



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών
— ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837 —

Τμήμα Γεωλογίας
και Γεωπεριβάλλοντος



**Μελέτη θειούχων ορυκτών του οφιολιθικού συμπλέγματος της Όθρυος στην
περιοχή της Ερέτριας**

Διπλωματική Εργασία

Κωνσταντίνος Γρίβας

Επιβλέπων καθηγητής

Ιωάννης Μήτσης

Αθήνα 2020

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία με θέμα «Μελέτη θειούχων ορυκτών σε χρωμιτίτες στην περιοχή της Ερέτριας Φαρσάλων [οφιολιθικό σύμπλεγμα της Όθρυος]» πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια πτυχιακής εργασίας με το στόχο τον προσδιορισμό, την μελέτη και την μεταξύ τους σύγκριση των θειούχων ορυκτών που αναπτύσσονται στην περιοχή της Ερέτριας Φαρσάλων και εν τέλει την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή Ιωάννη Μήτση, για την συμβολή του από την επιλογή του θέματος της εργασίας και την συγκέντρωση του απαραίτητου υλικού για την εκπόνηση της, μέχρι και την βοήθεια του στην εξαγωγή συμπερασμάτων. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Κωνσταντίνο Μαυρογόνατο για την άψογη δουλειά και συνεργασία που είχαμε για την παρασκευή των μεταλλογραφικών δοκιμίων, τον κ. Βασίλη Σκουνάκη για την πολύτιμη βοήθεια του κατά την διάρκεια των εργασιών στο SEM, τους φοιτητές Βητόπουλο Νικόλαο και Γιαννόπουλο Ιωάννη για την βοήθεια τους κατά την παρασκευή των τομών και τέλος την κοινότητα της Ερέτριας για τις χρήσιμες πληροφορίες κατά την περίοδο των εργασιών στο ύπαιθρο.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	6
ABSTRACT	7
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	9
1.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ, ΜΕΤΑΛΛΟΦΟΡΙΕΣ ΕΡΕΤΡΕΙΑΣ	9
1.1.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	9
1.1.2 ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑ ΟΦΙΟΛΙΘΙΩΝ	10
1.1.3 ΜΕΤΑΛΛΟΦΟΡΙΕΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	16
1.2 ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΧΡΩΜΙΤΗ ΚΑΙ ΟΙ ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ.....	19
2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	23
2.1 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΕΔΟΙ.....	23
2.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	23
2.3 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΥΠΑΙΘΡΟΥ	24
2.4 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΝΑΛΥΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	27
2.4.1 ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΜΕ ΜΕΤΑΛΛΟΓΡΑΦΙΚΟ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ	27
2.4.2 2.3.2 ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΜΕ ΗΛΕΚΤΟΝΙΚΟ ΜΙΚΡΟΑΝΑΛΥΤΗ (SEM).....	33
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΕΙΣ	40
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	41

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ ΚΑΙ ΠΙΝΑΚΩΝ

Εικόνα 1 Κατανομή των οφιολίθων ανα την Ελλάδα(αριστερά) και απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής της Ερέτριας. (Μαστόρης,1979)	8
Εικόνα 2 Είσοδος στα ορυχεία(αριστερά),παλιές εγκαταστάσεις των Μεταλλείων(δεξιά) - (αρχείο συγγραφέα)	8
Εικόνα 3 Γεωλογικός χάρτης του Οφιολιθικού συμπλέγματος της Όθρυς(Rassios and Konstantopoulou,1993).	10
Εικόνα 4 Σειρά κρυστάλλωσης του Bowen (πηγή:geologyin.com)	12
Εικόνα 5 Επιμέρους τμήματα οφιολιθικού συμπλέγματος (αριστερά) σύστημα επώθησης οφιολίθου σε ηπειρωτικό φλοιό(δεξιά) (πηγή: medellin.unal.edu.co)	13
Εικόνα 6 Διάγραμμα με τα υπερμαφικά πετρώματα (πηγή : alexsterkeisen.it).	13
Εικόνα 7 Χαρζβουργίτης περιοχής Ερέτριας.	14
Εικόνα 8 Χάρτης της Ελλάδας με τις κύριες οφιολιθικές εμφανίσεις(A: Αργολίδας, C: Κρήτης, Ch: Χαλκιδική, Cy: Κυκλάδες, E: Εύβοια, Gu: Γευγελή I: Οίτη, K: Κόζιακας, Kl: Καλλίδρομο, Kr: Κάρπαθος, Le: Λέσβος, O: Όθρυς, Or: Ωραιόκαστρο, P: Πίνδος, Rh: Ρόδος, S: Σουφλί, Sa: Σαμοθράκη, V: Βούρινος) από KOEPKE et al.(1985).	15
Εικόνα 9 Πετρολογική διάκριση των διαφόρων οφιολιθικών συμπλεγμάτων του ελλαδικού χώρου (ROCCI et al., 1997).	16
Εικόνα 10 Ταξινόμηση χρωμιτών ανάλογα με την ορυκτολογική τους σύσταση	17
Εικόνα 11 Αποθέματα χρωμιτικών κοιτασμάτων (Economou et al., 1986)	17
Εικόνα 12 Θεμελιώδης μάζα από αντιγορίτη	18
Εικόνα 13 Τεκτονικές δομές σε βιοτίτη	18
Εικόνα 14 Τριγωνικό διάγραμμα κατά Stevens (πηγή: κοιτασματολογία, eclass. uoa).	19
Εικόνα 15 Στρώσεις χρωμίτη μέσα σε περιδοτίτη	20
Εικόνα 16 Συμπαγής περιδοτίτης (αρχείο συγγραφέα)	20
Εικόνα 17 Απλοποιημένος χάρτης του συμπλέγματος του Bushveld(Cawthorn, 2007).	21
Εικόνα 18 A) στρωματοειδής χρωμίτης συμπαγούς τύπου, Bushveld SA. B) Χρωμίτης με χαρακτηριστικό ιστό τύπου λεοπάρδαλης (πηγή: orycta.gr)	21
Εικόνα 19 Πίνακας με τα ποσοστά συμμετοχής χρωμίτη στο εκάστοτε πέτρωμα	22
Εικόνα 20 Ταξινόμηση χρωμίτη ανάλογα με την χημική του σύσταση	22
Εικόνα 21 Άποψη του χωριού Ερέτρια από το google earth	24
Εικόνα 22 Σερπεντινωμένος χαρζβουργίτης που φιλοξενεί το μέταλλευμα του χρωμίτη με φλέβες από χρυσσίλη(δεξιά)	25
Εικόνα 23 Σερπεντινίτης που διατηρεί ορισμένα πρωτογενή ορυκτά.	25
Εικόνα 24 Περιοχή δειγματοληψίας(αριστερά), τυπικό δείγμα χρωμίτη από την περιοχή της Ερέτριας(δεξιά)	26
Εικόνα 25 a) απλοποιημένος χάρτης των ορυχείων της Ερέτριας(Μαύρο). b) Εγκάρσια τομή που απεικονίζουν τα αποτελέσματα της γεώτρησης στην περιοχή μελέτης (Economou and Naldrett (1984)).	26
Εικόνα 26 Δείγμα Δ3 σε μεταλλογραφικό μικροσκόπιο (αρχείο συγγραφέα)	27
Εικόνα 27 Δείγμα Δ3_3 με θειούχο μεταλλοφορία (αρχείο συγγραφέα)	28
Εικόνα 28 Δείγμα Δ3_1 σε μεταλλογραφικό μικροσκόπιο. Ανακλώμενο πολωμένο φως σε παράλληλα Nicols(Αριστερά), σε διασταυρούμενα Nicols (Δεξιά)(αρχείο συγγραφέα).	29
Εικόνα 29 Δείγμα Δ3_2 (αριστερά) σε παράλληλα Nicols, (δεξιά) σε κάθετα Nicols (αρχείο συγγραφέα).	30
Εικόνα 30 Δείγμα Δ3_2 σε παράλληλα Nicols όπου διακρίνεται η σύμφυση που προαναφέρθηκε(αρχείο συγγραφέα)	30
Εικόνα 31 Μεταλλογραφικές τομές Δ3_3 και Δ3_4 με παράλληλα Nicols (αριστερά) και κάθετα Nicols (δεξιά).	31
Εικόνα 32 Μεταλλογραφικές τομές των δειγμάτων Δ3_5 και Δ3_6 σε παράλληλα Nicols (αριστερά) και σε κάθετα Nicols (δεξιά).	32
Εικόνα 33 Χρωμίτες και σιδηροχρωμίτης από ηλεκτρονικό μικροαναλυτή σάρωσης.	34
Εικόνα 34 SEM micrograph δείγματος Δ3.	34
Εικόνα 35 SEM micrograph δείγματος Δ3.	36

Εικόνα 36 SEM micrograph δείγματος Δ6.....	37
Εικόνα 37 SEM micrograph του δείγματος Δ6.	38
Πίνακας 1 Μικροαναλύσεις χρωμίτη και σιδηροχρωμίτη (κβ%)	33
Πίνακας 2 Σημειακή ανάλυση σουλφιδίων του δείγματος Δ3 (κβ%)	35
Πίνακας 3 Σημειακή ανάλυση σουλφιδίων δείγματος Δ6(κβ%)	37

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αποσκοπεί στην μελέτη θειούχων μεταλλοφοριών από την ευρύτερη περιοχή της Ερέτριας Φαρσάλων και την εξαγωγή συμπερασμάτων για το εν λόγω μετάλλευμα. Υπάρχουν δύο γνωστές χρωμιτοφόρες περιοχές στην Όθρυ, ο Δομοκός και η Ερέτρια, ενώ επελέγη η δεύτερη για μελέτη λόγω της ασυνήθιστης σχέσης που εμφανίζεται μεταξύ του χρωμίτη και των θειούχων ορυκτών. Γεωγραφικά βρίσκεται στο βόρειο τμήμα του συμπλέγματος. Η μελέτη επικεντρώθηκε ουσιαστικά στο χρωμίτη και στις θειούχες συγκεντρώσεις τα οποία ανήκουν στο οφιολιθικό σύμπλεγμα της Όθρυος και φιλοξενούνται μέσα σε σερπεντινίτες (εξαλλοιωμένους περιδοτίτες). Η κύρια παραγένεση των θειούχων περιλαμβάνει χαλκοπυρίτη και πιθανώς κοβαλτίτη, ενώ βρίσκονται στην περιφέρεια ασκοειδούς χρωμίτη.

Πραγματοποιήθηκε εργασία υπαίθρου στην ευρύτερη περιοχή της Ερέτριας, όπου πάρθηκαν σημειώσεις για τα περιβάλλοντα πετρώματα και έγινε δειγματοληψία για περαιτέρω έρευνα στο πανεπιστήμιο. Αφού επιλέχθηκαν τα κατάλληλα δείγματα, κατασκευάστηκαν μεταλλογραφικές τομές. Έγινε η αρχική εκτίμηση των εν λόγω τόμων με χρήση μεταλλογραφικού μικροσκοπίου, ενώ στην συνέχεια έγινε η επιλογή των δειγμάτων που αναλύθηκαν στον Ηλεκτρονικό μικροαναλυτή(SEM) για την χημική ανάλυση των ορυκτών ενδιαφέροντος. Στο τέλος της εργασίας παρατίθενται τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα σχετικά με τις αναλύσεις.

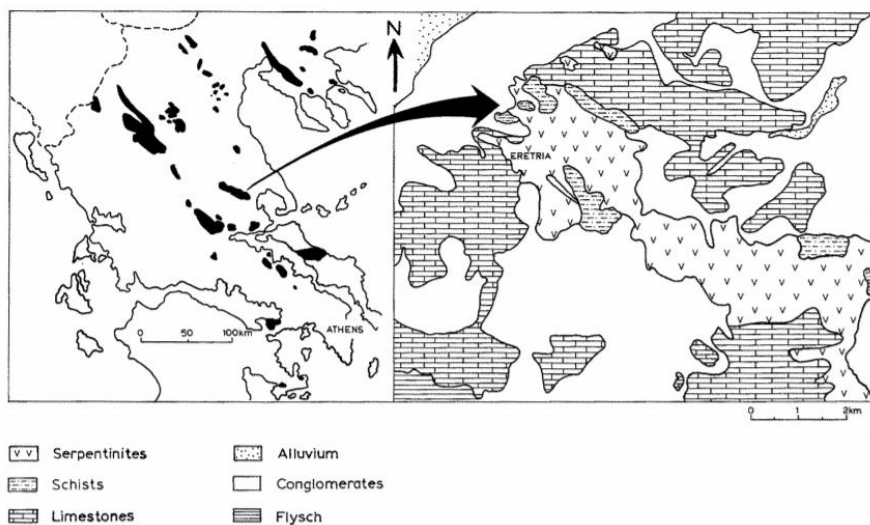
ABSTRACT

The following diploma thesis focuses on the determination and study of sulfide occurrences in the broader region of Eretria and the reach to conclusions concerning these occurrences. There are two big known chromite-bearing regions at Othris, Domoko and Eretria, the latter being chosen for the thesis due to its unusual association between the chromites and the sulfide minerals, situated at the northern part of the complex. The study was focused on chromite bodies alongside with the sulfides which belong to the Orthris ophiolitic complex and are hosted by serpentines (chemically altered peridotites). The main of the sulfides consists of chalcopyrite and possibly cobaltite, whilst being situated in the peripheries of podiform chromite.

A field trip was made in the broader region of Eretria, where there were taken notes concerning the surrounding rocks and samples for further examination at the university. After choosing the proper samples, there were metallographic sections made whose preparing procedure will be mentioned thoroughly later. Afterwards the first assessment of the sections was made and the samples for SEM analysis were chosen. In the end of the thesis the results and conclusions are being given.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η Ερέτρια φιλοξενεί ένα από τα μεγαλύτερα κοιτάσματα χρωμίτη στην Θεσσαλία. Το χωριό βρίσκεται περίπου 20 χιλιόμετρα από τα Φάρσαλα και άλλα 30 χιλιόμετρα προς την αντίθετη κατεύθυνση(νοτιοδυτικά) από την πόλη του Βόλου. Το Τσαγκλί λειτουργούσε ως μεταλλείο εξόρυξης συμπαγούς χρωμίτη από το 1880 έως και το 1992 ενώ μέχρι το 1998 γίνονταν μόνο έργα συντήρησης. Το κοίτασμα του χρωμίτη συναντάται σε σώματα ασκοειδούς σχήματος με μεγέθη που κυμαίνονται από μερικούς έως και εκατοντάδες τόνους και βρίσκονται μέσα στον ξενιστή σερπεντινίτη(ECONOMOU AND NALDRETT,1984).



