C2/c (15) - 4 -
 00-005-0068 (D) - Saponite - Ca0.5(Mg,Fe)3(Si,Al)4O10(O,H)2·4H2O - Y: 56.72 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 -

Ανάλυση XRD, Κοκκομετρικός Διαχωρισμός, κλάσμα -0.010mm, ομάδα d

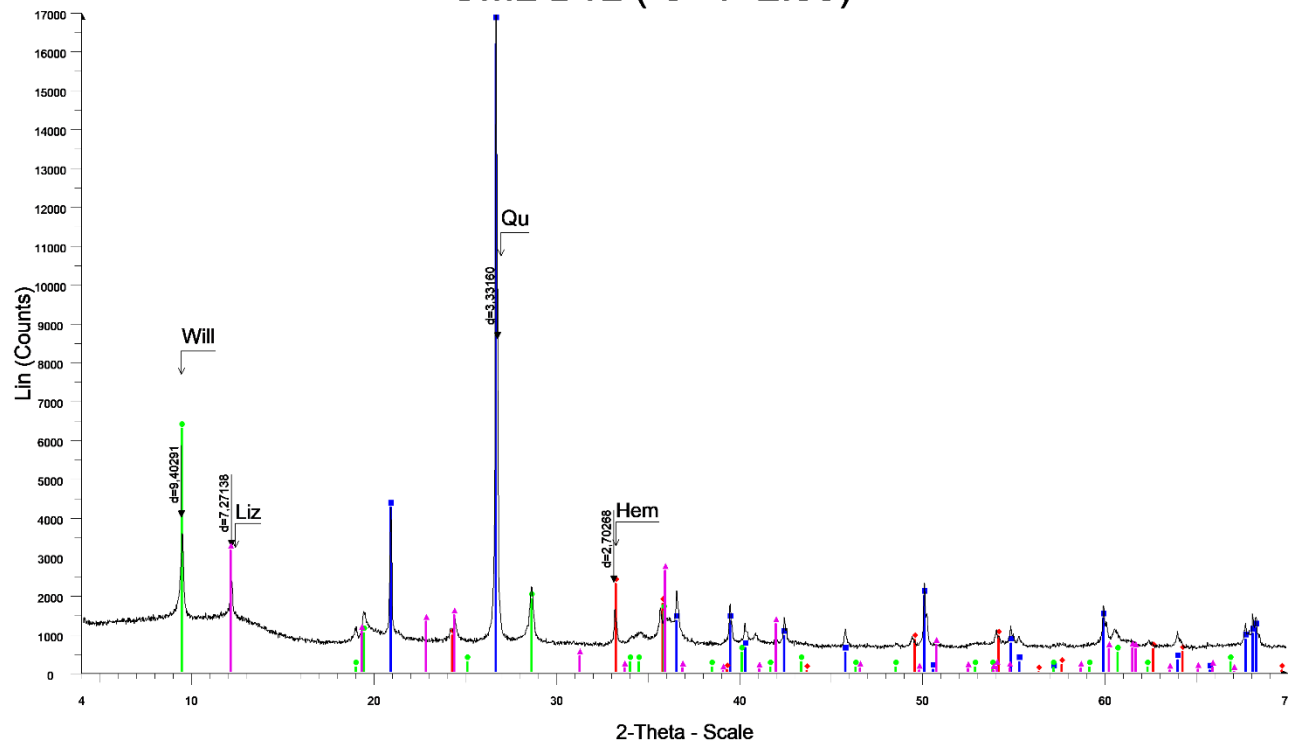
GML B1H -8+4 +2.85



GML B1H -8+4 +2.85 - File: d8180302.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 °
 Operations: Import
 00-033-0664 (*) - Hematite, syn - Fe₂O₃ - Y: 197.71 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03560 - b 5.03560 - c 13.74890 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 301.926 - I
 00-046-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂ - Y: 318.27 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91344 - b 4.91344 - c 5.40524 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 - 113.010 - Ilc PDF
 00-034-0140 (*) - Chromite, syn - Fe+2Cr2O4 - Y: 167.13 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 8.37900 - b 8.37900 - c 8.37900 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Face-centered - Fd-3m (227) - 8 - 588.270 -
 01-089-6275 (C) - Lizardite 1T - (Mg₂70Fe0.18Al0.11)(Si1.81Al0.19O5)(OH)4 - Y: 69.45 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 5.31700 - b 5.31700 - c 7.31000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primiti

Ανάλυση XRD, Βαρυτομετρικός Διαχωρισμός, προϊόν SINK -8+4mm

GML B1L (-8+4 -2.85)



GML B1L (-8+4 -2.85) - File: d8180303.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Stop: 0.019 ° - Stop time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 23 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 °

Operations: Import

01-075-0443 (A) - Quartz - α -SiO₂ - Y: 114.89 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91300 - b 4.91300 - c 5.40500 - α 90.000 - β 90.000 - γ 120.000 - Primitive - P3121 (152) - 3 - 112.985 - *I*/c PD

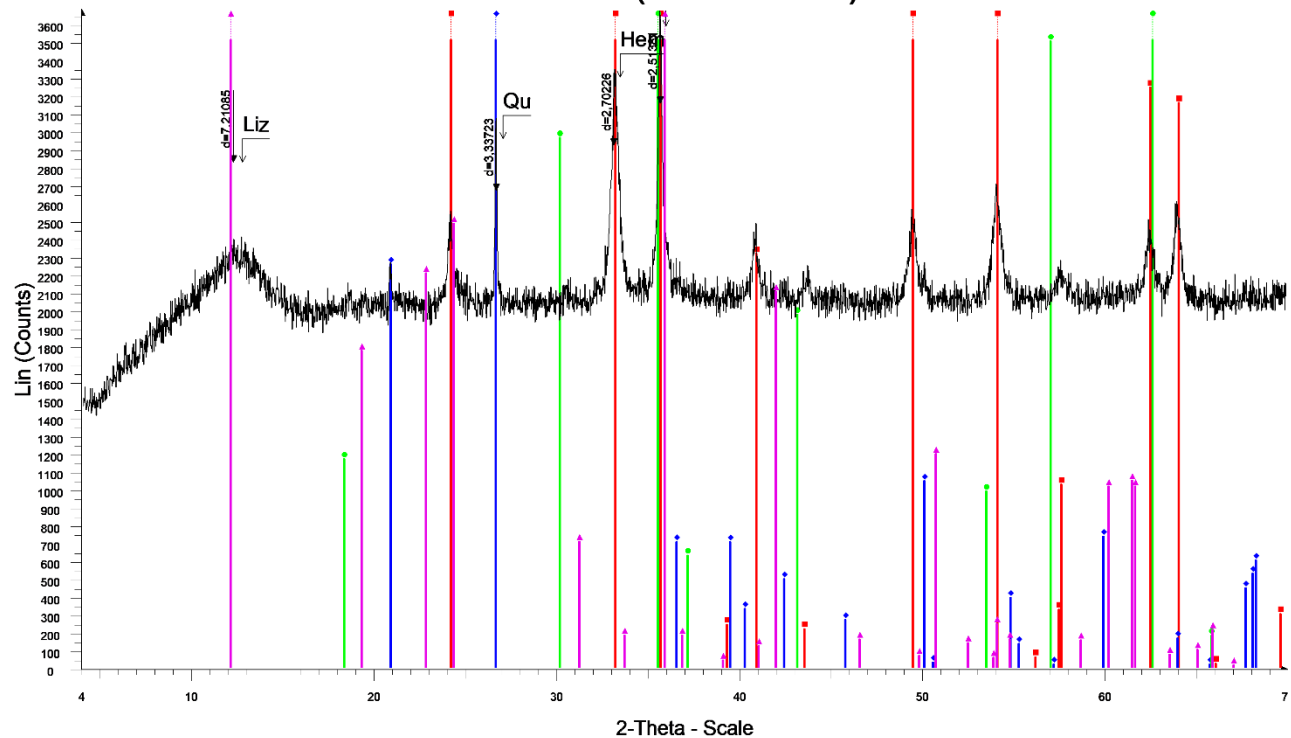
01-085-0599 (A) - Hematite - Fe₂O₃ - Y: 13.40 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.R.axes - a 5.42000 - b 5.42000 - c 5.42000 - α 55.120 - β 55.120 - γ 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 2 - 99.8086 - *I*/c PDF

00-022-0711 (I) - Willemseite - (Ni,Mg)3Si4O10(OH)2 - Y: 37.03 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 5.31600 - b 9.14900 - c 18.99400 - α 90.000 - β 99.970 - γ 90.000 - Base-centered - C*/c (15) - 4 - 9

01-089-6275 (C) - Lizardito 1T - (Mg2.70Fe0.18Al0.11)Si1.81Al0.19O5(OH)4 - Y: 18.50 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 5.31700 - b 5.31700 - c 7.31000 - α 90.000 - β 90.000 - γ 120.000 - Primitive

Ανάλυση XRD, Βαρυτομετρικός Διαχωρισμός, προϊόν FLOAT -8+4mm

GML B2H (-4+1 +2.85)



GML B2H (-4+1 +2.85) - File: d8180304.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Stop: 0.019 ° - Stop time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00

Operations: Import

01-079-0007 (C) - Hematite - Fe₂O₃ - Y: 327.96 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.R.axes - a 5.02850 - b 5.02850 - c 13.73600 - α 90.000 - β 90.000 - γ 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 300.793 - *I*/c PD

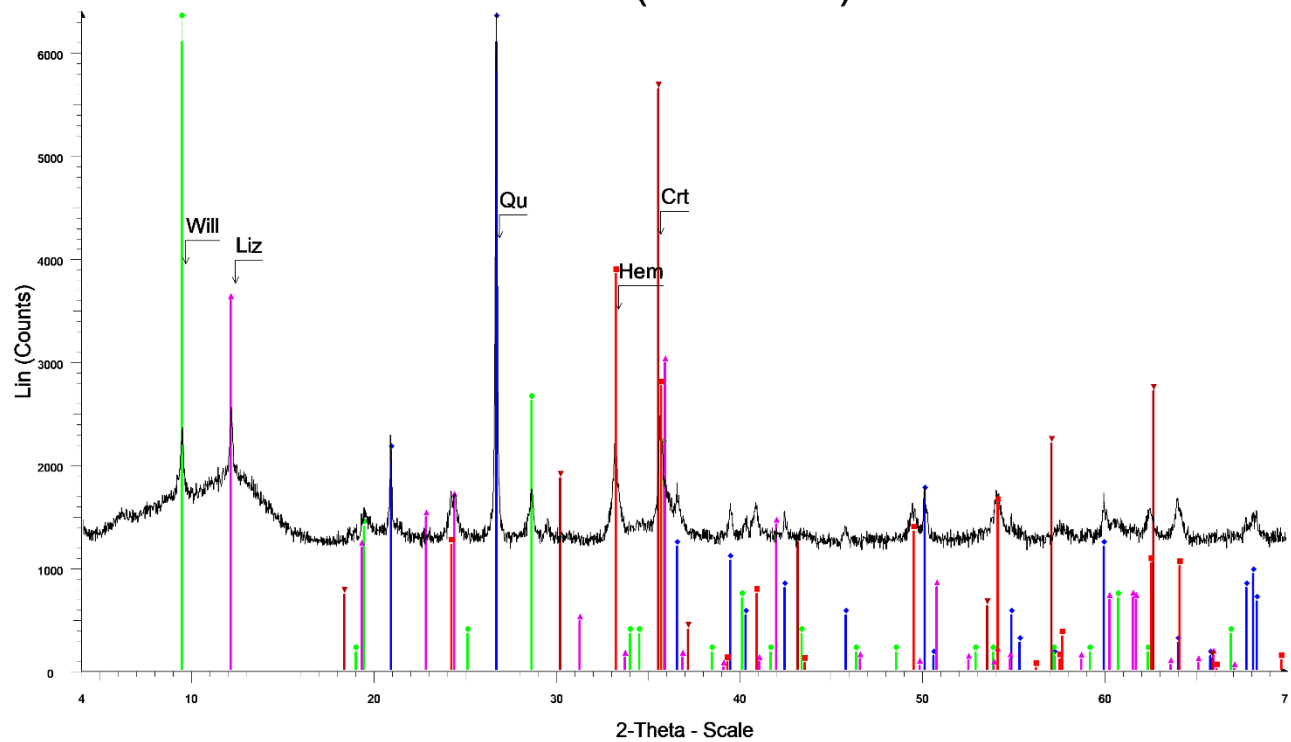
01-075-0443 (A) - Quartz - α -SiO₂ - Y: 281.63 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91300 - b 4.91300 - c 5.40500 - α 90.000 - β 90.000 - γ 120.000 - Primitive - P3121 (152) - 3 - 112.985 - *I*/c PD

00-034-0140 (*) - Chromite, syn - Fe+2Cr2O4 - Y: 244.43 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 8.37900 - b 8.37900 - c 8.37900 - α 90.000 - β 90.000 - γ 90.000 - Face-centered - Fd-3m (227) - 8 - 588.270

01-089-6275 (C) - Lizardito 1T - (Mg2.70Fe0.18Al0.11)Si1.81Al0.19O5(OH)4 - Y: 145.22 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 5.31700 - b 5.31700 - c 7.31000 - α 90.000 - β 90.000 - γ 120.000 - Primitive

Ανάλυση XRD, Βαρυτομετρικός Διαχωρισμός, προϊόν SINK -4+1 mm

GML B2L (-4+1 -2.85)



GML B2L (-4+1 -2.85) - File: d8180305.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 °

Operations: Import

00-046-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂ - Y: 208.67 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91344 - b 4.91344 - c 5.40524 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 - 113.010 - I/c PDF

01-079-0007 (C) - Hematite - Fe₂O₃ - Y: 60.29 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.02850 - b 5.02850 - c 13.73600 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 300.793 - I/c P

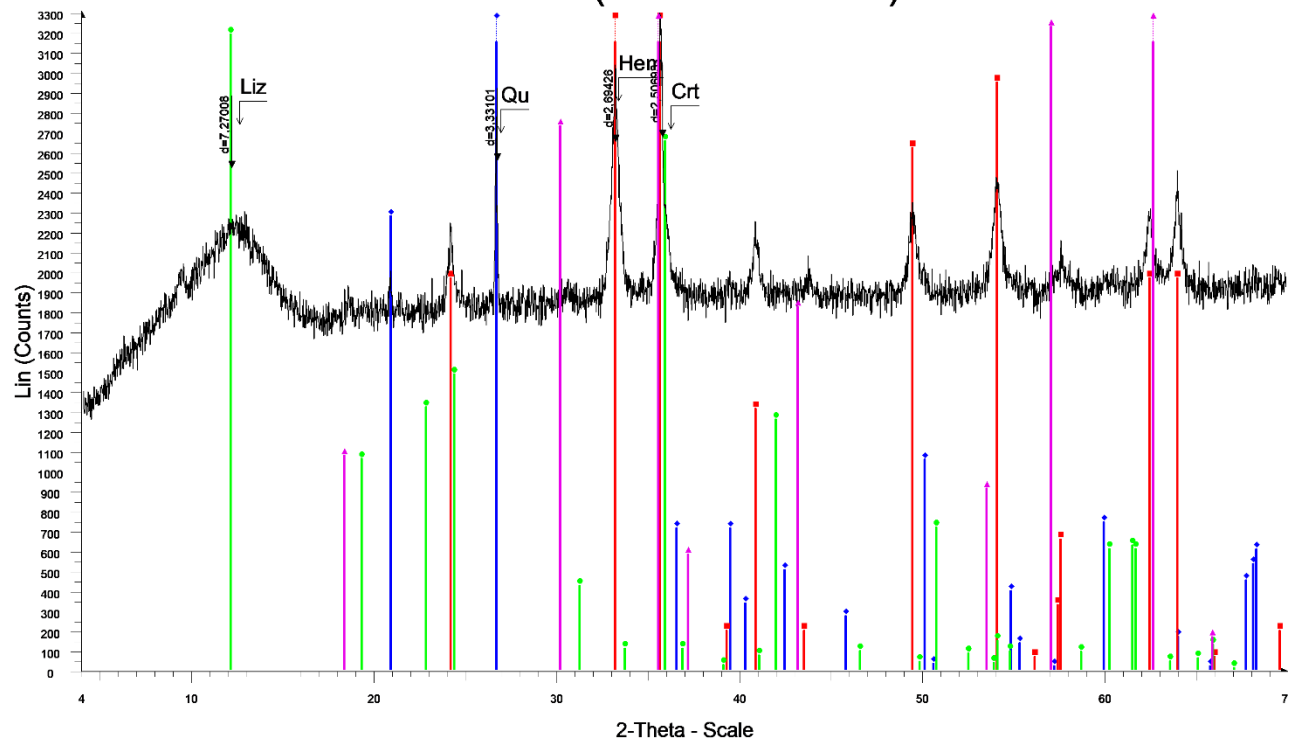
00-022-0711 (I) - Willemseite - (Ni,Mg)3Si4O10(OH)2 - Y: 136.84 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 5.31600 - b 9.14900 - c 18.99400 - alpha 90.000 - beta 99.970 - gamma 90.000 - Base-centered - C*/c (15) - 4 -

01-089-6275 (C) - Lizardite 1T - (Mg₂70Fe_{0.18}Al_{0.11})(Si_{1.81}Al_{0.19}O₅(OH))₄ - Y: 58.23 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 5.31700 - b 5.31700 - c 7.31000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P321 (152) - 3 - 112.985 - I/c PD

00-034-0140 (*) - Chromite, syn - Fe₂Cr₂O₄ - Y: 88.41 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 8.37900 - b 8.37900 - c 8.37900 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Face-centered - Fd-3m (227) - 8 - 588.270 - F

Ανάλυση XRD, Βαρυτομετρικός Διαχωρισμός, προϊόν ζ FLOAT -4+1 mm

GML B3H (-1+0.250 +2.85)



GML B3H (-1+0.250 +2.85) - File: d8180306.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 21 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 °

Operations: Import

01-075-0443 (A) - Quartz - alpha-SiO₂ - Y: 316.56 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91300 - b 4.91300 - c 5.40500 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P321 (152) - 3 - 112.985 - I/c PD

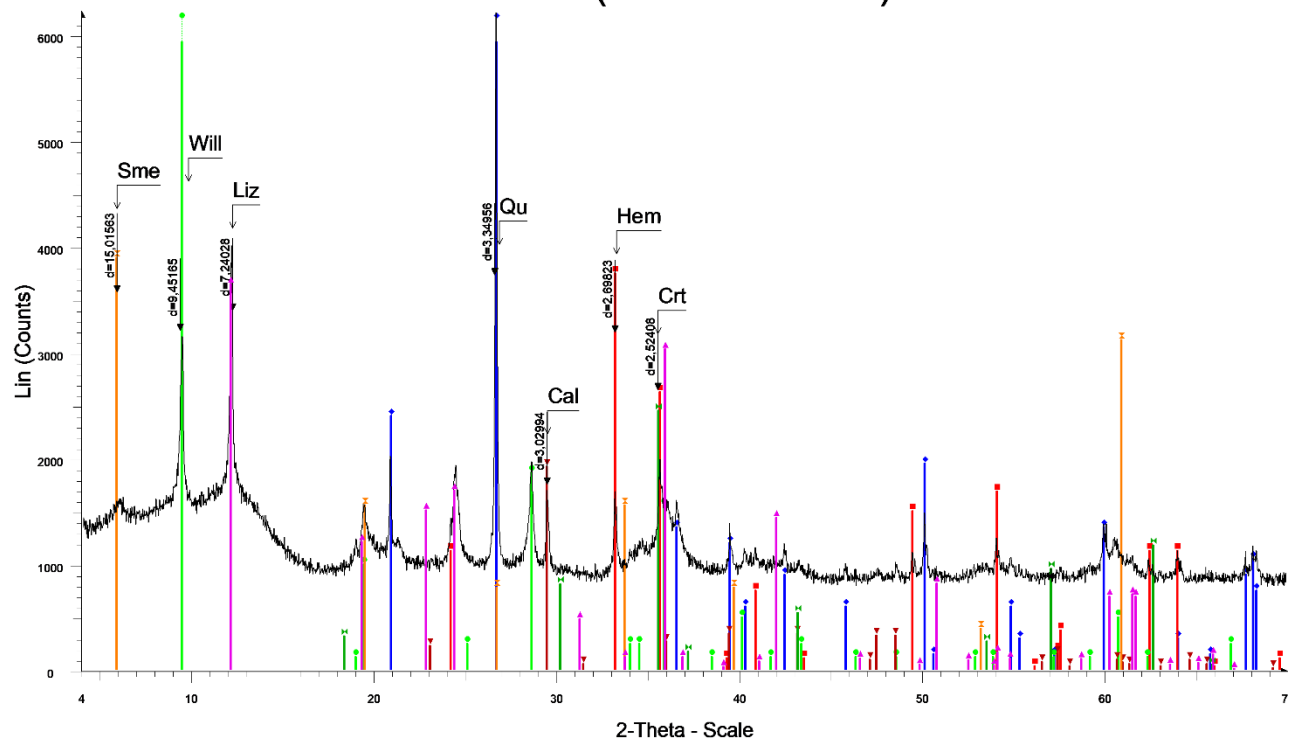
00-033-0664 (*) - Hematite, syn - Fe₂O₃ - Y: 198.70 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03560 - b 5.03560 - c 13.74890 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 301.926 - I

