



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ορυκτολογική μελέτη των πετρωμάτων στη περιοχή Σουσάκι



ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ (1142000700005)

ΚΑΒΒΑΔΑΣ ΙΑΣΩΝ (1142007000033)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΜΗΤΣΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ (ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ)

ΑΘΗΝΑ

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2017

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα έρευνα αποτελεί πτυχιακή εργασία η οποία εκπονήθηκε υπό την επίβλεψη του επίκουρου καθηγητή του πανεπιστημίου Αθηνών Μήτση Ιωάννη. Στην εργασία πραγματοποιείται μελέτη των πετρωμάτων της περιοχής γύρω από το ανενεργό ηφαίστειο Σουσάκι του νομού Κορινθίας. Επίσης μελετάται η μεταβολή της ορυκτολογικής και χημικής σύστασης πετρωμάτων κατά μήκος της περιοχής της δειγματοληψίας. Για τη πραγματοποίηση της παρούσας εργασίας απαιτήθηκε η πραγματοποίηση υπαίθριας δειγματοληψίας και εργαστηριακής μελέτης των πετρωμάτων. Συλλέχτηκαν περίπου 30 δείγματα και στην πορεία αναλύθηκαν τα 20 που κρίθηκαν αντιπροσωπευτικά.

Σα γενικό συμπέρασμα προκύπτει ότι στη περιοχή έδρασαν υδροθερμικά διαλύματα πλούσια σε CO₂ που μετέτρεψαν τα σχετικά υγιή υπερβασικά πετρώματα της περιοχής από σερπεντινίτες και ανθρακικά βασικών μετάλλων προοδευτικά σε αργιλικά και οξειδία-υδροξειδία με τελικό στάδιο την πλήρη πυριτίωση των πετρωμάτων.

Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	7
2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	7
2.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	7
2.2 ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	8
2.3 ΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΟΣ	11
2.4 ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ	12
3. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ	13
3.1 ΕΡΓΑΣΙΑ ΥΠΑΙΘΡΟΥ	13
3.1.1 Θέση 1	14
3.1.2 Θέση 2	15
3.1.3 Θέση 3Α.....	16
3.1.4 Θέση 3Β	17
3.1.5 Θέση 4	17
3.1.6 Θέση 5	19
3.2 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ	21
3.2.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ XRD (X-ray Diffraction).....	21
3.2.2 ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	22
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	36
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	38

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Απεικόνιση της περιοχής που βρίσκεται το ηφαίστειο Σουσάκι.....	7
Εικόνα 2: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής απο το φύλλο 1:50.000 του ΙΓΜΕ Σοφικό.....	8
Εικόνα 3: Στρωματογραφική στήλη μιας πλήρους ανεπτυγμένης οφιολιθικής ακολουθίας. (Κατά MOORES, 1982 και ΜΑΓΚΑΝΑΣ, 1989)	9
Εικόνα 4: Τοποθέτηση των σημείων δειγματοληψίας στη περιοχή με τη χρήση της εφαρμογής Google Earth	14
Εικόνα 5: Απεικόνιση του πετρώματος από το οποίο έγινε η δειγματοληψία μαζί με το δείγμα.....	14
Εικόνα 6: Απεικόνιση του δείγματος στο οποίο διακρίνονται οι φλέβες του μαγνησίτη.....	15
Εικόνα 7: Απεικόνιση των σχηματισμών της θέσης 2.....	15
Εικόνα 8: Απεικόνιση του υγιούς πυρήνα στη θέση 2.....	16
Εικόνα 9: Απεικόνιση του σχηματισμού μαζί με τις σιδηρούχες φλέβες.....	17
Εικόνα 10: Απεικόνιση του πετρώματος όπου διακρίνονται τα φυλλάρια των πυρόξενων..	18
Εικόνα 11: Απεικόνιση του σχηματισμού της θέσης 4.	18
Εικόνα 12: Απεικόνιση των πυριτιωμένων σχηματισμών της θέσης 5.....	19
Εικόνα 13: Απεικόνιση της κοίτης που έγινε η δειγματοληψία.....	20
Εικόνα 14: Απεικόνιση του δείγματος που λήφθηκε από τη κοίτη.....	20
Εικόνα 15: Περιγραφική απεικόνιση της μεθόδου XRD.	22

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Ορυκτολογική σύσταση δειγμάτων (μέρος 1)	24
Πίνακας 2: Ορυκτολογική σύσταση δειγμάτων (μέρος 2)	25

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της εργασίας είναι η ορυκτολογική και ορυκτοχημική μελέτη των πετρωμάτων γύρω από την περιοχή του ηφαιστείου Σουσάκι στο νομό Κορινθίας. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία σε διάφορες θέσεις.



Εικόνα 1: Απεικόνιση της περιοχής που βρίσκεται το ηφαίστειο Σουσάκι

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε μακροσκοπική και μικροσκοπική ταξινόμηση των δειγμάτων αρχικά με βάση τη θέση δειγματοληψίας και στη συνέχεια με βάση την ορυκτολογική τους σύσταση με χρήση της μεθόδου XRD και αποτίμηση αυτών με τη βοήθεια του προγράμματος EVA.

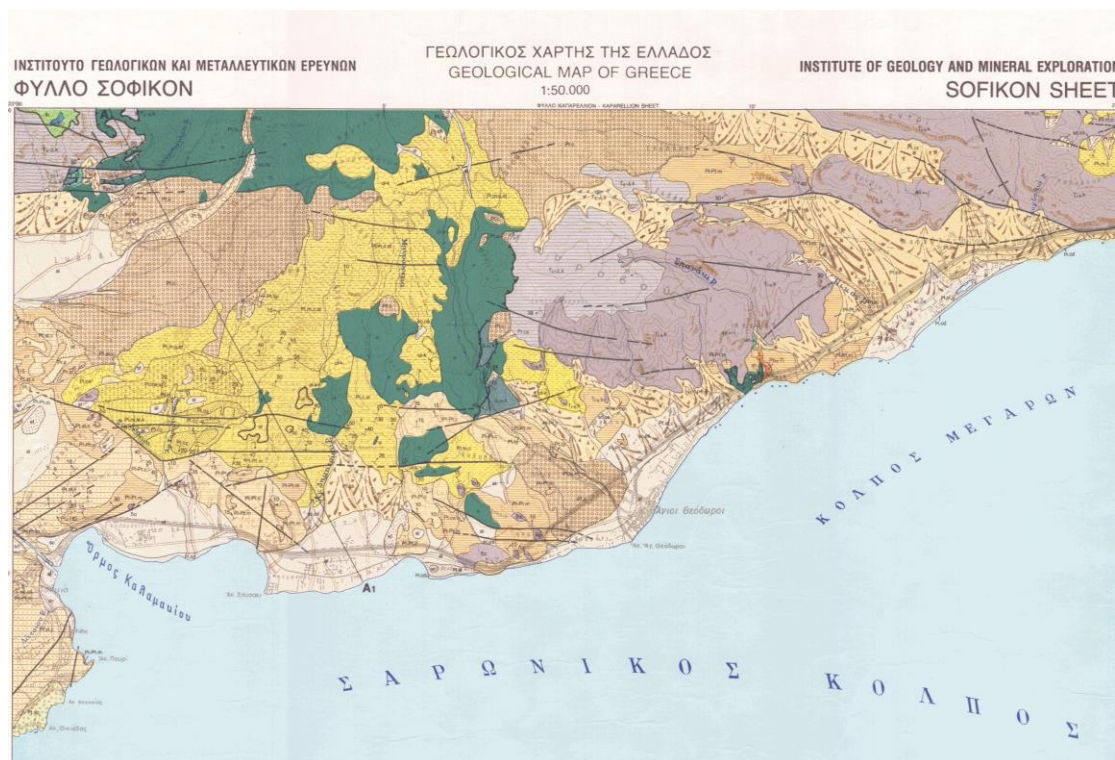
Στόχο της μελέτης αποτελεί η παρακολούθηση των ορυκτών εξαλλοιώσεων.

2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η περιοχή Σουσάκι βρίσκεται 65 km δυτικά της Αθήνας, κοντά στον Ισθμό της Κορίνθου. Αντιπροσωπεύει ένα από τα ηφαιστειακά συστήματα του ενεργού ηφαιστειακού τόξου του Αιγαίου. Η περιοχή εκτείνεται παράλληλα με τη βόρεια

ακτή του Σαρωνικού κόλπου για περίπου 8 km με πάχος 3-4 km προς την ενδοχώρα. Το ανάγλυφο της περιοχής είναι κυρίως πεδινό συνοδευόμενο από την ύπαρξη μερικών λόφων.



Εικόνα 2: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής από το φύλλο 1:50.000 του ΙΓΜΕ Σοφικό

2.2 ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η περιοχή ανήκει στην γεωλογική ενότητα της Υποπελαγονικής. Η στρωματογραφική κολόνα περιλαμβάνει από τη κορυφή προς τη βάση τους εξής σχηματισμούς(ΙΓΜΕ, 1985):

- 1.Τεταρτογενής αποθέσεις: αποτελούμενες από μη ενοποιημένα υλικά με άμμο και στρογγυλοποιημένες και γωνιώδης κροκάλες στις κοίτες των χειμάρρων, χαλαρά αμμώδη-πηλώδη υλικά και αλλούβιες αποθέσεις.
- 2.Νεογενής αποθέσεις: αποτελούμενες από μαργαϊκά κροκαλοπαγή και μαργαϊκούς ψαμμίτες.
- 3.Μετά-Άνω Κρητιδικά οφιολιθικά τεμάχη: αποτελούμενα από ελαφρά σερπεντινιομένους περιδοτίτες, σερπεντινίτες και σώματα βασικής σύστασης.
- 4.Ασβεστολίθους ηλικίας Άνω Ιουρασικού-Κάτω Κρητιδικού.

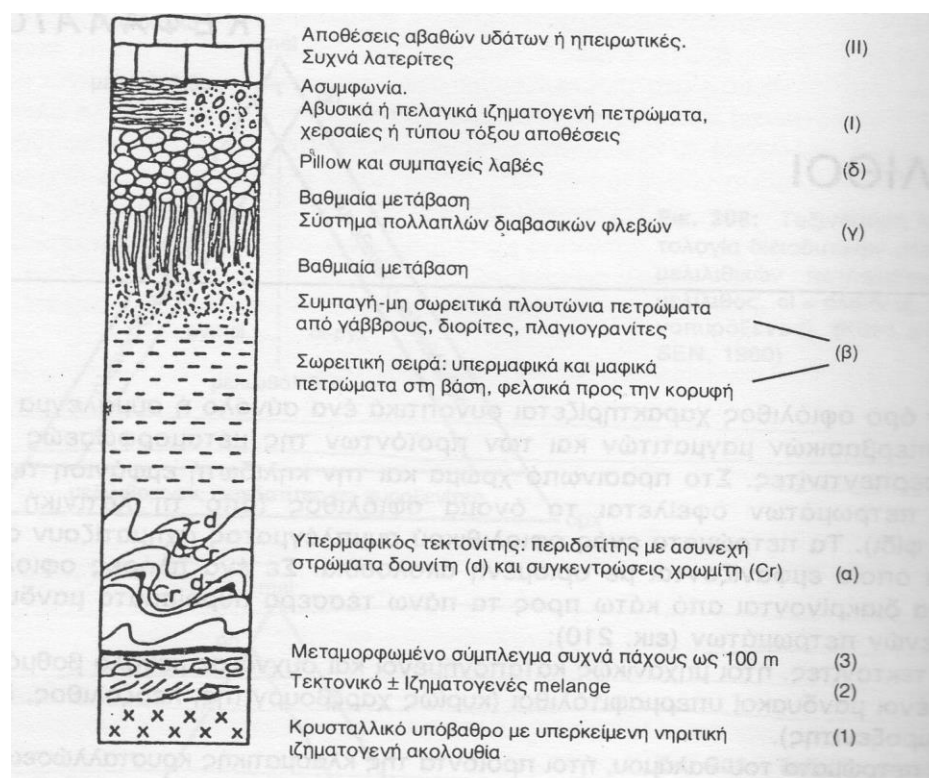
Το σύνολο των βασικών και υπερβασικών πετρωμάτων που σχηματίστηκαν σε περιβάλλοντα μέσο-ωκεάνιας ράχης μαζί με το προϊόντα της μεμόρφωσής τους ονομάζεται οφιολιθικό σύμπλεγμα ή οφίολιθοι. Τα πετρώματα ενός οφιολιθικού συμπλέγματος σχηματίζουν αθροίσματα τα οποία εμφανίζονται με συγκεκριμένη ακολουθία. Σε ένα πλήρες οφιολιθικό σύμπλεγμα διακρίνονται από κάτω προς τα πάνω τέσσερις ενότητες πετρωμάτων:

I. Οι τεκτονίτες, δηλαδή μηχανκώς καταπονημένοι και συχνά σε μεγάλο βαθμό σερπντινωμένοι μανδουακοί υπερμαφίτολιθοι (κυρίως χαζβουργίτης, λερζόλιθος, δουνίτης και πυροξενίτης).

