

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ**  
**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**“Αξιολόγηση ποιοτικών χαρακτηριστικών και δυνατότητες διαχωρισμού  
σιδηρομεταλλεύματος από την περιοχή Ρέντα-Αρολιθίου (Ν. Ρεθύμνου)”**

**ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ ΒΛΑΣΙΑΔΗ**

**Εξεταστική επιτροπή:**

**Αλεβίζος Γεώργιος, Αναπλ. Καθηγητής (Επιβλέπων)**

**Κορνίτσας Κωνσταντίνος, Καθηγητής**

**Δρ. Στρατάκης Αντώνιος, ΕΔΙΠ**

**ΧΑΝΙΑ 2018**

## **ΠΡΟΛΟΓΟΣ**

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας της σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης. Ο επιβλέπων της εργασίας ήταν ο Αναπλ. Καθηγητής Αλεβίζος Γεώργιος. Η εργασία και έχει σαν στόχο να αξιολογηθούν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά και να ερευνηθεί η καλύτερη μέθοδος εμπλουτισμού σε σιδηρομεταλλεύματα που βρίσκονται στην Κρήτη (Νομός Ρεθύμνου).

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Καταρχάς, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Γ. Αλεβίζο για την καθοδήγηση και την επίβλεψή του καθ' όλη τη διάρκεια της διπλωματικής εργασίας και για τις εμπειρίες, αλλά και τις γνώσεις, που αποκόμισα σ' αυτή την περίοδο εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Εν συνεχεία, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην εξεταστική επιτροπή και συγκεκριμένα στον Καθηγητή κ. Κ. Κομνίτσα και το Δρ. Α. Στρατάκη για τη συνεισφορά τους στη διαμόρφωση και ολοκλήρωση της εργασίας αυτής.

Θα ήθελα επίσης να εκφράσω ιδιαίτερες ευχαριστίες στο Δρ. Ευάγγελο Πετράκη και την κ. Όλγα Παντελάκη για τη δική τους συνεισφορά από το Εργαστήριο Εμπλουτισμού για την πολύτιμη βοήθειά τους καθώς και για τις εύστοχες παρατηρήσεις τους για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη Διπλ. Μηχανικό Ορυκτών Πόρων Παυλίνα Ροτόντο για τις μετρήσεις που πραγματοποίησε με τη μέθοδο της φασματοσκοπίας ακτίνων-Χ, όπως επίσης και τον κ. Γ. Αποστολάκη για την παρασκευή των στιλπνών τομών, που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη μικροσκοπική εξέταση.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την οικογένεια μου και τους φίλους μου για τη στήριξη και συμπαράσταση τους.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως σκοπό την αξιολόγηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών και τις δυνατότητες εμπλουτισμού με βαρυτομετρικό και μαγνητικό διαχωρισμό του σιδηρομεταλλεύματος της περιοχής Ρέντα-Αρολίθι (Νομός Ρεθύμνου).

Στην περιοχή Ρέντα-Αρολίθι υπάρχει σιδηρομετάλλευμα που απαντάται με μορφή φακοειδών σωμάτων ή με μορφή φλεβών πάνω στη ζώνη επαφής Φυλλιτών-Χαλαζιτών. Το μέταλλευμα είναι λειμωνιτικού τύπου με σπογγώδη υφή. Τα κύρια ορυκτολογικά συστατικά του σιδηρομεταλλεύματος είναι γκαιίτης, χαλαζίας και δευτερευόντως αιματίτης, γραφίτης και σιδηροπυρίτης. Η δομή του μεταλλεύματος χαρακτηρίζεται γενικά ως εμπλεκτική διακοκκώδης. Η χημική εξέταση των αρχικών δειγμάτων έδειξε ότι η συγκέντρωση του  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  κυμαίνεται από 7.16 % έως 49.98%, ενώ του  $\text{SiO}_2$  κυμαίνεται από 24.43 % έως 77.89%. Η χημική εξέταση των κοκκομετρικών κλασμάτων έδειξε ότι η συγκέντρωση του  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  κυμαίνεται από 17.02 % έως 36.68 %, ενώ η συγκέντρωση του  $\text{SiO}_2$  κυμαίνεται από 42.18 % έως 66.39 %.

Μετά από διαδικασία θραύσης με σιαγωνωτό σπαστήρα και κοσκίνισης του αρχικού δείγματος προκύπτουν κοκκομετρικά κλάσματα (-8+4 mm), (-4+1 mm), (-1+0.250 mm), (-0.250+0.063 mm) και (-0.063 mm), που χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση των μεθόδων εμπλουτισμού.

Για τις δοκιμές εμπλουτισμού χρησιμοποιήθηκαν οι μέθοδοι του βαρυτομετρικού και του μαγνητικού διαχωρισμού. Στη συνέχεια τα αποτελέσματα αξιολογήθηκαν μέσω χημικών και ορυκτολογικών αναλύσεων και με μικροσκοπική παρατήρηση.

Τα αποτελέσματα της δοκιμής του βαρυτομετρικού διαχωρισμού του σιδηρούχου μεταλλεύματος έδειξαν ότι μεγαλύτερη συγκέντρωση σιδήρου σημειώθηκε στα βαριά προϊόντα των δυο χονδρότερων κοκκομετρικών κλασμάτων (-8+4 mm) και (-4+1 mm) με ποσοστό 67.71% και 66.77%, αντίστοιχα. Μεγαλύτερο ποσοστό  $\text{SiO}_2$  σημειώθηκε στα ελαφριά προϊόντα των λεπτότερων κοκκομετρικών κλασμάτων (-1+0.250 mm) και (-0.250+0.063 mm) με ποσοστά 79.31% και 74.77%, αντίστοιχα.

Τα αποτελέσματα της δοκιμής του μαγνητικού διαχωρισμού του σιδηρούχου μεταλλεύματος έδειξαν ότι μεγαλύτερη συγκέντρωση σιδήρου σημειώθηκε στο μαγνητικό προϊόν 1 στα δύο μικρότερα κοκκομετρικά κλάσματα (-1+0.250 mm) και (-0.250+0.063mm) με ποσοστό 63.01% και 53.18% αντίστοιχα.

Γενικά οι δοκιμές εμπλουτισμού έδειξαν ότι στο βαρυτομετρικό διαχωρισμό καλύτερη απόδοση ως προς την περιεκτικότητα είχαμε στα δύο πρώτα χονδρόκοκκα κλάσματα ενώ ως προς την κατανομή καλύτερη απόδοση είχαμε στα δύο τελευταία (λεπτόκοκκα) κλάσματα. Στο μαγνητικό διαχωρισμό καλύτερη απόδοση ως προς τη χημική ανάλυση είχαμε στο κλάσμα (-1+0.250 mm) ενώ ως προς την κατανομή είχαμε στο λεπτότερο κλάσμα.

## Πίνακας περιεχομένων

|   |    |
|---|----|
| Εισαγωγή.....   | 6  |
| Κεφάλαιο 1: Σίδηρος.....  | 7  |
| 1.1 Γενικά .....  | 7  |
| 1.2 Εμφάνισεις κοιτασμάτων σιδήρου .....  | 8  |
| 1.3 Ο σίδηρος και τα κράματά του .....  | 8  |
| 1.4 Χώρες παραγωγής και κυριότερα κοιτάσματα σιδήρου .....                                | 9  |
| 1.4.1 Κοιτάσματα περιοχής Kiruna .....  | 9  |
| 1.4.2 Ελληνικά μεταλλεύματα σιδήρου .....   | 10 |
| 1.5 Βιομηχανία παραγωγής σιδήρου και χάλυβα .....   | 12 |
| 1.5.1 Ελληνικές χαλυβουργίες .....  | 13 |
| Κεφάλαιο 2: Γεωλογία της Κρήτης .....   | 16 |
| Κεφάλαιο 3: Πειραματικές μέθοδοι .....  | 22 |
| 3.1 Δείγματα .....  | 22 |
| 3.2 Μικροσκοπική μελέτη με μεταλλογραφικό μικροσκόπιο .....                               | 22 |
| 3.3 Ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης (SEM).....  | 24 |
| 3.4 Ορυκτολογική ανάλυση δειγμάτων με περιθλασιμετρία ακτίνων-X (XRD) .....               | 25 |
| 3.5 Χημική ανάλυση δειγμάτων με φασματοσκοπία ακτίνων-X φθορισμού (XRF).....              | 27 |
| 3.6 Μέθοδοι εμπλουτισμού .....  | 29 |
| 3.6.1 Βαρυτομετρικός διαχωρισμός .....  | 29 |
| 3.6.2 Μαγνητικός διαχωρισμός.....   | 32 |
| Κεφάλαιο 4: Ορυκτολογικές και χημικές αναλύσεις αρχικών δειγμάτων .....                   | 35 |
| 4.1 Δειγματοληψία στην περιοχή Ρέντα-Αρολίθι.....   | 35 |
| 4.2 Ορυκτολογία δειγμάτων περιοχής Ρέντα – Αρολίθι.....                                   | 35 |
| 4.3 Χημικές αναλύσεις αρχικών δειγμάτων .....   | 38 |
| Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα δοκιμών εμπλουτισμού .....                                       | 39 |
| 5.1 Αποτελέσματα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού .....                                     | 40 |
| 5.1.1 Κατανομή βάρους στα βαριά και στα ελαφριά.....                                      | 40 |
| 5.1.2 Χημικές αναλύσεις.....  | 41 |
| 5.1.3 Μικροσκοπική εξέταση των προϊόντων της δοκιμής του βαρυτομετρικού διαχωρισμού ..... | 45 |
| 5.1.4 Σχολιασμός και παρατηρήσεις αποτελεσμάτων βαρυτομετρικού διαχωρισμού. ....          | 49 |
| 5.2 Δοκιμή εμπλουτισμού με τη μέθοδο του μαγνητικού διαχωρισμού.....                      | 51 |
| 5.2.2 Χημικές αναλύσεις.....  | 52 |
| 5.2.3 Μικροσκοπική εξέταση των προϊόντων της δοκιμής του μαγνητικού διαχωρισμού .....     | 63 |

|   |    |
|---|----|
| 5.2.4 Σχολιασμός και παρατηρήσεις αποτελεσμάτων μαγνητικού διαχωρισμού..... | 70 |
| Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα-Προτάσεις .....                                    | 72 |
| 6.1 Βαρυτομετρικός διαχωρισμός .....  | 72 |
| 6.2 Μαγνητικός διαχωρισμός.....   | 72 |
| 6.3 Γενικά συμπεράσματα στον εμπλουτισμό .....                              | 73 |
| 6.4 Προτάσεις .....   | 73 |
| Βιβλιογραφία .....  | 74 |
| Παράρτημα .....   | 76 |

## Εισαγωγή

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο μελέτης την ορυκτολογική εξέταση και την εφαρμογή μεθόδων εμπλουτισμού (βαρυτομετρικός, μαγνητικός διαχωρισμός) σε δείγματα σιδηρομεταλλεύματος της περιοχής Ρέντα-Αρολίθι (Νομός Ρεθύμνου). Στο μέταλλευμα έγινε θραύση και έπειτα κοσκίνηση των αρχικών δειγμάτων. Στο βαρυτομετρικό διαχωρισμό τα ορυκτά διαχωρίζονται σύμφωνα με τα ειδικά τους βάρη, ενώ στο μαγνητικό διαχωρισμό διαχωρίζονται ανάλογα με τις μαγνητικές τους ιδιότητες.

Στην Ελλάδα απαντώνται αξιόλογα κοιτάσματα σιδηρομεταλλευμάτων, που κατά καιρούς υπήρξαν υπό καθεστώς εκμετάλλευσης. Στους νομούς Χανίων και Ρεθύμνου σημειώνεται ότι υπάρχουν περισσότερο κοιτάσματα μαλακών σιδηρομεταλλευμάτων. Αξίζει να σημειωθεί ότι στο παρελθόν τα κοιτάσματα σιδηρομεταλλευμάτων των περιοχών Σκινέ, Κακόπετρος και Ραβδούχων στο νομό Χανίων έχουν εξορυχτεί. Ένας μεγάλος αριθμός κοιτασμάτων, όπως αυτά των περιοχών Δρακώνα, Σκλαβοπούλα κ.α. στο Νομό Χανίων καθώς και Αρολίθι, Καλλικράτη, Σίσσες κ.α. στο Νομό Ρεθύμνου, δεν έχουν επαρκώς διερευνηθεί σχετικά με τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά και τις δυνατότητες εμπλουτισμού.

Για την ορυκτολογική εξέταση, έγινε χρήση της περιθλασιμετρίας ακτίνων-X (XRD). Η περιγραφή των ιστολογικών χαρακτηριστικών και η παρατήρηση των κοκκομετρικών κλασμάτων των μεθόδων εμπλουτισμού πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο μικροσκοπίας ανακλωμένου φωτός. Μικροσκοπική εξέταση μεμονωμένων δειγμάτων έγινε επίσης με ηλεκτρονικό μικροσκοπίου σάρωσης (SEM) τύπου JEOL JSM5400, σε συνδυασμό με EDS-μικροανάλυσεις. Όσο αφορά τις χημικές αναλύσεις έγιναν με τη μέθοδο της φασματοσκοπίας ακτίνων-X φθορισμού (XRF).

# Κεφάλαιο 1: Σίδηρος

## 1.1 Γενικά

Τα πρώτα μέταλλα που χρησιμοποιήθηκαν από τον άνθρωπο στην παλαιολιθική εποχή ήταν τα αυτοφυή μέταλλα χρυσός, άργυρος και χαλκός όπως επίσης και σπάνια κομμάτια σιδήρου από πτώση μετεωριτών. Ο χαλκός θεωρείται ότι ήταν το πρώτο μέταλλο που παρήχθη από πρωτόγονες καμίνους περίπου το 4000 π.Χ. Σύντομα όμως άρχισε να αντικαθίσταται από τον μπρούτζο ένα κράμα χαλκού με περίπου 10 % κασσίτερο που είναι εύκολο να τηχθεί και να χυτευθεί. Ο σίδηρος έγινε γνωστός αρκετά χρόνια αργότερα παρά το γεγονός ότι είναι πολύ περισσότερο διαδεδομένος από το χαλκό στο στερεό φλοιό. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο χαλκός μπορεί να σφυρηλατηθεί ψυχρός ενώ ο σίδηρος μόνο θερμός. Η εποχή του σιδήρου ξεκίνησε περίπου το 2000 π.Χ. Είναι γνωστό ότι τα μέταλλα που χρησιμοποιούνταν στην αρχαιότητα ήταν αυτά που είτε ήταν σε αυτοφυή μορφή είτε παραγόταν εύκολα με αναγωγή των οξειδίων τους σε θερμοκρασίες όχι μεγαλύτερες από 800 °C (χαλκός, σίδηρος, κασσίτερος και μόλυβδος), οι οποίες μπορεί να επιτευχθούν με καύση υλικών πλούσιων σε άνθρακα, είτε, τέλος, είχαν ακαθαρσίες που μειώναν σημαντικά το σημείο τήξης 1100 °C ενώ το καθαρό μέταλλο 1540 °C. Κατά τη διάρκεια του μεσαίωνα εμφανίστηκαν οι αλχημιστές (8<sup>ος</sup> και 9<sup>ος</sup> αιώνας), οι οποίοι προσπαθούσαν να μετατρέψουν βασικά μέταλλα, όπως ο σίδηρος, σε πολύτιμα μέταλλα, όπως ο χρυσός. Η μεγάλη ανάπτυξη της μεταλλουργίας, και ειδικά της μεταλλουργίας σιδήρου, άρχισε το 1607 μ.Χ., όταν μπόρεσε να παραχθεί μεταλλουργικό κωκ (κύρια σύνθεση του μεταλλουργικού κωκ έχει ως εξής: σταθερό άνθρακα, θείο, άζωτο, υδρογόνο, οξυγόνο, τέφρα και πτητικό υλικό) από λιγνίτη (Κομνίτσας, 2010).

Ο σίδηρος αποτελεί το σπουδαιότερο μέταλλο από πλευράς παραγωγής και τεχνολογικών εφαρμογών. Από πλευράς εμφάνισης στο στερεό φλοιό της Γης, έρχεται 4<sup>ος</sup> μετά το οξυγόνο, το πυρίτιο και το αλουμίνιο. Η μέση σύσταση της Γης σε σίδηρο υπολογίζεται 4.15 % Fe, περίπου. Συναντάται σε μικρές ποσότητες σε όλα τα γαιώδη υλικά και σε μεγάλες στα σιδηρομεταλλεύματα, όπου ευρίσκεται κυρίως υπό τη μορφή οξειδίων Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (αιματίτης) και Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (μαγνητίτης), αλλά και ως θειούχο ορυκτό FeS<sub>x</sub>, ως ανθρακικό FeCO<sub>3</sub>, ως πυριτικό FeSiO<sub>3</sub> και υπό μορφή πολλών άλλων ορυκτών δευτερεύουσας σημασίας. Ο καθαρός Fe έχει γκρίζο – ανοικτό χρώμα και είναι μαλακός σε σχέση με το χάλυβα. Είναι ελατός και μαγνητικός και μπορεί να υποστεί σφυρηλάτηση. Σε θερμοκρασίες άνω των 768 °C χάνει τις μαγνητικές του ιδιότητες. Συνήθεις ακαθαρσίες στο Fe είναι ο C, το Si, ο P και το S. Ο Fe με τον άνθρακα σχηματίζουν μια σημαντική σειρά κραμάτων, τους χάλυβες. Η παρουσία των ακαθαρσιών μειώνει σημαντικά το σημείο τήξης και άλλες φυσικοχημικές ή μηχανικές ιδιότητες του Fe (παρουσία 2 % άνθρακα στο σίδηρο μειώνει το σημείο τήξης του σιδήρου από τους 1539 °C στους 1360 °C περίπου) (Ζευγώλης, 2014).

## 1.2 Εμφανίσεις κοιτασμάτων σιδήρου

Τα κοιτάσματα σιδήρου εμφανίζονται ως:

### 1) μαγματικά πρωτογενή, μετάθετα και περιμαγματικά.

Τα μαγματικά και περιμαγματικά κοιτάσματα σιδήρου βρίσκονται στα πλουτώνια κυρίως πετρώματα. Εδώ υπάγεται κι ο αυτοφυής σίδηρος.

### 2) επιγενή: α) φλεβικά και β) κοιτάσματα αντικατάστασης ασβεστολίθου.

α) *Φλεβικά*: Δεν έχουν βιομηχανική αξία. Βρίσκονται στα Ιμαλαία, στη Βόρεια Αφρική και Ασία, στη Μεσόγειο και στα Πυρηναία.

β) *Κοιτάσματα αντικατάστασης ασβεστολίθων*: Κυριότερα είναι του Κούμβερανοδ και Λανκασάιρ στην Αγγλία, της Βισκαΐας στην Ισπανία, των Πυρηναίων και της νοτιοδυτικής Γαλλίας, της Σικελίας, του νησιού Έλβα και Σερίφου, και σ' άλλα μέρη της Ελλάδας, όπως στο Γραμματικό της Αττικής και στο Λαύριο.

### 3) ιζηματογενή κοιτάσματα

*Ιζηματογενή κοιτάσματα*: Είναι τα πιο σπουδαία από όλα. Σχηματίστηκαν στην Ευρώπη και στην Αμερική κυρίως. Διακρίνονται σε θαλάσσια, λιμναία και ηπειρωτικά.

α) *Θαλάσσια*: Σπουδαία είναι της Ντάνεμορ, που είναι καθαρά και χωρίς φώσφορο. Στις Η.Π.Α. και κυρίως στην Άνω Λίμνη, βρίσκονται τα 7:8 της παραγωγής της Αμερικής. Τα κοιτάσματα αυτά απέχουν περισσότερο από 1500 χιλ. απ' τον τόπο της εκκαμίνευσής.

β) *Λιμναία και ηπειρωτικά*: Βρίσκονται στην κάτω Αλσατία, στη Σικελία, στο Βανάτο, στη Φινλανδία κ.ά. ([Live-pedia.gr](http://Live-pedia.gr))

## 1.3 Ο σίδηρος και τα κράματά του

Κράματα: είναι τα υλικά που αποτελούνται από δύο ή περισσότερα στοιχεία, από τα οποία το ένα τουλάχιστον είναι μέταλλο και εμφανίζουν τις ιδιότητες των μετάλλων.

Ο σίδηρος πολύ σπάνια χρησιμοποιείται στη χημικά καθαρή του μορφή. Συνήθως, είναι αναμεμειγμένος με άλλα στοιχεία, όπως άνθρακα, μαγγάνιο, νικέλιο, χρώμιο, πυρίτιο, κ.ά. Αναλόγως των ιδιοτήτων και του τρόπου παρασκευής τους, διακρίνουμε τις εξής γενικές κατηγορίες κραμάτων σιδήρου :

- Ακατέργαστος χυτοσίδηρος. Ο τύπος αυτός του χυτοσιδήρου προέρχεται απ' ευθείας από την υψικάμνο υπό μορφή ακατέργαστων κομματιών διαφόρων σχημάτων. Υπό τη μορφή αυτή ο χυτοσίδηρος δε χρησιμοποιείται, γιατί δεν είναι εύκολη η κατεργασία του, και δεν έχει τις κατάλληλες μηχανικές ιδιότητες. Οι περιεκτικότητες σε σίδηρο (Fe) είναι 92-97%.



- Χυτοσίδηρος χυτηρίου. Ο ακατέργαστος χυτοσίδηρος της υψικαμίνου για να γίνει υλικό κατάλληλο για χύτευση, υφίσταται διάφορες θερμικές κατεργασίες σε ρευστή κατάσταση και προστίθενται και διάφορα άλλα μέταλλα για τη βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων του. Τα συνηθισμένα στοιχεία που προστίθενται στο κράμα είναι, το νικέλιο (Ni), το χρώμιο (Cr), το αλουμίνιο, το μολυβδένιο (Mo), ο χαλκός (Cu), κ.α.
- Χάλυβες άνθρακα. Οι χάλυβες του τύπου αυτού περιέχουν κυρίως σίδηρο και άνθρακα σε ποσοστά που ποικίλουν από 0-1.81%. Αναλόγως της περιεκτικότητας του χάλυβα σε άνθρακα μεταβάλλονται και οι μηχανικές ιδιότητές του. Το βασικό πλεονέκτημα των χαλύβων άνθρακα είναι η χαμηλή τιμή τους σε σχέση με τα άλλα κράματα χάλυβα, δεν παρουσιάζουν όμως την ποικιλία ιδιοτήτων που απαιτεί η σύγχρονη τεχνολογία.
- Κράματα χάλυβα. Διαχωρίζονται στις εξής κατηγορίες :
  - I. Χάλυβες Μαγγανίου.
  - II. Χάλυβες Νικελίου.
  - III. Χάλυβες Νικελίου-Χρωμίου, Νικελίου-Χρωμίου-Μολυβδαινίου, Νικελίου-Χρωμίου-Βαναδίου. Χάλυβες Χρωμίου.
  - IV. Χάλυβες Μολυβδαινίου.
  - V. Χάλυβες Χρωμίου-Μολυβδαινίου
  - VI. Ανοξείδωτοι Χάλυβες
  - VII. Χάλυβες πυριτίου
  - VIII. Ταχυχάλυβες (<https://technicaleducationforum.wikispaces.com>)

## 1.4 Χώρες παραγωγής και κυριότερα κοιτάσματα σιδήρου

Η παγκόσμια παραγωγή σιδήρου (Εικόνα 1.1) βασίζεται κυρίως στη Σοβιετική Ένωση, Αυστραλία και ΗΠΑ. Σημαντική είναι όμως και η παραγωγή στη Νότιο Αμερική (Βραζιλία, Χιλή, Βενεζουέλα), Ευρώπη (Γαλλία, Δυτική Γερμανία, Σουηδία, Λουξεμβούργο, Βέλγιο, Μεγάλη Βρετανία, Ισπανία), Βόρεια Αμερική (Καναδάς, Κούβα, Μεξικό), Ασία (Ινδία, Κίνα) και Αφρική (Νότια Αφρική, Λεσότο, Ζιμπάμπουε, Μποτσβάνα, Ναμίμπια, Μοζαμβίκη, Αλγερία, Τυνησία, Μαρόκο).

### 1.4.1 Κοιτάσματα περιοχής Kiruna

Τα σημαντικότερα κοιτάσματα της περιοχής είναι το Kiirunavaara (νότια της πόλεως Kiruna), Luossavaara, Rektorsmalmen, Haukivaara, Henrymalmen και Nukutusvaara (βόρεια της Kiruna). Η μεταλλοφόρος ζώνη (με υψηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο) από το νότιο τμήμα της Kiirunavaara μέχρι το βόρειο τμήμα της Nukutusvaara καλύπτει μια απόσταση περί τα 12 χλμ. Το μεγαλύτερο κοιτάσμα στον κόσμο υψηλής περιεκτικότητας είναι αυτό της Kiirunavaara. Το κοιτάσμα έχει ένα μήκος περί τα 4 χλμ, το πάχος κυμαίνεται από 20-200 μέτρα και το ύψος του είναι μεγαλύτερο από τα 350 μέτρα. Το κοιτάσμα που αποτελείται

κυρίως από μαγνητίτη με συμφύσεις από απατίτη εισχωρεί υπό μορφή φλεβιδίων στα γύρω πετρώματα και έτσι δημιουργείται μια ζώνη λατυποπαγούς μεταλλεύματος. Το κοιτάσμα σε ορισμένα τμήματα του είναι πολύ πλούσιο σε σίδηρο. Το κοιτάσμα και γενικότερα τα κοιτάσματα της περιοχής Kiruna χαρακτηρίζονται σαν ορθομαγματικά ή σαν ηφαιστειοϊζηματογενή (συνήθως επικρατεί το δεύτερο). Τα αποθέματα της Kiirunavaara είναι περίπου 226 εκ τόνοι κοιτάσμα ενώ τα πιθανά υπολογίζονται ότι μπορούν να φτάσουν τα 520 εκ. τόνους κοιτάσμα. Τα κοιτάσματα της περιοχής βόρεια της πόλεως Kiruna έχουν πολλά κοινά σημεία με αυτό της Kiirunavaara. ([www.geo.auth.gr](http://www.geo.auth.gr))



Εικόνα 1.1: Παγκόσμια παραγωγή σιδήρου ([mapsofworld.com](http://mapsofworld.com))

#### 1.4.2 Ελληνικά μεταλλεύματα σιδήρου

Στην Ελλάδα μέχρι το 1965 υπήρχαν αρκετά ορυχεία εκμετάλλευσης σιδήρου. Τα σιδηρομεταλλεύματα της Ελλάδας αποτελούνται κυρίως από μαγνητίτη, αιματίτη και λειμωνίτη και βρίσκονται κυρίως μέσα σε μάρμαρα ή σε επαφές τους με σχιστόλιθους. Με το ρυθμό που επικρατούσε όσο καιρό λειτουργούσαν τα μεταλλεία υπολογίζεται ότι σε 20 χρόνια είχαν εξαχθεί πάνω από 10 εκ. τόνοι σιδηρομετάλλευμα. Χώρες όπως η Αυστραλία, Βραζιλία, Ινδία κ.ά με τα τεράστια σε όγκο, πλούσια σε περιεκτικότητα επιφανειακά κοιτάσματα και με τις σύγχρονες εκμεταλλεύσεις τους έχουν μειώσει το κόστος παραγωγής του σιδηρομεταλλεύματος. Τα σχετικά μικρά μεταλλεία της Ελλάδας δεν μπορούν να ανταγωνιστούν στην Ευρώπη. Όταν τα ελληνικά μεταλλεία λειτουργούσαν ο κυριότερος

αγοραστής ήταν η Ευρώπη και, κυρίως, η Γερμανία. Τα αποθέματα της Ελλάδας σε σιδηρομετάλλευμα παρ' ότι υπάρχουν πολυάριθμες εμφανίσεις δεν είναι γνωστά με ακρίβεια, διότι μόνο σε περιορισμένες περιπτώσεις/ περιοχές έχουν διενεργηθεί συστηματικές έρευνες. Τα σιδηρομεταλλεύματα που παρουσιάζουν μεγαλύτερο ενδιαφέρον στην Ελλάδα είναι αυτά της Θάσου και της Σερίφου.

Τα σιδηρομεταλλεύματα της Ελλάδας κατατάσσονται σε δύο ομάδες :

- α) μαλακό σιδηρομετάλλευμα και
- β) σκληρό σιδηρομετάλλευμα.

Τα μαλακά σιδηρομεταλλεύματα της χώρας συνδέονται γενετικά με μαγματική δράση, κυρίως είναι υδροθερμικά ή μετασωματικά συνδυάζονται σχεδόν πάντοτε με φαινόμενα αντικατάστασης. Υπάρχουν όμως και ιζηματογενή και αυτά τα οποία υπέστησαν μεταμόρφωση.

Τα σκληρά σιδηρομεταλλεύματα κυρίως λατεριτικής προέλευσης είναι χρωμιούχα και περιέχουν πάντοτε νικέλιο και για αυτό χαρακτηρίζονται σαν σιδηρονικελιούχα μεταλλεύματα.

Στη Θάσο 50 κοιτάσματα υπέστησαν εκμετάλλευση. Σε διάφορα σημεία της νήσου και κατά κανόνα μέσα σε μάρμαρα βρίσκονται τα φλεβικά κοιτάσματα σιδήρου, αλλά κυρίως τα εξ αντικαταστάσεως. Στη νήσο Σέριφο ορισμένες περιοχές υπέστησαν έντονη εκμετάλλευση, υπολογίζεται ότι έχουν εξαχθεί τουλάχιστον 6 εκ. τόνοι σιδηρομεταλλεύματος. Σε περισσότερες από 25 θέσεις έχουν εντοπιστεί κοιτάσματα στη Σέριφο. Αποτελούνται είτε από μαγνητίτη είτε από λειμωνίτη και αιματίτη. Στην Καβάλα γύρω από το γρανίτη συναντώνται σιδηρομαγγανιούχα μεταλλεύματα της ίδιας μορφής και γένεσης με αυτά της Θάσου. Τα μεταλλεύματα αποτελούνται από λειμωνίτη, πυρολουσίτη, σιδηροπυρίτη με συνοδεία σφαλερίτη, γαληνίτη χαλαζία και ασβεστίτη. Στο Γραμματικό της Αττικής έχει εξορυχθεί μετάλλευμα με 50-52 % Fe, 2-3 % Mn, 3.5 SiO<sub>2</sub> και 4% CaO. Τα μεταλλεύματα αυτά αποτελούνται από λειμωνίτη, αιματίτη και πυρολουσίτη και συνοδεύονται από ασβεστίτη και χαλαζία. Στην Αττική απαντούν περίπου 25 εμφανίσεις σιδηρομαγγανιούχων μεταλλευμάτων. Στην Θράκη 10 περίπου εμφανίσεις, στο νομό Δράμας 45 εμφανίσεις. Στο νομό Σερρών απαντούν 35 περίπου εμφανίσεις, όπου οι 20 από αυτές βρίσκονται στο Άγκιστρο αποτελούνται κυρίως από λειμωνίτη και απαντούν σε μάρμαρο και σχιστόλιθους. Στο νομό Κιλκίς αναφέρονται 10 περίπου εμφανίσεις. Στη Χαλκιδική έχουμε 5 εμφανίσεις με σημαντικότερη αυτή μεταξύ Στρατώνι και Στρατονίκης (μεταλλεία Σεβαλιέ). Είναι υδροθερμικά αποτελούνται από λειμωνίτη, σιδηροπυρίτη, γαληνίτη, σφαλερίτη, χαλαζία και αστρίους. Στην υπόλοιπη Μακεδονία αναφέρονται άλλες 22 περίπου εμφανίσεις, στη Θεσσαλία περίπου 8 εμφανίσεις και στην Εύβοια περίπου 14. Στην Πελοπόννησο περίπου 40 εμφανίσεις με σημαντικότερες αυτές στον Άγιο Ελισαίο (Λακωνίας) χαμηλής περιεκτικότητας.

Στην Κρήτη αναφέρονται 23 περίπου εμφανίσεις με σημαντικότερες τις 6 εμφανίσεις στο Σκινέ (Χανίων). Τα κύρια ορυκτά που εμφανίζονται είναι λειμωνίτης και αιματίτης. Έγινε ήδη εκμετάλλευση 200.000 τόνων μεταλλεύματος περιεκτικότητας 48 % σιδήρου, 2% μαγγανίου και ίχνη Φωσφόρου. Τα απομείναντα αποθέματα υπολογίζονται σε 1 εκ τόνους περίπου. Στα υπόλοιπα νησιά του Αιγαίου αναφέρονται περίπου 80 εμφανίσεις με σημαντικότερες αυτές στη Σέριφο και στη νήσο Ικαρία. Τα μεταλλεύματα της Ικαρίας αποτελούνται από λειμωνίτη συνοδεύονται από ασβεστίτη και χαλαζία. Τα συνολικά αποθέματα μπορεί να ξεπερνούν τους 100.000 τόνους. Η ποιότητα κυμαίνεται 27-55% Fe, 2-32% SiO<sub>2</sub>, 0.0-0.09 % P, και 1-27.5 %CaO. (<http://www.geo.auth.gr>)

## 1.5 Βιομηχανία παραγωγής σιδήρου και χάλυβα

Το μεταλλουργικό κωκ είναι βασικό συστατικό της παραγωγής σιδήρου σε υψικαμίνους, όπου χρησιμοποιείται τόσο ως καύσιμο όσο και ως αναγωγικό μέσο. Παράγεται από την θέρμανση άνθρακα σε ειδικές καμίνους απουσία αέρα. Οι μονάδες παραγωγής κωκ συνήθως βρίσκονται εντός ή πλησίον μονάδων παραγωγής σιδήρου ή χάλυβα. Τα αέρια και τα πτητικά που παράγονται κατά τη διεργασία αυτή αποτελούν πολύτιμες πρώτες ύλες για τη χημική βιομηχανία. Τα αέρια περιέχουν υδρογόνο το οποίο χρησιμοποιείται για την παραγωγή αμμωνίας, ενώ τα πτητικά χρησιμοποιούνται για την παραγωγή οργανικών ενώσεων, όπως βενζένιο, τολουένιο, ναφθαλίνη. (Κομνίτσας, 2010)

### Μέθοδοι άμεσης αναγωγής σιδηρομεταλλευμάτων

Το χαρακτηριστικό γνώρισμα των μεθόδων άμεσης αναγωγής είναι ότι οι χημικές αντιδράσεις αναγωγής των οξειδίων του σιδήρου συμβαίνουν σε θερμοκρασίες κάτω από το σημείο τήξης του μεταλλεύματος και ότι το φρύγμα που παράγεται ευρίσκεται επίσης σε στερεή κατάσταση. Δηλαδή σε θερμοκρασίες, 1000-1100° C συνήθως. Έτσι, τα οξείδια των στοιχείων Si, Mn, Cr, P κλπ, τα οποία ανάγονται σε υψηλότερες θερμοκρασίες και ρυπαίνουν το σίδηρο, δεν ανάγονται και παραμένουν μέσα στο στείρο υλικό, το οποίο συνοδεύει το μέταλλο. Με την απομάκρυνση του στείρου υλικού λαμβάνεται μεταλλικός Fe σε στερεή κατάσταση (DRI= Direct Reduce Iron), ο οποίος καλείται **σπογγώδης σίδηρος** εξαιτίας της πορώδους μορφής του και χαρακτηρίζεται από υψηλό βαθμό καθαρότητας. Έτσι, με την άμεση αναγωγή παρακάμπτεται το ενδιάμεσο ρευστό ενανθρακωμένο μέταλλο, (χυτοσίδηρος) και παράγεται από το στερεό σπογγώδη σίδηρο, σίδηρος ή χάλυβας χωρίς το στάδιο της απανθράκωσης και της κάθαρσης.

Ακατέργαστα βιομηχανικά προϊόντα σιδήρου :

- Σπογγώδης σίδηρος (χρησιμοποιείτο μόνο όταν έπρεπε να παραχθούν ειδικές ποιότητες χάλυβα ή υπήρχαν διαθέσιμες οι πρώτες ύλες για την παραγωγή σπογγώδους σιδήρου σε μια γεωγραφική περιοχή).
- Χυτοσίδηρος (τα πλούσια μεταλλεύματα αιματίτη και μαγνητίτη με μικρή περιεκτικότητα SiO<sub>2</sub> είναι οι κύριες πηγές χυτοσιδήρου).

- Χάλυβας (ο χάλυβας είναι τα ακατέργαστα βιομηχανικά προϊόντα σιδήρου με περιεκτικότητα σε C= 0,025- 2,0 %. Πρόκειται για στερεά διαλύματα παρεμβολής του άνθρακα στο σίδηρο. Είναι οι κοινοί χάλυβες, χωρίς προσθήκες (εκτός από τις συνήθεις ακαθαρσίες).

(σιδηροκράματα, είναι κράματα στοιχείων με σίδηρο. Συχνά έχουν και μια ποσότητα άνθρακα C= 0-8 %. Χρησιμοποιούνται στην κάθαρση, στη ρύθμιση και στην κραμάτωση).

Κεκραμένοι χάλυβες ή ειδικοί χάλυβες είναι χάλυβες με προσθήκες στοιχείων, τα οποία τους προσδίδουν ορισμένες φυσικοχημικές ιδιότητες. Διακρίνονται σε ελαφρώς κεκραμένους, όταν οι προσθήκες έχουν σύνολο κάτω του 5% και σε ισχυρώς κεκραμένους, όταν έχουν σύνολο άνω του 5 %.

Χάλυβες χύτευσης ή χυτοχάλυβες. Χρησιμοποιούνται για απευθείας χύτευση αντικειμένων σε κατάλληλους τύπους, οι οποίοι έχουν τη μορφή του αντικειμένου.

Χάλυβες διαμόρφωσης, παράγονται μετά από κατεργασία, με πλαστική παραμόρφωση, αρχικών πλινθωμάτων με μηχανές της μεταλλοτεχνίας. Έτσι, λαμβάνονται μορφοποιημένα προϊόντα τα οποία χρησιμοποιούνται κατευθείαν ή μετά από διαμόρφωση με εργαλεία κοπής σε εργαλειομηχανές.

#### Μέθοδοι παραγωγής χάλυβα

Οι μέθοδοι παραγωγής χάλυβα διακρίνονται σε δυο κατηγορίες. Στη μια ανήκουν οι μέθοδοι στις οποίες εφαρμόζεται εμφύσηση αερίου. Στην άλλη δεν εφαρμόζεται εμφύσηση αερίου. Όταν εφαρμόζεται εμφύσηση, το αέριο είναι ατμοσφαιρικός αέρας ή καθαρό οξυγόνο. Η χαλυβοποίηση με εμφύσηση αέρα επιτυγχάνεται με τις μεθόδους Bessemer, Thomas και Siemens Martin. Η χαλυβοποίηση με εμφύσηση οξυγόνου επιτυγχάνεται με τις μεθόδους LD, OBM, συνδυασμένης εμφύσησης και ηλεκτρικής καμίνου με εμφύσηση αερίων καυσίμων, κλπ. Η χαλυβοποίηση χωρίς εμφύσηση αερίου γίνεται με τη μέθοδο της ηλεκτρικής καμίνου τήξης και αφορά τη χαλυβοποίηση scrap χωρίς ακαθαρσίες (Ζευγώλης, 2014 ).

### **1.5.1 Ελληνικές χαλυβουργίες**

Η ελληνική μεταλλουργική βιομηχανία έχει μεγάλη παράδοση και εξειδίκευση στην παραγωγή ποιοτικών μορφοποιημένων προϊόντων χάλυβα με δραστηριοποίηση 3 ελληνικών επιχειρήσεων στον κλάδο (ΣΙΔΕΝΟΡ, Χαλυβουργική και Χαλυβουργία Ελλάδος) και της Hellenic Steel (θυγατρική της ιταλικής RIVA) με έξι βιομηχανικές μονάδες στην Ελλάδα και αρκετές θυγατρικές στο εξωτερικό. Η σημασία της ποιότητας του scrap στην παραγωγική διαδικασία, αποτυπώνεται στον αυστηρό έλεγχο ποιότητας τόσο κατά την προμήθεια όσο και κατά την παραλαβή του παλαιοσιδήρου στα εργοστάσια. Στις ελληνικές χαλυβουργίες, η παραγωγή προϊόντων χάλυβα βασίζεται στην τήξη παλαιοσιδήρου (scrap) με χρήση ηλεκτρικών καμίνων (EAF, Electric Arc Furnace). Με αυτή τη μέθοδο παραγωγής, πραγματοποιείται ανακύκλωση του παλαιοσιδήρου συμβάλλοντας με αυτό τον τρόπο στην προστασία του περιβάλλοντος και στον περιορισμό εξόρυξης μη ανανεώσιμων ορυκτών



πρώτων υλών. Τα τελικά μορφοποιημένα προϊόντα, αφού ψυχθούν, κόβονται και συσκευάζονται ανάλογα με την μορφή τους σε α) ευθύγραμμες ράβδους για οπλισμό σκυροδέματος, β) μανδύες (κλωβούς) υποστυλωμάτων γ) συμπαγείς ρόλλους (κουλούρες) και χονδρόσυρμα σε κουλούρες δ) δομικά και κοινά πλέγματα ε) προϊόντα μορφοποιημένα (ταφ, πι, γωνίες, λαμαρίνες, λάμες, χαλύβδινες ίνες, κλπ.) και στ) χαλυβδοσωλήνες (κοιλοδοκοί), κλπ. (<http://www.orykta.gr>).

#### ♦ Χαλυβουργία Ελλάδος

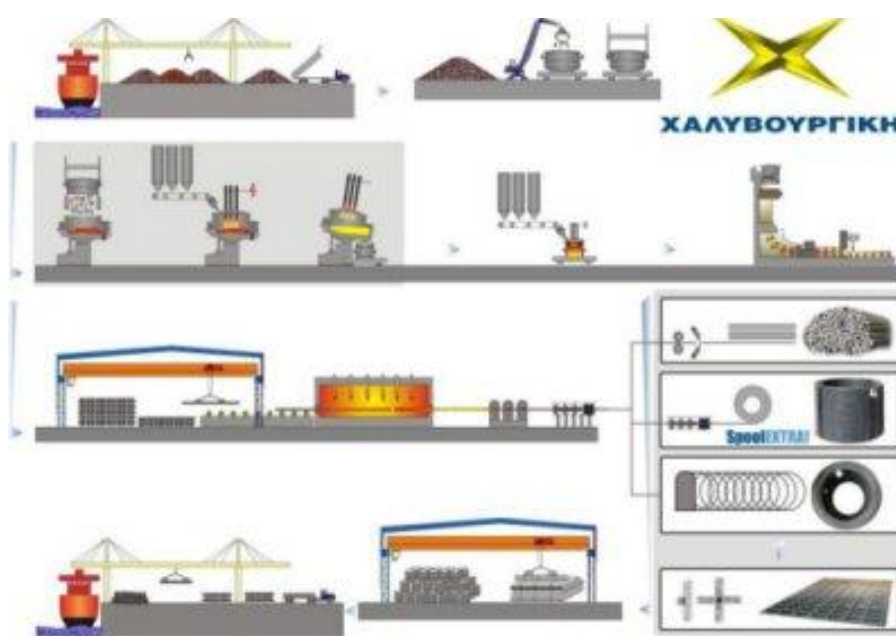
Το 1938 ιδρύεται η Ελληνική Χαλυβουργία, η πρώτη βιομηχανία χάλυβα στην Ελλάδα και μια από τις μεγαλύτερες βιομηχανίες της χώρας. Από το 1986, με την εγκατάσταση υπερσύγχρονων μηχανημάτων παραγωγής πλεγμάτων, η Ελληνική Χαλυβουργία κατέχει την πρώτη θέση στην ελληνική αγορά πλέγματος. Το 1963 ιδρύεται η Χαλυβουργία Βόλου. Το 1974 μετονομάζεται σε Χαλυβουργία Θεσσαλίας και ξεκινά η λειτουργία του εργοστασίου της στο Βελεστίνο. Το 2006 οι δύο ιστορικές εταιρείες ενώνουν τις δυνάμεις τους και υπογράφουν με ένα νέο όνομα : **Χαλυβουργία Ελλάδος** (<http://www.hlv.gr/index.php/>).