Εικόνα 1 Κατανομή των οφιολίθων ανα την Ελλάδα(αριστερά) και απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής της Ερέτριας. (ΜΑΣΤΟΡΗΣ,1979)



Εικόνα 2 Είσοδος στα ορυχεία(αριστερά),παλιές εγκαταστάσεις των Μεταλλείων(δεξιά) - (αρχείο συγγραφέα)

1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ, ΜΕΤΑΛΛΟΦΟΡΙΕΣ ΕΡΕΤΡΕΙΑΣ

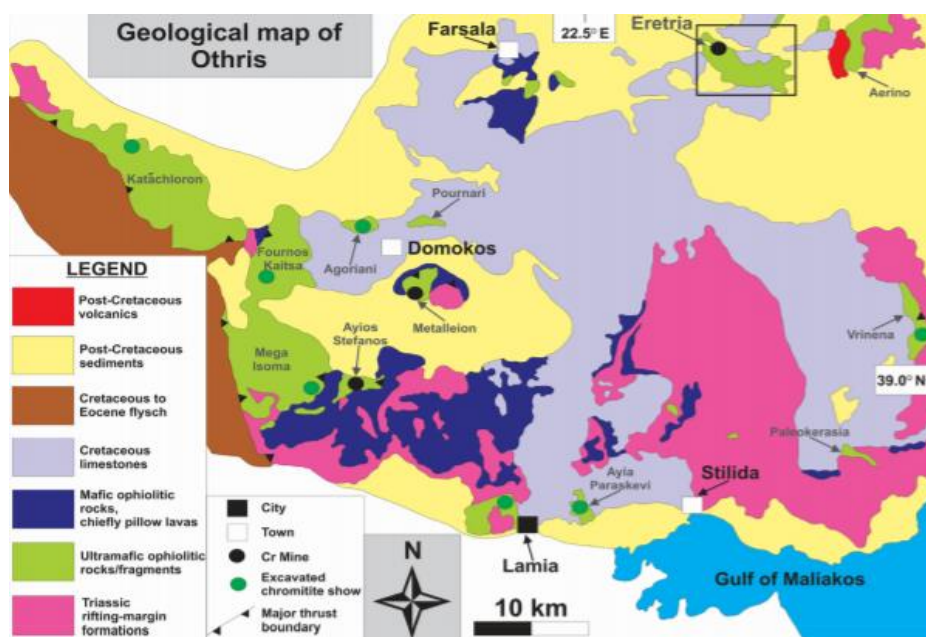
1.1.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Τα μεγαλύτερα οφιολιθικά συμπλέγματα στην Ελλάδα, περιλαμβάνουν τις σειρές της Όθρυος, της Πίνδου και του Βούρινου, οι οποίες έχουν επωθηθεί κατά το Α. Ιουρασικό και ερμηνεύονται ως μέρη της ίδιας ωκεάνιας πλάκας (Rassios and Moores, 2006). Πιο συγκεκριμένα, τα πετρολογικά και γεωχημικά χαρακτηριστικά του συμπλέγματος της Όθρυος, η παρουσία μεγάλων σωμάτων χρωμίτη και ορυκτών με στοιχεία της ομάδας των πλατινοειδών (PGE), δείχνουν την επιρροή του υποβυθιζόμενου φλοιού κατά ένα δεύτερο στάδιο τήξης του (ECONOMΟΥ-ΕΛΙΟΠΟΥΛΟΣ AND PARASKEVOΠΟΥΛΟΣ, 1989, ECONOMΟΥ-ΕΛΙΟΠΟΥΛΟΣ ET AL., 1997, GARUTI ET AL., 1999).

Η Όθρυς ανήκει στην κεντρική Ελλάδα και αποτελείται από δύο κύριες τεκτονοστρωματογραφικές ζώνες, την Πελαγονική και την Υπό-Πελαγονική (FERRIÈRE, 1982, FERRIÈRE ET AL., 2012, KATSIKATSOS, 1992, PAPANIKOLAΟΥ, 1997, PAPANIKOLAΟΥ, 2009). Η περιοχή στην οποία έγινε η μελέτη η Ερέτρια ανήκει στην ενότητα της Πελαγονικής. Γενικά, η σύγκρουση του ανατολικού ηπειρωτικού παθητικού περιθωρίου της Απούλιας με το δυτικό περιθώριο της Πελαγονικής μικροπλάκας χαρακτηρίζεται από την ζώνη ραφής της ζώνης Πίνδου-Μιρδίτα (VERGELY, 1976). Στην εν λόγω ζώνη βρίσκεται σειρά διασκορπισμένων οφιολιθικών συμπλεγμάτων και μέσα σε αυτά ανήκει και η Όθρυς με ηλικία από το μέσο Ιουρασικό. Οι οφιόλιθοι έχουν επωθηθεί σε σχηματισμούς με εναλλαγές πελαγικών ασβεστόλιθων με, ενώ υπόκεινται ασβεστόλιθων του Άνω Κρητιδικού και μολασικών αποθέσεων (MARINOS, 1975; SMITH ET AL., 1975; MASTORIS 1979).

Το βουνό της Όθρυος αποτελείται από επωθημένα λέπη. Τα ανώτερα λέπη περιλαμβάνουν μέλη του οφιολιθικού συμπλέγματος όπως περιδοτίτες, γάββρους, διαβασικές φλέβες, και μαξιλαροειδείς λάβες (MENZIES, 1973). Τα κατώτερα λέπη αποτελούνται από διαδοχή πυριγενών πετρωμάτων που σε κάποιες περιπτώσεις υπέρκεινται κλαστικών ιζημάτων χαμηλού βαθμού μεταμόρφωσης του Πέρμιου και υπόκεινται από εναλλαγές ασβεστόλιθων-κερατόλιθων-αργλικών σχιστών με ηλικίες που φτάνουν το Μ. Κρητιδικό (HYNES, 1972). Ο οφιόλιθος της Όθρυος έχει υποστεί έντονη τεκτονική καταπόνηση τόσο που σε ορισμένα σημεία τα επωθημένα λέπη φαίνεται να έχουν στρωματογραφικά αναστραφεί (RASSIOS AND KONSTANTOΠΟΥΛΟΥ, 1993).

Κάτω από τα επωθημένα πετρώματα, έχουμε ένα “χαοτικό” σχηματισμό από οφιολιθικά μπλοκ μαζί με ωκεάνια ιζήματα με θεμελιώδη μάζα πλούσια σε σερπεντίνη (FERRIERE ET AL., 1988). Σήμερα ο οφιόλιθος της Όθρυος επωθείται (προς ΝΔ) πάνω σε Ηωκαινικό φλύσχη. Ο σχηματισμός του ανατολικού τμήματος του οφιολίθου στο οποίο ανήκει και η Ερέτρια πιθανώς σχετίζεται με περιβάλλοντα ηπειρωτικού τόξου.



Εικόνα 3 Γεωλογικός χάρτης του Οφιολιθικού συμπλέγματος της Όθρυος (Rassios and Konstantopoulou, 1993).

1.1.2 ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑ ΟΦΙΟΛΙΘΙΩΝ

Από πετρολογικής σκοπιάς η περιοχή της Ερέτριας περιλαμβάνει ποικίλα είδη πετρωμάτων. Όπως προαναφέρθηκε τα πετρώματα που φιλοξενούν τα κοιτάσματα χρωμίτη είναι μετρίως απεμπλουτισμένοι χαρζβουργίτες ενώ δεν παρατηρείται συστηματική σχέση μεταξύ της κατανομής και του μεγέθους των χρωμιτικών σωμάτων και του μεγέθους των ξενιστών μαζών (ECONOMOU ET AL., 1986; ECONOMOU-ELIOPOULOS, 1993). Οι χαρζβουργίτες αποτελούν μέλη οφιολιθικών συμπλεγμάτων. Ο όρος οφιόλιθος αναφέρεται σε τμήμα υπολειμματικού ωκεάνιου φλοιού το οποίο είναι μανδουακής προέλευσης και τοποθετημένο πάνω σε ηπειρωτικό φλοιό. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το γεωτεκτονικό περιβάλλον δημιουργίας νέας ωκεάνιας λιθόσφαιρας, ήτοι τις μεσωκεάνιες ράχες όπου επικρατεί εφελκυστικό καθεστώς και κατ' επέκταση μεταφορά του μανδουακού υλικού στις εκατέρωθεν αποκλίνουσες ηπειρωτικές πλάκες. Τήκεται το υλικό αυτό σε

περιοχές ζωνών υποβύθισης όπως για παράδειγμα μπροστά από νησιωτικά τόξα ή ηπειρωτικά περιθώρια. Μέσω της παραπάνω διαδικασίας τμήματα του ωκεάνιου φλοιού αποκολλούνται και επωθούνται πάνω στην ηπειρωτική λιθόσφαιρα. (COLEMAN, 1977).

Με την μελέτη των οφιολιθικών συμπλεγμάτων μπορούμε να εξάγουμε συμπεράσματα για το γεωτεκτονικό περιβάλλον και τις εξελίξεις που το διέπουν, και εν γένει των ορογενετικών διεργασιών μιας περιοχής. Η μελέτη των οφιολιθικών συμπλεγμάτων μπορεί να επιφέρει αποτελέσματα και από οικονομικής σκοπιάς με την εκμετάλλευση πληθώρας κοιτασμάτων που φιλοξενούνται σε αυτά, με τα πιο χαρακτηριστικά να είναι τα κοιτάσματα χρωμίτη, αμιάντου, δομικών υλικών και σπανιότερα σουλφιδίων.

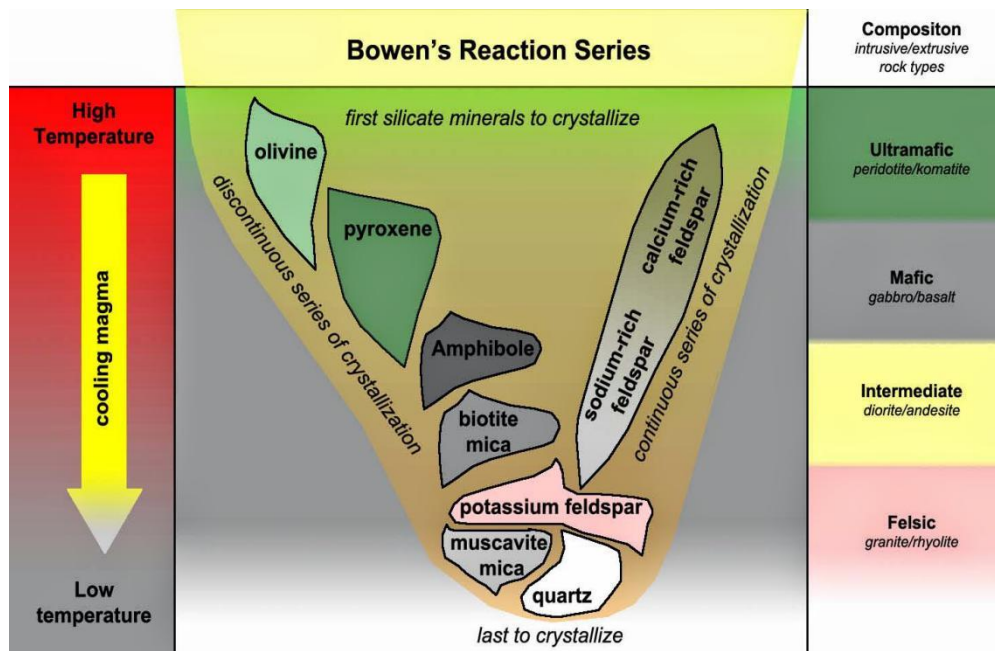
Γενικά ένα οφιολιθικό σύμπλεγμα είναι τμήματα ωκεάνιου φλοιού που έχουν επωθηθεί στα περιθώρια ηπειρωτικού φλοιού και αποτελείται από τα εξής μέρη από τα ανώτερα προς τα κατώτερα:

1. Ιζηματογενείς αποθέσεις αβαθών υδάτων ή ηπειρωτικές
2. Αβυσικά ή πελαγικά ιζηματογενή πετρώματα
3. Μαξιλαροειδείς ή συμπαγείς λάβες
4. Σύστημα πολλαπλών διαβασίμων φλεβών
5. Συμπαγή μη σωρευτικά πλουτώνια πετρώματα (γάββροι, διορίτες, πλαγιογρανίτες)
6. Σωρευτική σειρά [(υπερ)μαφικά προς την βάση και φελσικά προς την κορυφή]
7. Υπερμαφικοί τεκτονίτες (περιδοτίτες π.χ. χαρζβουργίτες με ασυνεχή στρώματα δουνίτη και συγκεντρώσεις χρωμίτη)
8. Μεταμορφωμένο σύμπλεγμα πάχους έως 100m
9. Κρυσταλλικό υπόβαθρο

Η τεκτονολιθοστρωματογραφική ακολουθία ενός συμπλέγματος συμπληρώνεται με την τοποθέτηση οφιολιθικών mélanges και μεταμορφωμένων πετρωμάτων υψηλής θερμοκρασίας γνώστη ως μεταμορφική “σόλα” στην βάση του συμπλέγματος (MOORES, 1982). Οι σχηματισμοί αυτοί περιέχουν πληροφορίες για την γένεση και την μεταφορά των τεμαχών.

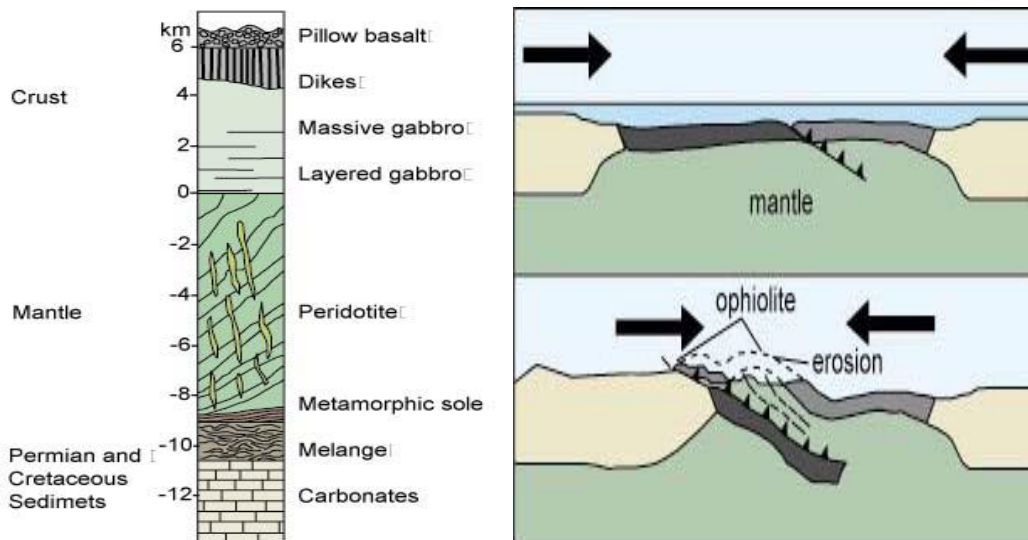
Οι διεργασίες μερικής τήξης και μαγματισμού στο εσωτερικό του μανδύα είναι υπεύθυνες για τον σχηματισμό των οφιολιθικών συμπλεγμάτων. Η μεταβολή των

συνθηκών τήξεως ενός στερεού πετρώματος περιλαμβάνει την αύξηση της θερμοκρασίας (T), την μεταβολή της πίεσης (P) και συγκεκριμένα αποσυμπίεση και την προσφορά πτητικών συστατικών στο σύστημα (X). Με την πτώση της θερμοκρασίας αρχίζει η κρυστάλλωση συγκεκριμένων ορυκτών σύμφωνα με την σειρά κρυστάλλωσης του Bowen δηλαδή : ολιβίνης, χρωμίτης, ορθοπυρόξενοι, κλινοπυρόξενοι και λίγο αργότερα ίσως και συγχρόνως με τον ολιβίνη πλούσιο σε ασβέστιο (Ca) πλαγιόκλαστο.



Εικόνα 4 Σειρά κρυστάλλωσης του Bowen (πηγή: geologyin.com)

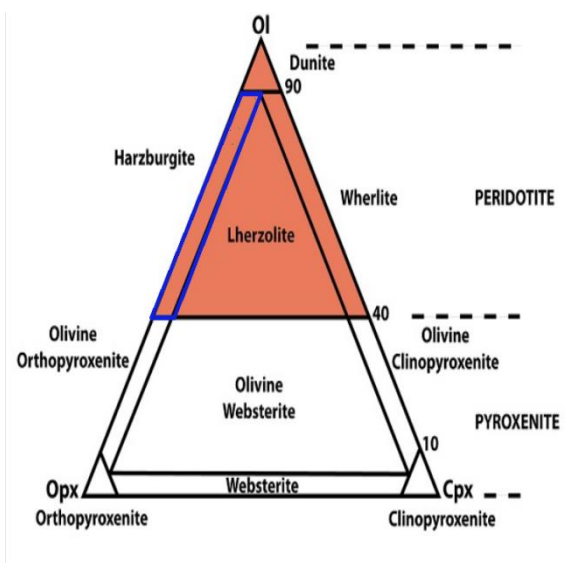
Τα προαναφερθέντα ορυκτά σχηματίζουν τα βασικότερα μέλη μιας οφιολιθικής ακολουθίας. Η τροφοδοσία μέσα στον μαγματικό θάλαμο είναι συνεχής και η κρυστάλλωση γίνεται με αργούς ρυθμούς τα πετρώματα που δημιουργούνται έχουν σωρευτικό χαρακτήρα, δηλαδή μαγματική στρώση με διακριτά τα λευκοκρατικά από τα μελανοκρατικά ορυκτά. Με περαιτέρω διαφοροποίηση του μάγματος θα σχηματιστούν λιγότερο βασικά πετρώματα και ενδιάμεσα πετρώματα όπως ισότροποι γάββροι, πλαγιογρανίτες, συστήματα διαβασικών φλεβών και έκχυτα ηφαιστειακά πετρώματα.