01-089-6275 (C) - Lizardite 1T - (Mg₂70Fe_{0.18}Al_{0.11})(Si_{1.81}Al_{0.19}O₅(OH))₄ - Y: 96.74 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 5.31700 - b 5.31700 - c 7.31000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P321 (152) - 3 - 112.985 - I/c PD

00-034-0140 (*) - Chromite, syn - Fe₂Cr₂O₄ - Y: 250.93 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 8.37900 - b 8.37900 - c 8.37900 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Face-centered - Fd-3m (227) - 8 - 588.270 - F

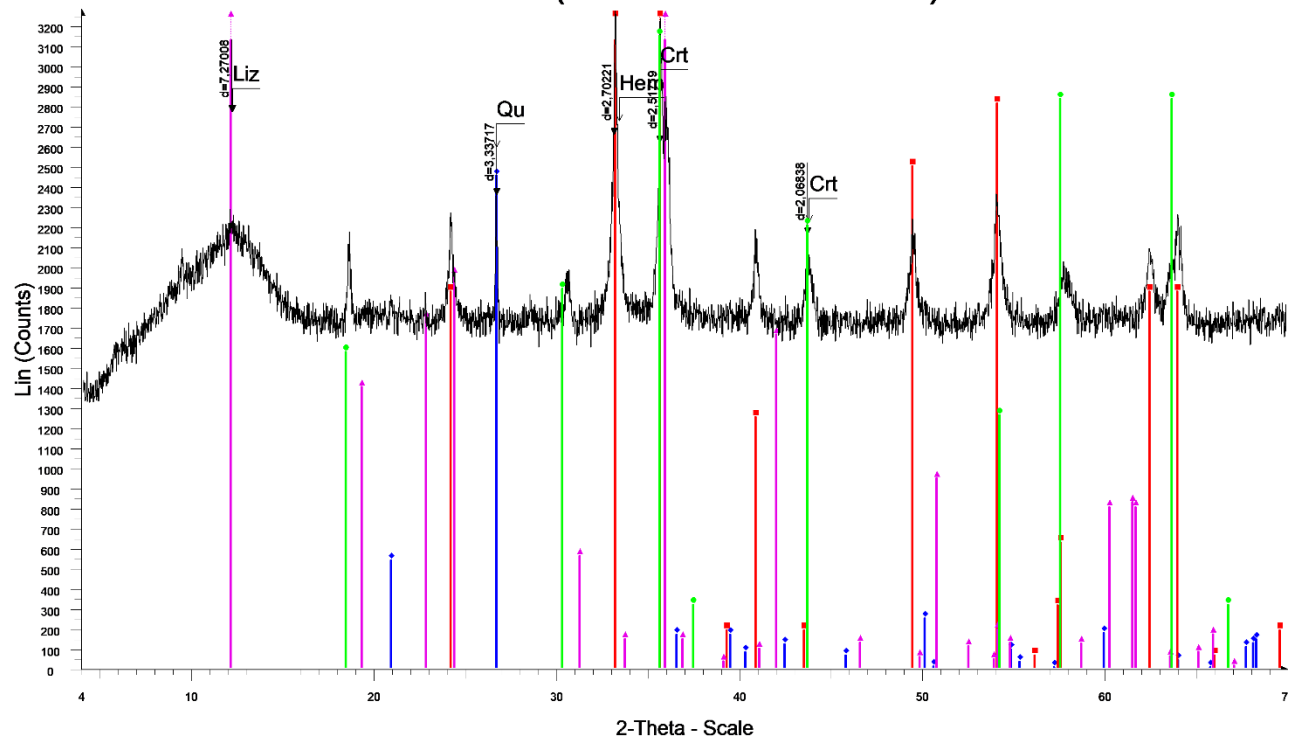
Ανάλυση XRD, Βαρυτομετρικός Διαχωρισμός, προϊόν SINK -1+0.250 mm

GML B3L (-1+0.250 -2.85)



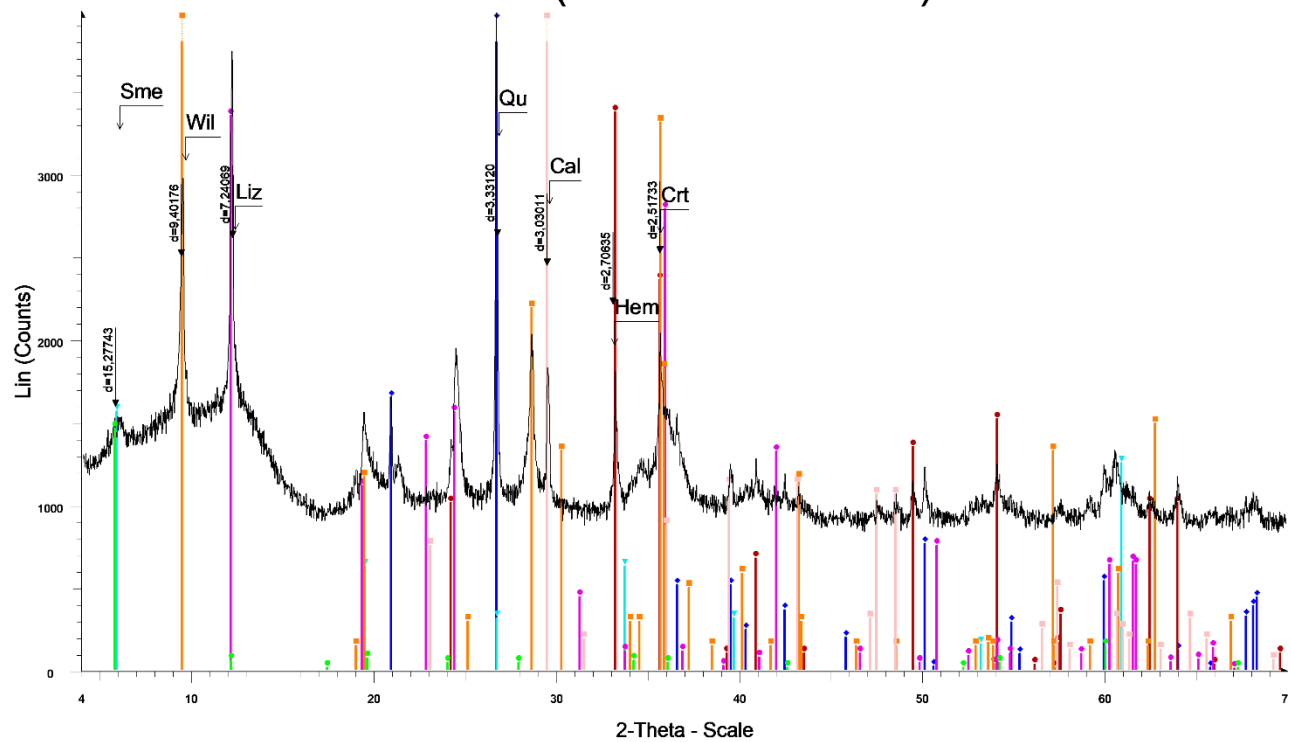
Ανάλυση XRD, Βαρυτομετρικός Διαχωρισμός FLOAT -1+0.250 mm

GML B4H (-0.250+0.063 +2.85)



Ανάλυση XRD, Βαρυτομετρικός Διαχωρισμός, προϊόν SINK -0.250+0.063 mm

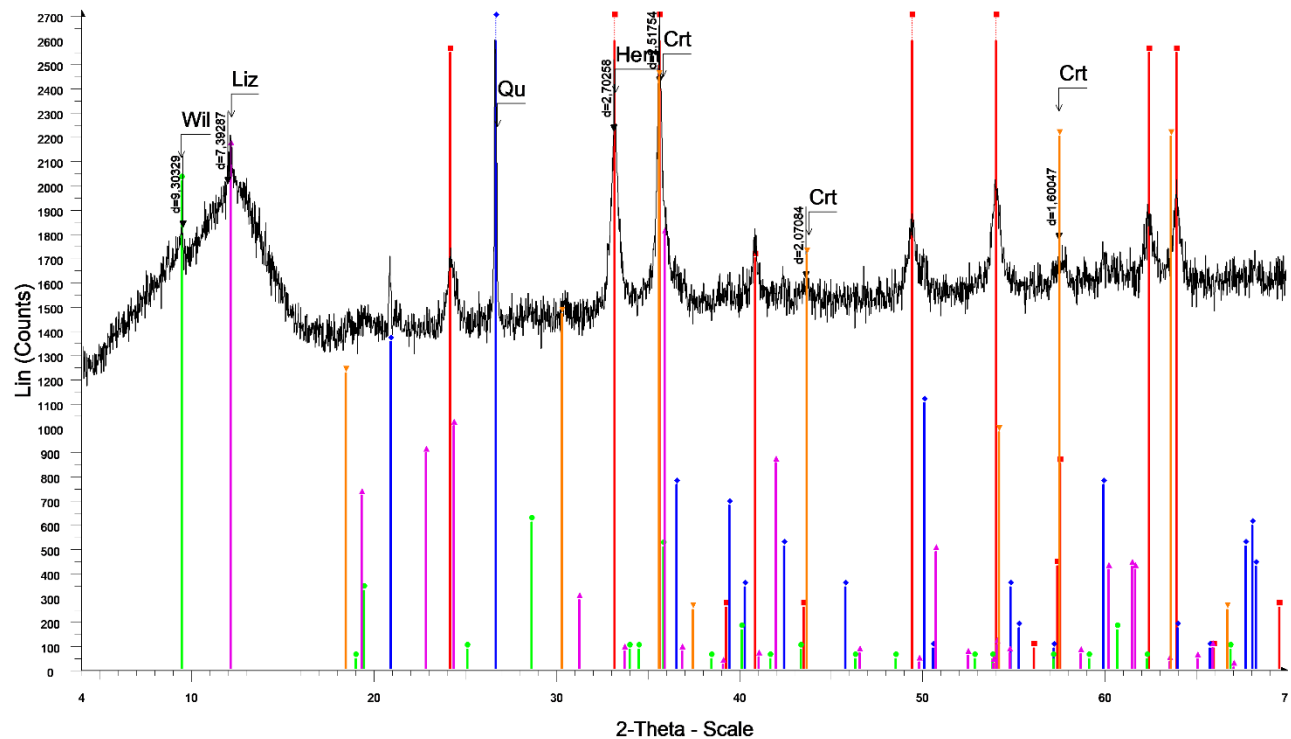
GML B4L (-0.250+0.063 -2.85)



GML B4L (-0.250+0.063 -2.85) - File: d8180309.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° -
 Operations: Import
 00-075-0443 (A) - Quartz - α -SiO₂ - Y: 190.15 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91300 - b 4
 00-043-0664 (I) - Pimelite - Ni₃Si₄O₁₀(OH)₂·5H₂O - Y: 39.36 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 5
 00-033-0664 (*) - Hematite, syn - Fe₂O₃ - Y: 84.87 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.0356
 01-089-6275 (C) - Lizardite 1T - (Mg₂70Fe_{0.18}Al_{0.11})(Si_{11.81}Al_{0.19}O₅(OH)₄ - Y: 84.33 % - d x by: 1. - W
 00-022-0711 (I) - Willemseite - (Ni,Mg)₃Si₄O₁₀(OH)₂ - Y: 183.59 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic -
 00-005-0068 (D) - Saponite - Ca_{0.5}(Mg,Fe)₃(Si₃Al)₄O₁₀(OH)₂·4H₂O - Y: 36.81 % - d x by: 1. - WL: 1.540
 00-024-0512 (D) - Chromite, syn - Fe₂Cr₂O₄ - Y: 83.32 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 8.36400 - b
 00-005-0586 (*) - Calcite, syn - CaCO₃ - Y: 157.60 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.9890

Ανάλυση XRD, Βαρυτομετρικός Διαχωρισμός, προϊόν FLOAT -0.250+0.063 mm

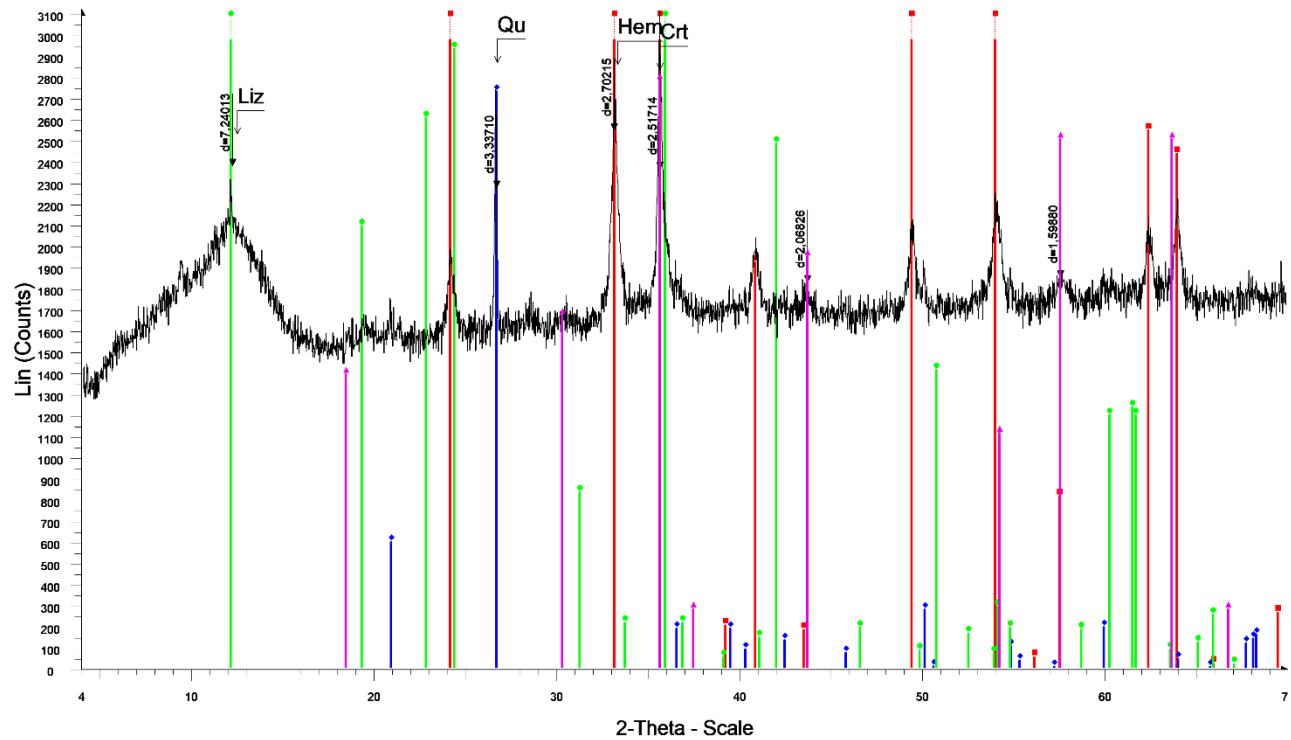
GML a1 M1



GML a1 M1 - File: d8180356.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Stop: 0.019 ° - Stop time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 0.0
 Operations: Import
 00-033-0664 (*) - Hematite, syn - Fe₂O₃ - Y: 312.55 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03560 - b 5.03560 - c 13.74890 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 301.926 - I
 00-046-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂ - Y: 311.21 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91344 - b 4.91344 - c 5.40524 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 - 113.010 - I/c PDF
 00-022-0711 (I) - Willemseite - (Ni,Mg)₃Si₄O₁₀(OH)₂ - Y: 74.24 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 5.31600 - b 9.14900 - c 18.99400 - alpha 90.000 - beta 99.970 - gamma 90.000 - Base-centered - C'/c (15) - 4 - 9
 01-089-6275 (C) - Lizardite 1T - (Mg₂70Fe_{0.18}Al_{0.11})(Si_{11.81}Al_{0.19}O₅(OH)₄ - Y: 79.50 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 5.31700 - b 5.31700 - c 7.31000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primiti
 00-003-0873 (N) - Chromite, aluminian - Fe(Cr,Al)₂O₄ - Y: 90.03 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 8.30000 - b 8.30000 - c 8.30000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Face-centered - Fd-3m (227) - 8 - 57

Ανάλυση XRD, Μαγνητικός Διαχωρισμός, προϊόν Μαγνητικό 1 -8+4mm

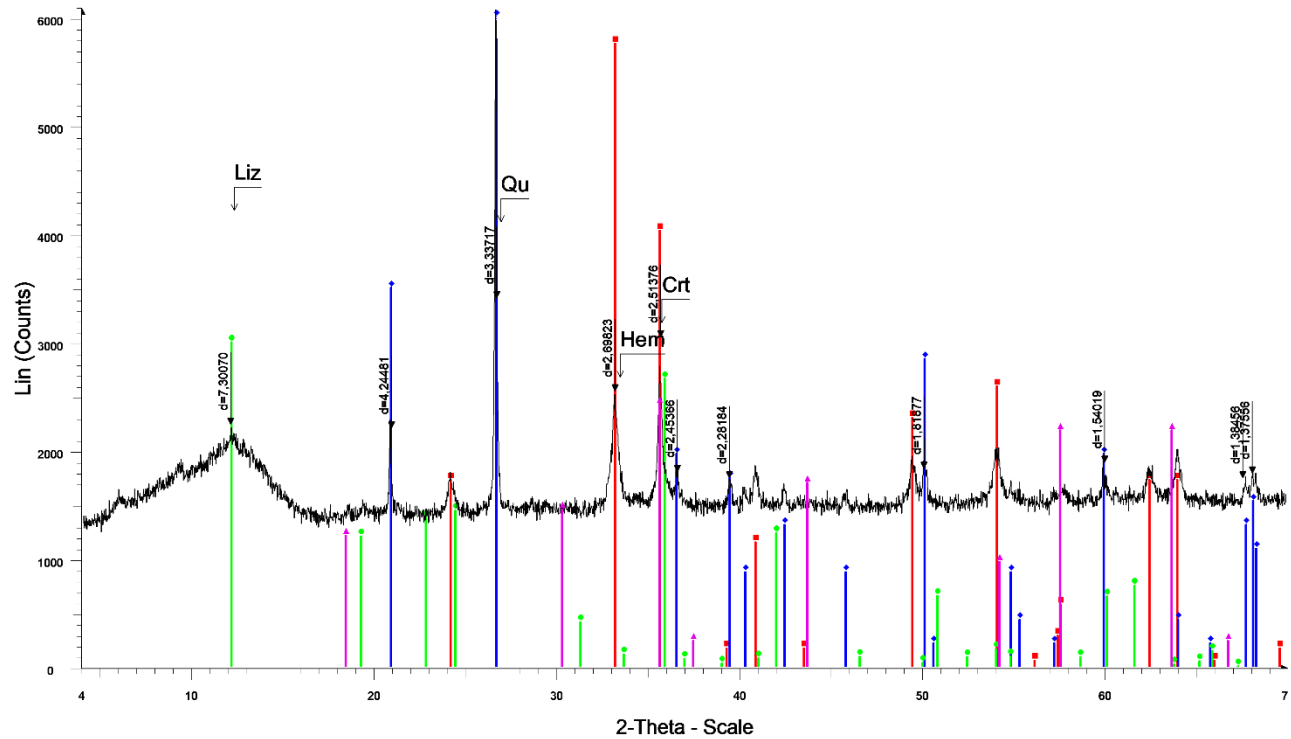
GML a1 M2



GML a1 M2 - File: d8180357.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Stop: 0.019 ° - Stop time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 0.0
Operations: Import
01-072-0469 (A) - Hematite - Fe₂O₃ - Y: 322.97 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03800 - b 5.03800 - c 13.77200 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 302.722 - I/c
01-075-0443 (A) - Quartz - alpha-SiO₂ - Y: 87.73 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91300 - b 4.91300 - c 5.40500 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3121 (152) - 3 - 112.985 - I/c PDF
01-089-6275 (C) - Lizardite 1T - (Mg₂70Fe0.18Al0.11)(Si1.81Al0.19O5(OH)4 - Y: 202.43 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 5.31700 - b 5.31700 - c 7.31000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primit
00-003-0873 (N) - Chromite, aluminian - Fe(Cr,Al)2O4 - Y: 89.43 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 8.30000 - b 8.30000 - c 8.30000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Face-centered - Fd-3m (227) - 8 - 57