#### ♦ ΣΙΔΕΝΟΡ

Ο Όμιλος Σιδενόρ δραστηριοποιείται στον κλάδο παραγωγής, μεταποίησης και εμπορίας προϊόντων χάλυβα αποτελώντας σήμερα τη μεγαλύτερη ελληνική βιομηχανία παραγωγής προϊόντων χάλυβα, με ηγετική θέση τόσο στην Ελλάδα, όσο και στη Νοτιοανατολική Ευρώπη. Η επιχειρηματική πορεία του Ομίλου Σιδενόρ ξεκίνησε το 1962 και σήμερα είναι ένας πλήρως καθετοποιημένος όμιλος επιχειρήσεων με 36 θυγατρικές και συγγενείς εταιρείες, εκ των οποίων οι 18 δραστηριοποιούνται στο εξωτερικό. Οι παραγωγικές μονάδες του Ομίλου λειτουργούν στην Ελλάδα, στη Βουλγαρία, στην Π.Γ.Δ.Μ. και στην Αυστραλία. Η επέκταση στη Νοτιοανατολική Ευρώπη ξεκίνησε το 2001 με την απόκτηση της Stomana Industry στη Βουλγαρία, στην οποία ο Όμιλος Σιδενόρ συνεχίζει να επενδύει στοχεύοντας στην παραγωγή προϊόντων υψηλής προστιθέμενης αξίας, στην αύξηση της παραγωγικής δυναμικότητάς του, στη βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων καθώς και στη μείωση του κόστους παραγωγής. Το 2006, ο Όμιλος Σιδενόρ επεκτείνει τη διείσδυσή του στην αγορά της Νοτιοανατολικής Ευρώπης, μέσω της εταιρίας Dojran Steel στη Π.Γ.Δ.Μ., με εργοστάσιο παραγωγής επιμήκων προϊόντων χάλυβα, καλύπτοντας τις ανάγκες της τοπικής αγοράς και του Κοσσόβου. Από το 2007 έως το 2011, αναπτύσσεται ευρύ εμπορικό δίκτυο στη Σερβία (μέσω της Sidebalk Steel), στην Αλβανία (μέσω της Sideral Steel) και στη Ρουμανία (μέσω της Siderom Steel) με σκοπό την πληρέστερη κάλυψη των τοπικών αγορών και της ευρύτερης περιοχής. Οι παραγωγικές εγκαταστάσεις του Ομίλου αναβαθμίζονται και επεκτείνονται συνεχώς μέσα από ένα εκτεταμένο μακροχρόνιο επενδυτικό πρόγραμμα ύψους πάνω από 860 εκ. ευρώ για την περίοδο 1998 – 2014. Τα προϊόντα του Ομίλου Σιδενόρ καλύπτουν τις πιο απαιτητικές ανάγκες των πελατών στην Ελλάδα και το εξωτερικό. Οι δραστηριότητες του Ομίλου Σιδενόρ είναι πλήρως καθετοποιημένες και διακρίνονται στους τομείς της α) χαλυβουργίας / ελασματοουργείας β) περαιτέρω επεξεργασίας προϊόντων χάλυβα (καθετοποίηση) γ) πωλήσεων και διανομής των προϊόντων (<http://sidenor.gr>)

## ♦ ΧΑΛΥΒΟΥΡΓΙΚΗ

Η Χαλυβουργική είναι η ιστορικότερη ελληνική χαλυβουργία με εμπειρία άνω των 80 ετών στην παραγωγή χαλυβουργικών προϊόντων. Κατά τις δεκαετίες του 1960 και 1970 υπήρξε η μοναδική, πλήρως καθετοποιημένη χαλυβουργία στην Ελλάδα η οποία χρησιμοποιούσε σιδηρομετάλλευμα ως πρώτη ύλη για την παραγωγή τελικών προϊόντων. Η χαλυβουργική, έχοντας ολοκληρώσει το πρόγραμμα επενδύσεων της σε νέες και καινοτόμες τεχνολογίες, διαθέτει και λειτουργεί ένα από τα πλέον σύγχρονα συγκροτήματα παραγωγής χάλυβα και επιμηκών προϊόντων χάλυβα στον κόσμο (Εικόνα 1.2). Οι επενδύσεις αυτές, αφορούν σε ένα νέο υπερσύγχρονο χαλυβουργείο το οποίο παράγει όλες τις κατηγορίες χάλυβα με τις αυστηρότερες ποιοτικές προδιαγραφές, σε δυο νέα ελασματοουργεία, τα οποία εφαρμόζουν τη μοναδική τεχνολογία Συνεχούς Έλασης μπιγιέτας (Endless Rolling) για την παραγωγή επιμηκών προϊόντων. Η εταιρεία, επίσης, διαθέτει τρεις μονάδες παραγωγής δομικών πλεγμάτων και μανδυνών υποστυλωμάτων. Η πιο πρόσφατη επένδυση της Χαλυβουργικής, αφορά τη νέα μονάδα παραγωγής “Spooler Line”, η οποία παρέχει τη δυνατότητα παραγωγής προϊόντων χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος σε ειδικού τύπου κουλούρες, διεθνώς γνωστές ως “Compact Rebar Coils”. Η μονάδα αυτή, είναι η πρώτη που εγκαταστάθηκε στην Ελλάδα, γεγονός που καθιστά τη χαλυβουργική τον πρώτο και μοναδικό παραγωγό τέτοιου τύπου προϊόντων χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος στην Ελλάδα. Η χαλυβουργική, έχοντας ορίσει τη βαριά βιομηχανία στην Ελλάδα, αξιοποιεί την εμπειρία και την τεχνογνωσία της, συνεχίζει να καινοτομεί, να βελτιώνεται και να εξελίσσεται, αντιμετωπίζοντας τις προκλήσεις του μέλλοντος. (<http://www.halyvourgiki.com/>)

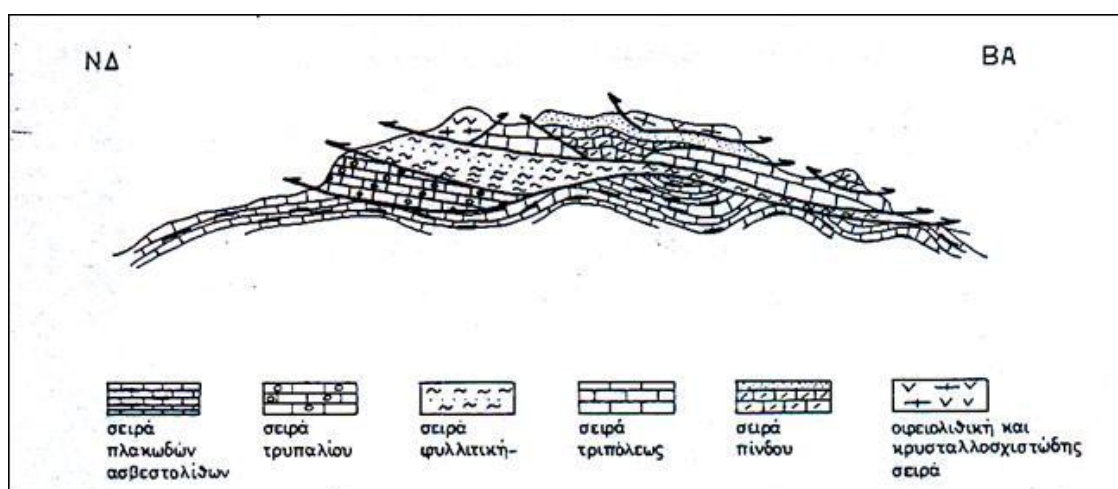


Εικόνα 1.2: Διαδικασία παραγωγής προϊόντων χάλυβα από scrap στη Χαλυβουργική Α.Ε

## Κεφάλαιο 2: Γεωλογία της Κρήτης

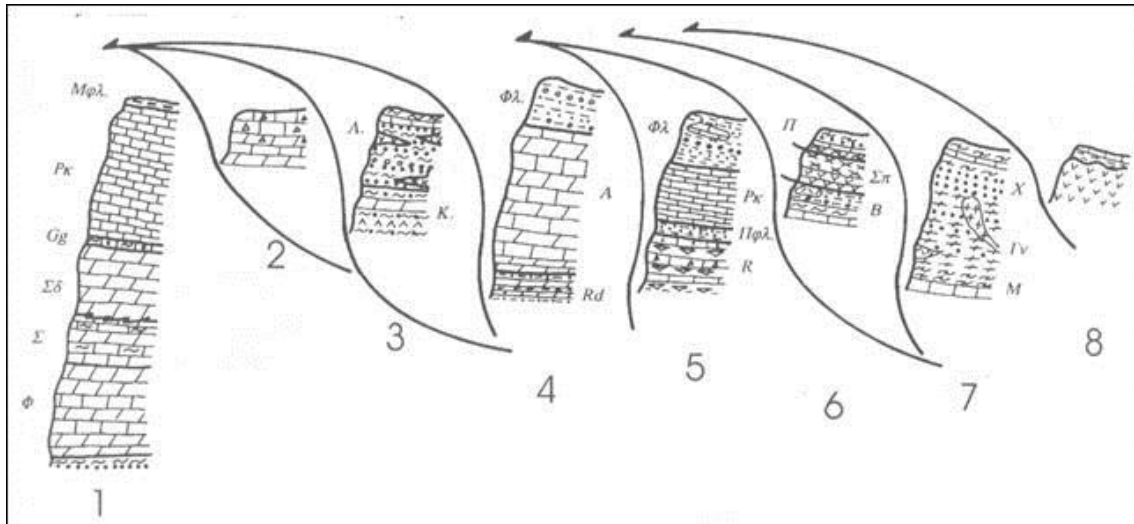
Η γεωλογία της Κρήτης εξετάζεται ιδιαίτερα γιατί χαρακτηρίζεται από τα αλληπάλληλα επωθημένα τεκτονικά καλύμματα (εικόνα 2.1 και 2.2) των Ελληνίδων ζωνών τα οποία συνωθούνται στο μικρό σχετικά γεωγραφικό χώρο του νησιού, με γενική κατεύθυνση από Βορρά προς Νότο.

Γενικά η Κρήτη συγκροτείται από ένα αυτόχθονο σύστημα που είναι η ενότητα των Πλακωδών Ασβεστόλιθων η οποία θεωρείται ότι ανήκει στην Ιόνιο Ζώνη, πάνω στο οποίο τοποθετούνται με λεπιοειδή τεκτονική τα καλύμματα των άλλων ζωνών και ενοτήτων. Η ενότητα των πλακωδών ασβεστόλιθων περιλαμβάνει κυρίως τυπικούς πλακώδεις ασβεστόλιθους με κερατολιθικές ενστρώσεις και κονδύλους, αλλά, επίσης, και μαζώδεις ασβεστόλιθους, δολομίτες ασβεστολιθικά κροκαλοπαγή και φυλλιτικές παρεμβολές. Η ενότητα αυτή έχει ηλικία από το Τριαδικό μέχρι το Ηώκαινο, είναι μεταμορφωμένη σε συνθήκες HP/LT (υψηλής πίεσης /χαμηλής θερμοκρασίας) και πιστεύεται ότι ανήκει στην Αδριατικοϊόνιο ζώνη. Αποτελεί το σχετικά αυτόχθονο υπόβαθρο της Κρήτης και αποκαλύπτεται σε πολλές περιοχές του νησιού υπό μορφή πολλαπλού τεκτονικού παράθυρου κάτω από τα αλληπάλληλα επωθημένα καλύμματα. Μεγάλες μάζες των ορεινών όγκων των Λευκών ορέων και της Ίδης, δομούνται από την ενότητα των Πλακωδών Ασβεστόλιθων .



Εικόνα 2.1: Σχηματική απεικόνιση της γεωλογικής δομής της Κρήτης με τα αλληπάλληλα τεκτονικά καλύμματα (ΠΕΣΔΑ, 2010).





Εικόνα 2.2: Σχηματική απεικόνιση της γεωλογικής δομής της Κρήτης με τα αλληπάλγηλα τεκτονικά καλύμματα 1. Πλακωδών ασβεστολίθων, 2. Τρυπαλίου, 3. Φυλλιτών-Χαλαζιτών, 4. Τρίπολης, 5. Πίνδου, 6. Τεκτονικού mélange, 7. Αστερουσίων, 8. Οφιόλιθοι (ΠΕΣΔΑ, 2010).

Πάνω στην ενότητα των Πλακωδών Ασβεστόλιθων βρίσκεται μια σειρά κροκαλοπαγών – λατυποπαγών ασβεστόλιθων που ονομάζεται «σειρά Τρυπαλίου». Η ηλικία της θεωρήθηκε Άνω Τριαδική – Κάτω Ιουρασική αν δεν αποκλείεται και πολύ νεώτερη ηλικία. Από γεωτεκτονική άποψη η σειρά Τρυπαλίου θεωρείται από άλλους μεν ως ανεξάρτητη ενότητα ενώ από άλλους θεωρείται επικλυσιογενής σειρά πάνω στους πλακώδεις ασβεστόλιθους και επομένως αποτελεί λιθοφασική πλευρική διαφοροποίηση της ίδιας της ενότητας των Πλακωδών Ασβεστόλιθων.

Επωθημένη πάνω στην ενότητα Πλακωδών Ασβεστόλιθων και στη σειρά Τρυπαλίου βρίσκεται η ενότητα «Φυλλιτών – Χαλαζιτών» ηλικίας Περμίου – Τριαδικού, που αποτελείται από φυλλίτες, χαλαζίτες μετα-κροκαλοπαγή, μετα-ψαμμίτες, φακοειδείς ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους, μεταβασίτες και μεταανδεσίτες. Η μεταμόρφωση των πετρωμάτων της ενότητας «Φυλλιτών – Χαλαζιτών» έγινε σε συνθήκες υψηλής πίεσης, που έλαβε χώρα στο Άνω Ολιγόκαινο, όπως και στην Πελοπόννησο.

Η γεωτεκτονική θέση της ενότητας Φυλλιτών – Χαλαζιτών παραμένει άγνωστη. Άλλοι τη θεωρούν υπόβαθρο των Εξωτερικών Ελληνίδων και άλλοι ως τεκτονική μονάδα προερχόμενη με επώθηση από πιο εσωτερικά, ή ακόμα ότι είναι ανεξάρτητη ζώνη ωκεάνιου χαρακτήρα κάποιου πολύ παλιού (Παλαιοζωικού) ωκεανού.

Πάνω στην ενότητα «Φυλλιτών – Χαλαζιτών» τοποθετείται η ζώνη Γαβρόβου – Τρίπολης με τους γνωστούς νηριτικούς ασβεστόλιθους και σε ανώτερη τεκτονική θέση βρίσκεται επωθημένο το τεκτονικό κάλυμμα της ζώνης Πίνδου.

Εκτός από τα παραπάνω τεκτονικά καλύμματα των εξωτερικών Ελληνίδων, στο χώρο της Κρήτης βρίσκονται σε ακόμη ανώτερη τεκτονική θέση και αλλόχθονα τεκτονικά λείπια των

Εσωτερικών ζωνών. Τέτοια είναι η «ενότητα Άρβης» με οφιολιθικά πετρώματα, καθώς και άλλες διάσπαρτες οφιολιθικές εμφανίσεις, που θεωρούνται ότι έχουν επωθηθεί από το χώρο της Υποπελαγονικής, όπως επίσης και κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα γνεύσιοι, σχιστόλιθοι και αμφιβολίτες της «ενότητας Αστερούσια», με προέλευση την Πελαγονική.

Τέλος, πάνω σε αυτούς τους αλπικούς σχηματισμούς τοποθετούνται με στρωματογραφική ασυμφωνία ιζήματα του Νεογενούς και Τεταρτογενούς (κυρίως θαλάσσια κλαστικά ιζήματα) τα οποία έχουν μεγάλη εξάπλωση και πάχος στις παραλιακές περιοχές της Κρήτης.

Όλα τα παραπάνω τεκτονικά καλύμματα, που επωθούνται το ένα πάνω στο άλλο με κατεύθυνση Βορρά προς Νότο, συγκροτούν το ορογενές της Κρήτης. Η ολοκλήρωση των επωθήσεων των καλυμμάτων έγινε το Μειόκαινο, οπότε άρχισε η εφελκυστική τεκτονική κατά διεύθυνση Β-Ν, ακολουθώντας τη συμπίεση.

Ο εφελκυσμός δημιούργησε κανονικά ρήγματα αποκόλλησης, μικρής γωνίας κλίσης που σταδιακά στο Μειόκαινο – Πλειόκαινο προκάλεσαν την κατάρρευση του ορογενούς και την εκταφή – αποκάλυψη των κατώτερων τεκτονικών καλυμμάτων – ενοτήτων ως τεκτονικών παράθυρων απλών ή πολλαπλών, όπως στη Νότια Πελοπόννησο.

Στα δύο μεγάλα βουνά της Κρήτης, τα Λευκά Όρη και την Ίδη (Ψηλορείτης) αποκαλύπτεται ως πολλαπλό τεκτονικό παράθυρο η ενότητα των Πλακωδών Ασβεστόλιθων κάτω από τα επωθημένα καλύμματα της ενότητας Φυλλιτών – Χαλαζιτών και της ζώνης Γαβρόβου – Τρίπολης. Επειδή οι πλακώδεις ασβεστόλιθοι και οι φυλλίτες – χαλαζίτες εμφανίζουν μεταμόρφωση HP/LT (υψηλών πιέσεων/ χαμηλής θερμοκρασίας) ηλικίας 25 Ma (εκατομμύρια χρόνια) και συγκροτούν τους πυρήνες των δύο βουνών των Λευκών Ορέων και της Ίδης, τα δύο βουνά θεωρούνται μεταμορφικοί πυρήνες, η εκταφή των οποίων έγινε με την απόρριψη των υπερκείμενων τεκτονικών καλυμμάτων των ζωνών Γαβρόβου – Τρίπολης, Πίνδου, Υποπελαγονικής, Πελαγονικής. Ανάλογα μικρότερα παράθυρα υπάρχουν πολλά σε όλη την έκταση της Κρήτης .

Από γεωδυναμική άποψη, οι υψηλής πίεσης τεκτονικές ενότητες των Πλακωδών Ασβεστόλιθων και Φυλλιτών – Χαλαζιτών, θεωρούνται ότι ανήκουν στην υποκείμενη πλάκα, που διαμορφώθηκε εκείνη την περίοδο, ενώ τα υπερκείμενα καλύμματα την επάνω ηπειρωτική πλάκα.

Ο εφελκυσμός αυτός, που προκάλεσε τα μικρής γωνίας κλίσης ρήγματα αποκόλλησης, έλαβε χώρα σε συνθήκες ημι-πλαστικές έως θραυστικές αρχικά στο Μειόκαινο και σταδιακά συνεχίστηκε μέχρι το Πλειόκαινο και το Τεταρτογενές σε συνθήκες θραυστικές με τη δημιουργία κανονικών ρηγμάτων μεγάλης γωνίας κλίσης με διεύθυνση Α-Δ, κάθετη στη διεύθυνση Β-Ν του εφελκυσμού. Μεγάλα ρήγματα διεύθυνσης Α-Δ δημιούργησαν τις κυριότερες λεκάνες της Κρήτης, που πληρώθηκαν με Πλειοκαινικά και Τεταρτογενή ιζήματα.

Στη διάρκεια της εξέλιξης του Τεταρτογενούς ο εφελκυσμός στην Κρήτη, σε συνθήκες θραυστικές μετατράπηκε κατά διεύθυνση από Β-Ν σε Α-Δ έως ΝΑ-ΒΔ, που αποτελεί και το ενεργό πεδίο των τάσεων στην Κρήτη σύμφωνα με τα σημερινά σεισμολογικά και τεκτονικά

δεδομένα. Έτσι, μεγάλα ρήγματα B-N ή BA-NΔ δεσπόζουν στο σημερινό ανάγλυφο της Κρήτης, δημιουργώντας αλληπάλλληλα φαράγγια B-N διεύθυνσης, και αποτελούν τα ενεργά ρήγματα (Μουντράκης 2010).

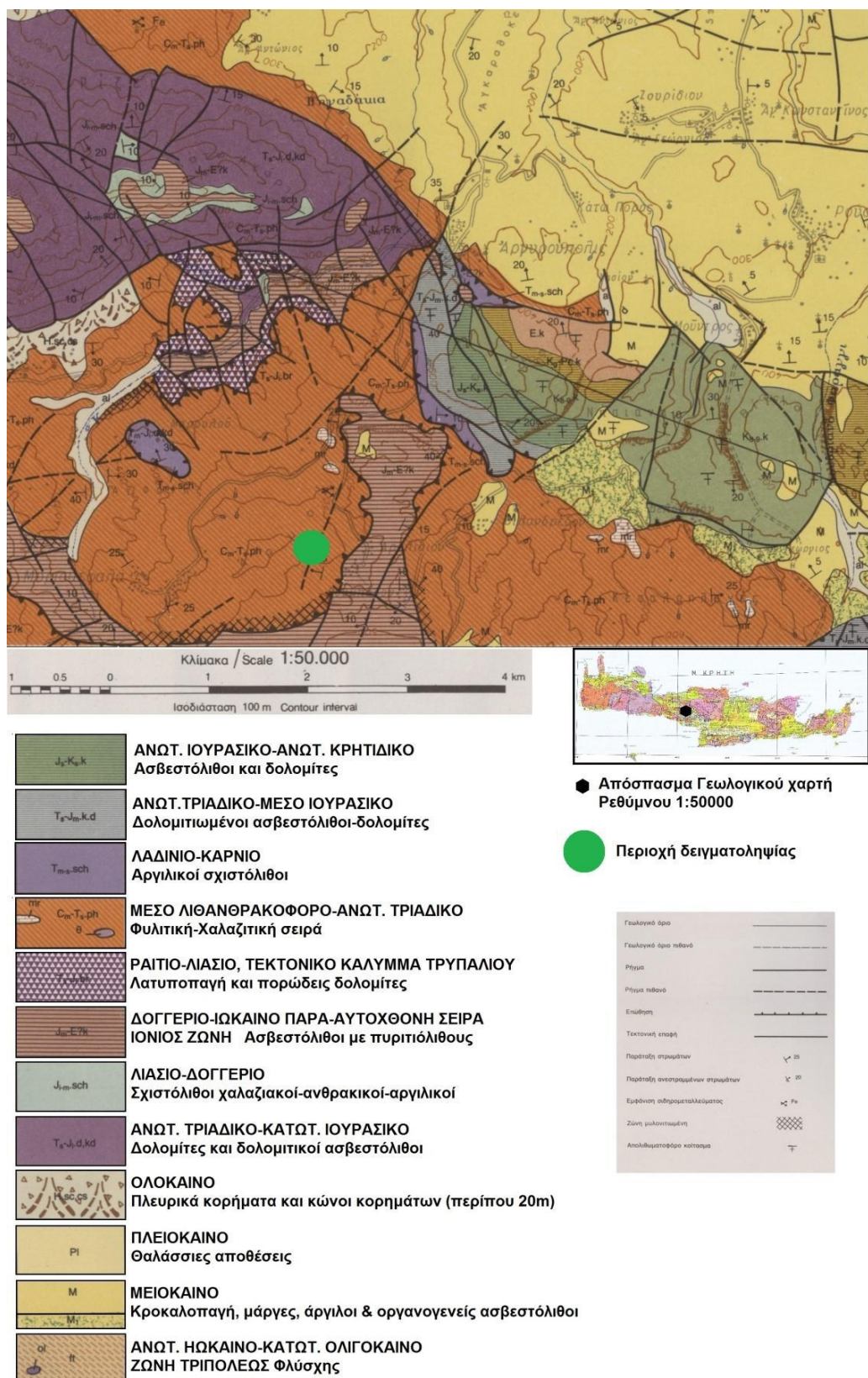
### Περιοχή Αρολίθι γενικά – κοιτασματολογία

Το Αρολίθι, ανήκει στον δήμο Ρεθύμνης της περιφερειακής ενότητας Ρεθύμνου, που βρίσκεται στην Περιφέρεια Κρήτης, σύμφωνα με τη διοικητική διαίρεση της Ελλάδας, όπως διαμορφώθηκε με το πρόγραμμα “Καλλικράτης” (εικόνα 2.3). Η επίσημη ονομασία είναι “το Αρολίθιον”. Έδρα του δήμου είναι το Ρέθυμνο και ανήκει στο γεωγραφικό διαμέρισμα Κρήτης. Βρίσκεται σε απόσταση περίπου 30 χιλιομέτρων νοτιοδυτικά του Ρεθύμνου. Το Αρολίθι έχει υψόμετρο 555 μέτρα από την επιφάνεια της θάλασσας. Το τοπωνύμιο είναι υποκοριστικό του ονόματος αρόλιθος που σημαίνει κοίλωμα βράχου, όπου συγκεντρώνεται το νερό της βροχής. Στην περιοχή του χωριού υπάρχουν σιδηρούχα πετρώματα και στο παρελθόν υπήρχε και μεταλλείο. Επίσης, είναι ιδιαίτερα γνωστό εξαιτίας του εντυπωσιακού του σπηλαίου που ονομάζεται “Βουβά”. (<http://ellinika-xwria.blogspot.com>)



Εικόνα 2.3: Ακριβής απεικόνιση Αρολιθίου στο χάρτη

Η περιοχή Αρολίθι-Μυριοκέφαλα αποτελείται από κατώτερα μέλη της κρυσταλλοσχιστώδους σειράς, η οποία απαρτίζεται από δολομίτες, οι οποίοι χαρακτηρίζονται ως τεφροί, εύθρυπτοι και άστρωτοι και από την κατώτερη σειρά Φυλλιτών-Χαλαζιτών. Το σιδηρομετάλλευμα εμφανίζεται σε πολλές θέσεις στους λόφους βορειοανατολικά των περιοχών Αρολίθι, Μυριοκέφαλα και νοτιοδυτικά του χωριού Αρολίθι (Εικόνα 2.4). Η σύσταση του σιδηρομεταλλεύματος είναι ως επί το πλείστον λειμωνίτης με σπογγώδη υφή και απαντάται υπό μορφή μικρών φακοειδών σωμάτων πάνω στη ζώνη επαφής Φυλλιτών-Χαλαζιτών ή με τη μορφή φλεβών.



Εικόνα 2.4: Απόσπασμα γεωλογικού χάρτη ΓΓΜΕ 1:50000 της περιοχής Ρεθύμνου (ΓΓΜΕ, φύλλο Ρεθύμνου)





Εικόνα 2.5: Σχηματική τομή του κοιτάσματος Ρέντα – Αρολίθι (Παπασταματίου, 1952)

Το πιο ενδιαφέρον κοιτάσμα της περιοχής βρίσκεται στη θέση Ρέντα, η οποία βρίσκεται 500m δυτικά από το Αρολίθι. Στη παραπάνω σχηματική τομή (εικόνα 2.5) φαίνεται η άμεση συσχέτιση του λειμωνίτη και των πυριτών. Μια μετάπτωση με διεύθυνση Ανατολής- Δύσης χωρίζει το λειμωνιτικό κοιτάσμα από τους πυρίτες. Στην πραγματικότητα δεν πρόκειται για ένα συμπαγές μετάλλευμα πυριτών αλλά για διάσπαρτους κρυστάλλους πυριτών εντός της χαλαζιακής μάζας. Το κοιτάσμα της Ρέντας παρουσιάζει ενδιαφέρον από μεταλλογενετικής άποψης, επειδή σε αυτό παρατηρείται άμεση επαφή με φλέβα πυριτών. Γενικώς, τα κοιτάσματα γύρω από το Αρολίθι δεν παρουσιάζουν αξιόλογο οικονομικό ενδιαφέρον, επειδή αποτελούνται από μικρά φακοειδή σώματα, τα οποία βρίσκονται μέσα στο κρυσταλλοσχιστώδες. Το σύνολο των πιθανών αποθεμάτων υπολογίζεται στους 5000 τόνους. (Παπασταματίου, 1952).

## Κεφάλαιο 3: Πειραματικές μέθοδοι

### 3.1 Δείγματα

Στα αρχικά δείγματα της περιοχής Ρέντα-Αρολίθι πραγματοποιήθηκε χημική ανάλυση με τη μέθοδο της φασματοσκοπίας ακτίνων-X (XRF) καθώς και ορυκτολογική ανάλυση με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων-X (XRD) και μικροσκοπίας ανακλώμενου φωτός. Έπειτα από αυτή τη διαδικασία, τα αρχικά δείγματα, ανακατεύθηκαν και λειοτριβήθηκαν σε σιαγωνωτό θραυστήρα. Μετά τη λειοτρίβηση το υλικό κοσκινίστηκε και διαχωρίστηκε σε 5 διαφορετικές κοκκομετρίες.

- -0.063 mm
- - 0.250 + 0.063 mm
- -1.00 + 0.250 mm
- -4.00 +1.00 mm
- -8.00 +4.00 mm

Από τα κοκκομετρικά κλάσματα αυτά προέκυψαν τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν στις δοκιμές εμπλουτισμού. Αναλυτικότερα, στα κλάσματα -0.250+0.060 mm, -1.00+0.250 mm, -4.00+1.00 mm και -8.00+4.00 mm πραγματοποιήθηκαν βαρυτομετρικός και μαγνητικός διαχωρισμός. Στο κλάσμα -0.063mm δεν πραγματοποιήθηκε κάποια δοκιμή εμπλουτισμού, λόγω του λεπτόκοκκου μεγέθους.

### 3.2 Μικροσκοπική μελέτη με μεταλλογραφικό μικροσκόπιο

Η μικροσκοπική μελέτη των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του μεταλλογραφικού μικροσκοπίου τύπου JENALAB του Εργαστηρίου Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης (Εικόνα 3.1).

Το μεταλλογραφικό μικροσκόπιο ή αλλιώς μικροσκόπιο ανακλώμενου φωτός, διαφέρει από εκείνο του διερχομένου φωτός στα εξής τέσσερα σημεία:

- Ο ανακλαστήρας, που έχει τοποθετηθεί μεταξύ του αντικειμενικού και του προσοφθάλμιου φακού, κατευθύνει το προσπίπτον φως κάθετα στη στιλβωμένη επιφάνεια του μελετώμενου παρασκευάσματος.
- Χρησιμοποιούνται ειδικοί αντικειμενικοί φακοί για την παρατήρηση μη καλυμμένων παρασκευασμάτων.
- 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 δυο τύπους ανακλαστήρων: τη γυάλινη πλάκα και το πρίσμα ολικής ανάκλασης, οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν επιλεκτικά (Αλεβίζος, 2009).



Εικόνα 3.1: Μικροσκόπιο διερχόμενου και ανακλώμενου φωτός του Εργαστηρίου Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης.

#### Προετοιμασία δειγμάτων:

Για τη μελέτη ενός μεταλλεύματος είναι απαραίτητη η παρασκευή μιας καλά στίλβωμνης τομής, η επιφάνεια της οποίας θα πρέπει να στερείται χαραγών και ανωμαλιών. Το προς στίλβωση υλικό πρέπει αρχικά να εμποτιστεί σε ειδική τεχνητή ρητίνη, στη συνέχεια τοποθετείται σε ειδικές φόρμες διαμέτρου 2 - 4 cm στις οποίες προστίθεται ποσότητα του υγρού υλικού εγκλίσεως. Στη συνέχεια, ακολουθεί η λείανση της επιφάνειας του δείγματος. Ως λειαντικό μέσο χρησιμοποιείται καρβίδιο του πυριτίου ή του βολφραμίου διαφόρων κοκκομετριών. Η διαδικασία της λείανσης ολοκληρώνεται σε τρία στάδια με διαφορετικές κοκκομετρίες λειαντικών μέσων το καθένα. Το παρασκεύασμα λειανείται 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.

Τέλος, ακολουθεί η διαδικασία της στίλβωσης. Κατά τη μέθοδο Vanderwilt-Rehwal, χρησιμοποιείται η συσκευή Rehwal και γίνεται επιλογή διάφορων μέσων στίλβωσης (π.χ αλοιφές-Rehwal, αδαμανταλοιφές, καρβίδιο του βορίου με εκχύλισμα πίσσας) διαφόρων

κοκκομετριών. Ως λιπαντικό μέσο χρησιμοποιείται ένα μείγμα από παραφινέλαιο, πετρέλαιο και εκχυλίσματα πίσσας. Η ποιότητα της στίλβωσης εξαρτάται τόσο από τη διάρκεια αυτής, όσο και από τη χρήση αλοιφής MgO κατά το τελικό στάδιο της στίλβωσης. Η μέθοδος Rehwald είναι η μοναδική μέθοδος στίλβωσης με την οποία παρασκευάζονται στιλπνές τομές ελεύθερες από ανάγλυφο και χαραγές (Αλεβίζος, 2005).

### 3.3 Ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης (SEM)

Μικροσκοπική εξέταση και μικροανάλυση σε ένα δείγμα πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (SEM) τύπου JEOL JSM5400, του Εργαστηρίου Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης, σε συνδυασμό με EDS-μικροαναλύσεις. Οι συνθήκες μέτρησης ήταν  $U=20$  KV,  $I=5$  nA και η επεξεργασία των μετρήσεων πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα INCA ENERGY 30.

Το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης είναι ένα όργανο, που λειτουργεί περίπου όπως ένα οπτικό μικροσκόπιο, μόνο που χρησιμοποιεί δέσμη ηλεκτρονίων υψηλής ενέργειας, αντί για φως, ώστε να εξεταστούν αντικείμενα σε πιο λεπτομερή κλίμακα. Τα ηλεκτρόνια λόγω της κυματικής τους φύσης υπόκεινται σε εστίαση, όπως και τα φωτεινά κύματα, αλλά σε πολύ μικρότερη επιφάνεια. Ένα ηλεκτρονικό κανόνι θερμιονικής εκπομπής παράγει ηλεκτρόνια, τα οποία επιταχύνονται σε ενέργεια τυπικά 1-40 keV. Η δέσμη εστιάζεται μέσω ενός ή δύο συμπυκνωτών φακών, έτσι ώστε στο επίπεδο του δείγματος να έχει διάμετρο 2-100nm. Η λεπτή δέσμη ηλεκτρονίων σαρώνει την επιφάνεια του δείγματος με τη βοήθεια των πηνίων σάρωσης, ενώ ένας ανιχνευτής δευτερογενών ηλεκτρονίων μετρά τα παραγόμενα ηλεκτρόνια. Ταυτόχρονα, η κηλίδα της οθόνης CRT σαρώνει την οθόνη σε συγχρονισμό με τη δέσμη των ηλεκτρονίων και η φωτεινότητά της διαμορφώνεται από το ενισχυμένο σήμα του ανιχνευτή. Η σάρωση γίνεται σε ένα κάναβο (raster), που αποτελείται από ένα αριθμό οριζόντιων γραμμών. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η ποσότητα των δευτερογενών ηλεκτρονίων, που προέρχονται από κάθε σημείο του δείγματος να απεικονίζεται σαν οπτική εικόνα στην οθόνη CRT. Η διακριτική ικανότητα στα σύγχρονα SEM είναι 3-5mm με θερμιονικό κανόνι, ενώ στην περίπτωση κανονιού εκπομπής πεδίου είναι 1-2mm.

Επομένως, η λειτουργία του SEM στηρίζεται στις αλληλεπιδράσεις του προς εξέταση δείγματος και της προσπίπτουσας σε αυτό δέσμης ηλεκτρονίων. Τα βασικά στάδια λειτουργίας ενός ηλεκτρονικού μικροσκοπίου είναι:

- Σχηματισμός μιας δέσμης ηλεκτρονίων από την πηγή, η οποία επιταχύνεται προς το δείγμα μέσω ενός θετικού ηλεκτρικού δυναμικού
- Χρήση μεταλλικών ανοιγμάτων, ηλεκτρομαγνητικών φακών και πηνίων σάρωσης, ώστε να επιτευχθεί μία λεπτή εστιασμένη μονοχρωματική δέσμη, η οποία σαρώνει την επιφάνεια του δείγματος
- Καταγραφή των αλληλεπιδράσεων της δέσμης του δείγματος από τους ανιχνευτές και μετατροπή τους σε εικόνα ([www.chemeng.ntua.gr](http://www.chemeng.ntua.gr)).



### 3.4 Ορυκτολογική ανάλυση δειγμάτων με περιθλασιμετρία ακτίνων-X (XRD)

Ο προσδιορισμός της ορυκτολογικής σύστασης των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε με το περιθλασίμετρο ακτίνων-X (XRD), τύπου D8-Advance της εταιρείας BrukerAXS (Εικόνα 3.2) του Εργαστηρίου Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης.

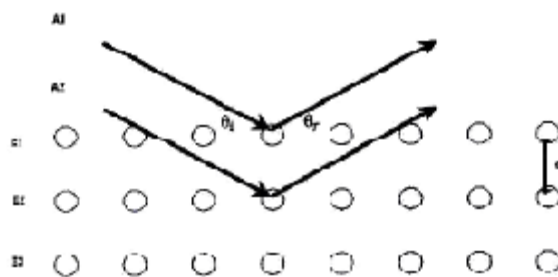


Εικόνα 3.2: Περιθλασίμετρο ακτίνων-X (XRD) του Εργαστηρίου Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Η μέθοδος της περιθλασιμετρίας ακτίνων-X στηρίζεται στο φαινόμενο της περίθλασης των ακτίνων-X πάνω στους κρυστάλλους, το οποίο ερμηνεύτηκε από τον Bragg σαν ανάκλαση των ακτίνων-X, οι οποίες προσπίπτουν υπό ορισμένη γωνία σε πλεγματικά επίπεδα του κρυστάλλου, τα οποία είναι παράλληλα και διαδέχεται το ένα το άλλο πάντα στην ίδια απόσταση  $d$ . Η ανάκλαση στην προκειμένη περίπτωση διαφέρει από την ανάκλαση του ορατού φωτός στο ότι λόγω της μεγάλης ικανότητας διείσδυσης η προσπίπτουσα στον κρύσταλλο δέσμη ακτίνων-X διαπερνά έναν πολύ μεγάλο αριθμό πλεγματικών επιπέδων πριν να απορροφηθεί (Κωστάκης, 2005).

Εάν  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$ , τα πλεγματικά επίπεδα ενός κρυστάλλου,  $A_1, A_2$ , δύο ακτίνες-X μήκους κύματος  $\lambda$ ,  $\theta$ : η γωνία με την οποία προσπίπτουν οι ακτίνες (Εικόνα 3.3) και  $n$ : η τάξη της ανάκλασης σύμφωνα με την εξίσωση του Bragg ισχύει:

$$n\lambda = 2d\sin\theta$$

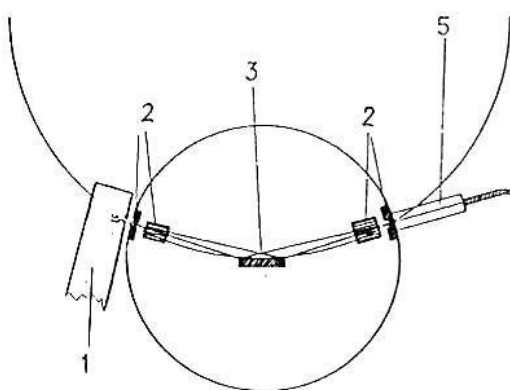


Εικόνα 3.3: Ανάκλαση ακτίνων-X στα πλεγματικά επίπεδα ενός κρυστάλλου.

Με τη μέθοδο του περιθλασιμέτρου ακτίνων-X είναι δυνατή η απευθείας μέτρηση τόσο των γωνιών, όσο και των εντάσεων των ανακλάσεων των ακτίνων-X, που προσπίπτουν πάνω σ' ένα παρασκεύασμα κρυσταλλικής κόνεως.

Οι βασικές μονάδες, που συνθέτουν ένα σύγχρονο περιθλασίμετρο ακτίνων-X είναι η μονάδα παραγωγής της υψηλής τάσεως, η λυχνία των ακτίνων-X, το γωνιόμετρο, ο απαριθμητής των ακτίνων-X με την ηλεκτρονική μονάδα επεξεργασίας και καταγραφής των κρούσεων και, τέλος, η μονάδα του μικροϋπολογιστή, μέσω του οποίου καθοδηγείται ολόκληρο το σύστημα και αξιολογούνται τα δεδομένα, που προκύπτουν από την εξέταση του δείγματος (Κωστάκης,2005).

Το παρασκεύασμα τοποθετείται στο δειγματοφορέα του γωνιομέτρου του περιθλασιμέτρου, ο οποίος βρίσκεται σε τέτοια θέση ώστε να παραμένει πάντα στο κέντρο ενός κύκλου που διαγράφει ο απαριθμητής των ακτίνων-X (εικόνα 3.4) και μάλιστα έτσι ώστε το επίπεδο του παρασκευάσματος να είναι πάντα κάθετο προς το επίπεδο του κύκλου.



Εικόνα 3.4: Σχηματική παράσταση της διάταξης εστιασμού των ακτίνων-X. 1) λυχνία ακτίνων-X, 2) διαφράγματα, 3) παρασκεύασμα, 4) βάση απαριθμητή ακτίνων-X και 5) απαριθμητής ακτίνων-X.

Ταυτόχρονα ως προς τον ίδιο άξονα γύρω από τον οποίο διαγράφει τον κύκλο, περιστρέφεται ο απαριθμητής με κάποια σταθερή γωνιακή ταχύτητα 2θ/min και το επίπεδο του δείγματος με γωνιακή ταχύτητα θ/min ίση προς το ήμισυ εκείνης του απαριθμητή έτσι ώστε με τη σύγχρονη αυτή μετατόπιση του απαριθμητή και τη περιστροφή του δείγματος ο απαριθμητής να σχηματίζει την ίδια γωνία ως προς το επίπεδο του δείγματος όπως και στο σημείο εξόδου των ακτίνων-X της λυχνίας.

Με τον τρόπο αυτό 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 των προερχόμενων από τη λυχνία, ώστε να πληρούται για κάποια ομάδα πλεγματικών επιπέδων η εξίσωση του Bragg.

Το δείγμα, που πρόκειται να αναλυθεί βρίσκεται υπό μορφή κόνεως μέσα στην κοιλότητα ενός πλαστικού ή μεταλλικού πλακιδίου. Το βάθος της κοιλότητας αυτής είναι περίπου 1mm και έχει έκταση μερικών cm<sup>2</sup>, 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, 2005).

Η ακτινοσκόπηση των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε με χρήση λυχνίας Cu, καταμετρητή LynxEye και φίλτρο νικελίου, τάση λυχνίας U=35KV και ένταση ρεύματος I=35mA. Οι συνθήκες μέτρησης των δειγμάτων ήταν: γωνία 2θ 4-70°, βήμα 0,02° και χρόνο/βήμα 0,2sec.

### 3.5 Χημική ανάλυση δειγμάτων με φασματοσκοπία ακτίνων-X φθορισμού (XRF)

Η χημική ανάλυση των δειγμάτων έγινε με τη μέθοδο φασματοσκοπίας ακτίνων-X φθορισμού (XRF), όπου χρησιμοποιήθηκε το φασματοσκόπιο S2 Ranger της εταιρείας BrukerAXS (Εικόνα 3.5) του Εργαστηρίου Ανόργανης Γεωχημείας, Οργανικής Γεωχημείας και Οργανικής Πετρογραφίας του Πολυτεχνείου Κρήτης.



Εικόνα 3.5: Φασματοσκόπιο ακτίνων-X φθορισμού του Εργαστηρίου Ανόργανης Γεωχημείας, Οργανικής Γεωχημείας και Οργανικής Πετρογραφίας του Πολυτεχνείου Κρήτης.

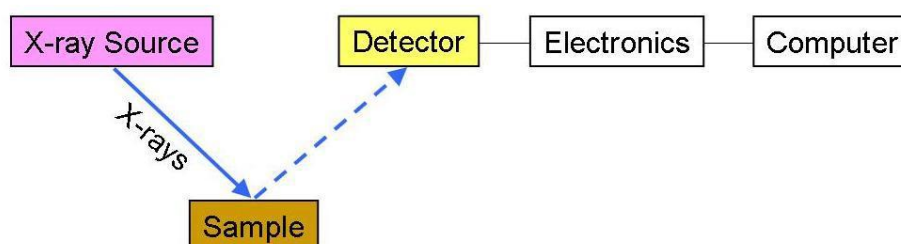
Η φασματοσκοπία ακτίνων-X φθορισμού αποτελεί μία από τις βασικές αναλυτικές μεθόδους γεωλογικού υλικού. Είναι μη καταστρεπτική μέθοδος εφ' όσον το δείγμα αναλύεται σε στερεά κατάσταση, συνήθως κονιοποιημένο, δίχως χημικές επεξεργασίες και διαλυτοποιήσεις. Από το μήκος κύματος των ακτίνων-X προσδιορίζεται το είδος των στοιχείων του δείγματος (ποιοτική ανάλυση), ενώ από την ένταση τους η σύσταση (ποσοτική ανάλυση) (Whiston 1987).

Η αρχή λειτουργίας της μεθόδου είναι: Εάν βομβαρδιστεί ένα άτομο με ενέργεια μεγαλύτερη από αυτή του δεσμού των ηλεκτρονίων του, τότε εκδιώκονται ηλεκτρόνια από εσωτερικές σε εξωτερικές στοιβάδες. Οι κενές θέσεις των ηλεκτρονίων που δημιουργούνται καλύπτονται από ηλεκτρόνια που πέφτουν στις θέσεις αυτές από τις εξωτερικές στοιβάδες. Η πλήρωση των θέσεων αυτών συνοδεύεται με εκπομπή ακτίνων-X ενέργειας ίσης με τη διαφορά ενέργειας της αντίστοιχης εξωτερικής από την εσωτερική στοιβάδα (δευτερογενώς εκπεμπόμενη ακτινοβολία).

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.6 το σύστημα φασματοσκοπίας ακτίνων-X φθορισμού που χρησιμοποιήθηκε, αποτελείται από τα παρακάτω κύρια μέρη:

- ☐ Τη λυχνία παραγωγής πρωτογενούς ακτινοβολίας X
- ☐ Το δειγματοφόρεα
- ☐ Τον ανιχνευτή
- ☐ Το ηλεκτρονικό σύστημα καταγραφής

Η ακτινοσκόπηση των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε με χρήση λυχνίας Pd, με τάση λυχνίας  $U=30\text{KV}$ , και ένταση ρεύματος  $I=100\mu\text{A}$ . Οι συνθήκες μέτρησης των δειγμάτων ήταν ένταση  $I=250\mu\text{A}$ , και τάση μέτρησης  $40\text{KV}$  για τα βαρέα στοιχεία (Fe, Mn, Ti, Ca, K) και  $20\text{kV}$  για τα ελαφρά (P, Si, Al, Mg, Na).



Εικόνα 3.6: Σχηματική παράσταση της διάταξης φασματοσκοπίου ακτίνων-X φθορισμού τύπου EDS-XRF του Εργαστηρίου Ανόργανης Γεωχημείας, Οργανικής Γεωχημείας και Οργανικής Πετρογραφίας του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Τα δείγματα στα οποία προσδιορίστηκε η χημική σύσταση με τη παραπάνω μέθοδο λειοτριβήθηκαν σε κοκκομετρία κάτω των 60  $\mu\text{m}$  και στη συνέχεια πιέστηκαν εντός ειδικής μήτρας, με πίεση 150 atm (εικόνα 3.7).



Εικόνα 3.7: Υδραυλική πρέσα για κατασκευή ταμπλέτας για XRF

### 3.6 Μέθοδοι εμπλουτισμού

**Μέθοδος εμπλουτισμού** λέγεται η διεργασία η οποία εφαρμόζεται με σκοπό την εκμετάλλευση της φυσικής ή τεχνητής διαφοράς στις ιδιότητες του χρήσιμου συστατικού και του στείρου ενός μεταλλεύματος ή ορυκτού για το μεταξύ τους διαχωρισμό. Για να εφαρμοστεί μια μέθοδος εμπλουτισμού πρέπει από τη μια μεριά να έχει επέλθει αποδέσμευση του μεταλλεύματος από το στέιρο και από την άλλη να έχει εξευρεθεί η φυσική ή επιβληθεί η τεχνητή διαφορά στις μεταξύ τους ιδιότητες.

#### 3.6.1 Βαρυτομετρικός διαχωρισμός

Με τον όρο βαρυτομετρικός διαχωρισμός χαρακτηρίζεται μία σειρά μεθόδων εμπλουτισμού μεταλλευμάτων, οι οποίες εκμεταλλεύονται τη διαφορά των πυκνοτήτων των, προς διαχωρισμό, ορυκτών. Το αποτέλεσμα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού εξαρτάται, επίσης, από το μέγεθος και το σχήμα των τεμαχιδίων. 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 επεξεργασθούν, ποικίλλει ανάλογα με τη μέθοδο, από τα 200mm έως τα 50μm (Σταμπολιάδης, 2008).

### Εργαστηριακή μέθοδος Βαρέων υγρών

Εάν σε ένα υγρό με πυκνότητα  $\rho_v$  προσθέσουμε κόκκους δύο ορυκτών  $\alpha$  και  $\beta$  με αντίστοιχες πυκνότητες  $\rho_\alpha < \rho_v$  και  $\rho_v < \rho_\beta$ , τότε οι κόκκοι του ορυκτού  $\alpha$  θα επιπλεύσουν (float), ενώ αυτοί του ορυκτού  $\beta$  θα βυθισθούν (sink). Με τον τρόπο αυτό, μπορεί κανείς να χωρίσει εύκολα τα ορυκτά  $\alpha$  και  $\beta$ . 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 όχι μόνο για να διαχωρίσουν ελεύθερους κόκκους δύο ορυκτών, αλλά και σύμμεικτους κόκκους με διαφορετικά ποσοστά συμμετοχής της κάθε ορυκτολογικής φάσης. 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. Εξαιτίας του μεγάλου κόστους, τα βαρέα υγρά δε χρησιμοποιούνται στη βιομηχανική παραγωγή για τον εμπλουτισμό των μεταλλευμάτων (Σταμπολιάδης, 2008).