Εικόνα 5 Επιμέρους τμήματα οφιολιθικού συμπλέγματος (αριστερά) σύστημα επώθησης οφιολιθίου σε ηπειρωτικό φλοιό(δεξιά) (πηγή: medellin.unal.edu.co)

Οι τεκτονίτες αποτελούνται σε μεγάλο ποσοστό από χαρζβουργίτες, ενώ μέσα σε αυτούς εντοπίζονται κατά τόπους λοβοειδή χρωμιτιτικά εγκλείσματα.

Οι χαρζβουργίτες απαρτίζονται κυρίως από πλούσιο σε φορστερίτη ολιβίνη(Ol) και από ορθοπυρόξενο (Opx)(ενστατίτη, βρονζίτη) ενώ οι κλινοπυρόξενοι και ο χρωμιούχος σπινέλλιος αποτελούν δευτερεύοντα ορυκτολογικά συστατικά. Οι τεκτονίτες είναι ισχυρώς παραμορφωμένα, πτυχωμένα και διαρρηγμένα πετρώματα. Συχνά παρουσιάζουν στρωματική ή σχιστώδη δομή. Τα κύρια συστατικά των τεκτονιτών, οι χαρζβουργίτες θεωρούνται δύστηκτα υπολείμματα της μερικής τήξης του αρχικού μανδυακού υλικού το οποίο είναι το πιθανότερο λερζόλιθος. Ο Ol και ο Opx είναι οι κύριες ρευστές φάσεις στα βονιτιτικά μάγματα σε σύγχρονες ζώνες υπαγωγής και σε πολλά οφιολιθικά συμπλέγματα και αναμένεται ότι κατά την εξέλιξη του βονιτιτικού μάγματος θα παραχθεί χαρζβουργίτης.



Εικόνα 6 Διάγραμμα με τα υπερμαφικά πετρώματα (πηγή : alexsterkeisen.it).



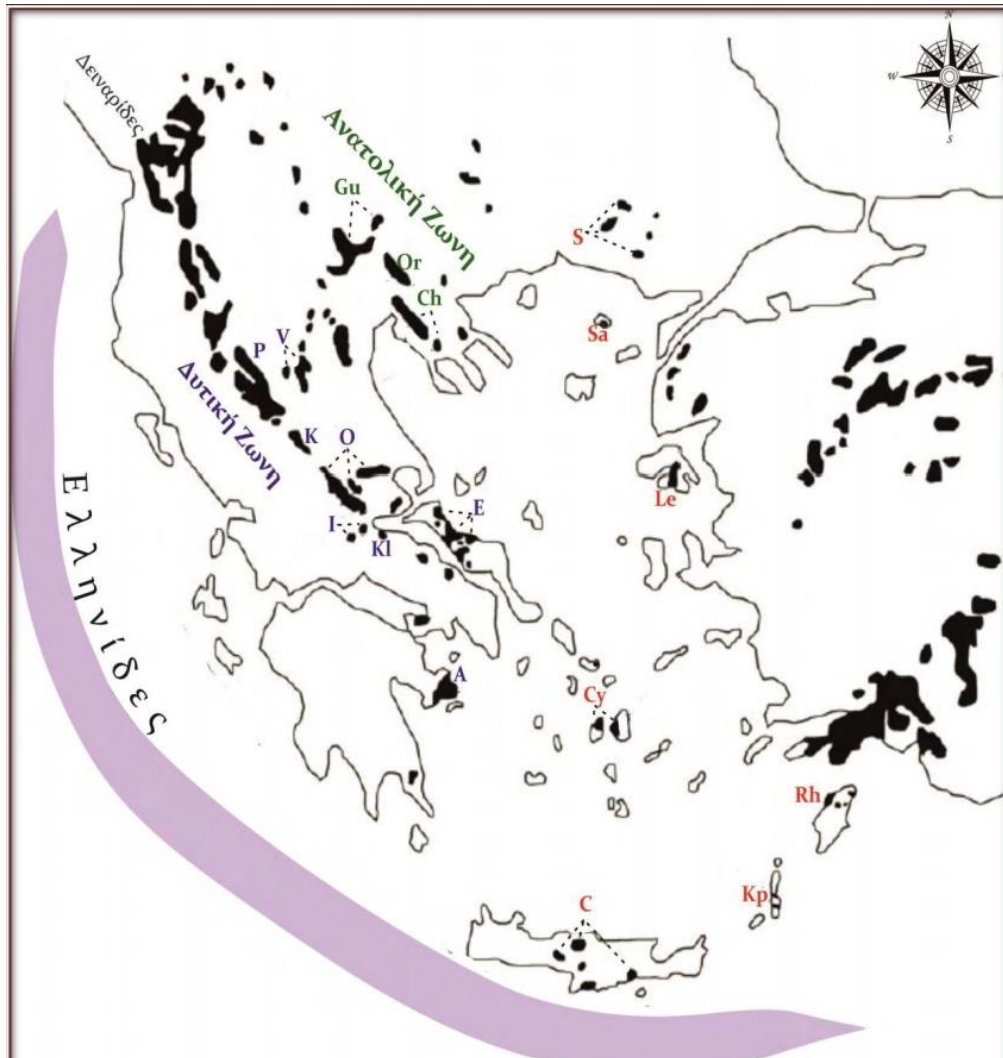
Εικόνα 7 Χαρζβουργίτης περιοχής Ερέτριας.

Το οφιολιθικό σύμπλεγμα της Όθρυος εκπροσωπεί μαζί με αυτό της Πίνδου παραπάνω από ένα τεκτονικό περιβάλλον καθώς οι βασάλτες τους παρουσιάζουν τόσο συγγένεια με βασάλτες μεσωκεάνιας ράχης όσο και με βασάλτες νησιώτικου τόξου (PEARCE ET AL., 1984, JONES & ROBERTSON, 1991).

Παρατηρώντας τα διάφορα οφιολιθικά συμπλέγματα του ελλαδικού χώρου, θα δούμε ότι εμφανίζονται σε ασυνεχείς τοξοειδείς ζώνες (NICOLAS & JACKSON, 1972). Η κατανομή τους είναι κυρίως σε 2 βασικές ζώνες, την ανατολική και την δυτική με γενική διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ. Η διάκριση αυτή γίνεται τόσο από γεωγραφικής άποψης όσο και από πετρολογικής, γεωχημικής, γεωλογικής άποψης. Οι εν λόγω ζώνες διαχωρίζονται από την Πελαγονική ζώνη που αποτελεί το όριο μεταξύ Εσωτερικών και Εξωτερικών Ελληνίδων.

Στην δυτική ζώνη τα σημαντικότερα οφιολιθικά συμπλέγματα βρίσκονται στις περιοχές της Πίνδου (RASSIOS 1991; SACCANI & PHOTIADES, 2004) του Βούρινου (RASSIOS & SMITH, 2000), της Όθρυος (RASSIOS & KONSTANTOPOULOU, 1993; BARTH et al., 2008), της Εύβοιας (GARTZOS et al., 1990; DANELIAN & ROBERTSON, 2001), της Καστοριάς (MOUNTRAKIS, 1982; 1984; 1986), του Κόζιακα (POMONIS et al., 2002; POMONIS et al., 2005; 2007), της Οίτης (KAPIRI et al., 2006; 2007), του Βέρμιου (ECONOMOU, 1983; SACCANI et al., 2008) και της Αργολίδας (HATZIPANAGIOTOU, 1990; CLIFT & DIXON, 1998).

Στην ανατολική ζώνη, οι κυριότερες οφιολιθικές εμφανίσεις είναι αυτές της Γευγελής, της Κεντρικής Χαλκιδικής, του Ωραιοκάστρου, της Κασσάνδρας και της Σιθωνίας (BEBIEN et al., 1986; MUSSALLAM, 1991; SARIC et al., 2009)



Εικόνα 8 Χάρτης της Ελλάδας με τις κύριες οφιολιθικές εμφανίσεις (A: Αργολίδα, C: Κρήτης, Ch: Χαλκιδική, Cy: Κυκλάδες, E: Εύβοια, Gu: Γευγελή I: Οίτη, K: Κόζιακας, Kl: Καλλίδρομο, Kp: Κάρπαθος, Le: Λέσθος, O: Όθρυς, Or: Ωραιόκαστρο, P: Πίνδος, Rh: Ρόδος, S: Σουφλί, Sa: Σαμοθράκη, V: Βούρινος) από ΚΟΕΡΚΕ et al.(1985)

Στην δυτική ζώνη οι οφιόλιθοι περιλαμβάνουν πετρώματα όπως λερζόλιθοι, πλαγιοκλαστομιγείς χαρζβουργίτες, γάββρους και ολιβινικούς θολεΐτες. Στην ανατολική ζώνη παρατηρούνται κυρίως χαρζβουργίτες δουνίτες δηλαδή πετρώματα πλούσια σε ολιβίνη και πλαγιόκλαστα. Η ανατολική ζώνη λοιπόν απαρτίζεται από ένα πιο απεμπλουτισμένο υπολειμματικό μανδυακό υλικό σε αντίθεση με την δυτική ζώνη που προέρχεται από εμπλουτισμένο μανδύα (BEBIEN et al., 1980)

	ΤΥΠΟΣ Ι (δυτική ζώνη)	ΤΥΠΟΣ ΙΙ (ανατολική ζώνη)
Μανδουακή Σειρά		
Τεκτονίτες	Πλαγιокλαστικοί λερζόλιθοι	Χαρτσβουργίτες Δουνίτες Χρωμίτες
Μαγματική Σειρά		
Σωρείτες	Πλαγιокλαστικοί Χαρτσβουργίτες Λερζόλιθοι	Λερζόλιθοι Βερλίτες Δουνίτες Χρωμίτες
Ζώνη Μεταβάσεως	Τροκτόλιθοι (Plg+Ol)	Πυροξενίτες
Γάββροι	Γάββροι με κλινοπυρόξενους (σιδηρογάββροι)	Νορίτες Ολιβινικοί γάββροι Διορίτες
Πλαγιογρανίτες	(σπάνιοι)	(σπάνιοι)
Υποφαισίτες	Φλέβες (σπάνιες) Συμπαγείς θολεϊτικοί δολερίτες	Σμήνος φλεβών καλά ανεπτυγμένο, συχνά ασβεσταλκαλικής σύστασης
Ηφαισίτες	Θολεΐτες με ολιβίνη	Θολεΐτες με χαλαζία

Εικόνα 9 Πετρολογική διάκριση των διαφόρων οφιολιθικών συμπλεγμάτων του ελλαδικού χώρου (ROCCI et al., 1997).

1.1.3 ΜΕΤΑΛΛΟΦΟΡΙΕΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Στην ευρύτερη περιοχή της Ερέτριας υπάρχει μια κύρια μεταλλοφορία από πυρίμαχο τύπου χρωμίτη (υψηλό ποσοστό σε Al_2O_3) και εμφανίσεις θειούχων μεταλλευμάτων. Τα χρωμικά κοιτάσματα συναντώνται σε μικρούς φακούς μέσα στον σερπεντινίτη και κυμαίνονται από 0.1 έως 5m σε πάχος και από 2 έως 30m σε μήκος (PANAGOS 1965; MASTORIS 1979). Στην περιοχή Μαύρο η σχέση μεταξύ χρωμίτη-μαγνητίτη-σουλφιδίων παρατηρείται σε μικρά σώματα κυρίως στην περιφέρεια μεγαλύτερων χρωμιτικών σωμάτων μέσα στον σερπεντινιωμένο χαρζβουργίτη, ενώ η μεταξύ τους σχέση μεταβάλλεται ποσοτικά.

Industry	YOSHIKI(1959)	NAMEISHI(1977)
metal	Cr ₂ O ₃ > 48wt%, high Cr/Fe ratio	Cr ₂ O ₃ > 48%
refractory	high Cr ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃ content	Cr ₂ O ₃ > 30%
chemics	high Cr ₂ O ₃ content, low SiO ₂ and Al ₂ O ₃ content	Cr ₂ O ₃ > 40%

Εικόνα 10 Ταξινόμηση χρωμιτών ανάλογα με την ορυκτολογική τους σύσταση

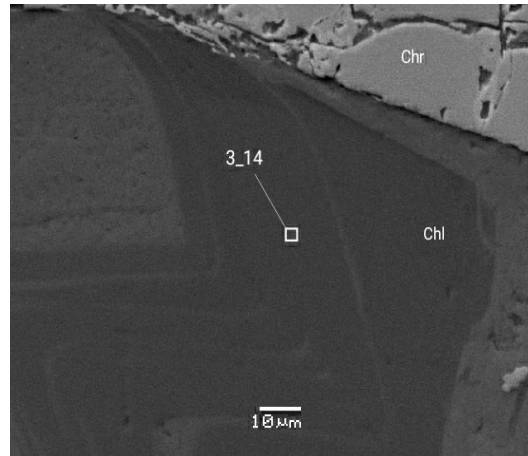
Η Ερέτρια δεν είναι βέβαια η μόνη περιοχή στην οποία έχουν βρεθεί σημαντικές ποσότητες από χρωμίτη. Από τις πιο γνώστες ίσως εμφανίσεις κοιτασμάτων χρωμίτη στην ευρύτερη περιοχή της Όθρυς αποτελεί ο Δομοκός που αποτελεί την δεύτερη μεγαλύτερη σε εκμετάλλευση πηγή χρωμίτη στον ελλαδικό χώρο μέχρι 1986 όπως είχε αναπαραστήσει η κα. Οικονόμου σε πίνακα που παρατίθεται παρακάτω.

Θέση	Συνολική παραγωγή (t)	Ετήσια παραγωγή (t)	Αποθέματα (t)
Ερέτρια (Όθρυς) ¹	800.000	18.000	120.000
Δομοκός (Όθρυς) ¹	450.000		600.000
Ξερολίβαδο (Βούρινος)	230.000 ³	40.000 ³	1.700.000 ²
Βοϊδόλακκος (Βούρινος) ¹	25.000		
Ροδιανή (Βούρινος) ¹	45.000	5.000	
¹ Πυρίμαχος τύπος	40% Cr ₂ O ₃		
² Μεταλλουργικός τύπος	25% Cr ₂ O ₃		
³ Εμπλουτισμένο μέταλλευμα	51% Cr ₂ O ₃		

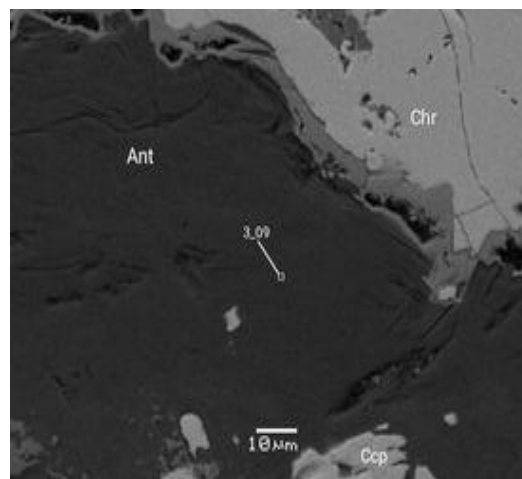
Εικόνα 11 Αποθέματα χρωμιτικών κοιτασμάτων (ECONOMOU ET AL., 1986)

Στην περιοχή αναπτύσσονται 3 θέσεις από τις οποίες παλαιότερα γινόταν εξόρυξη του χρωμίτη. Η πρώτη θέση είναι το μεταλλείο Μαύρο που αναφέρεται ήδη από προηγούμενους επιστήμονες ενδεικτικά οι Μ. Οικονόμου (1981,1982) και Μ. Οικονόμου - Α.Naldrett (1984), ενώ σχετική εργασία δημοσιεύει και η Ε. Δήμου εκ μέρους του ΙΓΜΕ. Όπως έχει ήδη αναφερθεί η θειούχος μεταλλοφορία βρίσκεται στα περιθώρια των χρωμιτικών σωμάτων, σε άλλες περιπτώσεις βρίσκονται να επιπλέουν μέσα σε θεμελιώδη μάζα αποτελούμενη από δευτερογενή πυριτικά ορυκτά όπως σερπεντίνης (εικ. 12,13). Στην εικόνα 12 διαφαίνεται θεμελιώδης μάζα από χλωρίτη, ενώ στην εικόνα 13 διαφαίνεται αντιγορίτης ως θεμελιώδης μάζα και οξείδια του σιδήρου στο περιθώριο του χρωμίτη. Η θειούχος εμφάνιση έχει υψηλή περιεκτικότητα σε χαλκό και ενώ παρουσιάζει μικρότερη αλλά εξίσου ασυνήθιστη για

το είδος της εμφάνισης περιεκτικότητα σε Ni-Co. Το πιο σύνηθες ορυκτό της εν λόγω μεταλλοφορίας είναι ο χαλκοπυρίτης (CuFeS_2) και ο πυρροτίτης (FeS). Ακολουθούν ορυκτά όπως πεντλανδίτης, βαλλερίτης και κοβελίνης ενώ σε ακόμη μικρότερες ποσότητες βρίσκονται οι σφαλερίτης, ιλβαΐτης, μακκινάβιτης, κουβανίτης και μιλλερίτης (Ε. Δήμου, 1990). Στις θέσεις Καστράκι και χωριό Ερέτρια εντοπίζονται και αρσενίδια και αντιμονούχα ορυκτά που εκλείπουν από την θέση της κύριας μεταλλοφορίας στο Μαύρο.