II. Τα πετρώματα του θαλάμου, δηλαδή προϊόντα της κλασματικής κρυστάλλωσης του βασαλτικού μάγματος, αποτελούμενα από περιδοτίτες, οι οποίοι εξελίσσονται βαθμιαία σε γάββρους και σπανιότερα σε λευκοτοναλίτες και γρανοδιορίτες. Τα πετρώματα αυτά ταξιθετούνται σε δύο σειρές: την κατώτερη ή σωρευτική με στρωματώδη δομή και την ανώτερη μη σωρευτική, που απαρτίζεται από άστρωτα δεισδυτικά σώματα μικρού βάθους.

III. Το σμήνος των μικρογαββρικών φλεβών.

IV. Τα ηφαιστειακά πετρώματα στην οροφή του συμπλέγματος συνήθως με τη μορφή προσκεφαλαίων (pillow λάβες) και σύσταση βασική. Η ενότητα αυτή συχνά εναλλάσσεται με πελαγικά ιζήματα.



Εικόνα 3: Στρωματογραφική στήλη μιας πλήρους ανεπτυγμένης οφιολιθικής ακολουθίας. (Κατά MOORES, 1982 και ΜΑΓΚΑΝΑΣ, 1989)

Ξεχωριστό κεφάλαιο στην ορυκτολογία της περιοχής αποτελούν οι εμφανίσεις σερπεντινών. Η σερπεντινίωση αποτελεί ενυδάτωση των ορυκτών συστατικών των υπερβασικών πετρωμάτων. Πιο συγκεκριμένα, με επίδραση υδροθερμικών διαλυμάτων που περιέχουν CO₂ καθώς και με μηχανική καταπόνηση και χαμηλόβαθμη μεταμόρφωση, ο ολιβίνης υφίσταται ισχυρή εξαλλοίωση μέσα από τις διάφορες διεργασίες που χαρακτηρίζουν τη σερπεντινίωση. Κοινό χαρακτηριστικό των διεργασιών αυτών είναι η απομάκρυνση του Mg και του Fe και η πρόσληψη νερού.

Ορυκτά που προκύπτουν είναι ο χρυσοσίλης, ο αντιγορίτης, ο μαγνητίτης, ο αιματίτης, ο μαγνησίτης.

Κάτω από παρόμοιες συνθήκες είναι δυνατόν ήδη σερπεντινωμένος ολιβίνης να αλλοιωθεί σε τάλκη, αν με πλούσια σε CO₂ ρευστά προσλαμβάνεται SiO₂ και απομακρύνεται MgO.

Αντιδράσεις σχηματισμού σερπεντίνη είναι:

1. $3\text{Fe}_2\text{SiO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Fe}_3\text{O}_4 + 3\text{SiO}_2 + 2\text{H}_2$
φαυαλίτης νερό μαγνητίτης χαλαζίας υδρογόνο
2. $3\text{Mg}_2\text{SiO}_4 + \text{SiO}_2 + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
φορστερίτης χαλαζίας νερό σερπεντινίτης
3. $2\text{Mg}_2\text{SiO}_4 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5 + \text{Mg}(\text{OH})_2$
φορστερίτης νερό σερπεντινίτης βρουσίτης

Σερπεντινίτες και περιδοτίτες συχνά διατρέχονται από φλέβες μαγνησίτη, ο οποίος σχηματίστηκε από την αλλοίωση υπερβασικών πετρωμάτων λόγω της δράσης νερών εμπλουτισμένων με ανθρακικό οξύ.

Σημαντικό ρόλο στη πετρολογία της περιοχής παίζει η μετά-ηφαιστειακή δραστηριότητα η οποία συνεχίζεται μέχρι και σήμερα και περιλαμβάνει εκπομπές αερίων όπως H₂S, CO₂ και υδρατμών.

Οι αντιδράσεις ανάμεσα σε αυτά τα υγρά και τα προϋπάρχοντα πετρώματα, τα οποία αποτελούνταν κυρίως από σερπεντινίτες, πυριτόλιθους, μάργες, ασβεστόλιθους, και υποκείμενη ρυοδακτιική λάβα, έχουν ως αποτέλεσμα το σχηματισμό γύψου, θείου, πολύμορφων του πυριτίου, Feούχων και Mgούχων θεικών, καολινίτη, ανυδρίτη, ανθρακικών και σε ορισμένες περιπτώσεις Νιούχων και K-Αιούχων θεικών αλάτων.

Τα αυθυγεννή ορυκτά σχηματίζουν μία κρούστα πάχους μέχρι 10 μέτρων πάνω από τα μερικώς εξαλλοιωμένα πετρώματα του υποστρώματος.

Τα θειικά άλατα, τα ανθρακικά και τα πολύμορφα του πυριτίου είναι εμπλουτισμένα σε Ni, Co και Cr.

Οι χημικοί τύποι των αυθυγεννών ορυκτών, καθώς και οι μεταξύ τους σχέσεις στο ύπαιθρο υποδεικνύουν ότι τα Feούχα, Mgούχα, Νιούχα θειικά άλατα καθώς και ο

μαγνησίτης, δολομίτης και ένα μέρος του οπάλιου-CT, σχετίζονται με την υδροθερμική εξαλλοίωση σερπεντινιτών, ενώ ο αλουνίτης, καολινίτης, οπάλιος-CT, με την εξαλλοίωση μικρών σωματιών ρυοδακίτη.

Ο κυρίως όγκος του γύψου και ανυδρίτη καθώς και ένα μέρος του νεοσχηματισμένου ασβεσίτη, αραγωνίτη και δολομίτη μπορεί να είναι αποτέλεσμα της αποσάθρωσης των μαργών και ασβεστολίθων του υποστρώματος.

2.3 ΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΟΣ

Το ΒΔ άκρο του ηφαιστειακού τόξου του νοτίου Αιγαίου είναι σημαδεμένο από τις μικρές δακτυλικές εκχύσεις ηλικίας 3,9-2,7 ε.χ. στο Σουσάκι, μία περιοχή γνωστή για την έντονη τεκτονική και σεισμική δραστηριότητά της.

Στην πλειοψηφία τους, τα μετά-ηφαιστειακά φαινόμενα στο Σουσάκι (π.χ. ανακύκληση υδροθερμικών διαλυμάτων και διαφυγές αερίων) σχετίζονται σίγουρα με την πρόσφατη και σχετικά νεαρή τεκτονική δραστηριότητα της περιοχής, ειδικά από τη στιγμή που οι αποθέσεις του θείου στο Θεόχωμα πρέπει να είναι νεότερα των 2000 ετών καθώς δεν αναφέρονται σε αρχαία κείμενα, παρά το γεγονός ότι το Σουσάκι γειτνιάζει με μεγάλα αστικά κέντρα όπως η Αθήνα και η Κόρινθος και το θείο χρησιμοποιούταν στην αρχαιότητα από τα Ομηρικά χρόνια.

Συμπερασματικά, μία γενετική σχέση ανάμεσα στα ενεργά ρήγματα και στην ανακύκληση των υδροθερμικών ρευστών μοιάζει πιθανή.

Ένας απλός τρόπος για να εξακριβώσουμε τις διόδους μεταφοράς των θερμών διαλυμάτων και αερίων είναι να εξακριβώσουμε τα ενεργά ρήγματα της περιοχής και να καταλάβουμε την γεωμετρία και την κινηματική τους.

Το Σουσάκι βρίσκεται στην ανατολικό άκρο της λεκάνης της Κορίνθου, μία από τις λεκάνες που συνορεύουν με το ρηξητέμαχος του Κορινθιακού Κόλπου. Αυτό το ρηξητέμαχος αποτελεί μία από τις πιο σημαντικές νεοτεκτονικές δομές του Αιγαίου, και ένα από τα πιο ενεργά ρηξητέμαχη στο κόσμο, με εξαιρετικά υψηλή σεισμικότητα και ρυθμούς παραμόρφωσης.

Η υψηλή σεισμικότητα οδήγησε τον McKenzie να θεωρήσει το Κορινθιακό Κόλπο ως το όριο μίας πλάκας, θεωρία που αργότερα εγκαταλείφθηκε.

Από την άλλη, οι ρυθμοί της εφαρμοζόμενης τάσης είναι τόσο υψηλοί και δημιουργούν δραματικές αλλαγές στο ανάγλυφο της περιοχής σε σύντομες περιόδους: τουλάχιστον ένα μέρος του σημερινού κόλπου του Σαρωνικού υποχώρησε πιθανότατα στο Πλειστόκαινο, τη στιγμή που η σημερινή εγκόλπωση στα νότια του Σουσάκι είναι αποτέλεσμα κανονικών ρηγμάτων στο ανώτερο Τεταρτογενές.

Τα εκτεθημένα πετρώματα του υποστρώματος στο Σουσάκι υποδεικνύουν μία πιθανή ανύψωση της περιοχής η οποία συνδέεται με ηφαιστειακές δράσεις.

Η ευρύτερη περιοχή στο Σουσάκι διατρέχεται από κανονικά ρήγματα διεύθυνσης Α-Δ. Προσεγγιστικά κανονικά ρήγματα ΒΔ-ΝΑ φοράς συναντώνται επίσης.

Σύμφωνα με μικροτεκτονικά δεδομένα, αυτή η κλίση, φαίνεται να αντιστοιχεί σε μία «έκταση» τοπικά κυρίαρχη από το μέσο πλειστόκαινο. Αυτή η τάση έχει προσδιοριστεί πολύ καλά στο Λουτράκι, στα δυτικά της περιοχής, και ελέγχει τη γεωμορφολογία της περιοχής όπως και την περίπου 3.5 χιλιομέτρων σεισμική ανύψωση του ρηξιτεμάχους ενός παραλιακού μεγάλου κανονικού ρήγματος τα τελευταία 6.400 χρόνια.

Πρόκειται για μία περιοχή σεισμικά ενεργή καθώς κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα η περιοχή ανάμεσα στη Κόρινθο και τους Αγίους Θεόδωρους έχει πληγεί από περίπου 10 σεισμούς με μέγεθος μεγαλύτερο των 5 μονάδων.

2.4 ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

Το σύγχρονο ηφαιστειακό τόξο του νοτίου Αιγαίου βρίσκεται περίπου 130-150 km πάνω από τη σεισμικά καθορισμένη ζώνη Benioff (Μακρόπουλος & Μπάρτον, 1984), η οποία βυθίζεται με κλίση περίπου 38° .

Η περιοχή χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη ηφαιστειακών/γεωθερμικών εκδηλώσεων που έχουν ως αποτέλεσμα την τελική εξαλλοίωση των υπερμαφικών πετρωμάτων, η οποία εμφανίζεται κυρίως με την εκτενή πυριτίωση των πετρωμάτων αυτών.

Ερευνητικά γεωτρητικά προγράμματα που πραγματοποιήθηκαν στα τέλη της δεκαετίας του '70, εκτίμησαν την ύπαρξη ενός χαμηλής ενθαλπίας γεωθερμικού πεδίου, αποκαλύπτοντας δύο διαπερατούς σχηματισμούς σε μικρό βάθος (<200 m) και έναν σε βαθύτερα επίπεδα (500-1000 m).

Όλα τα γεωθερμικά νερά είναι Na-Cl τύπου και παρουσιάζουν θερμοκρασίες εντός του εύρους των 50-80 °C και αλμυρότητα μεταξύ των 39-49g/l.

Εκτεταμένη αμιδική εξαλλοίωση και εκλύσεις θερμών αερίων (35-45 °C) είναι ακόμα αναγνωρίσιμα.

Η γεωθερμική δεξαμενή και οι εξαερώσεις της πιθανότατα ελέγχονται από ενεργές τεκτονικές δομές.

Εκτεταμένη αργιλιτίωση-πυριτίωση των πετρωμάτων χαρακτηρίζει μία περιοχή περίπου 200 X 700 m με εκτεταμένες επιφανειακές εκλύσεις που ονομάζεται Θεόχωμα. Οι κυρίως αγωγοί βρίσκονται στο πυθμένα δύο σπηλαίων που βρίσκονται στα πλαϊνά ενός λόφου. Οι σπηλιές ονομάζονται "μεγάλη" και "μικρή" και έχουν τις

ακόλουθες διαστάσεις (ύψος X πλάτος X βάθος) 8 X 3 X 10 m και 4 X 1.5 X 4 m αντίστοιχα. Τα εκλυόμενα αέρια, όντας πυκνότερα από τον ατμοσφαιρικό αέρα, ρέουν στα τοιχώματα των σπηλαίων και τελικά διαχέονται στην ατμόσφαιρα αφού πρώτα κατέβουν τα πλαϊνά του λόφου.