Ανάλυση XRD, Μαγνητικός Διαχωρισμός, προϊόν Μαγνητικό 2, -8+4mm

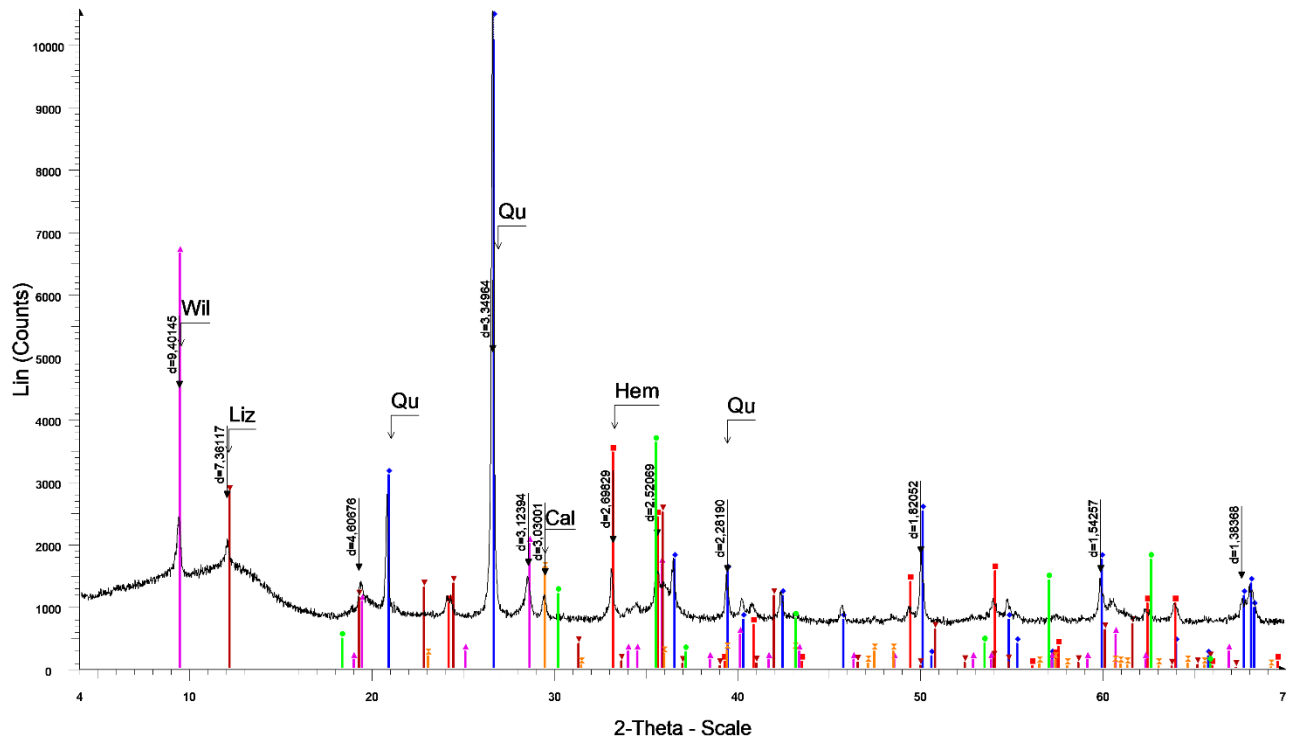
GML a1 M3



GML a1 M3 - File: d8180358.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Stop: 0.019 ° - Stop time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 23 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 0.0
Operations: Import
00-033-0664 (*) - Hematite, syn - Fe₂O₃ - Y: 94.89 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03560 - b 5.03560 - c 13.74890 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 301.926 - I/c
00-046-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂ - Y: 360.53 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91344 - b 4.91344 - c 5.40524 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 - 113.010 - I/c PDF
01-089-6205 (C) - Lizardite 1T - Mg₃(Si₂O₅(OH)₄ - Y: 49.41 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 5.32600 - b 5.32600 - c 7.28800 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P31m (157) - 1 - 179.03
00-003-0873 (N) - Chromite, aluminian - Fe(Cr,Al)2O4 - Y: 40.03 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 8.30000 - b 8.30000 - c 8.30000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Face-centered - Fd-3m (227) - 8 - 57

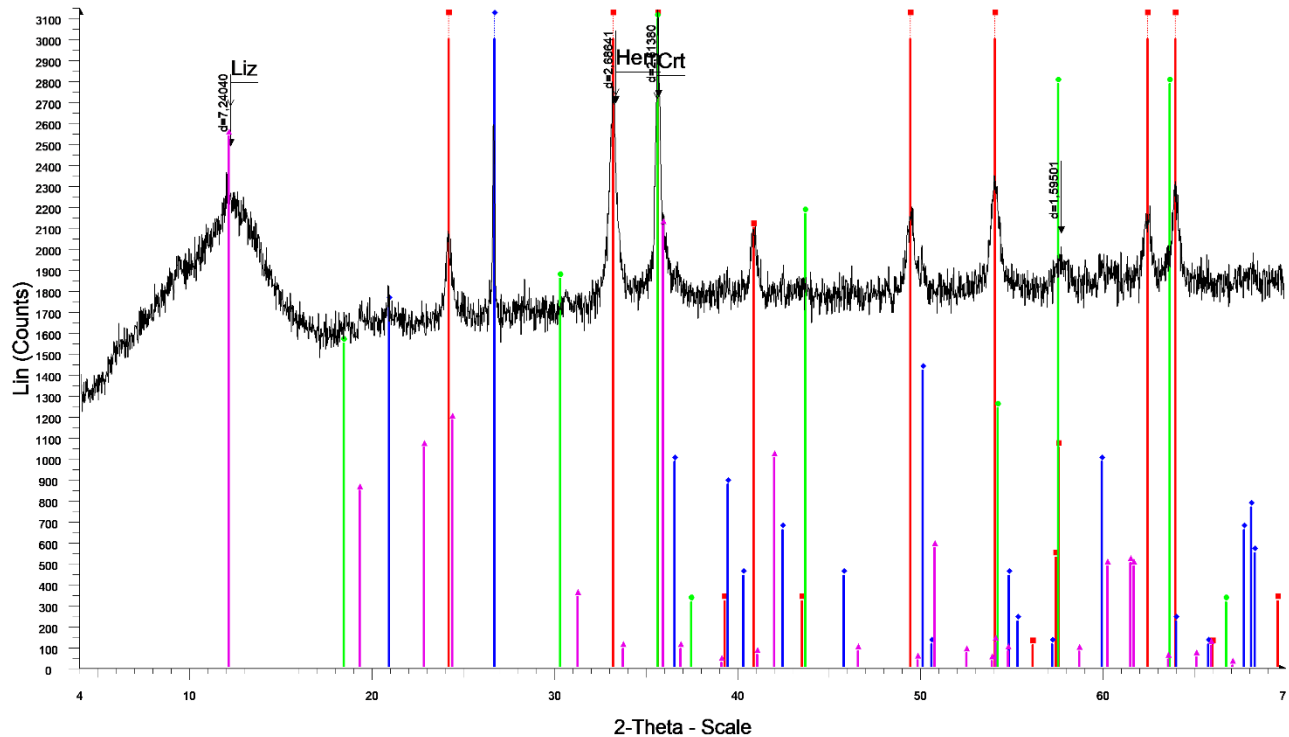
Ανάλυση XRD, Μαγνητικός Διαχωρισμός, προϊόν Μαγνητικό 3, -8+4mm

GML a1 MM



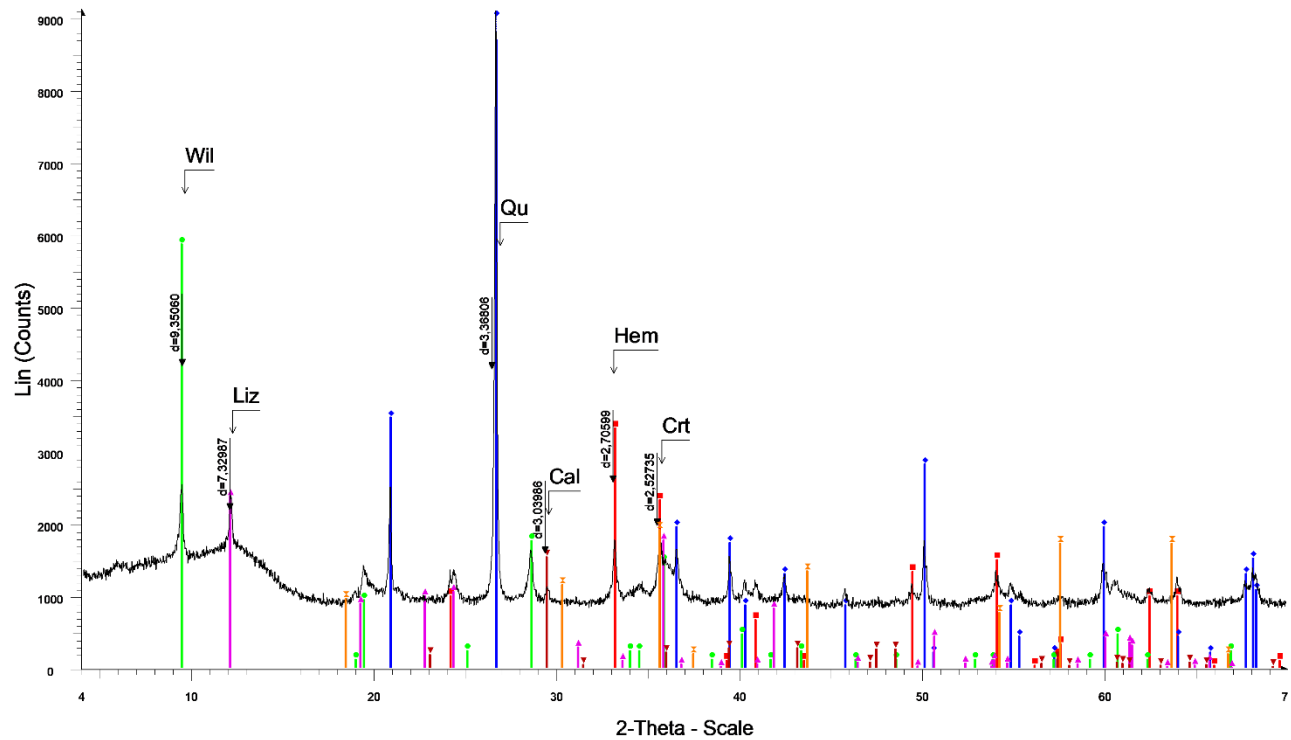
Ανάλυση XRD, Μαγνητικός Διαχωρισμός, προϊόν Μη Μαγνητικό, -8+4mm

GML a2 M1



Ανάλυση XRD, Μαγνητικός Διαχωρισμός, προϊόν Μαγνητικό 1, -4+1mm

GML a2 M3



GML a2 M3 - File: d8180362.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Stop: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 21 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 0.0
Operations: Import

00-033-0664 (*) - Hematite, syn - Fe₂O₃ - Y: 36.50 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03560 - b 5.03560 - c 13.74890 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 301.926 - I/I

00-046-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂ - Y: 238.18 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91344 - b 4.91344 - c 5.40524 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 - 113.010 - I/Ic PDF

00-022-0711 (I) - Willemseite - (Ni,Mg)₃(Si₄O₁₀(OH)₂ - Y: 64.45 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 5.31600 - b 9.14900 - c 18.99400 - alpha 90.000 - beta 99.970 - gamma 90.000 - Base-centered - C*/c (15) - 4 - 9

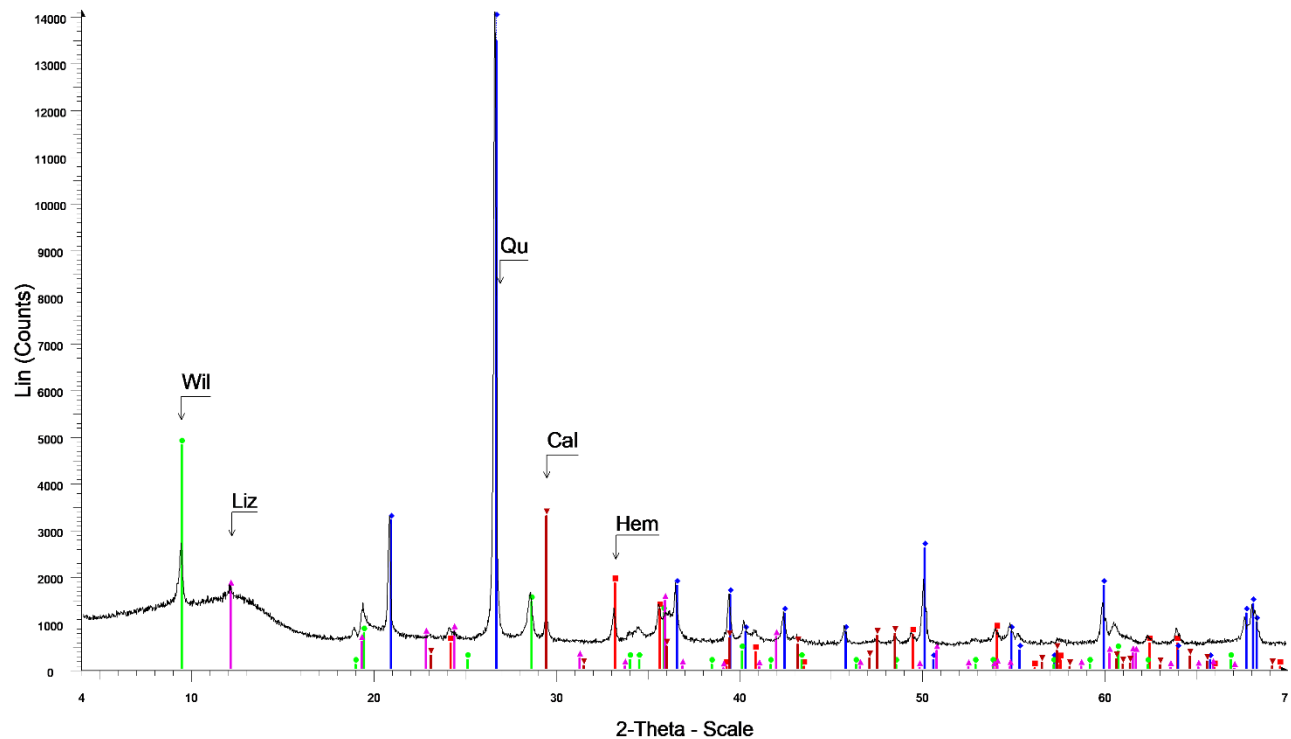
01-089-6206 (C) - Lizardite 1T - Mg₃(Si₂O₅(OH)₄ - Y: 26.07 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 5.33300 - b 5.33300 - c 7.32400 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P31m (157) - 1 - 180.39

00-005-0586 (*) - Calcite, syn - CaCO₃ - Y: 16.84 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.98900 - b 4.98900 - c 17.06200 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 367.780 - I/Ic

00-003-0873 (N) - Chromite, aluminian - FeCr₂Al₂O₄ - Y: 21.03 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 8.30000 - b 8.30000 - c 8.30000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Face-centered - Fd-3m (227) - 8 - 57

Ανάλυση XRD, Μαγνητικός Διαχωρισμός, προϊόν Μαγνητικό 3, -4+1mm

GML a2 MM



GML a2 MM - File: d8180363.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Stop: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 0.0
Operations: Import

00-033-0664 (*) - Hematite, syn - Fe₂O₃ - Y: 13.07 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03560 - b 5.03560 - c 13.74890 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 301.926 - I/I

00-046-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂ - Y: 141.33 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91344 - b 4.91344 - c 5.40524 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 - 113.010 - I/Ic PDF

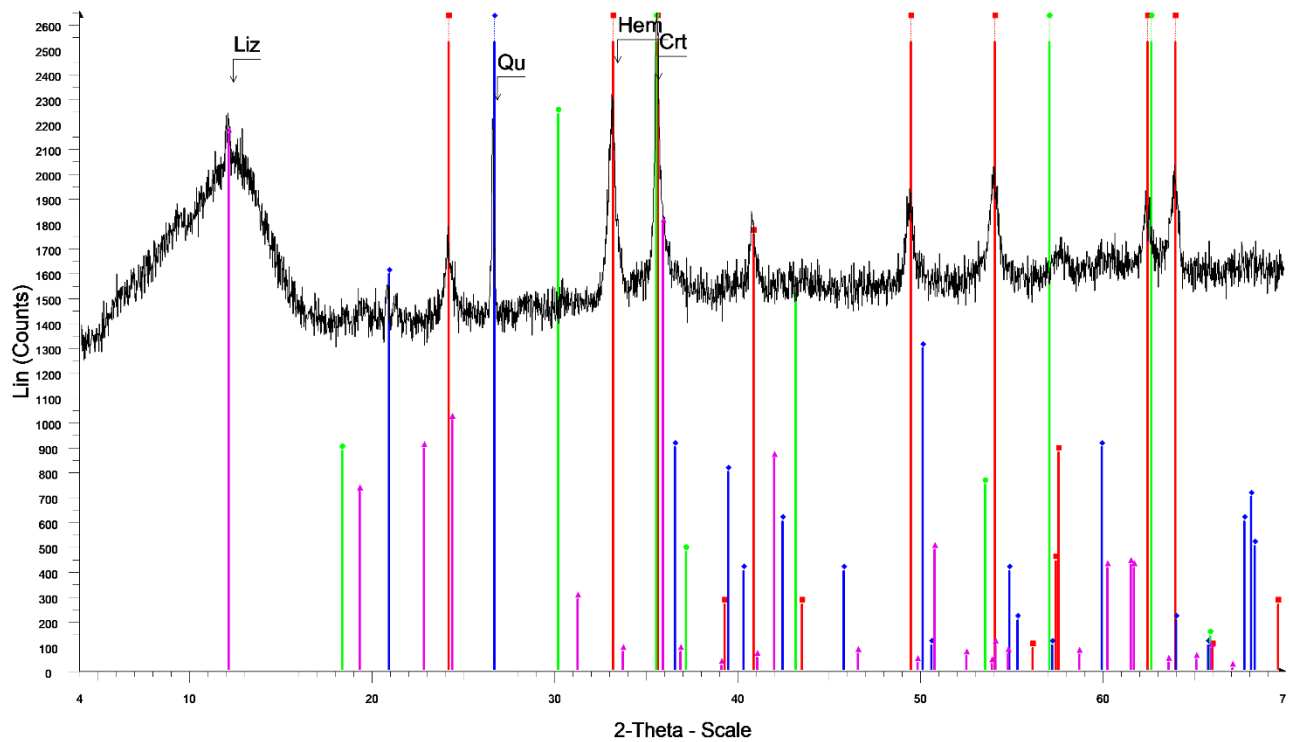
00-022-0711 (I) - Willemseite - (Ni,Mg)₃(Si₄O₁₀(OH)₂ - Y: 34.07 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 5.31600 - b 9.14900 - c 18.99400 - alpha 90.000 - beta 99.970 - gamma 90.000 - Base-centered - C*/c (15) - 4 - 9