Η αρχή της μεθόδου στηρίζεται στο γεγονός ότι ένα σώμα αιωρείται σε ένα υγρό όταν το ειδικό του βάρος ταυτίζεται με αυτό του υγρού. Όταν το ειδικό βάρος του σώματος είναι μικρότερο από του υγρού, τότε το σώμα επιπλέει στο υγρό, ενώ στην αντίθετη περίπτωση καταβυθίζεται σε αυτό. Η συγκεκριμένη μέθοδος στηρίζεται στο διαχωρισμό των ορυκτών του μεταλλεύματος κατά ειδικά βάρη με τη χρήση μιας σειράς βαρέων υγρών. Επειδή τα ειδικά βάρη των χρησιμοποιούμενων υγρών αυξάνουν σταδιακά, το μέταλλευμα διαχωρίζεται σε επιμέρους κλάσματα ειδικών βαρών. Προϋπόθεση της μεθόδου είναι τα προς διαχωρισμό ορυκτά να έχουν μια διαφορά ειδικού βάρους τουλάχιστον  $0.05 \text{ gr/cm}^3$ . Δεν είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί στην περίπτωση όπου τα ορυκτά έχουν μεγάλη πυκνότητα, αφού το υγρό με το μεγαλύτερο ειδικό βάρος που χρησιμοποιείται είναι το διάλυμα Clerici με πυκνότητα  $4.5 \text{ gr/cm}^3$  (όπως φαίνεται από τον παρακάτω πίνακα 3.1). Η χρήση των βαρέων υγρών γενικά είναι περιορισμένη, αφού δεν μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν και η παραγωγή τους έχει υψηλό κόστος (Μαρτίνη, 2004).



Πίνακας 3.1: Βαρέα υγρά που χρησιμοποιούνται στη βαρυτομετρική μέθοδο και οι πυκνότητές τους.

| Βαρύ υγρό                 | Πυκνότητα (gr/cm <sup>3</sup> ) |
|---------------------------|---------------------------------|
| Τετραβρωμιούχος ασετυλίνη | 2.904                           |
| Διάλυμα Thoulet           | 3.196                           |
| Ιωδιούχο μεθυλένιο        | 3.32                            |
| Διάλυμα Clerici           | 4.5                             |
| Τετραχλωράνθρακας         | 1.59                            |
| Τετραβρωμοαιθάνιο         | 2.96                            |
| Βρωμοφόρμιο               | 2.82                            |

Στη δοκιμή βαρυτομετρικού διαχωρισμού η πειραματική διαδικασία ήταν ως εξής χρησιμοποιήθηκε ένα οργανικό βαρύ υγρό με πυκνότητα ίση με 2.96 g/cm<sup>3</sup>. Η πυκνότητα διαχωρισμού κρίθηκε ότι πρέπει να είναι κοντά στο 3.00 g/cm<sup>3</sup>, ώστε ο διαχωρισμός να είναι πιο αποτελεσματικός. Το βαρύ υγρό που χρησιμοποιήθηκε ήταν το καθαρό τετραβρωμοαιθάνιο με πυκνότητα 2.96 g/cm<sup>3</sup>. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε ένα ποτήρι ζέσεως 1000 ml στο οποίο τοποθετήθηκαν 650ml βαρέως υγρού πυκνότητας 2.96 g/cm<sup>3</sup>. Σε αυτό το δοχείο προστέθηκε προοδευτικά το κάθε κοκκομετρικό κλάσμα ξεχωριστά και αυτή η διαδικασία είχε ως αποτέλεσμα να προκύψουν δυο νέα κλάσματα, ένα ελαφρύ (FLOAT), το οποίο αποτελείται από κόκκους που έχουν πυκνότητα μικρότερη από εκείνη του βαρέως υγρού και από ένα βαρύ (SINK), το οποίο αποτελείται από κόκκους που έχουν μεγαλύτερη πυκνότητα από εκείνη του βαρέως υγρού. Τα ελαφριά επιπλέουν στην επιφάνεια του βαρέως υγρού και τα βαριά καταβυθίζονται στο πάτο του ποτηριού ζέσεως, έτσι τα ελαφριά συλλέγονται και απομακρύνονται από το βαρύ υγρό. (εικόνα 3.8) στη συνέχεια τα νέα κλάσματα αφού έχουν συλλεχτεί πλένονται με ακετόνη, ώστε να απομακρυνθεί κάθε ίχνος βαρέως υγρού από την επιφάνεια των κόκκων, μετά ξεραίνονται στο φούρνο και ζυγίζονται σε ζυγό ακριβείας.



Εικόνα 3.8: Τμήμα διάταξης βαρυτομετρικού διαχωρισμού, το σκουρόχρωμο υλικό είναι το βαρύ υλικό.

### 3.6.2 Μαγνητικός διαχωρισμός

Μαγνητικός διαχωρισμός είναι η μέθοδος εμπλουτισμού που εκμεταλλεύεται τη διαφορά στις μαγνητικές ιδιότητες των ορυκτών. Εφαρμόζεται για την ανάκτηση χρήσιμων μαγνητικών ορυκτών από μη μαγνητικά, στείρα ορυκτά, όπως, π.χ., ο διαχωρισμός μαγνητίτη από χαλαζία, αλλά και για την απομάκρυνση βλαβερών μαγνητικών ορυκτών από χρήσιμα μη μαγνητικά ορυκτά, όπως, π.χ. η απομάκρυνση σερπεντίνη από μαγνησίτη (λευκόλιθο). Όλα τα υλικά αντιδρούν με κάποιο τρόπο όταν βρεθούν σε ένα μαγνητικό πεδίο, μόνο που σε μερικά η αντίδραση αυτή είναι τόσο μικρή, που δε μπορεί πρακτικά να προσδιορισθεί. Τα υλικά χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, ανάλογα, 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. Οι ασκούμενες δυνάμεις είναι, κατά κανόνα, πολύ μικρές και τα διαμαγνητικά υλικά, πρακτικά, δεν επηρεάζονται από το μαγνητικό διαχωρισμό.

Παραμαγνητικά: ονομάζονται τα υλικά που έλκονται από τις γραμμές ενός μαγνητικού πεδίου και οδεύουν προς τα σημεία όπου η ένταση του πεδίου αυξάνει. Πολλά παραμαγνητικά υλικά μπορούν να εμπλουτισθούν με μαγνητικούς διαχωριστές υψηλής έντασης. Πολλά ορυκτά, που στην καθαρή τους μορφή δεν έλκονται από το μαγνήτη, γίνονται πιο μαγνητικά, όταν κάποιο στοιχείο τους αντικαθίσταται με σίδηρο Fe. Παράδειγμα αποτελεί ο σφαλερίτης (ZnS), στον οποίο ένα μέρος του Zn αντικαθίσταται με Fe, με αποτέλεσμα να γίνεται όλο και περισσότερο μαγνητικός.

Σιδηρομαγνητικά υλικά είναι, τέλος, 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 ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). 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  $\text{FeCO}_3$  και αιματίτης  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  μπορούν να μετατραπούν σε μαγνητίτη μετά από οξειδωτική και αναγωγική φρύξη αντίστοιχα, ενώ ο σιδηροπυρίτης  $\text{FeS}_2$  να μετατραπεί σε μαγνητικό πυρροτίτη  $\text{FeS}$  μετά από οξειδωτική φρύξη (Σταμπολιάδης, 2008).

Στη δοκιμή μαγνητικού διαχωρισμού χρησιμοποιήθηκαν τα τέσσερα από τα πέντε κοκκομετρικά κλάσματα και αυτά ήταν ως εξής :

- - 0.250 + 0.063 mm
- - 1.00 + 0.250 mm
- - 4.00 + 1.00 mm
- - 8.00 + 4.00 mm



Στα παραπάνω κλάσματα χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικές μέθοδοι μαγνητικού διαχωρισμού, ανάλογα με την κοκκομετρία του δείγματος.



Εικόνα 3.9: Ταινιοφόρος μαγνητικός διαχωριστής.

Για τα δύο μεγάλα κοκκομετρικά κλάσματα  $-8.00+4.00$  mm και  $-4.00 +1.00$  mm χρησιμοποιήθηκε ο ταινιοφόρος μαγνητικός διαχωρισμός (Εικόνα 3.9). Αρχικά, για το κλάσμα  $-8.00 +4.00$  mm ο ταινιοφόρος μαγνητικός διαχωριστής ρυθμίστηκε για το πρώτο πέρασμα στις 160 rpm (στροφές ανά λεπτό) όπου πήραμε το μαγνητικό 1 ενώ το εναπομείναν μη μαγνητικό χρησιμοποιήθηκε για το πέρασμα στις 120 rpm όπου πήραμε το μαγνητικό 2 και πάλι το εναπομείναν μη μαγνητικό υλικό χρησιμοποιήθηκε για το πέρασμα στις 80 rpm όπου πήραμε το μαγνητικό 3 και το μη μαγνητικό 3. Για το κλάσμα  $-4.00 +1.00$  mm ο ταινιοφόρος μαγνητικός διαχωριστής ρυθμίστηκε στις 160 rpm (στροφές ανά λεπτό) όπου πήραμε το μαγνητικό 1 ενώ το εναπομείναν μη μαγνητικό χρησιμοποιήθηκε για το πέρασμα στις 120 rpm όπου πήραμε το μαγνητικό 2 και το μη μαγνητικό 2.



Εικόνα 3.10: Ξηρός μαγνητικός διαχωριστής υψηλής έντασης.

Για τα δύο μικρότερα κοκκομετρικά κλάσματα  $-1.00 + 0.250$  mm και  $- 0.250 + 0.063$  mm χρησιμοποιήθηκε ο ξηρός μαγνητικός διαχωρισμός υψηλής έντασης (Εικόνα 3.10). Αρχικά, για το κλάσμα  $-1.00+ 0.250$  mm ο ξηρός μαγνητικός διαχωριστής ρυθμίστηκε για το πρώτο

πέρασμα στις 180 rpm με ένταση μαγνήτη στα 3.15A και η λεπίδα στη θέση 4, από αυτό το πέρασμα πήραμε το μαγνητικό 1 ενώ το εναπομείναν μη μαγνητικό αποτέλεσε τροφοδοσία για το επόμενο πέρασμα στις 140 rpm με ένταση 3.09A και λεπίδα στη θέση 4, από αυτό το πέρασμα πήραμε το μαγνητικό 2 ενώ το εναπομείναν μη μαγνητικό αποτέλεσε τροφή για το αμέσως επόμενο πέρασμα στις 100 rpm με ένταση 2.95A και λεπίδα στη θέση 4 από όπου πήραμε το μαγνητικό 3 και το μη μαγνητικό 3.

Για το κλάσμα  $-0.250+0.063$  mm ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία με την παραπάνω στο κλάσμα  $-1.00+0.250$  mm με μόνη διαφορά την ένταση σε κάθε διαφορετικό στάδιο των στροφών δηλαδή, για τις 180 rpm είχαμε ένταση 2.86A, για τις 140 rpm είχαμε ένταση 2.82A και τέλος για τις 100 rpm είχαμε ένταση 2.78A ενώ η λεπίδα κατά τη διάρκεια των περασμάτων ήταν σταθερά στη θέση 3.

## **Κεφάλαιο 4: Ορυκτολογικές και χημικές αναλύσεις αρχικών δειγμάτων**

### **4.1 Δειγματοληψία στην περιοχή Ρέντα-Αρολίθι**

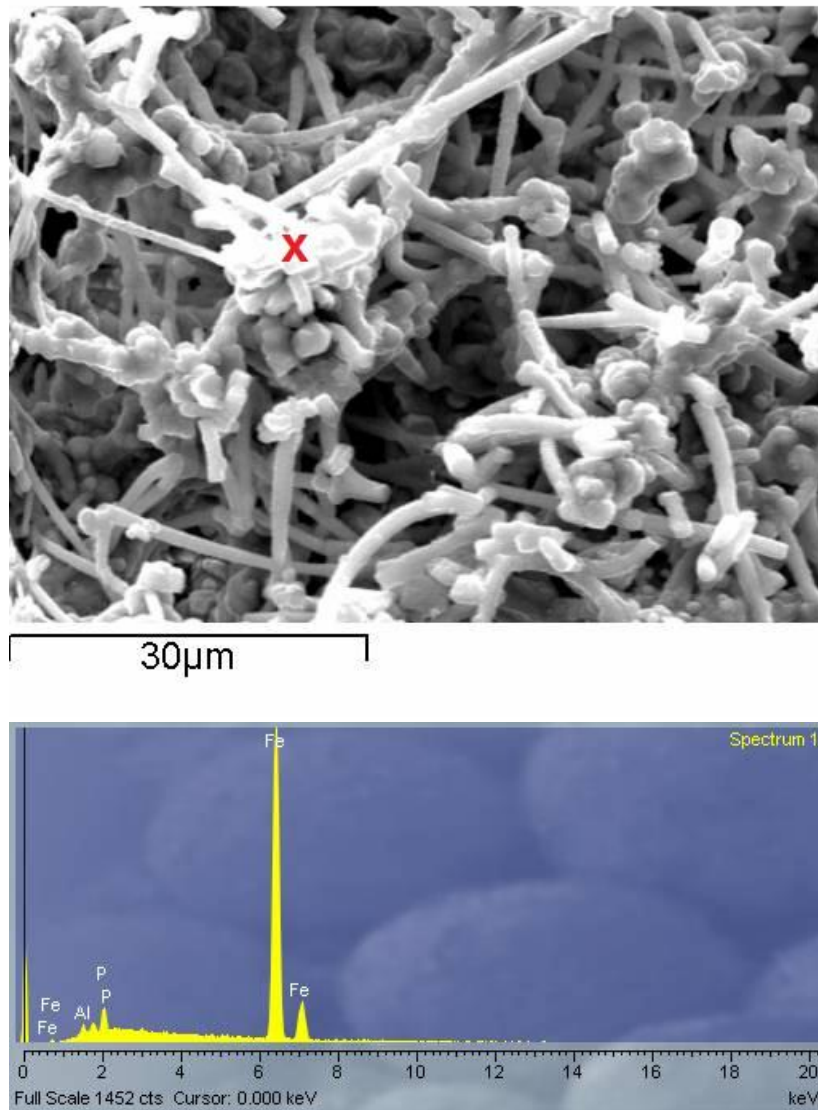
Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στην περιοχή Ρέντα-Αρολίθι κατά μήκος μιας στοάς που υπήρχε στην περιοχή, από όπου λήφθηκαν 8 δείγματα τα οποία ήταν τα εξής : ΡΑΣ9, ΡΑΣ10, ΡΑΣ11, ΡΑΣ12, ΡΑΣ13, ΡΑΣ14, ΡΑΣ15, ΡΑΣ16. Το συνολικό βάρος των δειγμάτων ήταν 3523.3 kg.

### **4.2 Ορυκτολογία δειγμάτων περιοχής Ρέντα – Αρολίθι**

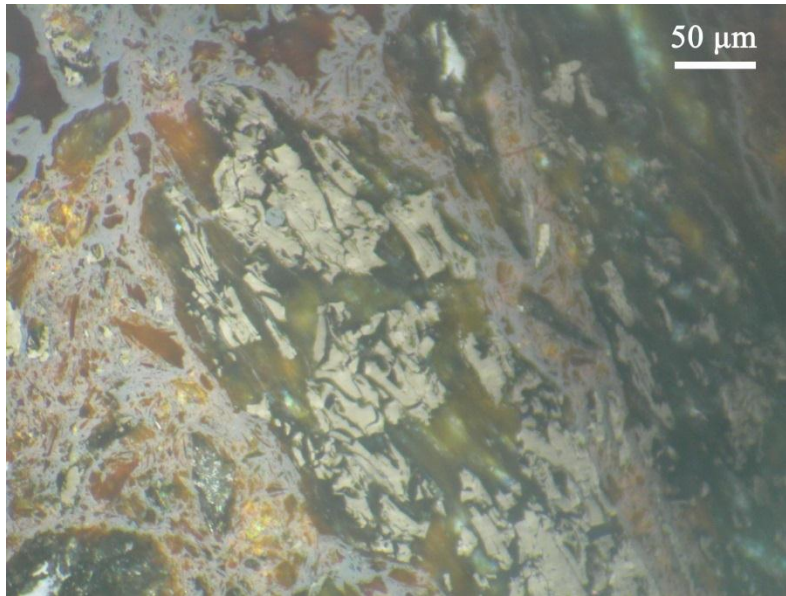
Η μικροσκοπική εξέταση των δειγμάτων σε συνδυασμό με την ακτινοσκοπική εξέταση ανέδειξαν την ορυκτολογική σύσταση καθώς και τα ιστολογικά χαρακτηριστικά του μεταλλεύματος. Στο υπό μελέτη μετάλλευμα τα κύρια ορυκτά που εμφανίζονται είναι: γκαιτίτης, χαλαζίας, χλωρίτης (κλινόχλωρο), μοσχοβίτης και σε μερικές περιπτώσεις παραγονίτης, ενώ μικροσκοπικά ανιχνεύθηκε και γραφίτης.

Πιο συγκεκριμένα, στο δείγμα ΡΑΣ9 η ακτινοσκοπική εξέταση του δείγματος έδειξε την παρουσία γκαιτίτη, κλινόχλωρου, μοσχοβίτη και χαλαζία. Το κύριο συστατικό του δείγματος αποτελεί ο χαλαζίας, οι κρύσταλλοι του οποίου δείχνουν ένα προσανατολισμό προς μια κατεύθυνση, γεγονός που συνδέεται με το βαθμό μεταμόρφωσης του χαλαζιτικού μητρικού πετρώματος. Στο συνδετικό υλικό μεταξύ των κόκκων χαλαζία απαντώνται επιμήκεις κρύσταλλοι χλωρίτη (κλινόχλωρο) και μοσχοβίτη, οι οποίοι (κρύσταλλοι) έχουν διαταχθεί παράλληλα. Μια μαζική σιδηρούχος μεταλλοφορία απαντάται σε περιορισμένη έκταση στο δείγμα η οποία έχει αντικαταστήσει σε μεγάλο βαθμό το συνδετικό υλικό. Η μεταλλοφορία αυτή απαντάται υπό μορφή γκαιτίτη, ο οποίος σχηματίζει συχνά συγκεντρικές επιφλοιώσεις. Σε σπάνιες περιπτώσεις παρατηρήθηκαν υπολείμματα κρυστάλλων σιδηροπυρίτη, τα οποία έχουν μεταβεί σε γκαιτίτη μέσω ψευδομορφόσεως. Στο δείγμα ΡΑΣ10, παρατηρείται κοινή απεικόνιση με δύο από τα δείγματα ΡΑΣ13 και ΡΑΣ14. Τα δείγματα αυτά, αποτελούνται κυρίως από χαλαζία και σε μικρότερα ποσοστά από χλωρίτη, μοσχοβίτη και σπανιότερα παραγονίτη. Η σιδηρούχος μεταλλοφορία με μορφή γκαιτίτη απαντάται σποραδικά μεταξύ των κόκκων χαλαζία που είναι κατακερματισμένοι λόγω τεκτονικής καταπόνησης. Στο δείγμα ΡΑΣ11 όπου καταγράφονται αντίστοιχες παρατηρήσεις με το δείγμα ΡΑΣ12 έχουμε τα εξής χαρακτηριστικά: Αποτελούνται κυρίως από χαλαζία (έντονα κατακερματισμένος) και δευτερευόντως από χλωρίτη. Τα σιδηρούχα διαλύματα έχουν εμποτίσει το χαλαζίτη (μητρικό πέτρωμα) και έχουν καθιζήσει υπό μορφή γκαιτίτη (Εικόνα 4.1). Σε μερικές περιπτώσεις παρατηρήθηκαν συγκεντρικές επιφλοιώσεις από γκαιτίτη ενώ σπανιότερα υπολείμματα κρυστάλλων σιδηροπυρίτη. Τέλος τα δείγματα ΡΑΣ15 και ΡΑΣ16 αποτελούνται κυρίως από χαλαζία και σε μικρότερο βαθμό από γκαιτίτη, μοσχοβίτη και παραγονίτη. Η σιδηρούχος μεταλλοφορία, απαντάται με μορφή γκαιτίτη ο οποίος έχει αντικαταστήσει στο μεγαλύτερο

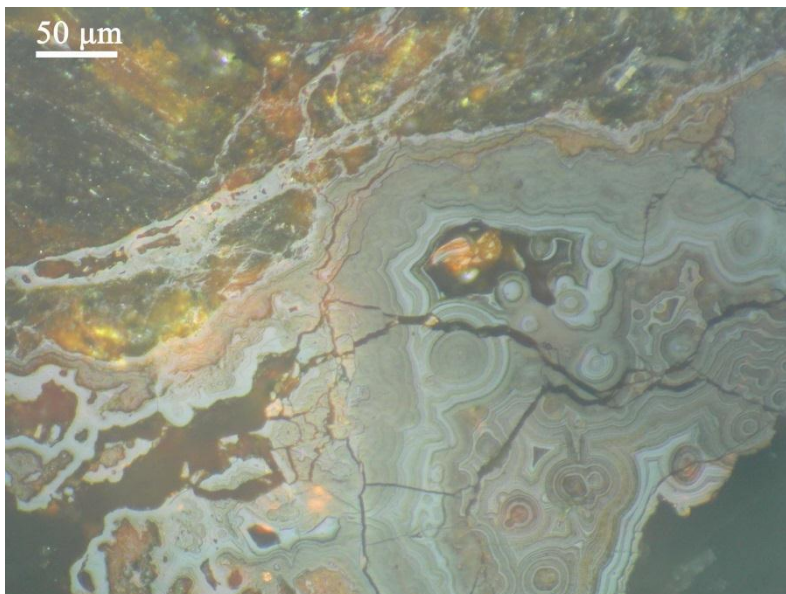
μέρος του το συνδετικό υλικό του μητρικού πετρώματος (χαλαζίτης), κρύσταλλοι γραφίτη απαντώνται συχνά μεταξύ των χαλαζιακών κόκκων (εικόνα 4.2), οι οποίοι δείχνουν έντονες οπτικές ιδιότητες. Συχνά παρατηρήθηκαν συγκεντρικές επιφλοιώσεις από γκαιτίτη κατά μήκος ρωγμών και διάκενων του μητρικού πετρώματος (εικόνα 4.3).



Εικόνα 4.1: Μικροφωτογραφία ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (SEM) και στοιχειακή χημική ανάλυση (EDS) κόκκου γκαιτίτη στο δείγμα ΡΑΣ12.



Εικόνα 4.2: Υπολείμματα γραφίτη και γκαϊτίτης ο οποίος αντικαθιστά το συνδετικό υλικό μεταξύ των κόκκων (Δείγμα ΡΑΣ15, ελαιοκατάδυση, //Nicols)



Εικόνα 4.3: Συγκεντρικές επιφλοιώσεις από γκαϊτίτη (Δείγμα ΡΑΣ12, ελαιοκατάδυση, //Nicols)

### 4.3 Χημικές αναλύσεις αρχικών δειγμάτων

Οι χημικές αναλύσεις καθώς και ο προσδιορισμός της απώλειας πύρωσης (LOI) των αρχικών δειγμάτων του σιδηρομεταλλεύματος αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα (4.1). Η απώλεια πύρωσης δείχνει το ποσοστό του κρυσταλλικού νερού και του διοξειδίου του άνθρακα που περιέχουν τα δείγματα.

Πίνακας 4.1: Χημικές αναλύσεις αρχικών δειγμάτων περιοχής Ρέντα-Αρολίθι

| Δείγμα | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub><br>(%) | SiO <sub>2</sub><br>(%) | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub><br>(%) | CaO<br>(%) | MgO<br>(%) | Na <sub>2</sub> O<br>(%) | K <sub>2</sub> O<br>(%) | TiO <sub>2</sub><br>(%) | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>(%) | SO <sub>3</sub><br>(%) | MnO<br>(%) | LOI<br>(%) | SUM    |
|--------|---------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|------------|------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------------------|------------------------|------------|------------|--------|
| ΡΑΣ9   | 31.25                                 | 54.05                   | 6.47                                  | 0.09       | 0.58       | 0.33                     | 0.27                    | 0.89                    | 0.15                                 | 0.39                   | 0.01       | 5.57       | 100.04 |
| ΡΑΣ10  | 16.38                                 | 63.57                   | 11.35                                 | 0.07       | 0.41       | 0.74                     | 1.19                    | 2.19                    | 0.14                                 | 0.13                   | 0.01       | 3.78       | 99.95  |
| ΡΑΣ11  | 31.56                                 | 54.51                   | 6.76                                  | 0.04       | 0.75       | 0.48                     | 0.26                    | 0.93                    | 0.13                                 | 0.25                   | 0.01       | 4.28       | 99.97  |
| ΡΑΣ12  | 49.98                                 | 35.57                   | 4.34                                  | 0.07       | 0.08       | 0.34                     | 0.16                    | 0.56                    | 0.13                                 | 0.35                   | 0.05       | 8.35       | 99.96  |
| ΡΑΣ13  | 8.49                                  | 75.09                   | 10.24                                 | 0.04       | 1.41       | 0.50                     | 0.68                    | 1.31                    | 0.17                                 | 0.17                   | 0.01       | 1.91       | 100.02 |
| ΡΑΣ14  | 7.16                                  | 77.89                   | 9.50                                  | 0.04       | 1.41       | 0.50                     | 0.30                    | 1.47                    | 0.12                                 | 0.07                   | 0.01       | 1.51       | 99.98  |
| ΡΑΣ15  | 46.90                                 | 24.43                   | 11.44                                 | 0.07       | 0.23       | 0.93                     | 1.30                    | 1.88                    | 0.12                                 | 0.75                   | 0.01       | 11.91      | 99.97  |
| ΡΑΣ16  | 40.52                                 | 40.01                   | 7.21                                  | 0.04       | 0.06       | 0.55                     | 0.62                    | 1.08                    | 0.13                                 | 0.80                   | 0.01       | 8.94       | 99.98  |

Όπως παρατηρούμε από τον παραπάνω πίνακα αξιόλογα ποσοστά Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> υπάρχουν στα δείγματα ΡΑΣ12 με ποσοστό 49.98%, ΡΑΣ15 με ποσοστό 46.90%, ΡΑΣ16 με ποσοστό 40.52%, ακολουθούν τα δείγματα ΡΑΣ9 και ΡΑΣ11 με ποσοστό 31.25%, 31.56% αντίστοιχα ενώ σε πολύ μικρότερες ποσότητες βρίσκεται στα δείγματα ΡΑΣ10, ΡΑΣ13, ΡΑΣ14 με ποσοστό 16.38%, 8.49%, 7.16% αντίστοιχα. Το μεγαλύτερο ποσοστό του SiO<sub>2</sub> είναι στο δείγμα ΡΑΣ14 και ανέρχεται σε 77.89% ενώ το μικρότερο ποσοστό του βρίσκεται στο δείγμα ΡΑΣ15 και ανέρχεται σε 24.43%. Σε γενικές γραμμές τα δείγματά μας δεν είναι αρκετά πλούσια σε σίδηρο αν εξαιρέσουμε τα τρία δείγματα ΡΑΣ12, ΡΑΣ15, ΡΑΣ16 που έχουν ένα αξιόλογο ποσοστό πάνω από 40%.

## Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα δοκιμών εμπλουτισμού

Για την πραγματοποίηση των δοκιμών εμπλουτισμού η διαδικασία που πραγματοποιήθηκε ήταν, να ανακατευθούν όλα τα αρχικά δείγματα για να περάσουν από διαδικασία θραύσης σε σιαγωνωτό θραυστήρα. Από τη θραύση στο σιαγωνωτό θραυστήρα προέκυψε υλικό με κοκκομετρία -8.00 mm. Το υλικό κοσκινίστηκε και διαχωρίστηκε σε 5 κοκκομετρικά κλάσματα και αυτά ήταν τα εξής:

α) -8.00+4.00 mm

β) -4.00+1.00 mm

γ) -1.00+0.250 mm

δ) -0.250+0.063 mm

ε) -0.063 mm

Τα παραπάνω κοκκομετρικά κλάσματα χρησιμοποιήθηκαν σε δοκιμές εμπλουτισμού (βαρυτομετρικές και μαγνητικές) με εξαίρεση το τελευταίο κλάσμα (-0.063 mm).

Πίνακας 5.1: Χημικές αναλύσεις αρχικών κοκκομετρικών κλασμάτων Ρέντα Αρολίθι.

| Δείγμα (mm)  | Βάρος (g) | Βάρος (%) | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%) | SiO <sub>2</sub> (%) | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%) | CaO (%) | MgO (%) | Na <sub>2</sub> O (%) | K <sub>2</sub> O (%) | TiO <sub>2</sub> (%) | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%) | SO <sub>3</sub> (%) | MnO (%) | LOI (%) | SUM (%) |
|--------------|-----------|-----------|------------------------------------|----------------------|------------------------------------|---------|---------|-----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------------|---------------------|---------|---------|---------|
| -8+4         | 1530.1    | 43,43     | 17.02                              | 66.39                | 9.04                               | 0.10    | 0.74    | 0.51                  | 0.44                 | 1.30                 | 0.06                              | 0.08                | 0.01    | 4.22    | 99.91   |
| -4+1         | 1187.3    | 33,70     | 27.33                              | 55.54                | 7.76                               | 0.12    | 0.57    | 0.58                  | 0.42                 | 1.07                 | 0.12                              | 0.25                | 0.01    | 6.18    | 99.95   |
| -1+0,250     | 418.4     | 11,87     | 27.55                              | 55.16                | 8.05                               | 0.08    | 0.57    | 0.55                  | 0.43                 | 1.05                 | 0.14                              | 0.28                | 0.01    | 6.12    | 99.98   |
| -0,250+0,063 | 190.3     | 5,40      | 30.79                              | 51.96                | 7.83                               | 0.17    | 0.24    | 0.40                  | 0.38                 | 1.08                 | 0.15                              | 0.32                | 0.01    | 6.57    | 99.89   |
| -0,063       | 197.2     | 5,60      | 36.68                              | 42.19                | 9.27                               | 0.35    | 0.57    | 0.50                  | 0.68                 | 1.03                 | 0.16                              | 0.25                | 0.01    | 8.27    | 99.96   |
| Σύνολο       | 3523.3    | 100       | 23.59                              | 59.27                | 8.44                               | 0.12    | 0.63    | 0.53                  | 0.44                 | 1.17                 | 0.10                              | 0.19                | 0.01    | 5.46    | 99.94   |

Στα 5 κοκκομετρικά κλάσματα πραγματοποιήθηκε απώλεια πύρωσης, χημική ανάλυση με φασματοσκοπία ακτινών φθορισμού (XRF), προσδιορισμός της ορυκτολογικής σύστασης με περιθλασιμετρία ακτινών-X (XRD) αλλά και μικροσκοπική εξέταση.

Όπως παρατηρούμε από τον παραπάνω πίνακα 5.1, ο Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> παρουσιάζει μέγιστο στο μικρότερο κλάσμα (-0.063 mm) με ποσοστό 36.68%, ενώ το SiO<sub>2</sub> παρουσιάζει ελάχιστο στο ίδιο κλάσμα, όπως είναι φυσιολογικό. Το SiO<sub>2</sub> παρουσιάζει μέγιστο στο μεγαλύτερο κλάσμα (-8+4 mm) με ποσοστό 66.39% και ο Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> παρουσιάζει ελάχιστο με ποσοστό 17.02%. Γενικά παρατηρείται ότι η περιεκτικότητα του Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> αυξάνεται με τη μείωση του μεγέθους των κόκκων, ενώ το αντίθετο συμβαίνει για το SiO<sub>2</sub>.

## 5.1 Αποτελέσματα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού

Στον παρακάτω πίνακα 5.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού, ενώ στην εικόνα 5.1 η κατανομή του βάρους των προϊόντων του διαχωρισμού.

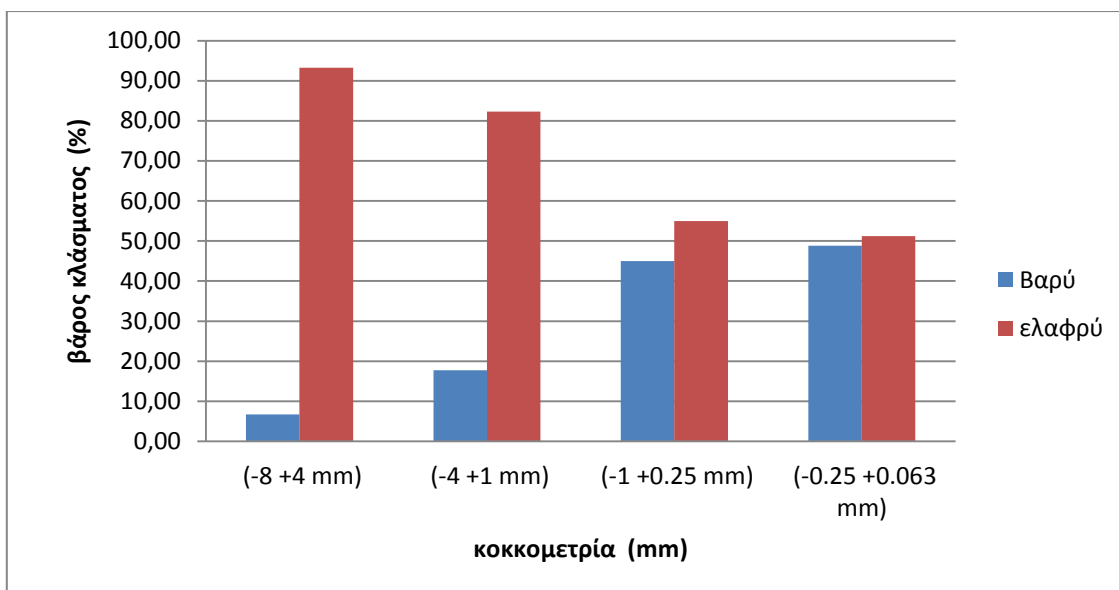
Πίνακας 5.2: Χημικές αναλύσεις των κλασμάτων βαρυτομετρικού διαχωρισμού Ρέντα Αρολίθι

| Μέγεθος κόκκων   | Προϊόν | ΒΑΡΟΣ     |                     |                       | ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ (%)          |                  |                                |
|------------------|--------|-----------|---------------------|-----------------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|
|                  |        | Βάρος (g) | Βάρος κλάσματος (%) | Βάρος επί αρχικού (%) | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| -8 +4 mm         | Βαρύ   | 52.2      | 6.75                | 2.93                  | 67.71                          | 16.85            | 2.64                           |
|                  | Ελαφρύ | 720.8     | 93.25               | 40.43                 | 14.60                          | 69.94            | 8.99                           |
|                  | Σύνολο | 773       | 100                 | 43.36                 | 18.19                          | 66.35            | 8.56                           |
| -4 +1 mm         | Βαρύ   | 94.1      | 17.73               | 5.28                  | 66.77                          | 16.15            | 3.44                           |
|                  | Ελαφρύ | 436.5     | 82.27               | 24.48                 | 22.88                          | 60.91            | 8.30                           |
|                  | Σύνολο | 530.6     | 100                 | 29.76                 | 30.67                          | 52.97            | 7.44                           |
| -1 +0.250 mm     | Βαρύ   | 89.6      | 45.03               | 5.03                  | 62.28                          | 22.86            | 0.03                           |
|                  | Ελαφρύ | 109.4     | 54.97               | 6.14                  | 6.52                           | 79.31            | 8.65                           |
|                  | Σύνολο | 199       | 100                 | 11.16                 | 31.62                          | 53.89            | 4.77                           |
| -0.250 +0.063 mm | Βαρύ   | 40.5      | 48.80               | 2.27                  | 58.05                          | 25.06            | 2.34                           |
|                  | Ελαφρύ | 42.5      | 51.20               | 2.38                  | 10.67                          | 74.77            | 8.00                           |
|                  | Σύνολο | 83        | 100                 | 4.66                  | 33.79                          | 50.51            | 5.24                           |
| -0.063 mm        | Σύνολο | 197.2     | 100                 | 11.06                 | 36.68                          | 42.19            | 9.27                           |
| ΣΥΝΟΛΟ           |        | 1782.8    |                     | 100                   |                                |                  |                                |

### 5.1.1 Κατανομή βάρους στα βαριά και στα ελαφριά

Από τα τέσσερα κοκκομετρικά κλάσματα φαίνεται ότι η κατανομή βάρους στα βαριά (SINK) κυμαίνεται από 6.75 % - 48.80%, ενώ στα ελαφριά (FLOAT) από 51.20% - 93.25 %. Παρατηρούμε ότι στα κλάσματα (-8+4mm) και (-4+1 mm) το μεγαλύτερο μέρος του υλικού πάει στα ελαφριά με ποσοστό 93.25 % και 82.27%, αντίστοιχα. Στα αμέσως επόμενα κλάσματα (-1+0.250 mm) και (-0.250+0.063 mm) το ποσοστό των ελαφριών είναι λίγο πάνω από το 50% (54.97% και 51.20%, αντίστοιχα). Όσο αφορά το βαρύ κλάσμα πολύ χαμηλές τιμές παρουσιάζονται στα δυο αρχικά κλάσματα (-8+4mm) και (-4+1 mm) με 6.75% και 17.73% αντίστοιχα, ενώ τα αμέσως επόμενα κλάσματα (-1+0.250 mm) και (-0.250+0.063 mm) τα ποσοστά είναι 45.03% και 48.80% αντίστοιχα. Γενικά στα χονδρόκοκκα κλάσματα το μεγαλύτερο μέρος του υλικού οδηγείται προς τα ελαφριά προϊόντα, ενώ στα λεπτότερα κλάσματα διαχωρίζεται περίπου ισομερώς.

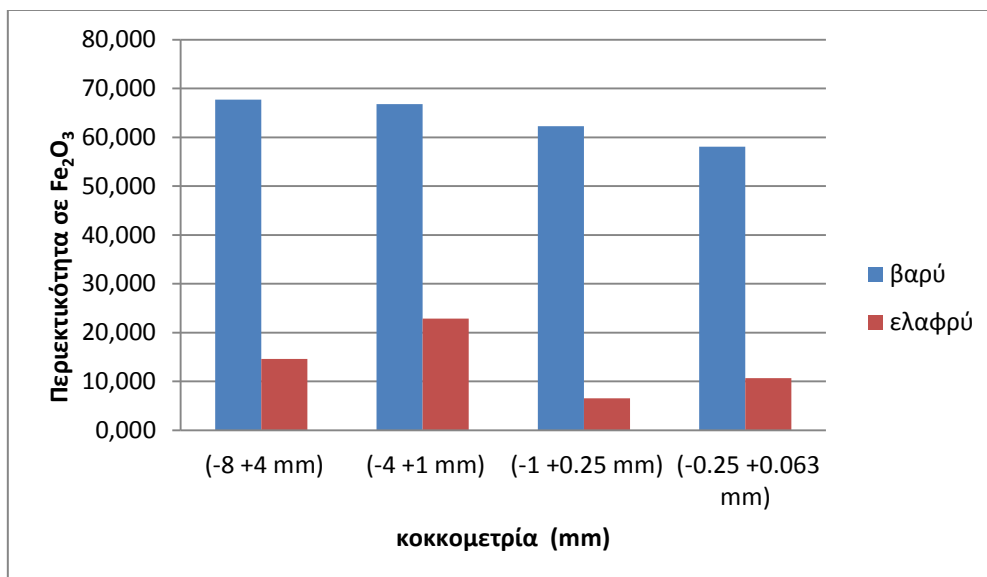




Εικόνα 5.1: Κατανομή βάρους των προϊόντων του βαρυτομετρικού διαχωρισμού σε όλα τα κοκκομετρικά κλάσματα

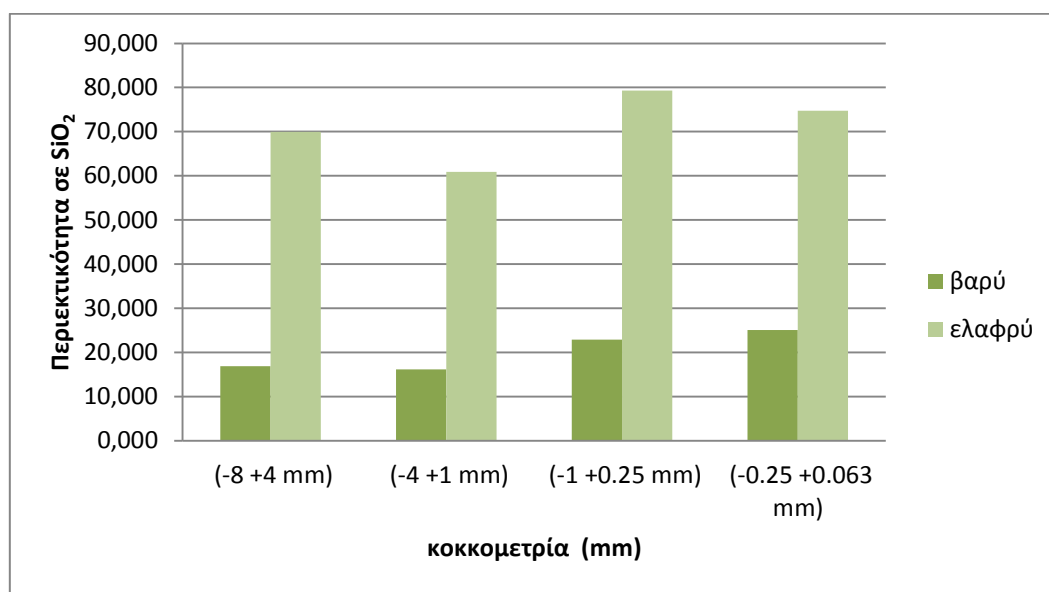
### 5.1.2 Χημικές αναλύσεις

Στις εικόνες 5.2 και 5.3 απεικονίζονται η περιεκτικότητα των προϊόντων του βαρυτομετρικού διαχωρισμού για το  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  και το  $\text{SiO}_2$ .



Εικόνα 5.2: Περιεκτικότητα σε  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  στα κλάσματα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού.

Η περιεκτικότητα του  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  κυμαίνεται από 58.05% έως 67.71% στα βαριά (SINK) και 6.52% έως 22.88% στα ελαφριά (FLOAT). Πιο συγκεκριμένα, η περιεκτικότητα στα βαριά του  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  στα κλάσματα (-8+4 mm) και (-4+1 mm) είναι 67.71% και 66.77% αντίστοιχα ενώ στα κλάσματα (-1+0.25 mm) και (-0.25+0.064 mm) είναι 62.28% και 58.05% αντίστοιχα. Στα δύο τελευταία κλάσματα παρατηρείται μια πτώση της περιεκτικότητας του  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  σε σχέση με τα δύο αρχικά. Όσο αφορά τα ελαφριά η περιεκτικότητα σε  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  στα κλάσματα (-8+4 mm) και (-4+1 mm) κυμαίνεται σε 14.60% και 22.88% ενώ στα κλάσματα (-1+0.25 mm) και (-0.25+0.063 mm) κυμαίνεται σε 6.52% και 10.67% αντίστοιχα. Σε γενικές γραμμές η περιεκτικότητα του σιδήρου είναι καλή όχι όμως ικανοποιητική.



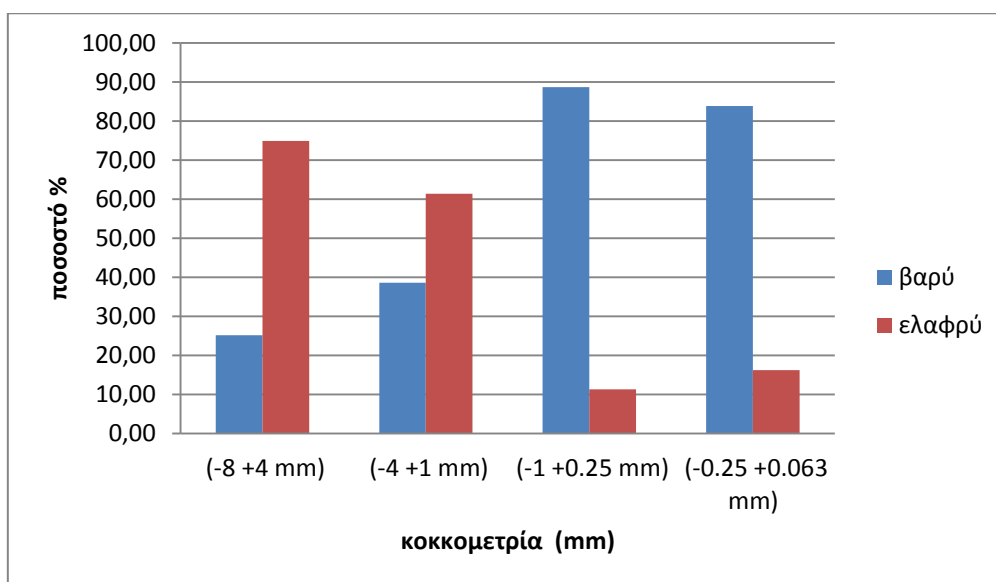
Εικόνα 5.3: Περιεκτικότητα σε  $\text{SiO}_2$  στα κλάσματα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού.

Η περιεκτικότητα του  $\text{SiO}_2$  στα ελαφριά κυμαίνεται από 60.91% έως 79.31% ενώ στα βαριά κυμαίνεται από 16.15% έως 25.06%. Στα βαριά, στα κλάσματα (-8+4 mm) και (-4+1 mm) η περιεκτικότητα του  $\text{SiO}_2$  είναι 16.85% και 16.15% αντίστοιχα, ενώ στα κλάσματα (-1+0.250 mm) και (-0.250+0.064 mm) είναι 22.86% και 25.06% αντίστοιχα. Στα ελαφριά, στα κλάσματα (-8+4 mm), (-4+1 mm), (-1+0.25 mm) και (-0.250+0.063 mm) η περιεκτικότητα του  $\text{SiO}_2$  είναι 69.94%, 60.91%, 79.31% και 74.77% αντίστοιχα. Παρατηρείται αρκετά μεγάλη περιεκτικότητα του  $\text{SiO}_2$  σε όλα τα κλάσματα.

Στον πίνακα 5.3 απεικονίζονται τα αποτελέσματα της κατανομής των  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  και  $\text{Al}_2\text{O}_3$  στα κοκκομετρικά κλάσματα, ενώ στις εικόνες 5.4-5.5 τα διαγράμματα κατανομής του  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  και του  $\text{SiO}_2$  για όλα τα κλάσματα.

Πίνακας 5.3: Κατανομή (%) των κλασμάτων βαρυτομετρικού διαχωρισμού Ρέντα Αρολίθι.