Αυτό το φαινόμενο μπορεί να παρατηρηθεί όταν η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας είναι πολύ χαμηλή και οι υδρατμοί που περιέχονται στα υδροθερμικά αέρια συναινέσουν έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένα λεπτό στρώμα ομίχλης στην επαφή ανάμεσα στον παγωμένο ατμοσφαιρικό αέρα και στα ζεστά γεωθερμικά αέρια.

Η ροή των αερίων όντας σχεδόν συνεχείς με το χρόνο δημιουργεί έναν ξεκάθαρο διαχωρισμό στην ατμόσφαιρα των σπηλαίων, με ένα ανοξικό τμήμα στο έδαφος των σπηλαίων, το οποίο μαρτυράτε από μία ξεκάθαρη γραμμή που χωρίζει τα χαμηλότερα προϊόντα της ατιμιδικής εξαλλοίωσης, τα οποία αποτελούνται κυρίως από αυτοφυές θείο και σουλφίδια, από το ανώτερο πιο οξυγονωμένο τμήμα που αποτελείται κυρίως από θειικά άλατα.

3.ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ

3.1 ΕΡΓΑΣΙΑ ΥΠΑΙΘΡΟΥ

Για το σκοπό της εργασίας πραγματοποιήθηκαν δύο επισκέψεις στη περιοχή της Αγ. Μαρίνας στο Σουσάκι Κορινθίας όπου πραγματοποιήθηκαν και αντίστοιχες στον αριθμό δειγματοληψίες που αφορούσαν στα βασικά πετρώματα και τα αντίστοιχα εξαλλοιωμένα της περιοχής του παλιού ηφαιστείου.

Αναλυτικά οι θέσεις δειγματοληψίας και τα αντίστοιχα δείγματα:



Εικόνα 4: Τοποθέτηση των σημείων δειγματοληψίας στη περιοχή με τη χρήση της εφαρμογής Google Earth

3.1.1 Θέση 1

Δείγματα (2): Σ-01 / 211114 α/β

Εντοπίζεται στην αρχή του χειμάρρου προς τον καταρράκτη εντός του δαπέδου της κοίτης. Αποτελείται από σχετικά υγιές πέτρωμα (ελαφρώς εξαλλοιωμένο /σερπεντινωμένο) περιδοιτικού τύπου με φλέβες μαγνησίτη-ανθρακικών ορυκτών και πιθανή παρουσία χαλαζία σε πλέγματα φλεβών τύπου stockwork. Ο πετρολογικός σχηματισμός του δείγματος έχει διεύθυνση Β-Ν εκτείνεται εκατέρωθεν της κοίτης του χειμάρρου και περιβάλλεται από πυριτιομένα πετρώματα στα ανατολικά της θέσης και μερικώς εξαλλοιωμένων με παρουσία θεικών αλάτων στα δυτικά.



Εικόνα 5: Απεικόνιση του πετρώματος από το οποίο έγινε η δειγματοληψία μαζί με το δείγμα.



Εικόνα 6: Απεικόνιση του δείγματος στο οποίο διακρίνονται οι φλέβες του μαγνησίτη.

3.1.2 Θέση 2

Δείγματα (0)

Εντοπίζεται πάνω από το ανατολικό πρανές δίπλα από τη θέση 1. Αποτελείται από έναν σχετικά υγιή πυρήνα περιδοτίτη επικαλυπτόμενο από σερπεντινιομένο πέτρωμα που εμφανίζει στην επιφάνεια του σιδηρούχες κρούστες και από πάνω ένας γκριζος εύθρυπτος σχηματισμός αποτελούμενος από θειικά άλατα(πιθανώς αλουνίτες).



Εικόνα 7: Απεικόνιση των σχηματισμών της θέσης 2.

Φαίνεται ο πυρήνας να αποτελεί μια υπολειμματική νησίδα του μητρικού πετρώματος πάνω στην οποία δεν επέδρασαν τα διάφορα ρευστά. Σε αντίθεση η ύπαρξη θεικών αλάτων χαρακτηρίζει μια υδροθερμική-ατμιδική δραστηριότητα κατά την οποία το υδροθερμικό διάλλειμα κινήθηκε μέσα ή κοντά σε αυτά τα πετρώματα.



Εικόνα 8: Απεικόνιση του υγιούς πυρήνα στη θέση 2.

3.1.3 Θέση 3A

Δείγματα (3) : Σ-02 Α/Β/Γ / 211114

Εντοπίζεται εντός της κοίτης. Αποτελείται από εξαλλοιωμένο υπερβασικό πέτρωμα (σερπεντινίτης) συνοδευόμενο από σιδηρούχες φλέβες, κρούστες, επιφλοιώσεις.

Στις παρυφές και στα δυτικά πρηνή της κοίτης εντοπίζονται δείγματα από οξειδωμένους σιδηρούχους σχηματισμούς, από τους οποίους λειφθηκε δείγμα.



Εικόνα 9: Απεικόνιση του σχηματισμού μαζί με τις σιδηρούχες φλέβες.

Οι σιδηρούχοι σχηματισμοί είναι αποτέλεσμα υδροθερμικής δράσης και αποσάθρωσης.

3.1.4 Θέση 3B

Δείγματα (1) : Σ-02 Δ / 211114

Εντοπίζεται 20 με 30 m Νότια απο τη θέση 3A.

Πετρολογικά συναντάμε παρόμοιο σχηματισμό με αυτόν της θέσης 3A, άλλα σε αυτή τη θέση παρουσιάζεται πολύ πιο εύθρυπτος πιθανώς λόγω εντονότερης εξαλλοίωσης.

Παρουσιάζει έναν πιο χαρακτηριστικό ιστό περιδοτίτη, ενώ εμφανίζονται φυλλάρια πυρόξενων πράγμα που δεν φαίνεται στην προηγούμενη θέση (θέση 3A).

3.1.5 Θέση 4

Δείγματα (1) : Σ-03 / 211114

Αποτελείται από ένα αρκετά συμπαγές και υγιή περιδοτίτη μερικώς σερπεντινιωμένο με φυλλάρια πυρόξενων και φλέβες μαγνησίτη-ανθρακικών σε διάταξη τύπου stockwork.

Ο σχηματισμός του δείγματος αποτελεί έναν περιδοτιτικό πυρήνα ο οποίος περιβάλλεται από πέτρωμα παρόμοιο με αυτό που συναντάμε στη θέση 3B (σερπεντινίτης), με παρουσία κάποιων σιδηρούχων φλεβών.



Εικόνα 10: Απεικόνιση του πετρώματος όπου διακρίνονται τα φυλλάκια των πυρόξενων.

Ο σχηματισμός εξελίσσεται και επανεμφανίζεται πιο ψηλά στο δυτικό πρανές με φλέβες μαγνησίτη.



Εικόνα 11: Απεικόνιση του σχηματισμού της θέσης 4.

3.1.6 Θέση 5

Δείγματα (2) : Σ-silica A/B / 010415

Βρίσκεται κοντά στη είσοδο του παλιού ηφαιστείου προς το τέλος του χειμάρρου 50 με 100 m της θέσης 4.

Στη θέση επικρατούν πλήρως πυριτωμένοι σχηματισμοί που συνοδεύονται από τη παρουσία θεικών αλάτων.



Εικόνα 12: Απεικόνιση των πυριτωμένων σχηματισμών της θέσης 5.

Η δειγματοληψία έγινε τυχαία από θραύσματα του σχηματισμού που βρίσκονται εντός της κοίτης.



Εικόνα 13: Απεικόνιση της κοίτης που έγινε η δειγματοληψία.



Εικόνα 14: Απεικόνιση του δείγματος που λήφθηκε από τη κοίτη.

Στην θέση παρατηρείται έντονη οσμή θείου πιθανών λόγο έντονης παρουσίας H_2S εξαιτίας της γεωθερμικής δραστηριότητας της περιοχής.

3.2 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η προετοιμασία των δειγμάτων αφορούσε αρχικά το κόψιμο των πετρωμάτων με τη χρήση τροχού προκειμένου στη συνέχεια αυτά να κονιοποιηθούν πρώτα στο σπαστήρα και ακολούθως σε γουδί από πορσελάνη ώστε να επιτύχουμε τη κατάλληλη κοκκομετρία που απαιτείται για τη χρήση της αναλυτικής μεθόδου XRD.

Στη συνέχεια ακολούθησε η αποτίμηση των αποτελεσμάτων που πήραμε από το XRD με τη βοήθεια του προγράμματος EVA.

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας προετοιμάστηκαν και αναλύθηκαν 20 στο σύνολο δείγματα.

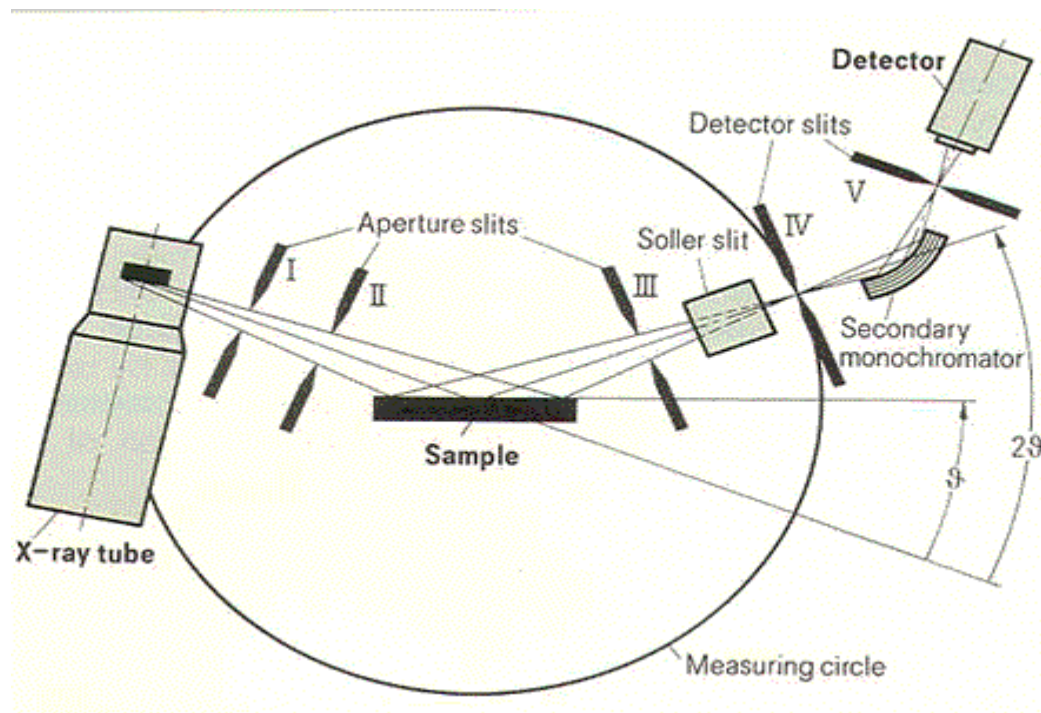
3.2.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ XRD (X-ray Diffraction)

Η κρυσταλλογραφία με ακτίνες X είναι μία μέθοδος που χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει την ατομική και μοριακή δομή ενός κρυστάλλου, στην οποία τα κρυσταλλωμένα άτομα προκαλούν τη διάθλαση των ακτινών X σε διάφορες κατευθύνσεις. Μετρώντας τις γωνίες και τις εντάσεις των διαθλώμενων ακτινών, ένας κρυσταλλογράφος να δημιουργήσει μια τρισδιάστατη εικόνα της πυκνότητας των ηλεκτρονίων μέσα στο κρύσταλλο. Από τη πυκνότητα των ηλεκτρονίων, μπορούν να προσδιοριστούν οι κύριες θέσεις των ηλεκτρονίων στο κρύσταλλο, καθώς και οι χημικοί τους δεσμοί, οι ατέλειές τους και ποικίλες άλλες πληροφορίες.

Δεδομένου ότι πολλά υλικά μπορούν να σχηματίσουν κρυστάλλους - όπως άλατα, μέταλλα, ημιαγωγούς, καθώς και διάφορα ανόργανα, οργανικά και βιολογικά μόρια - η κρυσταλλογραφία ακτινών X έχει θεμελιώδη σημασία για την ανάπτυξη πολλών επιστημονικών πεδίων. Στις πρώτες δεκαετίες χρήσης της, η μέθοδος αυτή καθορίζει το μέγεθος των ατόμων, τα μήκη και τους τύπους των χημικών δεσμών και τις διαφορές ατομικής κλίμακας μεταξύ διαφόρων υλικών, ιδιαίτερα των μετάλλων και των κραμάτων. Η μέθοδος αποκάλυψε επίσης τη δομή και τη λειτουργία πολλών βιολογικών μορίων, συμπεριλαμβανομένων βιταμινών, φαρμάκων, πρωτεϊνών και νουκλεϊνικών οξέων όπως το DNA. Η κρυσταλλογραφία ακτινών X εξακολουθεί να είναι η κύρια μέθοδος για τον χαρακτηρισμό της ατομικής δομής νέων υλικών και σε διακριτά υλικά που φαίνονται παρόμοια με άλλα πειράματα. Οι κρυσταλλικές δομές ακτινών X μπορούν επίσης να συνυπολογίζουν ασυνήθιστες ηλεκτρονικές ή ελαστικές ιδιότητες ενός υλικού, να ρίχνουν φως στις χημικές αλληλεπιδράσεις και διεργασίες ή να χρησιμεύουν ως βάση για το σχεδιασμό φαρμάκων έναντι ασθενειών.