01-089-6275 (C) - Lizardite 1T - (Mg₂70Fe0.18Al0.11)(Si1.81Al0.19O₅(OH)₄ - Y: 12.46 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 5.31700 - b 5.31700 - c 7.31000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P31m (157) - 1 - 180.39

00-047-1743 (C) - Calcite - CaCO₃ - Y: 23.28 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.98960 - b 4.98960 - c 17.06100 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 367.847 - F30=1

Ανάλυση XRD, Μαγνητικός Διαχωρισμός, προϊόν Μη Μαγνητικό -4+1mm

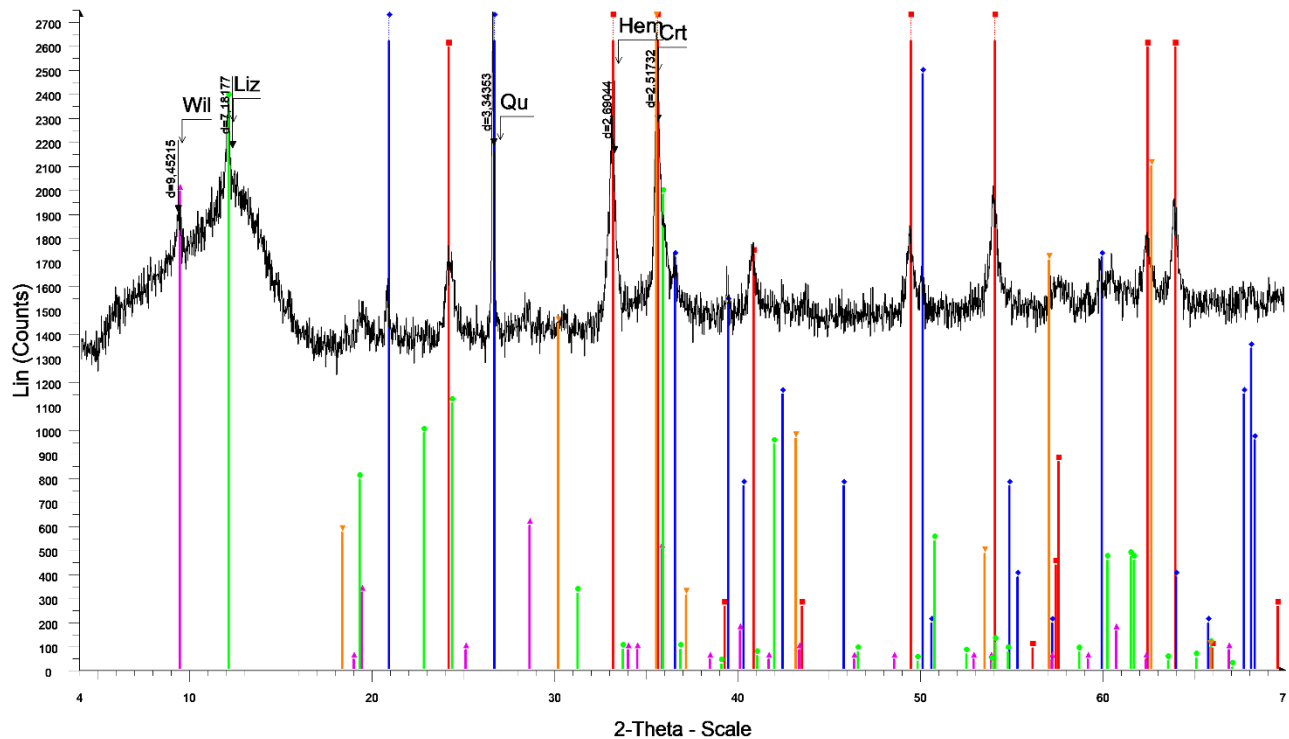
GML a3 M1



GML a3 M1 - File: d8180364.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Stop: 0.019 ° - Stop time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 0.0
 Operations: Import
 00-033-0664 (*) - Hematite, syn - Fe₂O₃ - Y: 331.40 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03560 - b 5.03560 - c 13.74890 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 301.926 - I
 00-046-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂ - Y: 376.69 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91344 - b 4.91344 - c 5.40524 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 - 113.010 - Ilc PDF
 00-034-0140 (*) - Chromite, syn - Fe₂Cr₂O₄ - Y: 256.36 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 8.37900 - b 8.37900 - c 8.37900 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Face-centered - Fd-3m (227) - 8 - 588.270 -
 01-089-6275 (C) - Lizardito 1T - (Mg₂70Fe0.18Al0.11)(Si1.81Al0.19O5)(OH)4 - Y: 81.60 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 5.31700 - b 5.31700 - c 7.31000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primiti

Ανάλυση XRD, Μαγνητικός Διαχωρισμός προϊόν Μαγνητικό 1, -1+0.250mm

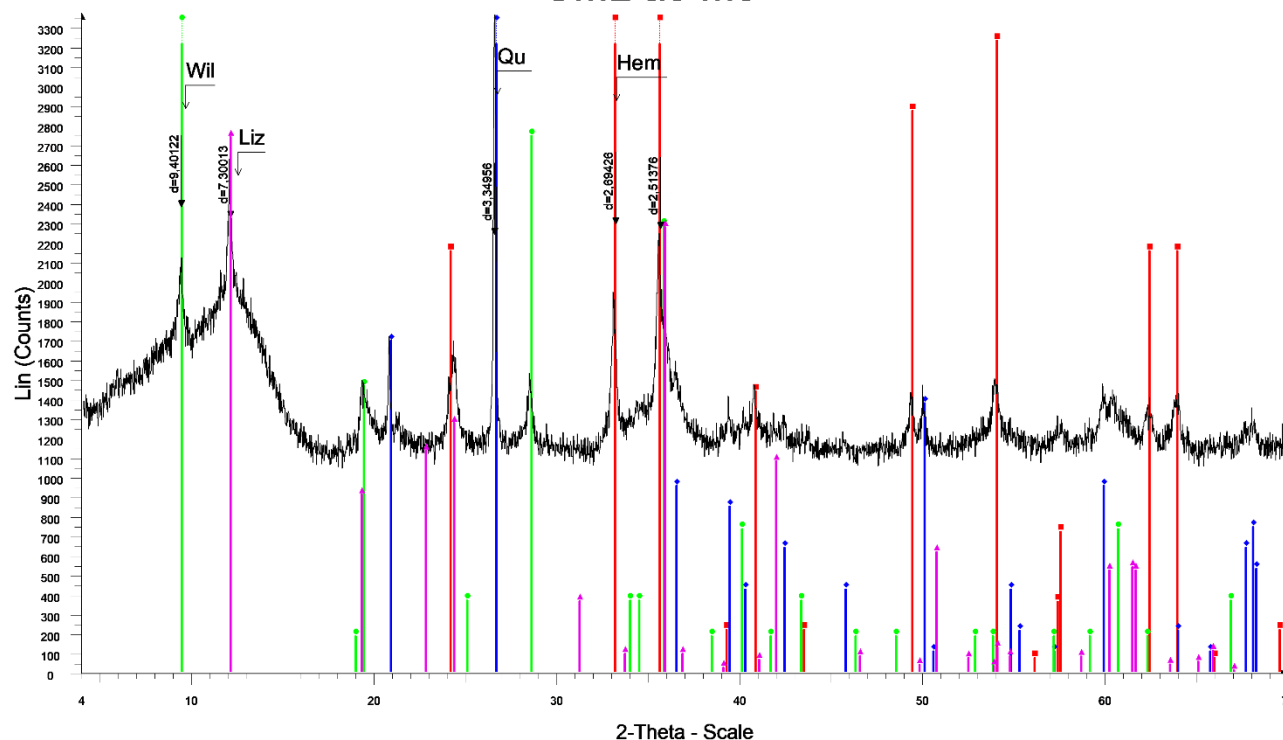
GML a3 M2



GML a3 M2 - File: d8180365.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Stop: 0.019 ° - Stop time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 0.0
 Operations: Import
 00-033-0664 (*) - Hematite, syn - Fe₂O₃ - Y: 315.47 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03560 - b 5.03560 - c 13.74890 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 301.926 - I
 00-046-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂ - Y: 696.42 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91344 - b 4.91344 - c 5.40524 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 - 113.010 - Ilc PDF
 00-022-0711 (I) - Willemsoite - (Ni,Mg)3Si4O10(OH)2 - Y: 72.70 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 5.31600 - b 9.14900 - c 18.99400 - alpha 90.000 - beta 99.970 - gamma 90.000 - Base-centered - C*/c (15) - 4 - 9
 01-089-6275 (C) - Lizardito 1T - (Mg₂70Fe0.18Al0.11)(Si1.81Al0.19O5)(OH)4 - Y: 86.79 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 5.31700 - b 5.31700 - c 7.31000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primiti
 00-034-0140 (*) - Chromite, syn - Fe₂Cr₂O₄ - Y: 159.37 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 8.37900 - b 8.37900 - c 8.37900 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Face-centered - Fd-3m (227) - 8 - 588.270 -

Ανάλυση XRD, Μαγνητικός Διαχωρισμός προϊόν Μαγνητικό 2, -1+0.250mm

GML a3 M3



GML a3 M3 - File: d8180366.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Stop: 0.019 ° - Stop time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 0.0

Operations: Import

00-033-0664 (*) - Hematite, syn - Fe_2O_3 - Y: 213.46 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03560 - b 5.03560 - c 13.74890 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 301.926 - I

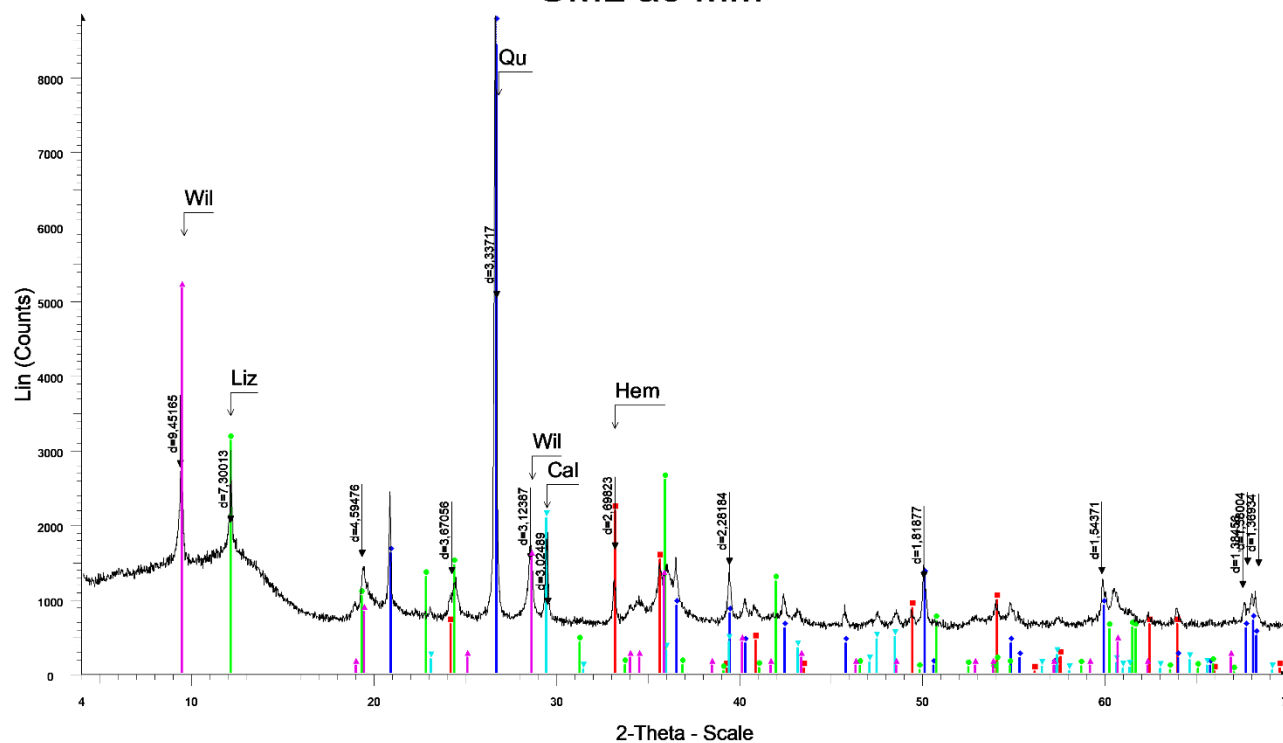
00-046-1045 (*) - Quartz, syn - SiO_2 - Y: 314.78 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91344 - b 4.91344 - c 5.40524 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 - 113.010 - I/c PDF

00-022-0711 (I) - Willemseite - $(\text{Ni,Mg})_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ - Y: 271.97 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 5.31600 - b 9.14900 - c 18.99400 - alpha 90.000 - beta 99.970 - gamma 90.000 - Base-centered - C*/c (15) - 4 -

01-089-6275 (C) - Lizardite 1T - $(\text{Mg}_2.70\text{Fe}_0.18\text{Al}_0.11)(\text{Si}_{1.81}\text{Al}_0.19\text{O}_5)(\text{OH})_4$ - Y: 81.36 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 5.31700 - b 5.31700 - c 7.31000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primiti

Ανάλυση XRD, Μαγνητικός Διαχωρισμός προϊόν Μαγνητικό 3, -1+0.250mm

GML a3 MM



GML a3 MM - File: d8180367.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Stop: 0.019 ° - Stop time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 0.0

Operations: Import

00-033-0664 (*) - Hematite, syn - Fe_2O_3 - Y: 24.70 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03560 - b 5.03560 - c 13.74890 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 301.926 - I/c

00-046-1045 (*) - Quartz, syn - SiO_2 - Y: 113.92 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91344 - b 4.91344 - c 5.40524 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 - 113.010 - I/c PDF

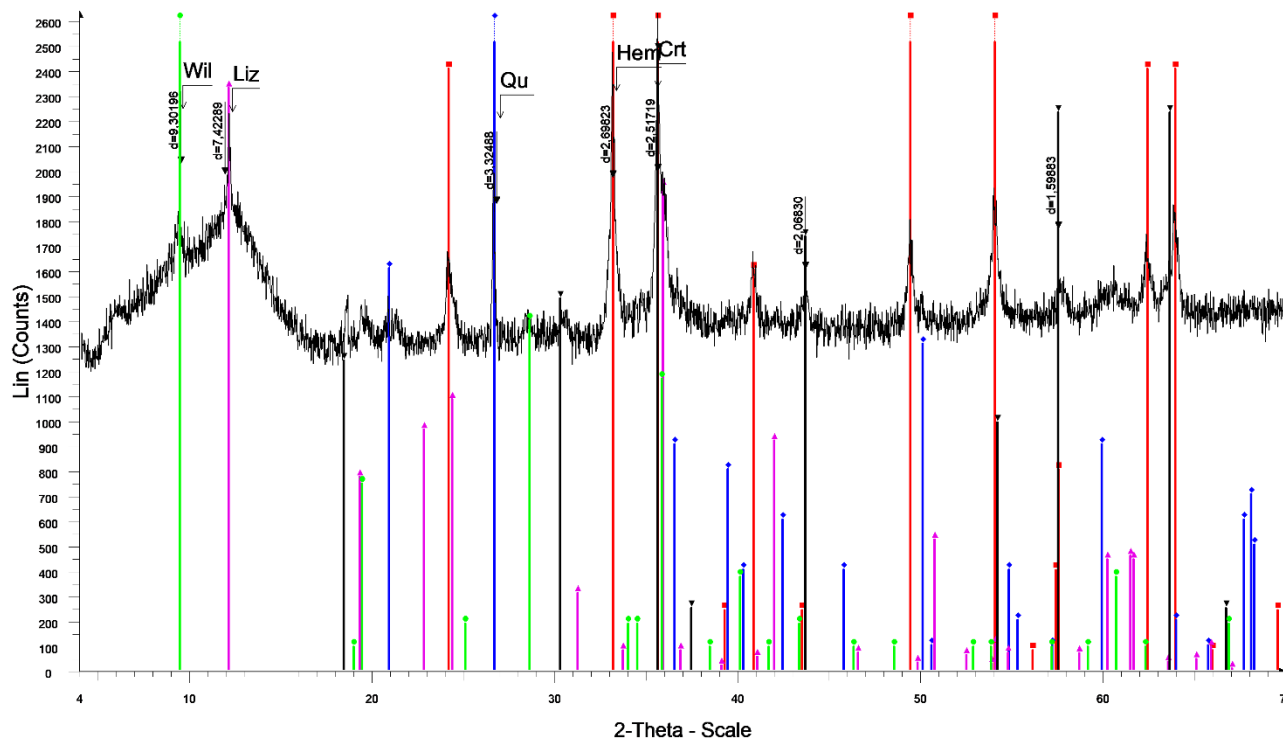
01-089-6275 (C) - Lizardite 1T - $(\text{Mg}_2.70\text{Fe}_0.18\text{Al}_0.11)(\text{Si}_{1.81}\text{Al}_0.19\text{O}_5)(\text{OH})_4$ - Y: 35.35 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 5.31700 - b 5.31700 - c 7.31000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primiti

00-022-0711 (I) - Willemseite - $(\text{Ni,Mg})_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ - Y: 58.56 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 5.31600 - b 9.14900 - c 18.99400 - alpha 90.000 - beta 99.970 - gamma 90.000 - Base-centered - C*/c (15) - 4 - 9

00-047-1743 (C) - Calcite - CaCO_3 - Y: 23.55 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.98960 - b 4.98960 - c 17.06100 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 367.847 - F30=1

Ανάλυση XRD, Μαγνητικός Διαχωρισμός Μη Μαγνητικό, -1+0.250mm

GML a4 M1



GML a4 M1 - File: d8180368.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Stop: 0.019 ° - Stop time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 25 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 0.0

Operations: Import

00-033-0664 (*) - Hematite, syn - Fe₂O₃ - Y: 304.90 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03560 - b 5.03560 - c 13.74890 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 301.926 - I

00-046-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂ - Y: 382.10 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91344 - b 4.91344 - c 5.40524 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 - 113.010 - Ilc PDF