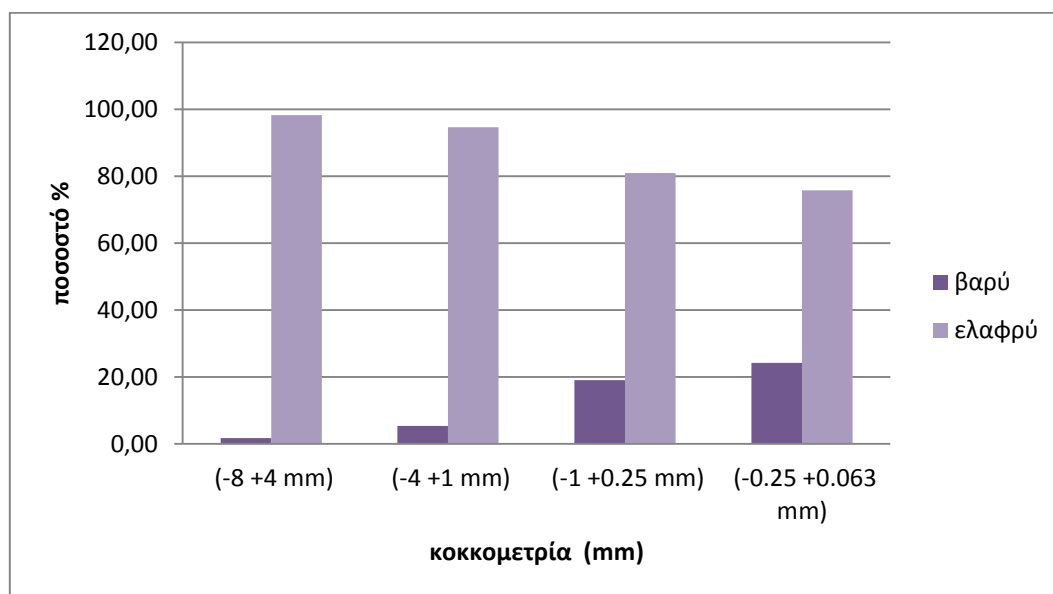
| Μέγεθος κόκκων   | Προϊόν | ΒΑΡΟΣ     |                     |                       | ΚΑΤΑΝΟΜΗ (%)                   |                  |                                |
|------------------|--------|-----------|---------------------|-----------------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|
|                  |        | Βάρος (g) | Βάρος κλάσματος (%) | Βάρος επί αρχικού (%) | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| -8 +4 mm         | Βαρύ   | 52.2      | 6.75                | 2.93                  | 25.14                          | 1.72             | 2.09                           |
|                  | Ελαφρύ | 720.8     | 93.25               | 40.43                 | 74.86                          | 98.28            | 97.91                          |
|                  | Σύνολο | 773       | 100                 | 43.36                 | 100                            | 100              | 100                            |
| -4 +1 mm         | Βαρύ   | 94.1      | 17.73               | 5.28                  | 38.61                          | 5.41             | 8.21                           |
|                  | Ελαφρύ | 436.5     | 82.27               | 24.48                 | 61.39                          | 94.59            | 91.79                          |
|                  | Σύνολο | 530,6     | 100                 | 29.76                 | 100                            | 100              | 100                            |
| -1 +0.250 mm     | Βαρύ   | 89.6      | 45.03               | 5.03                  | 88.67                          | 19.10            | 0.25                           |
|                  | Ελαφρύ | 109.4     | 54.97               | 6.14                  | 11.33                          | 80.90            | 99.75                          |
|                  | Σύνολο | 199       | 100                 | 11.16                 | 100                            | 100              | 100                            |
| -0.250 +0.063 mm | Βαρύ   | 40.5      | 48.80               | 2.27                  | 83.83                          | 24.21            | 21.79                          |
|                  | Ελαφρύ | 42.5      | 51.20               | 2.38                  | 16.17                          | 75.79            | 78.21                          |
|                  | Σύνολο | 83        | 100                 | 4.66                  | 100                            | 100              | 100                            |
| -0.063 mm        | Σύνολο | 197.2     | 100                 | 11.06                 | 100                            | 100.00           | 100.00                         |
| ΣΥΝΟΛΟ           |        | 1782.8    |                     | 100                   |                                |                  |                                |



Εικόνα 5.4: Κατανομή (%) του Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> σε όλα τα κοκκομετρικά κλάσματα.

Από την εικόνα 5.4 προκύπτει ότι το μεγαλύτερο μέρος του Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> πάει στα ελαφριά στα χονδρόκοκκα κλάσματα, ενώ στα λεπτότερα κλάσματα πηγαίνει στα βαριά προϊόντα.

Αναλυτικότερα, στα βαριά των κλασμάτων (-8+4 mm), (-4+1 mm), (-1+0.250 mm) και (-0.250+0.063 mm) η κατανομή του  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  είναι 25.14%, 38.61%, 88.67%, 83.83% αντίστοιχα. Στα ελαφριά προϊόντα των κλασμάτων (-8+4 mm), (-4+1 mm), (-1+0.25 mm) και (-0.25+0.063 mm) η περιεκτικότητα του  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  είναι 74.86%, 61.39%, 11.33%, 16.17% αντίστοιχα. Γενικά παρατηρείται η καλύτερη κατανομή του  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  να εμφανίζεται στο βαρύ προϊόν στο κλάσμα (-1+0.250 mm) με ποσοστό που ανέρχεται στο 88.67%.

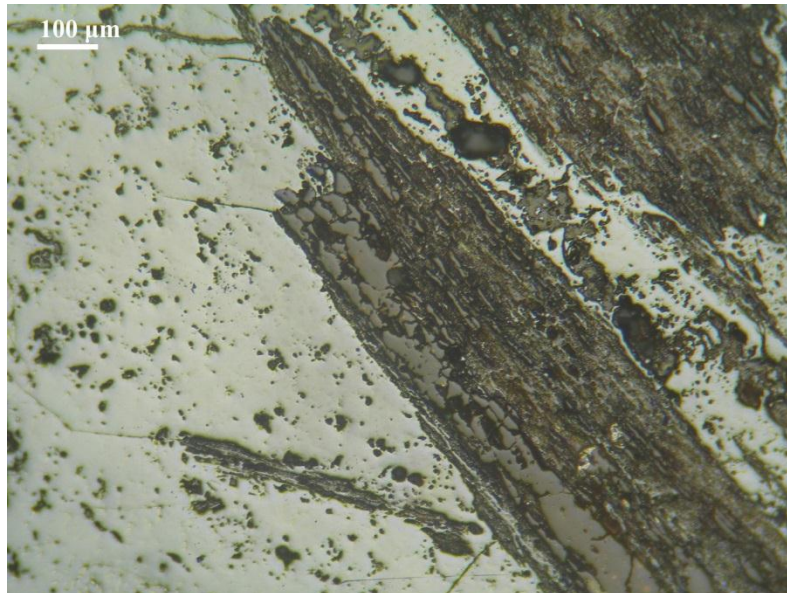


Εικόνα 5.5: Κατανομή (%) του  $\text{SiO}_2$  σε όλα τα κοκκομετρικά κλάσματα.

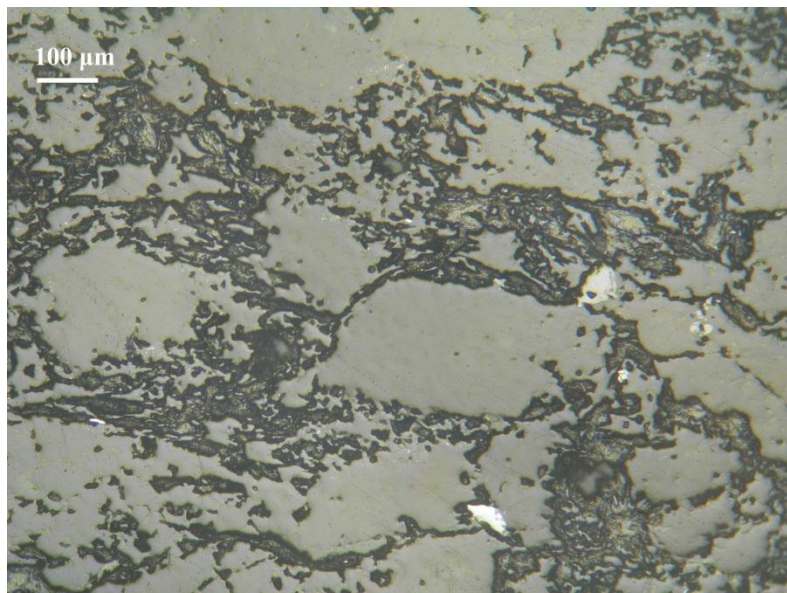
Στην κατανομή του  $\text{SiO}_2$  (Εικόνα 5.5) στα βαριά προϊόντα εμφανίζει αύξηση όσο μειώνεται το μέγεθος των κόκκων και αναλυτικότερα, στα κλάσματα (-8+4mm), (-4+1 mm), (-1+0.25 mm) και (-0.25+0.063 mm) η κατανομή είναι 1.72%, 5.41%, 19.10%, 24.21% αντίστοιχα. Στα ελαφριά προϊόντα ισχύει το ακριβώς αντίθετο και συγκεκριμένα στα κλάσματα (-8+4mm), (-4+1 mm), (-1+0.25 mm) και (-0.25+0.063 mm) η περιεκτικότητα είναι 98.28%, 94.59%, 80.90%, 75.79% αντίστοιχα. Τα ποσοστά αυτά θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως ικανοποιητικά εφόσον στα ελαφριά προϊόντα έχουμε αυξημένα ποσοστά  $\text{SiO}_2$  που είναι και το επιθυμητό.

### 5.1.3 Μικροσκοπική εξέταση των προϊόντων της δοκιμής του βαρυτομετρικού διαχωρισμού

#### Κοκκομετρικό κλάσμα (-8+4 mm)



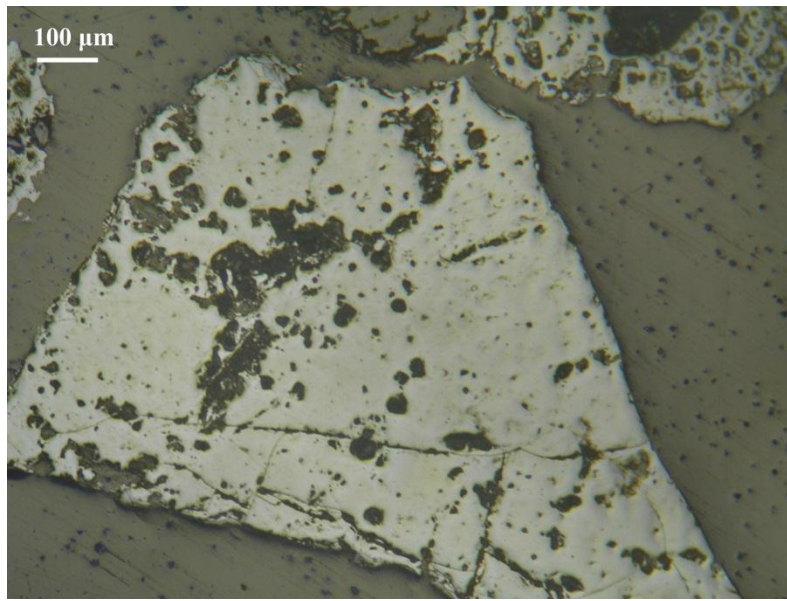
Εικόνα 5.6: Συσσωμάτωμα γκαιτίτη με χαλαζιακό υλικό.  
Δείγμα: Βαρύ προϊόν (sink) για το κοκκομετρικό κλάσμα (-8+4 mm), Ανακλώμενο φως, //Nicols.



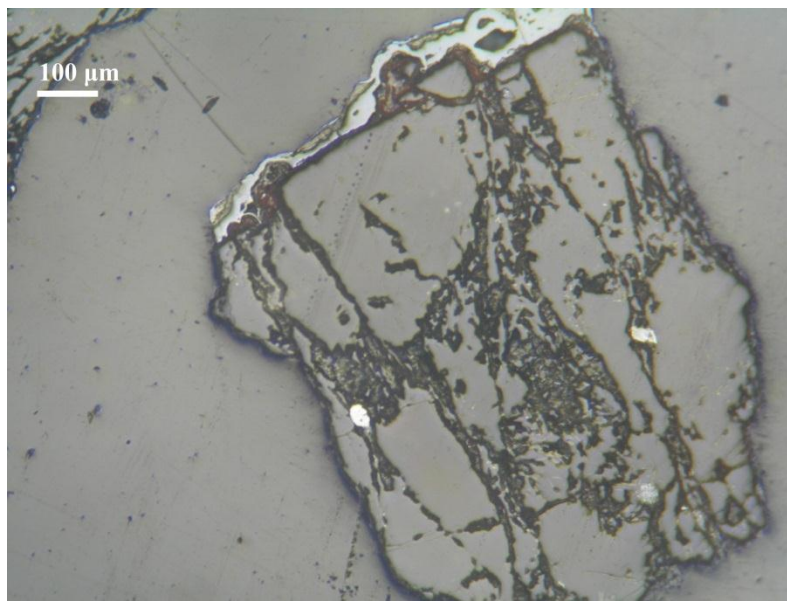
Εικόνα 5.7: Χαλαζιακοί κόκκοι με υπολείμματα γκαιτίτη.  
Δείγμα: Ελαφρύ προϊόν (float) για το κοκκομετρικό κλάσμα (-8+4 mm), Ανακλώμενο φως, //Nicols.



**Κοκκομετρικό κλάσμα (-4+1 mm)**

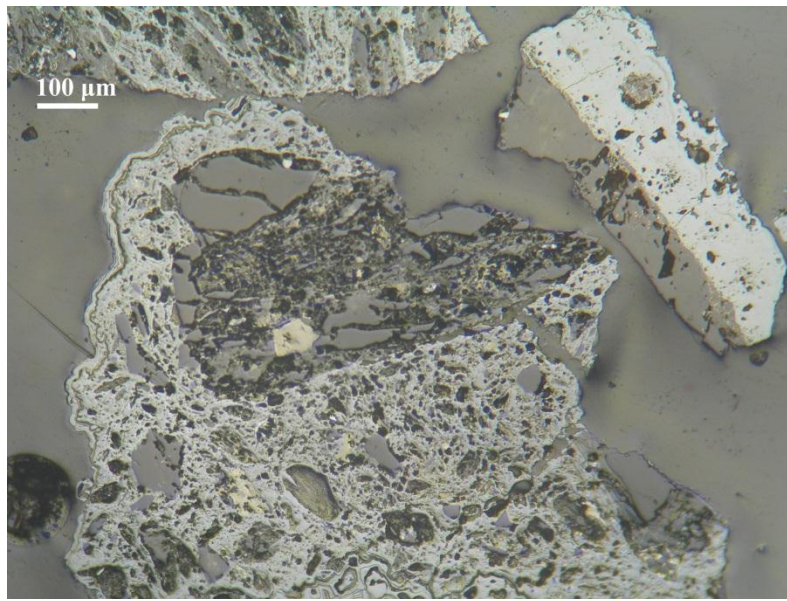


Εικόνα 5.8: Κόκκος γκαϊτίτη με ρωγματώσεις και διάκενα.  
Δείγμα: Βαρύ προϊόν (sink) για το κοκκομετρικό κλάσμα (-4+1 mm), Ανακλώμενο φως,  
//Nicols.

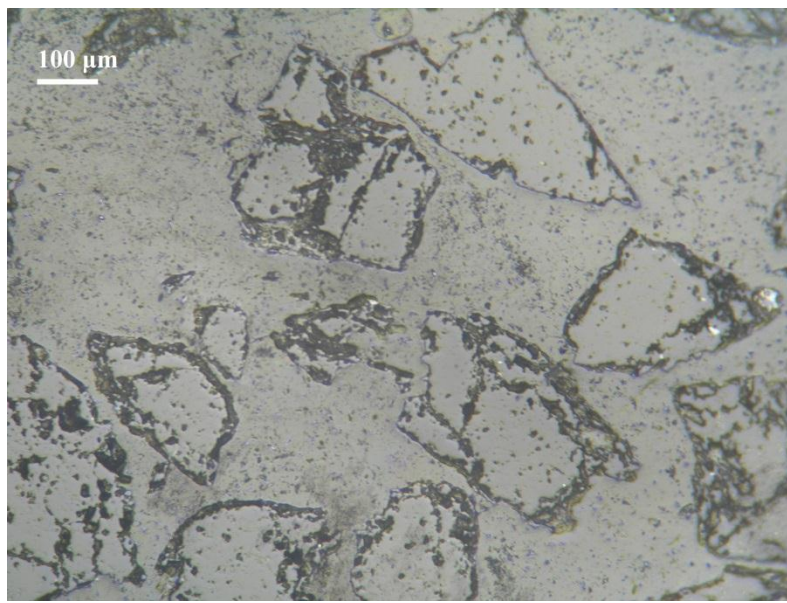


Εικόνα 5.9: Κόκκος χαλαζία με υπολείμματα γκαϊτίτη.  
Δείγμα: Ελαφρύ προϊόν (float) για το κοκκομετρικό κλάσμα (-4+1 mm), Ανακλώμενο φως,  
//Nicols.

**Κοκκομετρικό κλάσμα (-1+0.250 mm)**



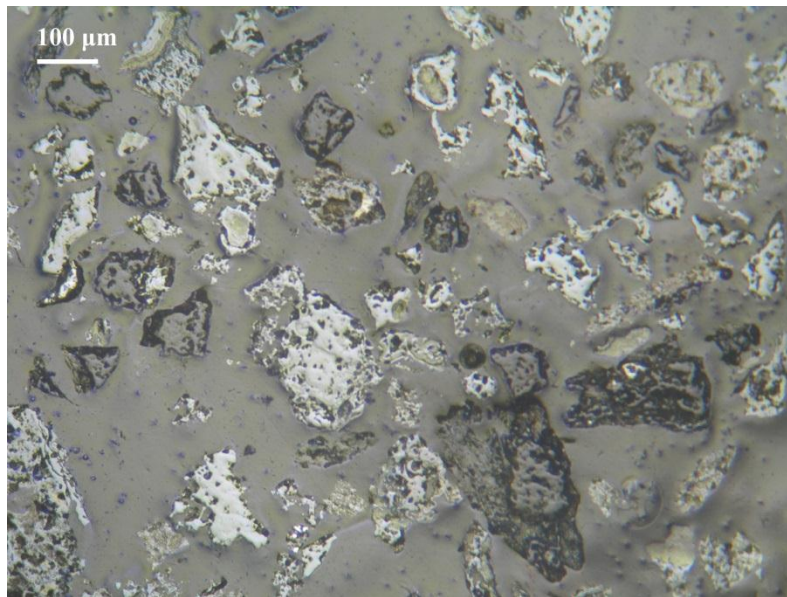
Εικόνα 5.10: Μη αποδεσμευμένοι κόκκοι γκαϊτίτη – χαλαζία με εγκλείσματα γραφίτη.  
Δείγμα: Βαρύ προϊόν (sink) για το κοκκομετρικό κλάσμα (-1+0.250 mm), Ανακλώμενο φως, //Nicols.



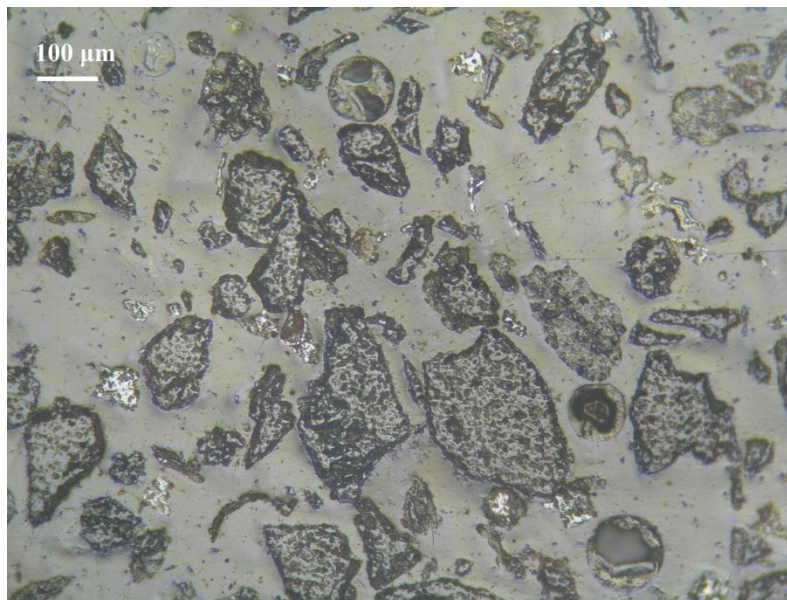
Εικόνα 5.11: Αποδεσμευμένοι κόκκοι χαλαζία.  
Δείγμα: Ελαφρύ προϊόν (float) για το κοκκομετρικό κλάσμα (-1+0.250 mm), Ανακλώμενο φως, //Nicols.



**Κοκκομετρικό κλάσμα (-0.250+0.063 mm)**



Εικόνα 5.12: Κόκκοι γκαιτίτη και μεμονωμένοι κόκκοι χαλαζία με υπολείμματα γκαιτίτη.  
Δείγμα: Βαρύ προϊόν (sink) για το κοκκομετρικό κλάσμα (-0.250+0.063 mm), Ανακλώμενο φως, //Nicols.



Εικόνα 5.13: Κόκκοι χαλαζία και ίχνη γκαιτίτη.  
Δείγμα: Ελαφρύ προϊόν (float) για το κοκκομετρικό κλάσμα (-0.250+0.063 mm),  
Ανακλώμενο φως, //Nicols.

#### 5.1.4 Σχολιασμός και παρατηρήσεις αποτελεσμάτων βαρυτομετρικού διαχωρισμού.

**Κλάσμα (-8+4 mm)** ο διαχωρισμός δεν κρίνεται ικανοποιητικός, η συγκέντρωση σε ποσοστό του σιδήρου είναι 67.71% στα βαριά και 14.60% στα ελαφριά (η συγκέντρωση του σιδήρου σε αυτό το κλάσμα στα βαριά ήταν η μεγαλύτερη που σημειώθηκε στα βαριά από όλα τα κλάσματα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού), όμως η κατανομή του  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  είναι αρκετά χαμηλή στα βαριά 25.14% και αρκετά ανεβασμένη στα ελαφριά 74.86%. Αυτό δείχνει ότι αρκετό υλικό έχει κατανεμηθεί στα ελαφριά και πολύ μικρό ποσοστό έχει κατανεμηθεί στα βαριά. Η κατανομή του  $\text{SiO}_2$  στα βαριά είναι χαμηλή 1.72% και στα ελαφριά 98.28% τα ποσοστά αυτά θεωρούνται αποδεκτά εφόσον το απόρριμμα είναι πλούσιο σε  $\text{SiO}_2$  και όχι σε σίδηρο. Τα παραπάνω επικυρώνονται και με τη μικροσκοπική εξέταση των προϊόντων του διαχωρισμού. Παρατηρήθηκαν συσσωματώματα γκαιτίτη με χαλαζία σε αυτήν την κοκκομετρία και για αυτό το λόγο ο διαχωρισμός δεν κρίνεται ικανοποιητικός.

**Κλάσμα (-4+1 mm)** ο διαχωρισμός είναι ελάχιστα χειρότερος από ότι στο προηγούμενο κλάσμα σε σχέση με τη συγκέντρωση σιδήρου, όμως είναι καλύτερος ως προς την κατανομή του υλικού. Η συγκέντρωση του σιδήρου είναι 66.77% στα βαριά και 22.88% στα ελαφριά. Η περιεκτικότητα του σιδήρου στα ελαφριά έχει υψηλότερη τιμή από το προηγούμενο κλάσμα 22.88%. Η κατανομή του  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  στα βαριά είναι 38.61% και στα ελαφριά είναι 61.39%. Η μικροσκοπική μελέτη των προϊόντων διαχωρισμού έδειξε ότι στα βαριά υπάρχουν κόκκοι γκαιτίτη, ενώ στα ελαφριά εμφανίζονται κόκκοι χαλαζία με υπολείμματα γκαιτίτη. Ο βαθμός αποδέσμευσης των προϊόντων έχει βελτιωθεί μερικώς σε σχέση με το προηγούμενο κλάσμα, αλλά ο διαχωρισμός και σε αυτό το κλάσμα δεν κρίνεται ικανοποιητικός.

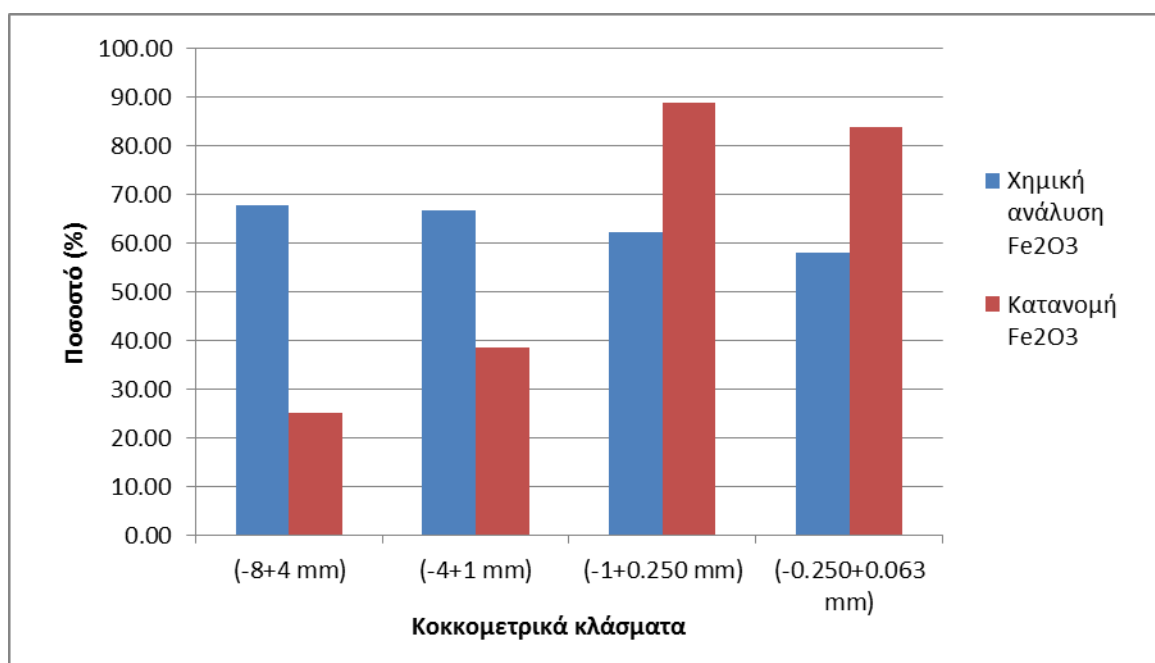
**Κλάσμα (-1+0.250 mm)** ο διαχωρισμός είναι ο καλύτερος που έγινε σε όλα τα κλάσματα λαμβάνοντας υπόψη την κατανομή του σιδήρου (βαριά 88.67%, ελαφριά 11.33%) αφού αρκετό ποσοστό του υλικού έχει κατανεμηθεί στα βαριά. Χειρότερη σε σχέση με τα προηγούμενα κλάσματα είναι η περιεκτικότητα του σιδήρου, 62.28% στα βαριά και 6.52% στα ελαφριά ενώ η περιεκτικότητα του  $\text{SiO}_2$  είναι 22.86% στα βαριά και 79.31% στα ελαφριά. Έχει επιτευχθεί υψηλή κατανομή σιδήρου στα βαριά και χαμηλή στα ελαφριά, όπου είναι και το επιθυμητό. Θετικό είναι επίσης ότι το βαρύ υλικό δεν είναι πλούσιο σε  $\text{SiO}_2$ . Η μικροσκοπική μελέτη των προϊόντων διαχωρισμού στα βαριά έδειξε ότι υπάρχουν συσσωματώματα γκαιτίτη-χαλαζία, ενώ στα ελαφριά παρατηρήθηκαν αποδεσμευμένοι κόκκοι χαλαζία.

**Κλάσμα (-0.250+0.063 mm)** ο διαχωρισμός στο τελευταίο κλάσμα κρίνεται μερικώς ικανοποιητικός σε σχέση με τα δυο πρώτα κλάσματα. Η περιεκτικότητα του  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  είναι 58.05% στα βαριά και 10.67% στα ελαφριά. Η περιεκτικότητα του  $\text{SiO}_2$  είναι 25.06% στα βαριά και 74.77% στα ελαφριά. Στην κατανομή του  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  είναι 83.83% στα βαριά και 16.17% στα ελαφριά. Η κατανομή του  $\text{SiO}_2$  είναι 24.21% στα βαριά και 75.79% στα

ελαφριά. Μπορεί να ειπωθεί ότι ο διαχωρισμός αυτός ως προς το κλάσμα είναι ικανοποιητικός βλέποντας την κατανομή σιδήρου και τα ποσοστά  $\text{SiO}_2$ .

Ως προς τη μικροσκοπική εξέταση σε αυτό το κλάσμα εμφανίζονται καλύτερα αποδεσμευμένοι οι κόκκοι γκαιίτη στο βαρύ προϊόν με μεμονωμένους κόκκους χαλαζία και συνδετικού υλικού που παρουσιάζουν υπολείμματα γκαιίτη. Στο ελαφρύ προϊόν του κλάσματος εμφανίζονται αποδεσμευμένοι κόκκοι χαλαζία με ίχνη από γκαιίτη.

Γενικά ο διαχωρισμός ήταν ικανοποιητικός, ιδιαίτερα στα δυο τελευταία κλάσματα. Το καλύτερο αποτέλεσμα μπορεί να θεωρηθεί ότι επετεύχθη στο κλάσμα  $(-1+0.250 \text{ mm})$  που η κατανομή του σιδήρου στα βαριά παρουσιάζει την υψηλότερη τιμή σε σχέση με τα υπόλοιπα κοκκομετρικά κλάσματα. Αυτό αποτυπώνεται και στην εικόνα 5.14, όπου απεικονίζεται η σχέση της κατανομής με τη χημική σύσταση του  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  στα βαριά προϊόντα.



Εικόνα 5.14: Συσχετισμός της χημικής ανάλυσης (%) με την κατανομή (%) του  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  στο βαρύ προϊόν.

Από το διάγραμμα της εικόνας 5.14 παρατηρούμε, ότι καθώς αυξάνεται η κατανομή, η περιεκτικότητα σε σίδηρο μειώνεται. Είναι δύο ιδιότητες αντιστρόφως ανάλογες και στα αποτελέσματα μας αυτό είναι ευκρινές. Αυτό που συμπεραίνεται είναι ότι ενώ στο βαρύ προϊόν στο κλάσμα  $(-1+0.250 \text{ mm})$  η κατανομή έχει αυξημένο ποσοστό, η συγκέντρωση του σιδήρου έχει μειωμένη τιμή. Οπότε ενώ μεγάλο ποσοστό του υλικού στο κλάσμα αυτό έχει κατανεμηθεί στα βαριά, όμως ποιοτικά έχουμε χαμηλότερη περιεκτικότητα σε σίδηρο.

## 5.2 Δοκιμή εμπλουτισμού με τη μέθοδο του μαγνητικού διαχωρισμού

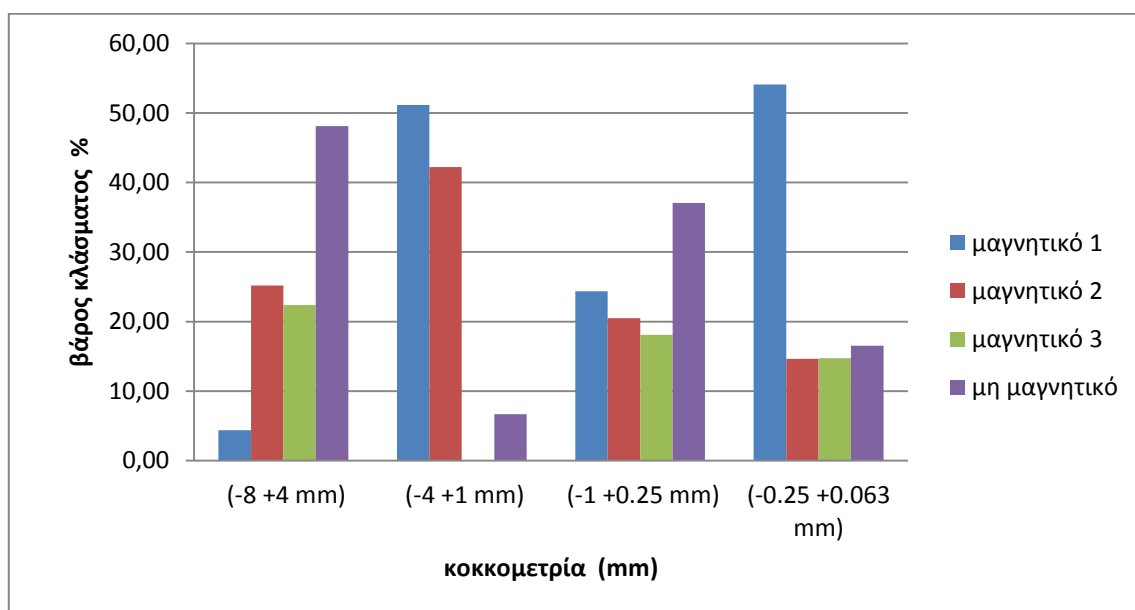
### 5.2.1 Αποτελέσματα μαγνητικού διαχωρισμού.

Στον παρακάτω πίνακα 5.4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων του μαγνητικού διαχωρισμού, ενώ στον πίνακα 5.5 παρουσιάζονται οι κατανομές των αντίστοιχων προϊόντων του διαχωρισμού.

Πίνακας 5.4: Χημικές αναλύσεις των κλασμάτων των μαγνητικών και των μη μαγνητικών προϊόντων Ρέντα-Αρολίθι.

| Μέγεθος κόκκων    | Προϊόν                   | ΒΑΡΟΣ     |                     |                       | ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ (%)          |                  |                                |
|-------------------|--------------------------|-----------|---------------------|-----------------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|
|                   |                          | Βάρος (g) | Βάρος κλάσματος (%) | Βάρος επί αρχικού (%) | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| (-8 +4 mm)        | Μαγνητικό 1 (160 rpm)    | 31.6      | 4.38                | 1.76                  | 52.68                          | 29.34            | 6.03                           |
|                   | Μαγνητικό 2 (120 rpm)    | 181.7     | 25.18               | 10.12                 | 28.07                          | 53.03            | 9.41                           |
|                   | Μαγνητικό 3 (80 rpm)     | 161.4     | 22.36               | 8.99                  | 20.54                          | 63.71            | 8.00                           |
|                   | Μη Μαγνητικό 3 (80 rpm)  | 347       | 48.08               | 19.33                 | 9.39                           | 75.30            | 9.71                           |
|                   | Σύνολο                   | 721.7     | 100                 | 40.20                 |                                |                  |                                |
| (-4 +1 mm)        | Μαγνητικό 1 (160 rpm)    | 298.1     | 51.13               | 16.60                 | 39.67                          | 43.51            | 7.10                           |
|                   | Μαγνητικό 2 (120 rpm)    | 246       | 42.20               | 13.70                 | 15.01                          | 68.75            | 8.92                           |
|                   | Μη Μαγνητικό 2 (120 rpm) | 38.9      | 6.67                | 2.17                  | 9.85                           | 74.61            | 8.84                           |
|                   | Σύνολο                   | 583       | 100                 | 32.47                 |                                |                  |                                |
| (-1 +0.25 mm)     | Μαγνητικό 1 (180 rpm)    | 49.5      | 24.36               | 2.76                  | 63.01                          | 18.53            | 4.75                           |
|                   | Μαγνητικό 2 (140 rpm)    | 41.6      | 20.47               | 2.32                  | 38.84                          | 41.89            | 8.38                           |
|                   | Μαγνητικό 3 (100 rpm)    | 36.8      | 18.11               | 2.05                  | 18.09                          | 64.76            | 9.45                           |
|                   | Μη Μαγνητικό 3 (100 rpm) | 75.3      | 37.06               | 4.19                  | 6.68                           | 78.03            | 9.17                           |
|                   | Σύνολο                   | 203.2     | 100                 | 11.32                 |                                |                  |                                |
| (-0.25 +0.063 mm) | Μαγνητικό 1 (180 rpm)    | 48.8      | 54.10               | 2.72                  | 53.18                          | 27.79            | 6.21                           |
|                   | Μαγνητικό 2 (140 rpm)    | 13.2      | 14.63               | 0.74                  | 12.59                          | 69.15            | 10.28                          |
|                   | Μαγνητικό 3 (100 rpm)    | 13.3      | 14.75               | 0.74                  | 5.85                           | 79.55            | 9.10                           |
|                   | Μη Μαγνητικό 3 (100 rpm) | 14.9      | 16.52               | 0.83                  | 1.85                           | 85.95            | 8.66                           |
|                   | Σύνολο                   | 90.2      | 100                 | 5.02                  |                                |                  |                                |
| (-0.063 mm)       | Σύνολο                   | 197.2     | 100                 | 10.98                 | 36.68                          | 42.19            | 9.27                           |
| ΣΥΝΟΛΟ            |                          | 1795.3    |                     | 100.00                |                                |                  |                                |

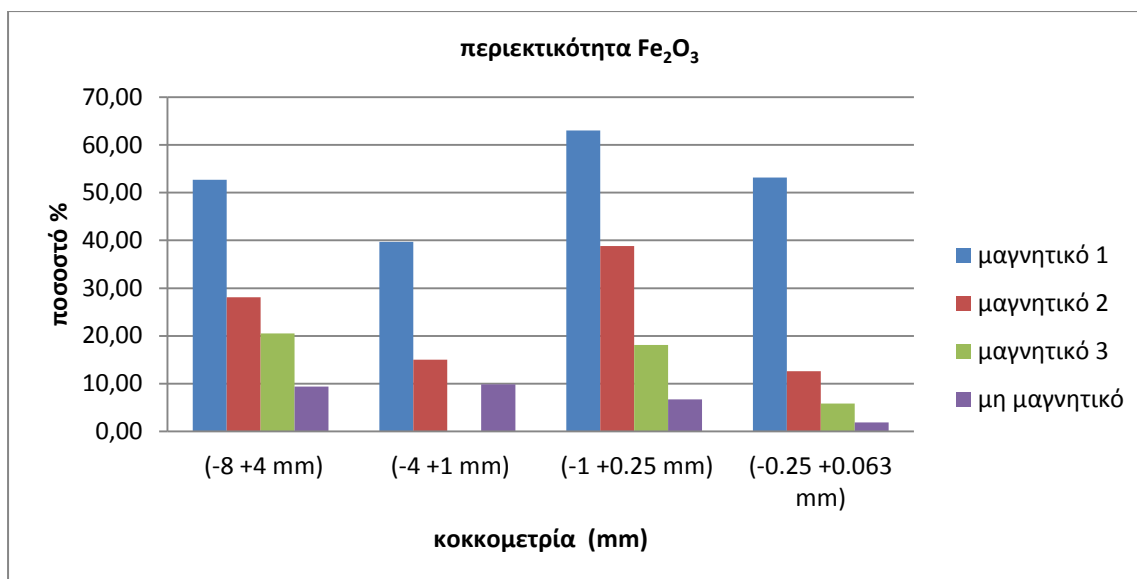
Από τα αποτελέσματα του βάρους των επιμέρους προϊόντων προκύπτει το διάγραμμα της εικόνας 5.15. Από το διάγραμμα παρατηρούμε ότι στα κλάσματα (-0.250+0.063 mm) και (-4+1 mm) το ποσοστό βάρους % είναι αυξημένο στο μαγνητικό 1 με 54.10% και 51.13% αντίστοιχα. Στα κλάσματα (-8+4 mm) και (-1+0.250 mm) το μαγνητικό 1 έχει αρκετά μικρότερες τιμές 4.38% και 24.36% αντίστοιχα. Ακολουθούν τα μαγνητικό 2 που παρουσιάζουν υψηλές τιμές στα κλάσματα (-8+4 mm) και (-4+1 mm) με ποσοστό 25.18% και 42.20% αντίστοιχα. Στο μαγνητικό 3 οι τιμές κυμαίνονται από 14.75% στο κλάσμα (-0.250+0.063 mm), 18.11% στο κλάσμα (-1+0.250 mm) και 22.36% στο κλάσμα (-8+4 mm). Το μεγαλύτερο μη μαγνητικό προϊόν παρουσιάστηκε στο κλάσμα (-8+4 mm) με 48.08%.



Εικόνα 5.15: Κατανομή βάρους (%) μαγνητικού διαχωρισμού σε όλα τα κοκκομετρικά κλάσματα.

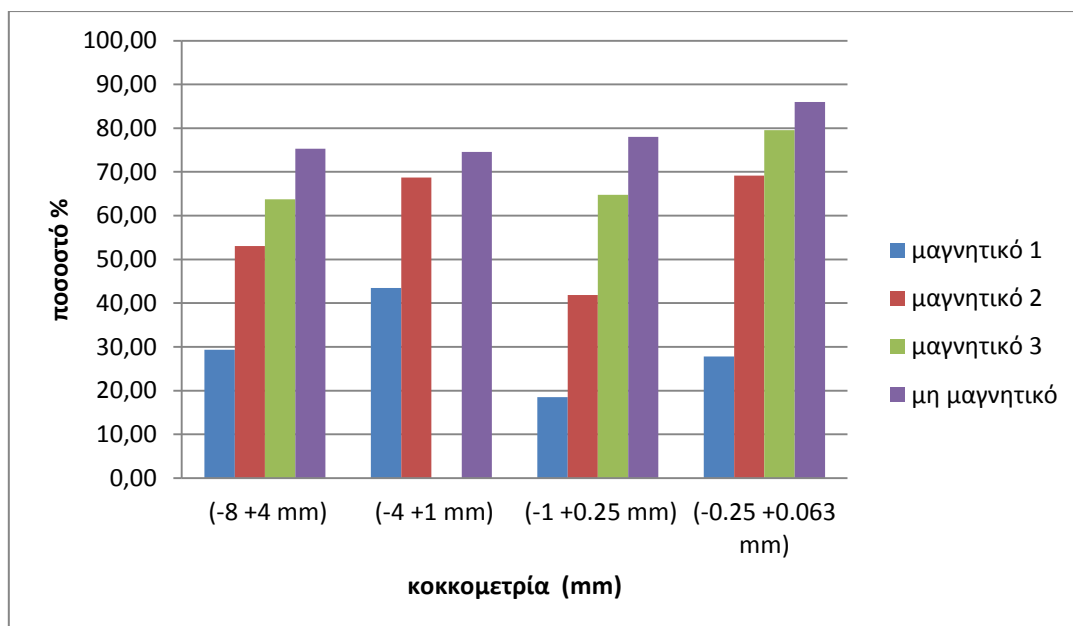
### 5.2.2 Χημικές αναλύσεις

Στις εικόνες 5.16 και 5.17 απεικονίζονται τα διαγράμματα της περιεκτικότητας των προϊόντων μαγνητικού διαχωρισμού σε  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  και  $\text{SiO}_2$ .



Εικόνα 5.16: Περιεκτικότητα σε  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  στα κλάσματα του μαγνητικού διαχωρισμού.

Όπως παρατηρούμε από το παραπάνω διάγραμμα το μαγνητικό 1 προϊόν σε όλα τα κοκκομετρικά κλάσματα έχει την υψηλότερη τιμή  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  σε σχέση με τα υπόλοιπα μαγνητικά 2 ή 3, όπου στο κλάσμα  $(-1+0.250 \text{ mm})$  ανέρχεται σε ποσοστό 63.01 %, ενώ στο κλάσμα  $(-0.250+0.063 \text{ mm})$  σε ποσοστό 53.18%, στο κλάσμα  $(-8+4 \text{ mm})$  σε ποσοστό 52.68 % και τέλος στο κλάσμα  $(-4+1 \text{ mm})$  σε ποσοστό 39.67%. Το μαγνητικό προϊόν 2 στο κλάσμα  $(-1+0.250 \text{ mm})$  παρουσιάζει την υψηλότερη τιμή με ποσοστό 38.84%, αμέσως επόμενο βρίσκεται το κλάσμα  $(-8+4 \text{ mm})$  με ποσοστό 28.07%, έπειτα ακολουθεί το κλάσμα  $(-4+1 \text{ mm})$  με ποσοστό 15.01% και τέλος βρίσκεται το κλάσμα  $(-0.250+0.063 \text{ mm})$  με ποσοστό 12.59%. Το μαγνητικό προϊόν 3 στο κλάσμα  $(-8+4 \text{ mm})$  παρουσιάζει την υψηλότερη τιμή με ποσοστό 20.54% ενώ στο κλάσμα  $(-1+0.250 \text{ mm})$  εμφανίζει ποσοστό 18.09%. Το κλάσμα  $(-0.250+0.063 \text{ mm})$  εμφανίζει το μικρότερο ποσοστό 5.85%. Το μη μαγνητικό παρουσιάζει αυξημένη τιμή στο κλάσμα  $(-4+1 \text{ mm})$  με ποσοστό που ανέρχεται στο 9.85% ενώ την χαμηλότερη του τιμή την παρουσιάζει στο κλάσμα  $(-0.250+0.063 \text{ mm})$  που ανέρχεται σε ποσοστό 1.85%.



Εικόνα 5.17: Περιεκτικότητα σε SiO<sub>2</sub> στα κλάσματα του μαγνητικού διαχωρισμού.

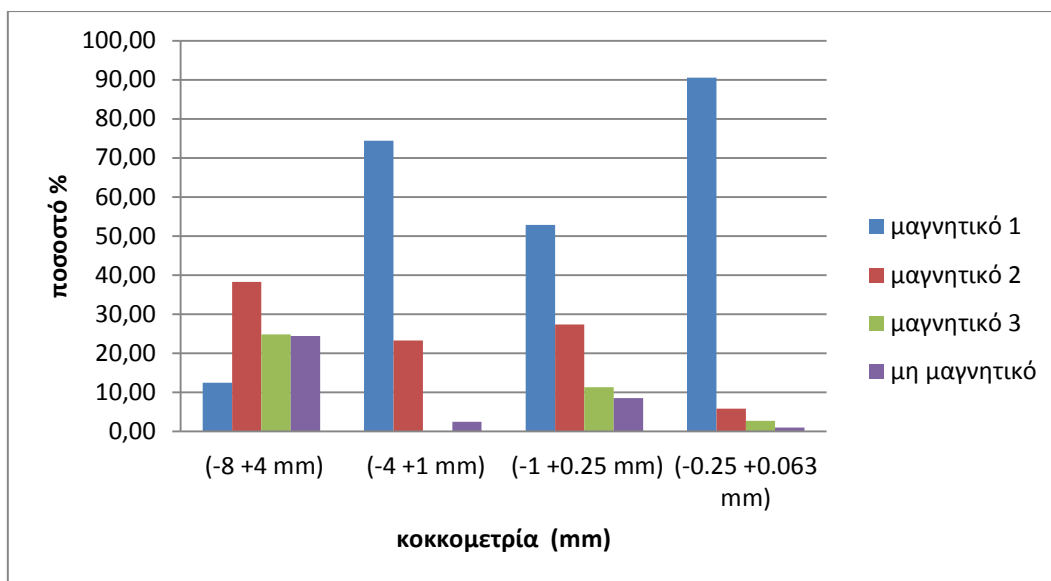
Η περιεκτικότητα του SiO<sub>2</sub> παρουσιάζει την πιο αυξημένη τιμή στα μη μαγνητικά του κλάσματος (-0.250+0.063 mm) με ποσοστό 85.95% ακολουθούν τα μη μαγνητικά του κλάσματος (-1+0.250 mm) με ποσοστό 78.03% έπειτα έχουμε τα μη μαγνητικά στο κλάσμα (-8+4 mm) με ποσοστό 75.30% και τέλος τα μη μαγνητικά του κλάσματος (-4+1 mm) με ποσοστό 74.61%. Το μαγνητικό 1 παρουσιάζει μέγιστη τιμή στο κλάσμα (-4+1 mm) με ποσοστό 43.51% ενώ ελάχιστη τιμή έχει το κλάσμα (-1+0.25mm) με ποσοστό 18.53%. Το μαγνητικό 2 έχει μέγιστη τιμή σε περιεκτικότητα SiO<sub>2</sub> στο κλάσμα (-0.250+0.063 mm) με ποσοστό 69.15% και ελάχιστο παρουσιάζει στο κλάσμα (-1+0.250 mm) με ποσοστό που ανέρχεται στο 41.89%. Τέλος το μαγνητικό 3 παρουσιάζει μέγιστη τιμή στο κλάσμα (-0.250+0.063 mm) με ποσοστό 79.55% και ελάχιστο στο κλάσμα (-8+4 mm) με ποσοστό 63.71%. Τα αποτελέσματα αυτά θεωρούνται ικανοποιητικά εφόσον το SiO<sub>2</sub> βρίσκεται στα μη μαγνητικά προϊόντα όπου και παρουσιάζει τις μέγιστες τιμές του.