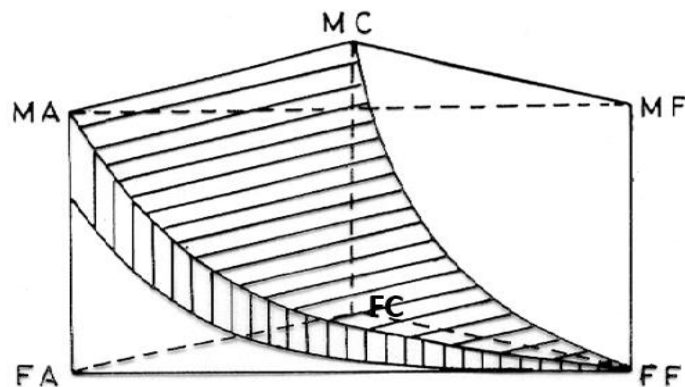
Εικόνα 12 Θεμελιώδης μάζα από χλωρίτη (Chr: χρωμίτης, Chl: χλωρίτης)



Εικόνα 13 Τεκτονικές δομές σε αντιγορίτη (Ant: αντιγορίτης, Csp: χαλκοκυρίτης, Chr: χρωμίτης)

1.2 ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΧΡΩΜΙΤΗ ΚΑΙ ΟΙ ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ

Ο χρωμίτης είναι ένα ορυκτό αρκετά διαδεδομένο σε πολλά σημεία του ηπειρωτικού φλοιού που έχει ωστόσο μαγματική προέλευση. Ο χημικός τύπος του χρωμίτη είναι $(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})(\text{Cr}, \text{Al}, \text{Fe}^{3+})_2\text{O}_4$ ενώ σαν ιχνοστοιχεία μπορεί να έχει V, Ti, Mn, Ni, Zn, Co, PGE . Ο χρωμίτης είναι το μόνο ορυκτό από το οποίο γίνεται ανάκτηση χρωμίου, ενώ μπορεί να σχηματίσει μεγάλα κοιτάσματα σε εστρωμένες διεισδύσεις που αποτελεί την κύρια πηγή χρωμίτη που φτάνει το 80% και ακολουθούν σε οφιολιθικά συμπλέγματα, τα κοιτάσματα τύπου Αλάσκας και τα κοιτάσματα σε Κοματίτες.



FC	$\text{Fe}^{2+}\text{Cr}_2\text{O}_4$	χρωμίτης
MC	MgCr_2O_4	μαγνησιοχρωμίτης
FA	$\text{Fe}^{2+}\text{AlO}_4$	σιδηροσπινέλιος
MA	MgAl_2O_4	σπινέλιος
FF	$\text{Fe}^{2+}\text{Fe}_2^{3+}\text{O}_4$	μαγνητίτης
MF	$\text{MgFe}_2^{3+}\text{O}_4$	μαγνησιοφερρίτης

Εικόνα 14 Τριγωνικό διάγραμμα κατά Stevens (πηγή: κοιτασματολογία, eclass. uoa)

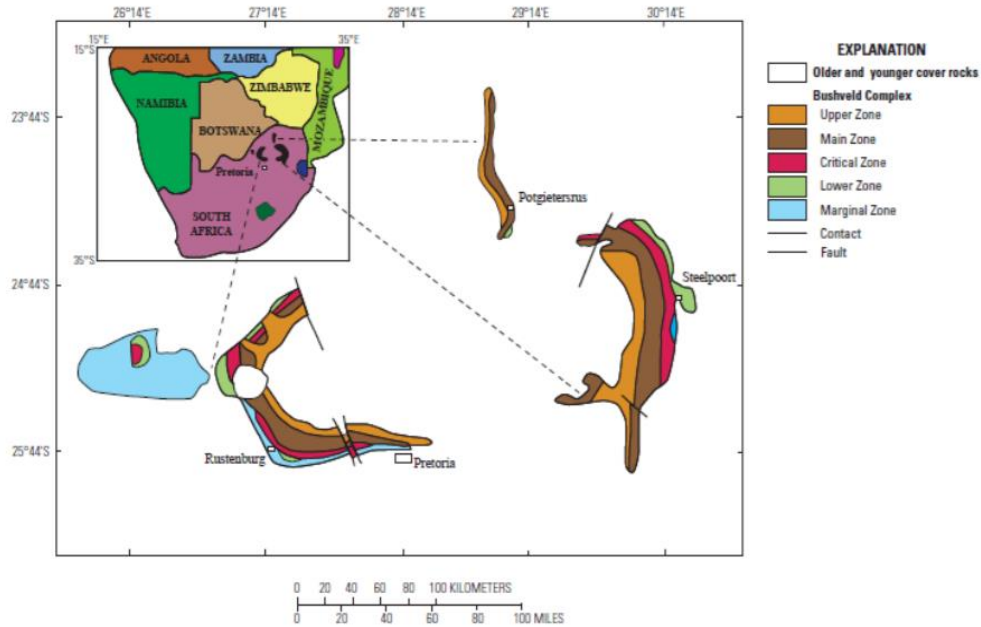


Εικόνα 15 Στρώσεις χρωμίτη μέσα σε περιδοτίτη



Εικόνα 16 Συμπαγής περιδοτίτης (αρχείο συγγραφέα)

Τα μεγαλύτερα κοιτάσματα χρωμίτη όπως αναφέρθηκε και παραπάνω βρίσκονται, υπό μορφή εστρωμένων διεισδύσεων με πιο χαρακτηριστικά κοιτάσματα τα Bushveld Complex SA, Stillwater Complex USA και το Great Dyke ZI, σε κρατονικές μάζες αρχαϊκής ηλικίας (2500 Ma). Το Bushveld αποτελεί την μεγαλύτερη ενστρωμένη διείσδυση στην γη και είναι κύρια πηγή χρωμίου (Cr), βαναδίου (V) και PGE. Αποτελείται από 4 κύριες ζώνες οι οποίες περιγράφονται στο παρακάτω γράφημα με την πιο γνώστη να αποτελεί η κρίσιμη ζώνη με τους χρωμιτικούς ορίζοντες LG6 και οι ορίζοντες Merensky και UG-2 πλούσιοι σε PGE.



Εικόνα 17 Απλοποιημένος χάρτης του συμπλέγματος του Bushveld (Cawthorn, 2007).

Βασική διάκριση που κατατάσσει τον χρωμίτη σε υποκατηγορίες αποτελεί ο ιστός του μεταλλεύματος που τον διακρίνει σε :

- I. Διάσπαρτο τύπου ιστό με διάσπαρτους κόκκους χρωμίτη σε ποσοστό 5-10%
- II. Συμπαγής τύπος
- III. Συμπαγής τύπος υπό μορφή στρωμάτων αναφέρεται ως “πλάκες χρωμίτη”
- IV. Ταινιωτός τύπος με εναλλαγές χρωμίτη περιδοτίτη
- V. Τύπος λεοπάρδαλης, όπου η μορφή του χρωμίτη είναι σφαιροειδής ή ελλειψοειδής και απαντάται σε συγκεντρώσεις μέσα σε περιδοτίτη (N. ΣΚΑΡΠΕΛΗΣ, Εισαγωγή στην κοιτασματολογία)



Εικόνα 18 Α) στρωματοειδής χρωμίτης συμπαγούς τύπου, Bushveld SA. Β) Χρωμίτης με χαρακτηριστικό ιστό τύπου λεοπάρδαλης (πηγή: orgka.gr)

Ανάλογα με το ποσοστό συμμετοχής χρωμίτη διακρίνονται διάφοροι τύποι πετρωμάτων όπως προκύπτει από τον παρακάτω πίνακα σύμφωνα με τον κύριο Σκαρπέλη.

Δουνίτης	<	5% χρωμίτης
Χρωμιτοφόρος δουνίτης	<	5 – 50% "
Ολιβινικός χρωμιτίτης	<	50 – 90% "
Χρωμιτίτης	>	90% "

Εικόνα 19 Πίνακας με τα ποσοστά συμμετοχής χρωμίτη στο εκάστοτε πέτρωμα

Οι χρήσεις του χρωμίτη ποικίλουν ανάλογα με την χημική του σύσταση. Όπως προαναφέρθηκε από τον χρωμίτη κάνουμε ανάκτηση χρωμίου (Cr) το οποίο προσδίδει ανθεκτικότητα στο κράμα που συμμετέχει όπως αντοχή σε οξείδωση, διάβρωση και αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες. Ανάλογα με τη χρήση του χρωμίτη που καθορίζεται από τα χημικά χαρακτηριστικά του έχουμε επιμέρους τύπους μεταλλεύματος που διακρίνονται στις εξής ομάδες :

1. Μετάλλευμα μεταλλουργικού τύπου. Ανέρχεται στο 65-75% της παγκόσμιας κατανάλωσης. Χρησιμοποιείται στην παραγωγή κραμάτων σιδηροχρωμίου και εν τέλει για την παραγωγή χάλυβα. Για να θεωρηθεί μεταλλουργικού τύπου πρέπει το Cr_2O_3 να υπερβαίνει το 46%.
2. Μετάλλευμα πυρίμαχου τύπου. Χρησιμοποιείται στην κατασκευή πυρίμαχων υλικών. Το ποσοστό του Cr_2O_3 κυμαίνεται από 30-40%
3. Μετάλλευμα χημικού τύπου. Χρησιμοποιείται στην βιομηχανία χρωστικών και την βυρσοδεψία με ποσοστό $Cr_2O_3 > 44%$. (N. Σκαρπέλης, Εισαγωγή στην κοιτασματολογία)
- 4.

Ο παρακάτω πίνακας ουσιαστικά παρουσιάζει τα χημικά χαρακτηριστικά κάθε τύπου μεταλλεύματος

	Cr_2O_3	Cr/Fe	SiO_2
Μεταλλουργικός	>46%	>3/1	<10%
Πυρίμαχος	30-40%	2-2.5/1	6%
Χημικός	>44%	>1.5/1	<3.5%

Εικόνα 20 Ταξινόμηση χρωμίτη ανάλογα με την χημική του σύσταση

2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΕΔΟΙ

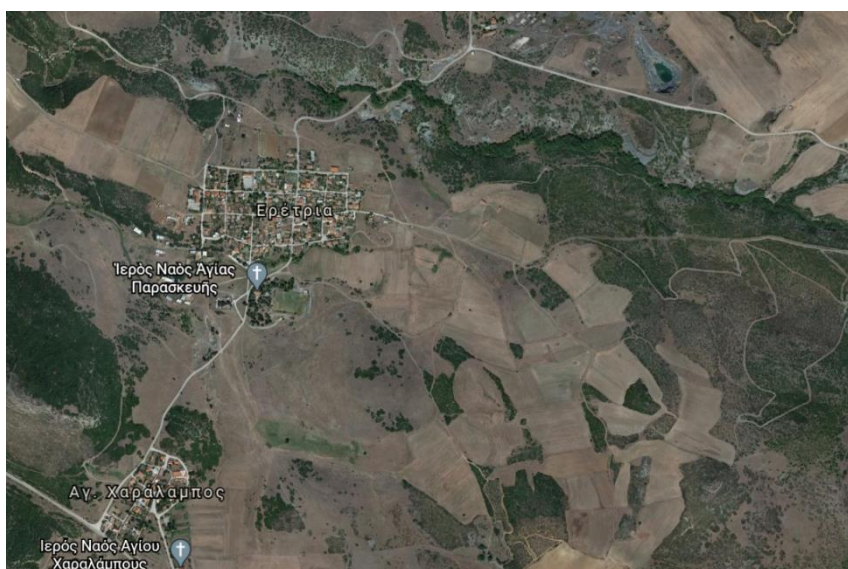
2.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Κατά την άσκηση υπαίθρου συλλέχθηκαν τα δείγματα που θα αναλυθούν παρακάτω. Εν συνεχεία τα δείγματα φωτογραφήθηκαν και ξεκίνησαν οι διαδικασίες κοπής τους και δημιουργίας μεταλλογραφικών δοκιμίων. Στα 8 δείγματα που συλλέχθηκαν και κόπηκαν σε επιμέρους κομμάτια έγινε μια πρώτη λείανση με γυαλόχαρτο ώστε να αναδείχνουν τυχόν εμφανίσεις του μεταλλεύματος που δεν ήταν ορατές πριν από την παραπάνω διαδικασία. Το μόνο δείγμα που τελικά περιείχε εμφανή θειούχα ορυκτά ήταν το δείγμα Δ6 το οποίο υπέστη περαιτέρω επεξεργασία για την τελική παρασκευή 6 δοκιμίων, με σκοπό την ορυκτολογική, ορυκτοχημική και πετρολογική μελέτη τους. Για την κατασκευή των δοκιμίων χρησιμοποιήθηκε κλειστού τύπου μηχάνημα υγρής κοπής και στην συνέχεια χρησιμοποιήθηκε δεύτερο κοπτικό με αδαμαντοτροχό για την πιο ακριβή κοπή των δειγμάτων. Στην συνέχεια έγινε εμποτισμός των δοκιμίων με υποξική ρητίνη για την δημιουργία στιλπνών τομών. Εν συνεχεία του εμποτισμού οι τομές στιλβώθηκαν με αδαμανταλοιφή σε σύστημα στίλβωσης λείανσης τύπου Rotorol Struers, σε 4 στάδια με μέγεθος κόκκου αδαμανταλοιφής 6μm, 3μm, 1μm, 1/4μm αντίστοιχα. Για την μελέτη των μεταλλογραφικών δοκιμίων χρησιμοποιήθηκε πολωτικό μικροσκόπιο Primo Star HAL της ZEISS. Έπειτα από την μελέτη των δειγμάτων σε πολωτικό μικροσκόπιο επιλέχθηκαν τα 2 πιο αντιπροσωπευτικά και μετά από την επιμετάλλωση του με καθαρό γραφίτη πραγματοποιήθηκαν οι σημειακές αναλύσεις. Για τις ηλεκτρονικές μικροαναλύσεις χρησιμοποιήθηκε SEM-EDS. Οι παρατηρήσεις και φωτογραφίες SEM πραγματοποιήθηκαν με χρήση αναλυτικού ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης τύπου JEOL JSM-5600 σε συνδυασμό με σύστημα για στοιχειακή ηλεκτρονική μικροανάλυση [EPMA] με φασματομέτρο ακτινών X διασποράς ενέργειας [EDS] τύπου OXFORD LINK ISIS 300. Διορθώσεις ZAF έγιναν με ειδικό πρόγραμμα της JEOL. Οι συνθήκες λειτουργίας του οργάνου ήταν: Τάση δέσμης ηλεκτρονίων 20kV, ένταση 0.5nA και 50s χρόνο ανάλυσης [dead time].