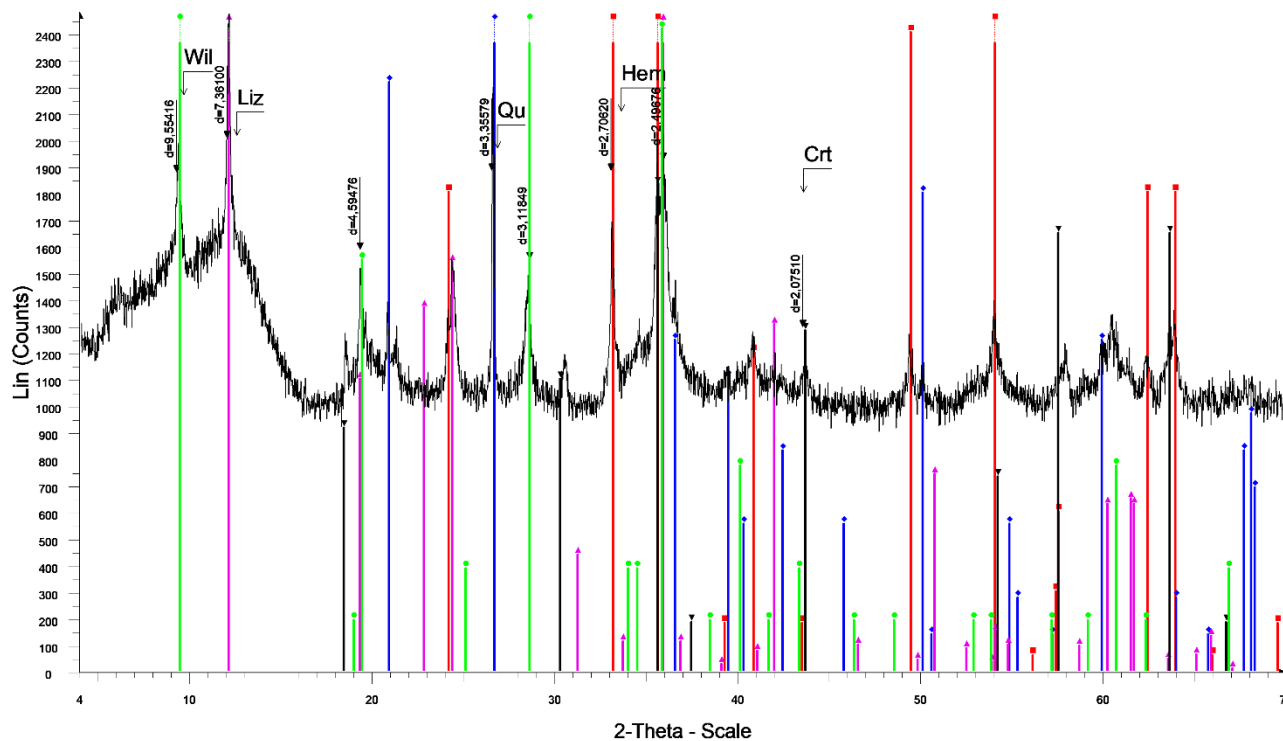
00-022-0711 (I) - Willemseite - (Ni,Mg)₃Si₄O₁₀(OH)₂ - Y: 177.49 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 5.31600 - b 9.14900 - c 18.99400 - alpha 90.000 - beta 99.970 - gamma 90.000 - Base-centered - C₂/c (15) - 4 -

01-089-6275 (C) - Lizardite 1T - (Mg₂70Fe0.18Al0.11)(Si1.81Al0.19O₅(OH)₄ - Y: 88.55 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 5.31700 - b 5.31700 - c 7.31000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 301.926 - I

00-003-0873 (N) - Chromite, aluminian - Fe(Cr,Al)₂O₄ - Y: 94.28 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 8.30000 - b 8.30000 - c 8.30000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Face-centered - Fd-3m (227) - 8 - 57

Ανάλυση XRD, Μαγνητικός Διαχωρισμός προϊόν Μαγνητικό 1, -0.250+0.063mm

GML a4 M2



GML a4 M2 - File: d8180369.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Stop: 0.019 ° - Stop time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 24 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 0.0

Operations: Import

00-033-0664 (*) - Hematite, syn - Fe₂O₃ - Y: 243.05 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03560 - b 5.03560 - c 13.74890 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 301.926 - I

00-046-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂ - Y: 559.99 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91344 - b 4.91344 - c 5.40524 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 - 113.010 - Ilc PDF

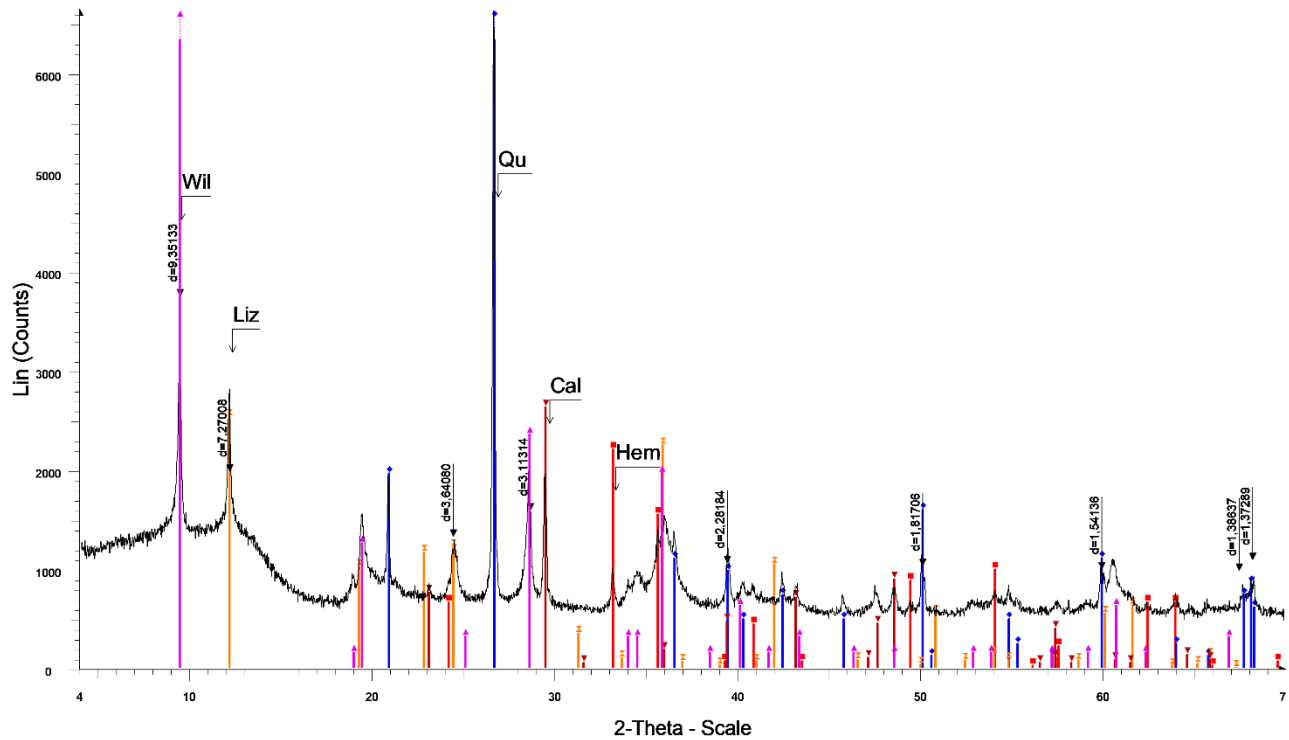
00-022-0711 (I) - Willemseite - (Ni,Mg)₃Si₄O₁₀(OH)₂ - Y: 391.15 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 5.31600 - b 9.14900 - c 18.99400 - alpha 90.000 - beta 99.970 - gamma 90.000 - Base-centered - C₂/c (15) - 4 -

01-089-6275 (C) - Lizardite 1T - (Mg₂70Fe0.18Al0.11)(Si1.81Al0.19O₅(OH)₄ - Y: 133.85 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 5.31700 - b 5.31700 - c 7.31000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 301.926 - I

00-003-0873 (N) - Chromite, aluminian - Fe(Cr,Al)₂O₄ - Y: 74.08 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 8.30000 - b 8.30000 - c 8.30000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Face-centered - Fd-3m (227) - 8 - 57

Ανάλυση XRD, Μαγνητικός Διαχωρισμός προϊόν Μαγνητικό 2, -0.250+0.063mm

GML a4 MM



GML a4 MM - File: d8180370.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 0.0

Operations: Import

00-033-0664 (*) - Hematite, syn - Fe₂O₃ - Y: 33.28 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03560 - b 5.03560 - c 13.74890 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 301.926 - I/I

00-046-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂ - Y: 185.12 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91344 - b 4.91344 - c 5.40524 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 - 113.010 - I/Ic PDF

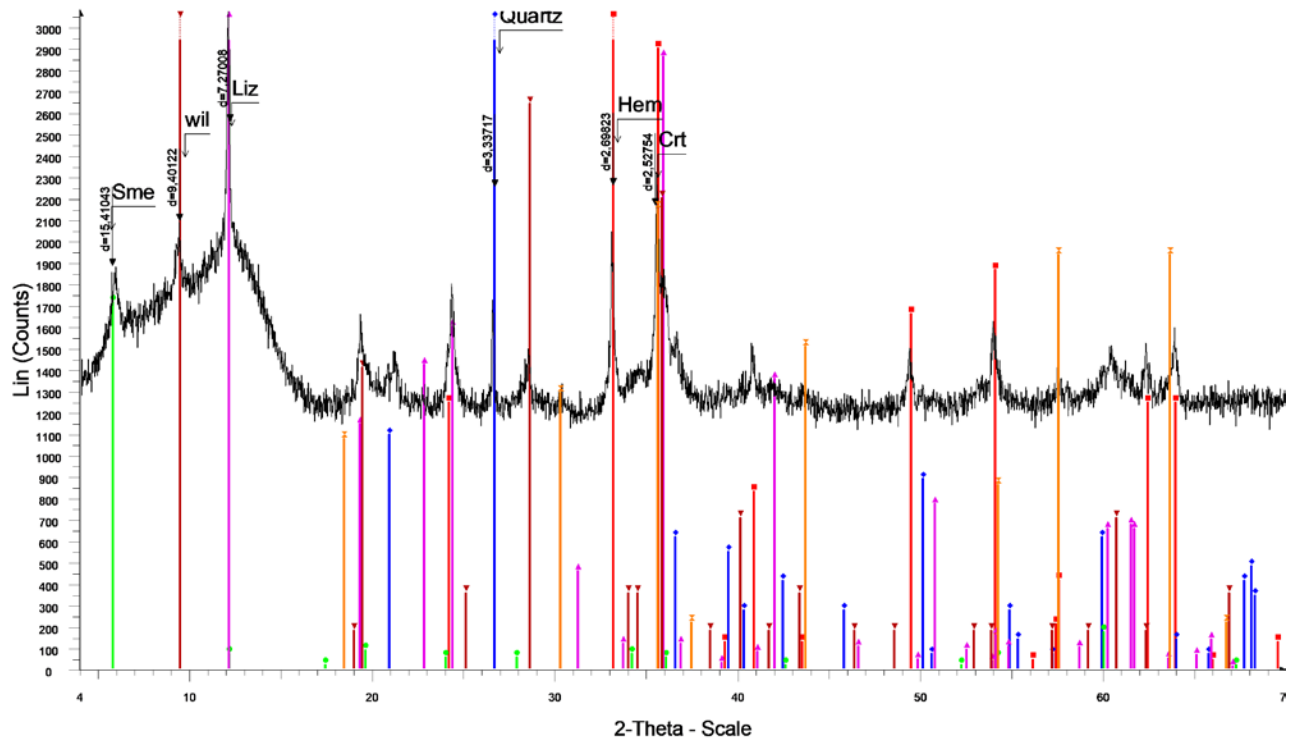
01-089-6205 (C) - Lizardite 1T - Mg₃(Si₂O₅(OH)₄ - Y: 38.23 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 5.32600 - b 5.32600 - c 7.28800 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P31m (157) - 1 - 179.03

00-022-0711 (I) - Willemseite - (Ni,Mg)₃Si₄O₁₀(OH)₂ - Y: 118.72 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 5.31600 - b 9.14900 - c 18.99400 - alpha 90.000 - beta 99.970 - gamma 90.000 - Base-centered - C₂/c (15) - 4 -

00-024-0027 (D) - Calcite - CaCO₃ - Y: 39.68 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.99000 - b 4.99000 - c 17.00200 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 366.633 - F22=2

Ανάλυση XRD, Μαγνητικός Διαχωρισμός προϊόν Μη Μαγνητικό, -0.250+0.063mm

GML C7M3



GML C7M3 - File: d8180542.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 0.00

Operations: Import

00-033-0664 (*) - Hematite, syn - Fe₂O₃ - Y: 134.86 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03560 - b 5.03560 - c 13.74890 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 301.926 - I/I

00-046-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂ - Y: 222.38 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91344 - b 4.91344 - c 5.40524 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 - 113.010 - I/Ic PDF

00-005-0068 (D) - Saponite - Ca_{0.5}(Mg,Fe)₃(Si₄Al)₄O₁₀(OH)₂·4H₂O - Y: 55.76 % - d x by: 1. - WL: 1.5406

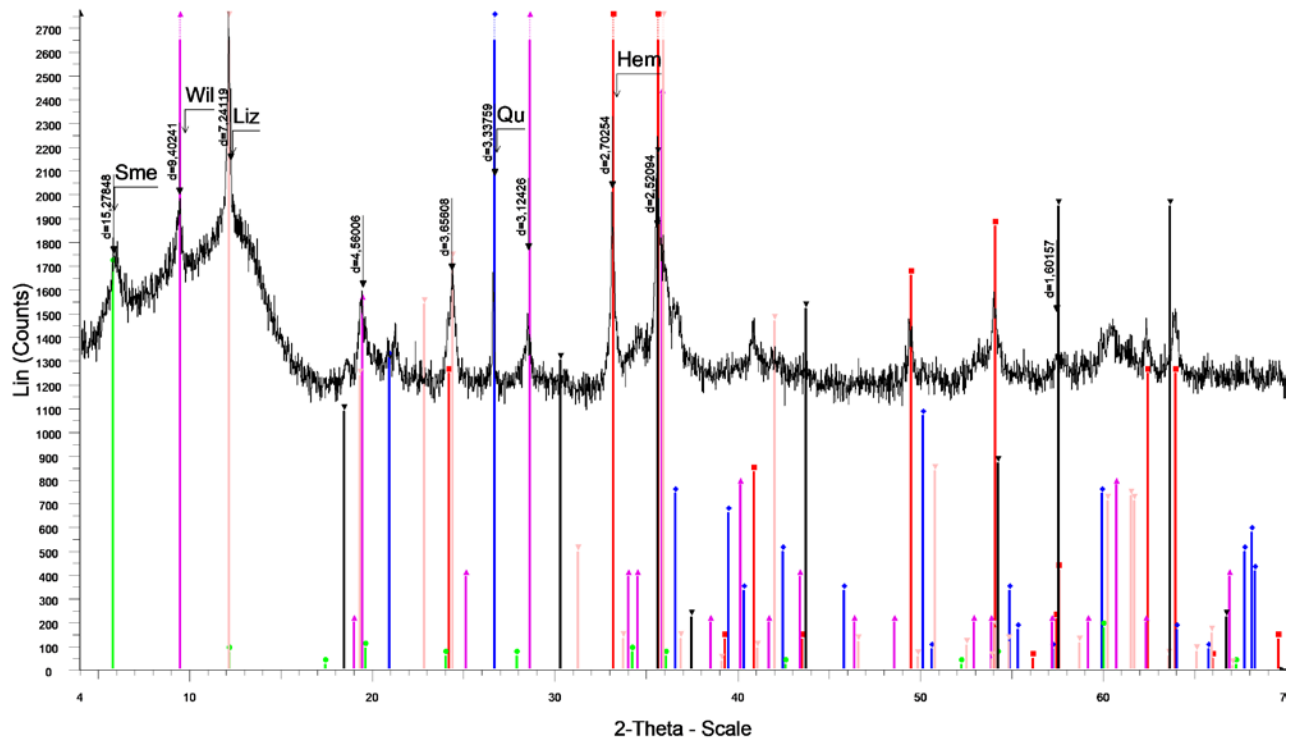
01-089-6275 (C) - Lizardite 1T - (Mg_{2.70}Fe_{0.18}Al_{0.11})(Si_{1.81}Al_{0.19}O₅(OH)₄ - Y: 111.91 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 5.31700 - b 5.31700 - c 7.31000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 - 113.010 - I/Ic PDF

00-022-0711 (I) - Willemseite - (Ni,Mg)₃Si₄O₁₀(OH)₂ - Y: 286.35 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 5.31600 - b 9.14900 - c 18.99400 - alpha 90.000 - beta 99.970 - gamma 90.000 - Base-centered - C₂/c (15) - 4 -

00-003-0873 (N) - Chromite, aluminian - Fe(Cr,Al)₂O₄ - Y: 69.97 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 8.30000 - b 8.30000 - c 8.30000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Face-centered - Fd-3m (227) - 8 - 57

Ανάλυση XRD, Υγρός Μαγνητικός Διαχωρισμός Ομάδα C, προϊόν Μαγνητικό 3 Ampere, -0.063+0.010mm

GML C7M6



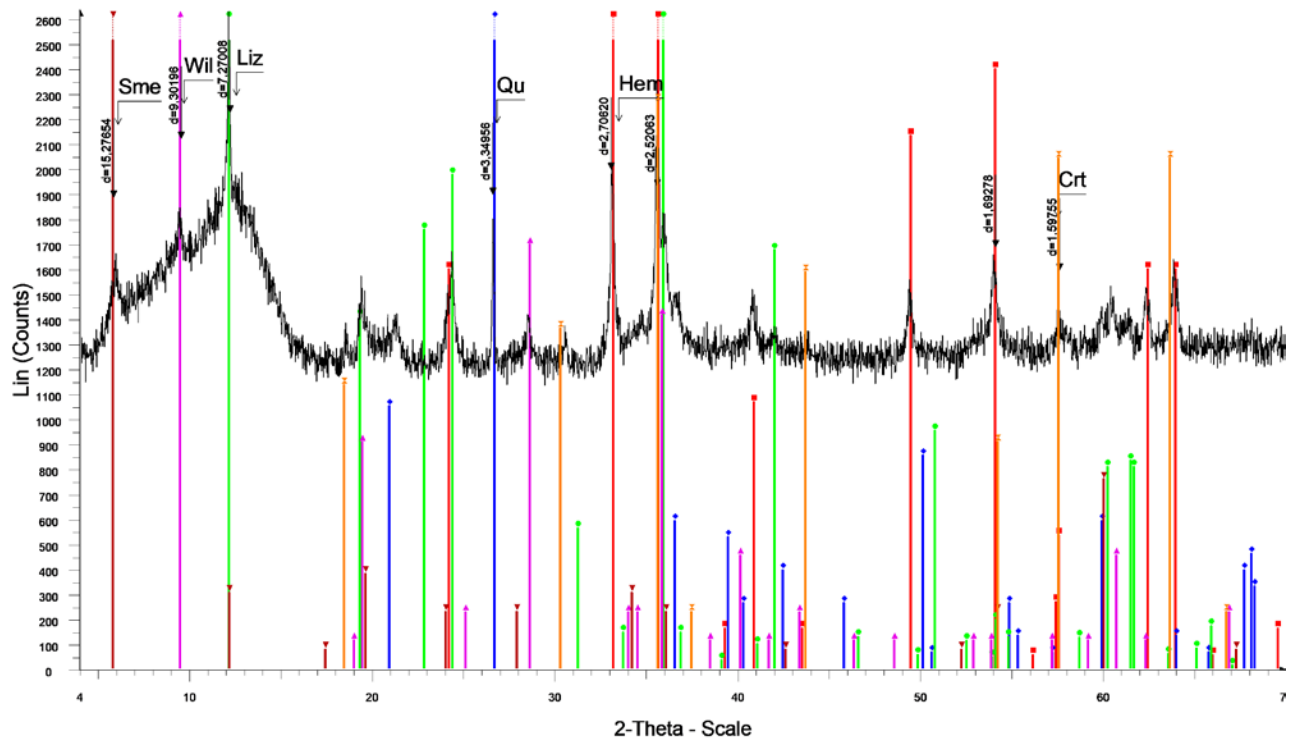
GML C7M6 - File: d8180540.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 0.00