Πίνακας 5.5: Κατανομή (%) των κλασμάτων των μαγνητικών και μη μαγνητικών προϊόντων Ρέντα Αρολίθι.

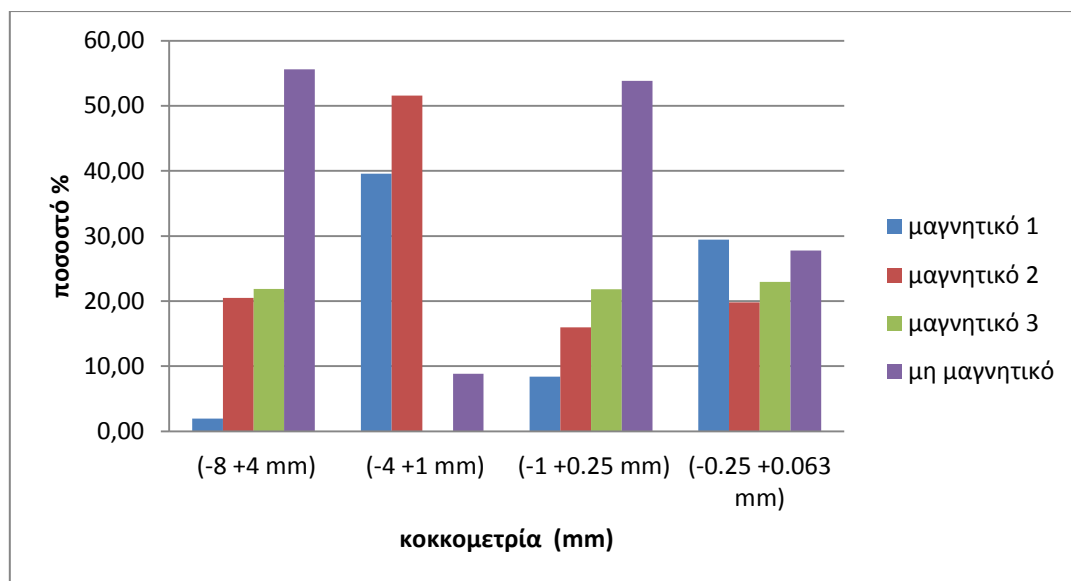
| Μέγεθος κόκκων     | Προϊόν                   | ΒΑΡΟΣ     |                     |                       | ΚΑΤΑΝΟΜΗ (%)                   |                  |                                |
|--------------------|--------------------------|-----------|---------------------|-----------------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|
|                    |                          | Βάρος (g) | Βάρος κλάσματος (%) | Βάρος επί αρχικού (%) | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| (-8 +4 mm)         | Μαγνητικό 1 (160 rpm)    | 31.6      | 4.38                | 1.76                  | 12.48                          | 1.97             | 2.90                           |
|                    | Μαγνητικό 2 (120 rpm)    | 181.7     | 25.18               | 10.12                 | 38.24                          | 20.51            | 26.05                          |
|                    | Μαγνητικό 3 (80 rpm)     | 161.4     | 22.36               | 8.99                  | 24.85                          | 21.89            | 19.68                          |
|                    | Μη Μαγνητικό 3 (80 rpm)  | 347       | 48.08               | 19.33                 | 24.43                          | 55.62            | 51.37                          |
|                    | Σύνολο                   | 721.7     | 100                 | 40.20                 | 100                            | 100              | 100                            |
| (-4 +1 mm)         | Μαγνητικό 1 (160 rpm)    | 298.1     | 51.13               | 16.60                 | 74.37                          | 39.56            | 45.49                          |
|                    | Μαγνητικό 2 (120 rpm)    | 246       | 42.20               | 13.70                 | 23.22                          | 51.59            | 47.12                          |
|                    | Μη Μαγνητικό 2 (120 rpm) | 38.9      | 6.67                | 2.17                  | 2.41                           | 8.85             | 7.39                           |
|                    | Σύνολο                   | 583       | 100                 | 32.47                 | 100                            | 100              | 100                            |
| (-1 +0.250 mm)     | Μαγνητικό 1 (180 rpm)    | 49.5      | 24.36               | 2.76                  | 52.84                          | 8.40             | 14.49                          |
|                    | Μαγνητικό 2 (140 rpm)    | 41.6      | 20.47               | 2.32                  | 27.37                          | 15.96            | 21.50                          |
|                    | Μαγνητικό 3 (100 rpm)    | 36.8      | 18.11               | 2.05                  | 11.27                          | 21.83            | 21.45                          |
|                    | Μη Μαγνητικό 3 (100 rpm) | 75.3      | 37.06               | 4.19                  | 8.52                           | 53.81            | 42.56                          |
|                    | Σύνολο                   | 203.2     | 100                 | 11.32                 | 100                            | 100              | 100                            |
| (-0.250 +0.063 mm) | Μαγνητικό 1 (180 rpm)    | 48.8      | 54.10               | 2.72                  | 90.53                          | 29.43            | 43.98                          |
|                    | Μαγνητικό 2 (140 rpm)    | 13.2      | 14.63               | 0.74                  | 5.80                           | 19.81            | 19.71                          |
|                    | Μαγνητικό 3 (100 rpm)    | 13.3      | 14.75               | 0.74                  | 2.72                           | 22.96            | 17.58                          |
|                    | Μη Μαγνητικό 3 (100 rpm) | 14.9      | 16.52               | 0.83                  | 0.96                           | 27.79            | 18.74                          |
|                    | Σύνολο                   | 90.2      | 100                 | 5.02                  | 100                            | 100              | 100                            |
| (-0.063 mm)        | Σύνολο                   | 197.2     | 100                 | 10.98                 | 100                            | 100              | 100                            |
| ΣΥΝΟΛΟ             |                          | 1795.3    |                     | 100.00                |                                |                  |                                |

Στις εικόνες 5.18 και 5.19 απεικονίζονται οι κατανομές των Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> και SiO<sub>2</sub> στα κοκκομετρικά κλάσματα.



Εικόνα 5.18: Κατανομή (%) του  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  σε όλα τα κοκκομετρικά κλάσματα.

Από το παραπάνω σχήμα καταλαβαίνουμε ότι η καλύτερη κατανομή του  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  βρίσκεται στο προϊόν μαγνητικό 1 στο κλάσμα  $(-0.250+0.063 \text{ mm})$  με το υψηλότερο ποσοστό που ανέρχεται σε 90.53%. Σημαντικό επίσης, είναι το ποσοστό στο μαγνητικό προϊόν 1 του κλάσματος  $(-4+1 \text{ mm})$  με ποσοστό 74.37%, ενώ ακολουθούν τα κλάσματα  $(-1+0.250 \text{ mm})$  και  $(-8+4 \text{ mm})$  με ποσοστό 52.84% και 12.48% αντίστοιχα. Για το μαγνητικό προϊόντα 2 η υψηλότερη τιμή παρουσιάζεται στο κλάσμα  $(-8+4 \text{ mm})$  με ποσοστό 38.24% ακολουθεί το κλάσμα  $(-1+0.250 \text{ mm})$  με ποσοστό 27.37% και στη συνέχεια ακολουθούν τα κλάσματα  $(-4+1 \text{ mm})$  και  $(-0.250+0.063 \text{ mm})$  με ποσοστό 23.22% και 5.80% αντίστοιχα. Στο μαγνητικό προϊόν 3 η υψηλότερη τιμή παρουσιάζεται στο κλάσμα  $(-8+4 \text{ mm})$  με ποσοστό 24.85%, ακολουθεί το κλάσμα  $(-1+0.250 \text{ mm})$  με ποσοστό 11.27% και τέλος έχουμε το κλάσμα  $(-0.250+0.063 \text{ mm})$  με ποσοστό 2.72%. Στα μη μαγνητικά όπως είναι φυσιολογικό οι τιμές μπορεί να θεωρηθούν αμελητέες αν εξαιρέσουμε το κλάσμα  $(-8+4 \text{ mm})$  που έχει ποσοστό 24.43%. Συμπερασματικά η καλύτερη κατανομή  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  έχει γίνει στο κοκκομετρικό κλάσμα  $(-0.250+0.063 \text{ mm})$  που έχουμε την υψηλότερη τιμή από όλα τα κοκκομετρικά κλάσματα. Προφανώς έχει γίνει μια πολύ καλή αποδέσμευση και όσο μικρότερη η κοκκομετρία τόσο καλύτερα τα αποτελέσματα του διαχωρισμού.



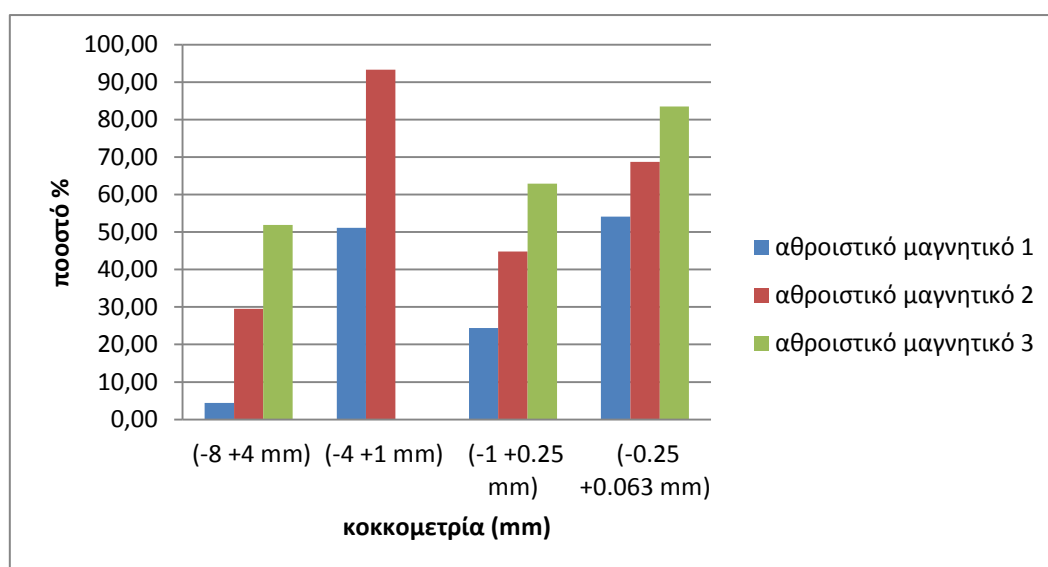
Εικόνα 5.19: Κατανομή (%) του SiO<sub>2</sub> σε όλα τα κοκκομετρικά κλάσματα.

Η κατανομή του SiO<sub>2</sub> όπως βλέπουμε από την εικόνα 5.19 παρουσιάζει μέγιστο στα μη μαγνητικά κλάσματα (-8+4 mm) και (-1+0.250 mm) με ποσοστό 55.62% και 53.81% αντίστοιχα, ακολουθούν τα κλάσματα (-0.250+0.063 mm) και (-4+1 mm) με ποσοστό 27.79% και 8.85% αντίστοιχα. Στόχος του διαχωρισμού είναι να έχουμε στο μη μαγνητικό προϊόν όσο γίνεται περισσότερο το υλικό που δεν χρειαζόμαστε, που στην προκειμένη περίπτωση είναι το SiO<sub>2</sub>. Αξίζει να σημειωθεί ότι στο μαγνητικό προϊόν 2 στο κλάσμα (-4+1 mm) παρουσιάζεται η μεγαλύτερη τιμή σε σχέση με όλα τα κλάσματα του μαγνητικού διαχωρισμού με ποσοστό που ανέρχεται στο 51.59%, ενώ στα υπόλοιπα μαγνητικά προϊόντα 2 οι κατανομές είναι στο κλάσμα (-8+4 mm) 20.51% και έπειτα έχουμε στα υπόλοιπα 2 κλάσματα (-0.250+0.063 mm) και (-1+0.250 mm) με ποσοστό 19.81% και 15.96% αντίστοιχα. Στο μαγνητικό προϊόν 3 υψηλό ποσοστό παρουσιάζει το κλάσμα (-0.250+0.063 mm) με 22.96% και στη συνέχεια έρχονται τα υπόλοιπα δυο κλάσματα (-8+4mm) και (-1+0.250mm) με ποσοστό 21.89% και 21.83% αντίστοιχα. Το μαγνητικό προϊόν 1 παρουσιάζει μέγιστη τιμή στο κλάσμα (-4+1 mm) με ποσοστό 39.56%, ακολουθεί το κλάσμα (-0.250+0.063 mm) με ποσοστό 29.43% ενώ τα υπόλοιπα κλάσματα (-1+0.250 mm) και (-8+4 mm) παρουσιάζουν τιμές μικρότερες από το 10%.

Στον πίνακα 5.6 παρουσιάζονται τα βάρη και οι χημικές αναλύσεις των αθροιστικώς μαγνητικών προϊόντων, ενώ στις εικόνες 5.20, 5.21, 5.22 τα διαγράμματα που προκύπτουν από αυτό τον πίνακα. Αντίστοιχα στον πίνακα 5.7 απεικονίζονται οι κατανομές των αθροιστικώς μαγνητικών προϊόντων και στις εικόνες 5.23 και 5.24 τα διαγράμματα των κατανομών για το Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> και SiO<sub>2</sub>.

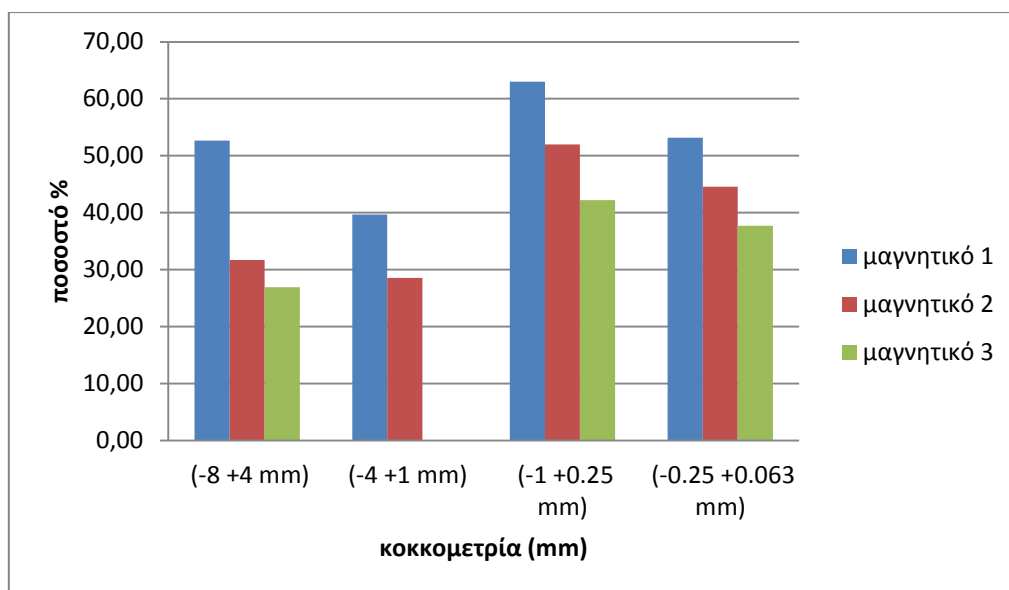
Πίνακας 5.6: Χημικές αναλύσεις των αθροιστικών μαγνητικών προϊόντων Ρέντα-Αρολίθι.

| Μέγεθος κόκκων     | Προϊόν                 | Βάρος               | Χημικές αναλύσεις (%)          |                  |                                |
|--------------------|------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|
|                    |                        | Βάρος κλάσματος (%) | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| (-8 +4 mm)         | Αθροιστικό μαγνητικό 1 | 4.38                | 52.68                          | 29.34            | 6.03                           |
|                    | Αθροιστικό μαγνητικό 2 | 29.56               | 31.72                          | 49.52            | 8.91                           |
|                    | Αθροιστικό μαγνητικό 3 | 51.92               | 26.90                          | 55.63            | 8.52                           |
| (-4 +1 mm)         | Αθροιστικό μαγνητικό 1 | 51.13               | 39.67                          | 43.51            | 7.10                           |
|                    | Αθροιστικό μαγνητικό 2 | 93.33               | 28.52                          | 54.92            | 7.92                           |
| (-1 +0.250 mm)     | Αθροιστικό μαγνητικό 1 | 24.36               | 63.01                          | 18.53            | 4.75                           |
|                    | Αθροιστικό μαγνητικό 2 | 44.83               | 51.97                          | 29.20            | 6.41                           |
|                    | Αθροιστικό μαγνητικό 3 | 62.94               | 42.22                          | 39.43            | 7.28                           |
| (-0.250 +0.063 mm) | Αθροιστικό μαγνητικό 1 | 54.10               | 53.18                          | 27.79            | 6.21                           |
|                    | Αθροιστικό μαγνητικό 2 | 68.74               | 44.54                          | 36.60            | 7.08                           |
|                    | Αθροιστικό μαγνητικό 3 | 83.48               | 37.71                          | 44.18            | 7.43                           |



Εικόνα 5.20: Κατανομή βάρους (%) στα αθροιστικά μαγνητικά σε όλα τα κοκκομετρικά κλάσματα.

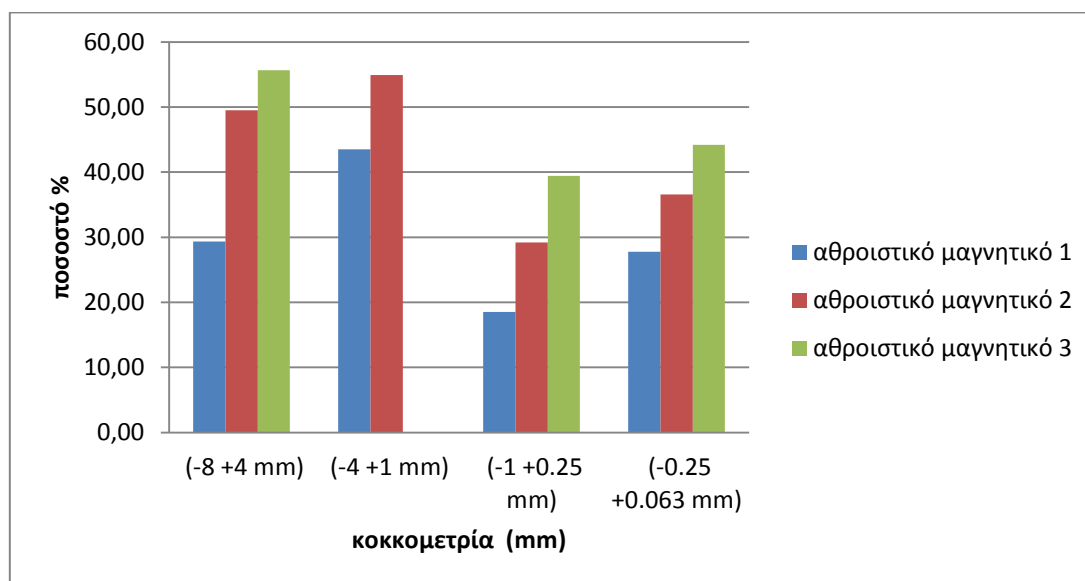
Από την κατανομή του βάρους στα αθροιστικά μαγνητικά (Εικόνα 5.20) παρατηρούμε την μεγαλύτερη τιμή στο αθροιστικό μαγνητικό προϊόν 2 στο κλάσμα (-4+1 mm) με ποσοστό 93.33%, η οποία είναι από τις μεγαλύτερες τιμές από όλα τα κοκκομετρικά κλάσματα. Αμέσως επόμενο βρίσκεται το αθροιστικό μαγνητικό 3 στο κλάσμα (-0.250+0.063 mm) με ποσοστό 83.48%. Σε μια γενική εικόνα μπορεί να ειπωθεί ότι καλύτερη κατανομή έχει γίνει στο κλάσμα (-4+1 mm) και στο κλάσμα (-0.250+0.063 mm) όπου το μεγαλύτερο μέρος του υλικού πηγαίνει στα μαγνητικά προϊόντα.



Εικόνα 5.21: Περιεκτικότητα σε  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  στα αθροιστικά μαγνητικά σε όλα τα κοκκομετρικά κλάσματα.

Στις χημικές αναλύσεις του  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  στα αθροιστικά μαγνητικά (Εικόνα 5.21) παρουσιάζεται μια αυξητική τάση στα κλάσματα (-1+0.250 mm) και (-0.250+0.063 mm), όπου έχουμε τις μεγαλύτερες τιμές σε περιεκτικότητα σιδήρου σε σχέση με τα υπόλοιπα δύο κλάσματα. Στο μαγνητικό 1 στο κλάσμα (-1+0.250 mm) έχουμε την υψηλότερη τιμή που φτάνει 63.01% και στο (-0.250+0.063 mm) έχουμε την αμέσως επόμενη τιμή που φτάνει στο 53.18 %. Στα κλάσματα (-8+4 mm) και (-4+1 mm) τα ποσοστά  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  είναι 52.68% και 39.67% αντίστοιχα. Για το αθροιστικό μαγνητικό προϊόν 2 οι υψηλότερες τιμές παρουσιάζονται στα κλάσματα (-1+0.250 mm) και (-0.250+0.063 mm) με ποσοστά 51.97% και 44.54% αντίστοιχα, τα υπόλοιπα δυο κλάσματα, (-8+4 mm) και (-4+1 mm) παρουσιάζουν ποσοστό 31.72% και 28.52% αντίστοιχα. Στο αθροιστικό μαγνητικό προϊόν 3 η υψηλότερη τιμή παρουσιάζεται στο κλάσμα (-1+0.250 mm) με τιμή 42.22% και ακολουθούν τα υπόλοιπα δυο κοκκομετρικά κλάσματα (-0.250+0.063 mm) και (-8+4 mm) με ποσοστό 37.71% και 26.90% αντίστοιχα. Έχει επιτευχθεί καλύτερος διαχωρισμός στα μικρότερα κλάσματα προφανώς από το γεγονός ότι έχει σπάσει περισσότερο το υλικό και επομένως έχει γίνει καλύτερη αποδέσμευση των κόκκων με καλύτερη απόδοση του χρήσιμου υλικού. Συμπερασματικά μεγαλύτερη

περιεκτικότητα σιδήρου έχουμε στο πρώτο πέρασμα του διαχωρισμού σε όλα σχεδόν τα κοκκομετρικά κλάσματα.

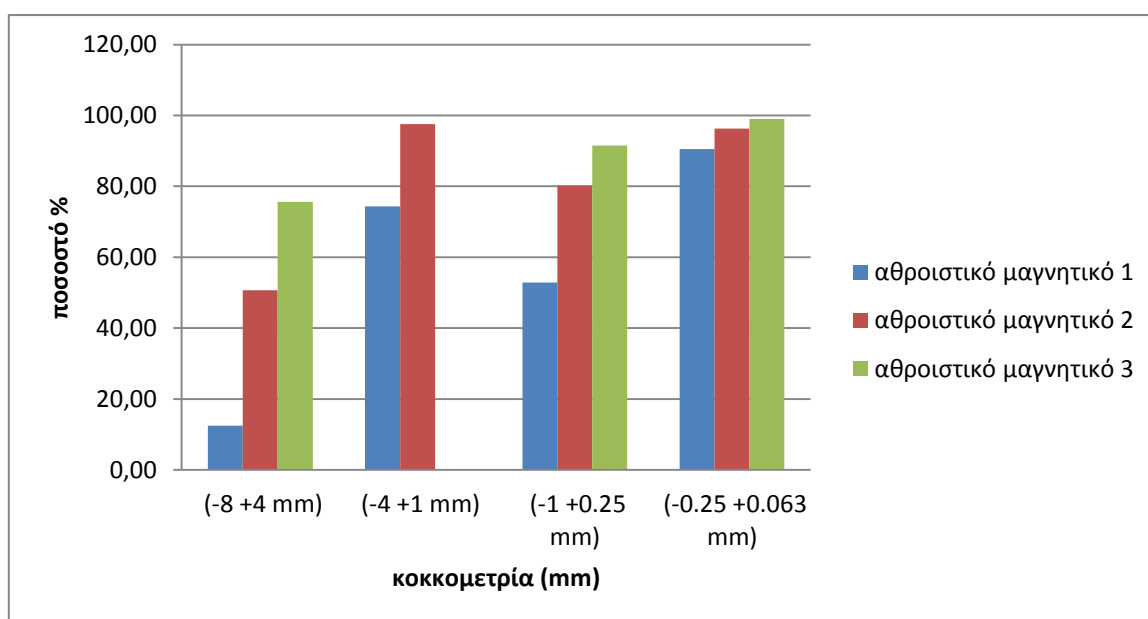


Εικόνα 5.22: Περιεκτικότητα σε SiO<sub>2</sub> στα αθροιστικά μαγνητικά σε όλα τα κοκκομετρικά κλάσματα.

Όπως είναι φυσιολογικό και από το διάγραμμα με τις χημικές αναλύσεις του σιδήρου (εικόνα 5.21) παρατηρείται ότι τα δύο πρώτα κοκκομετρικά κλάσματα είναι φτωχά σε σίδηρο επομένως το διάγραμμα της εικόνας 5.22 με τις χημικές αναλύσεις του SiO<sub>2</sub> επικυρώνει το γεγονός με αυξημένα ποσοστά στα δύο πρώτα κλάσματα. Πιο συγκεκριμένα στο κλάσμα (-8+4 mm) το αθροιστικό μαγνητικό 3 παρουσιάζει τη μεγαλύτερη τιμή του SiO<sub>2</sub> σε σχέση με όλα τα περάσματα σε όλα τα κοκκομετρικά κλάσματα, το ποσοστό φτάνει το 55.63% . Το ίδιο αυξημένη τιμή έχει και το κλάσμα (-4+1 mm) στο αθροιστικό μαγνητικό προϊόν 2 με ποσοστό που φτάνει το 54.92%. Στα κλάσματα (-1+0.250 mm) και (-0.250+0.063 mm) το αθροιστικό μαγνητικό προϊόν 3 παρουσιάζει τιμές 39.43% και 44.18% αντίστοιχα. Το αθροιστικό μαγνητικό προϊόν 2 στα κλάσματα (-1+0.250 mm) και (-0.250+0.063 mm) εμφανίζει ποσοστό 29.20% και 36.59% αντίστοιχα. Το αθροιστικό μαγνητικό προϊόν 1 παρουσιάζει τη μεγαλύτερη τιμή στο κλάσμα (-4+1 mm) με ποσοστό 43.51% ενώ τα υπόλοιπα κλάσματα παρουσιάζουν τιμές μικρότερες από το 30%.

Πίνακας 5.7: Κατανομή (%) των αθροιστικών μαγνητικών προϊόντων Ρέντα-Αρολίθι.

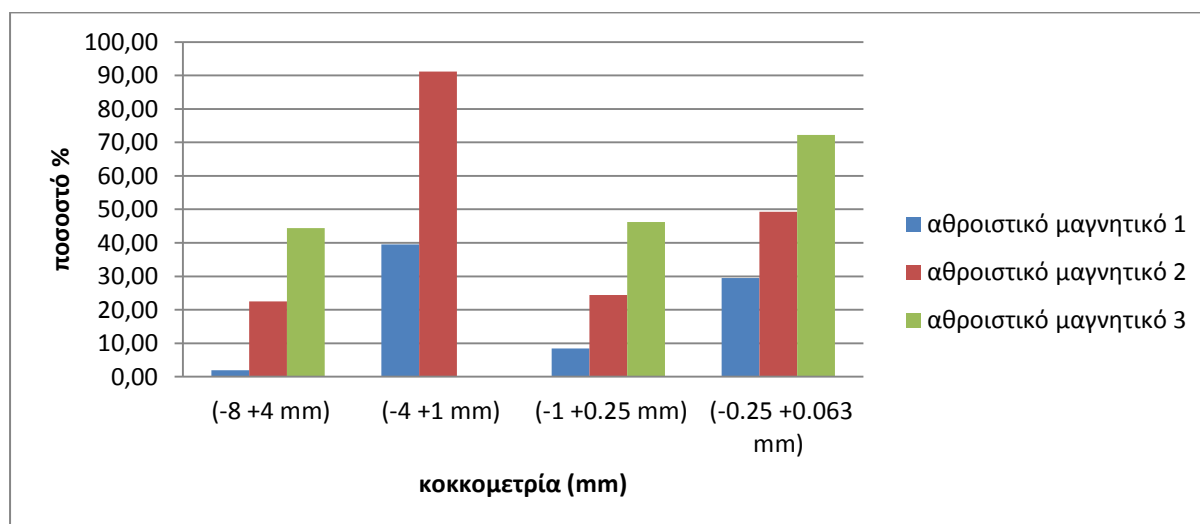
| Μέγεθος κόκκων     | Προϊόν                 | Βάρος               | Κατανομή (%)                   |                  |                                |
|--------------------|------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|
|                    |                        | Βάρος κλάσματος (%) | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| (-8 +4 mm)         | Αθροιστικό μαγνητικό 1 | 4.38                | 12.48                          | 1.97             | 2.90                           |
|                    | Αθροιστικό μαγνητικό 2 | 29.56               | 50.72                          | 22.49            | 28.95                          |
|                    | Αθροιστικό μαγνητικό 3 | 51.92               | 75.57                          | 44.38            | 48.63                          |
| (-4 +1 mm)         | Αθροιστικό μαγνητικό 1 | 51.13               | 74.37                          | 39.56            | 45.49                          |
|                    | Αθροιστικό μαγνητικό 2 | 93.33               | 97.59                          | 91.15            | 92.61                          |
| (-1 +0.250 mm)     | Αθροιστικό μαγνητικό 1 | 24.36               | 52.84                          | 8.40             | 14.49                          |
|                    | Αθροιστικό μαγνητικό 2 | 44.83               | 80.21                          | 24.36            | 35.98                          |
|                    | Αθροιστικό μαγνητικό 3 | 62.94               | 91.48                          | 46.19            | 57.44                          |
| (-0.250 +0.063 mm) | Αθροιστικό μαγνητικό 1 | 54.10               | 90.53                          | 29.43            | 43.98                          |
|                    | Αθροιστικό μαγνητικό 2 | 68.74               | 96.32                          | 49.24            | 63.69                          |
|                    | Αθροιστικό μαγνητικό 3 | 83.48               | 99.04                          | 72.21            | 81.26                          |



Εικόνα 5.23: Κατανομή κλάσματος σε Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> στα αθροιστικά μαγνητικά σε όλα τα κοκκομετρικά κλάσματα.



Η καλύτερη κατανομή σιδήρου έχει γίνει κυρίως στα δύο τελευταία κοκκομετρικά κλάσματα (-1+0.250 mm) και (-0.250+0.063 mm) και ιδιαίτερα στο πιο λεπτόκοκκο που σημειώνει τις πιο υψηλές τιμές σε όλα τα μαγνητικά περάσματα. Πιο συγκεκριμένα στο κλάσμα (-0.250+0.063 mm) το αθροιστικό μαγνητικό προϊόν 1 παρουσιάζει 90.53%, το αθροιστικό μαγνητικό 2 παρουσιάζει 96.32% και το αθροιστικό μαγνητικό προϊόν 3 99.04%. Οι τιμές είναι φυσιολογικές εφόσον υπάρχει αποδέσμευση και κατανομή του  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  στα λεπτόκοκκα πετυχαίνοντας ένα πολύ καλό διαχωρισμό. Στη συγκεκριμένη περίπτωση ισχύει ότι όσο μικραίνει η κοκκομετρία τόσο καλύτερο διαχωρισμό έχουμε και καλύτερη κατανομή σιδήρου. Στο κλάσμα (-1+0.250 mm) έχουμε τα εξής ποσοστά μαγνητικό 1 52.84%, μαγνητικό 2 80.21%, μαγνητικό 3 91.48%. Αξιόλογο ποσοστό επίσης παρουσιάζει το κλάσμα (-4+1 mm) στο μαγνητικό 2 με ποσοστό 97.59%, ενώ το μαγνητικό 1 σε αυτό το κλάσμα παρουσιάζει το ποσοστό του 74.37%. Τελευταίο σε ποσοστό κατανομής σιδήρου παρουσιάζεται το μεγαλύτερο κοκκομετρικό κλάσμα (-8+4 mm) που σημειώνει ποσοστά κάτω του 75.57 %.

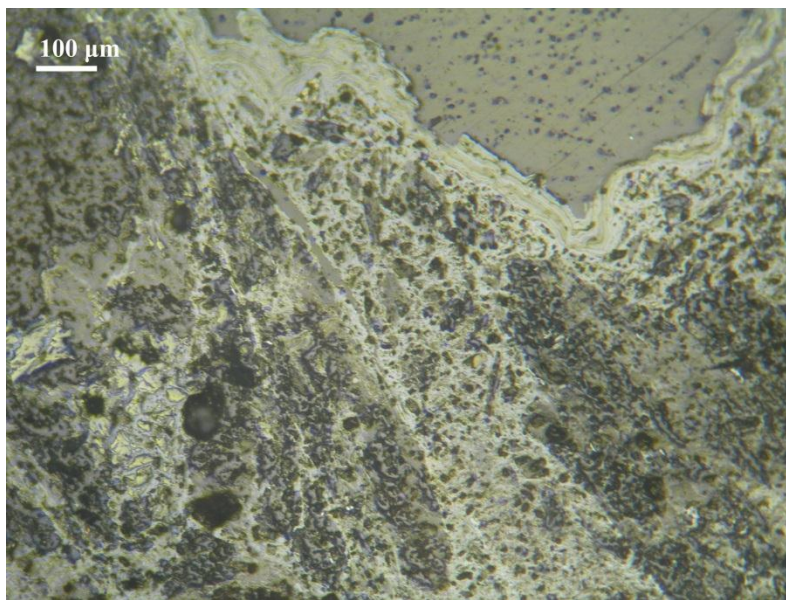


Εικόνα 5.24: Κατανομή κλάσματος σε  $\text{SiO}_2$  στα αθροιστικά μαγνητικά σε όλα τα κοκκομετρικά κλάσματα.

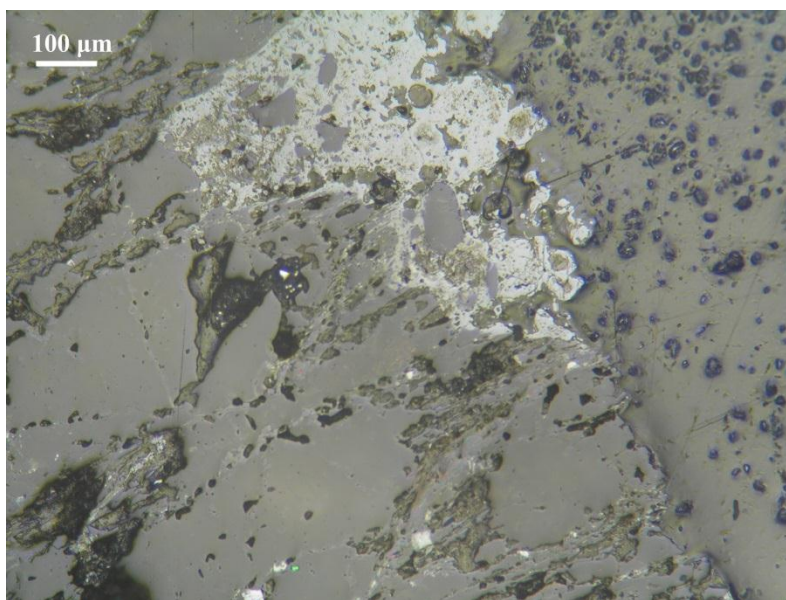
Η κατανομή του  $\text{SiO}_2$  έχει μεγαλύτερο ποσοστό στο αθροιστικό μαγνητικό προϊόν 2 στο κλάσμα (-4+1 mm) με ποσοστό 91.15%. Αξιόλογο μπορεί να θεωρηθεί και το ποσοστό στο κλάσμα (-0.250+0.063 mm) στο αθροιστικό μαγνητικό προϊόν 3 που έχει τιμή 72.21%. Στο κλάσμα (-0.250+0.063 mm) το αθροιστικό μαγνητικό προϊόν 2 εμφανίζει τιμή 49.24%, στο κλάσμα (-1+0.250 mm) 24.36% και τέλος στο κλάσμα (-8+4mm) 22.49%. Το αθροιστικό μαγνητικό προϊόν 1 παρουσιάζει μέγιστη τιμή στο κλάσμα (-4+1 mm) με ποσοστό 39.56% ακολουθεί το κλάσμα (-0.250+0.063 mm) με ποσοστό 29.43% και τέλος παρουσιάζονται τα κλάσματα (-1+0.250 mm) και (-8+4 mm) με ποσοστό μικρότερο του 10 %.

### 5.2.3 Μικροσκοπική εξέταση των προϊόντων της δοκιμής του μαγνητικού διαχωρισμού

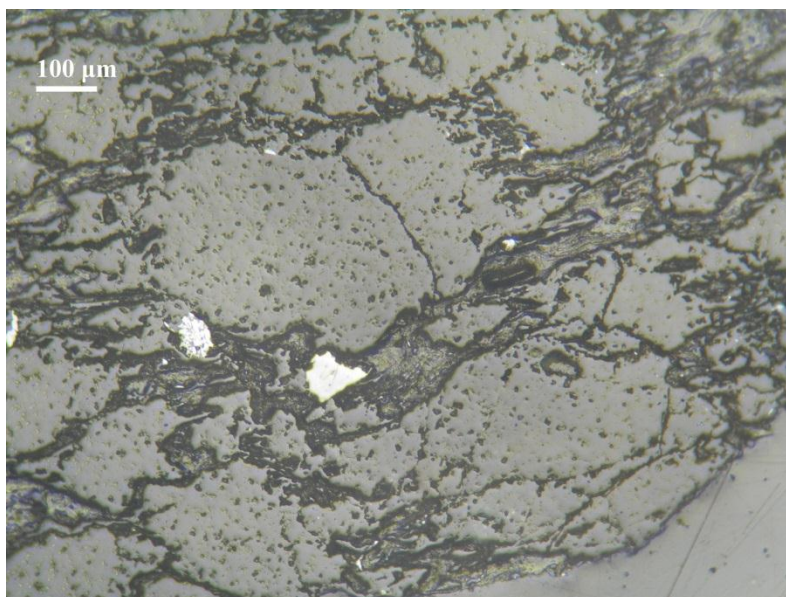
#### Κοκκομετρικό κλάσμα (-8+4 mm)



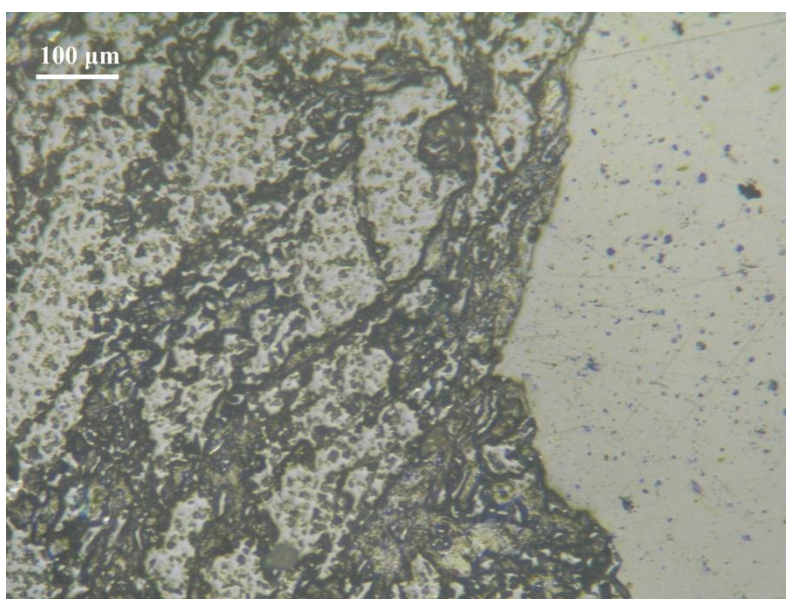
Εικόνα 5.25: Μη αποδεσμευμένοι κόκκοι γκαιτίτη-χαλαζία και συνδετικού υλικού.  
Δείγμα: Μαγνητικό 1 προϊόν για το κλάσμα (-8+4 mm), Ανακλώμενο φως, //Nicols.



Εικόνα 5.26: Μη αποδεσμευμένοι κόκκοι χαλαζία και γκαιτίτη.  
Δείγμα: Μαγνητικό 2 προϊόν για το κλάσμα (-8+4 mm), Ανακλώμενο φως, //Nicols.



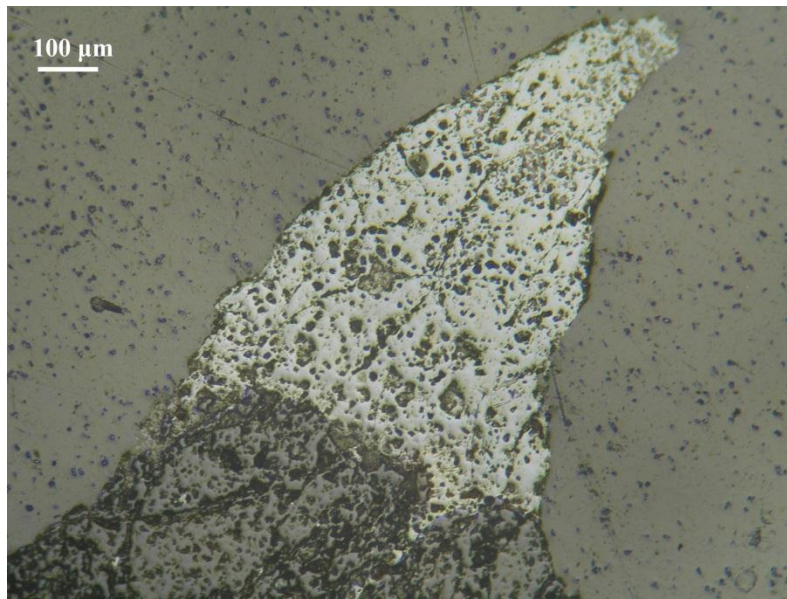
Εικόνα 5.27: Κόκκοι χαλαζία και ίχνη γκαιτίτη.  
Δείγμα: Μαγνητικό 3 προϊόν για το κλάσμα (-8+4 mm), Ανακλώμενο φως, //Nicols.



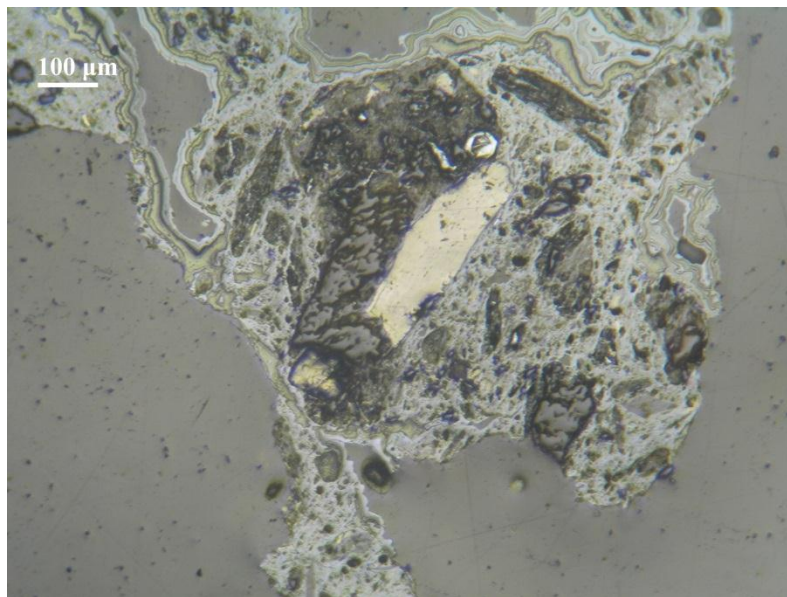
Εικόνα 5.28: Χαλαζίας με συνδετικό υλικό.  
Δείγμα: Μη Μαγνητικό προϊόν για το κλάσμα (-8+4 mm), Ανακλώμενο φως, //Nicols.



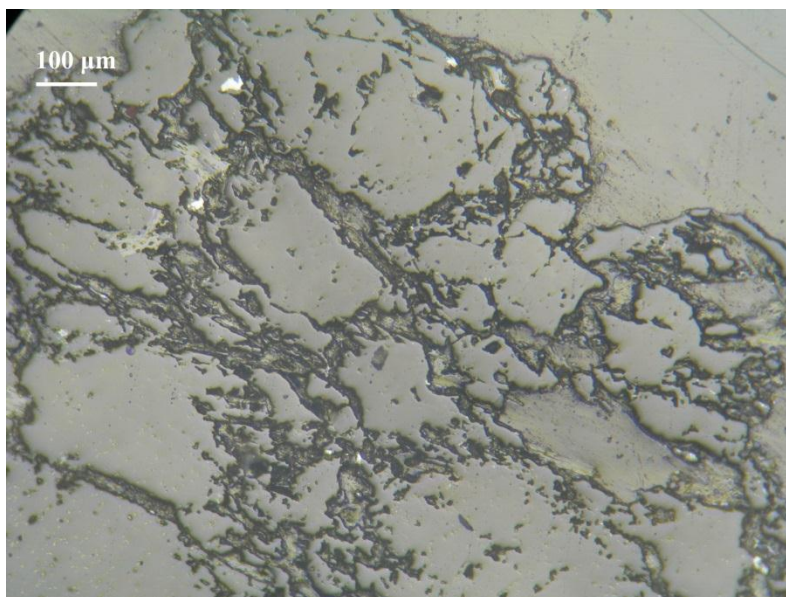
**Κοκκομετρικό κλάσμα (-4+1 mm)**



Εικόνα 5.29: Μη αποδεσμευμένος κόκκος γκαιτίτη με συνδετικό υλικό.  
Δείγμα: Μαγνητικό 1 προϊόν για το κλάσμα (-4+1 mm), Ανακλώμενο φως, //Nicols.