Όλες οι εργαστηριακές και αναλυτικές διαδικασίες πραγματοποιήθηκαν στα εργαστήρια των Τομέων Οικονομικής Γεωλογίας και Γεωχημείας και Ορυκτολογίας και Πετρολογίας του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Ε.Κ.Π.Α.

2.3 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΥΠΑΙΘΡΟΥ

Τα ορυχεία της Ερέτριας χτίστηκαν μέσα στον οφιόλιθο της Ανατολικής Όθρυος και αναπτύχθηκαν σε τρεις περιοχές (Μαύρο, Καστράκι και Κεδροράχη). Το χωριό βρίσκεται στις συντεταγμένες (φ): $39^{\circ}17'44''\text{N}$, (λ): $22^{\circ}36'53''$. Πιο συγκεκριμένα τα ορυχεία “φιλοξενούνται” μέσα σε έντονα κατακερματισμένο και γεμάτο ασυνέχειες σερπεντινωμένο περιδοτίτη. Το κάλυμμα επώθησης εκτείνεται σε μια περιοχή 8km^2 και πάχος κάτι λιγότερο από 100m (ECONOMOU AND NALDRETT, 1984). Στην περιοχή της Ερέτριας παρατηρείται φλύσχης Α. Κρητιδικού-Ηωκαίνου και οφιολιθικές λάβες να υπέρκεινται του περιδοτίτη, ενώ με την σειρά του αυτός υπέρκειται σχιστόλιθου πιθανώς του Ιουρασικού (ΚΟΥΤΣΟΒΙΤΙΣ, 2009) ενώ οι περιοχές με τα χαμηλότερα υψόμετρα χαρακτηρίζονται από τεταρτογενείς αποθέσεις.



Εικόνα 21 Άποψη του χωριού Ερέτρια από το google earth

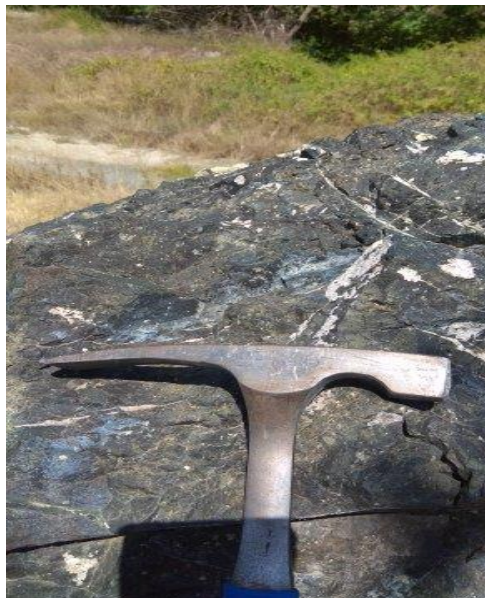
Το πέτρωμα που φιλοξενεί το μέταλλευμα χρωμίτη είναι ένας πράσιнос έντονα σερπεντινωμένος χαρζβουργίτης επηρεασμένος από τεκτονική καταπόνηση με αποτέλεσμα να γίνεται ιδιαίτερα σαθρός. Επίσης εμφανίζει επιφάνειες σχιστότητας με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ και βύθιση ΝΔ (Α.ΚΑΨΙΟΤΙΣ, ET AL, 2019).

Σε μια περιοχή λίγο έξω από το χωριό με συντεταγμένες $39^{\circ}17'29''\text{N}$, $22^{\circ}36'45''$ βρέθηκε εμφάνιση του σερπεντινίτη που καλύπτεται από νεογενή ιζήματα χωρίς να φαίνεται κάποιου είδους μεταλλοφορία. Επιπροσθέτως παρατηρούνται ρωγμές στο πέτρωμα που έχουν πληρωθεί δευτερογενώς με ορυκτά της ομάδας του σερπεντίνη και συγκεκριμένα χρυσοσίλη (εικ. 22).



Εικόνα 22 Σερπεντινωμένος χαρζβουργίτης που φιλοξενεί το μετάλλευμα του χρωμίτη με φλέβες από χρυσοσίτη(δεξιά)

Στην ευρύτερη περιοχή που περιλαμβάνει τις τρεις προαναφερθείσες χρωμιτοφόρες περιοχές(Μαύρο, Καστράκι και Κεδροράχη) δεν βρέθηκε σε φυσική ή τεχνητή τομή μέρος της μεταλλοφορίας λόγω της έντονης αποσάθρωσης, διάβρωσης και έντονης μεταλλευτικής δράσης που αναπτύχθηκε για πάνω από ένα αιώνα. Όλα τα πετρώματα στην περιοχή έχουν πλήρως σερπεντινωθεί εκτός από μια πολύ μικρή εμφάνιση που διατηρεί κάποια πρωτογενή ορυκτά όπως οι ορθοπυρόξεντοι με θέση $39^{\circ}17'56$ N, $22^{\circ}37'06''$ E(εικ. 23).



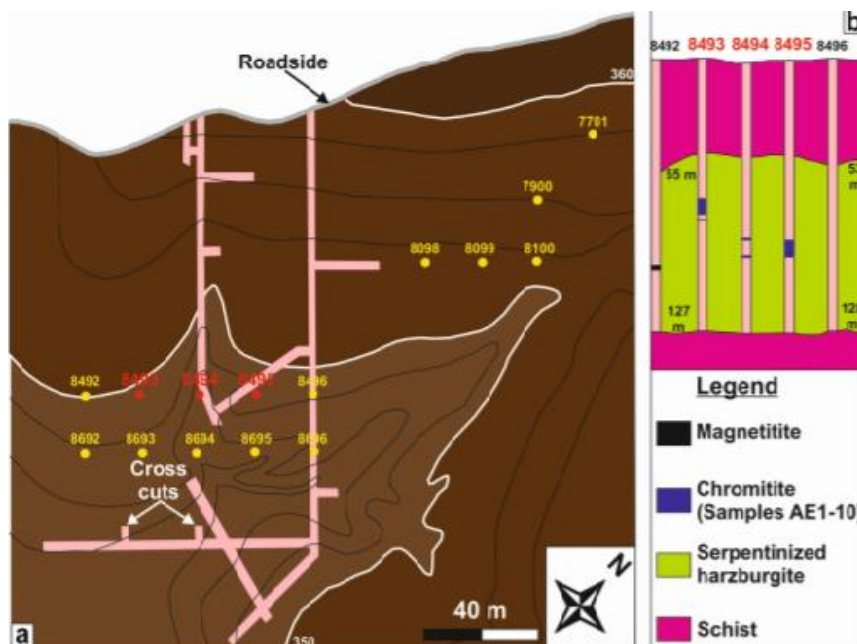
Εικόνα 23 Σερπεντινίτης που διατηρεί ορισμένα πρωτογενή ορυκτά.

Τα δείγματα της μελέτης πάρθηκαν από μια περιοχή με συντεταγμένες 39°18'03''N, 22°37'22''E όπου βρέθηκαν διαφόρων μεγεθών χρωμικά σώματα με, ενώ ένα από αυτά φέρει εξωτερικά και οξειδία του χαλκού με πράσινα χρώματα.



Εικόνα 24 Περιοχή δειγματοληψίας(αριστερά), τυπικό δείγμα χρωμίτη από την περιοχή της Ερέτριας(δεξιά)

Η πλειοψηφία των χρωμικών σωμάτων στο μεταλλείο Μαύρο βρίσκονται σε δυο ζώνες με διεύθυνση ΔΝΔ-ΑΒΑ και Β-Ν. Γεωλογικές τομές δείχνουν ότι η μηχανική συγκέντρωση των χρωμικών σωμάτων διευκολύνθηκε από τον τεκτονισμό και τις παραμορφωτικές δομές απόρροια αυτού. Αυτό επιβεβαιώνεται και από παλιούς χάρτες που απεικονίζουν έντονα μυλοντυωμένα μεταλλοφόρα σώματα παγιδευμένα σε ζώνες διάρρηξης(Karsiotis et al., 2019)

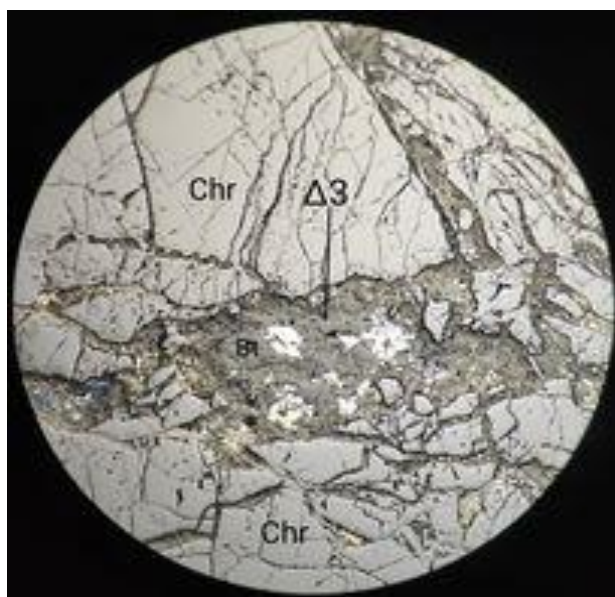


Εικόνα 25 a) απλοποιημένος χάρτης των ορυχείων της Ερέτριας(Μαύρο). b) Εγκάρσια τομή που απεικονίζουν τα αποτελέσματα της γεώτρησης στην περιοχή μελέτης (ECONOMOU AND NALDRETT (1984)).

2.4 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΝΑΛΥΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

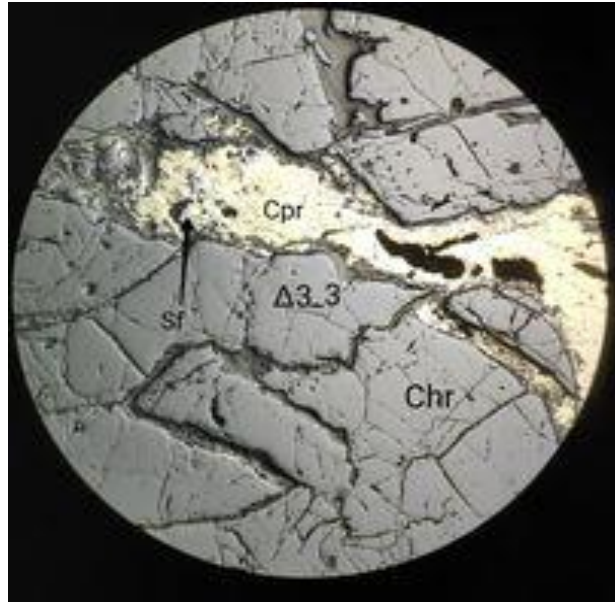
2.4.1 ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΜΕ ΜΕΤΑΛΛΟΓΡΑΦΙΚΟ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ

Σε μακροσκοπική κλίμακα οι χρωμίτες παρουσιάζουν ιδιαίτερη μονοτονία και ομοιομορφία με μαύρα και μαύρο-καφέ χρώματα. Σε μικροσκοπική κλίμακα παρουσιάζουν αντίστοιχη μονοτονία με σκούρο γκρι χρώμα να επικρατεί στο σύνολο των δειγμάτων από την περιοχή της Ερέτριας όπως διαφαίνεται και στην παρακάτω εικόνα, όπου ξεχωρίζει ο έντονα θραυσμένος χρωμίτης με δευτερογενή πυριτικά και θειούχα ορυκτά κατά μήκος ασυνεχειών.



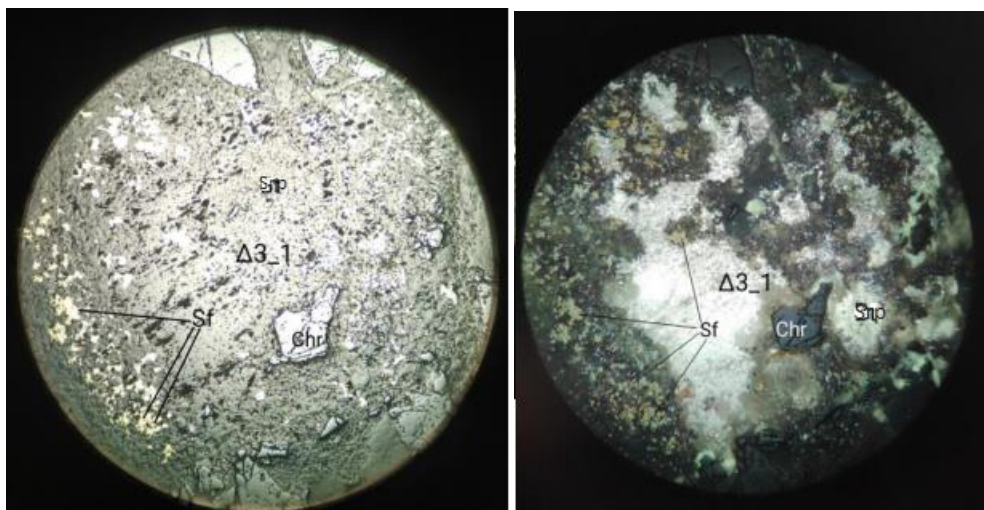
Εικόνα 26 Δείγμα Δ3 σε μεταλλογραφικό μικροσκόπιο (αρχείο συγγραφέα)

Το δείγμα που παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον από το σύνολο των δειγμάτων που συλλέχθηκαν από το ύπαιθρο είναι το Δ3 το οποίο φέρει εμφάνιση των σουλφιδίων μέσα σε ασυνέχειες. Αυτή η υπόθεση επιβεβαιώθηκε και με την παρατήρηση των επί μέρους δειγμάτων σε μεταλλογραφικό μικροσκόπιο. Από το Δ3 δημιουργήθηκαν 6 επιμέρους δείγματα τα οποία αναλύθηκαν στο μικροσκόπιο. Το πιο χαρακτηριστικό δείγμα που περιλαμβάνει την θειούχο μεταλλοφορία αποτελεί το Δ3_3 που παρατίθεται στην παρακάτω φωτογραφία.



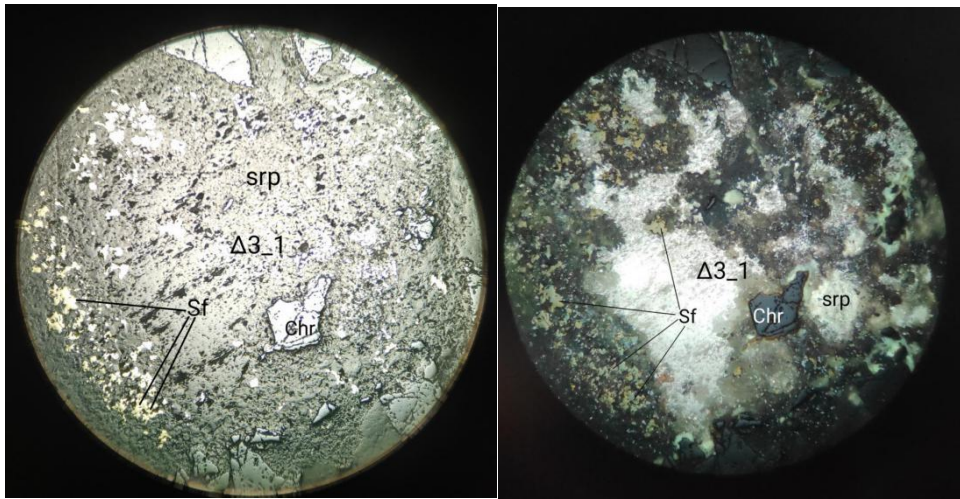
Εικόνα 27 Δείγμα Δ3_3 με θειούχο μεταλλοφορία (αρχείο συγγραφέα)(Sf:σουλφίδιο, Cpr: χαλκοπυρίτης, Chr: χρωμίτης)

Το πρώτο δείγμα Δ3_1 δεν περιλαμβάνει πληθώρα θειούχων ορυκτών, μονάχα κάποιους διάσπαρτους κόκκους κατά μήκος των διακλάσεων. Ο χρωμίτης είναι έντονα θραυσμένος με κατακλαστικό ιστό και έντονα μυλονιτωμένος. Η θεμελιώδης μάζα αποτελείται από θραύσματα χρωμίτη και δευτερογενή πυριτικά ορυκτά όπως ο χλωρίτης και ο αντιγορίτης. Επίσης υπάρχουν ορισμένοι κόκκοι χαλκοπυρίτη και θειούχου ορυκτού που θα αναλυθεί παρακάτω. Ο χρωμίτης σε διασταυρούμενα Nicols δεν παρουσιάζει εσωτερικές ανακλάσεις, σκούρα χρώματα εσωτερικής ανάκλασης παρουσιάζουν τα σουλφίδια με καστανά και πράσινα χρώματα ενώ τα πυριτικά παρουσιάζουν ποικίλα και έντονα χρώματα εσωτερικής ανάκλασης .