Σε μία μέτρηση περίθλασης ακτινών-X μονοκρυστάλλων, ένας κρύσταλλος τοποθετείται σε ένα γωνιόμετρο. Το γωνιόμετρο χρησιμοποιείται για την τοποθέτηση του κρυστάλλου σε επιλεγμένους προσανατολισμούς. Ο κρύσταλλος

φωτίζεται με μια μονοχρωματική ακτίνα ακτινών X με λεπτή εστίαση, δημιουργώντας ένα διάγραμμα περίθλασης των περιοχών που είναι κανονικά διατεταγμένες και είναι γνωστές ως αντανακλάσεις. Οι δισδιάστατες εικόνες που λαμβάνονται σε διαφορετικούς προσανατολισμούς μετατρέπονται σε ένα τρισδιάστατο μοντέλο της πυκνότητας ηλεκτρονίων εντός του κρυστάλλου χρησιμοποιώντας τη μαθηματική μέθοδο των μετασχηματισμών Fourier, σε συνδυασμό με χημικά δεδομένα γνωστά για το δείγμα. Μπορεί να προκύψει κακή ανάλυση (ασαφής) ή ακόμα και σφάλματα εάν τα κρύσταλλα είναι πολύ μικρά ή δεν είναι αρκετά ομοιόμορφα στο εσωτερικό μακιγιάζ τους.



Εικόνα 15: Περιγραφική απεικόνιση της μεθόδου XRD.

Η κρυσταλλογραφία ακτινών X σχετίζεται με αρκετές άλλες μεθόδους για τον προσδιορισμό των ατομικών δομών. Παρόμοια πρότυπα περίθλασης μπορούν να παραχθούν με σκέδαση ηλεκτρονίων ή νετρονίων, τα οποία ερμηνεύονται επίσης με μετασχηματισμό Fourier. Εάν δεν μπορούν να ληφθούν απλοί κρύσταλλοι επαρκούς μεγέθους, μπορούν να εφαρμοστούν διάφορες άλλες μέθοδοι ακτινών X για να ληφθούν λιγότερο λεπτομερείς πληροφορίες. Τέτοιες μέθοδοι περιλαμβάνουν διάθλαση ινών, διάθλαση σκόνης και (αν το δείγμα δεν κρυσταλλώνεται) μικρής γωνίας ακτινών X σκέδασης (SAXS). Εάν το υπό έρευνα υλικό είναι διαθέσιμο μόνο με τη μορφή νανοκρυσταλλικών σκονών ή υποφέρει από κακή κρυσταλλικότητα, οι μέθοδοι κρυσταλλογραφίας ηλεκτρονίων μπορούν να εφαρμοστούν για τον προσδιορισμό της ατομικής δομής.

3.2.2 ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Η αποτίμηση των αποτελεσμάτων έγινε με τη βοήθεια του προγράμματος EVA μέσω του οποίου ταυτοποιήθηκαν οι κορυφές των διαγραμμάτων του XRD με τα αντίστοιχα ορυκτά. Με βάση τα διαγράμματα του EVA κατασκευάστηκαν οι ακόλουθοι πίνακες που ορυκτολογική σύσταση των δειγμάτων που αναλύθηκαν:

sample mineral	S_Lerzolite	S_01	S_03	S_02A_br	S_02B_br	S_02C_br	S_02D_br	S_04a-i	S_04-i_b	S_04a-i_c
Fo	X									
En	X							X	X	X
Act										
Atg	X	X	X		X				X	
Lz		X								
halloysite							X	X	X	X
Chl					X					
Clc						X		X		X
Sme				X						
Mnt					X	X	X			
Ill							X	X	X	
Tlc			X							
Mgs		X	X				X			
Sd				X	X	X	X			
Cal										
Dol										
Ank										
Qz										
Opl										
Gth					X	X	X	X	X	X
Mag										

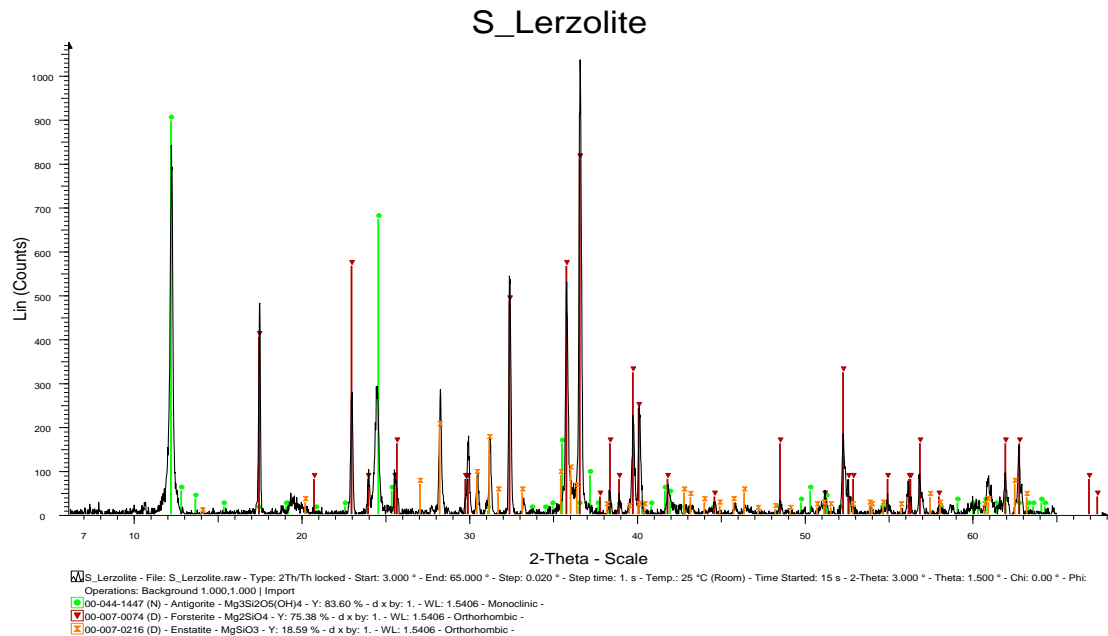
Πίνακας 1: Ορυκτολογική σύσταση δειγμάτων (μέρος 1)

sample mineral	S_04a-i_c2	S_04a-i_d	S_04a-i_d1	S_04a-i_e	S_04b	S_04b3	S_04b4	S_silica_A	S_silica_B	vulcanic?
Fo										
En	X	X	X	X		X	X			
Act										X
Atg		X	X	X		X				
Lz										
halloysite	X	X	X	X	X	X	X			
Chl										
Clc	X									
Sme										
Mnt										
Illt	X	X	X	X	X	X	X			
Tlc										X
Mgs					X	X	X			
Sd						X	X			
Cal					X					
Dol							X	X	X	
Ank										X
Qz								X	X	
Opl										X
Gth	X	X	X	X	X	X	X			
Mag						X				

Πίνακας 2: Ορυκτολογική σύσταση δειγμάτων (μέρος 2)

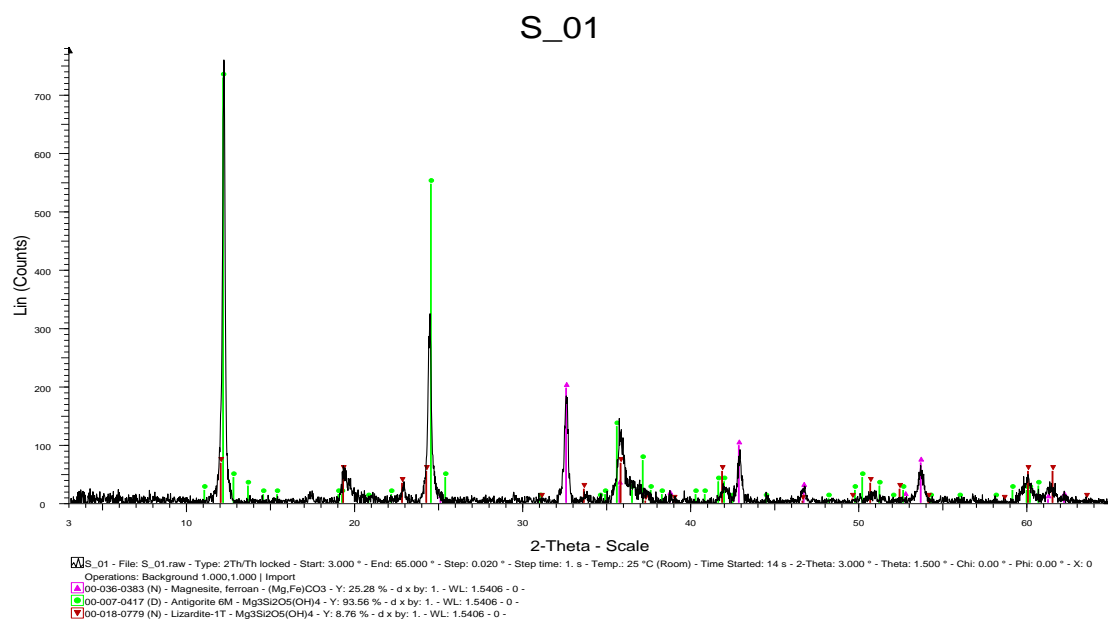
Στη συνέχεια με τη χρήση των ίδιων διαγραμμάτων όπως αυτά εκτιμήθηκαν από το EVA θα χρησιμοποιηθούν για να εξακριβώσουμε ποιό ή ποιά ορυκτά κυριαρχούν σε κάθε δείγμα προκειμένου να καταλάβουμε το βαθμό εξαλλοίωσής του.

Για το S_Lerzolite :



Κύρια ορυκτά που συναντάμε είναι ο αντιγορίτης και ο φορστερίτης. Μάλλον πρόκειται για δείγμα υγιούς πρωτογενούς πετρώματος.

Για το S_01 :

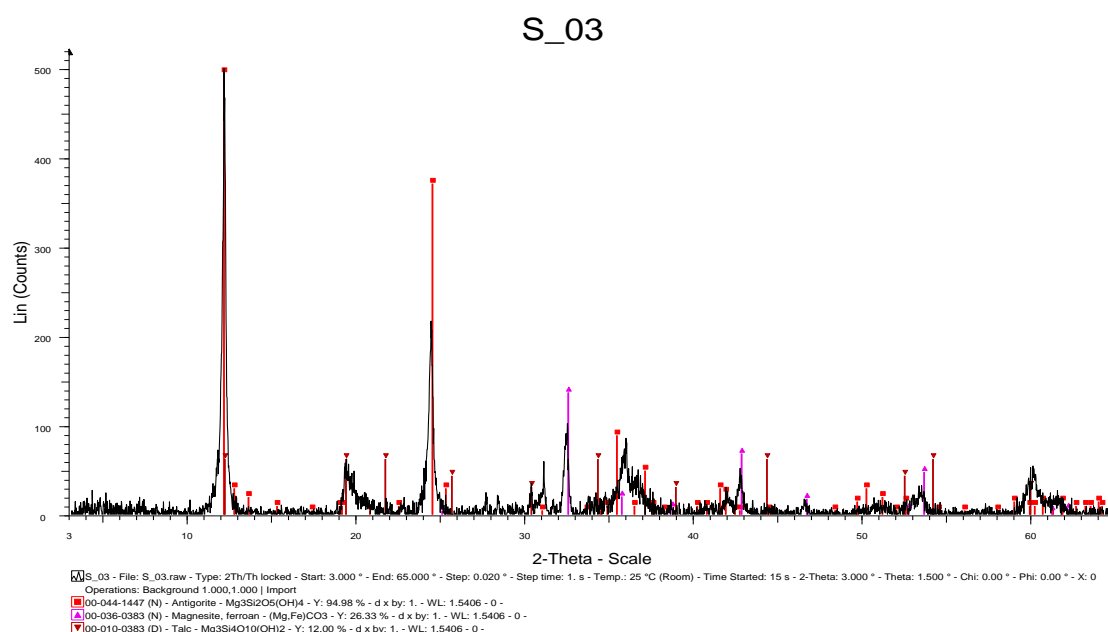


Κύριο ορυκτό του δείγματος είναι ο αντιγορίτης ενώ σημαντική είναι και η συμμετοχή του λιζαρδίτη τα οποία ανήκουν στην ομάδα των σερπεντινών οπότε πρ

Δεν έχουν καθοριστεί πηγές στο τρέχον έγγραφο.

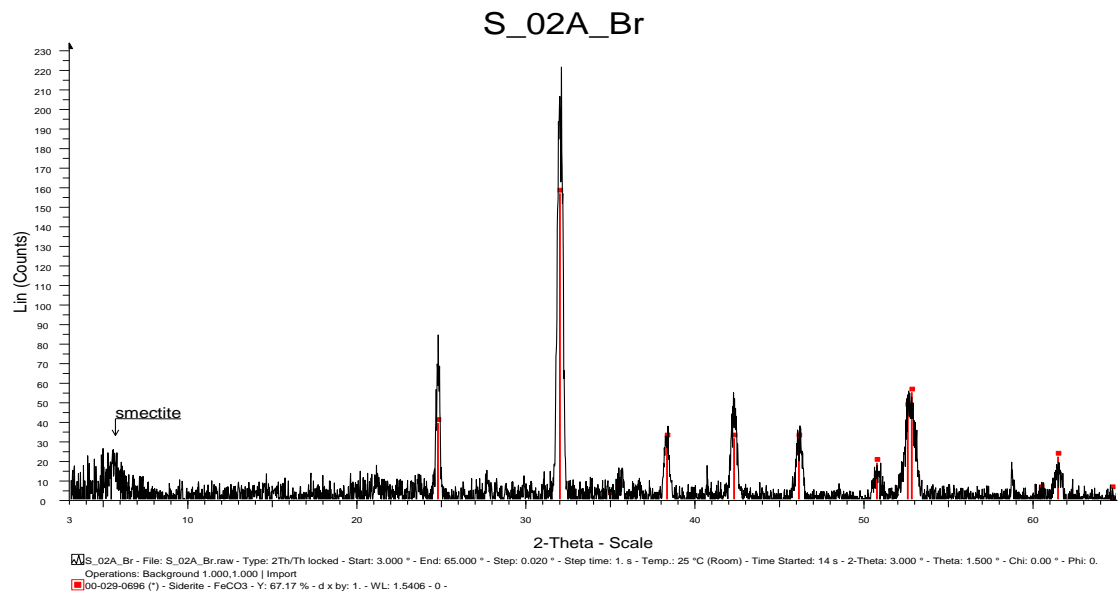
Δεν έχουν καθοριστεί πηγές στο τρέχον έγγραφο. όκειται για ένα δείγμα εξαλλοιωμένου υπερβασικού πετρώματος. Η παρουσία του μαγνησίτη στο δείγμα μάλλον συνδέεται με τα φαινόμενα υδροθερμικής και ατμιδικής εξαλλοίωσης που κυριαρχούν στην περιοχή. Πιο συγκεκριμένα η παρουσία της ανθρακικής ρίζας (CO_3) στο πέτρωμα συνδέεται με την έντονη παρουσία του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) που αποτελεί το κύριο πτητικό συστατικό του ηφαιστείου που δρούσε στην ευρύτερη περιοχή.

Για το S_03 :



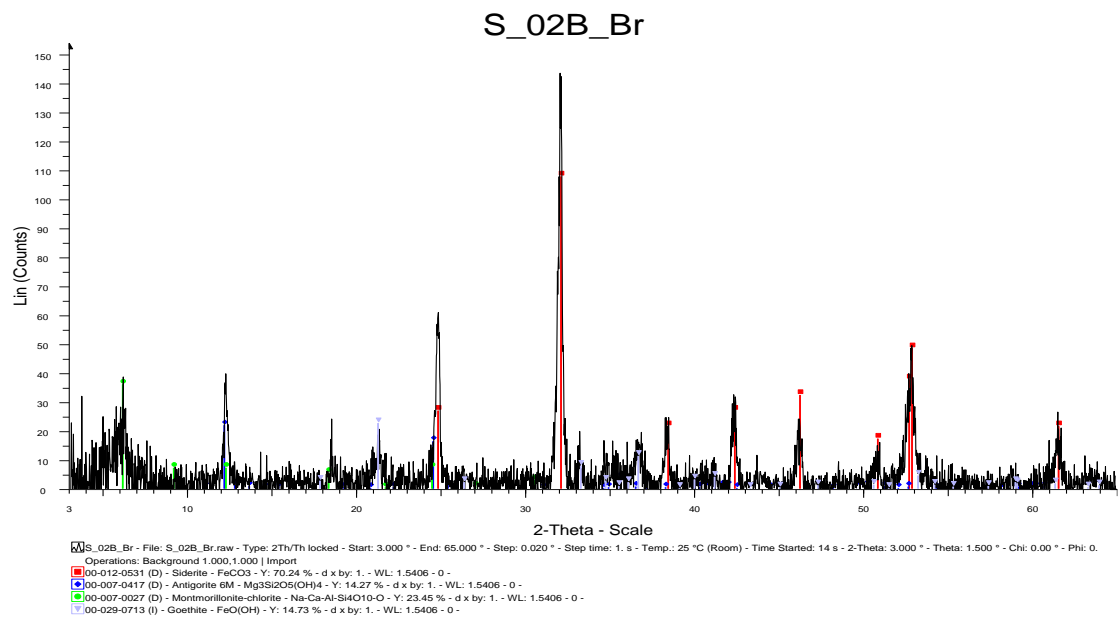
Κύριο ορυκτό του δείγματος είναι ο αντιγορίτης που ανήκει στην ομάδα του σερπεντίνη ενώ η παρουσία του μαγνησίτη και του τάλκη υποδεικνύουν ίσως έναν αυξημένο ρόλο νερού πλούσιο σε όξινα ανθρακικά ιόντα (HCO_3) κατά τη διάρκεια της εξαλλοίωσης του πετρώματος. Η παρουσία των συγκεκριμένων ιόντων όπως και στη περίπτωση του S_01 οφείλεται στην ηφαιστειακή δραστηριότητα της περιοχής.

Για το S_02A br :



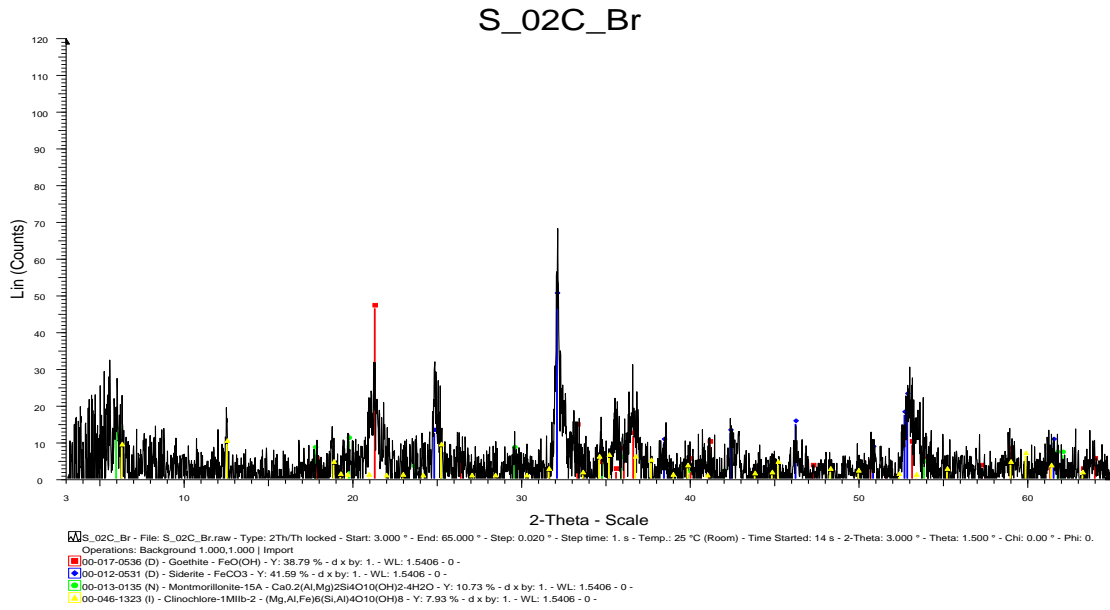
Πρόκειται για ένα δείγμα που κυριαρχεί ο σιδερίτης (ανθρακικός σίδηρος). Η παρουσία σμεκτιτών μαρτυράει την επίδραση αργιλικού τύπου εξαλλοίωσης.

Για το S_02B br :



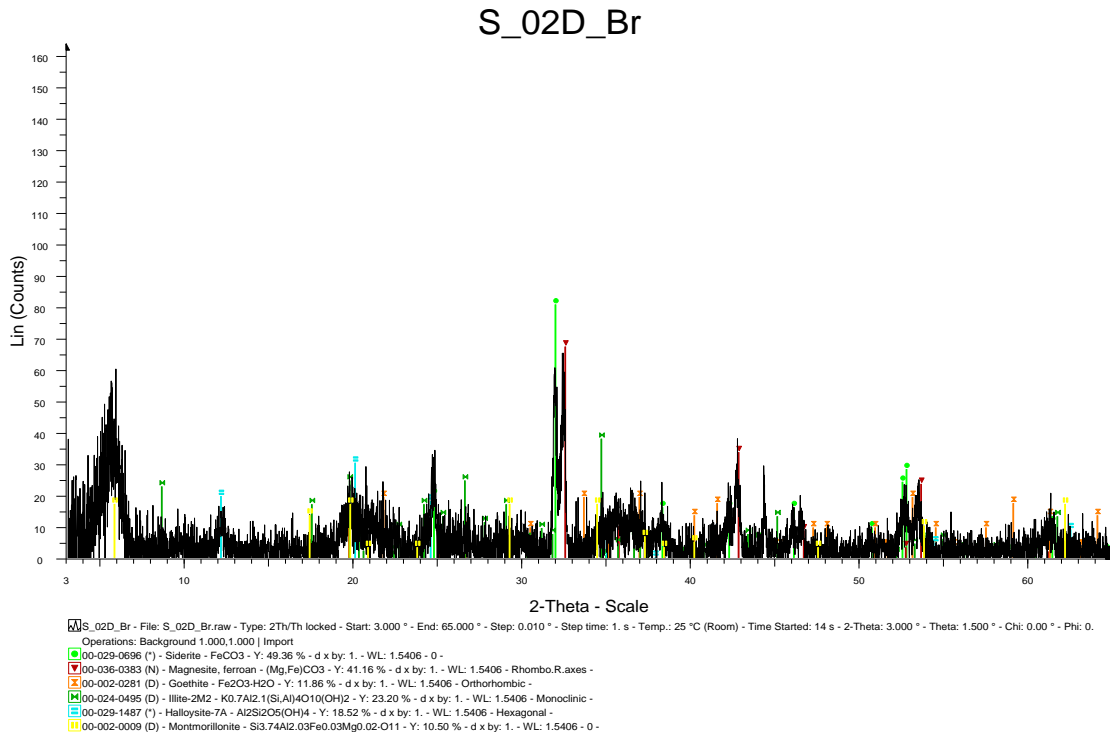
Κύριο ορυκτό του δείγματος είναι ο σιδερίτης ενώ η παρουσία του γκαϊιτή δείχνει την μερική οξείδωση του πετρώματος και τη δημιουργία κρούστας σε αυτό.

Για το S_02C br :



Πρόκειται για δείγμα παρόμοιο με το S_02B_Br όπου κύριο ορυκτό είναι ο σιδερίτης ενώ είναι αυξημένη η παρουσία του γκαϊκίτη.

Για το S_02D br :

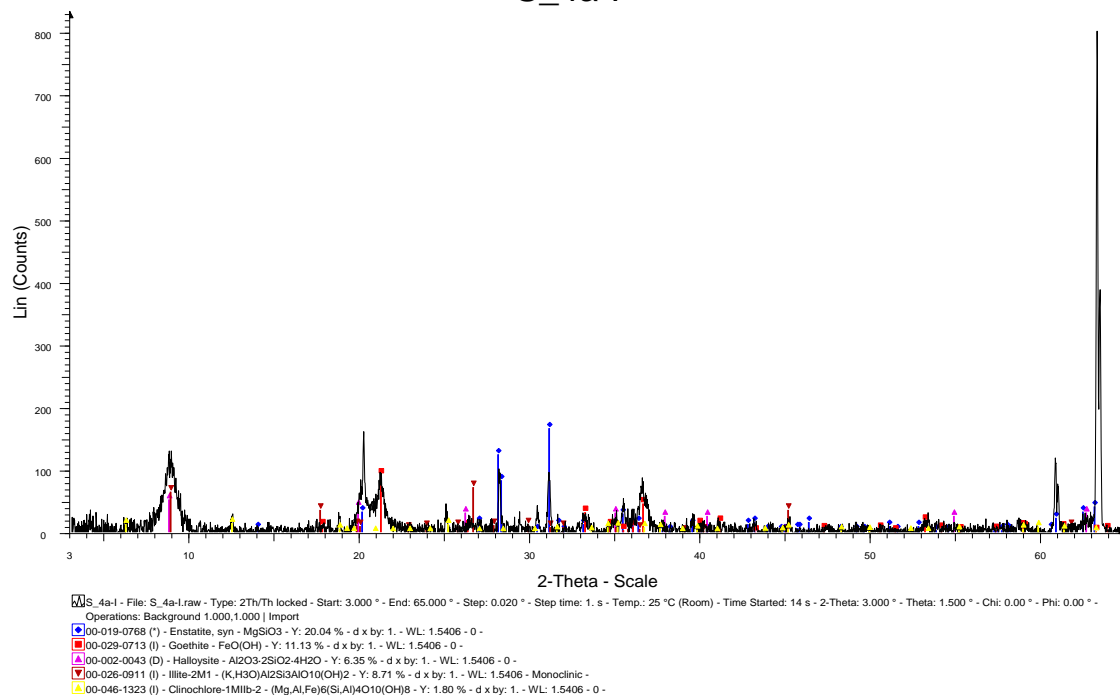


Πρόκειται για ένα δείγμα που έχει ως κύρια ορυκτά το μαγνησίτη και το σιδερίτη ενώ συνοδεύεται από την ύπαρξη αρκετών δευτερογενών αργιλικών ορυκτών καθώς και τον γκαϊκίτη που μαρτυρούν την έντονη εξαλλοίωσή του. Η παρουσία των

2 κύριων ορυκτών του δείγματος υποδεικνύει την έντονη επίδραση της ηφαιστειακής δραστηριότητας, όπως αυτή περιγράφηκε στα δείγματα S_01 και S_03, στο συγκεκριμένο δείγμα.

Για το S_04a-i :

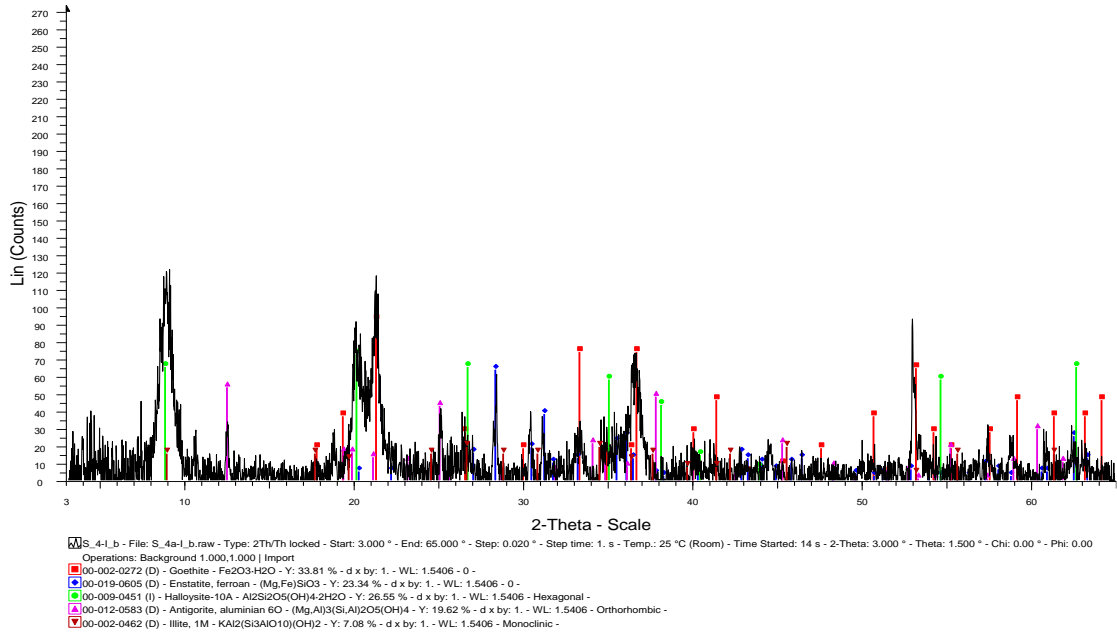
S_4a-I



Πρόκειται για ένα δείγμα χωρίς ξεκάθαρη σαφήνεια ως προς το κύριο ορυκτό του δείγματος. Φαίνεται κύριο ορυκτό να είναι ο ενστατίτης όπως και το μόνο πρωτογενές ορυκτό του δείγματος. Η παρουσία αρχικά του ιλλίτη και στη συνέχεια του αλλουισίτη μαρτυρούν την αργλική εξαλλοίωση του πετρώματος, ενώ ο γκαϊτίτης την τελική οξειδωσή του.

Για το S_04-i b :

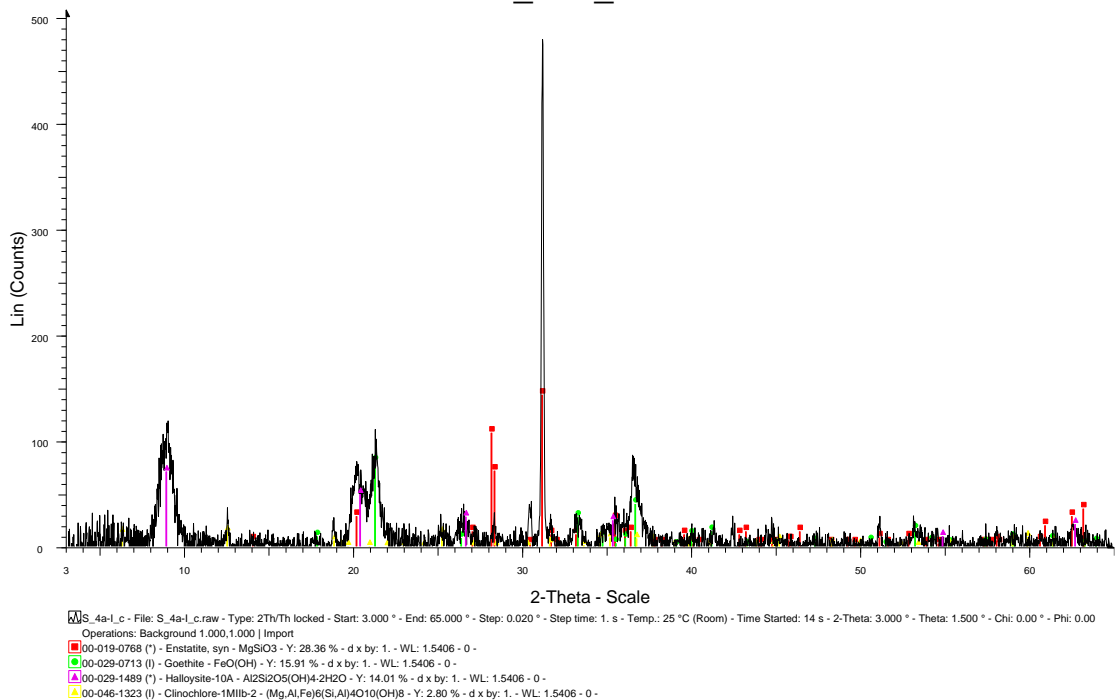
S_4-I_b



Κύρια ορυκτά του δείγματος είναι ο γκαϊκίτης και ο αλουισίτης. Τα υπολείμματα αντιγορίτη υποδεικνύει ότι πιθανόν πρόκειται για έναν σερπεντίνη που αρχικά υπέστη αργλική εξαλλοίωση λόγω της παρουσίας ιλλίτη και στη συνέχεια οξειδώθηκε.

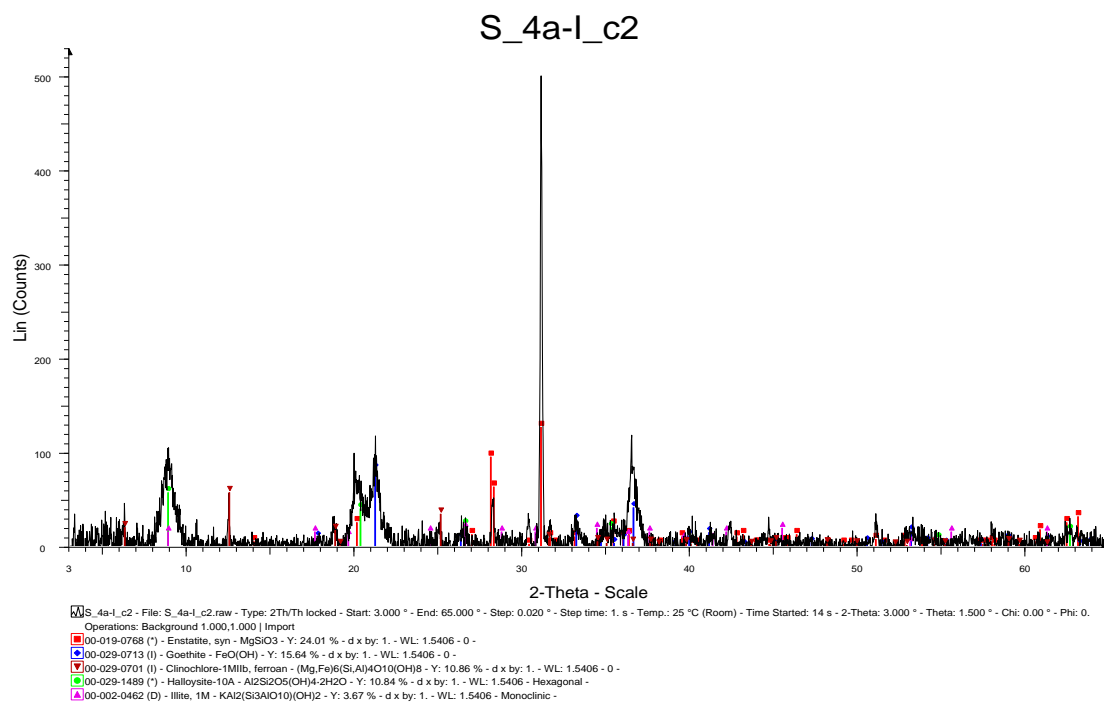
Για το S 04a-i c :

S_4a-I_c



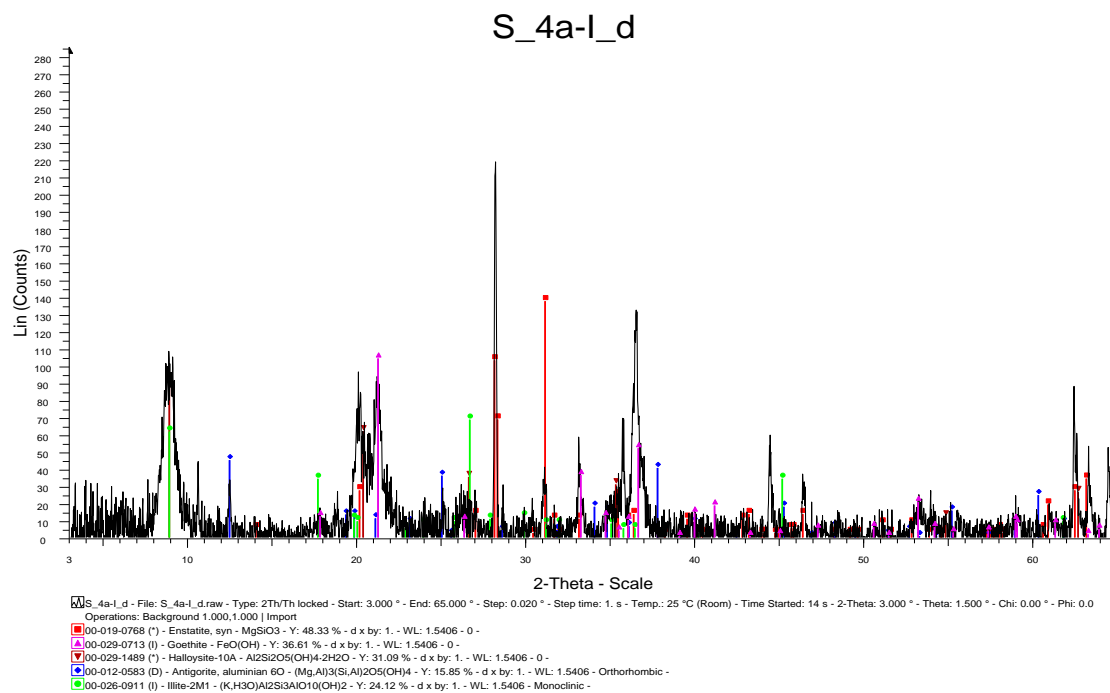
Κύριο ορυκτό είναι ο ενστατίτης και αποτελεί το μόνο πρωτογενές ορυκτό του δείγματος. Στο δείγμα υπάρχουν σημάδια επίδρασης τόσο της αργλικής εξαλλοίωσης (ιλλίτης), όσο και οξείδωσης (γκαϊκίτης).

Για το S_04a-i_c2 :



Πρόκειται για παρόμοιο δείγμα με το S_04a-i_c.

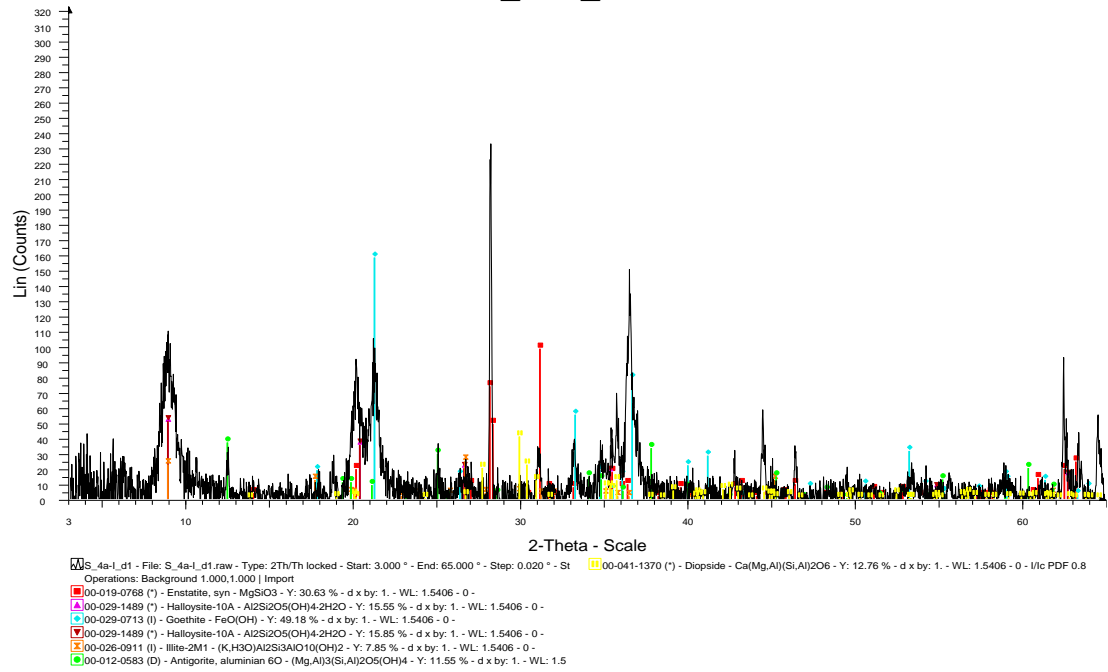
Για το S_04a-i_d :



Κύριο ορυκτό είναι ο ενστατίτης ενώ στο δείγμα υπάρχουν σημάδια επίδρασης τόσο της αργλικής εξαλλοίωσης (ιλλίτης), όσο και οξειδωσης (γκαιτίτης).

Για το S_04a-i_d1 :

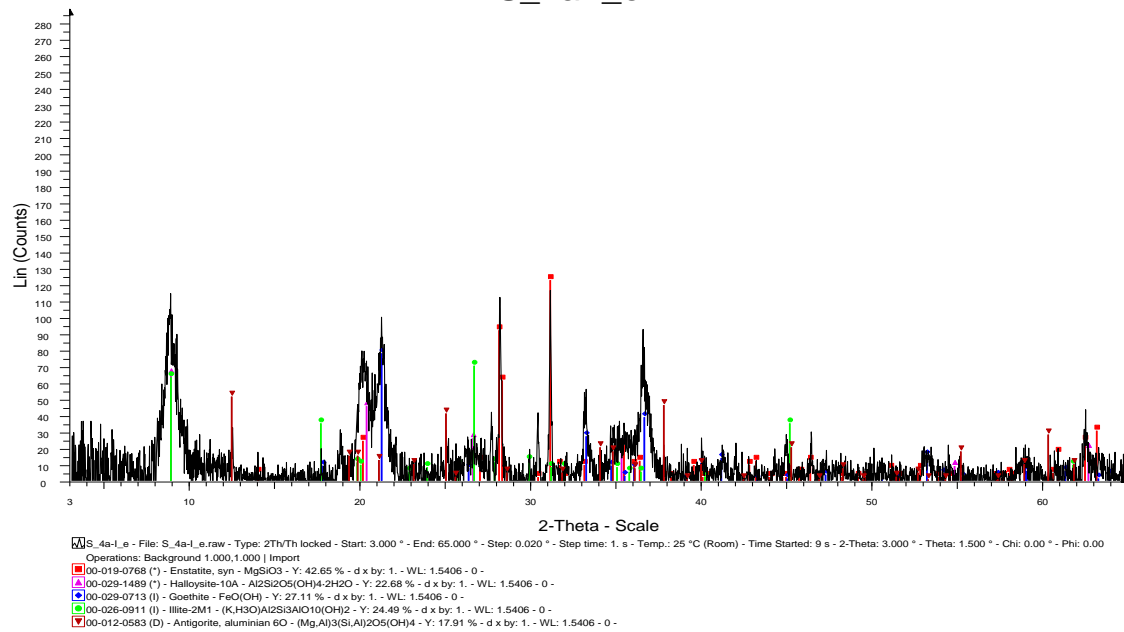
S_4a-l_d1



Πρόκειται για παρόμοιο δείγμα με το S_04a-i_d.

Για το S_04a-i e :

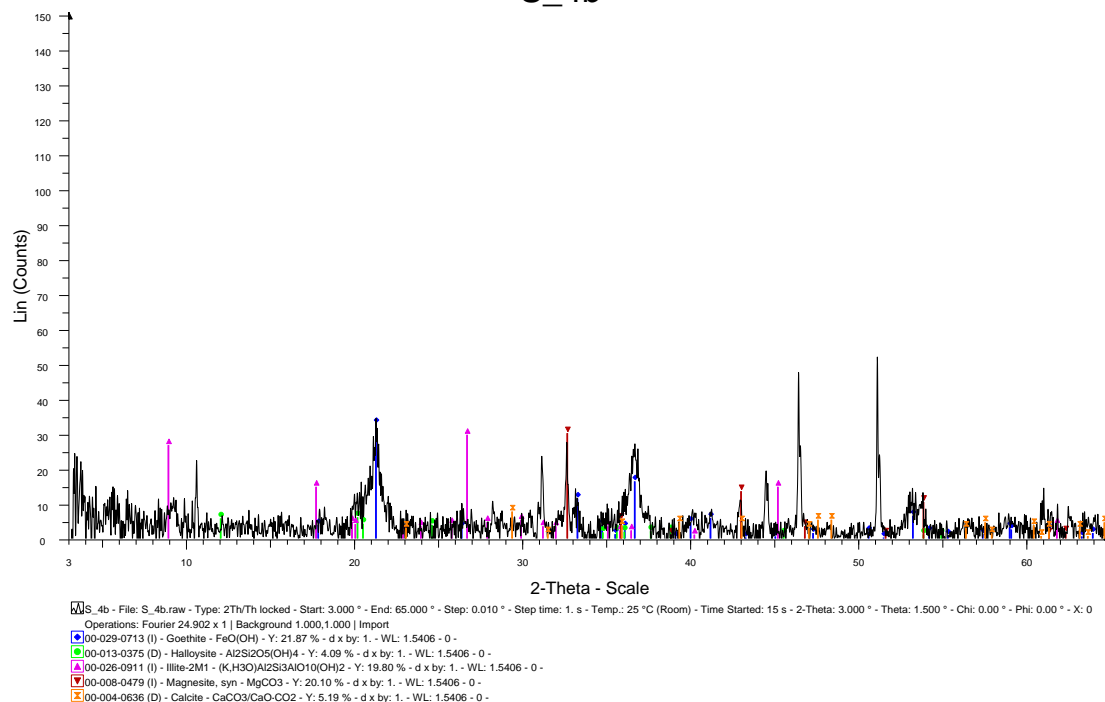
S_4a-l_e



Πρόκειται για παρόμοιο δείγμα με το S_04a-i_d.

Για το S_04b :

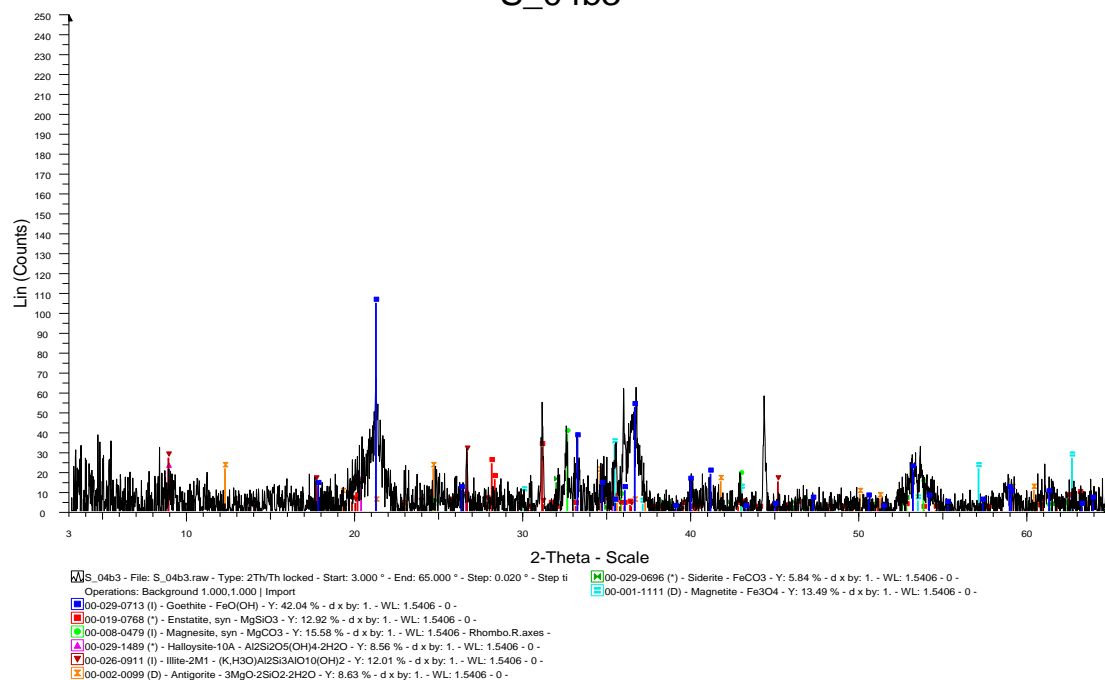
S_4b



Πρόκειται για ένα δείγμα που διαφοροποιείται από τα προηγούμενα της ομάδας S_04 τόσο από τη παρουσία του γκαϊτίτη σαν κύριο ορυκτό, όσο και ως προς την ύπαρξη μαγνησίτη που υποδεικνύει τη δράση όξινου νερού στο πέτρωμα που συνέβαλε στην απόθεσή του, αλλά και στην οξείδωσή του.

Για το S_04b3 :

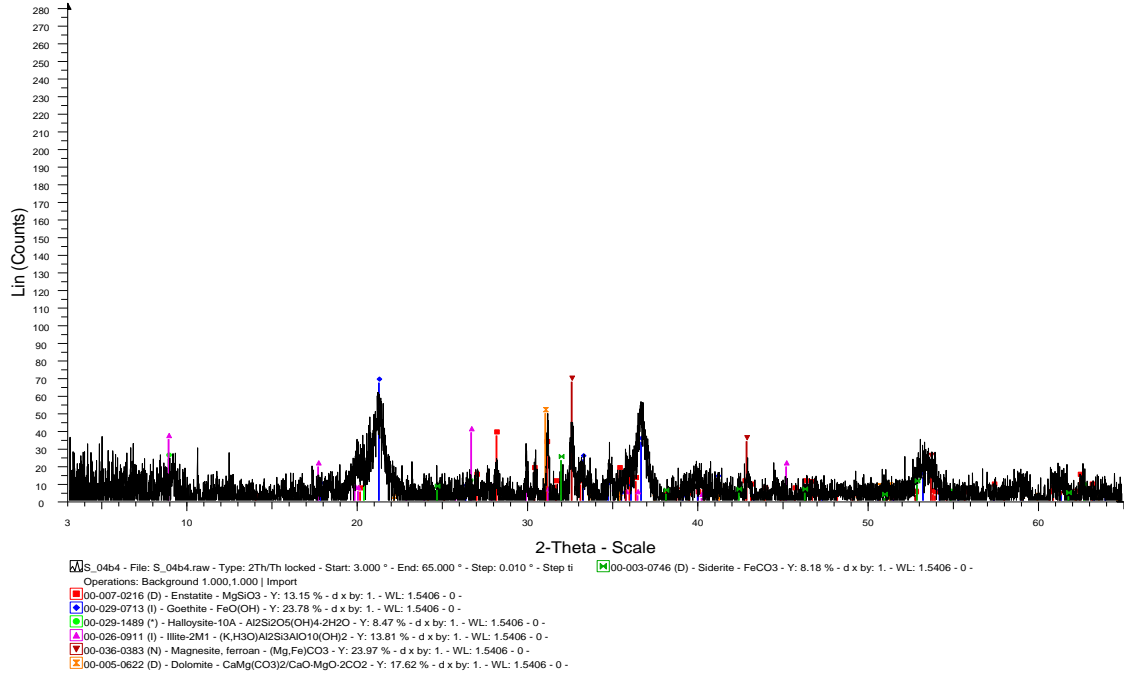
S_04b3



Δείγμα παρόμοιο με το S_04b.

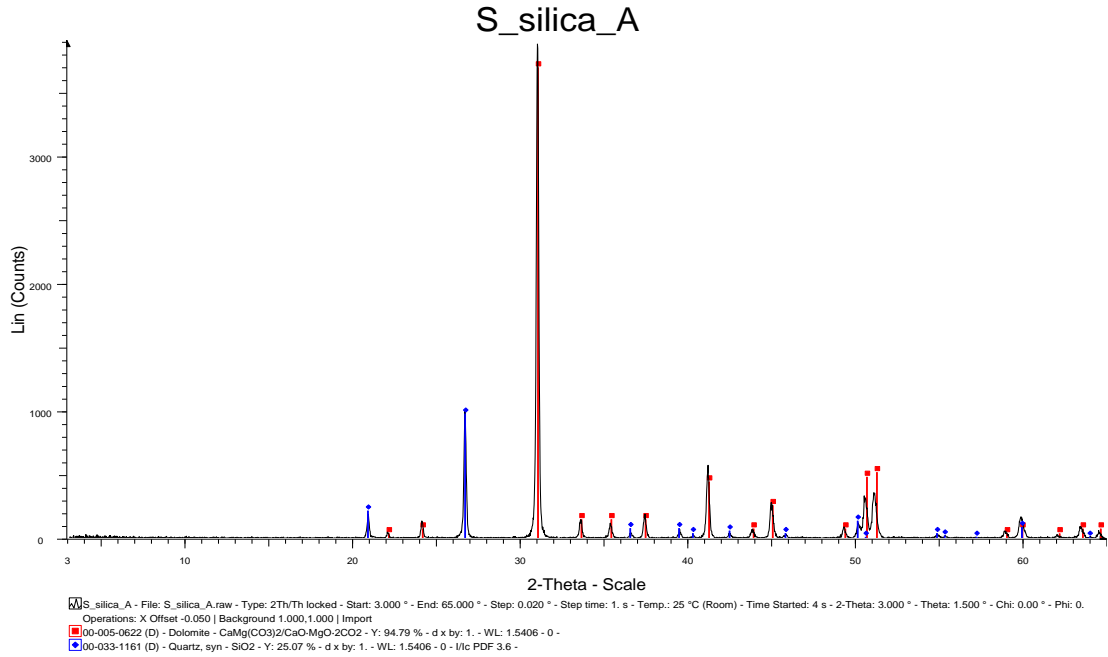
Για το S_04b4 :

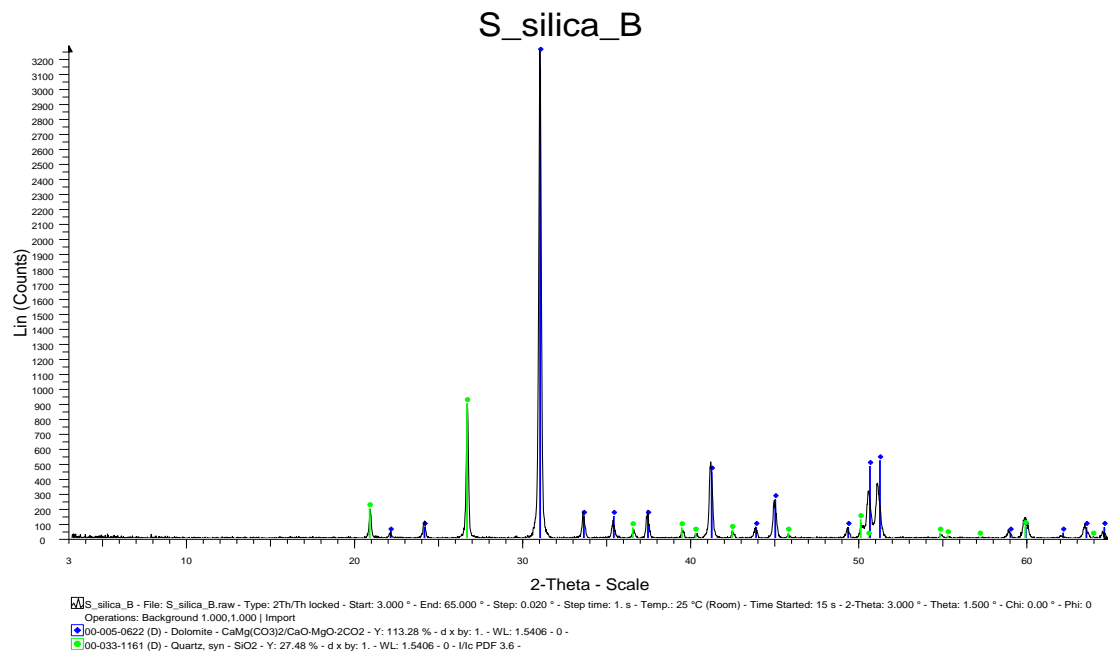
S_04b4



Δείγμα παρόμοιο με το S_04b.

Για τα S silica A και S silica B :





Πρόκειται για δείγματα από πυριτωμένα πετρώματα. Το πολύμορφο του SiO₂ που συναντήσαμε είναι ο χαλαζίας πράγμα που σημαίνει ότι η πυριτίωση στα τελευταία στάδια της υδροθερμικής εξαλλοίωσης νερά πλούσια σε SiO₂ ξέπλυναν τα αρχικά πετρώματα αντικαθιστώντας τα αρχικά ορυκτά τους με χαλαζιακό υλικό.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μια πρώτη ανάγνωση των αναλύσεων του XRD μας οδηγεί σε μια εύκολη κατηγοριοποίηση των δειγμάτων σε 3 κατηγορίες:

- 1) Στα σχετικώς υγιή δείγματα S_01 και S_03 με κοινό χαρακτηριστικό και των δύο τη παρουσία του αντιγορίτη σαν κύριο ορυκτό που τα κατατάσσει στους σερπεντίνες. Διαφορές που εμφανίζουν στην υπόλοιπη ορυκτολογική τους σύσταση όπως η παρουσία λιζαρδίτη μόνο στο S_01 και η παρουσία του τάλκη μόνο στο S_03 πιθανών οφείλονται σε διαφορετικές συνθήκες κάτω από της οποίες πραγματοποιήθηκε η σερπεντινίωση των μητρικών υπερβασικών πετρωμάτων.
- 2) Στην ομάδα των δειγμάτων S_02 όπου κυριαρχεί σαν ορυκτό ο σιδερίτης (FeCO₃) ενώ είναι σημαντική η παρουσία σμεκτιτών που χαρακτηρίζει την αργλική εξαλλοίωση. Η παρουσία του μαγνησίτη (MgCO₃) συνδέεται με αυτή του σιδερίτη και είναι πιθανά αποτελέσματα υδροθερμικής εξαλλοίωσης που δράσανε μεταγενέστερα της αργλικής. Το υδροθερμικό σύστημα της περιοχής αποτελείται από νερά πλούσια σε CO₂ και μέταλλα που είχαν σαν αποτέλεσμα το σχηματισμό των παραπάνω ορυκτών.

Τελευταίο γεγονός φαίνεται να είναι η οξείδωση των πετρωμάτων από την οποία προήλθε ο σχηματισμός του γκαιτίτη.

- 3) Στην ομάδα των δειγμάτων του S_04 η οποία χαρακτηρίζεται αφενός από την απουσία του σιδερίτη σαν ορυκτό αλλά και από τη παρουσία του ενστατίτη σε ορισμένα από τα δείγματα ακόμα και σαν κύριο ορυκτό γεγονός που δείχνει τη διατήρηση κάποιων εκ των αρχικών χαρακτηριστικών του πετρώματος ακόμα και μετά την εξαλλοίωση τους. Η παρουσία του μαγνησίτη αλλά και του γκαιτίτη στα δείγματα αυτά δείχνει ότι τα μητρικά πετρώματα των δειγμάτων αυτών επηρεάστηκαν τόσο από υδροθερμικά ρευστά, όσο και από την οξείδωση όπως και στη περίπτωση των δειγμάτων της ομάδας S_02.

Ωστόσο ερωτηματικό παραμένει η διαφορετική ορυκτολογική σύσταση των δειγμάτων των ομάδων S_02 και S_04 (στην S_02 επικρατεί ο σιδερίτης, ένα δευτερογενές ορυκτό προϊόν εξαλλοίωσης, ενώ στην S_04 ο ενστατίτης ο οποίος είναι πρωτογενές ορυκτό) και στο που αυτή οφείλεται.

Πιθανές αιτίες μπορεί να είναι:

- a) Ο διαφορετικός τύπος του μητρικού πετρώματος.
- b) Ο διαφορετικός βαθμός εξαλλοίωσης των πετρωμάτων αναλόγως με την απόστασή τους από τη κύρια μαγματική διεύδυση, που δημιούργησε το ηφαίστειο, και το πως αυτή επηρεάζει τις ζώνες των εξαλλοιώσεων.
- c) Τοπικά φαινόμενα που θα μπορούσαν να διαφοροποιήσουν το βαθμό εξαλλοίωσης των πετρωμάτων.
- d) Πιθανοί συνδυασμοί όλων των παραπάνω.

Βέβαια η απάντηση σε αυτό το ερώτημα δεν μπορεί να δοθεί αν εξετάσουμε μόνο τα αποτελέσματα της ορυκτολογικής ανάλυσης στο XRD χωρίς να τα συνδυάσουμε με την περιοχή της εργασίας και τα φαινόμενα που παρατηρήθηκαν τόσο σε μακροσκοπικό επίπεδο στο ύπαιθρο, όσο και με αυτά που έχουν καταγραφεί βιβλιογραφικά τα προηγούμενα χρόνια.

Βιβλιογραφικά έχει αναφερθεί ότι ένα μέρος από τα ανθρακικά ορυκτά της περιοχής (κυρίως μαγνησίτης και κάποιοι από τους δολομίτες) είναι αποτελέσματα της υδροθερμικής εξαλλοίωσης των σερπεντινών, οι οποίοι και αποτελούν και τη πηγή του μαγνησίου.

Αντίστοιχα, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι οι υπολειμματικοί ή μερικώς σερπεντινιομένοι περιδοτίτες (πλούσιοι σε ολβίνη) που συναντήσαμε και στο ύπαιθρο μπορούν να αποτελέσουν πηγή εμπλουτισμού των υδροθερμικών ρευστών σε σίδηρο, που με τη σειρά τους τα ιόντα του κατανάλωσαν το CO₂ των διαλυμάτων σχηματίζοντας τις εμφανίσεις του σιδερίτη.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

D' Alessandro W., Brusca L., Kyriakopoulos K., Rotolo S., Michas G., Minio M. and Papadakis. G., 2006. Diffuse and focused carbon dioxide and methane emissions from the Sousaki geothermal system, Greece. *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, VOL. 33.

D' Alessandro W., Rotolo S., Kyriakopoulos K., Bellomo S., Brusca L., Calabrese S., Liotta M., Bruno C. and Plicanti F., 2009. Fumarolic alternation products at Sousaki (Greece): occurrence and environmental impact. *Proceedings of the 2nd International CEMEPE SECOTOX Conference, Mykonos, June 21-26, 2009*, p. 185-190.

Fytikas M., Innocenti F., Manetti P., Mazzuoli R. Peccerillo A. and Villari L., 1984. Tertiary to Quaternary evolution of volcanism in the Aegean region. *Geological Society, London, Special Publications v.17*, p. 687-699.

Kelepertsis A., Alexakis D. and Kita I., 2001. Environmental geochemistry of soils and waters of Susaki area, Korinthos, Greece. *Environmental Geochemistry and Health* 23, p. 117–135.

Κοκκινάκης Α., 2007. Μαγματικά πετρώματα (Τρίτη έκδοση), σελ. 333-334.

Kyriakopoulos K. G., Kanaris-Sotiriou R., Stamatakis M. G., 1990. The authigenic minerals formed from volcanic emanations at Sousaki, west Attica peninsula, Greece. *Canadian Mineralogist* Vol. 28, p. 363-368.

Pe-Piper G. and Hatzipanagiotou K., 1997. The Pliocene volcanic rocks of Crommyonia, western Greece and their implications for the early evolution of the South Aegean arc. *Geol. Mag.* 134, Cambridge University Press, p. 55-66.

Stamatakis M.G and Mitsis I., 2013. The occurrences of Mg-hydroxycarbonates in serpentinites of the western section of the south Aegean volcanic arc (west Attica peninsula – northeastern Argolis peninsula), Greece. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, vol. XLVII 2013. *Proceedings of the 13th International Congress, Chania*, p. 427-437.

Stiros S. C., 1995. The 1953 Seismic surface fault: implications for the modeling of the Sousaki (Corinth area, Greece) geothermal field. *J. Geodynamics* Vol. 20, No. 2, p.167-180.