Operations: Import

- 00-033-0664 (*) - Hematite, syn - Fe_2O_3 - Y: 149.55 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03560 - b 5.03560 - c 13.74890 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 301.926 - I
- 00-046-1045 (*) - Quartz, syn - SiO_2 - Y: 295.87 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91344 - b 4.91344 - c 5.40524 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 - 113.010 - I/c PDF
- 00-005-0068 (D) - Saponite - $\text{Ca}_0.5(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{O},\text{H})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ - Y: 61.48 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 -
- 00-022-0711 (i) - Willemseite - $(\text{Ni},\text{Mg})_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ - Y: 349.20 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 5.31600 - b 9.14900 - c 18.99400 - alpha 90.000 - beta 99.970 - gamma 90.000 - Base-centered - C'/c (15) - 4 -
- 01-089-6275 (C) - Lizardite 1T - $(\text{Mg}_2.70\text{Fe}_0.18\text{Al}_0.11)(\text{Si}_1.81\text{Al}_0.19\text{O}_5)(\text{OH})_4$ - Y: 134.00 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 5.31700 - b 5.31700 - c 7.31000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primit
- 00-003-0873 (N) - Chromite, aluminian - $\text{Fe}(\text{Cr},\text{Al})_2\text{O}_4$ - Y: 78.17 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 8.30000 - b 8.30000 - c 8.30000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Face-centered - Fd-3m (227) - 8 - 57

Ανάλυση XRD, Υγρός Μαγνητικός Διαχωρισμός Ομάδα C, προϊόν Μαγνητικό 6 Ampere, $-0.063 \pm 0.010\text{mm}$

GML C7M1.5



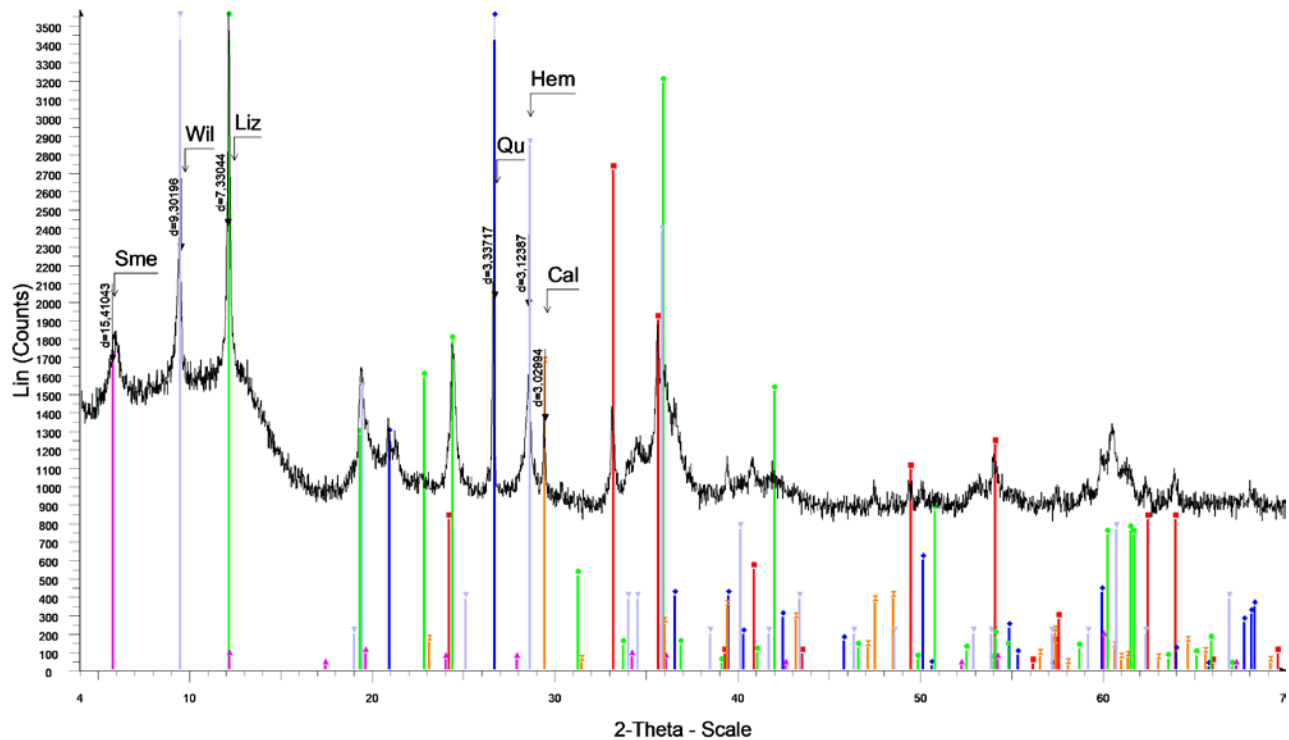
GML C7M1.5 - File: d8180544.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 21 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 0.00

Operations: Import

- 00-033-0664 (*) - Hematite, syn - Fe_2O_3 - Y: 202.70 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03560 - b 5.03560 - c 13.74890 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 301.926 - I
- 00-046-1045 (*) - Quartz, syn - SiO_2 - Y: 249.70 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91344 - b 4.91344 - c 5.40524 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 - 113.010 - I/c PDF
- 01-089-6275 (C) - Lizardite 1T - $(\text{Mg}_2.70\text{Fe}_0.18\text{Al}_0.11)(\text{Si}_1.81\text{Al}_0.19\text{O}_5)(\text{OH})_4$ - Y: 161.45 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 5.31700 - b 5.31700 - c 7.31000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primit
- 00-022-0711 (i) - Willemseite - $(\text{Ni},\text{Mg})_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ - Y: 215.16 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 5.31600 - b 9.14900 - c 18.99400 - alpha 90.000 - beta 99.970 - gamma 90.000 - Base-centered - C'/c (15) - 4 -
- 00-005-0068 (D) - Saponite - $\text{Ca}_0.5(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{O},\text{H})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ - Y: 288.32 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 -
- 00-003-0873 (N) - Chromite, aluminian - $\text{Fe}(\text{Cr},\text{Al})_2\text{O}_4$ - Y: 86.26 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 8.30000 - b 8.30000 - c 8.30000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Face-centered - Fd-3m (227) - 8 - 57

Ανάλυση XRD, Υγρός Μαγνητικός Διαχωρισμός Ομάδα C, προϊόν Μαγνητικό 1.5 Ampere, $-0.063 \pm 0.010\text{mm}$

GML C7MM3



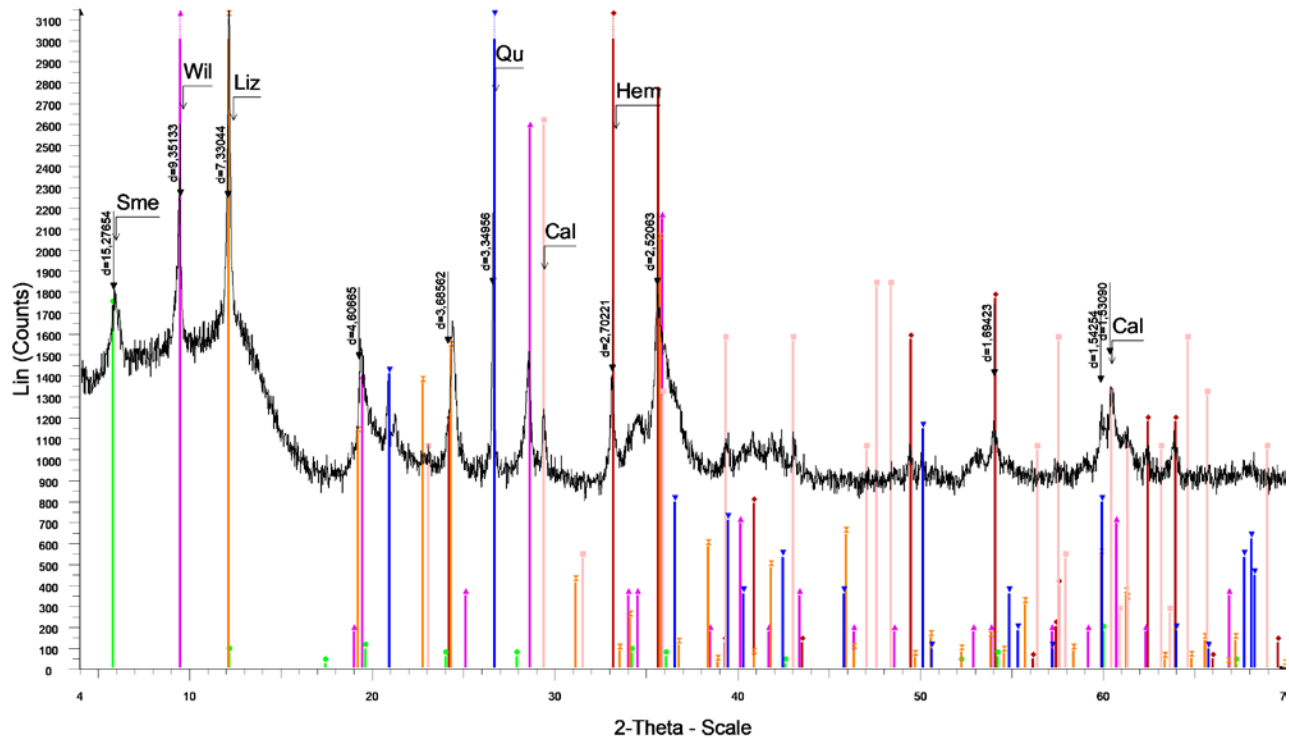
GML C7MM3 - File: d8180543.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 0.

Operations: Import

- 00-033-0664 (*) - Hematite, syn - Fe_2O_3 - Y: 75.81 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03560 - b 5.03560 - c 13.74890 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 301.926 - I/I
- 01-075-0443 (A) - Quartz - alpha- SiO_2 - Y: 163.67 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91300 - b 4.91300 - c 5.40500 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3121 (152) - 3 - 112.985 - I/Ic PD
- 01-089-6275 (C) - Lizardite 1T - $(\text{Mg}_2.70\text{Fe}_0.18\text{Al}_0.11)(\text{Si}_1.81\text{Al}_0.19\text{O}_5)(\text{OH})_4$ - Y: 107.08 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 5.31700 - b 5.31700 - c 7.31000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primit
- 00-005-0068 (D) - Saponite - $\text{Ca}_0.5(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{O},\text{H})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ - Y: 47.51 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 -
- 00-022-0711 (J) - Willemseilite - $(\text{Ni},\text{Mg})_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ - Y: 265.35 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 5.31600 - b 9.14900 - c 18.99400 - alpha 90.000 - beta 99.970 - gamma 90.000 - Base-centered - C*/c (15) - 4 -
- 00-047-1743 (C) - Calcite - CaCO_3 - Y: 46.38 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.98960 - b 4.98960 - c 17.06100 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 367.847 - F30=1

Ανάλυση XRD, Υγρός Μαγνητικός Διαχωρισμός Ομάδα C, προϊόν Μη Μαγνητικό 3 Ampere, $-0.063 \pm 0.010 \text{ mm}$

GML C7MM6



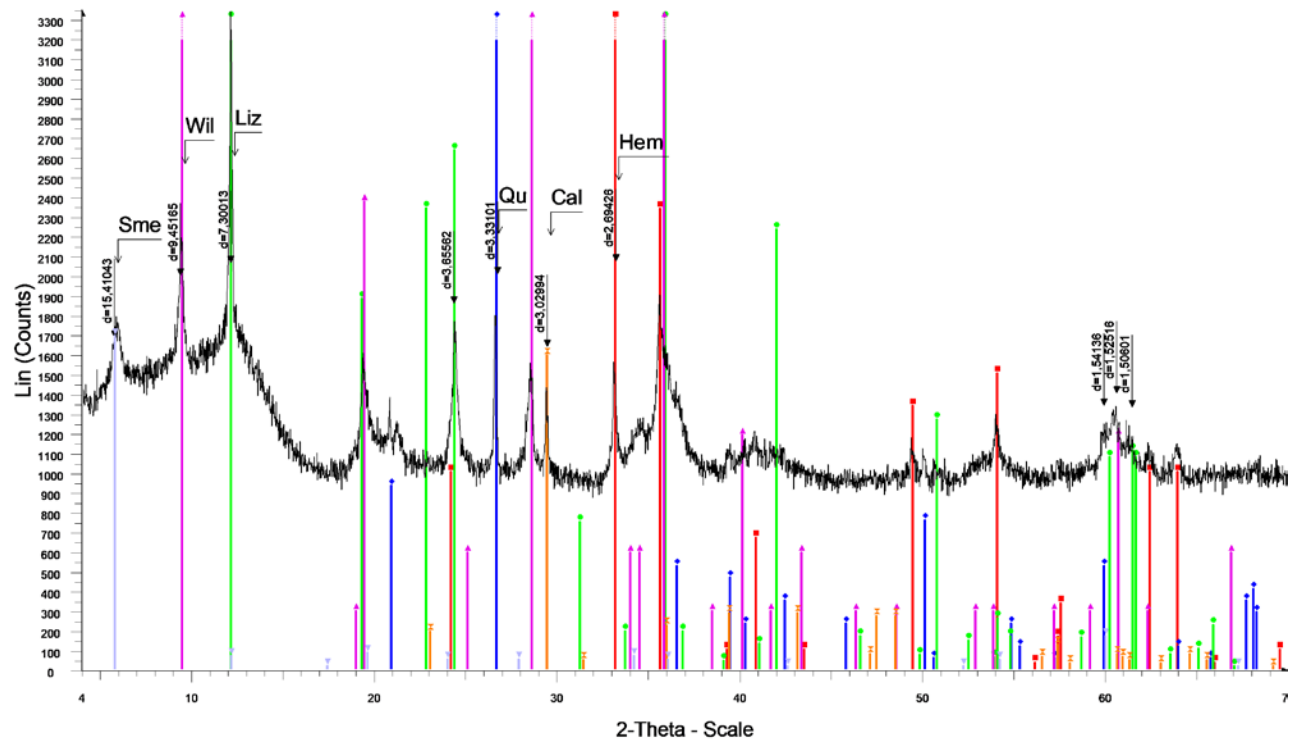
GML C7MM6 - File: d8180541.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 23 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 0.

Operations: Import

- 00-033-0664 (*) - Hematite, syn - Fe_2O_3 - Y: 124.77 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03560 - b 5.03560 - c 13.74890 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 301.926 - I/I
- 00-046-1045 (*) - Quartz, syn - SiO_2 - Y: 279.12 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91344 - b 4.91344 - c 5.40524 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P321 (154) - 3 - 113.010 - I/Ic PDF
- 00-005-0068 (D) - Saponite - $\text{Ca}_0.5(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{O},\text{H})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ - Y: 55.02 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 -
- 00-022-0711 (J) - Willemseilite - $(\text{Ni},\text{Mg})_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ - Y: 273.22 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 5.31600 - b 9.14900 - c 18.99400 - alpha 90.000 - beta 99.970 - gamma 90.000 - Base-centered - C*/c (15) - 4 -
- 01-089-6210 (C) - Lizardite 2H1 - $\text{Mg}_3(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$ - Y: 108.07 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 5.34500 - b 5.34500 - c 14.66200 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P63cm (185) - 2 - 3
- 00-004-0637 (D) - Calcite - $\text{CaCO}_3/\text{CaO} \cdot \text{CO}_2$ - Y: 82.68 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.99500 - b 4.99500 - c 17.06000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 2 - 368.62

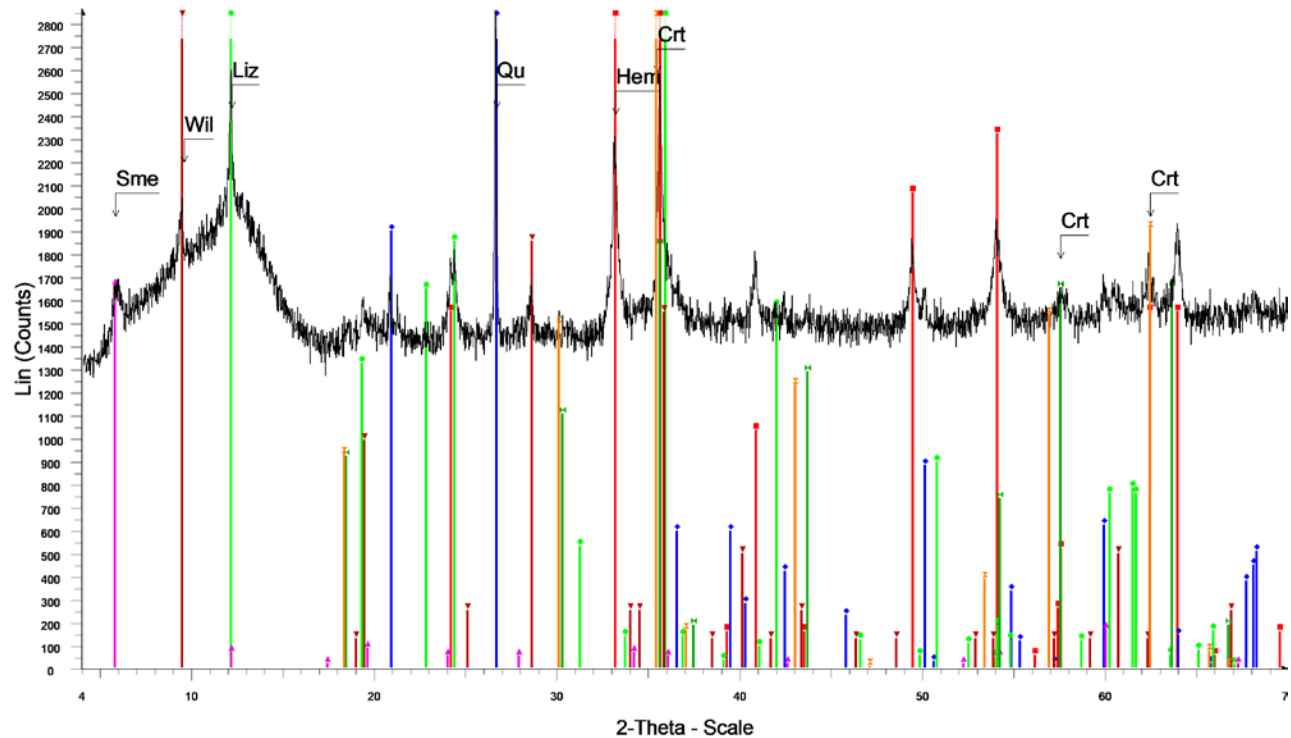
Ανάλυση XRD, Υγρός Μαγνητικός Διαχωρισμός Ομάδα C, προϊόν Μη Μαγνητικό 6 Ampere, $-0.063 \pm 0.010 \text{ mm}$