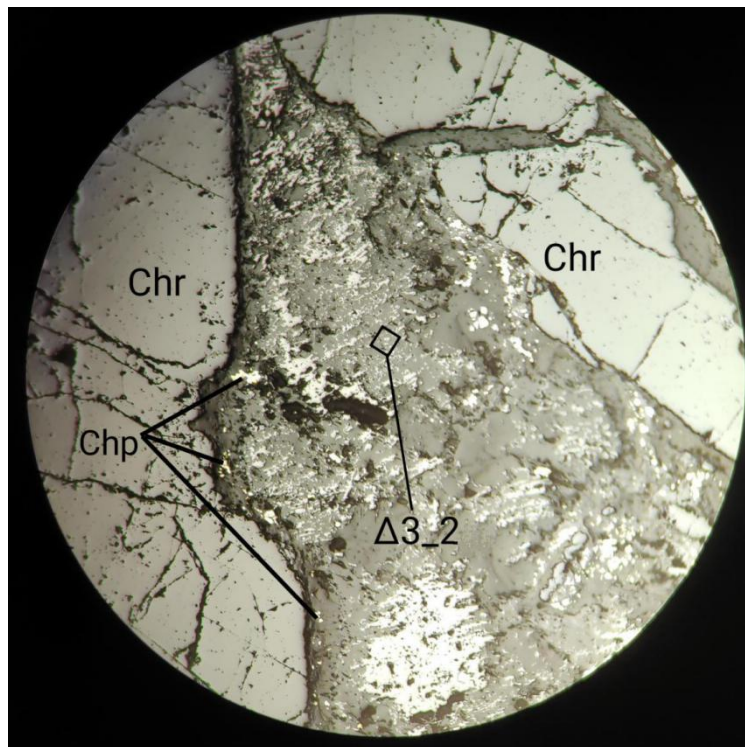


Εικόνα 28 Δείγμα Δ3_1 σε μεταλλογραφικό μικροσκόπιο. Ανακλώμενο πολωμένο φως σε παράλληλα Nicols (Αριστερά), σε διασταυρούμενα Nicols (Δεξιά) (αρχείο συγγραφέα) (Sf: σουλφίδιο, Chr: χρωμίτης, Srp: σερπεντίνης).

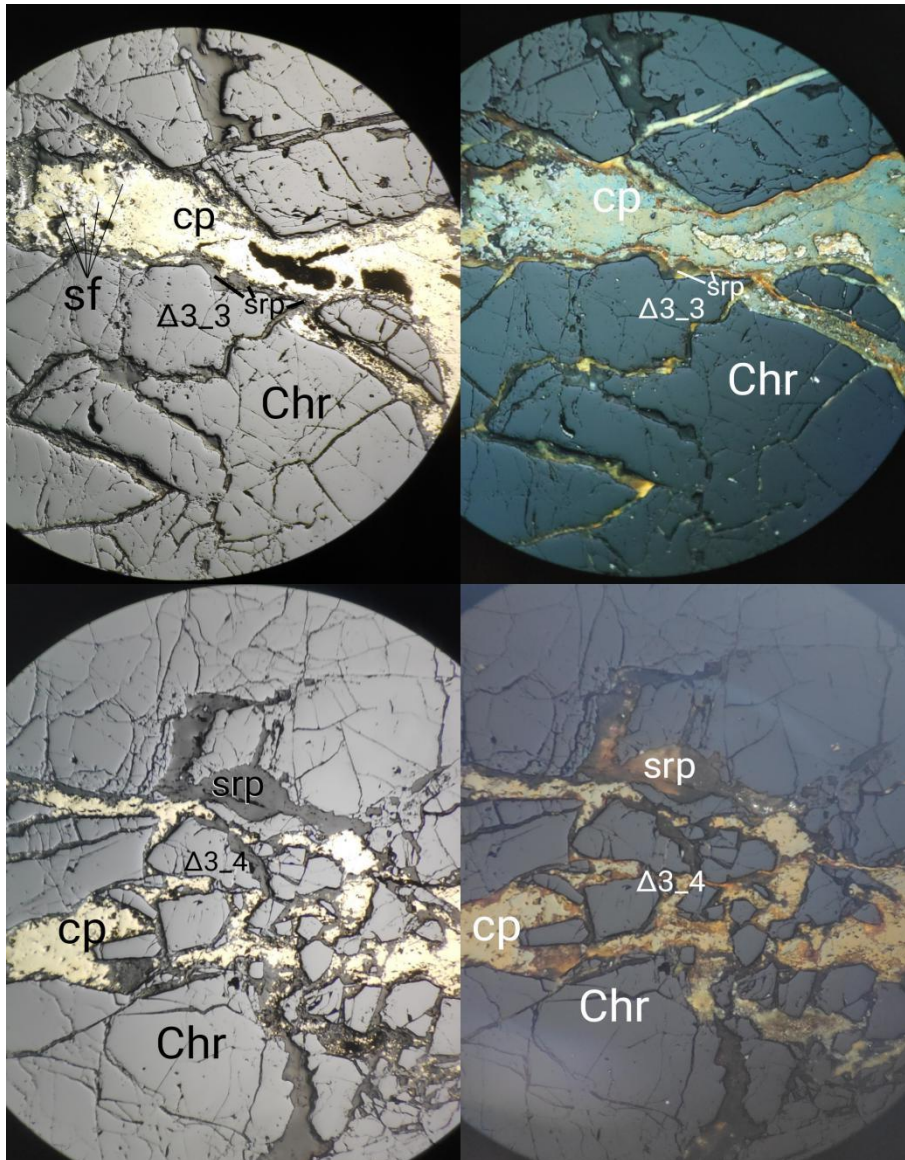
Το δείγμα Δ3_2 περιλαμβάνει την συνήθη παραγένεση χρωμίτη μαζί με σουλφίδια όπως χαλκοπυρίτης και πυριτικά ορυκτά ως θεμελιώδης μάζα όπως ο χλωρίτης και ο αντιγορίτης. Στα παράλληλα Nicols παρατηρούμε με γκρι χρώμα τους κρυστάλλους του χρωμίτη μέσα σε θεμελιώδη έντονα πορώδη μάζα. Με κίτρινο χρώμα παρατηρούμε τον χαλκοπυρίτη με ανοιχτό χρώμα το σουλφίδιο Sf. Οι πολλαπλές ανακλάσεις με κάθετα Nicols δίνουν κατά προσέγγιση τα ίδια συμπεράσματα ως προς την ορυκτοδιαγνωστική εικόνα με αυτή του δείγματος Δ3_1. Πιο συγκεκριμένα παρατηρούνται κρύσταλλοι χρωμίτη με σκούρα χρώματα χωρίς εσωτερικές ανακλάσεις, τα σουλφίδια εμφανίζουν σκούρα χρώματα εσωτερικής ανάκλασης που ποικίλουν από καστανά μέχρι σκούρο πράσινο. Τέλος η θεμελιώδης μάζα παρουσιάζει πληθώρα χρωμάτων έντονα στις περισσότερες περιπτώσεις. Στο δείγμα Δ3_2 παρατηρήθηκε έντονα πορώδης κρύσταλλος, μυλονιτωμένος ενώ πρόκειται για σύμφυση μεταξύ χρωμίτη και πυριτικού ορυκτού με έντονη κατάσβεση όπως διαφαίνεται και στις εικόνες 29,30. Η κατάσβεση παρατηρείται με κάθετα Nicols στο πυριτικό ορυκτό.



Εικόνα 29 Δείγμα Δ3_2 (αριστερά) σε παράλληλα Nicols, (δεξιά) σε κάθετα Nicols (αρχείο συγγραφέα)(Sf: σουλφίδιο, Srp: σερπεντίνη, Chr: χρωμίτης).



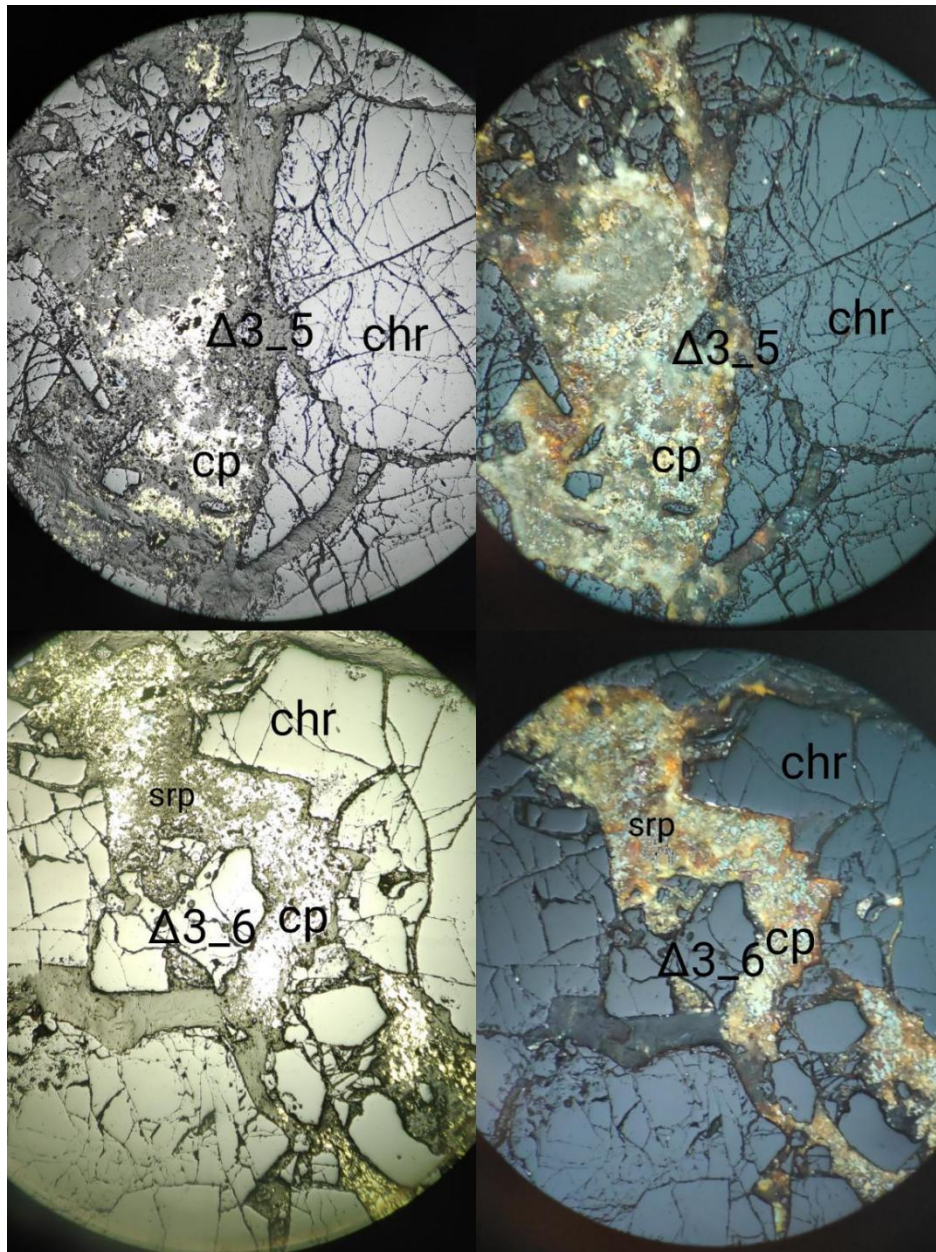
Εικόνα 30 Δείγμα Δ3_2 σε παράλληλα Nicols όπου διακρίνεται η σύμφυση που προαναφέρθηκε(αρχείο συγγραφέα)(Chr: χρωμίτης, Chp: χαλκοπυρίτης).



Εικόνα 31 Μεταλλογραφικές τομές Δ3_3 και Δ3_4 με παράλληλα Nicols (αριστερά) και κάθετα Nicols (δεξιά)(Chr: χρωμίτης, Srp: σερπεντίνης, Cp: χαλκοπυρίτης, Sf: σουλφίδιο).

Στο δείγμα Δ3_3 παρατηρείται μεταλλοφορία υπό μορφή φλέβας μέσα στον έντονα διαρρηγμένο χρωμίτη. Διακρίνονται ο χαλκοπυρίτης και σουλφίδιο Sf, ενώ περιβάλλεται γύρω από την εν λόγω φλέβα άλως από πυριτικά ορυκτά και πιο συγκεκριμένα πιθανότατα κάνουμε λόγο για βιοτίτη(Bt). Στα παράλληλα Nicols (A) διακρίνονται με σκούρα χρώματα τα πυριτικά ορυκτά ενώ στα κάθετα Nicols(B) παρατηρούνται με έντονα και ποικίλα χρώματα εσωτερικής ανάκλασης. Παρόμοια εικόνα παρουσιάζεται και στο δείγμα Δ3_4 με την διαφορά ότι είναι εμφανώς μεγαλύτερη η έκταση και η ένταση του κατακερματισμού του χρωμίτη.

Το δείγμα Δ3_4 παρουσιάζει μια περαιτέρω ιδιοτροπία καθώς περιλαμβάνει ένα νέο ορυκτό που δεν βρέθηκε στα παραπάνω δείγματα. Όπως φαίνεται λοιπόν στην παρακάτω εικόνα παρατηρούμε ένα ορυκτό μπλε χρώματος που πιθανώς να πρόκειται για σουλφίδιο και θα αναφερθεί .



Εικόνα 32 Μεταλλογραφικές τομές των δειγμάτων Δ3_5 και Δ3_6 σε παράλληλα Nicols (αριστερά) και σε κάθετα Nicols (δεξιά)(Chr: χρωμίτης, Srp: σερπεντίνης, Cp: χαλκοκυρίτης).

Στο δείγμα Δ3_5 έχουμε εμφάνιση μεταλλεύματος χλακοκυρίτη που περιβάλλεται από θεμελιώδη μάζα δευτερογενών πυριτικών ορυκτών μαζί με πορφυροκλάστες

πρωτογενούς χρωμίτη. Επίσης έχουμε εμφάνιση του μπλε σουλφιδίου. Παρατηρείται έντονα θραυσμένος και μυλονιτωμένος χρωμίτης. Το ίδιο μοτίβο εμφανίζεται και στο τελευταίο μας δείγμα με διακλάσεις που πληρώνονται από θειούχα ορυκτά κυρίως χαλκοπυρίτη και χρωμίτη με κατακλαστικό ιστό.

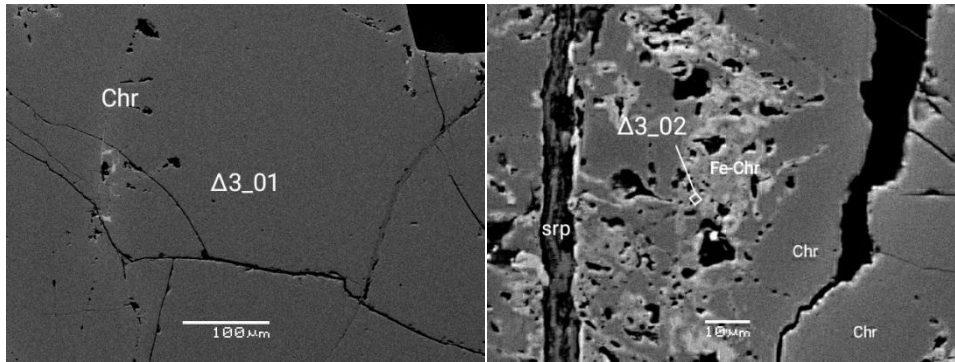
2.4.2 2.3.2 ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΜΕ ΗΛΕΚΤΟΝΙΚΟ ΜΙΚΡΟΑΝΑΛΥΤΗ (SEM)

Με την χρήση ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης σε συνδυασμό με σύστημα ηλεκτρονικής μικροανάλυσης διασποράς ενέργειας μελετήθηκαν τα δύο πιο αντιπροσωπευτικά δείγματα σε 43 συνολικά θέσεις απ' όπου πάρθηκαν τα ανάλογα SEM micrographs και πραγματοποιήθηκαν 43 σημειακές αναλύσεις. Η επιλογή των δειγμάτων Δ3 και Δ6 για περαιτέρω ανάλυση έγινε κατόπιν διεξοδικής μελέτης των τομών σε πολωτικό μικροσκόπιο.