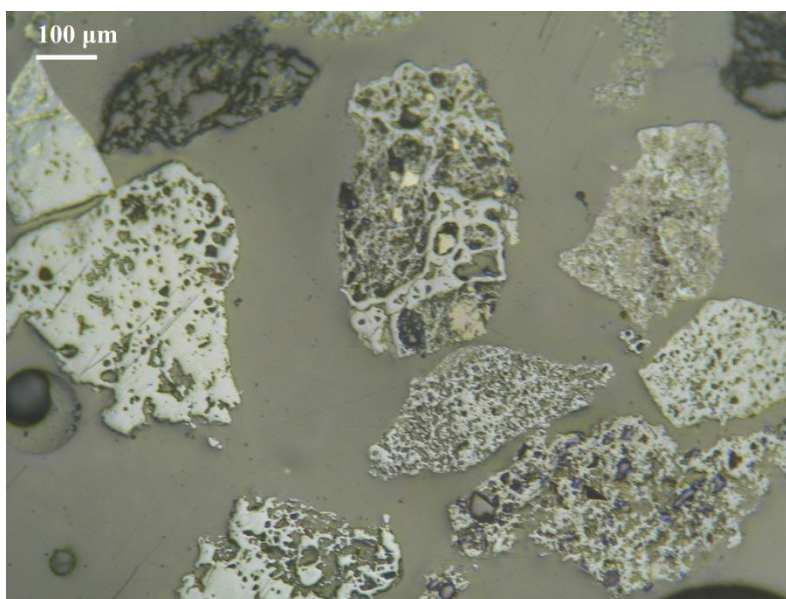


Εικόνα 5.30: Κόκκος γκαιτίτη με εγκλείσματα χαλαζία και γραφίτη.  
Δείγμα: Μαγνητικό 2 προϊόν για το κλάσμα (-4+1 mm), Ανακλώμενο φως, //Nicols.



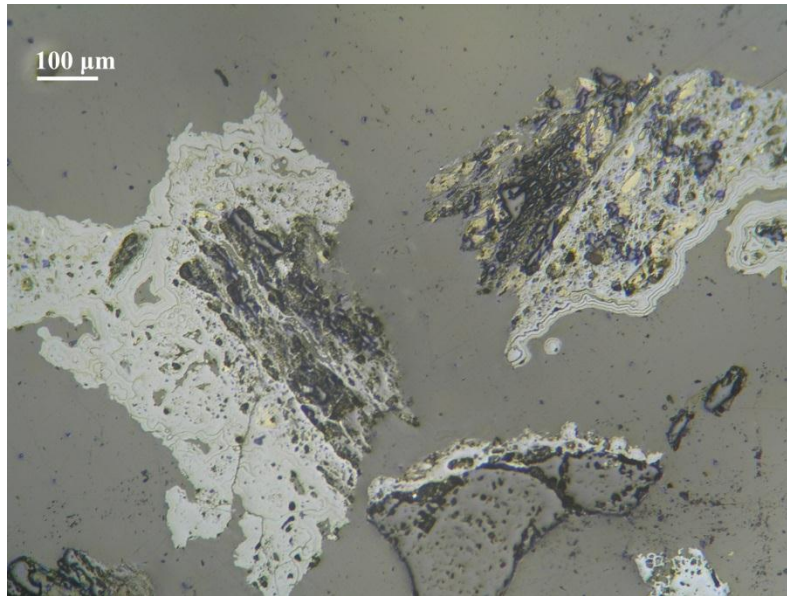
Εικόνα 5.30: Κόκκοι χαλαζία με ίχνη γκαϊτίτη.  
Δείγμα: Μη Μαγνητικό προϊόν για το κλάσμα (-4+1 mm), Ανακλώμενο φως, //Nicols.

**Κοκκομετρικό κλάσμα (-1+0.250 mm)**

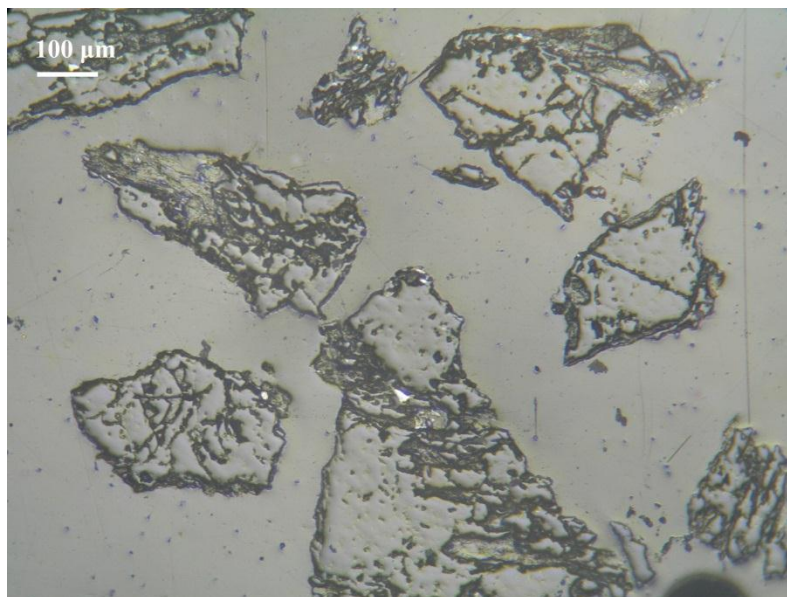


Εικόνα 5.31: Κόκκοι γκαϊτίτη μερικώς αποδεσμευμένοι με εγκλείσματα γραφίτη και μεμονωμένοι κόκκοι χαλαζία.  
Δείγμα: Μαγνητικό 1 προϊόν για το κλάσμα (-1+0.250 mm), Ανακλώμενο φως, //Nicols.

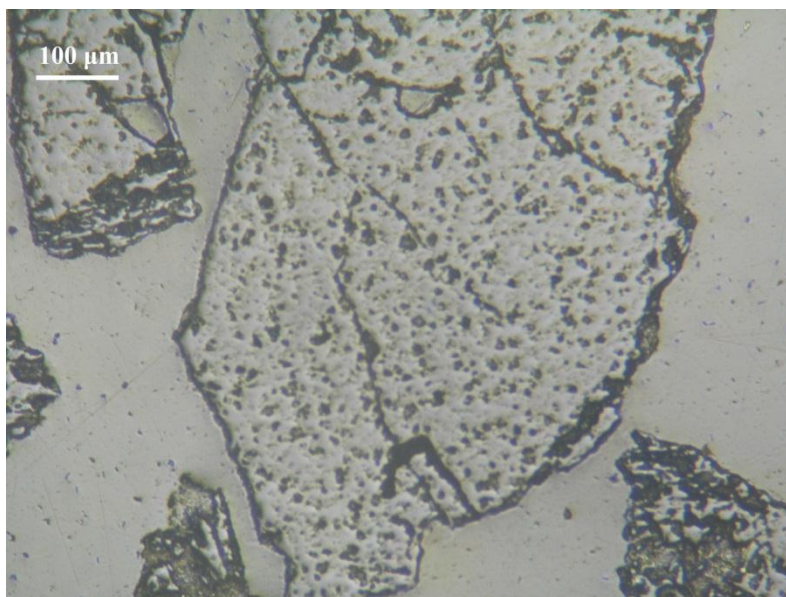




Εικόνα 5.32: Κόκκοι γκαιτίτη με εγκλείσματα γραφίτη και συνδετικού υλικού.  
Δείγμα: Μαγνητικό 2 προϊόν για το κλάσμα (-1+0.250 mm), Ανακλώμενο φως, //Nicols.



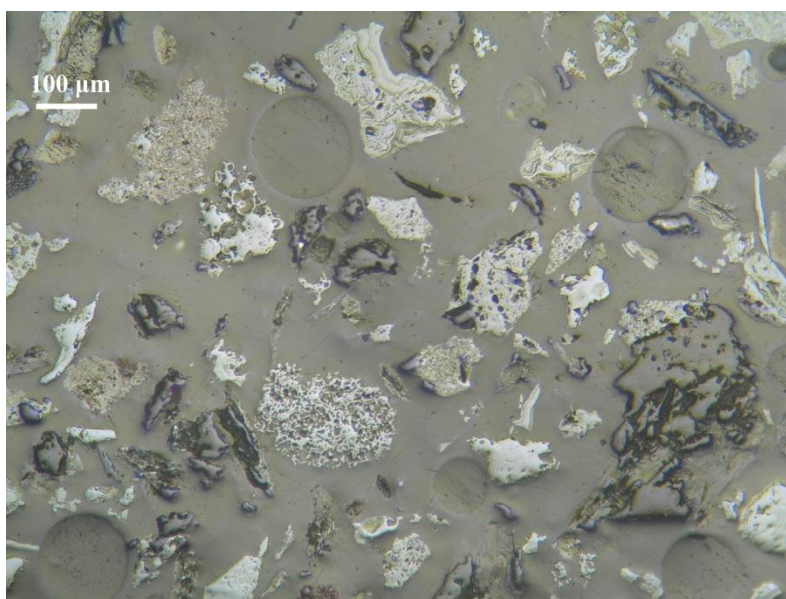
Εικόνα 5.33: Κόκκοι χαλαζία με ίχνη γκαιτίτη.  
Δείγμα: Μαγνητικό 3 προϊόν για το κλάσμα (-1+0.250 mm), Ανακλώμενο φως, //Nicols.



Εικόνα 5.34: Κόκκοι χαλαζία.

Δείγμα: Μη Μαγνητικό προϊόν για το κλάσμα  $(-1+0.250 \text{ mm})$ , Ανακλώμενο φως, //Nicols.

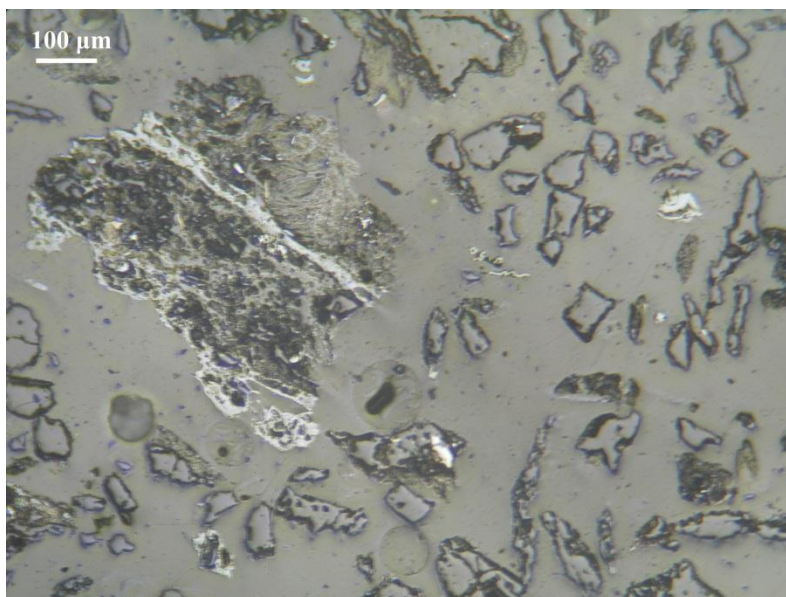
**Κοκκομετρικό κλάσμα  $(-0.250+0.063 \text{ mm})$**



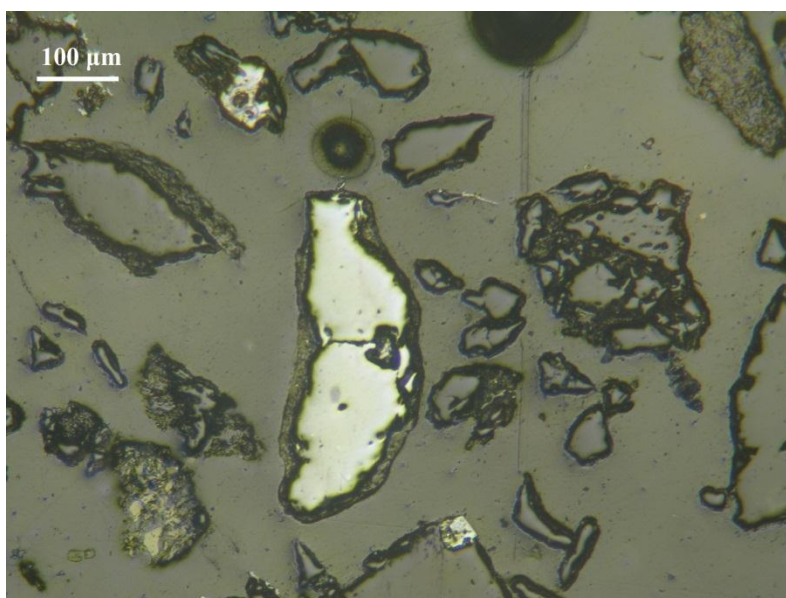
Εικόνα 5.35: Κόκκοι γκαϊτίτη και μερικώς αποδεσμευμένοι κόκκοι χαλαζία.

Δείγμα: Μαγνητικό 1 προϊόν για το κλάσμα  $(-0.250+0.063 \text{ mm})$ , Ανακλώμενο φως, //Nicols.

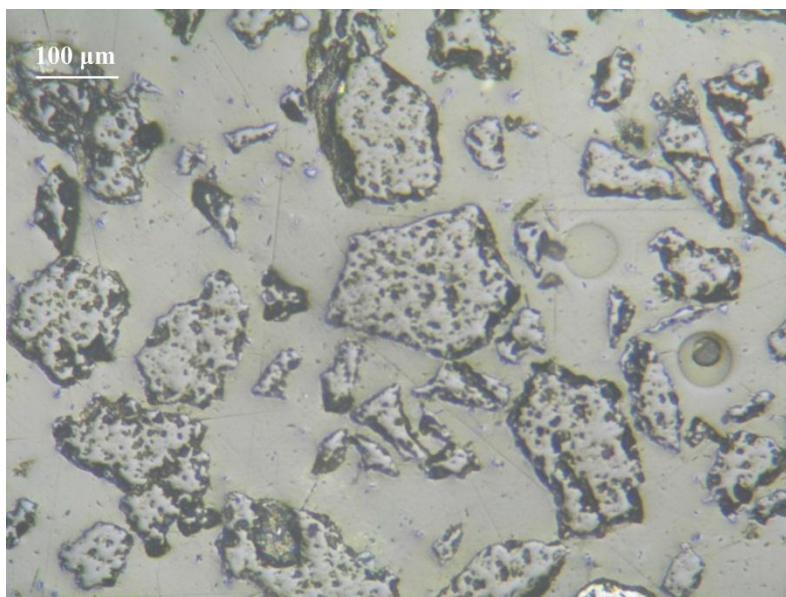




Εικόνα 5.36: Μεμονωμένοι κόκκοι χαλαζία και μη αποδεσμευμένοι κόκκοι συνδετικού υλικού με γκαιτίτη.  
 Δείγμα: Μαγνητικό 2 προϊόν για το κλάσμα  $(-0.250+0.063 \text{ mm})$ , Ανακλώμενο φως, //Nicols.



Εικόνα 5.37: Κόκκος γκαιτίτη και μερικώς αποδεσμευμένοι κόκκοι χαλαζία με συνδετικό υλικό.  
 Δείγμα: Μαγνητικό 3 προϊόν για το κλάσμα  $(-0.250+0.063 \text{ mm})$ , Ανακλώμενο φως, //Nicols.



Εικόνα 5.38: Αποδεσμευμένοι κόκκοι χαλαζία  
Δείγμα: Μη Μαγνητικό προϊόν για το κλάσμα  $(-0.250+0.063 \text{ mm})$ , Ανακλώμενο φως,  
//Nicols

#### 5.2.4 Σχολιασμός και παρατηρήσεις αποτελεσμάτων μαγνητικού διαχωρισμού.

**Κλάσμα  $(-8+4 \text{ mm})$**  Κρίνοντας και από τις χημικές αναλύσεις και από την κατανομή αλλά και από τα αθροιστικά μαγνητικά ο διαχωρισμός δεν είναι ικανοποιητικός. Το ποσοστό της περιεκτικότητας του σιδήρου στο μαγνητικό προϊόν 1 είναι 52.68% και η κατανομή του είναι 12.48%, η οποία είναι η χαμηλότερη τιμή κατανομής από όλα τα κοκκομετρικά κλάσματα στα αθροιστικά μαγνητικά. Επίσης, από τα αθροιστικά μαγνητικά προκύπτει ότι μετά από όλα τα περάσματα το ποσοστό της κατανομής του σιδήρου φτάνει περίπου στο 75 %.

**Κλάσμα  $(-4+1 \text{ mm})$**  ο διαχωρισμός σε αυτό το κλάσμα είναι καλύτερος σε σχέση με το προηγούμενο κλάσμα εφόσον στα αθροιστικά μαγνητικά η κατανομή του σιδήρου είναι 74.37% στο μαγνητικό 1, ενώ στο μαγνητικό 2 είναι ακόμα καλύτερο το ποσοστό 97.59%. Η κατανομή του  $\text{SiO}_2$  έχει ποσοστό 39.56% στο μαγνητικό 1 και 91.15% στο μαγνητικό 2. Οι χημικές αναλύσεις στα αθροιστικά μαγνητικά έδειξαν ότι στο μαγνητικό 1 το ποσοστό σιδήρου ήταν 39.67% ενώ στο μαγνητικό 2 ήταν 28.52%. Οι χημικές αναλύσεις του  $\text{SiO}_2$  ήταν 43.51% στο αθροιστικά μαγνητικό 1 και 54.92% στο αθροιστικά μαγνητικό 2. Στα αθροιστικά μαγνητικά η κατανομή του  $\text{SiO}_2$  έχει μεγαλύτερο ποσοστό στο μαγνητικό 2 με τιμή 91.15%. Ο διαχωρισμός και σε αυτό το κλάσμα δεν θεωρείται ικανοποιητικός. Τα χαμηλά ποσοστά σιδήρου με τα αυξημένα ποσοστά  $\text{SiO}_2$  παραπέμπουν στο γεγονός ότι δεν έχει γίνει αποδέσμευση των κόκκων. Η μικροσκοπική μελέτη έδειξε ότι στο υλικό υπάρχουν μη αποδεσμευμένοι κόκκοι γκαϊτίτη με συνδετικό υλικό.

**Κλάσμα (-1+0.250 mm)** ο διαχωρισμός σε αυτό το κλάσμα είναι καλύτερος σε σχέση με τα δύο προηγούμενα κλάσματα στην κατανομή κλάσματος  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ειδικά στο αθροιστικό μαγνητικό 2 και αθροιστικό μαγνητικό 3 που έχει ποσοστό 80.21% και 91.48% αντίστοιχα. Η κατανομή του  $\text{SiO}_2$  στο αθροιστικό μαγνητικό 2 και αθροιστικό μαγνητικό 3 είναι 24.36% και 46.19% αντίστοιχα. Οι χημικές αναλύσεις δείχνουν ότι τα ποσοστά σιδήρου είναι αρκετά καλύτερα από τα δύο προηγούμενα κλάσματα με αθροιστικό μαγνητικό 1 63.01%, αθροιστικό μαγνητικό 2 51.97%, αθροιστικό μαγνητικό 3 42.22% ενώ το  $\text{SiO}_2$  είναι στο αθροιστικό μαγνητικό 1 18.53%, στο αθροιστικό μαγνητικό 2 29.20%, και στο αθροιστικό μαγνητικό 3 39.43%. Στο αθροιστικό μαγνητικό 1 η περιεκτικότητα του  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  έχει την υψηλότερη τιμή από όλα τα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού, που φτάνει 63.01%. Στη μικροσκοπική εξέταση επικυρώνεται ότι υπάρχει καλύτερη αποδέσμευση των κόκκων άρα έχουμε και καλύτερα αποτελέσματα στο διαχωρισμό.

**Κλάσμα (-0.250+0.063 mm)** ο διαχωρισμός σε αυτό το κλάσμα είναι από τους καλύτερους από όλα τα κοκκομετρικά κλάσματα. Αυτό αποτυπώνεται από τη χημική ανάλυση του σιδήρου σε συνδυασμό με την κατανομή του που έχουν υψηλές τιμές σε σχέση με όλα τα κοκκομετρικά κλάσματα. Η κατανομή του σιδήρου στα αθροιστικά μαγνητικά είναι στο μαγνητικό 1 90.53%, το μαγνητικό 2 96.32% και το μαγνητικό 3 99.04 %, ενώ τα ποσοστά του  $\text{SiO}_2$  στην κατανομή είναι στο μαγνητικό 1 29.43%, μαγνητικό 2 49.24%, μαγνητικό 3 72.21%. Οι χημικές αναλύσεις στα αθροιστικά μαγνητικά για το σίδηρο είναι 53.18% στο μαγνητικό 1, 44.54% μαγνητικό 2, 37.71% μαγνητικό 3 ενώ η συγκέντρωση του  $\text{SiO}_2$  είναι μαγνητικό 1, 2, 3 27.79%, 36.60%, 44.18% αντίστοιχα. Τα παραπάνω επικυρώνονται και με τη μικροσκοπική εξέταση, όπου εμφανίζονται αποδεσμευμένοι κόκκοι γκαϊτίτη.

Συμπέρασμα του μαγνητικού διαχωρισμού προκύπτει ότι όσο πιο λεπτόκοκκο γίνεται το υλικό τόσο καλύτερα τα αποτελέσματα.

## Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα-Προτάσεις

- Το σιδηρομετάλλευμα της περιοχής Ρέντα-Αρολίθι στο νομό Ρεθύμνου απαντάται με τη μορφή φακοειδών σωμάτων πάνω στη ζώνη επαφής Φυλλιτών-Χαλαζιτών ή με τη μορφή φλεβών. Το μετάλλευμα είναι λειμωνιτικού τύπου με σπογγώδη υφή.
- Τα ορυκτολογικά συστατικά του σιδηρομεταλλεύματος είναι κυρίως γκαιτίτης και χαλαζίας, ενώ δευτερευόντως εμφανίζονται χλωρίτης (κλινόχλωρο), μοσχοβίτης, παραγονίτης, γραφίτης και σιδηροπυρίτης.
- Η μικροσκοπική εξέταση των δειγμάτων έδειξε, ότι η δομή του μεταλλεύματος χαρακτηρίζεται γενικά ως εμπλεκτική διακοκκώδης.
- Οι χημικές αναλύσεις των αρχικών δειγμάτων έδειξαν, ότι η περιεκτικότητα του μεταλλεύματος σε  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ήταν κατά μέσο όρο 29% και  $\text{SiO}_2$  53%.

### 6.1 Βαρυτομετρικός διαχωρισμός

- Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού του μεταλλεύματος της περιοχής Ρέντα-Αρολίθι, παρατηρείται, ότι στα κοκκομετρικά κλάσματα (-8+4 mm) και (-4+1 mm) ο διαχωρισμός δεν έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα ειδικά κοιτώντας την κατανομή. Μπορεί σαν περιεκτικότητα να υπάρχει μεγάλο ποσοστό όμως η ποσότητα του υλικού που έχει εμπλουτιστεί είναι πολύ λίγη. Σε αντίθεση με τα κλάσματα (-1+0.250 mm) και (-0.250+0.063 mm) όπου και στην κατανομή αλλά και στις χημικές αναλύσεις προέκυψαν αξιόλογα ποσοστά, με την κατανομή σε σίδηρο στο κλάσμα (-1+0.250 mm) να έχει ποσοστό 88.67%, ενώ η περιεκτικότητα του ήταν 62.27%. Συμπερασματικά ο καλύτερος εμπλουτισμός σύμφωνα με την κατανομή επιτεύχθηκε στο κλάσμα (-1+0.250 mm) εμφανίζοντας καλύτερο διαχωρισμό. Κλείνοντας για το βαρυτομετρικό διαχωρισμό παρατηρήθηκε ότι η κατανομή σε σχέση με τις χημικές αναλύσεις είναι αντιστρόφως ανάλογες. Όσο αυξάνεται η κατανομή μειώνεται η περιεκτικότητα σε σίδηρο και αντίστροφα.

### 6.2 Μαγνητικός διαχωρισμός

- Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του μαγνητικού διαχωρισμού του μεταλλεύματος της περιοχής Ρέντα-Αρολίθι, παρατηρείται, ότι στα μεγαλύτερα κοκκομετρικά κλάσματα (-8+4 mm) και (-4+1 mm) ο διαχωρισμός του μεταλλεύματος δεν έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα. Στα κλάσματα (-1+0.250 mm) και (-0.250+0.063 mm) καταγράφηκε πιο αποδοτικός εμπλουτισμός του μεταλλεύματος. Στο κλάσμα (-1+0.250 mm) υπήρχε καλύτερη συγκέντρωση του σιδήρου όπου στο μαγνητικό προϊόν 1 ήταν 63.01%, ενώ στο κλάσμα (-0.250+0.063 mm) παρουσιάστηκε η καλύτερη κατανομή του σιδήρου με τιμή από 90.53%. Συμπερασματικά, ο καλύτερος εμπλουτισμός επιτεύχθηκε στα πιο λεπτόκοκκα κλάσματα.

### **6.3 Γενικά συμπεράσματα στον εμπλουτισμό**

Λαμβάνοντας υπόψη και τους δύο διαχωρισμούς καλύτερη απόδοση του εμπλουτισμού υπήρξε στα δυο πιο λεπτόκοκκα κλάσματα. Στο βαρυτομετρικό διαχωρισμό κυρίως στο κλάσμα  $(-1+0.250\text{mm})$  και στον μαγνητικό διαχωρισμό στο αμέσως επόμενο κλάσμα  $(-0.250+0.063\text{mm})$ .

### **6.4 Προτάσεις**

- Πραγματοποίηση διαφορετικών μεθόδων διαχωρισμού, όπως επίπλευση.

## Βιβλιογραφία

### Ελληνικές πηγές

1. Αλεβίζος Γ. (2009). Μικροσκοπία ορυκτών πρώτων υλών και τεχνητών προϊόντων. Τεύχος Β', Σημειώσεις του μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
2. Βασιλάκης Ε.Μ (2006). Μελέτη της τεκτονικής δομής της λεκάνης Μεσσαράς, κεντρικής Κρήτης με τη βοήθεια τεχνικών τηλεπισκόπησης και συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών, Διδακτορική διατριβή Αθήνα.
3. Ζευγώλης Ε.Ν. (2014). Μεταλλουργία Σιδήρου θεωρία και τεχνολογία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
4. Έρευνα και μελέτη για την αναθεώρηση του περιφερειακού σχεδιασμού διαχείρισης στερεών αποβλήτων (ΠΕΣΔΑ) περιφέρειας Κρήτης ΕΜΠ, Δεκέμβριος 2010.
5. ΙΓΜΕ, γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος, φύλλο Ρεθύμνου κλίμακα 1: 50000
6. Κομνίτσας Κ. (2010). Μεταλλουργικές Διεργασίες, Σημειώσεις του μαθήματος, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
7. Κωστάκης Γ. (2005). Γενική Ορυκτολογία, Σημειώσεις του μαθήματος, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
8. Μαρτίνη Σ. (2004). Έρευνα αποδέσμευσης και εμπλουτισμού νικελιούχου λατερίτη Ευβοίας, Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
9. Μουντράκης Δ. (2010). Γεωλογία και Γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδος, University studio press, Θεσσαλονίκη.
10. Παπασταματίου Ι. (1952). Ο ορυκτός πλούτος της Κρήτης ΙΓΜΕ, έκθεση αδημοσίευτη Νο 256 1952, Αθήνα.
11. Σταμπολιάδης Η. (2001). Εμπλουτισμός των μεταλλευμάτων. Σημειώσεις του μαθήματος, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
12. Φυτρολάκης Ν. (1972). Η επίδραση ορογενετικών τινών κινήσεων και ο σχηματισμός της γύψου εις την Ανατολικήν Κρήτην (επαρχία Σητείας). Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, 9/1 : 81-100 , Αθήνα.
13. Φυτρολάκης Ν. (1978). Συμβολή της στη γεωλογική έρευνα της Κρήτης, Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, XIII/2, 101-115, Αθήνα.
14. Φυτρολάκης Ν. (1980). Η γεωλογική δομή της Κρήτης. Προβλήματα, παρατηρήσεις και συμπεράσματα , Διατριβή επί υφηγεσία thesis, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

### Ξένες πηγές

1. Creutzburg N. & Seidel E. (1975). On the Present Knowledge of the Pre-Neogene. Geology in Crete (Greece). N. Jb. Geol. Palaont. Abh., 149,363-383, Stuttgart
2. Konig H. & Kuss S.E. (1980). Neue Daten zur Biostratigraphie des permotriadischen Autochthons der Insel Kreta.- N. Jb. Geol. Palaont. Mh., 1980: 525-540.
3. Whiston C. (1987). X-Ray methods Chichester : John Wiley and sons, pp 300-302

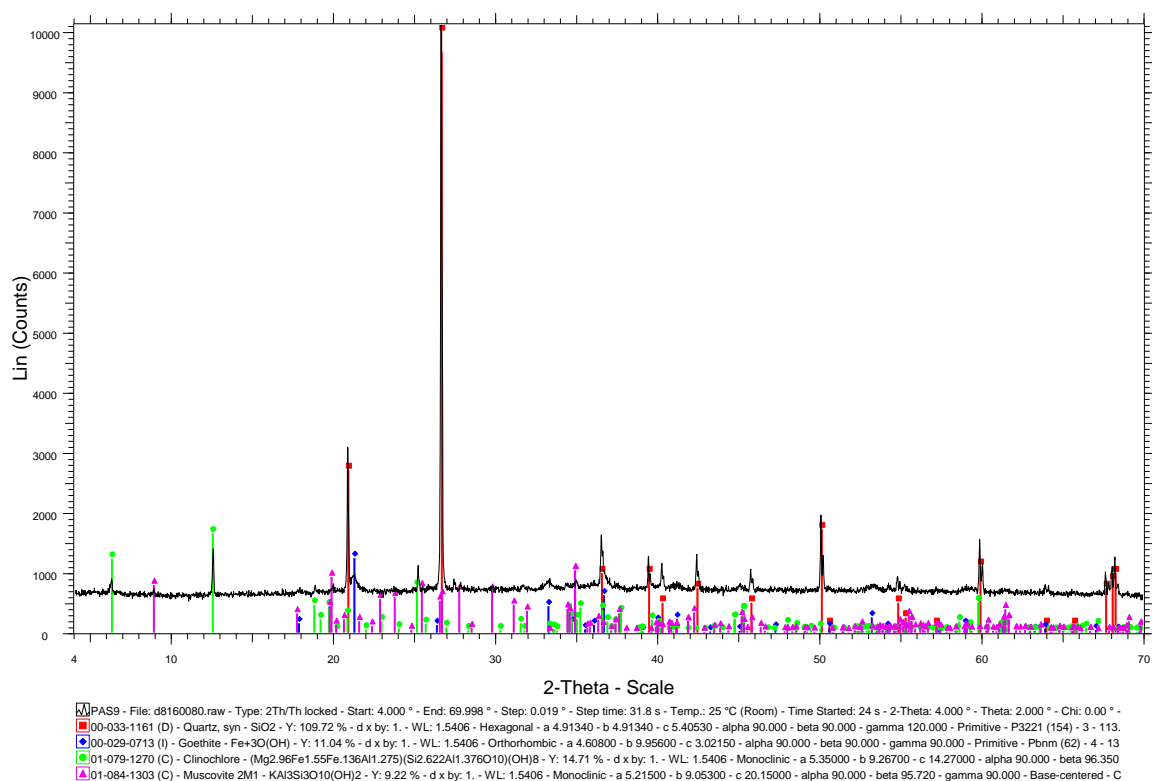
### **Διαδικτυακές Πηγές**

1. <http://www.orykta.gr/oryktoi-poroi-kai-h-diahroniki-simasia-tous-stin-oikonomia> (8/3/2017)
2. <http://www.livepedia.gr/index.php/%CE%A3%CE%AF%CE%B4%CE%B7%CF%81%CE%BF%CF%82> (9/3/2017)
3. [https://technicaleducationforum.wikispaces.com/file/view/1\\_2\\_o\\_sidiros\\_kai\\_kramata\\_to\\_u.pdf](https://technicaleducationforum.wikispaces.com/file/view/1_2_o_sidiros_kai_kramata_to_u.pdf) (9/3/2017)
4. [http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo645y/pdf\\_theory/KOITASMATOLOGIA\\_MET\\_ALLEYMATWN\\_400.pdf](http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo645y/pdf_theory/KOITASMATOLOGIA_MET_ALLEYMATWN_400.pdf)(10/3/2017)
5. <https://www.mapsofworld.com/minerals/world-iron-ore-producers.html>(1/02/2018)
6. <http://sidenor.gr/sxetika-me-tin-sidenor/o-omilos/>(10/3/2017)
7. <http://www.halyvourgiki.com/>(10/3/2017)
8. [http://library.tee.gr/digital/akr/akr\\_m1015.pdf](http://library.tee.gr/digital/akr/akr_m1015.pdf)(23/3/2017)
9. [http://ellinika-xwria.blogspot.com/2016/03/blog-post\\_974.html](http://ellinika-xwria.blogspot.com/2016/03/blog-post_974.html) (21/01/2019)
10. [http://www.pkr.gov.gr/files/11/5774/pesdak\\_2010\\_-\\_kefalaio\\_5.pdf](http://www.pkr.gov.gr/files/11/5774/pesdak_2010_-_kefalaio_5.pdf)(27/3/2017)
11. <https://www.ntua.gr/el/>(1/2/2018)

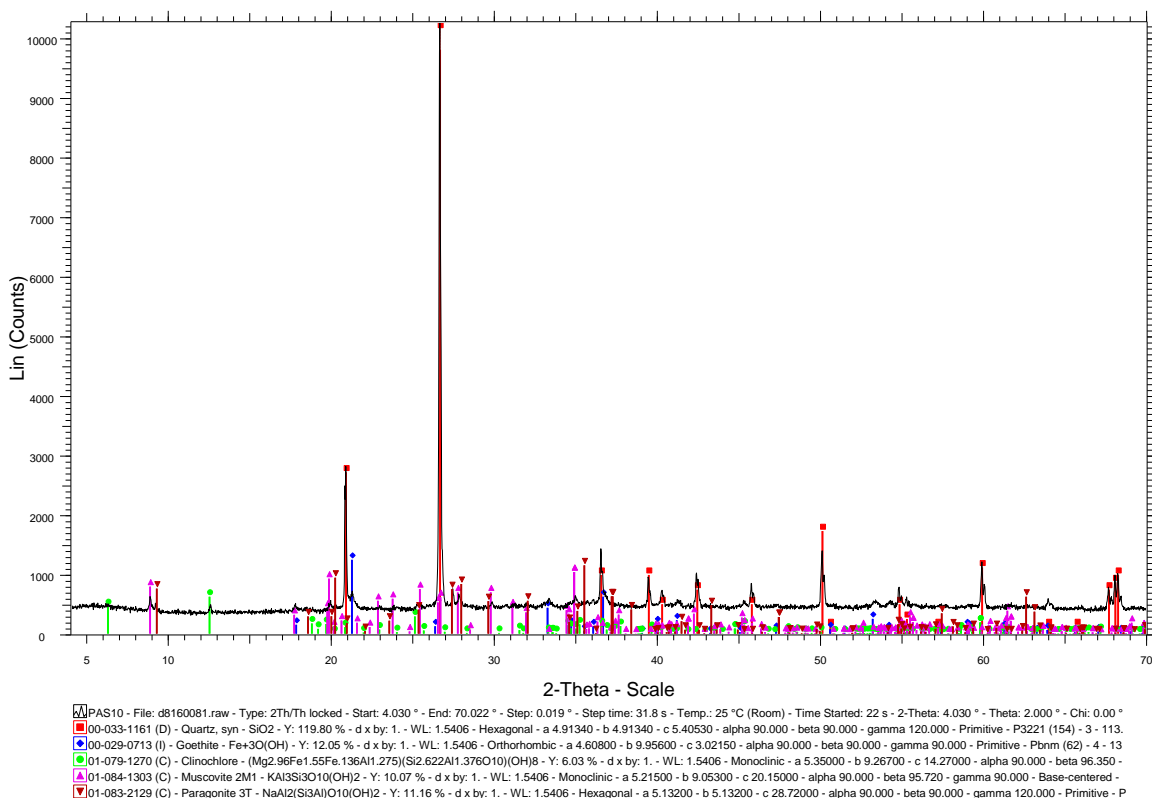


## **Παράρτημα**

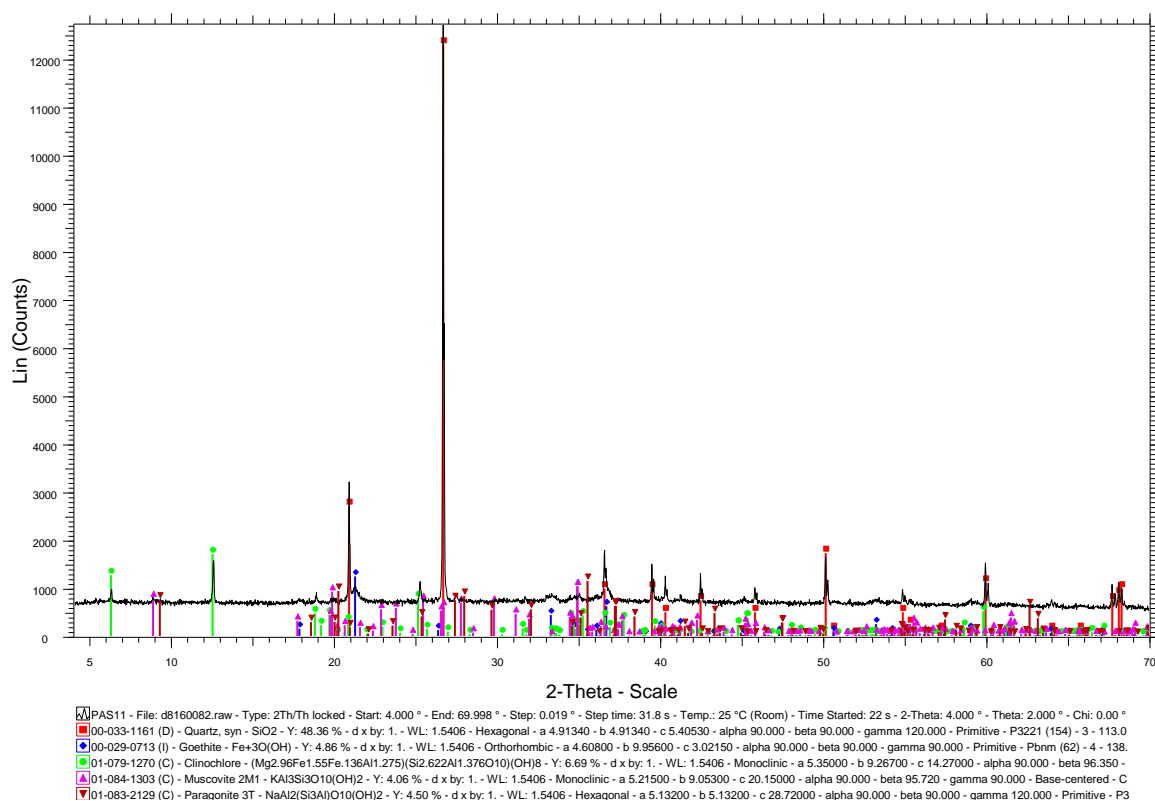
Ακτινοδιαγράμματα αρχικών δειγμάτων και δειγμάτων μετά τις διεργασίες του εμπλουτισμού της περιοχής Ρέντα-Αρολίθι



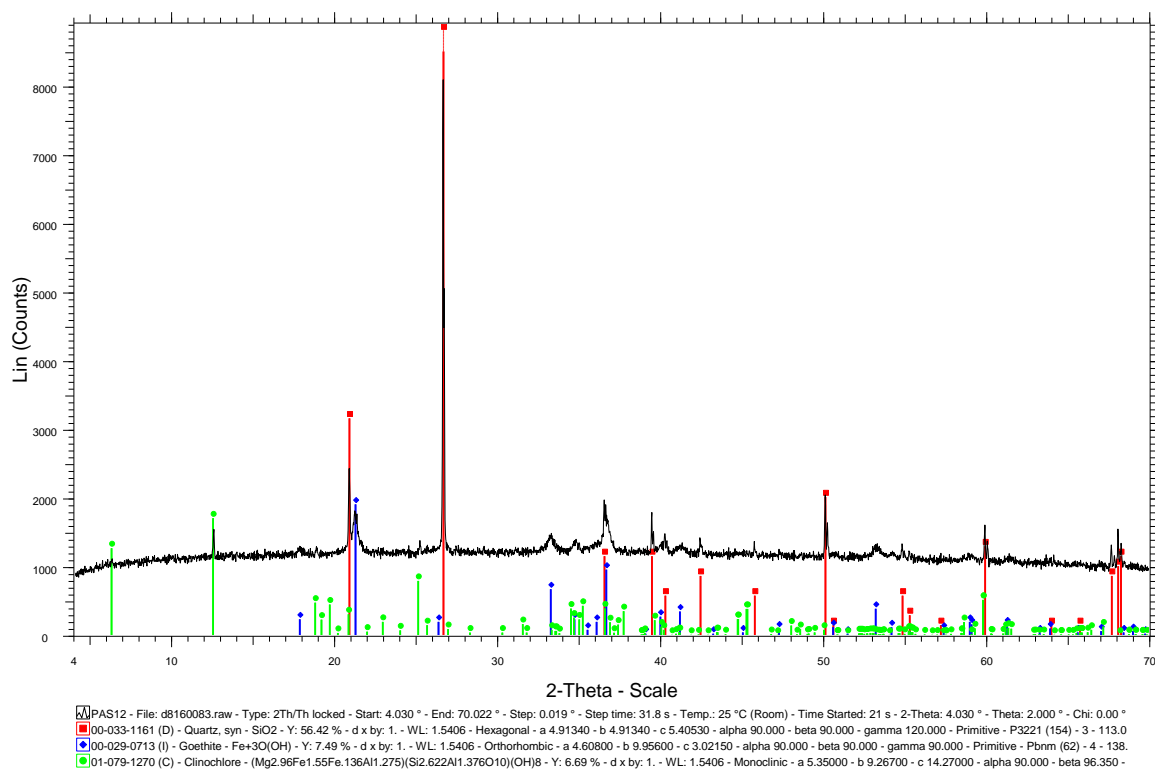
Εικόνα 1: Ακτινοδιάγραμμα αρχικού δείγματος PAS9 (χαλαζίας, γκαιτίτης, κλινόχλωρο, μοσχοβίτης)



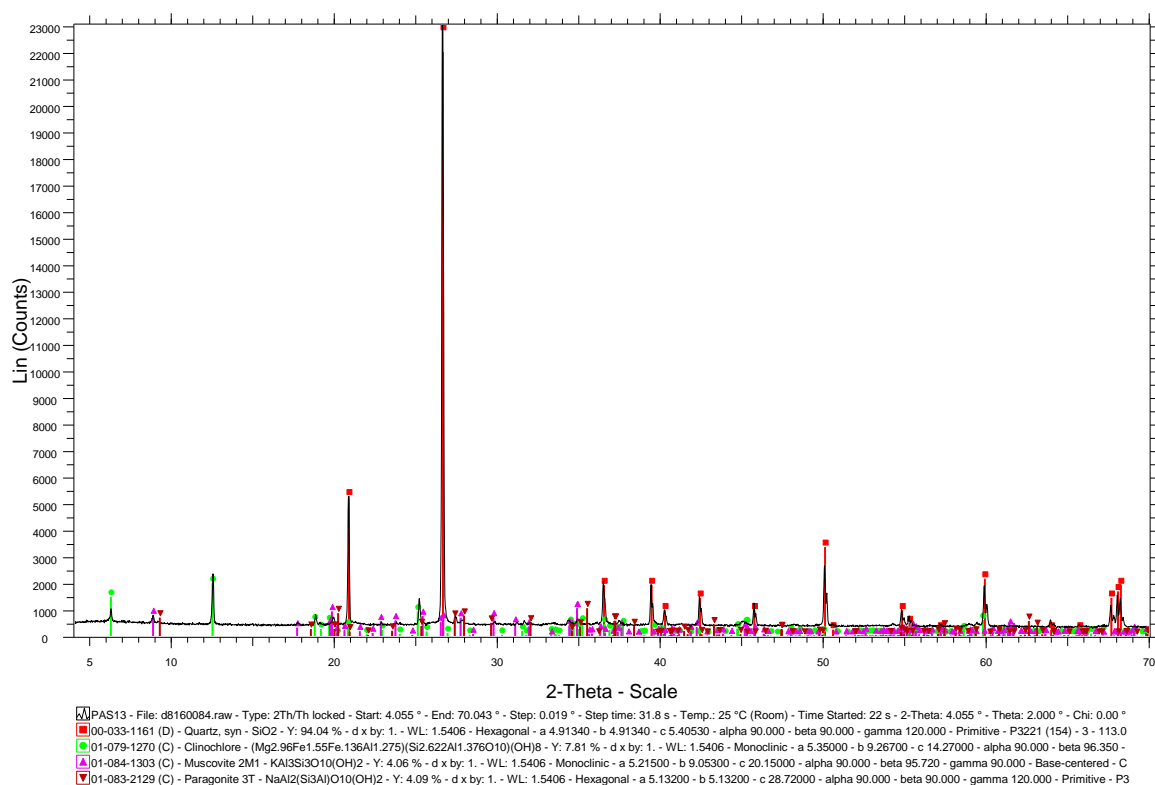
Εικόνα 2: Ακτινοδιάγραμμα δείγματος PAS10 (χαλαζίας, γκαιτίτης, κλινόχλωρο, μοσχοβίτης, παραγονίτης)



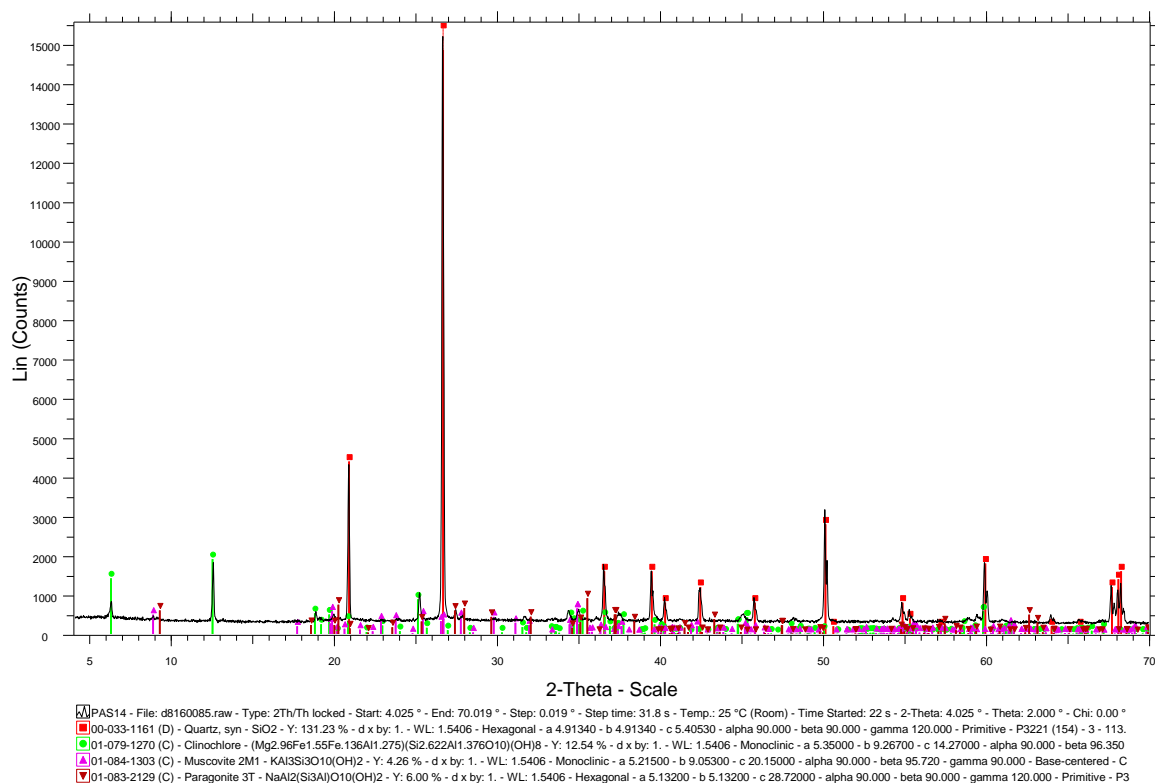
Εικόνα 3: Ακτινοδιάγραμμα δείγματος PAS11 (χαλαζίας, γκαϊτίτης, κλινόχλωρο, μοσχοβίτης, παραγονίτης)



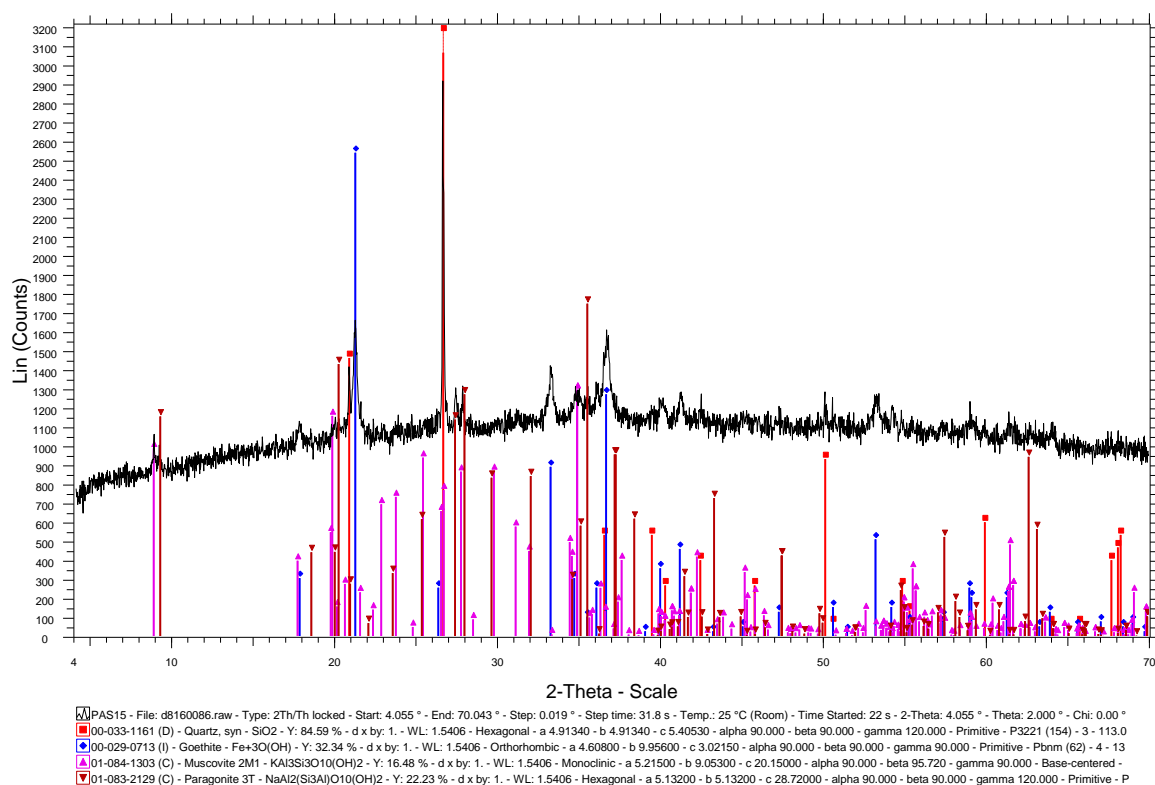
Εικόνα 4 : Ακτινοδιάγραμμα δείγματος PAS 12 (χαλαζίας, γκαϊτίτης, κλινόχλωρο)



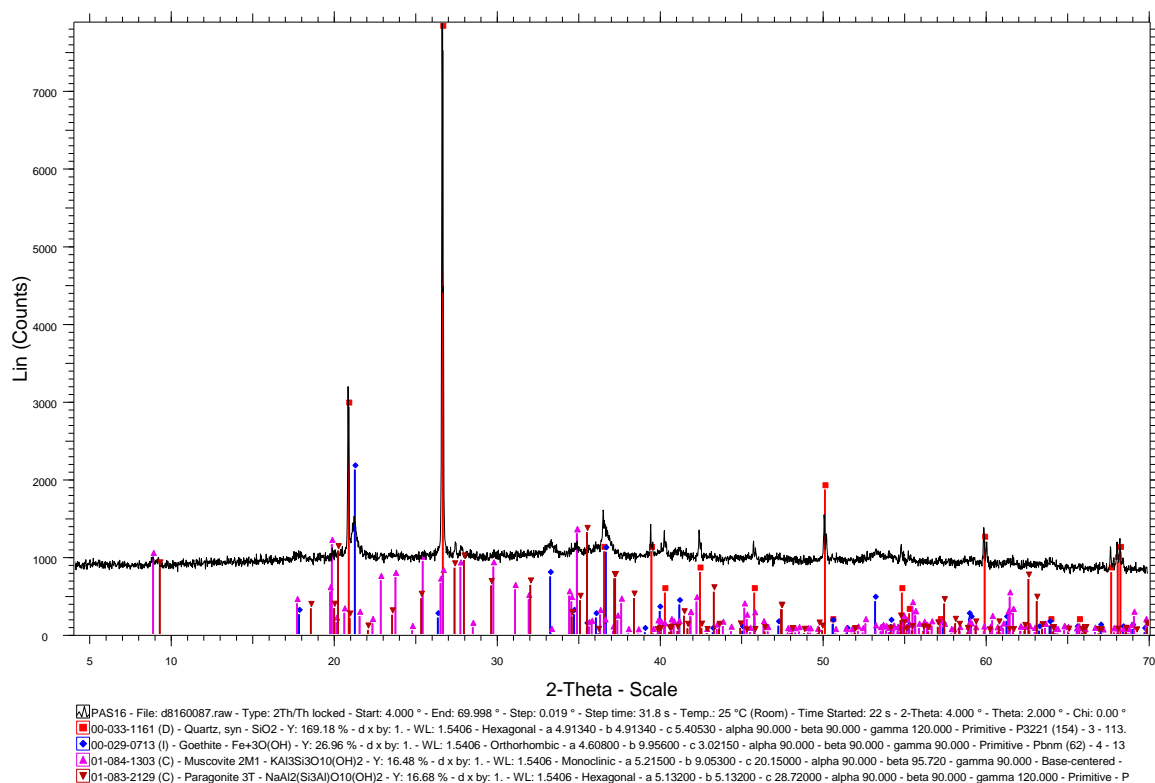
Εικόνα 5: Ακτινοδιάγραμμα δείγματος PAS13 (χαλαζίας, κλινόχλωρο, μοσχοβίτης, παραγονίτης)



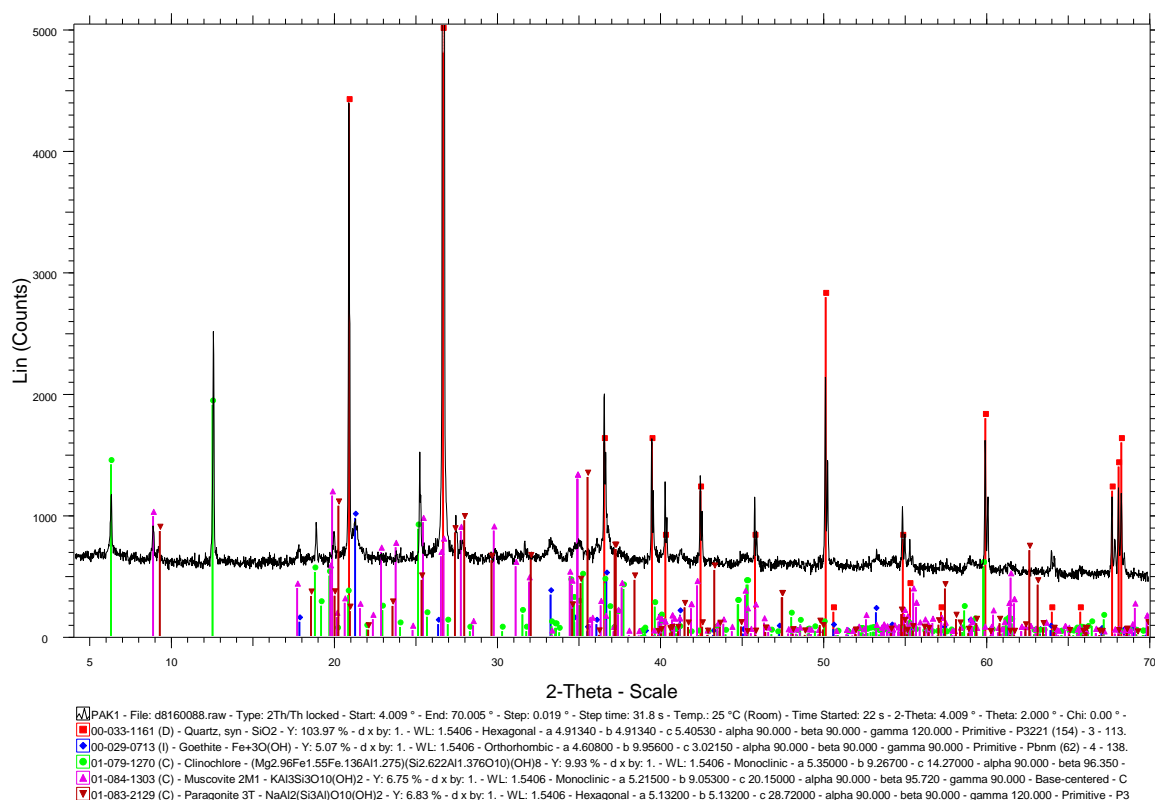
Εικόνα 6: Ακτινοδιάγραμμα δείγματος PAS14 (χαλαζίας, κλινόχλωρο, μοσχοβίτης, παραγονίτης)



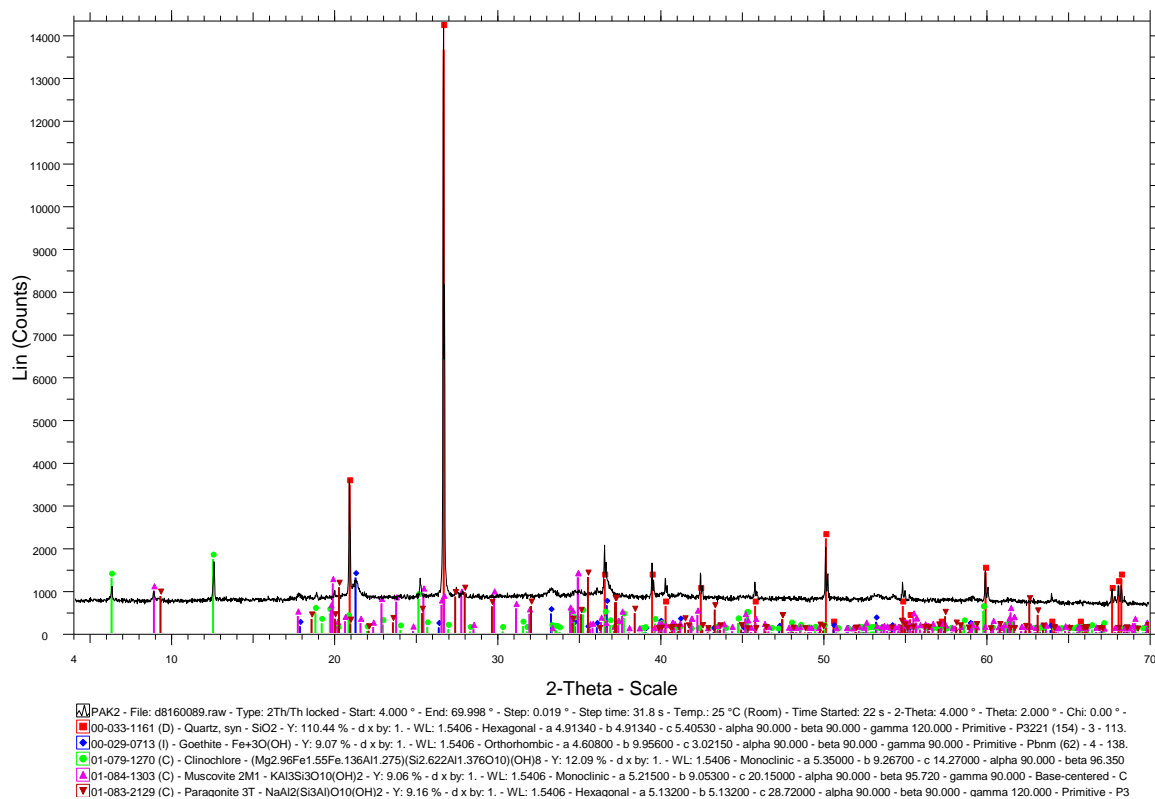
Εικόνα 7: Ακτινοδιάγραμμα δείγματος PAS15 (χαλαζίας, γκαϊτίτης, μοσχοβίτης, παραγονίτης)



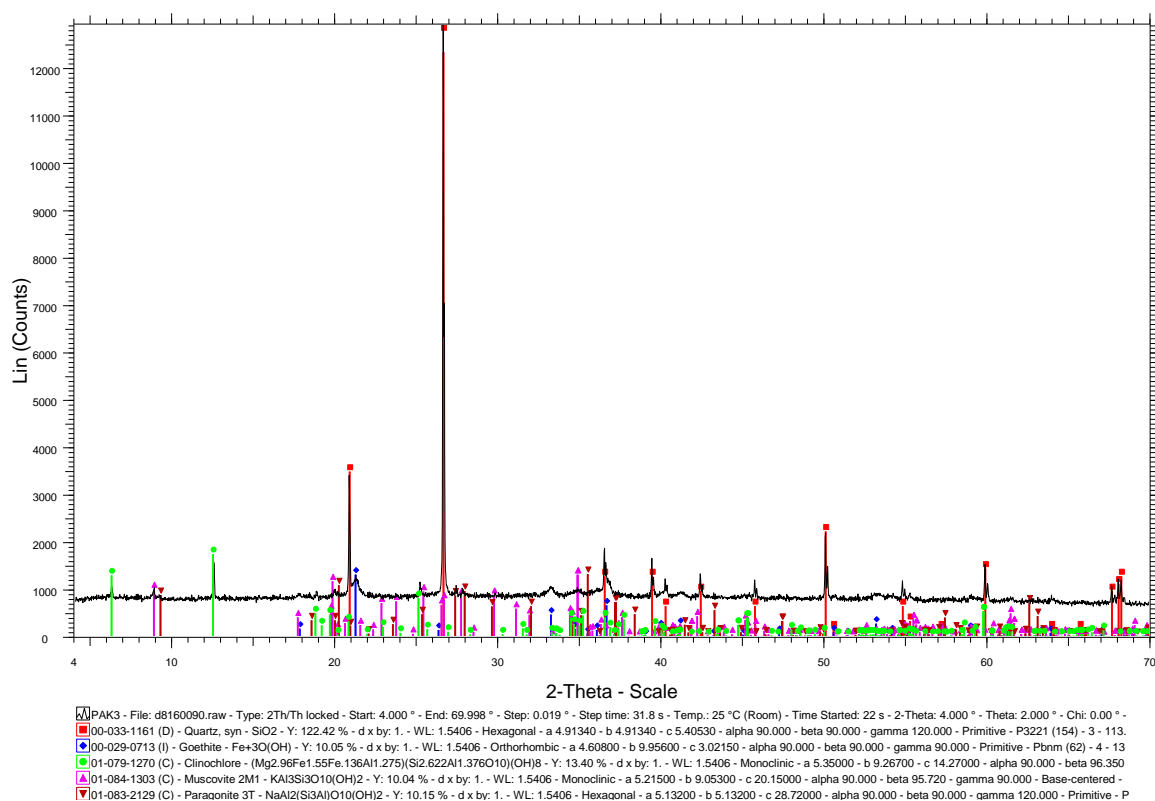
Εικόνα 8: Ακτινοδιάγραμμα δείγματος PAS16 (χαλαζίας, γκαϊτίτης, μοσχοβίτης, παραγονίτης)



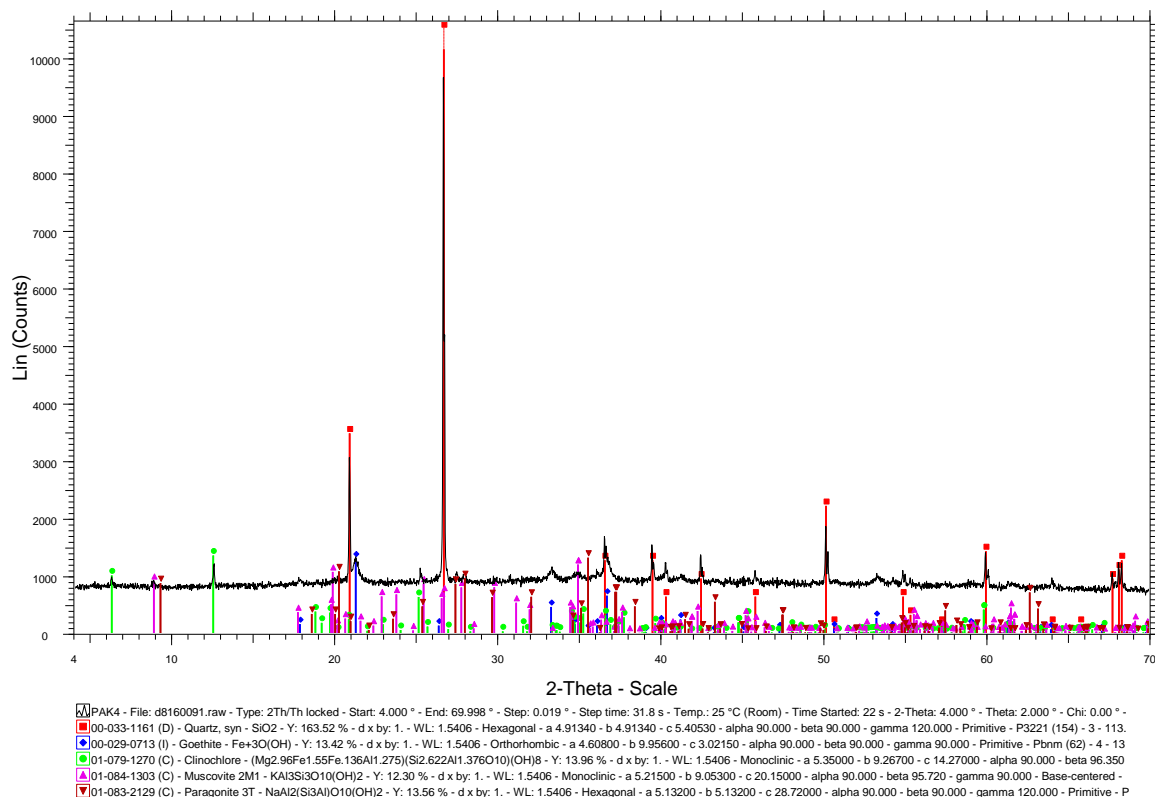
Εικόνα 9: Ακτινοδιάγραμμα δείγματος PAK1 (χαλαζιάς, γκαϊτίτης, κλινόχλωρο, μοσχοβίτης, παραγονίτης)



Εικόνα 10: Ακτινοδιάγραμμα δείγματος PAK2 (χαλαζιάς, γκαϊτίτης, κλινόχλωρο, μοσχοβίτης, παραγονίτης)

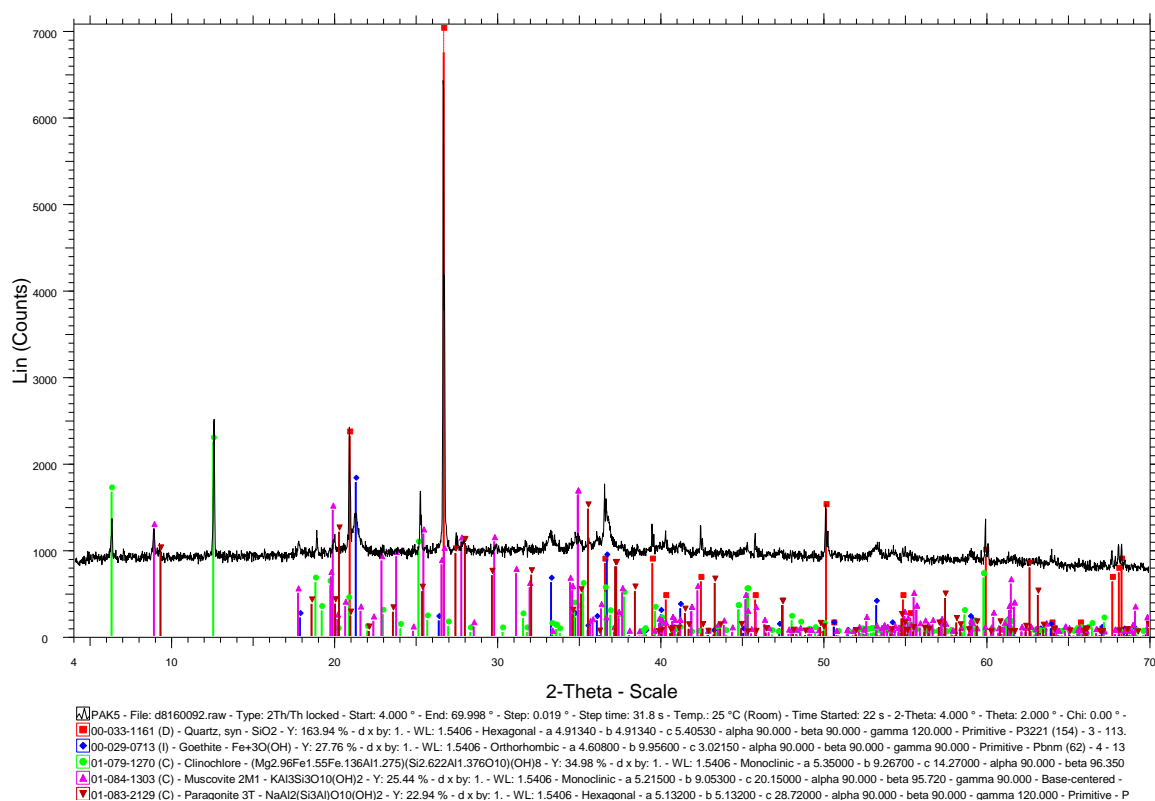


Εικόνα 11: Ακτινοδιάγραμμα δείγματος PAK3 (χαλαζίας, γκαϊτίτης, κλινόχλωρο, μοσχοβίτης, παραγονίτης)

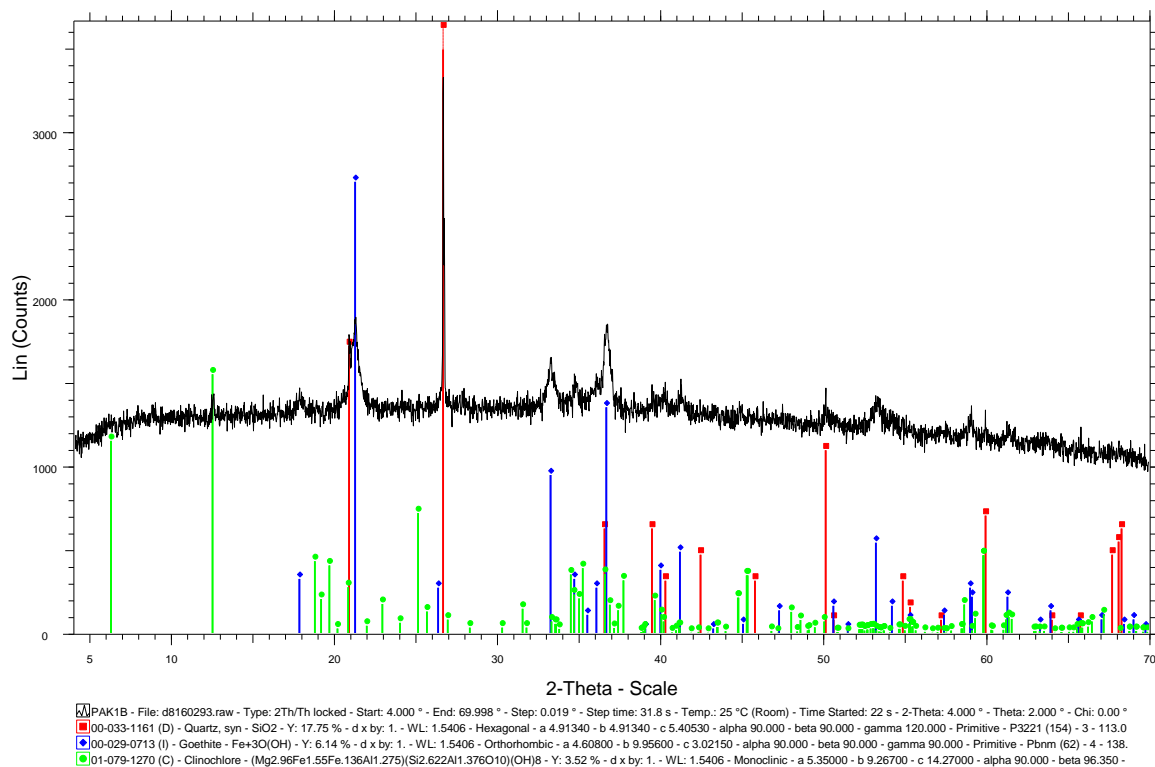


Εικόνα 12: Ακτινοδιάγραμμα δείγματος PAK4 (χαλαζίας, γκαϊτίτης, κλινόχλωρο, μοσχοβίτης, παραγονίτης)

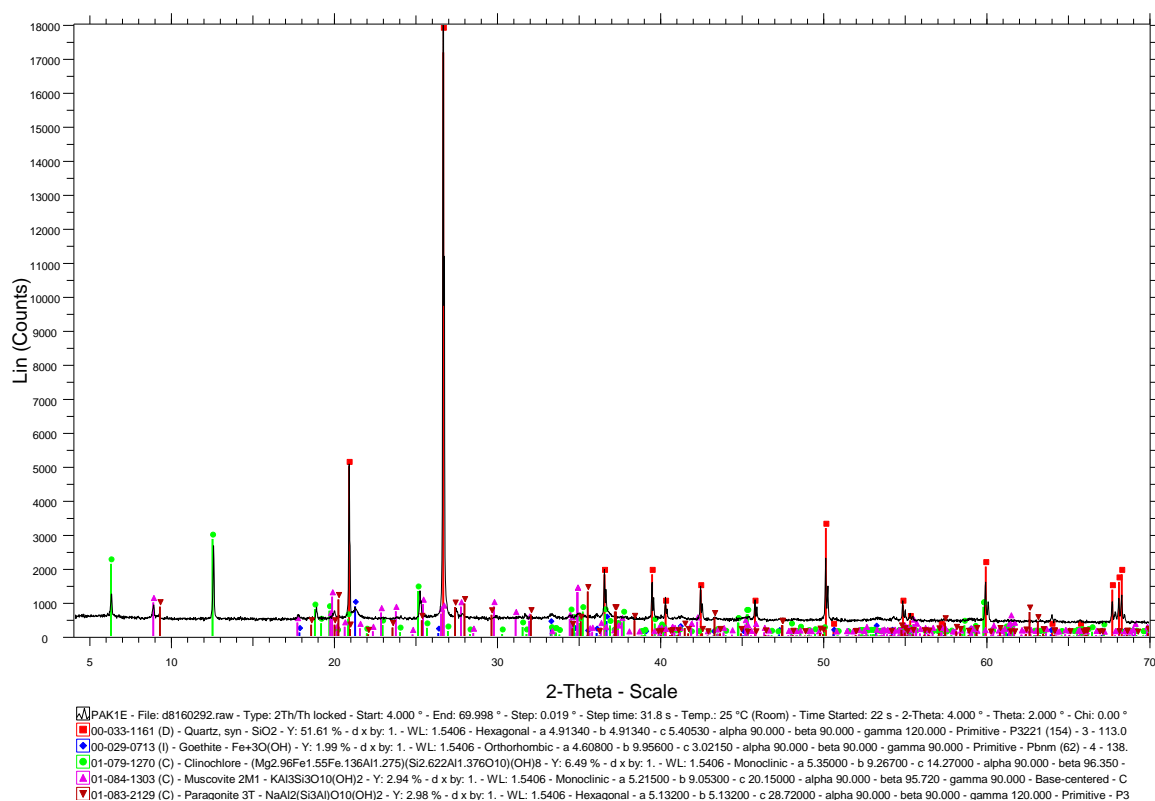




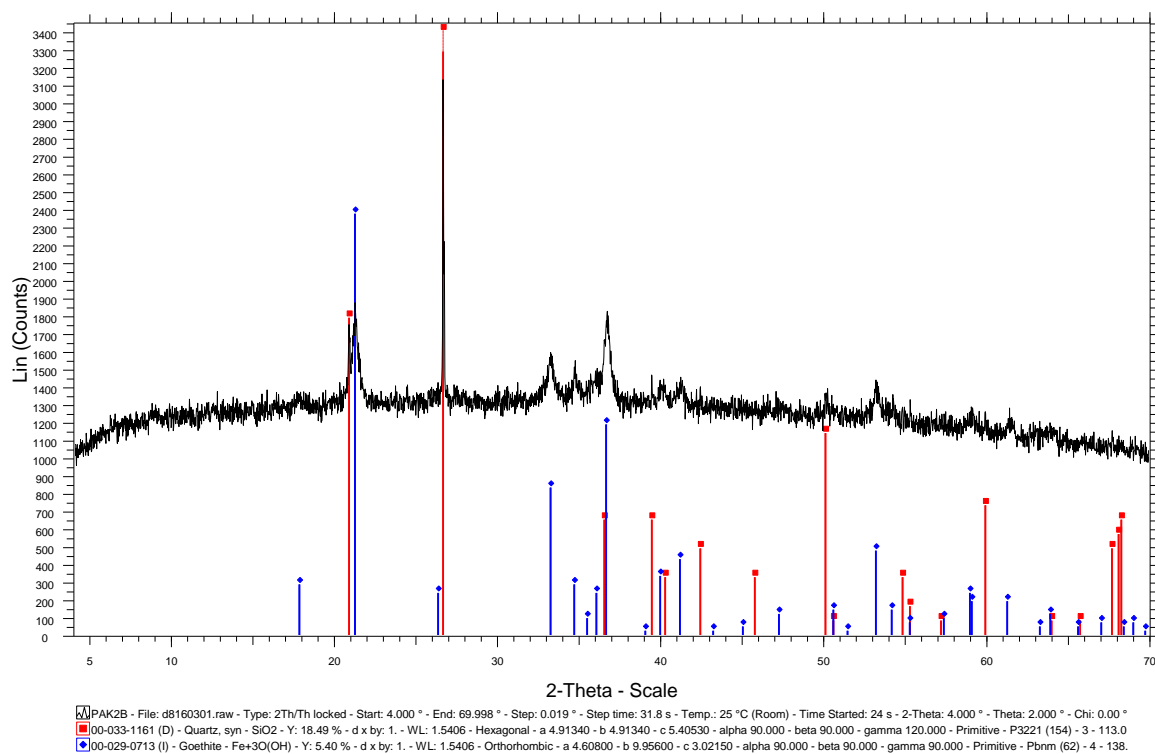
Εικόνα 13: Ακτινοδιάγραμμα δείγματος PAK5 (χαλαζίας, γκαϊτίτης, κλινόχλωρο, μοσχοβίτης, παραγονίτης)



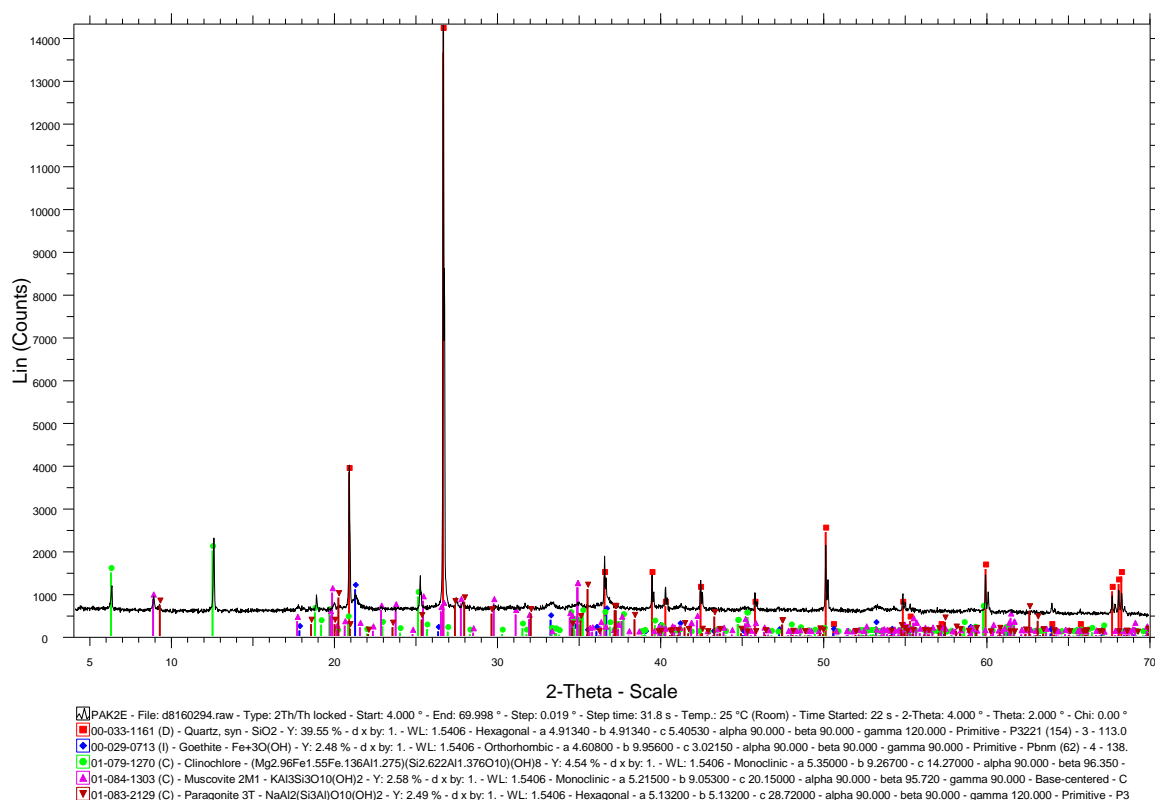
Εικόνα 14: Ακτινοδιάγραμμα δείγματος PAK1B (χαλαζίας, γκαϊτίτης, κλινόχλωρο)



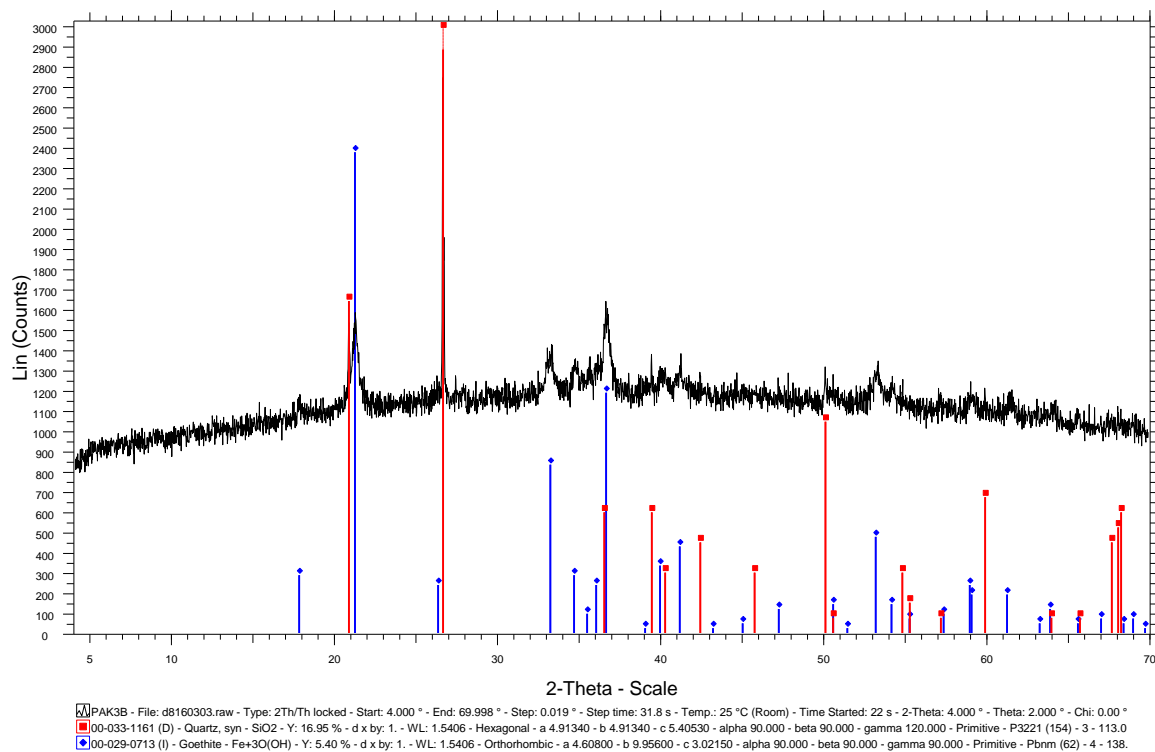
Εικόνα 15: Ακτινοδιάγραμμα δείγματος PAK1E (χαλαζίας, γκαϊτίτης, κλινόχλωρο, μοσχοβίτης, παραγονίτης)



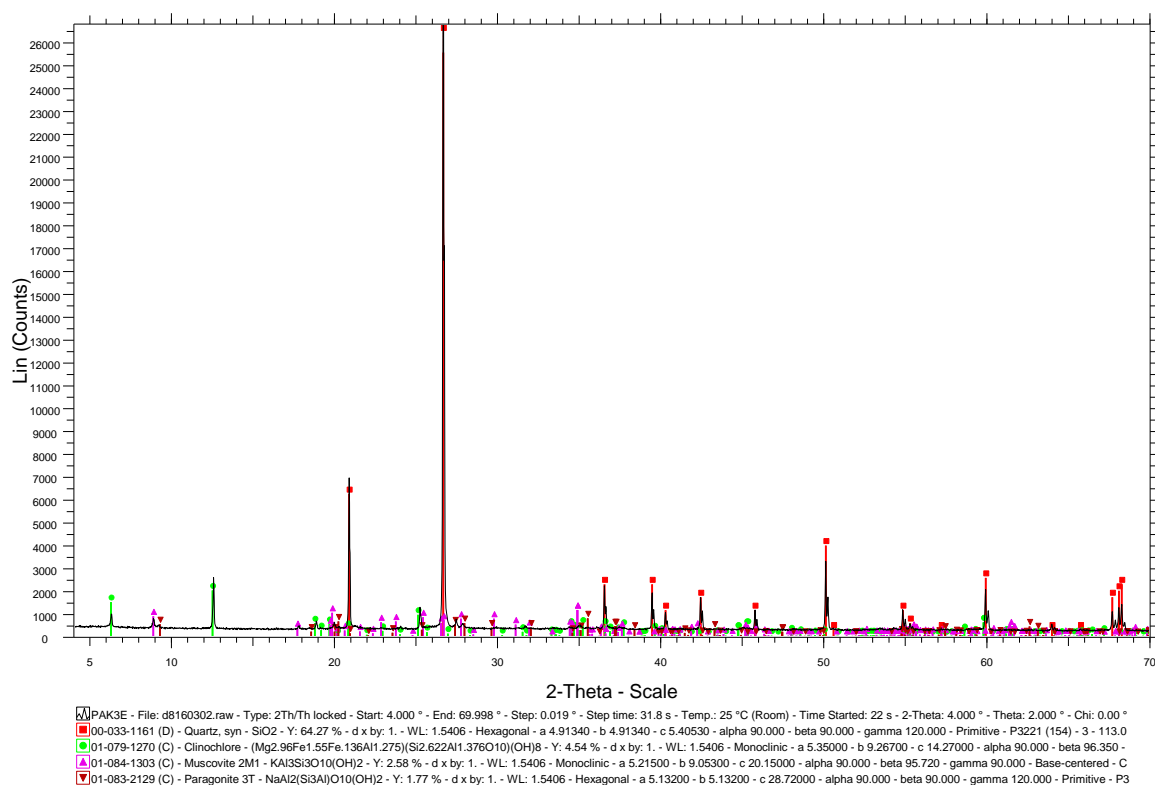
Εικόνα 16: Ακτινοδιάγραμμα δείγματος PAK2B (χαλαζίας, γκαϊτίτης)



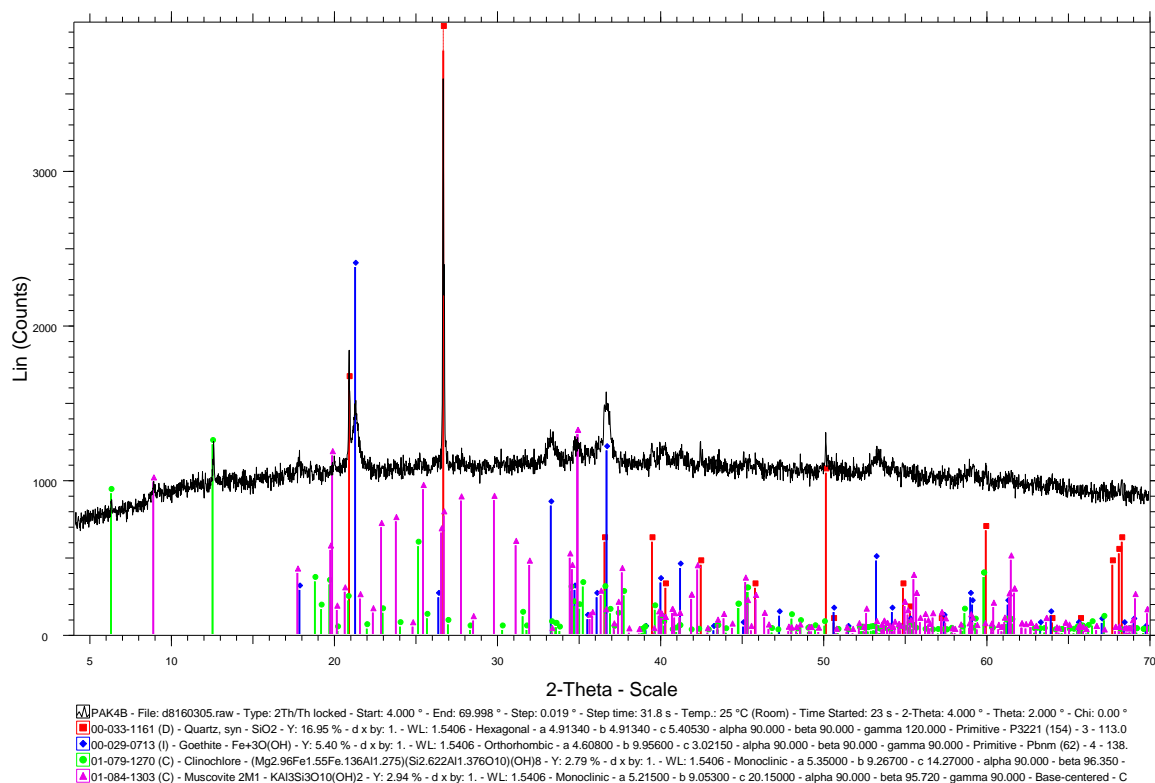
Εικόνα 17: Ακτινοδιάγραμμα δείγματος PAK2E (χαλαζίας, γκαϊτίτης, κλινόχλωρο, μοσχοβίτης, παραγονίτης)



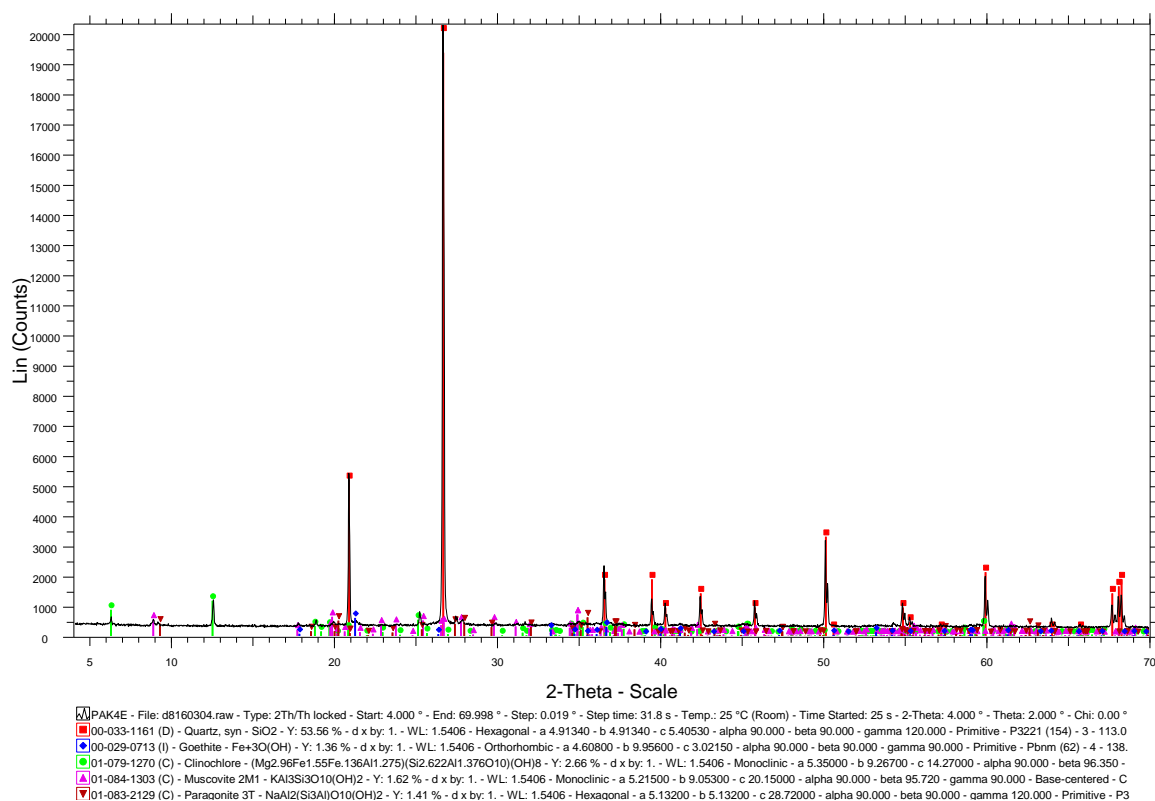
Εικόνα 18: Ακτινοδιάγραμμα δείγματος PAK3B (χαλαζίας, γκαϊτίτης)