GML C7MM1.5



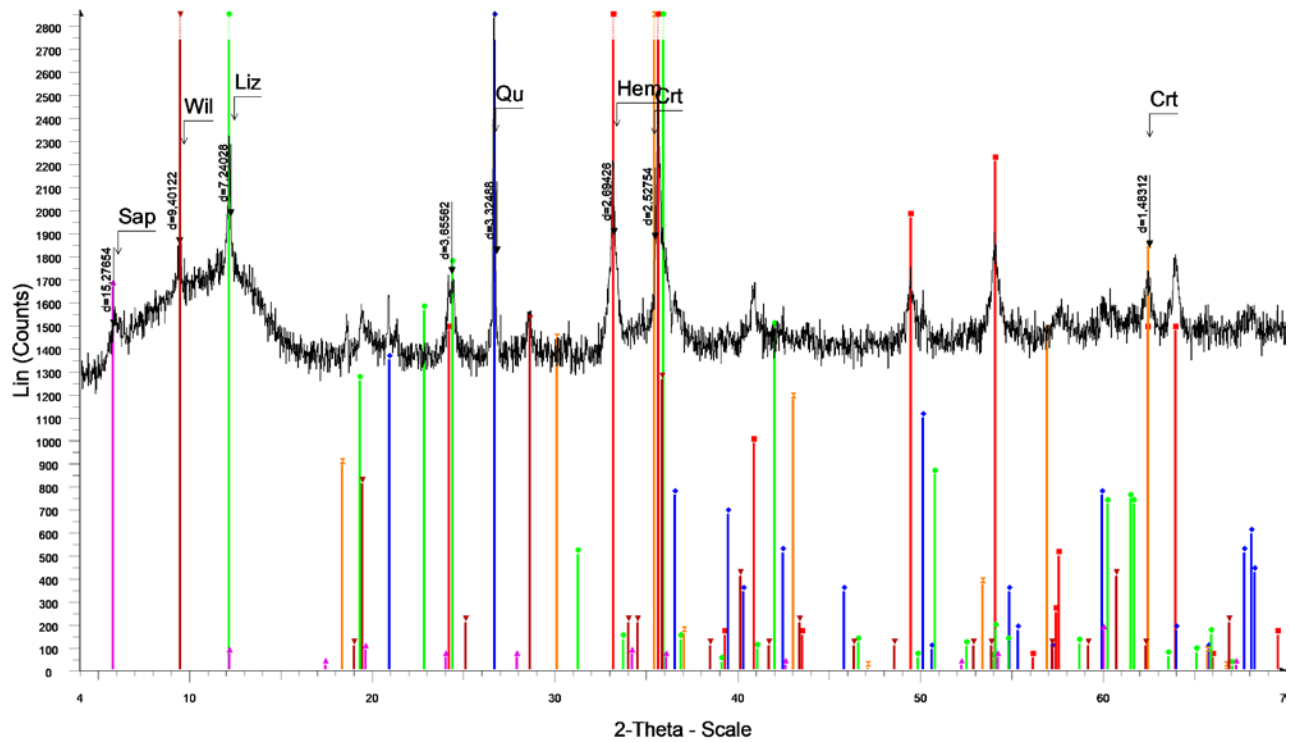
Ανάλυση XRD, Υγρός Μαγνητικός Διαχωρισμός Ομάδα C, προϊόν Μη Μαγνητικό 1.5 Ampere, $-0.063 \pm 0.010 \text{ mm}$

GML D1M3



Ανάλυση XRD, Υγρός Μαγνητικός Διαχωρισμός Ομάδα d, προϊόν Μαγνητικό 3 Ampere, $-0.063 \pm 0.010 \text{ mm}$

GML D1M6



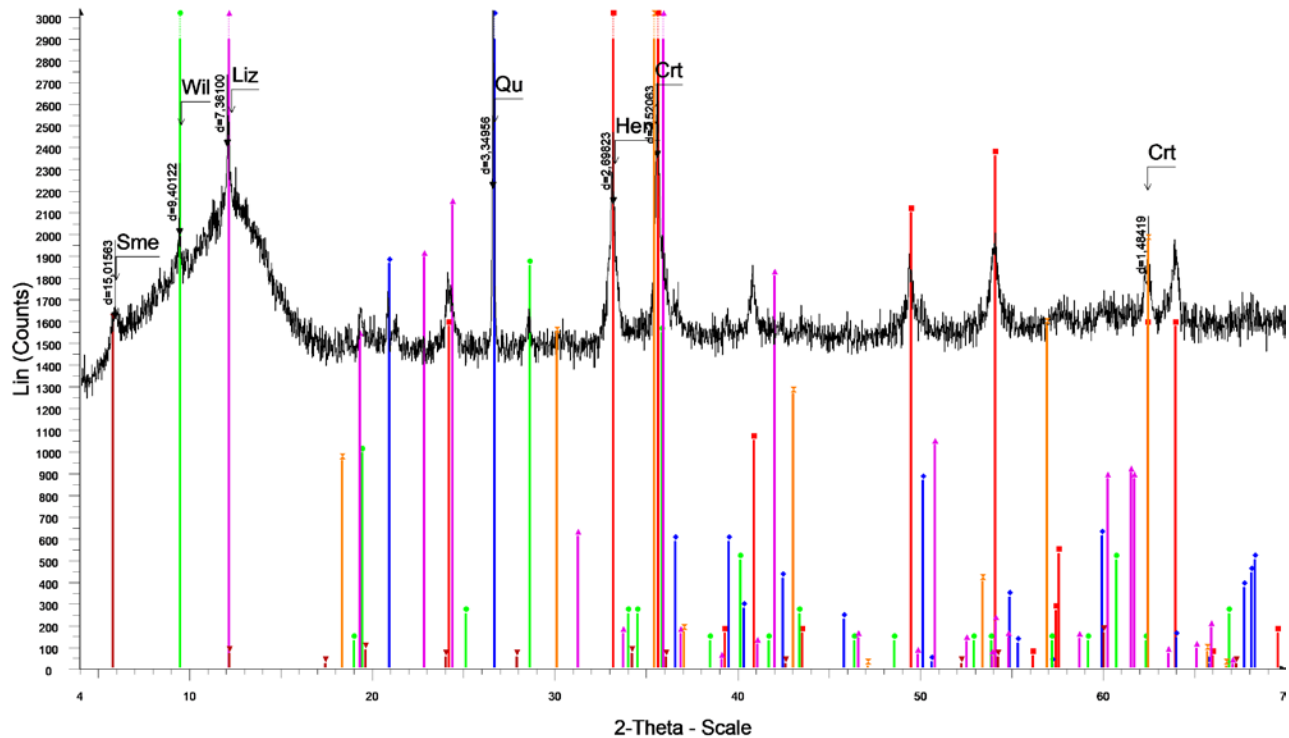
GML D1M6 - File: d8180546.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 0.00

Operations: Import

- 00-033-0664 (*) - Hematite, syn - Fe_2O_3 - Y: 171.49 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03560 - b 5.03560 - c 13.74890 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 301.926 - I
- 00-046-1045 (*) - Quartz, syn - SiO_2 - Y: 293.75 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91344 - b 4.91344 - c 5.40524 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 - 113.010 - I/c PDF
- 01-089-6275 (C) - Lizardite 1T - $(\text{Mg}_2.70\text{Fe}_0.18\text{Al}_0.11)(\text{Si}_1.81\text{Al}_0.19\text{O}_5)(\text{OH})_4$ - Y: 131.83 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 5.31700 - b 5.31700 - c 7.31000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primit
- 00-005-0068 (D) - Saponite - $\text{Ca}_0.5(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{O},\text{H})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ - Y: 58.13 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 -
- 00-022-0711 (j) - Willemseite - $(\text{Ni},\text{Mg})_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ - Y: 175.91 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 5.31600 - b 9.14900 - c 18.99400 - alpha 90.000 - beta 99.970 - gamma 90.000 - Base-centered - C'/c (15) - 4 -
- 01-072-2493 (C) - Chromite - $(\text{Mg}_0.43\text{Fe}_0.58)\text{Cr}_1.19\text{Al}_0.77\text{Ti}_0.03\text{Sb}_0.32$ - Y: 148.87 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 8.40000 - b 8.40000 - c 8.40000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Face-centered -

Ανάλυση XRD, Υγρός Μαγνητικός Διαχωρισμός Ομάδα d, προϊόν Μαγνητικό 6 Ampere, $-0.063 \pm 0.010\text{mm}$

GML D1M1.5



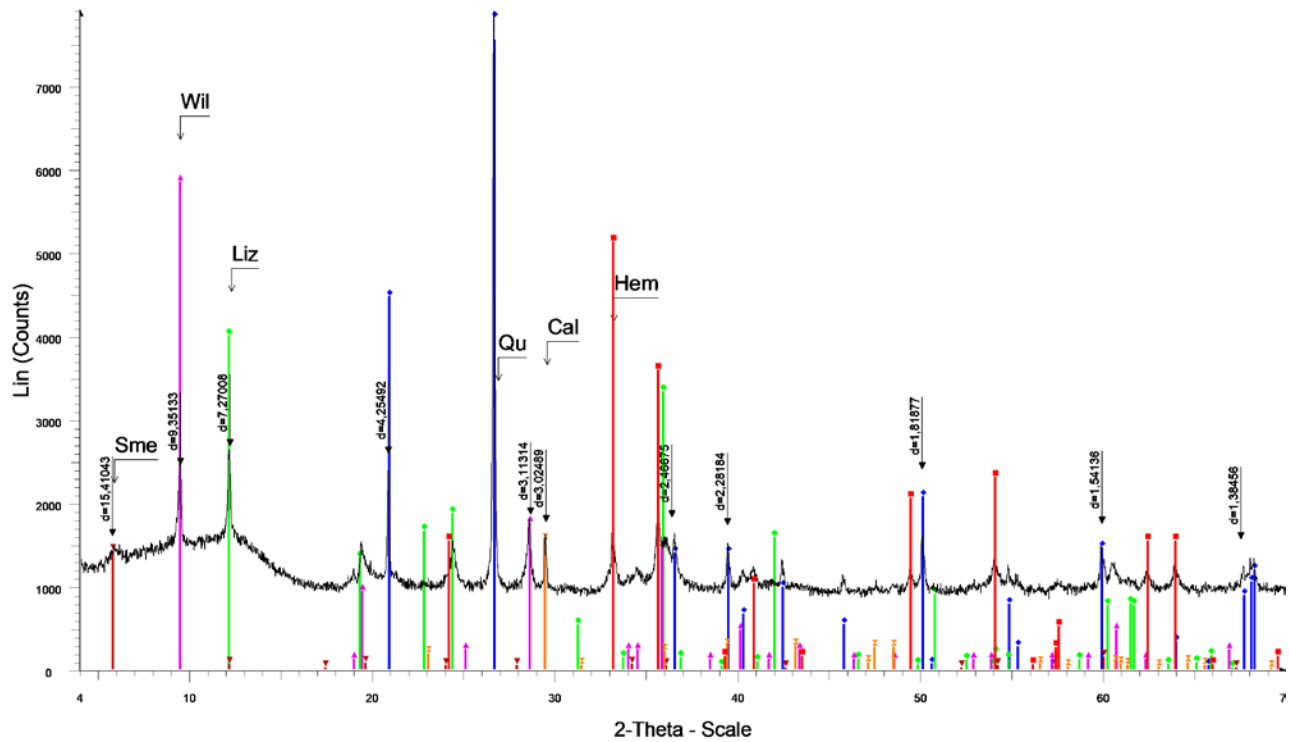
GML D1M1.5 - File: d8180550.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 21 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 0.00

Operations: Import

- 00-033-0664 (*) - Hematite, syn - Fe_2O_3 - Y: 172.94 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03560 - b 5.03560 - c 13.74890 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 301.926 - I
- 01-075-0443 (A) - Quartz - alpha- SiO_2 - Y: 281.53 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91300 - b 4.91300 - c 5.40500 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P321 (152) - 3 - 112.985 - I/c PD
- 00-022-0711 (j) - Willemseite - $(\text{Ni},\text{Mg})_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ - Y: 203.82 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 5.31600 - b 9.14900 - c 18.99400 - alpha 90.000 - beta 99.970 - gamma 90.000 - Base-centered - C'/c (15) - 4 -
- 01-089-6275 (C) - Lizardite 1T - $(\text{Mg}_2.70\text{Fe}_0.18\text{Al}_0.11)(\text{Si}_1.81\text{Al}_0.19\text{O}_5)(\text{OH})_4$ - Y: 151.04 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 5.31700 - b 5.31700 - c 7.31000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primit
- 00-005-0068 (D) - Saponite - $\text{Ca}_0.5(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{O},\text{H})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ - Y: 52.67 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 -
- 01-072-2493 (C) - Chromite - $(\text{Mg}_0.43\text{Fe}_0.58)\text{Cr}_1.19\text{Al}_0.77\text{Ti}_0.03\text{Sb}_0.32$ - Y: 151.32 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 8.40000 - b 8.40000 - c 8.40000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Face-centered -

Ανάλυση XRD, Υγρός Μαγνητικός Διαχωρισμός Ομάδα d, προϊόν Μαγνητικό 1.5 Ampere, $-0.063 \pm 0.010\text{mm}$

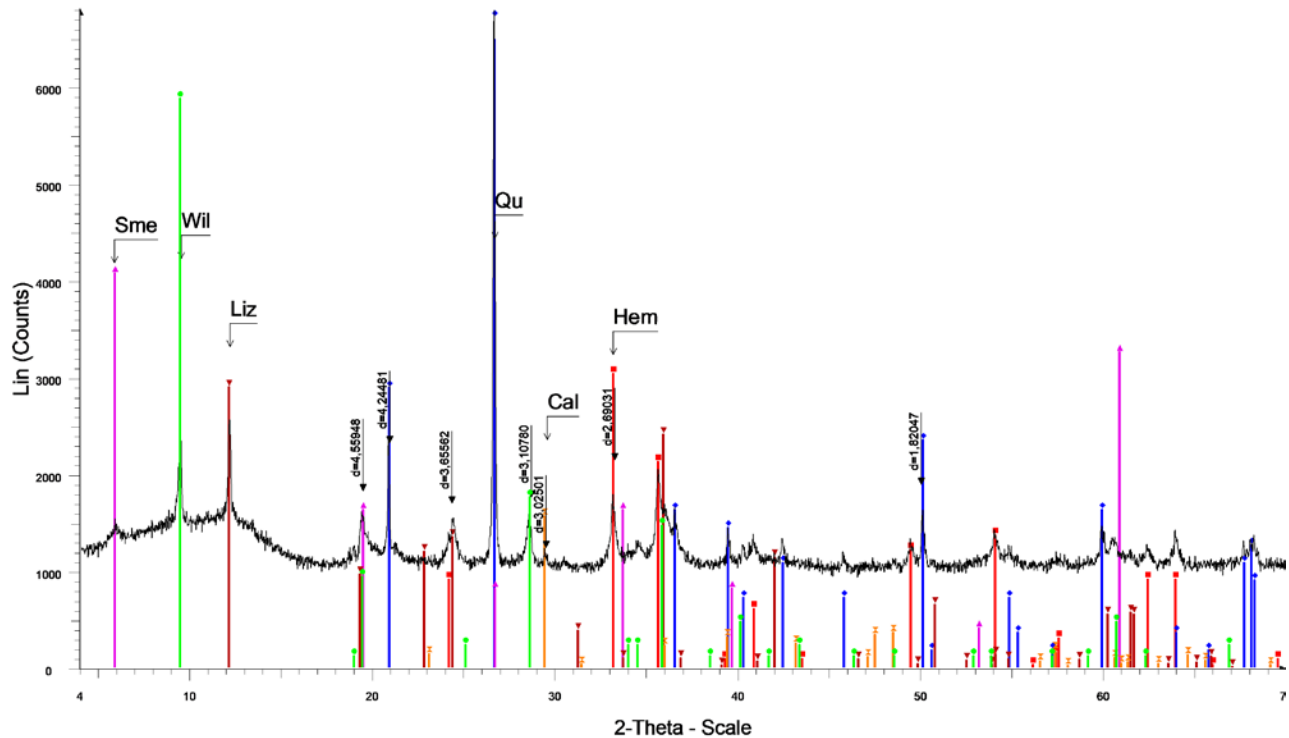
GML D1MM3



GML D1MM3 - File: d8180549.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Step: 0.019 ° - Stop time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 0.
 Operations: Import
 01-075-0443 (A) - Quartz - α -SiO₂ - Y: 259.50 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91300 - b 4.91300 - c 5.40500 - α 90.000 - β 90.000 - γ 120.000 - Primitive - P3121 (152) - 3 - 112.985 - I/c PD
 00-033-0664 (*) - Hematite, syn - Fe₂O₃ - Y: 64.90 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03560 - b 5.03560 - c 13.74890 - α 90.000 - β 90.000 - γ 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 301.926 - I/c
 01-089-6275 (C) - Lizardite 1T - (Mg₂70Fe0.18Al0.11)(Si1.81Al0.19O5)(OH)4 - Y: 50.71 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 5.31700 - b 5.31700 - c 7.31000 - α 90.000 - β 90.000 - γ 120.000 - Primitive - P6₃/mmc (167) - 6 - 354.425 - F
 00-022-0711 (I) - Willemseite - (Ni,Mg)3Si₄O₁₀(OH)₂ - Y: 74.05 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 5.31600 - b 9.14900 - c 18.99400 - α 90.000 - β 99.970 - γ 90.000 - Base-centered - C'/c (15) - 4 - 9
 00-005-0068 (D) - Saponite - Ca_{0.5}(Mg,Fe)3(Si,Al)4O₁₀(O,H)2·4H₂O - Y: 17.88 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 -
 00-005-0586 (*) - Calcite, syn - CaCO₃ - Y: 19.50 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.98900 - b 4.98900 - c 17.06200 - α 90.000 - β 90.000 - γ 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 367.780 - I/c

Ανάλυση XRD, Υγρός Μαγνητικός Διαχωρισμός Ομάδα d, προϊόν Μη Μαγνητικό 3 Ampere, -0.063+0.010mm

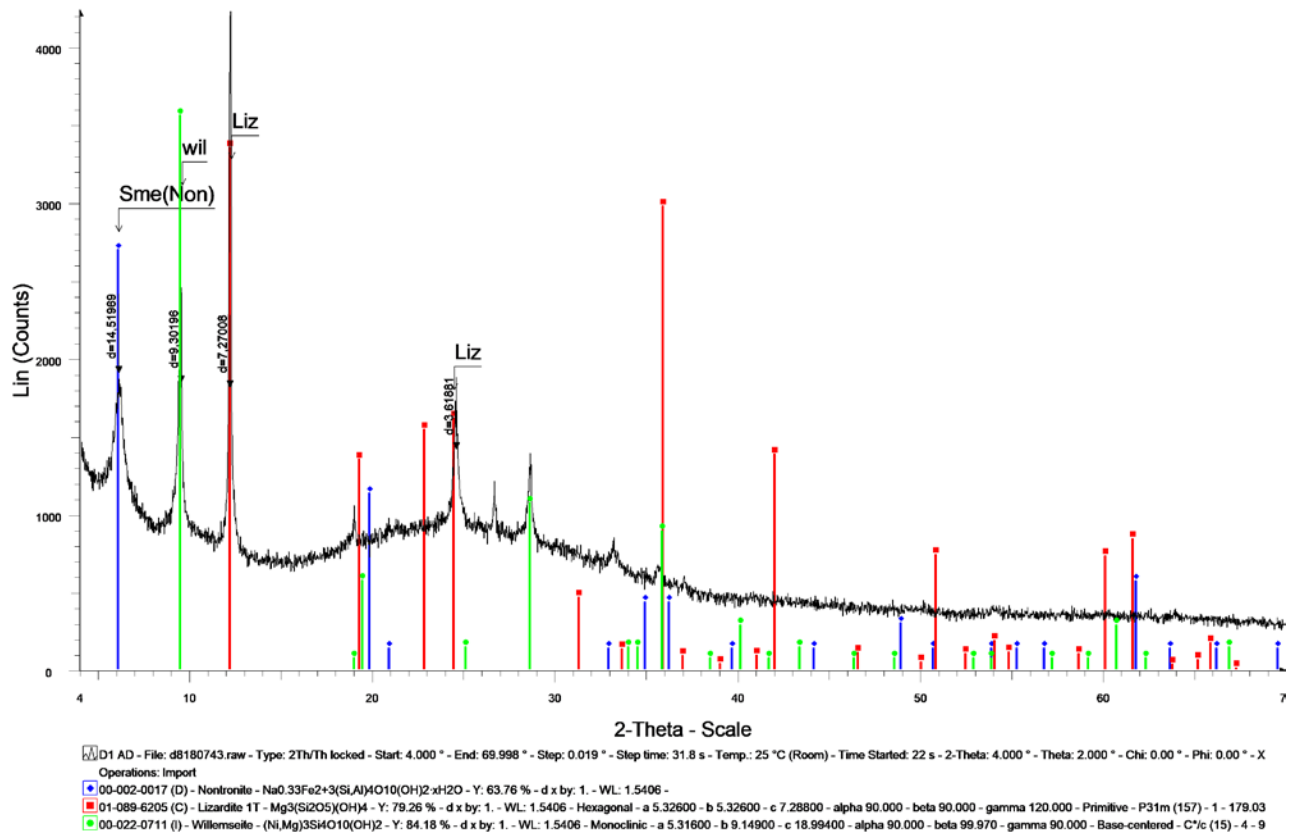
GML D1MM1.5



GML D1MM1.5 - File: d8180551.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Step: 0.019 ° - Stop time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 0.
 Operations: Import
 00-033-0664 (*) - Hematite, syn - Fe₂O₃ - Y: 44.72 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03560 - b 5.03560 - c 13.74890 - α 90.000 - β 90.000 - γ 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 301.926 - I/c
 00-046-1045 (A) - Quartz, syn - SiO₂ - Y: 266.23 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91344 - b 4.91344 - c 5.40524 - α 90.000 - β 90.000 - γ 120.000 - Primitive - P3121 (152) - 3 - 112.985 - I/c
 00-022-0711 (I) - Willemseite - (Ni,Mg)3Si₄O₁₀(OH)₂ - Y: 86.61 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 5.31600 - b 9.14900 - c 18.99400 - α 90.000 - β 99.970 - γ 90.000 - Base-centered - C'/c (15) - 4 - 9
 00-043-0664 (I) - Pimelite - Ni₃Si₄O₁₀(OH)₂·5H₂O - Y: 59.98 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 5.25500 - b 5.25500 - c 14.82000 - α 90.000 - β 90.000 - γ 120.000 - Primitive - P (0) - 1 - 354.425 - F
 01-089-6275 (C) - Lizardite 1T - (Mg₂70Fe0.18Al0.11)(Si1.81Al0.19O5)(OH)4 - Y: 42.66 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 5.31700 - b 5.31700 - c 7.31000 - α 90.000 - β 90.000 - γ 120.000 - Primitive - P6₃/mmc (167) - 6 - 354.425 - F
 00-047-1743 (C) - Calcite - CaCO₃ - Y: 23.01 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.98960 - b 4.98960 - c 17.06100 - α 90.000 - β 90.000 - γ 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 367.847 - F30=1

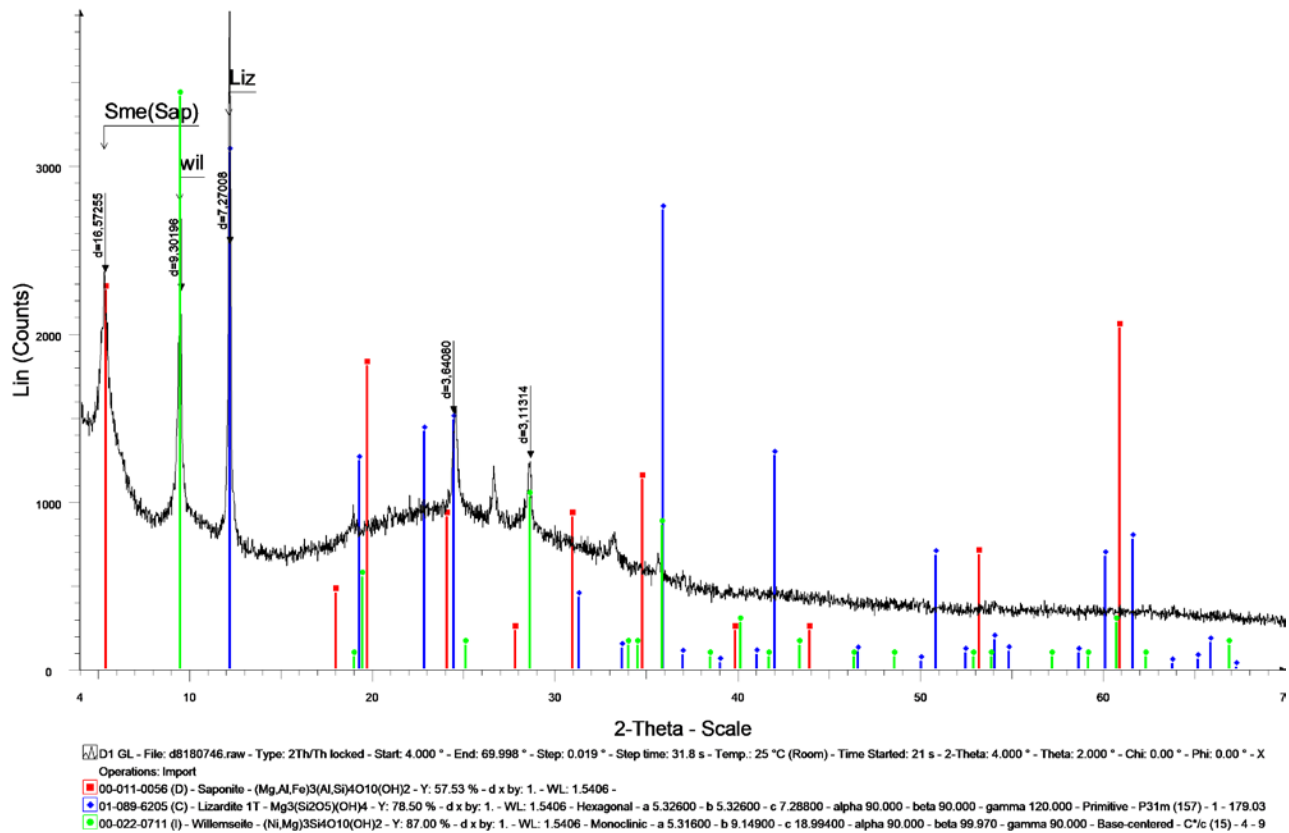
Ανάλυση XRD, Υγρός Μαγνητικός Διαχωρισμός Ομάδα d, προϊόν Μη Μαγνητικό 1.5 Ampere, -0.063+0.010mm

D1 AD



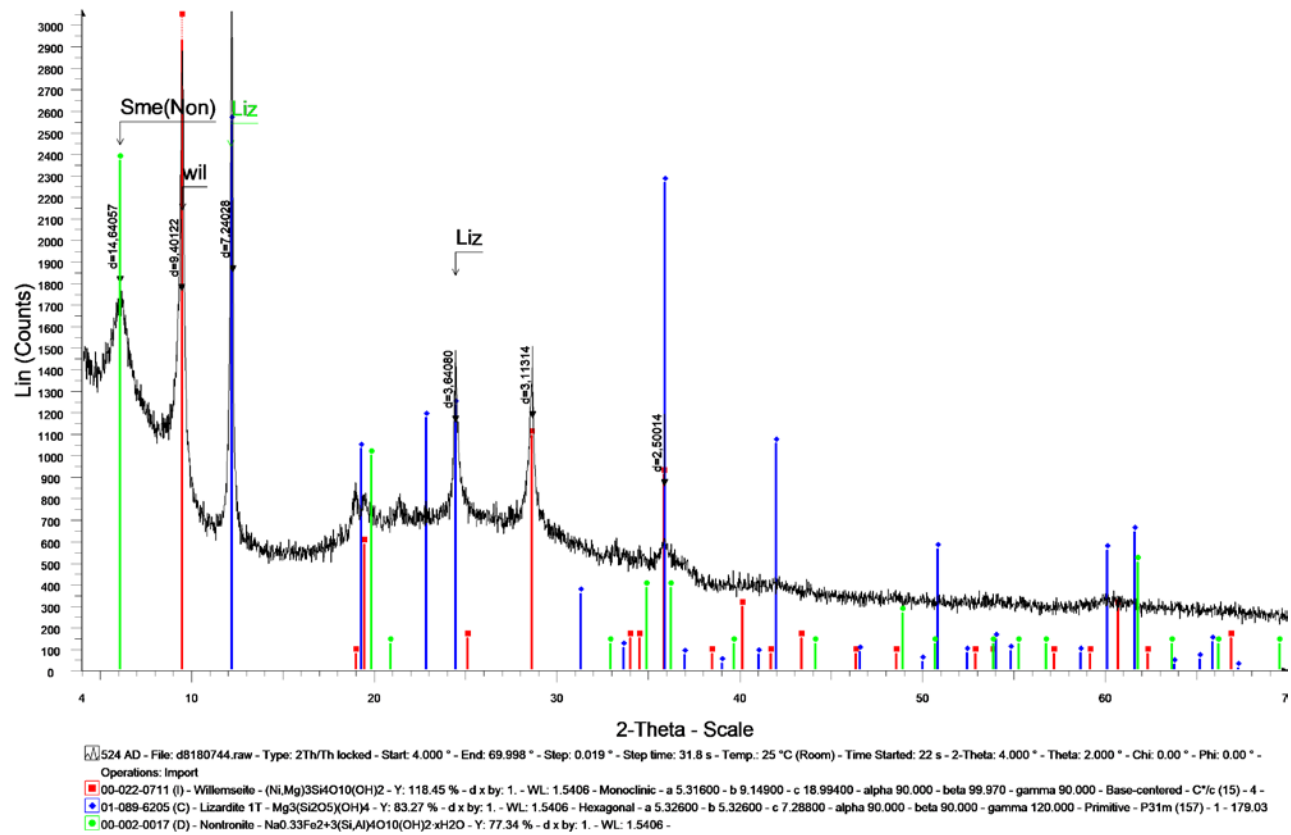
Ανάλυση XRD, Διάλυμα Αργιλικού Κλάσματος του d1 σε ξηρό αέρα

D1 GL



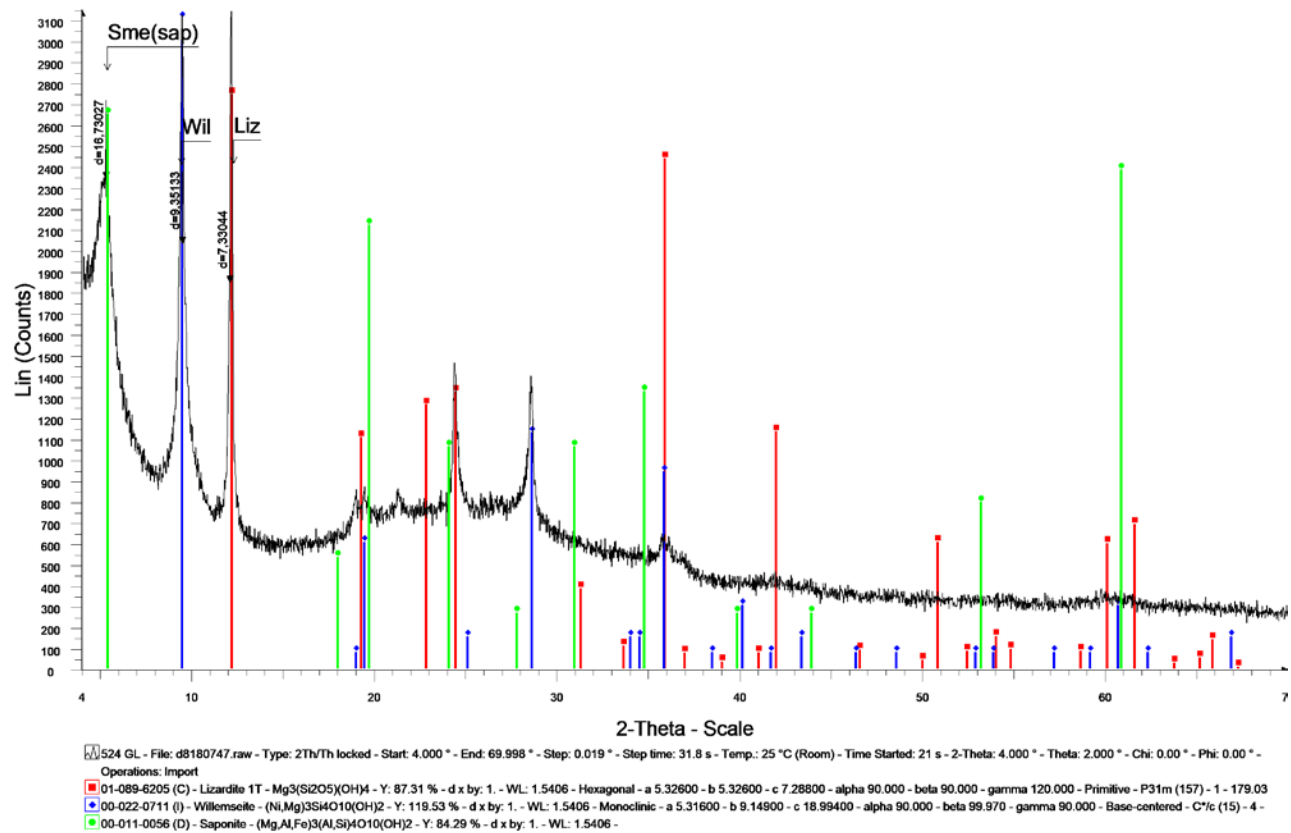
Ανάλυση XRD, Διάλυμα Αργιλικού Κλάσματος του d1 σε γλυκόλη

524 AD



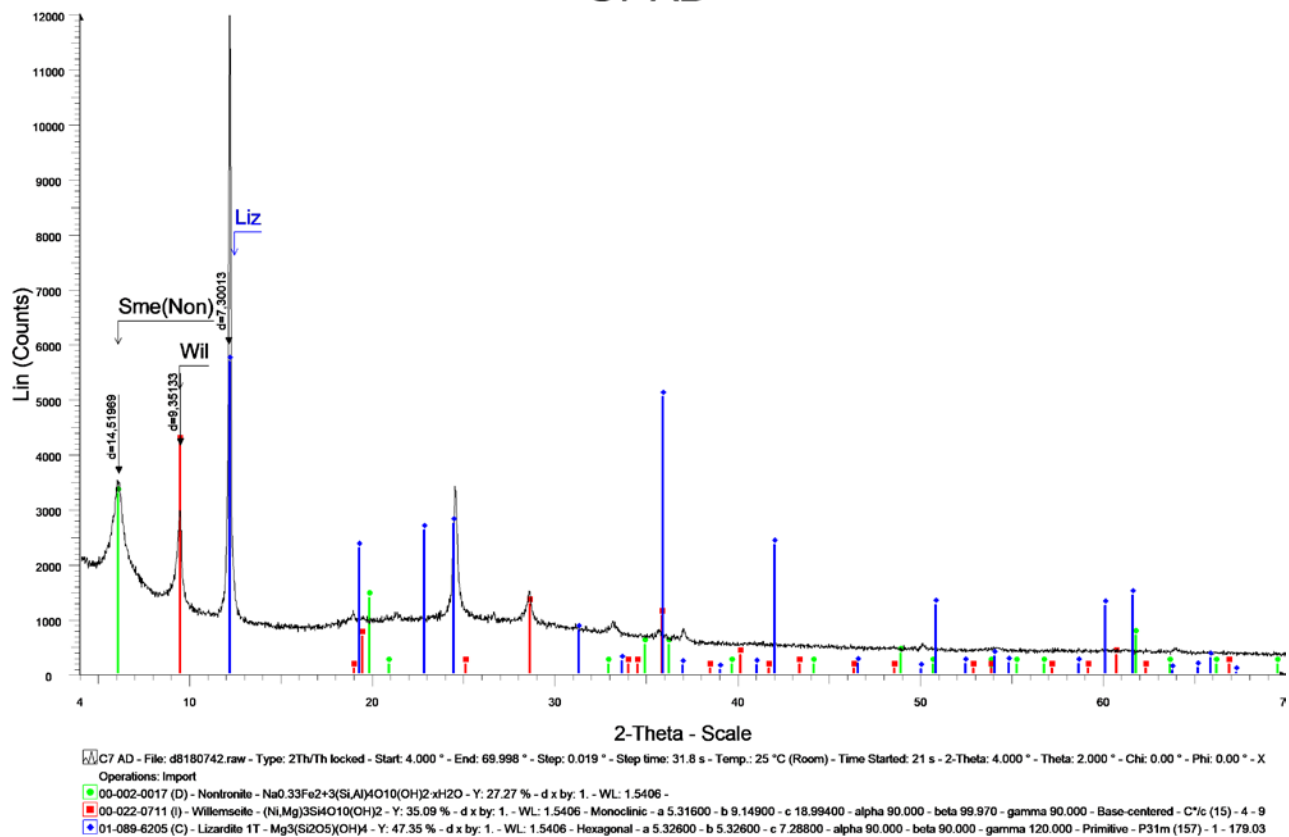
Ανάλυση XRD, Διάλυμα Αργιλικού Κλάσματος του 524 σε ξηρό αέρα

524 GL



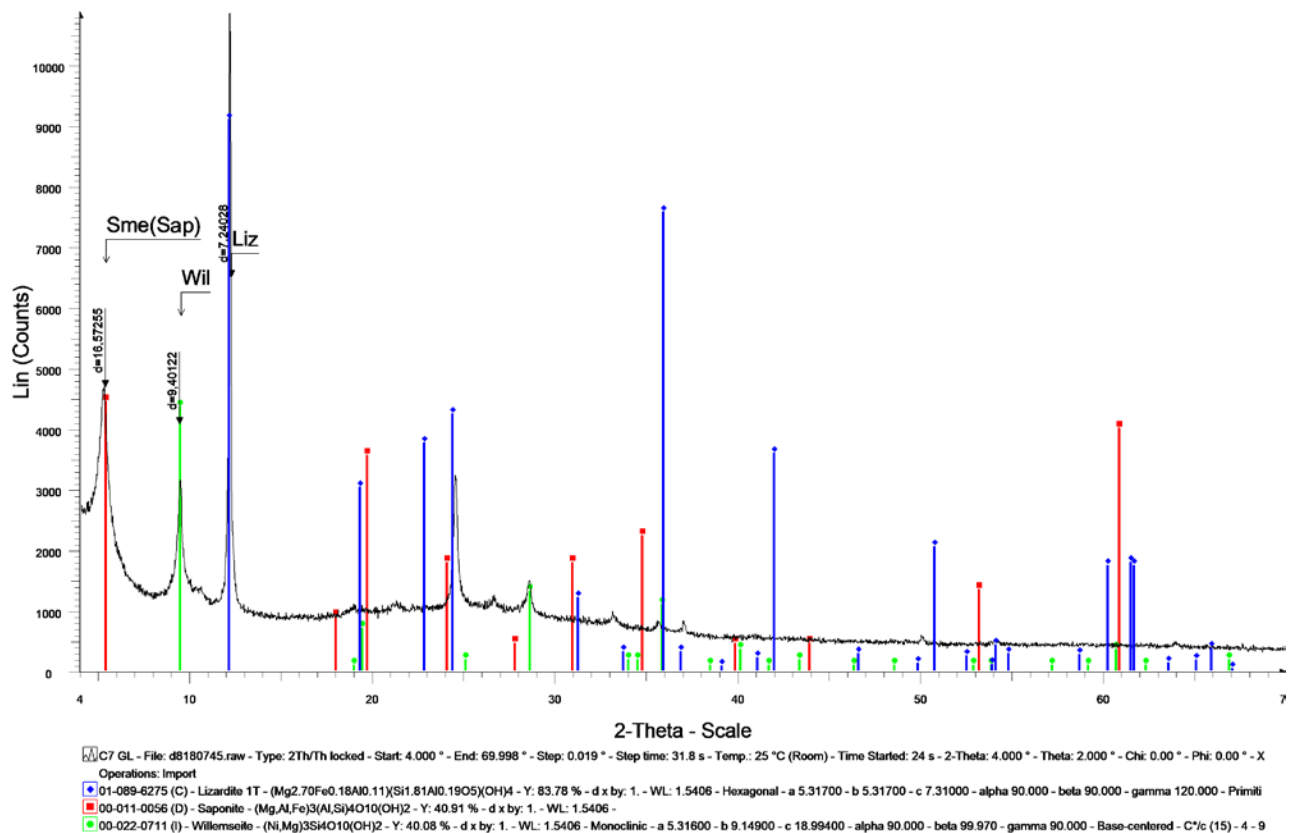
Ανάλυση XRD, Διάλυμα Αργιλικού Κλάσματος του 524 σε γλυκόλη

C7 AD



Ανάλυση XRD, Διάλυμα Αργιλικού Κλάσματος του c7 σε ξηρό αέρα

C7 GL



Ανάλυση XRD, Διάλυμα Αργιλικού Κλάσματος του c7 σε γλυκόλη