Δείγμα_θέση	3_1	3_2	3_11	6_1
MgO	16.25	3.85	14.85	15.59
Al ₂ O ₃	21.33	6.86	20.39	21.18
Cr ₂ O ₃	47.23	49.70	45.84	47.72
FeO	15.45	35.49	15.03	15.14
Total	100.27	95.90	96.11	99.62

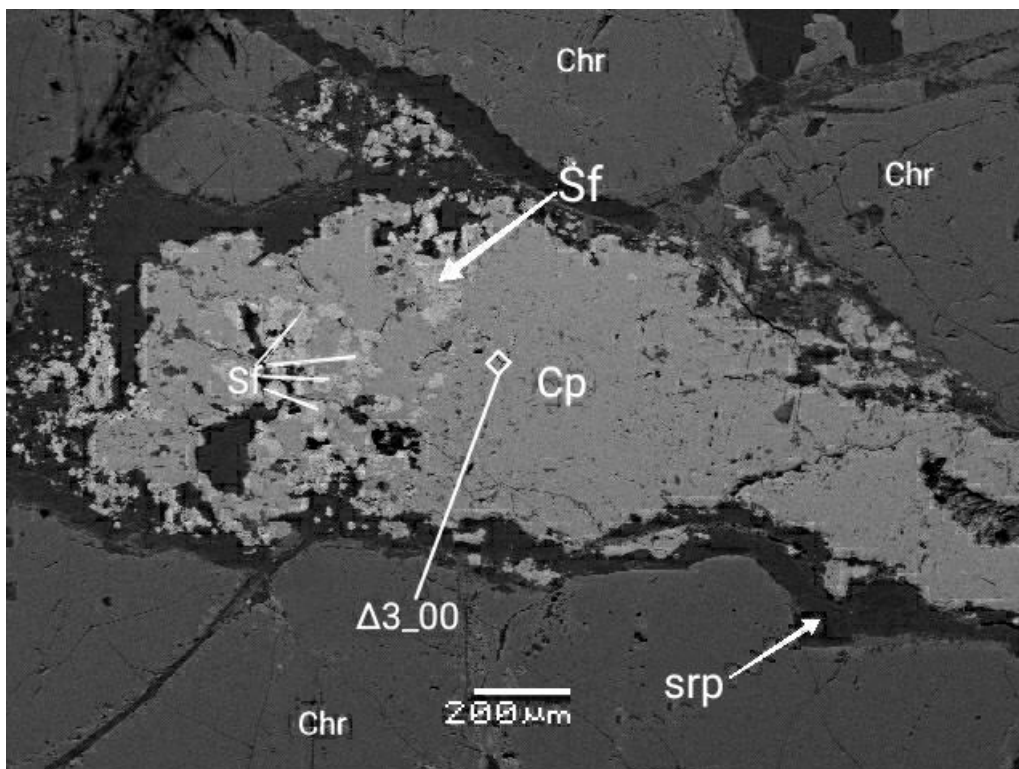
Πίνακας 1 Μικροαναλύσεις χρωμίτη και σιδηροχρωμίτη (κβ%)

Από τις αναλύσεις στον ηλεκτρονικό μικροαναλυτή (SEM) φαίνεται ότι ο χρωμίτης γενικά παρουσιάζει υψηλή περιεκτικότητα σε Al₂O₃(>20%) πράγμα που τον ταξινομεί σε χρωμίτη πυρίμαχου τύπου. Οι χρωμίτες είναι έντονα μυλονιτωμένοι με κατακλαστικό ιστό ενώ στις θέσεις όπου βρίσκονται σε επαφή με τα σουλφίδια(εικ 3_00) περιβάλλονται από δευτερογενή πυριτικά ορυκτά (πιθανώς αντιγορίτης εικ 3_09). Σε κάποιες περιπτώσεις διαφαίνεται και άλως γύρω από τους πόρους του χρωμίτη στα περιθώρια από σιδηροχρωμίτη(εικ 3_02). Η ταξινόμηση των δειγμάτων έγινε βάσει του webmineral.



Εικόνα 33 Χρωμίτες και σιδηροχρωμίτης από ηλεκτρονικό μικροαναλυτή σάρωσης(Chr: χρωμίτης, Fe-Chr: σιδηροχρωμίτης, Srp: σερπεντίνης) .

Στα περιθώρια του συμπαγή χρωμίτη παρατηρείται εξαλλοίωση με μεγαλύτερο ποσοστό σε FeO κοντά στα πυριτικά ορυκτά δημιουργώντας μία μεταβατική ζώνη με σχηματισμό πορώδους σιδηροχρωμίτη(εικ. *). Επομένως αυτή η μεταβολή χρώματος οφείλεται στις εν λόγω συστασιακές μεταβολές.



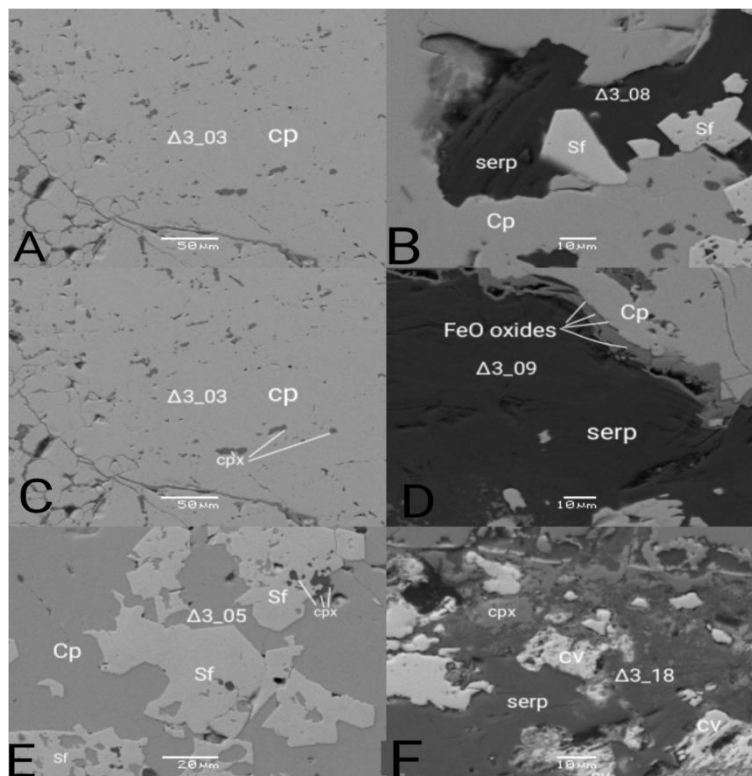
Εικόνα 34 SEM micrograph του δείγματος Δ3(Sf: σουλφίδιο, Cp: χαλκοπυρίτης, Srp: σερπεντίνης, Chr: χρωμίτης).

Δείγμα_Θέση	3_03	3_05	3_07	3_08	3_16	3_18	3_20
Σουλφίδιο	Χαλκοπυρίτης	Sf	Sf	Sf	Sf	Κοβελίνης	Κοβελίνης
S	35.69	20.03	19.60	20.35	19.80	33.61	33.71
Fe	29.81	0.80	0.94	0.88	0.91	3.30	2.74
Co	-	25.07	23.63	25.88	25.39	-	-
Ni	-	9.04	10.32	8.89	10.69	-	-
As	-	44.95	45.44	46.64	44.17	-	-
Sb	-	1.10	-	-	0.71	-	-
Cu	33.13	-	0.67	-	-	59.50	61.79
Total	98.64	100.99	100.59	103.15	101.88	96.41	98.23

Πίνακας 2 Σημειακή ανάλυση σουλφιδίων του δείγματος Δ3 (κβ%)

Το SEM micrograph Δ3_00 απεικονίζει την περιοχή ενδιαφέροντος. Φαίνεται καθαρά στο μέσω την εικόνας το μετάλλευμα αποτελούμενο από διαφορετικά ορυκτά. Στα περιθώρια με το μετάλλευμα και υπό μορφή εγκλεισμάτων παρατηρούνται πυριτικά ορυκτά. Το δείγμα 3_03 και εξής όλα τα σουλφίδια φέρουν πιο ανοιχτά χρώματα συγκριτικά με τους χρωμίτες, επομένως είναι λογικό ότι αποτελούνται από βαριά στοιχεία σε σχέση με τους τελευταίους. Το γεγονός ότι βρίσκεται κατά μήκος ζώνης διάρρηξης σε συνδυασμό με την σημειακή ανάλυση που έγινε επιβεβαιώθηκε η αρχική υπόθεση της ανάλυσης με πολωτικό μικροσκόπιο ότι το δείγμα είναι σουλφίδιο και συγκεκριμένα χαλκοπυρίτης. Μέσα στον χαλκοπυρίτη εντοπίζονται εγκλείσματα άλλου είδους σουλφίδια με πιο ανοιχτά χρώματα (εικ. 3_05, 3_07). Εμφανίζονται σε υπιδιόμορφους κρυστάλλους όπου οι έδρες τους είναι ανεπτυγμένες ιδιόμορφα σε σχέση με ορισμένους γειτονικούς κρυστάλλους και ξενόμορφα ως προς άλλους. Από την χημική ανάλυση δεν δύναται να αναγνωριστεί επ' ακριβώς το συγκεκριμένο ορυκτό. Από την διασταύρωση των χημικών αναλύσεων, διαπιστώθηκε ότι ίσως πρόκειται για κοβαλτίτη με υψηλό ποσοστό σε νικέλιο (Ni), λόγω αμφιβολίας των αποτελεσμάτων θα το ονομάσουμε εξής σουλφίδιο Sf. Κατά θέσεις εμφανίζονται και μέσα στον δευτερογενή αντιγορίτη γεγονός (εικ. 3_08). Επιπροσθέτως εμφανίζονται και πολλά στείρα εγκλείσματα από πυριτικά ορυκτά πιθανώς κλινοπυρόξενοι (εδενβεργίτης) που προέκυψε από σύγκριση της χημικής ανάλυσης του δείγματος και την τυπική χ. ανάλυση κρυστάλλου εδενβεργίτη από το webmineral.com (εικ. 3_04, 3_06) και βιοτιτή όπως τα δείγματα 3_13, 3_14, 3_15, 3_17, 3_19. Στην εικόνα 3_16 παρατηρείται σύμφυση

μεταξύ κρυστάλλων διαφορετικών σουλφιδίων (Sf) και χαλκοπυρίτη. Τέλος τα σουλφίδια 3_18 και 3_20 έπειτα από σύγκριση με τις τυπικές συστάσεις στο webmineral.com διαπιστώθηκε ότι πιθανώς πρόκειται για κρυστάλλους κοβελλίτη.

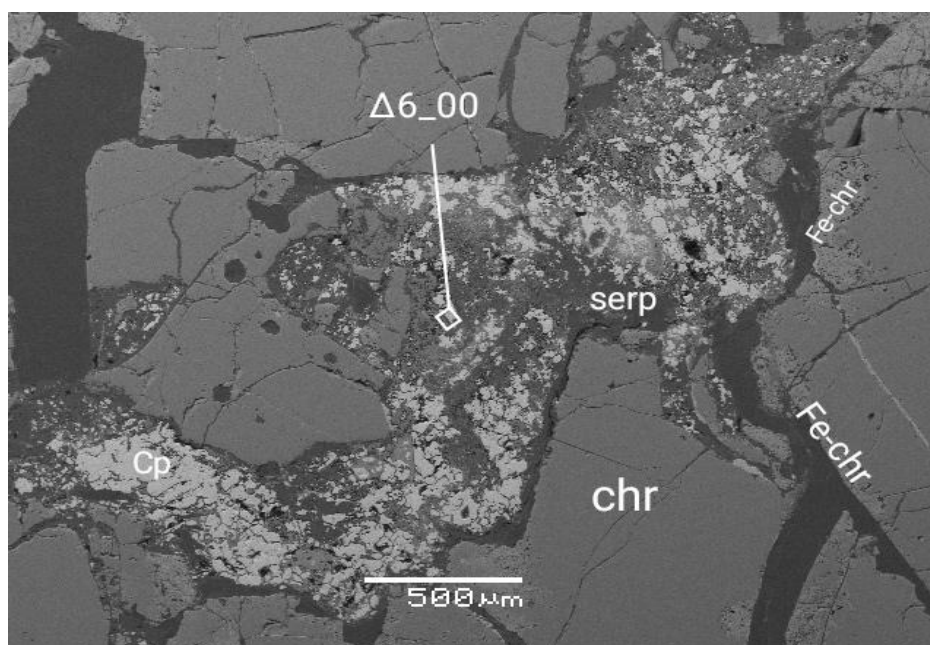


Εικόνα 35 SEM micrograph από το SEM του δείγματος Δ3(Serp: σερπεντίνη, Cp: χαλκοπυρίτης, Cv: κοβελλίτη, Cpx: κλινοπυρόξενο, Sf: σουλφίδιο,.

Στην (A) και (C) παρατηρούμε το κυρίως μέταλλευμα από σιδηροπυρίτη ενώ εντοπίζονται και στείρα πυριτικά εγκλείσματα από κλινοπυρόξενο. Στην εικόνα (B) παρατηρούμε ότι το σουλφίδιο Sf επιπλέει σε μάζα από σερπεντίνη ενώ περιβάλλεται από τον χαλκοπυρίτη. Στην (D) παρατηρείται χαλκοπυρίτης με σαφή περιθωριακή άλω από οξείδια σιδήρου (Fe) και εν συνεχεία έρχεται σε επαφή με τον σερπεντίνη. Στην (E) όπως αναφέρθηκε και παραπάνω εμφανίζονται ιδιόμορφοι έως υπιδιόμορφοι κρύσταλλοι του Sf υπό μορφή εγκλεισμάτων μέσα στον χαλκοπυρίτη και τέλος στην (F) εμφανίζονται έντονα θραυσμένοι κόκκοι κοβελλίτη μέσα σε μάζα από σερπεντίνη.