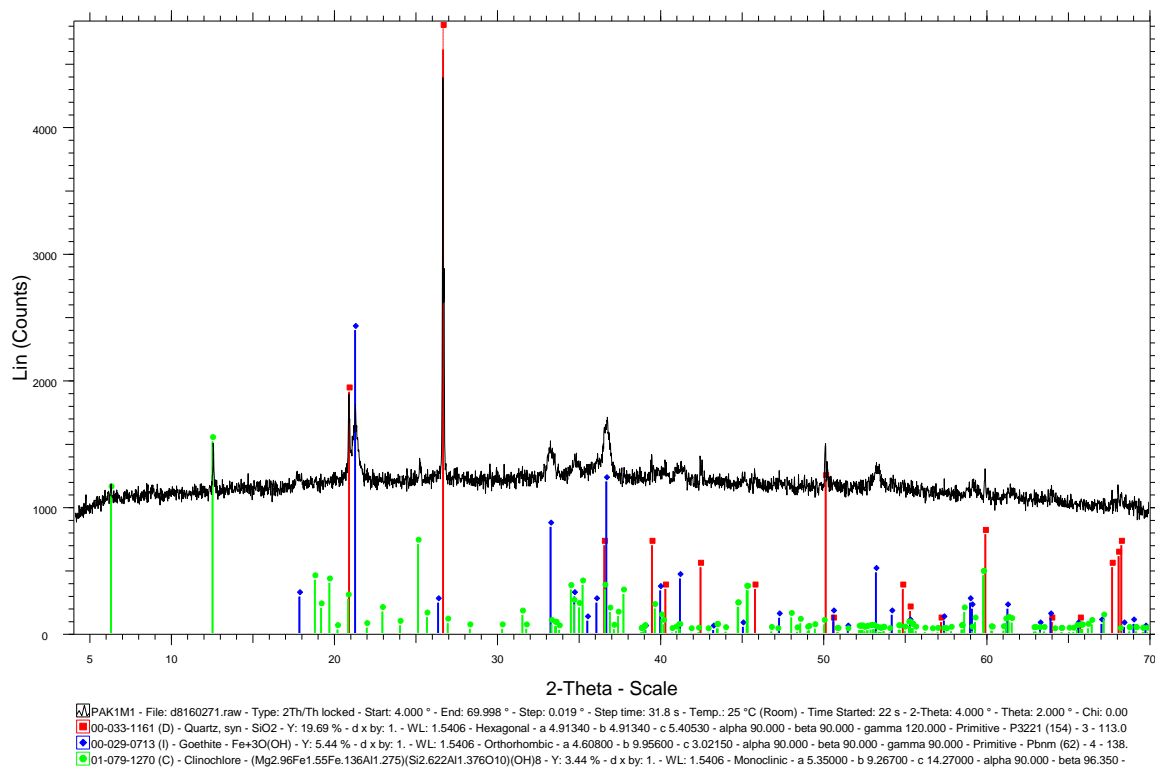
Εικόνα 19: Ακτινοδιάγραμμα δείγματος PAK3E (χαλαζίας, κλινόχλωρο, μοσχοβίτης παραγονίτης)



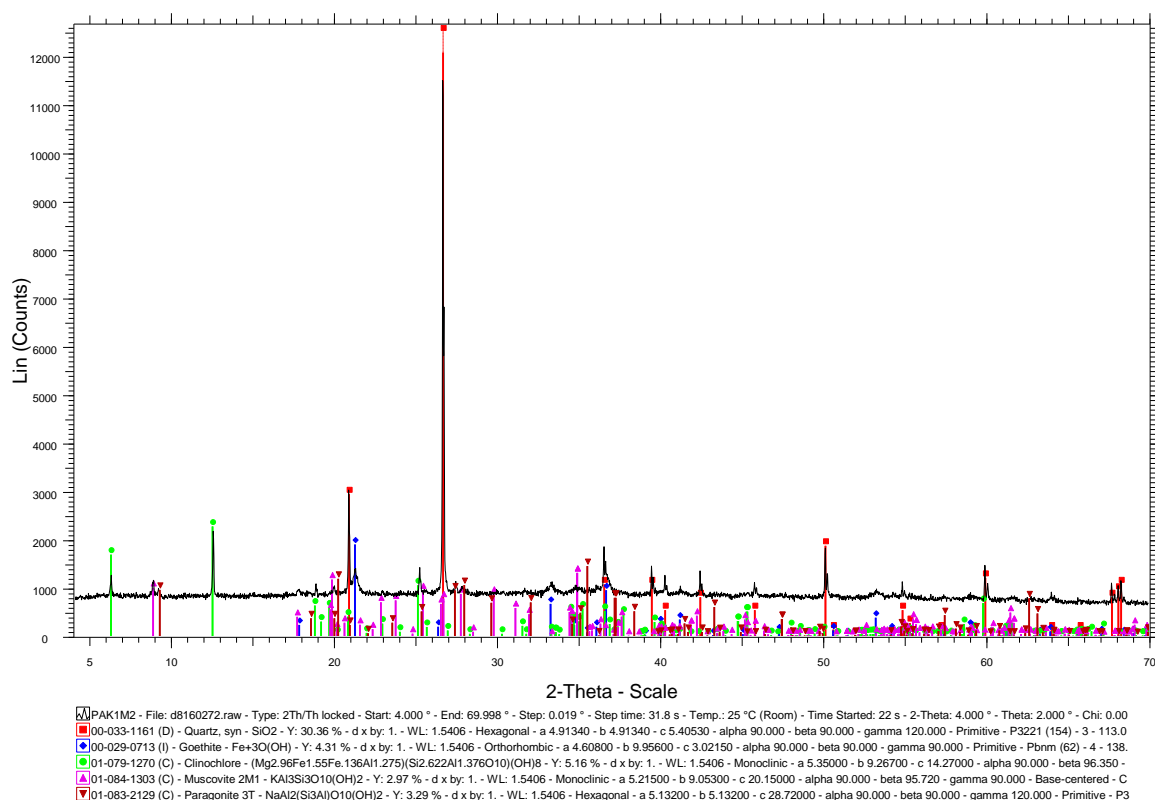
Εικόνα 20: Ακτινοδιάγραμμα δείγματος PAK4B (χαλαζίας, γκαϊτίτης, κλινόχλωρο μοσχοβίτης)



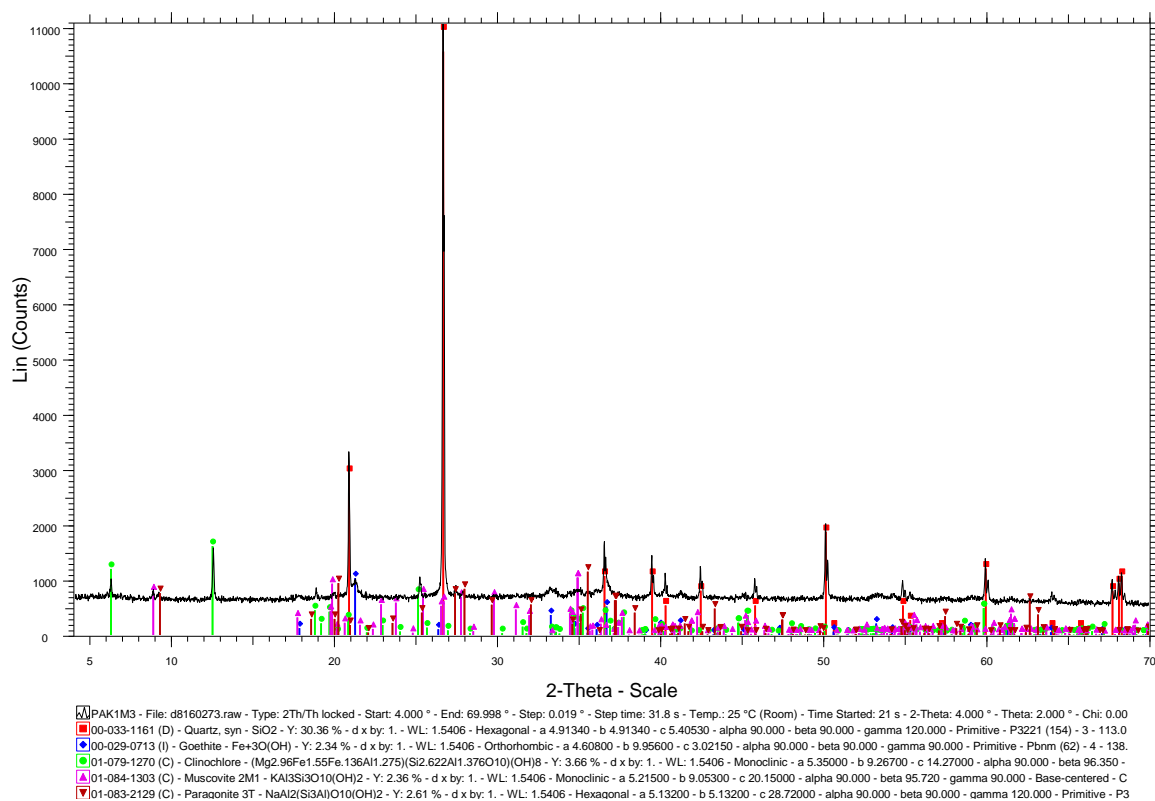
Εικόνα 21: Ακτινοδιάγραμμα δείγματος PAK4E (χαλαζίας, γκαιτίτης ,κλινόχλωρο μοσχοβίτης, παραγονίτης)



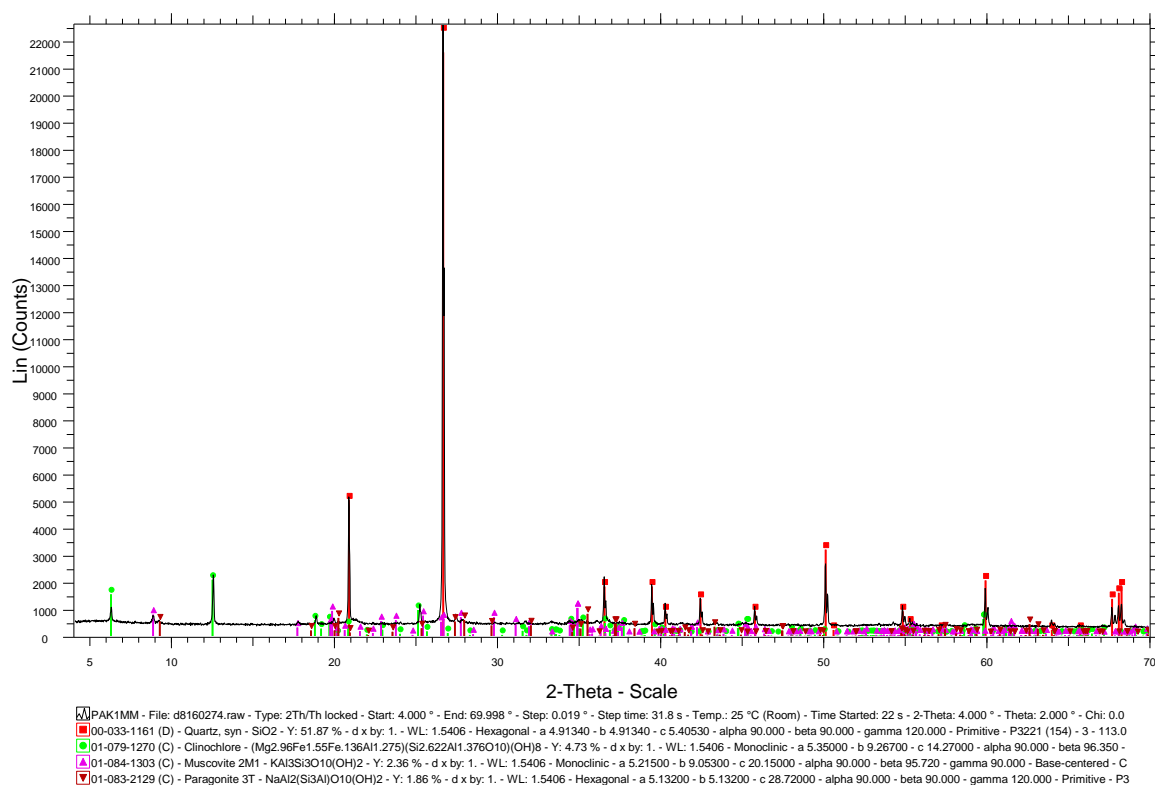
Εικόνα 22: Ακτινοδιάγραμμα δείγματος PAK1M1 (χαλαζίας, γκαιτίτης ,κλινόχλωρο)



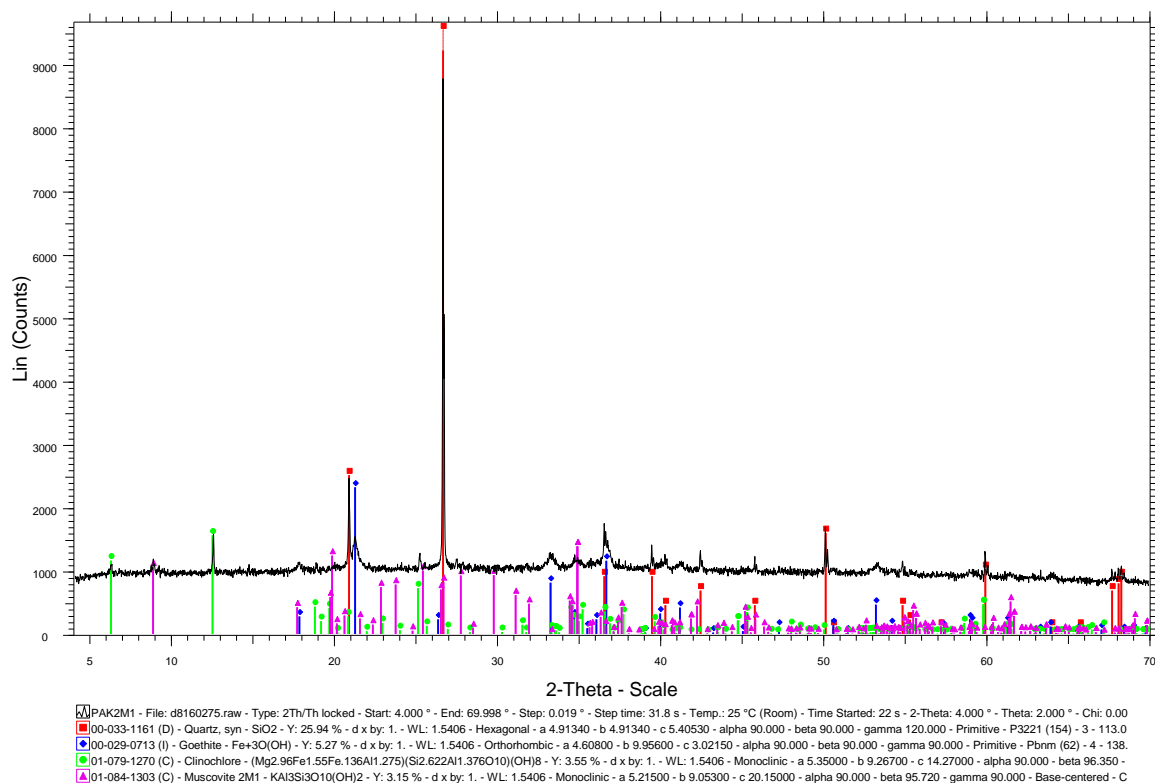
Εικόνα 23: Ακτινοδιάγραμμα δείγματος PAK1M2 (χαλαζίας, γκαϊτίτης, κλινόχλωρο, μοσχοβίτης, παραγονίτης)



Εικόνα 24: Ακτινοδιάγραμμα δείγματος PAK1M3 (χαλαζίας, γκαϊτίτης, κλινόχλωρο, μοσχοβίτης, παραγονίτης)

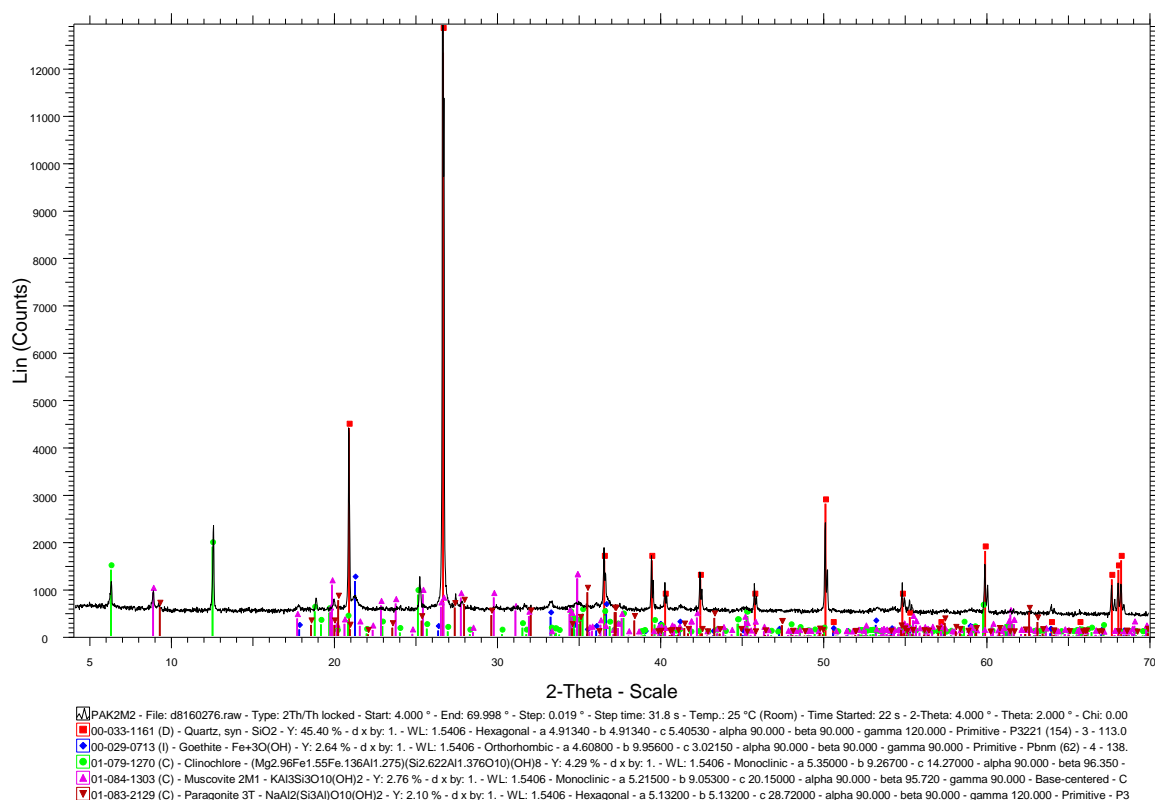


Εικόνα 25: Ακτινοδιάγραμμα δείγματος PAK1MM (χαλαζίας, κλινόχλωρο, μοσχοβίτης, παραγονίτης)

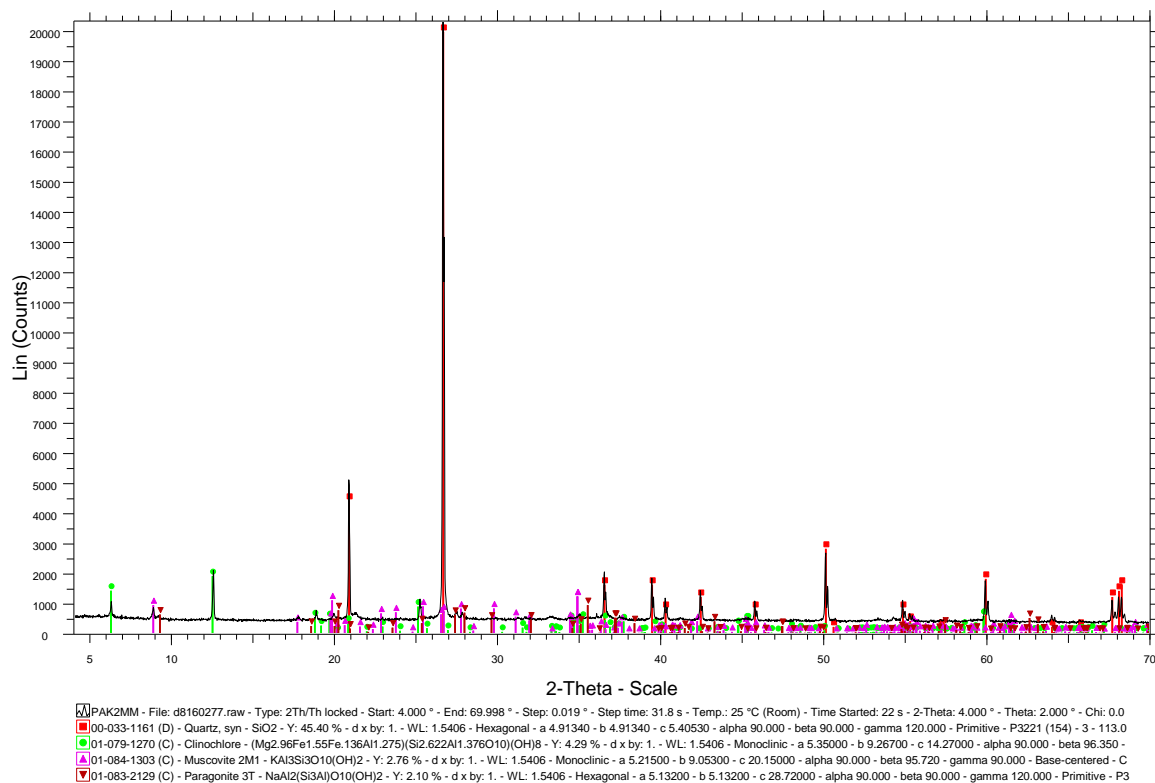


Εικόνα 26: Ακτινοδιάγραμμα δείγματος PAK2M1 (χαλαζίας, γκαιτίτης, κλινόχλωρο, μοσχοβίτης)

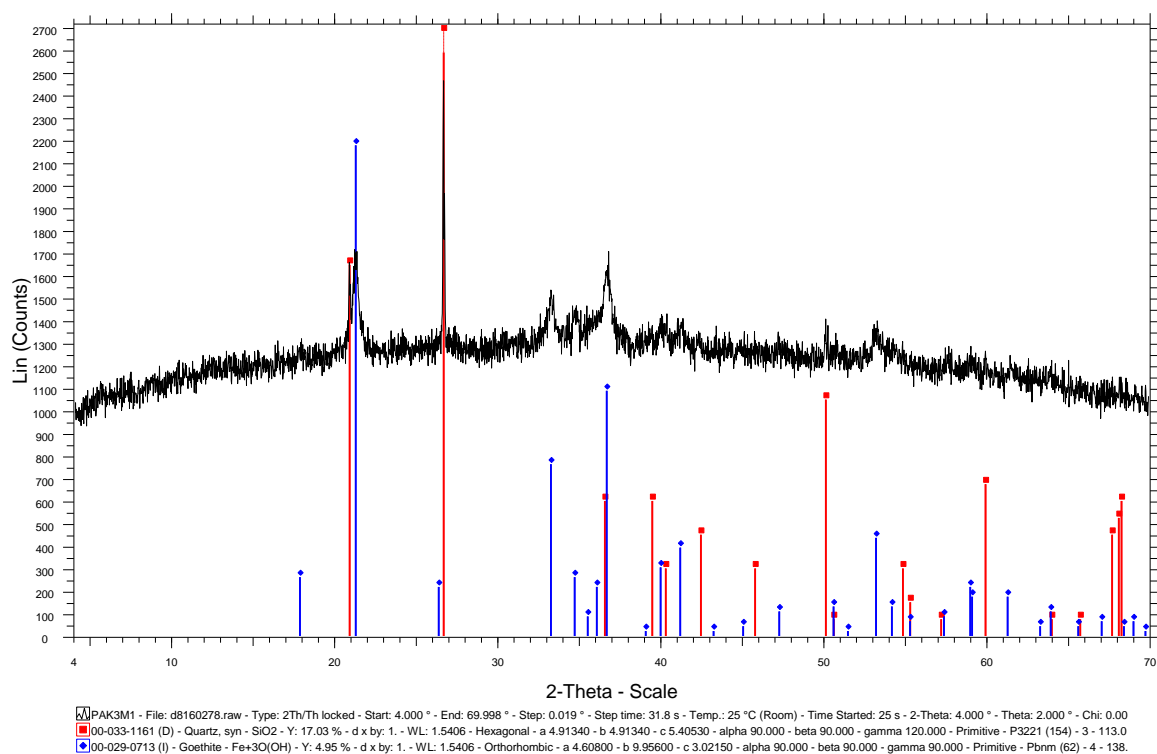




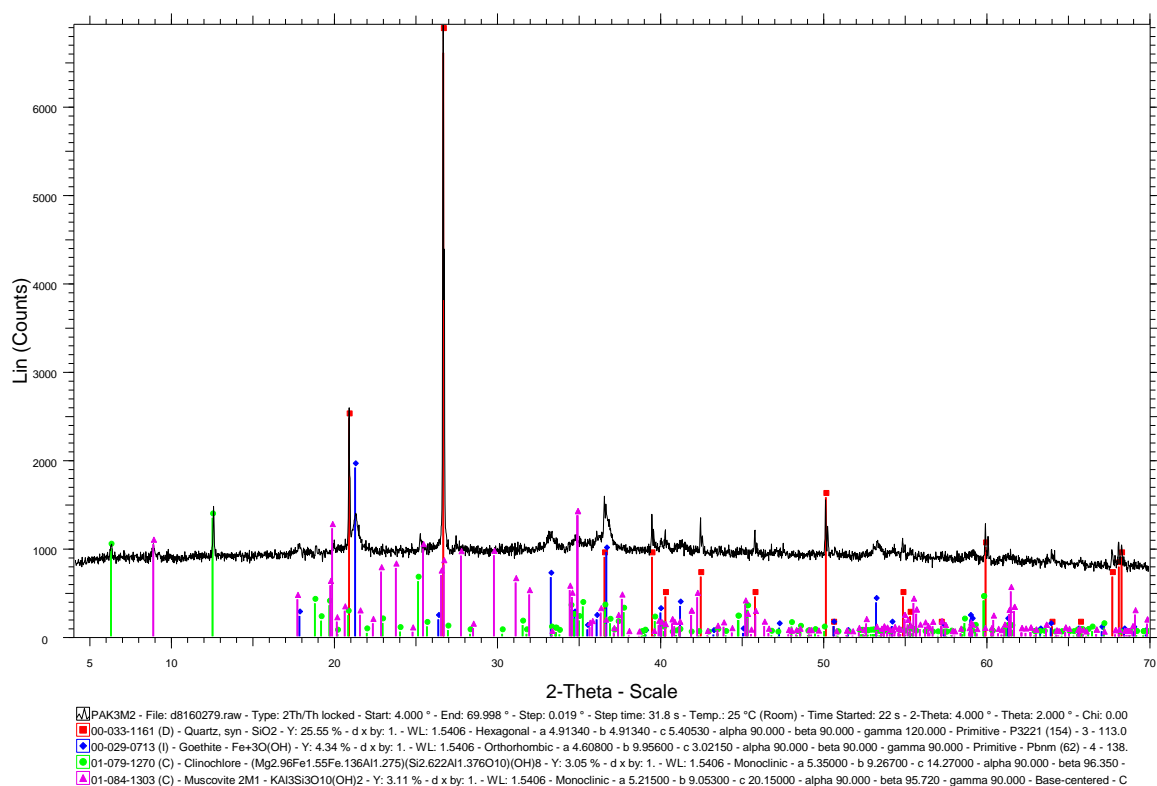
Εικόνα 27: Ακτινοδιάγραμμα δείγματος PAK2M2 (χαλαζίας, γκαϊτίτης, κλινόχλωρο, μοσχοβίτης, παραγονίτης)



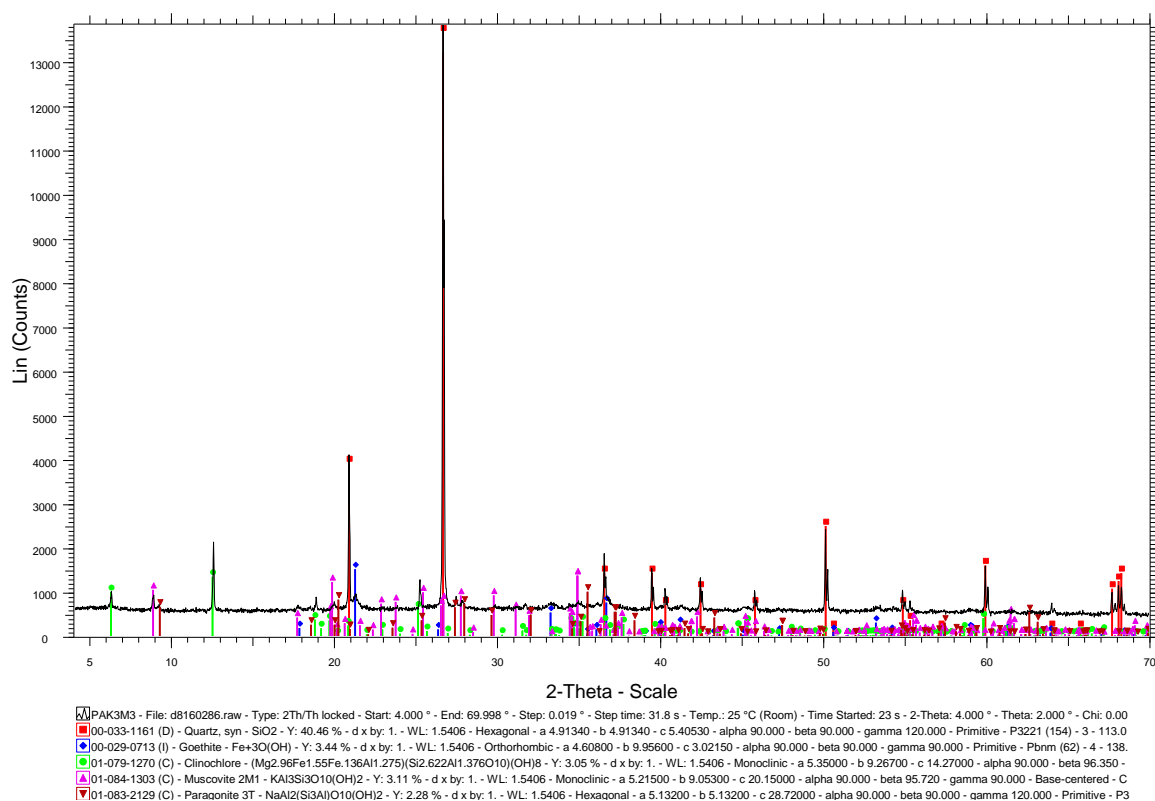
Εικόνα 28: Ακτινοδιάγραμμα δείγματος PAK2MM (χαλαζίας, κλινόχλωρο, μοσχοβίτης, παραγονίτης)



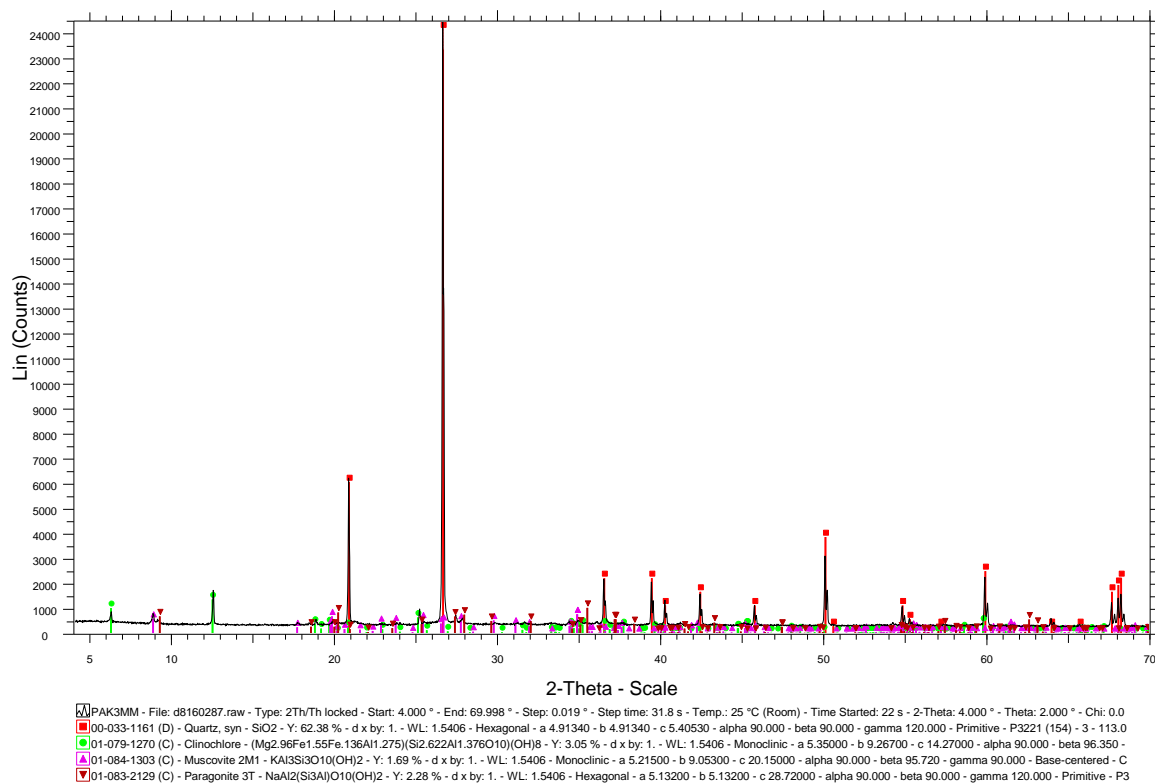
Εικόνα 29: Ακτινοδιάγραμμα δείγματος PAK3M1 (χαλαζίας, γκαϊτίτης)



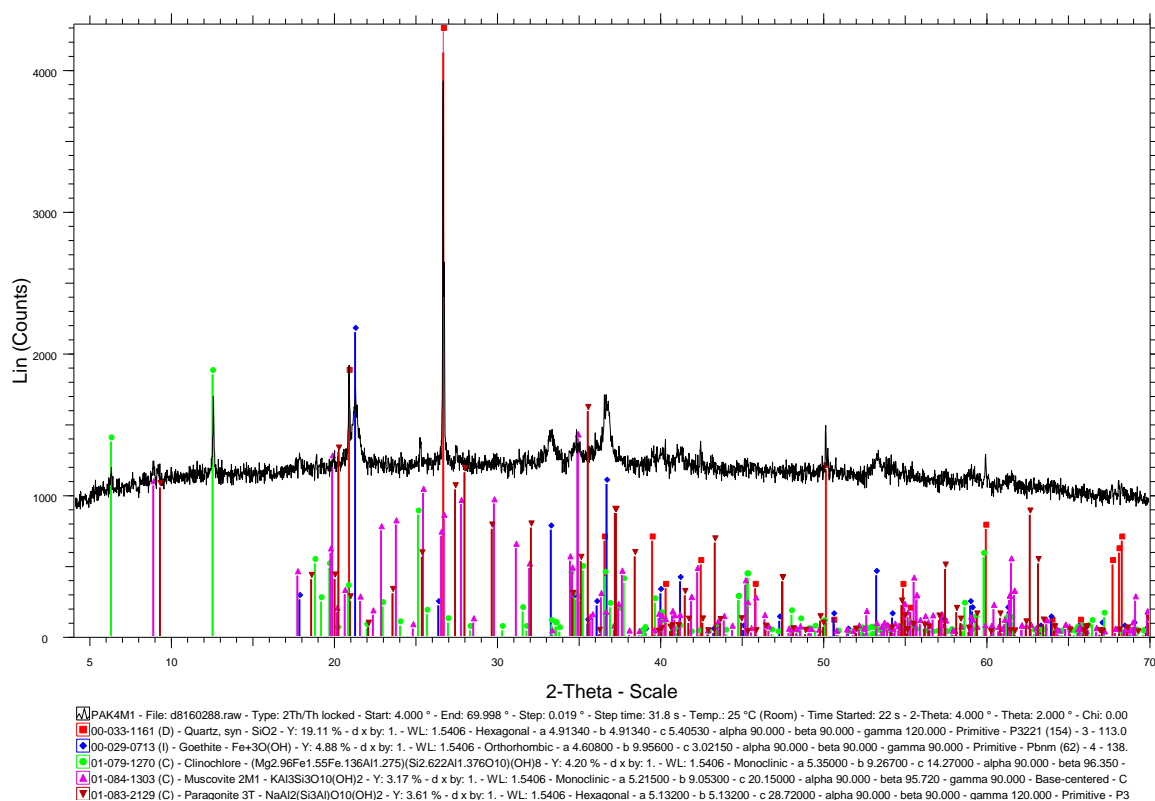
Εικόνα 30: Ακτινοδιάγραμμα δείγματος PAK3M2 (χαλαζίας, γκαϊτίτης, κλινόχλωρο, μοσχοβίτης)



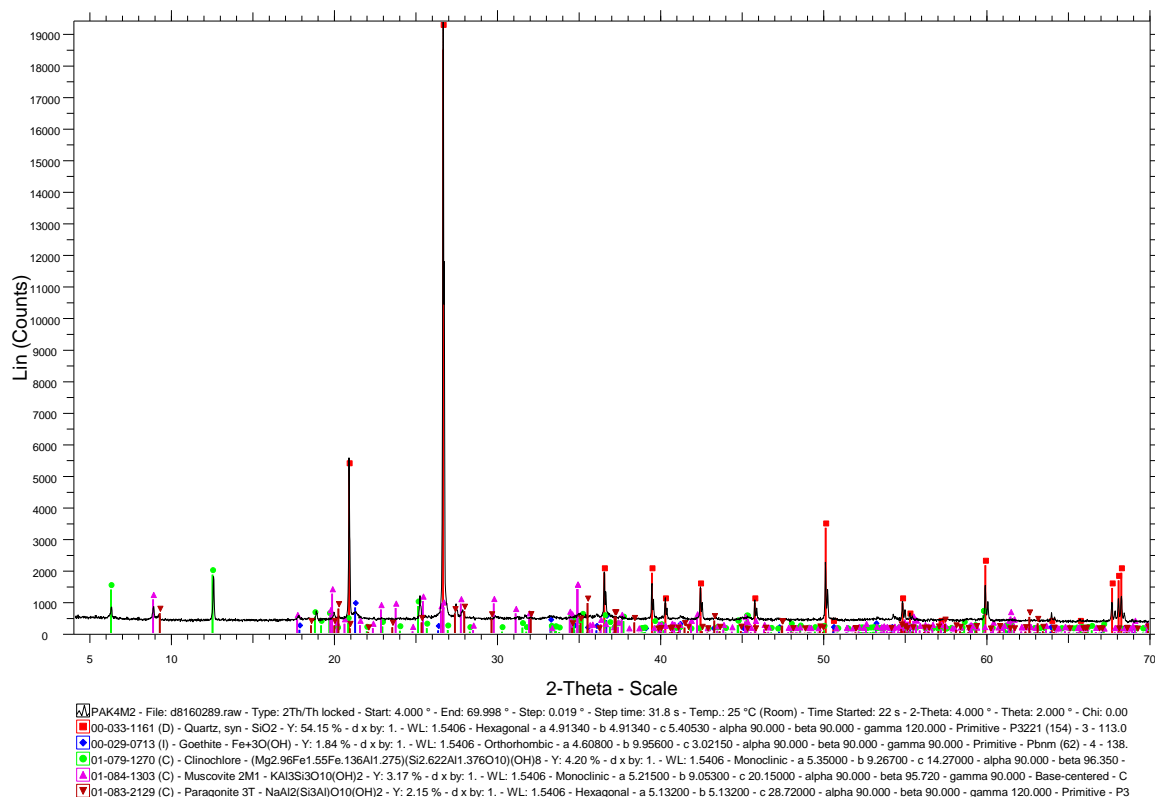
Εικόνα 31: Ακτινοδιάγραμμα δείγματος PAK3M3 (χαλαζίας, γκαϊτίτης, κλινόχλωρο, μοσχοβίτης, παραγονίτης)



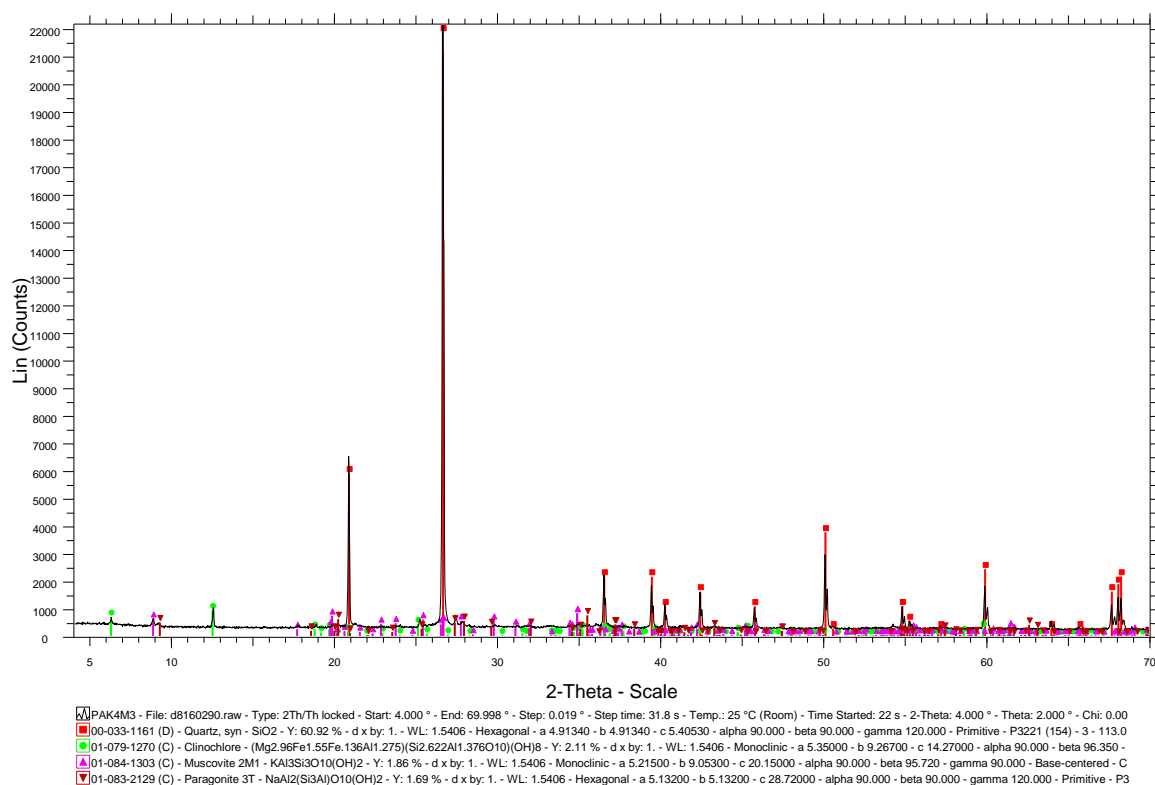
Εικόνα 32: Ακτινοδιάγραμμα δείγματος PAK3MM (χαλαζίας, κλινόχλωρο, μοσχοβίτης, παραγονίτης)



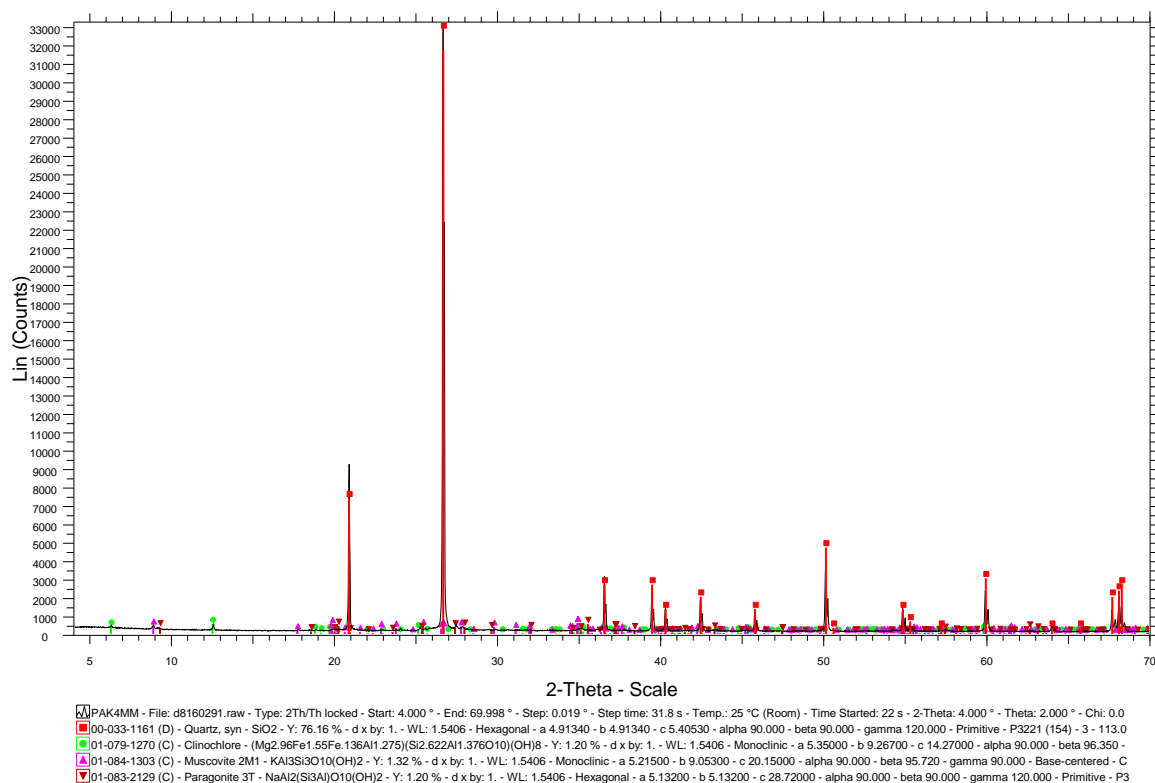
Εικόνα 33: Ακτινοδιάγραμμα δείγματος PAK4M1 (χαλαζίας, γκαϊτίτης, κλινόχλωρο, μοσχοβίτης, παραγονίτης)



Εικόνα 34: Ακτινοδιάγραμμα δείγματος PAK4M2 (χαλαζίας, γκαϊτίτης, κλινόχλωρο, μοσχοβίτης, παραγονίτης)



Εικόνα 35: Ακτινοδιάγραμμα δείγματος PAK4M3 (χαλαζίας, κλινόχλωρο, μοσχοβίτης, παραγονίτης)



Εικόνα 36: Ακτινοδιάγραμμα δείγματος PAK4MM (χαλαζίας, κλινόχλωρο, μοσχοβίτης, παραγονίτης)