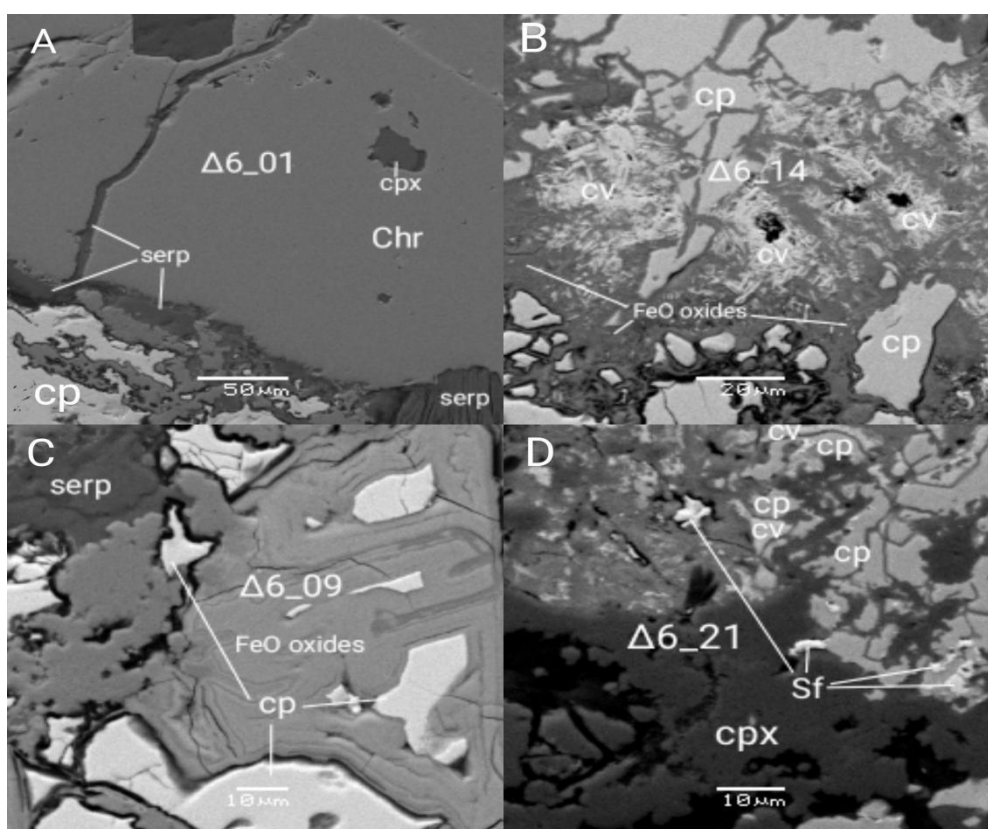
Δείγμα_θέση	6_05	6_10	6_11	6_17	6_18	6_19	6_20
Σουλφίδιο	Χαλκοπυρίτης	Κοβελλίνης	Κοβελλίνης	Χαλκοπυρίτης	Κοβελλίνης	Sf	Sf
S	35.87	34.36	32.72	34.91	33.93	21.03	20.47
Ca	-	-	-	-	-	0.30	0.30
Cr	0.32	-	-	-	-	0.27	-
Fe	30.21	3.15	8.20	28.99	2.38	5.98	1.60
Co	-	-	-	-	-	17.06	23.63
Ni	-	-	-	-	-	10.32	7.52
Cu	33.41	60.04	58.45	33.30	63.12	4.79	0.89
As	-	-	-	1.27	1.96	40.25	45.58
Total	99.83	97.54	99.37	98.47	101.40	100	100

Πίνακας 3 Σημειακή ανάλυση σουλφιδίων δείγματος Δ6(κθ%)



Εικόνα 36 SEM micrograph του δείγματος Δ6 (Serp : σερπεντίνης, Chr: χρωμίτης, Fe-Chr: σιδηροχρωμίτης, Cp: χαλκοπυρίτης)

Στο δείγμα 6 φαίνονται πιο έντονα οι διεργασίες της αποσάθρωσης και διάβρωσης καθώς εμφανίζονται σε αρκετά σημεία προϊόντα οξείδωσης των σουλφιδίων υπό μορφή οξειδίων τόσο του Fe(6_06,6_07, 6_09,6_12,6_13) όσο και του As(6_16). Στις εικόνες από το SEM τα οξείδια φαίνεται ότι αποτελούν ένα είδος θεμελιώδους μάζας στην οποία “επιπλέουν” ορισμένοι κρύσταλλοι σουλφιδίων. Ενδιαφέρουσα δομή παρουσιάζει ένας κρύσταλλος στην εικόνα 6_03 έχει αποκτήσει ένα είδος σχιστότητας και πιθανώς πρόκειται για σερπεντίνη. Το σουλφίδιο 6_05 φέρει και κάποια στείρα εγκλείσματα ενώ βάσει του webmineral πρόκειται για χαλκοπυρίτη, ενώ χαλκοπυρίτης είναι και το δείγμα 6_17 . Από τις χημικές αναλύσεις των σουλφιδίων 6_10, 6_11 και 6_18 βάσει του webmineral καταλήγουμε στο γεγονός ότι πιθανώς να έχουμε κρυστάλλους κοβελλίτη. Έχουν χαρακτηριστική ινώδη δομή ενώ κάνοντας σύγκριση με τις αντίστοιχες φωτογραφίες από το μεταλλογραφικό μικροσκόπιο μάλλον επιβεβαιώνεται η υπόθεση του προσδιορισμού των δειγμάτων 6_10 και 6_11 και 6_18 ως ορυκτά που δημιουργούνται δευτερογενώς μέσα σε ζώνες οξείδωσης. Τα σουλφίδια 6_19 και 6_20 εμφανίζονται μέσα ή στα περιθώρια του χαλκοπυρίτη όπως και στο πρώτο δείγμα ενώ από την σύγκριση με τις συστάσεις στο webmineral πιθανώς να κάνουμε λόγω για Ni-κοβαλτίτες, ωστόσο λόγω αβεβαιότητας θα ονομαστεί όπως και παραπάνω Sf.



Εικόνα 37 SEM micrograph του δείγματος Δ6(Serp: σερπεντίνης, Cpx: κλινοπυρόξενος, Sf: σουλφίδιο, Cp: χαλκοπυρίτης, Cv: κοβελλίτης).

Στην εικόνα (A) παρατηρείται ένας τυπικός χρωμίτης με εγκλείσματα κλινοπυροξένου και μικρής διαμέτρου διάκλαση με σερπεντίνη. Στα περιθώρια του κρυστάλλου εντοπίζονται πυριτικά ορυκτά και εν προκειμένου σερπεντίνης, ενώ σε γειτονία με τον σερπεντίνη έρχεται άμεσα κρύσταλλος χαλκοπυρίτη. Στην εικόνα (B) παρατηρείται θειούχο μετάλλευμα αποτελούμενο από χαλκοπυρίτη και κοβελλίνη μέσα σε μάζα αποτελούμενη από οξείδια του σιδήρου. Η (C) παρέχει μια καλύτερη εικόνα σχετικά με την θεμελιώδη μάζα και τους κρυστάλλους που επιπλέον σε αυτή. Στην τελευταία εικόνα παρατηρείται μια περιοχή όπου συνυπάρχει το σύνολο των ορυκτών της παραγένεσης του θειούχου μεταλλεύματος και συγκεκριμένα σε επαφή το ένα ορυκτό με το άλλο σε θεμελιώδη μάζα από κλινοπυροξένο.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΕΙΣ

Το υπό μελέτη μέταλλευμα αποτελεί μια τυπική παραγένεση σουλφιδίων αποτελούμενα από κυρίως χαλκοπυρίτη και δευτερεύοντος από σουλφίδιο Sf που πιθανώς πρόκειται Ni-κοβαλίτη και από κοβελλίτη. Το μέταλλευμα βρίσκεται κατά μήκος ζωνών διάρρηξης. Ο χαλκοπυρίτης βρίσκεται σε φλεβίδια ή ως αυτόνομες συγκεντρώσεις. Τα διάφορα εγκλείσματα που μέσα στον χαλκοπυρίτη δείχνουν υψηλή θερμοκρασία σχηματισμού του χαλκοπυρίτη(E. Δήμου, 1990). Το υψηλό ποσοστό συμμετοχής του χαλκού (Cu) στην μεταλλοφορία δείχνει ότι η προέλευση του είναι από το μεταλλείο Μαύρο σύμφωνα και με την εργασία της E. Δήμου. Ο συνδυασμός της θέσης του μεταλλεύματος μέσα στα χρωμικά πετρώματα και του ιδιαίτερα έντονα κατακλαστικού ιστού του χρωμίτη μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι ο χρωμίτης έχει περάσει από στάδια παραμόρφωσης και εν τέλει υποστεί έντονο τεκτονισμό. Περαιτέρω στοιχεία που αποδεικνύουν τον βαθμό τεκτονισμού και το βάθος της αποσάθρωσης και διάβρωσης του κοιτάσματος αποτελεί το γεγονός ότι το πέτρωμα που φιλοξενεί το κοίτασμα δεν διατηρεί τα πρωτογενή χαρακτηριστικά. Πιο συγκεκριμένα ο χαρζβουργίτης έχει δώσει την θέση σε έντονα μυλονιτωμένο σερπεντινίτη. Με την μελέτη των δειγμάτων μας σε μικροσκόπιο και σε ηλεκτρονικό μικροαναλυτή σάρωσης, συμπεραίνουμε ότι η θειούχος μεταλλοφορία έχει αποτεθεί μεταγενέστερα του χρωμίτη σε πιθανό υδροθερμικό επεισόδιο και δεν έχει μαγματική προέλευση, υπόθεση που συμφωνεί με την εργασία των M.Economou and A.Naldrett (1984), οποίοι προσδιόρισαν τιμές $Cu/(Cu+Ni)$ μεταξύ 0,5-0,96. Καθώς υψηλότερες από τις τιμές μαγματικών μεταλλοφοριών επιβεβαιώνεται ότι οι μεταλλοφορίες έχουν υδροθερμική προέλευση. Τα έντονα εξαλλοιωμένα πετρώματα και ο τρόπος τοποθέτησης της μεταλλοφορίας μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η δίοδος των υδροθερμικών ρευστών διευκολύνθηκε λόγω του έντονου τεκτονικού ιστού του ξενιστή πετρώματος, μέσα από ευρύ σύστημα διακλάσεων και διαρρήξεων που δημιουργήθηκαν κατά την τεκτονική τοποθέτηση των οφιολίθων. Σε ορισμένες περιπτώσεις παρατηρείται προχωρημένη εξαλλοίωση των κρυστάλλων του χρωμίτη με μεταβατικές ζώνες αποτελούμενες από πορώδη σιδηροχρωμίτη. Σε άλλη θέση μέσα στο χρωμίτη παρατηρείται μια περιοχή εκτεταμένης εξαλλοίωσης με μάζα από οξείδια σιδήρου κρυστάλλους χαλκοπυρίτη και μια ιδιαίτερη εμφάνιση κοβελλίτη με “ακιδωτή” μορφή. Αυτό το εύρημα συμπληρώνει την υπόθεση της αποσάθρωσης και του κοιτάσματος του χρωμίτη και τον βαθμό καθώς είναι γνωστό ότι ο κοβελλίτης αποτίθεται δευτερογενώς από διάβρωση του πρωτογενούς μεταλλεύματος χαλκού σε συνθήκες επιφανείας.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- The geology of part of the western Othrys mountains, Greece (HYNES, 1972)
- Repartition en deux provinces des peridotites des chaines alpines longeant la mediterranee: Implications geotectoniques (NICOLAS, A., & JACKSON, E. , 1972).
- The stratigraphy of the Othris Mountains, eastern central Greece: a deformed Mesozoic continental margin sequence (SMITH ET AL., 1975)
- The chromite deposits of Eretria (MASTORIS, 1979)
- Diversity of the Greek ophiolites: Birth of oceanic basins in transcurrent system (BÉBIEN, J., OHNENSTETTER, D., OHNENSTETTER, M., & VERGELY, P. , 1980)
- Emplacement of the Kastoria ophiolite on the western edge of the Internal Hellenides (MOUNTRAKIS, D. , 1982)
- An unusual association of Fe-Ni-Co-Cu sulfides with chromite and magnetite in Eretria (Tsangli) Area, Greece (M. ECONOMOU, 1982)
- Paleogeographie et tectoniques superposées dans les Hellénides internes: les massifs de l'Othrys et du Pélion (FERRIÈRE, 1982)
- Sulfides associated with podiform bodies of chromite at Tsangli, Eretria, Greece(M.I. ECONOMOU & A.J. NALDRETT, 1984)
- Structural evolution of Pelagonian zone in Northwestern Macedonia (MOUNTRAKIS, D. , 1984).
- The Pelagonian zone in Greece: a polyphased deformed fragment of the Cimmerian continent and its role in the geological evolution of the eastern Mediterranean (MOUNTRAKIS, D. ,1986). Example of an ensialic ophiolites emplaced in a trench zone: Innermost Hellenic ophiolite belt (Greek Macedonia)(BÉBIEN, J., DUBOIS, R., & GAUTHIER, A. , 1986).
- Petrology and geotectonic significance of salic rocks preceding ophiolites in the eastern Vardar Zone, Greece(MUSSALLAM, K., & JUNG, D. , 1986).
- Platinum -group elements and gold in komatiitic rocks from the Agrilia Formation, Othrys ophiolite complex, Greece(ECONOMOU-ELIOPOULOS AND PARASKEVOPOULOS, 1989)
- Tectono – stratigraphy and evolution of the Mesozoic Pindos Ophiolite and the related units, northwestern Greece(JONES, G., & ROBERTSON, A. , 1991)
- Internal structure and pseudostratigraphy of the Dramala peridotite massif, Pindos Mountains, Greece(RASSIOS, A. , 1991)

Platinum-group element (PGE) distribution in chromite ores from ophiolite complexes of Greece: implications for chromite exploration (ECONOMOU-ELIOPOULOS, 1993, 1996)

Emplacement tectonism and the position of chrome ores in the Mega Isoma peridotites, SW Othris, Greece (RASSIOS AND KONSTANTOPOULOU, 1993)

The tectonostratigraphic terranes of the Hellenides (PAPANIKOLAOU, 1997)

Jurassic ridge collapse. Subduction initiation and ophiolite obduction in the Southern Greek Tethys (CLIFT, P., & DIXON, J. , 1998).

Paragenesis and composition of laurite from the chromitites of Othrys (Greece): implications for Os-Ru fractionation in ophiolitic upper mantle of the Balkan peninsula (GARUTI ET AL., 1999)

Constraints on the formation and the emplacement age of western Greek ophiolites (Vourinos, Pindos and Othris) inferred from deformation structures in peridotites (RASSIOS, A., & SMITH, A. , 2000).

Neotethyan evolution of eastern Greece (Pagondas Mélange, Evia island) inferred from radiolarian biostratigraphy and the geochemistry of associated extrusive rocks (DANELIAN, T., & ROBERTSON, A. , 2001).

Origin, evolution and radiometric dating of sub-ophiolitic metamorphic rocks from the Koziakas ophiolite (W. Thessaly, Greece) (POMONIS, P., TSIKOURAS , B., & HANTZIPANAGIOTOU, K. , 2002)

Mid-ocean ridge and supra-subduction affinities in the Pindos Ophiolites (Greece): Implications for magma genesis in a fore-arc setting (SACCANI, E., & PHOTIADES, A. , 2004)

Geological evolution of the Koziakas ophiolitic complex (western Thessaly, Greece) (POMONIS, P., TSIKOURAS, B., & HANTZIPANAGIOTOU, K. , 2005).

Petrogenetic evolution of the Koziakas ophiolite complex (W. Thessaly, Greece) (POMONIS, P., TSIKOURAS, B., & HANTZIPANAGIOTOU, K. , 2007b)

Heterogeneous mantle complex, crustal processes, and obduction kinematics in a unified Pindos-Vourinos ophiolite slab (northern Greece) (RASSIOS AND MOORES, 2006)

The petrogenesis and tectonic setting Of ultramafic rocks from Iti and Kallidromon mountains, continental Greece: Vestiges of the Pindos ocean (KARIPI, S., TSIKOURAS, S., & HANTZIPANAGIOTOU, K. , 2006).

Petrogenetic significance of spinel – group minerals from the ultramafic rocks of the Iti and Kallidromon ophiolites (Central Greece) (KARIPI, S., TSIKOURAS, B., HANTZIPANAGIOTOU, K., & GRAMMATIKOPOULOS, T. , 2007).

Granitoids Associated with East Vardar ophiolites (Serbi, F.Y.R. of Macedonia and northern Greece): origin, evolution and geodynamic significance inferred from major and trace element data and Sr-Nd-Pb Isotopes (SARIC, V., CVETKOVIC, V., ROMER, L., CHRISTOFIDES, G., & KORONEOS, A. , 2009).

Timing of tectonic emplacement of the ophiolites and terrane paleogeography in the Hellenides (PAPANIKOLAOU, 2009)

The Hellenic ophiolites: eastward or westward obduction of the Maliac Ocean, a discussion(FERRIÈRE ET AL., 2012)

Subduction-related rodingites from East Othris, Greece: Mineral reactions and physicochemical conditions of formation(P. KOUTSOVITIS ET AL., 2013)

Ultramafic lavas and high-Mg basaltic dykes from the Othris ophiolite complex, Greece (BAZIOTIS ET AL., 2017)

Γεωλογικές-Κοιτασματολογικές έρευνες στην περιοχή Ερέτρια Φαρσάλων (ΜΙΓΚΙΡΟΣ,Γ.- ΒΑΚΟΝΔΙΟΣ,Ι - ΔΗΜΟΥ, Ε., 1990)

Θειούχες συγκεντρώσεις στους σερπεντινίτες-χρωμίτες της περιοχής Ερέτριας(Ε. ΔΉΜΟΥ, 1991)

Γεωλογία Ελλάδος (ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ)