



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ - ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ – ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΑΘΑΝΑΣΙΑ Ι. ΚΑΡΕΤΟΥ

Πτυχιούχος Γεωλόγος

**ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΙ ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ
ΡΕΜΑΤΟΣ ΚΑΡΒΟΥΝΟΣΚΑΛΑ, ΣΤΡΑΤΩΝΙ, ΒΑ ΧΑΛΚΙΔΙΚΗ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ «ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΚΑΙ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ»,

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: «ΟΡΥΚΤΟΙ ΠΟΡΟΙ - ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ»

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2018





ΑΘΑΝΑΣΙΑ Ι. ΚΑΡΕΤΟΥ
Πτυχιούχος Γεωλόγος

ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΙ ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ
ΡΕΜΑΤΟΣ ΚΑΡΒΟΥΝΟΣΚΑΛΑ, ΣΤΡΑΤΩΝΙ, ΒΑ ΧΑΛΚΙΔΙΚΗ

Mineralogical and geochemical study of Karvounoskala's stream,
Stratoni, NE Chalkidiki

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας στα πλαίσια του Προγράμματος
Μεταπτυχιακών Σπουδών «Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική
Γεωλογία», Κατεύθυνση «Ορυκτοί Πόροι – Περιβάλλον»

Ημερομηνία Προφορικής Εξέτασης: XX/XX/2018

Τριμελής Εξεταστική - Συμβουλευτική Επιτροπή

Μ. Βαβελίδης, Καθηγητής Α.Π.Θ., Επιβλέπων

Α. Παπαδοπούλου, Επίκ. Καθηγήτρια Α.Π.Θ., Μέλος Τριμελούς
Επιτροπής

Ν. Καντηράνης, Επίκ. Καθηγητής Α.Π.Θ., Μέλος Τριμελούς
Επιτροπής

© Αθανασία Ι. Καρέτου, Γεωλόγος, 2018



Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.
ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΙ ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ
ΤΟΥ ΡΕΜΑΤΟΣ ΚΑΡΒΟΥΝΟΣΚΑΛΑ, ΣΤΡΑΤΩΝΙ, ΒΑ ΧΑΛΚΙΔΙΚΗ
– Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

© Athanasia I. Karetou, Geologist, 2018

All rights reserved.

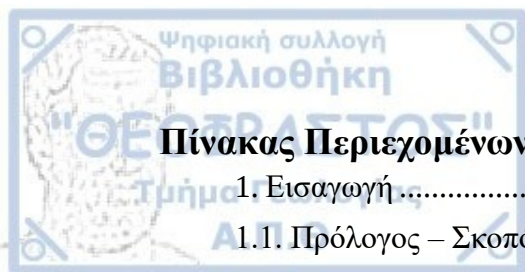
Mineralogical and geochemical study of Karvounoskala's stream,
Stratoni, NE Chalkidiki – Master Thesis

Citation: Καρέτου Α. Ι., 2018. – Ορυκτολογική και γεωχημική έρευνα στην περιοχή του ρέματος Καρβουνόσκαλα, Στρατώνι, ΒΑ Χαλκιδική. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., 142 σελ. Karetou Α. Ι., 2018. – Mineralogical and geochemical study of Karvounoskala's stream, Stratoni, NE Chalkidiki.

Master Thesis, School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, 142 pp.

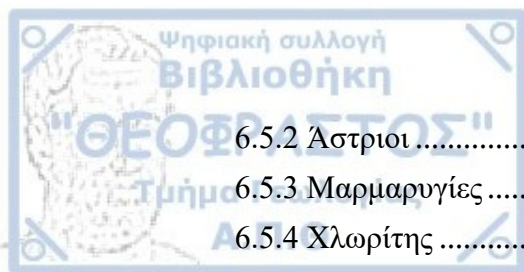
Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.



Πίνακας Περιεχομένων

1. Εισαγωγή.....	1
1.1. Πρόλογος – Σκοπός της εργασίας	1
1.2. Ευχαριστίες.....	2
2. Γενικά στοιχεία για την περιοχή έρευνας.....	4
3. Γεωλογία της περιοχής μελέτης	8
3.1. Λιθοστρωματογραφία.....	8
3.2. Συνθήκες μεταμόρφωσης	16
3.3. Μαγματισμός.....	16
3.4. Τεκτονική εξέλιξη – ενεργά ρήγματα της περιοχής.....	19
3.5 Υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής	21
4. Μεταλλευτική ιστορία της ΒΑ Χαλκιδικής	23
4.1 Τύποι μεταλλοφορίας στην περιοχή.....	28
5. Μεθοδολογία	33
5.1 Δειγματοληψία	33
5.2 Προετοιμασία δειγμάτων.....	40
5.3. Κοκκομετρικές αναλύσεις.....	49
6. Ορυκτολογική μελέτη των ιζημάτων στο ρέμα Καρβουνόσκαλα.....	52
6.1 Σουλφίδια	54
6.1.1 Σιδηροπυρίτης	54
6.1.2 Χαλκοπυρίτης.....	55
6.1.3 Γαληνίτης	57
6.1.4 Μαγνητοπυρίτης.....	57
6.2 Οξείδια – υδροξείδια του Fe, Fe – Ti, Ti και Fe – Mn.....	59
6.2.1 Λειμωνίτης - Γκαιτίτης.....	59
6.2.2 Μαγνητίτης.....	59
6.2.3 Αιματίτης.....	63
6.2.4 Ιλμενίτης.....	64
6.2.5 Οξείδιο Ti	64
6.2.6 Οξείδια – υδροξείδια του Fe - Mn.....	67
6.3 Σκωρία.....	69
6.4 Ένυδρα θειικά ορυκτά	70
6.4.1 Γύψος.....	70
6.4.2 Βαρύτης	70
6.4.3 Γιαροσίτης	71
6.5 Πυριτικά ορυκτά.....	71
6.5.1 Χαλαζίας.....	71



6.5.2 Αστροί	73
6.5.3 Μαρμαρυγίες	75
6.5.4 Χλωρίτης	76
6.3.5 Αμφίβολοι	77
6.5.6 Γρανάτες	79
6.5.7 Πυρόξενος	81
6.5.8 Επίδοτο - Αλλανίτης	82
6.5.9 Τιτανίτης	84
6.5.10 Ζιρκόνιο	86
6.6 Ανθρακικά ορυκτά	88
6.6.1 Ασβεστίτης	88
6.6.2 Δολομίτης	88
6.6.3 Απατίτης	88
6.6.4 Κερουσίτης	89
6.7 Ορυκτά U και Th	90
6.8 Φωσφορικά ορυκτά	91
6.8.1 Μοναζίτης	91
6.9 Αργιλικά ορυκτά	91
7. Γεωχημικά χαρακτηριστικά του ρέματος Καρβουνόσκαλα	93
8. Συζήτηση αποτελεσμάτων	110
9. Συμπεράσματα	117
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	120
SUMMARY	121
Βιβλιογραφία	122
Ελληνική βιβλιογραφία	128
Διαδικτυακές Πηγές	132
Παράρτημα Ι	134
Παράρτημα ΙΙ	141

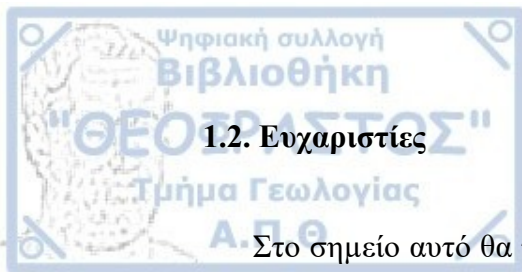


1. Εισαγωγή

1.1. Πρόλογος – Σκοπός της εργασίας

Στην παρούσα εργασία γίνεται προσπάθεια προσδιορισμού της ορυκτολογικής και γεωχημικής σύστασης του ρέματος Καρβουνόσκαλα στην περιοχή του Στρατωνίου στη ΒΑ Χαλκιδική. Το ρέμα Καρβουνόσκαλα βρίσκεται δυτικά του ρέματος Αργυρώ, διασχίζει την κατοικημένη περιοχή του Στρατωνίου και εκβάλλει στον κόλπο της Ιερισσού. Ο κόλπος της Ιερισσού πιθανώς να επηρεάζεται από τη μεταλλευτική δραστηριότητα της περιοχής, η οποία αποτελεί και την κύρια πηγή εισοδήματος των κατοίκων της ευρύτερης περιοχής. Στόχος αυτής της εργασίας ήταν η μελέτη της ορυκτολογικής, ορυκτοχημικής και κοκκομετρικής σύστασης του ρέματος, ώστε να εξετάσουμε αν το συγκεκριμένο ρέμα επηρεάζεται από τη μεταλλευτική δραστηριότητα της περιοχής.

Για την εκπόνηση της εργασίας πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία κατά μήκος του εξεταζόμενου ρέματος, συλλογή βιβλιογραφίας και χαρτών, προετοιμασία και επεξεργασία των δειγμάτων στο εργαστήριο του Τομέα Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας, ανάλυση στο εργαστήριο Περιθλασιμετρίας ακτίνων-X (XRD) και ανάλυση XRF, παρασκευή στιλπνών τομών και παρατήρησή τους στο μεταλλογραφικό μικροσκόπιο, αλλά και στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM) και τέλος χημική ανάλυση σε ολικά δείγματα από την εταιρεία Ελληνικός Χρυσός Α.Ε.. Επίσης, οι λεπτές στιλπνές τομές που μελετήθηκαν, αποτελούν τμήμα ενός ευρύτερου επιστημονικού προγράμματος, που έλαβε χώρα στην περιοχή του Στρατωνίου, της Ολυμπιάδας και του Σταυρού με τίτλο «Εδαφογεωχημική διασκόπηση για τον προσδιορισμό του γεωχημικού υποβάθρου σε περιοχές ανάντη και εκτός των έργων της εταιρείας ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΧΡΥΣΟΣ Α.Ε. στην Περιφερειακή Ενότητα Χαλκιδικής» με Επιστημονική Υπεύθυνη την Αναπλ. Καθηγήτρια ΕΚΠΑ κα. Α. Αργυράκη.



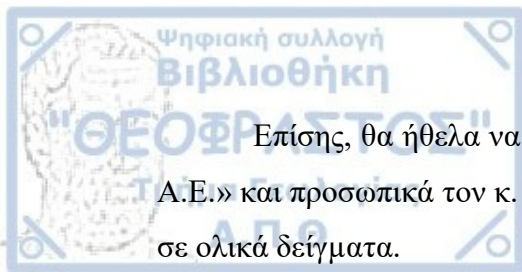
Στο σημείο αυτό θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς και θερμές ευχαριστίες μου σε όσους συνέβαλαν στην ολοκλήρωση αυτής της προσπάθειας:

Πρώτα απ' όλα, στον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Μ. Βαβελίδη για την καθοδήγηση, την υποστήριξη, τις ουσιώδεις συμβουλές, αλλά και την αδιάκοπη συμπαράσταση και ενθάρρυνση, που μου παρείχε όλο αυτό το διάστημα.

Ευχαριστώ θερμά, επίσης, τα άλλα δύο μέλη της συμβουλευτικής επιτροπής, κ. Ν. Καντηράνη (Επικ. Καθηγητής) και την κα Λ. Παπαδοπούλου (Επικ. Καθηγήτρια) για την πραγματοποίηση των αναλύσεων περιθλασιμετρίας ακτίνων Χ (XRD) στον Τομέα Ορυκτολογίας – Πετρολογίας – Κοιτασματολογίας και την πραγματοποίηση αναλύσεων στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM) και αναλύσεων XRF αντίστοιχα. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Ν. Καντηράνη και την κα Λ. Παπαδοπούλου για τις συμβουλές και τη βοήθειά τους κατά τη διάρκεια της παρούσης εργασίας.

Την Υπ. Δρ κα. Α. Γιούρη ευχαριστώ θερμά για την πάντα πρόθυμη παροχή βοήθειας και συμβουλών σε διάφορους τομείς της παρούσας μελέτης. Την ευχαριστώ ιδιαίτερα, όπως επίσης και τον Υπ. Δρ. κ. Χ. Στεργίου και τον μεταπτυχιακό φοιτητή κ. Ν. Πασιόπουλο, για τη βοήθειά τους στην ύπαιθρο κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας,. Το μεταπτυχιακό φοιτητή κ. Α. Σταματιάδη και τον Υπ. Δρ. Ν. Κηπουρό ευχαριστώ ιδιαίτερα για την πολύ σημαντική τους βοήθεια στην παρασκευή των στιλπνών τομών και λεπτών-στιλπνών τομών.

Ακόμη, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στα μέλη του Τομέα Ορυκτολογίας – Πετρολογίας – Κοιτασματολογίας για την προθυμία και τη βοήθειά τους σε όλα τα επίπεδα της διατριβής και τη Διεύθυνση του Τομέα Ορυκτολογίας – Πετρολογίας – Κοιτασματολογίας για τη διάθεση των εργαστηρίων και του τεχνολογικού τους εξοπλισμού, αλλά και για την εμπιστοσύνη της σε μένα. Ευχαριστώ επίσης τον Αναπλ. Καθηγητή κ. Γ. Συρίδη και την Αναπλ. Καθηγήτρια ΕΚΠΑ κα. Α. Αργυράκη για τις επιστημονικές συζητήσεις που είχαμε και για την πρόθυμη βοήθειά τους.



Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την εταιρεία «Ελληνικός Χρυσός Α.Ε.» και προσωπικά τον κ. Ε. Δάφτση για την πραγματοποίηση χημικών αναλύσεων σε ολικά δείγματα.

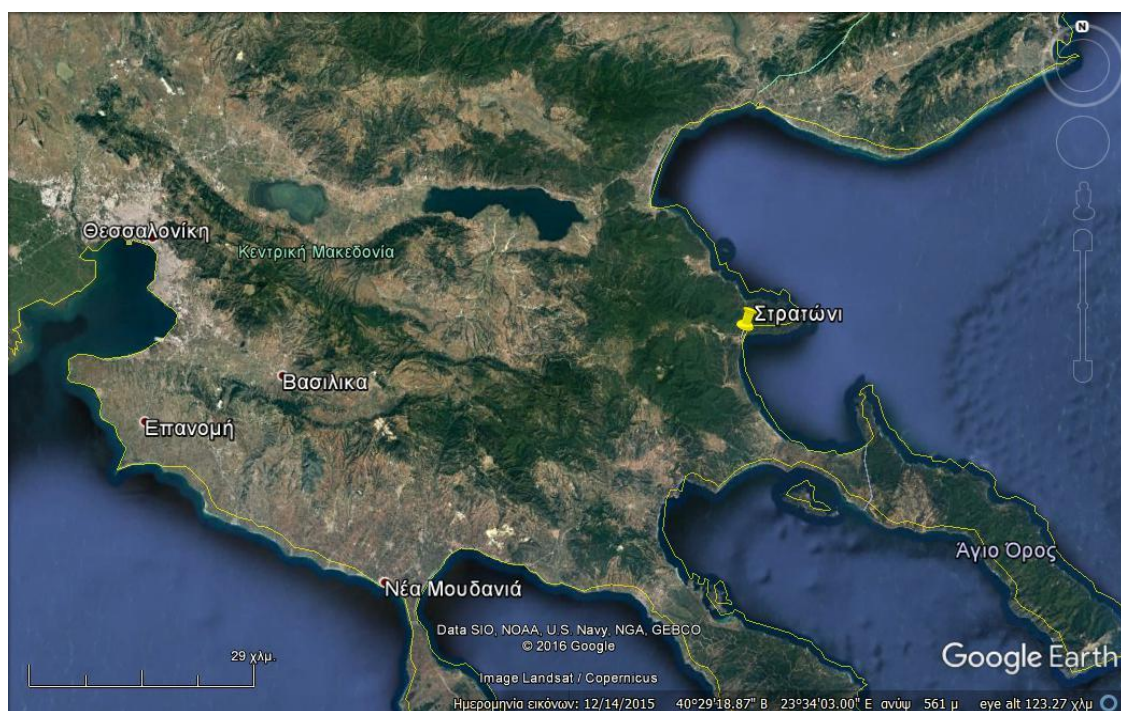
Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου, που με την καθημερινή τους συμπαράσταση, την υπομονή τους και την θετική τους σκέψη, ιδιαίτερα τις εποχές των μεγάλων διλημμάτων, συνέβαλαν στην εκπλήρωση του στόχου μου. Τον κ. Χ. Κοσμίδη μηχαν. Μηχανολόγο στην εταιρεία Ελληνικός Χρυσός Α.Ε. για τις συμβουλές και τη βοήθειά του σε διάφορους τομείς της παρούσας διατριβής. Σ' αυτούς αφιερώνεται η εργασία αυτή.

Αθανασία Καρέτου

Θεσσαλονίκη, 2018

2. Γενικά στοιχεία για την περιοχή έρευνας

Το Στρατώνι αποτελεί έναν παραθαλάσσιο οικισμό στη ΒΑ Χαλκιδική, που απέχει 98 χλμ. από τη Θεσσαλονίκη (Εικόνα 2.1.). Το Στρατώνι ανήκει στο Δήμο Αριστοτέλη στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας και έχει πληθυσμό, όπως καταγράφηκε από στατιστικές μελέτες το 2011, 1.057 κατοίκους, οι οποίοι απασχολούνται κυρίως στα μεταλλεία καθώς και σε αλιευτικά επαγγέλματα (<https://el.wikipedia.org/...> %82). Κατά το 19^ο αιώνα χρονολογείται η ίδρυση του οικισμού και η αύξηση του πληθυσμού λόγω της λειτουργίας των μεταλλείων (<https://el.wikipedia.org/...> %82).



Εικόνα 2.1. Στρατώνι Χαλκιδικής, Google Earth 2016.

Η μεταλλευτική και μεταλλουργική δραστηριότητα στην περιοχή ξεκίνησε κατά την αρχαιότητα (Vavelidis et al. 1983, Wagner et al. 1986). Σύμφωνα με ανασκαφές το Μάρτη του 1962, ο οικισμός του Στρατωνίου χτίστηκε στη θέση της αρχαίας Στρατονίκης (<https://el.wikipedia.org/...> %82). Η πόλη αυτή αναφέρεται λανθασμένα στο Σιγγιτικό Κόλπο από τον Αλεξανδρινό Πτολεμαίο Κλαύδιο. Ο Πτολεμαίος τοποθετεί την αρχαία Στρατονίκη ως παραθαλάσσια πόλη μεταξύ Ακάνθου και Σταγείρων. Εφόσον, η αρχαία Άκανθος βρέθηκε στη σημερινή

τοποθεσία του Δήμου Ιερισσού και τα αρχαία Στάγεια στην τοποθεσία «Βίννα» στην περιοχή της Ολυμπιάδας, άρα η αρχαία πόλη «Στρατονίκη» είναι η σημερινή Κοινότητα Στρατωνίου.

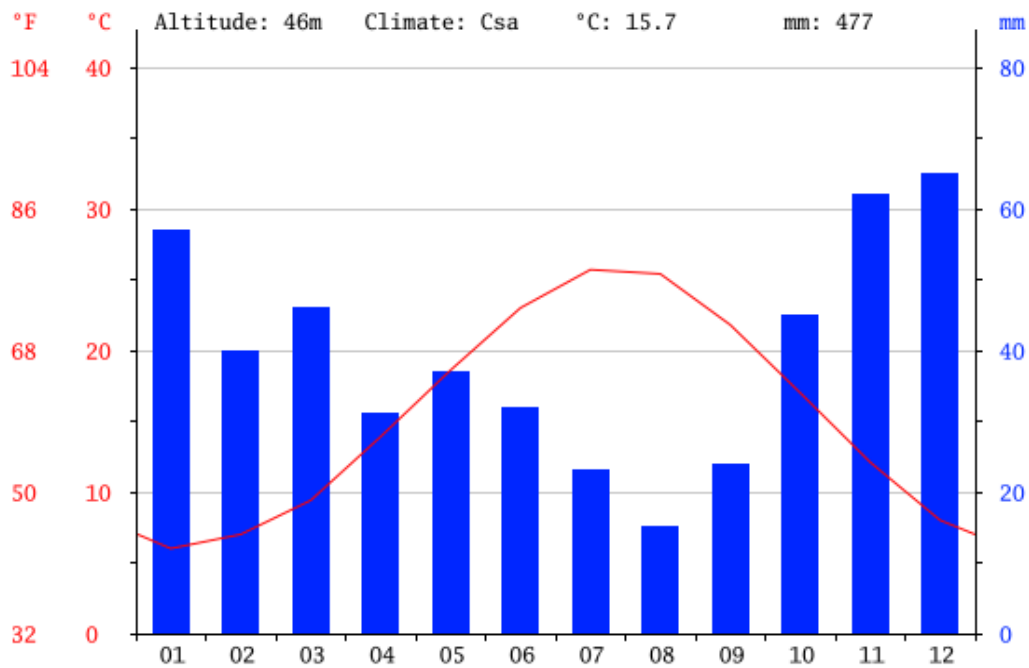
Σύμφωνα με έρευνες των τελευταίων χρόνων από την αρχαιολογική υπηρεσία Θεσσαλονίκης, και συγκεκριμένα τον επιμελητή αρχαιολόγο Πέτρο Θέμελη, βρέθηκε το 1962 κτίσμα σε βάθος ενός μέτρου, το οποίο αποτελείται από δύο θαλάμους, που επικοινωνούσαν με θύρα, ένα κύριο θάλαμο διαστάσεων 5x5,50m και έναν προθάλαμο διαστάσεων 5x3m (www.stratoni.net/.../genikes-plirofories). Μέσα στους θαλάμους αυτούς βρέθηκαν τρία μαρμάρινα αγάλματα εκ των οποίων τα δύο ήταν σπασμένα από το λαιμό και πάνω και παρίσταναν ανδρικές φιγούρες και ένα άθικτο άγαλμα γυναικός (τη γνωστή "Δέσποινα" του Στρατωνίου). Βρέθηκαν επίσης μία μαρμάρινη κεφαλή ανδρός, μια μαρμάρινη πλάκα παριστάνουσα νεκρόδειπνο με επιγραφή «Νικοπτολαίμου επιλύσου ηρωίς χαίρε», δύο μαρμαρίνες στήλες με επιγραφές «Αφθονητος Αριστεου Ηδίστη Ερμίο» η μία και η άλλη «Ηροδωρος Θεαγένους» (www.stratoni.net/.../istoria-stratoniou, www.dimosaristoteli.gr/.../stratoni). Δυστυχώς το Ηρώον ήταν συλημένο και δεν βρέθηκαν νομίσματα. Το ταφικό μνημείο της πόλης Στρατονίκειας χρονολογείται από επιγραφές στο τέλος του 1^{ου} αιώνα π.Χ.. Στη νότια πλευρά της κοινότητας βρέθηκαν πολλοί συλημένοι τάφοι Ρωμαϊκής και ύστερης εποχής καθώς και ερείπια οικιών, στη θέση δε του ελαιώνα βρέθηκαν πολλοί συλημένοι τάφοι βυζαντινής εποχής (www.stratoni.net/.../istoria-stratoniou). Τα ευρήματα από τις εκσκαφές εκτίθενται στο Μουσείο Πολυγύρου. Πιθανότατα η πόλη να ιδρύθηκε από το Δημήτριο τον Πολιορκητή προς τιμήν της μητέρας του Στρατονίκης ή της ομώνυμης κόρης του (www.stratoni.net/.../istoria-stratoniou).

Το κλίμα της περιοχής είναι ζεστό και εύκρατο. Ο καιρός είναι βροχερός κυρίως το χειμώνα με λίγες βροχοπτώσεις το καλοκαίρι (Σχ. 2.1.) (<http://en.climate-data.org/.../123419/>). Τον Αύγουστο παρατηρείται το μικρότερο ύψος βροχόπτωσης, ενώ το Δεκέμβριο το μεγαλύτερο κατά μέσο όρο, 15 mm και 65 mm αντίστοιχα. Η μέση θερμοκρασία είναι 15,7° C, ενώ το ετήσιο βροχομετρικό ύψος φτάνει τα 477mm. Ο θερμότερος μήνας του έτους κατά μέσο όρο είναι ο Ιούλιος με τη θερμοκρασία να φτάνει τους 25,7°C, ενώ ο πιο ψυχρός μήνας με μέση θερμοκρασία 6,0 °C είναι ο Ιανουάριος (Σχ. 2.2.) (<http://en.climate-data.org/.../123419/>). Σύμφωνα με το Σχ. 2.3. η διαφορά του ύψους βροχοπτώσεως μεταξύ του πιο ξηρού και του πιο

υγρού μήνα κατά μέσο όρο είναι 50 mm, ενώ η θερμοκρασία είναι περίπου 19,7 °C. (<http://en.climate-data.org/.../123419/>)

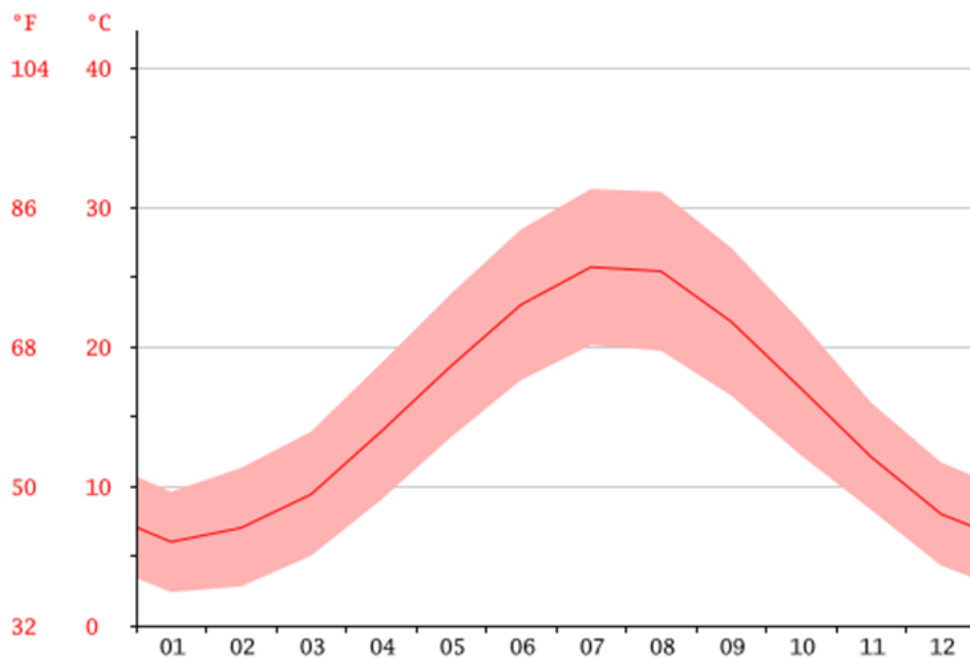
Το Στρατώνι, όπως και η Στρατονίκη, τα Στάγειρα, η Βαρβάρα, η Ολυμπάδα και ο Στρυμονικός κόλπος, οριοθετούν το Στρατονικό όρος (ή αλλιώς Στρεμπένικο), η ψηλότερη κορυφή του οποίου φτάνει τα 823m (Αναστασιάδης 2010, <http://www.e-fox.gr/...=344>, http://el.wikipedia.org/.../Natura_2000, <http://www.minenv.gr/.../g1210300.html>, <http://www.forest.gr/...=40>, www.filotis.itia.ntua.gr). Η κορυφή Σκαμνί του όρους αποτελεί "Τόπο Κοινοτικής Προστασίας" του δικτύου Natura 2000 με κωδικό GR1270005. Η περιοχή υπό προστασία εκτείνεται σε 79.280 στρέμματα. Στο όρος υπάρχουν διάφορα είδη βλάστησης, όπως οξιά, δρυς και καστασιά. Χαρακτηρίζεται, επίσης, από τα πυκνά δάση της περιοχής και την απουσία καλλιεργειών και οικιστικών ζωνών. Έτσι, δημιουργούνται οι κατάλληλες συνθήκες για την αναπαραγωγή αρπακτικών πτηνών. (Αναστασιάδης Β.-Οδηγός Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας 2010, www.e-fox.gr/...=344, el.wikipedia.org/.../Natura_2000, www.minenv.gr/.../g1210300.html, <http://www.forest.gr/...=40>, www.filotis.itia.ntua.gr)

Πιο συγκεκριμένα, η περιοχή μελέτης διαχωρίζεται ως προς τη μορφολογία σε ημιορεινή περιοχή και στις αλλουβιακές κοιλάδες του Κοκκινόλακκα και του Στρατωνίου. Το υψόμετρο της ημιορεινής περιοχής είναι 20 - 800 m και των αλλουβιακών κοιλάδων κάτω από 60 m. Η βλάστηση είναι πυκνή στην ημιορεινή περιοχή και στην αλλουβιακή κοιλάδα του Κοκκινόλακκα, ενώ στην κοιλάδα του Στρατωνίου είναι αραιή με παρουσία ελαιόδεντρων (Καταφιώτη 2008, Ολάσογλου 2014).



Σχήμα 2.1. Διάγραμμα βροχοπτώσεων στην περιοχή Στρατωνίου

(<http://en.climate-data.org/.../123419/>).



Σχήμα 2.2. Διάγραμμα θερμοκρασίας στην περιοχή Στρατωνίου

(<http://en.climate-data.org/.../123419/>).



month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
mm	57	40	46	31	37	32	23	15	24	45	62	65
°C	6.0	7.0	9.4	13.9	18.6	23.0	25.7	25.4	21.8	17.0	12.1	8.0
°C (min)	2.4	2.8	5.0	9.0	13.5	17.6	20.1	19.7	16.5	12.2	8.3	4.3
°C (max)	9.6	11.3	13.9	18.8	23.8	28.4	31.3	31.1	27.1	21.8	16.0	11.7
°F	42.8	44.6	48.9	57.0	65.5	73.4	78.3	77.7	71.2	62.6	53.8	46.4
°F (min)	36.3	37.0	41.0	48.2	56.3	63.7	68.2	67.5	61.7	54.0	46.9	39.7
°F (max)	49.3	52.3	57.0	65.8	74.8	83.1	88.3	88.0	80.8	71.2	60.8	53.1

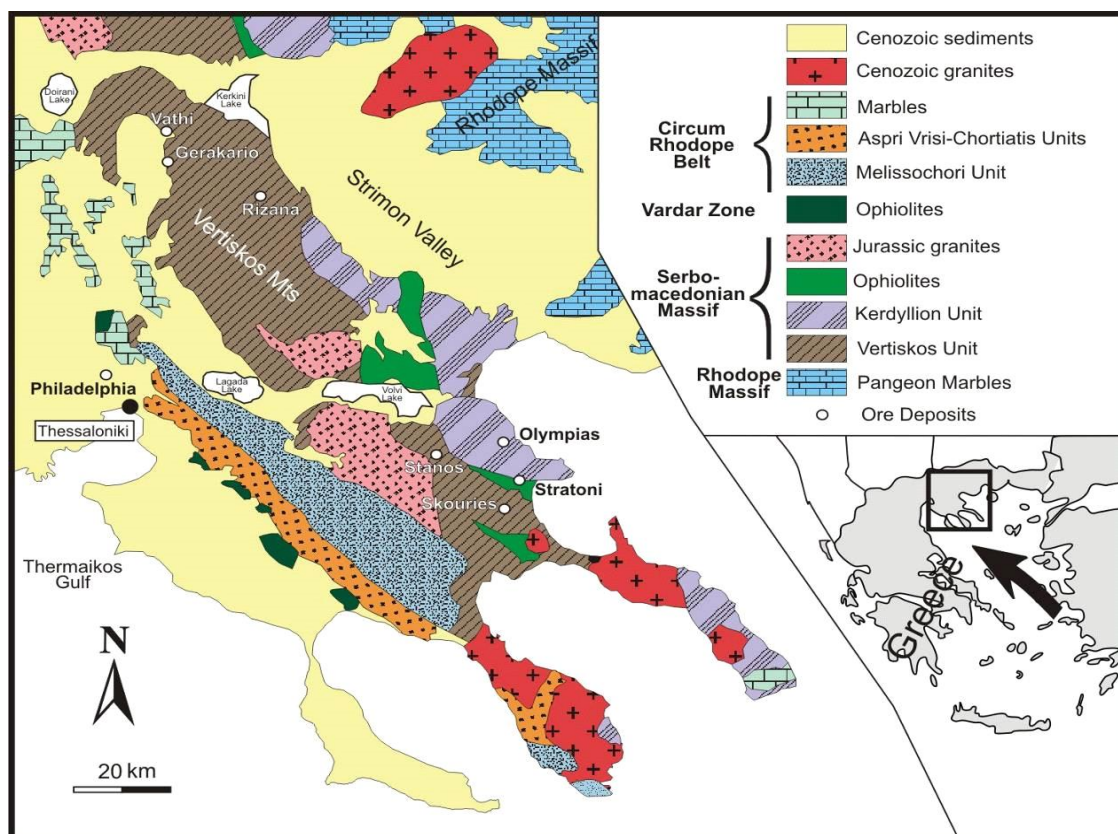
Σχήμα 2.3. Πίνακας δεδομένων κλίματος στην περιοχή Στρατωνίου. Για κάθε μήνα απεικονίζονται δεδομένα κατά μέσο όρο σχετικά με τις βροχοπτώσεις (mm), τη θερμοκρασία κατά μέσο όρο, καθώς και την ελάχιστη και μέγιστη (βαθμοί Celsius και Fahrenheit). Οι μήνες συμβολίζονται με τους αριθμούς της πρώτης γραμμής 1-12, Ιανουάριος έως Δεκέμβριος αντίστοιχα. (<http://en.climate-data.org/.../123419/>).

3. Γεωλογία της περιοχής μελέτης

3.1. Λιθοστρωματογραφία

Το Στρατώνι γεωτεκτονικά ανήκει στη Σερβομακεδονική μάζα της Ελληνικής Ενδοχώρας, η οποία οριοθετείται ανατολικά από τα Ελληνογιουγκοσλαβικά σύνορα έως τη Χαλκιδική και δυτικά από τον ποταμό Στρυμόνα. Σύμφωνα με τους Kockel and Walther (1965), Merciel (1966), Kockel and Mollat (1977), Himmerkus et al. (2007), Μουντράκη (2010), Melfos and Voudouris (2012) και Kydonakis et al. (2015, 2016) η περιοχή του Στρατωνίου ανήκει στην ενότητα Κερδυλίων, όπως φαίνεται και στις Εικόνα 3.1.1. - 3.1.3. Σύμφωνα με τα μέχρι τώρα προτεινόμενα μοντέλα των λιθοσφαιρικών πλακών, η Σερβομακεδονική και η μάζα της Ροδόπης αντιπροσωπεύουν ηπειρωτικό φλοιό, ο οποίος ίσως αποτελεί τμήμα της Ευρασίας. Η Σερβομακεδονική απαρτίζεται από κρυσταλλοσχιστώδη και πυριγενή πετρώματα. Τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα έχουν, σύμφωνα με τον Μουντράκη (2010), πιθανόν προέλευση από την Ευρασιατική πλάκα και χωρίζονται στην κατώτερη και αρχαιότερη σειρά των Κερδυλίων και στην ανώτερη και νεότερη σειρά του Βερτίσκου (Kockel and Walther 1968, Kockel et al. 1971, 1977, Μουντράκη 2010, Ζαΐμης 2013).

Μεταξύ των δύο αυτών ενοτήτων υπάρχει τεκτονική επαφή, όπου τοποθετήθηκε η μία τεκτονική ενότητα πάνω στην άλλη. Η επαφή αυτή δεν μπορεί να παρατηρηθεί σε όλο το μήκος της (Kockel and Walther 1968).



Εικόνα 3.1.1. Γεωλογικός χάρτης της Σερβομακεδονικής μεταλλογενετικής επαρχίας με τα κοιτάσματα μεταλλευμάτων των Kockel and Mollat (1977) τροποποιημένος από τους Melfos and Voudouris (2012).

Η ενότητα των Κερδυλίων, συνολικού πάχους 3Km, καταλαμβάνει την Ανατολική Χαλκιδική μεταξύ των εκβολών του Στρατωνίου και του Στρυμώνα.

Η σειρά αυτή έχει, σύμφωνα με τους Kockel and Walther (1968), Μουντράκης (2010) και Ζαΐμης (2013), την εξής διάταξη ως προς τη λιθοστρωματογραφία της από πάνω προς τα κάτω:

- Ορίζοντας Ανώτερου μαρμάρου: Παρεμβολή από βιοτιτικούς γενέσιους, βιοτιτικούς-κεροστιλβικούς γενέσιους, μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους, επιδοτιτικούς-ακτινολιθικούς σχιστόλιθους και αμφιβολίτες. Δυτικά του σχηματισμού αυτού εντοπίζεται η τεκτονική επαφή με την Ενότητα του Βερτίσκου (Πάχος: 30-300m).

Ορίζοντας Βιοτιτικών γνευσίων: Παρεμβολή από βιοτιτικούς-κεροσιλβικούς γνεύσιους, αμφιβολίτες και λεπτές ενστρώσεις μαρμάρων. (Πάχος: 700-1000m).

- Ορίζοντας Ενδιάμεσου μαρμάρου: Παρεμβολή στον ορίζοντα από αμφιβολίτες και γνεύσιοι. (Πάχος: 10-200m).
- Ορίζοντας Βιοτιτικών γνευσίων: Παρεμβολή από αμφιβολιτικά και ασβεστοπυριτικά πετρώματα. (Πάχος περίπου 1000m).
- Ορίζοντας Κατώτερου μαρμάρου: Στο σχηματισμό αυτό εντοπίζονται μεταλλοφορίες σουλφιδίων Pb-Zn-Au-Ag. (Πάχος έως 150m).
- Ορίζοντας Βιοτιτικών γνευσίων: Αποτελείται από μιγματιτικούς γνεύσιους και ορθοαμφιβολίτες. (Πάχος περίπου 700m).

Όσον αφορά τους ορίζοντες μαρμάρου, οι ενδιάμεσοι και κατώτεροι με χρώμα μαρμάρου λευκό έως τεφρό ορυκτολογικά αποτελούνται από χαλαζία, ασβεστίτη, γραφίτη, μοσχοβίτη, χλωρίτη και φλογοπίτη και οι κατώτεροι ορίζοντες μαρμάρου αποτελούνται από χαλαζία, δολομίτη, ασβεστίτη, ροδοχρωσίτη, τρεμολίτη, φλογοπίτη, χλωρίτη, διοψίδιο, γραφίτη, ακτινόλιθο, σκαπόλιθο και κλινόχλωρο (Kalogeropoulos et al. 1989a,b). Επίσης, συχνά παρατηρούνται ορυκτά skarn, όπως ανδραδίτης, γρανάτης και επίδοτο, στο Μαντέμ Λάκκο εντός του ορίζοντα κατώτερων μαρμάρων. Ωστόσο, τα ίδια ορυκτά δεν παρατηρούνται στον ίδιο ορίζοντα στην Ολυμπιάδα (Kalogeropoulos et al. 1989a,b, Ζαΐμης 2013). Η παρουσία των ορυκτών φλογοπίτη, τρεμολίτη, σκαπόλιθο και διοψίδιο συνδέονται με τις πηγματιτικές – απλιτικές φλέβες. Ο γραφίτης, που εντοπίζεται στους προαναφερθέντες ορίζοντες μαρμάρου, είναι αποτέλεσμα μεταμόρφωσης των ανθρακικών συστατικών. (Kalogeropoulos et al. 1989a,b)

Σύμφωνα με τους Kalogeropoulos et al. (1989b), οι βιοτιτικοί γνεύσιοι αποτελούνται ορυκτολογικά από χαλαζία, πλαγιόκλαστο, μικροκλινή, βιοτίτη, επίδοτο, τιτανίτη, γρανάτη, ζirkόνιο και απατίτη. Παρουσιάζονται αδρόκοκκοι μέχρι μεσόκοκκοι, με πτυχές και σχιστότητα. Οι θεωρίες για την προέλευση των βιοτιτικών γνευσίων διαφέρουν μεταξύ των ερευνητών. Σύμφωνα με τους Δημητριάδη (1974) και Kockel et al. (1977), οι βιοτικοί γνεύσιοι είναι παρα-γνεύσιοι με προέλευση γραουβάκες, ενώ ο Kalogeropoulos et al. (1989b) θεωρεί πως μόνο ορισμένοι

βιοτιτικοί γνεύσιοι είναι παρα-γνεύσιοι με πρωτόλιθους γραουβάκες και οι υπόλοιποι είναι ορθο-γνεύσιοι με προέλευση πυριγενή πετρώματα. (Δημητριάδης 1974, Kockel et al. 1977, Kalogeropoulos et al. 1989b, Ζαΐμης 2013)

Σύμφωνα με τους Nicolaou (1960), Δημητριάδη (1974), Kockel et al. (1977) και Ζαΐμης (2013), οι κεροστιλβικοί – βιοτιτικοί γνεύσιοι συνίστανται από τα εξής ορυκτά: χαλαζία, πλαγιόκλαστο, βιοτίτη, κεροστίλβη, επίδοτο, τιτανίτη και γρανάτη, ενώ οι αμφιβολίτες από πλαγιόκλαστο, βιοτίτη, κεροστίλβη, κλινοπυρόξενο, τιτανίτη και επίδοτο. Οι αμφιβολίτες, σύμφωνα με τους Δημητριάδη (1974) και Kockel et al. (1977), έχουν ιζηματογενή προέλευση, δηλαδή από μάργες, ενώ σύμφωνα με τους Κασώλη-Φουρνάρη (1981) και Kalogeropoulos et al. (1989b) έχουν μαγματική προέλευση. Οι Κασώλη-Φουρνάρη (1981) και Kalogeropoulos et al. (1989b) υποστηρίζουν τη μαγματική προέλευση και για τους κεροστιλβικούς - βιοτιτικούς και λευκοκρατικούς γνεύσιους. (Nicolaou 1960, Δημητριάδη 1974, Kockel et al. 1977, Κασώλη-Φουρνάρη 1981, Kalogeropoulos et al. 1989b, Ζαΐμης 2013)

Δυτικά της ενότητας Κερδυλίων βρίσκεται η ενότητα του Βερτίσκου, η οποία εκτείνεται, σύμφωνα με τον Μουντράκη (2010), προς το Βορρά μέχρι τα σύνορα. Η ενότητα αυτή απαρτίζεται από μιγματιτικούς, οφθαλμοειδείς ορθογνεύσιους, μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους και λεπτές ενστρώσεις μαρμάρων και στα ανώτερα τμήματα από μεταγάββρους-μεταδιαβάσες και ορθοαμφιβολίτες, των οποίων τα μητρικά πετρώματα είναι βασικά πυριγενή. Τα πετρώματα αυτά παρατηρούνται ως φακοί και ενδιαστρώσεις μέσα στους γνευσίους. Μέσα στα άλλα πετρώματα παρεμβάλλονται σερπεντινίτες με τεκτονικές επαφές (Μουντράκης 2010).

Ραδιοχρονολογήσεις σε μαρμαρυγίες των πηγματιτών της μάζας έδειξαν πως η κρυσταλλοσχιτώδης μάζα έχει ηλικία Παλαιozoική και η μεταμόρφωσή της είναι Ερκύνια (275-337 Ma) (Kockel et al. 1971). Ωστόσο, σύμφωνα με άλλους ερευνητές (Himmerkus et al. 2006) το κρυσταλλοσχιτώδες σχηματίστηκε στο Προκάμβριο (555-587 Ma) και οι διεισδύσεις των γρανιτών-ορθογνευσίων έλαβαν χώρα στο Σιλούριο (428-433 Ma).

Σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες (Kydonakis et al. 2015) η χερσόνησος της Χαλκιδικής αποτελείται από την ενότητα του Βερτίσκου ως υπόβαθρο, από την ανώτερη ζώνη της Ροδόπης και από τις ενότητες του τόξου και πίσω από το τόξο (arc/back-arc units), όπως η μαγματική ενότητα του Χορτιάτη και η ανατολική

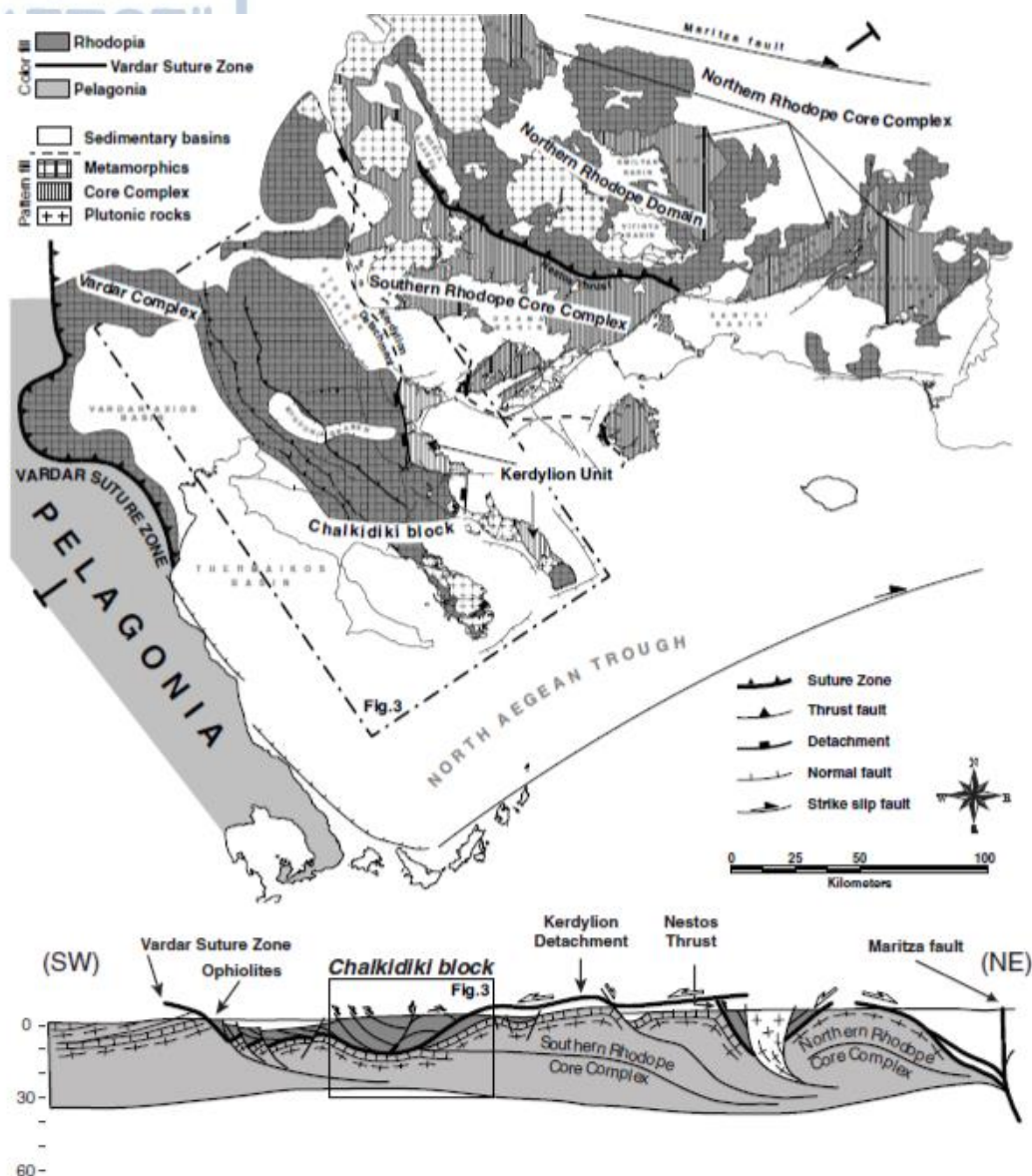
ενότητα των οφιολίθων του Βαρδαρίου (Εικόνα 3.1.2.). Το σύμπλεγμα αυτών των ενοτήτων αποτελεί δυτικό τμήμα της μεταμορφικής ενότητας της Μάζας της Ροδόπης και τοποθετείται πάνω στην ενότητα των Κερδυλίων. Η δομή αυτή συνδέεται με την «εμφάνιση» του πυρήνα του συμπλέγματος της Νότιας Ροδόπης και την εμφανώς πλαστική δομή, που σχετίζεται με την έκταση του Αιγαίου κατά το Τριτογενές. Το block της Χαλκιδικής είναι μία από τις τρεις ενότητες της Μάζας της Ροδόπης μαζί με τη Βόρεια ενότητα και την Νοτιοκεντρική ενότητα (Kydonakis et al. 2016). Η συγκεκριμένη ενότητα αποτελεί το νοτιοδυτικό κομμάτι της Ροδόπης, η οποία χαρακτηρίζεται από γεγονότα μεταμόρφωσης υψηλής πίεσης, τα οποία ακολουθούνται από θερμική επανεξισορρόπηση σε υψηλότερη θερμοκρασία και χαμηλότερη πίεση (Kydonakis et al. 2015, Kydonakis et al. 2016). Τα γεγονότα μεταμόρφωσης οφείλονται στην υποβύθιση κατά το Κρητιδικό ηπειρωτικού τέμαχους προς τα ΒΑ, που αποτελείται από το υπόβαθρο, δηλαδή τους γρανίτες του Παλαιοζωικού, μαζί με το «κάλυμμα» ιζηματογενών πετρωμάτων Τριαδικού-Ιουρασικού. Σύμφωνα με τον Kydonakis et al. 2015, τα ήδη υπάρχοντα δεδομένα γεωχρονολόγησης αποδεικνύουν πως όλα τα στρώματα πλαστικής παραμόρφωσης του block της Χαλκιδικής σχηματίστηκαν μεταξύ του Άνω και του Κάτω Κρητιδικού. Η φύλλωση εμφανίζεται με διαφορετικούς τρόπους στις τρεις ενότητες του block. Στην ενότητα του Βερτίσκου παρατηρείται μικρής γωνίας βύθιση του Παλαιοζωικού υποβάθρου, η οποία επηρεάζεται από την αναδίπλωση της ιζηματογενούς υπερκείμενης ζώνης της Ροδόπης καθώς και της απότομης βύθισης της μαγματικής ενότητας του Χορτιάτη προς τα ΒΑ του τόξου. Ωστόσο, η κύρια διεύθυνση κλίσης της φύλλωσης, όπως και η γραμμές έκτασης, κλίνουν προς τα ΒΔ-ΝΑ. Το block της Χαλκιδικής και η Βόρεια ενότητα επηρεάστηκαν από το ίδιο μεταμορφικό γεγονός ηλικίας Μεσοζωικού, όμως από διαφορετικά τεκτο-θερμικά γεγονότα. Σύμφωνα με τις μελέτες, η ενότητα Κερδυλίων ανήκει στη Μάζα της Ροδόπης. (Kydonakis et al. 2016)

Πέραν των πετρωμάτων, στην περιοχή παρατηρούνται και ιζήματα ειδικά κοντά στις κοίτες των χειμάρρων και στις χαμηλές ζώνες κοντά στην ακτή. Τα ιζήματα αυτά διαχωρίζονται ως εξής (Μουντράκης 1985, Ολάσογλου 2014):

- Αδιαίρετες αποθέσεις Πλειστοκαίνου: Αποτελούνται από υλικά του ανώτερου συστήματος αναβαθμίδων της περιοχής, από πλευρικά

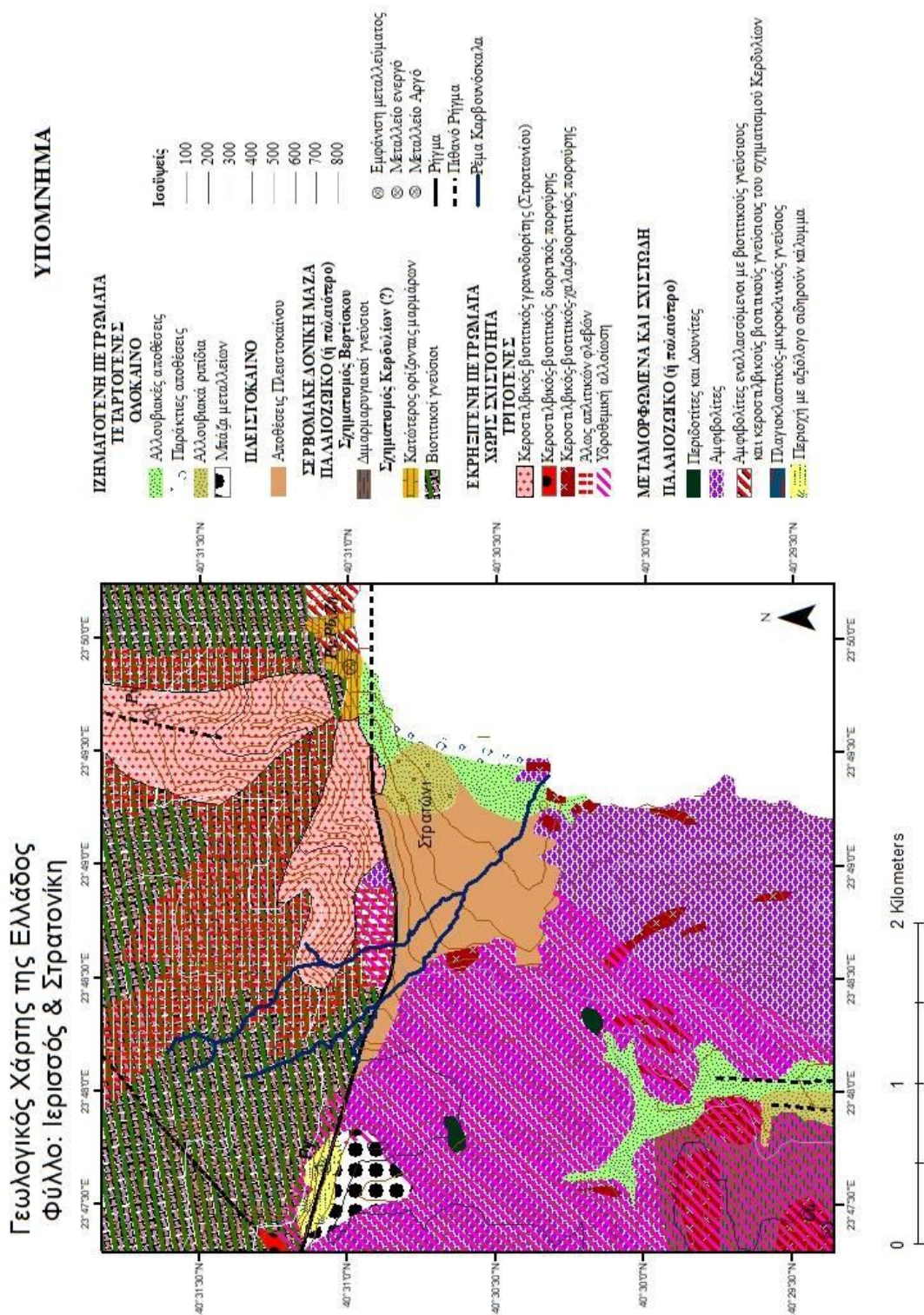


- κορήματα, κώνους κορημάτων και από πρόσφατες αλλουβιακές αποθέσεις. (Μουντράκης 1985, Ολάσογλου 2014)
- Ιζήματα των ποτάμιων αναβαθμίδων (Μουντράκης 1985, Ολάσογλου 2014):
 - Ανώτερο σύστημα: Βρίσκεται κατά μήκος της κοιλάδας του χειμάρρου ανάμεσα στα Στάγειρα και στη Στρατωνίκη (Πλειστόκαινο).
 - Κατώτερο σύστημα: Εντοπίζεται έξω από την περιοχή μελέτης (Ολόκαινο).
 - Κώνοι κορημάτων: Βρίσκονται στις εξόδους των μικρών ρεμάτων και είναι μικρής εξάπλωσης. (Μουντράκης 1985, Ολάσογλου 2014)
 - Αλλουβιακές αποθέσεις: Παρατηρούνται στις κοίτες των ρεμάτων της περιοχής και κυρίως στις ακτές του Στρατωνίου. (Μουντράκης 1985, Ολάσογλου 2014):



Εικόνα 3.1.2. Τροποποιημένος γεωλογικός χάρτης (πάνω) των Kockel and Mollat (1977), Brun and Sokoutis (2007) και Burg (2012) από τους Kydonakis et al. (2015). Γεωλογική τομή (κάτω) με διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ.

Εικόνα 3.1.3. Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης. Τροποποιημένος από τους γεωλογικούς χάρτες του Ι.Γ.Μ.Ε.
Ένωση φύλλων: Ιερισσός και Στρατονίκη. Επεξεργασμένος με το πρόγραμμα ArcMAP.



3.2. Συνθήκες μεταμόρφωσης

Σύμφωνα με τους Δημητριάδη (1974) και Μουντράκη (2010), παρατηρήθηκαν υπολειμματικοί κρύσταλλοι των παλαιών βασικών πυριγενών πετρωμάτων μέσα σε μεταβασικά πετρώματα (ορθοαμφιβολίτες της κρυσταλλοσχιστώδους μάζας), οι οποίοι είναι χαρακτηριστικοί της εκλογιτικής φάσης μεταμόρφωσης υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης ($T=700-1000^{\circ}\text{C}$, $P=13-14\text{kbars}$). Η μεταμόρφωση πραγματοποιήθηκε στο Παλαιοζωικό (προ-Ερκύνια)

Έπειτα ακολούθησε μία κύρια μεταμόρφωση αμφιβολιτικής φάσης ($T=650-750^{\circ}\text{C}$, $P=3,5-8,5\text{kbars}$), που επηρέασε τους προαναφερθέντες εκλογίτες. Ταυτόχρονα με τη μεταμόρφωση έλαβε χώρα η παραμόρφωση και η δημιουργία της κύριας σχιστότητας των πετρωμάτων, αλλά και η ανάτηξη των υπαρχόντων πετρωμάτων και ο σχηματισμός μιγματιτών και γρανιτών. Μερικοί ερευνητές υποστηρίζουν πως η μεταμόρφωση αυτή έχει ηλικία Άνω Παλαιοζωική, κατά την Ερκύνια ορογένεση, ενώ άλλοι Ιουρασική (Δημητριάδης, 1974, Μουντράκης, 2010, Ζαΐμης 2013).

Το τελευταίο γεγονός μεταμόρφωσης πραγματοποιήθηκε κατά το Α. Ιουρασικό - Κ. Κρητιδικό ή κατά το Τριτογενές και ήταν ανάδρομης πρασινοσχιστολιθικής φάσης. Το μεταμορφικό αυτό γεγονός συνοδεύτηκε από διεισδύσεις απλιτικών έως πηγματιτικών φλεβών κυρίως στην Ενότητα Κερδυλίων (Harre et al. 1968, Echtler et al. 1987, Δημητριάδης 1974, Sakellariou 1989, Ζαΐμης 2013).

3.3. Μαγματισμός

Σύμφωνα με τον Μουντράκη (2010), στην περιοχή αυτή εντοπίζονται τέσσερις φάσεις μαγματισμού:

- Πρώτη φάση: Μάγμα βασικής - υπερβασικής σύστασης. Η φάση αυτή αποτελείται από μεταβασικά συμπυκνωμένα μετακρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα (ορθοαμφιβολίτες, μεταγάββροι, μεταδιαβάσες) (Προαλπικό).
- Δεύτερη φάση: Πλαγιοκλαστικοί-μικροκλινικοί γνεύσιοι (παλαιογρανίτες) (Άνω Παλαιοζωικό).

- Τρίτη φάση: Γρανιτικής σύστασης μαγματισμός με σύγχρονη μεταπτύχωση. Η φάση αυτή αντιπροσωπεύεται από τους γρανίτες της Αρναίας και του Αγίου Όρους. (Ιουρασικό)

- Τέταρτη φάση: Κατά το Τριτογενές (Ηώκαινο-Ολιγόκαινο) έχουμε μετα-ορογενετικό όξινο μαγματισμό κατά τον οποίο διεισδύει μερικώς πορφυριτικό ασβεσταλκαλικό μέχρι σωσσονιτικό μάγμα στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο (Kockel et al. 1975, 1977, Tomprouloglou et al. 1986). Με το μαγματισμό αυτό συνδέονται οι γρανοδιορίτες της Σιθωνίας και της Ιερισσού και ο πορφύρης των Σκουριών (Frei 1992).

Πιο συγκεκριμένα, ο γρανοδιορίτης του Στρατωνίου (Πρώτη φάση Τριτογενούς μαγματισμού) διείσδυσε στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο της Ενότητας των Κερδυλίων, εμφανίζεται στην επιφάνεια μισό χιλιόμετρο βόρεια του Στρατωνίου και καλύπτει έκταση 3 km² περίπου (Nicolau 1960, Kalogeropoulos et al. 1989b). Σύμφωνα με χρονολογήσεις με τη μέθοδο U/Pb σε ζirkόνια, η διείσδυση έχει ηλικία 27,9 ± 1,2 Ma (Gilg and Frei 1994). Ο γρανοδιορίτης έχει ασβεσταλκαλική σύσταση, είναι αδρόκοκκος έως λεπτόκοκκος και αποτελείται από χαλαζία, πλαγιόκλαστο (An37-47), K-αστρίους (Or88-92), βιοτίτη, μαγνητίτη, τιτανίτη, απατίτη και ζirkόνιο (Nicolau 1960, Tomprouloglou 1981, Kalogeropoulos et al. 1989c, Frei 1992, Gilg and Frei 1994). Δευτερογενώς σχηματίζονται ασβεστίτης, σερίκίτης, χλωρίτης, ακτινόλιθος, επίδοτο, ρουτίλιο, σιδηροπυρίτης, αιματίτης και χαλκοπυρίτης λόγω της προπυλιτικής και φυλλιτικής εξαλλοίωσης. Η φυλλιτική εξαλλοίωση εμφανίζεται λόγω της διείσδυσης μεταγενέστερων μικρογρανιτικών έως δακτιτικών φλεβών τόσο στο συγκεκριμένο γρανοδιορίτη, όσο και στο γνεύσιο της Ενότητας Κερδυλίων (Frei 1992, Gilg and Frei 1994). Σύμφωνα με έρευνες σε ισότοπα Nd-Sr και στις μεταβολές κύριων στοιχείων, ιχνοστοιχείων και σπάνιων γαιών, ο συγκεκριμένος γρανοδιορίτης προέκυψε κατά την ανάμειξη δύο μαγμάτων σε περιβάλλον υποβύθισης. Το μάγμα, που έπαιξε κύριο ρόλο στην ανάμειξη, είχε βασική σύσταση και ήταν τύπου ηφαιστειακού τόξου, ενώ το δεύτερο μάγμα, που συμμετείχε σε μικρό ποσοστό, ήταν ηπειρωτικής προέλευσης, καθώς επίσης πυριτικό και ισοτοπικά ραδιογενές ανατηκτικό μάγμα. (Kalogeropoulos et al. 1990)

Κατά τη διείσδυση του γρανοδιορίτη του Στρατωνίου, καθώς επίσης και των γρανοδιοριτικών έως χαλαζοδιοριτικών πορφύρων δημιουργείται άλω θερμικής μεταμόρφωσης στα γειτονικά πετρώματα και κατά την επαφή με τα μάρμαρα των Κερδυλίων δημιουργείται μία ζώνη Cu-skarn έκτασης 1 km (Kalogeropoulos et al. 1990, Gilg and Frei 1994). Σχηματίστηκαν χαλαζιάς, ασβεστίτης και ένυδρα ορυκτά skarn (τάλκης, χλωρίτης, αμφίβολοι, σερπεντίνη) ενώ στη σύσταση συμμετέχουν και σουλφίδια (σιδηροπυρίτης, μαγνητοπυρίτης, χαλκοπυρίτης). Όμως, όταν το περιβάλλον δημιουργίας του skarn είναι δολομιτικό μάρμαρο, τότε αποτελείται από ανυδρίτη, φλογοπίτη, μαγνητίτη και φορστερίτη. (Gilg and Frei 1994)

Όσον αφορά τη δεύτερη φάση του Τριτογενούς μαγματισμού, αυτή συνοδεύεται από εξαλλοιωμένες πορφυριτικές φλέβες και διεισδύσεις σύστασης γρανοδιοριτικής μέχρι χαλαζιακής – διοριτικής, οι οποίες έχουν ηλικία $25,4 \pm 0,6$ μέχρι $24,4 \pm 0,6$ Ma (K/Ar σε βιοτίτη) (Gilg and Frei 1994). Η εξαλλοίωση των φλεβών είναι φυλλιτική και εντοπίζεται στην Φυσόκα και στα Άσπρα Χώματα (Kockel et al. 1975, Papadakis and Michailidis 1976, Tomprouloglou 1981, Περαντώνης 1982). Οι διεισδύσεις αυτές, που διακόπτουν τους μικρογρανίτες και τους απλίτες του γρανοδιορίτη του Στρατωνίου, συνδέονται με την υδροθερμική δραστηριότητα και κατ'έκταση με τη μεταλλογένεση στο Μαντέμ Λάκκο, τις Μαύρες Πέτρες και την Ολυμπιάδα (Frei 1992, Gilg and Frei 1994). Επίσης, οι φλέβες αυτές περιλαμβάνουν αστρίους και φεμικά ορυκτά (κεροστίλβη, βιοτίτη), τα οποία κατά την εξαλλοίωση αντικαταστάθηκαν από χαλαζία, χλωρίτη, σερίκίτη και ανθρακικά ορυκτά. (Gilg and Frei 1994).

Κατά την τρίτη φάση Τριτογενούς μαγματισμού διείσδυσαν ανδεδιτικές πορφυριτικές φλέβες ηλικίας $19,1 \pm 0,6$ Ma, σύμφωνα με μετρήσεις με τη μέθοδο K/Ar σε βιοτίτη (Gilg and Frei 1994). Τα ορυκτά των φλεβών είναι πλαγιόκλαστο, βιοτίτης και κεροστίλβη μέσα σε μια κρυπτοκρυσταλλική έως αφανιστική μάζα (Gilg and Frei 1994). Σύμφωνα με τους Neubauer (1957), Nicolaou (1960), Kalogeropoulos et al. (1989b), Nebel et al. (1991) και Gilg and Frei (1994), το ρήγμα του Βαθύλακκου, κοντά στο Μαδέμ Λάκκο, διακόπτει ένα πρασινότεφρο πυριγενές πέτρωμα (ρυοδακίτης ή λαμπροφύρης) το οποίο στη συνέχεια διακόπτεται, όπως και η μεταλλοφορία Pb-Zn-Au-Ag μέσα στα ανθρακικά πετρώματα, από τις ανδεδιτικές πορφυριτικές φλέβες. Οι φλέβες αυτές διεισδύουν και στο γρανοδιορίτη του Στρατωνίου (Neubauer 1957, Nicolaou 1960). Το αναφερόμενο πέτρωμα

«ρυοδακίτης» (Nebel et al. 1991, Ζαΐμης 2013) ή «λαμπροφύρης» (Kalogeropoulos et al. 1989b, Ζαΐμης 2013) περιλαμβάνει ανθρακικά ορυκτά, χαλαζιακούς ξενόλιθους, ξενόλιθους δολομιτικού μαρμάρου, φυλλώδεις κρυστάλλους Cr-μοσχοβίτη, σουλφίδια και ιδιόμορφους φαινοκρυστάλλους απατίτη μέσα σε αφανιτική μάζα, που είναι πλούσια σε ανθρακικά ορυκτά.

3.4. Τεκτονική εξέλιξη – ενεργά ρήγματα της περιοχής

Στην ευρύτερη περιοχή και γενικότερα στη Σερβομακεδονική παρατηρείται, σύμφωνα με το Μουντράκη (2010), συνεχής τεκτονική δραστηριότητα από το Παλαιοζωικό έως το Ηώκαινο - Ολιγόκαινο. Ραδιοχρονολογήσεις στον Ελλαδικό χώρο απέδειξαν πως κατά την πρώτη ορογενετική περίοδο, η οποία είναι η Ερκύνια (300Ma), δημιουργήθηκαν ισοκλινείς πτυχές συμμεταμορφικές ως προς την κύρια αμφιβολιτική μεταμόρφωση. Οι πτυχές αυτές έχουν γενική διεύθυνση και βύθιση των αξόνων τους προς Βορρά. Επίσης, σε αυτή την περίοδο χρονολογείται και η πρώτη σχιστότητα S1 των μιγματιτών (Μουντράκης 2010).

Η δεύτερη περίοδος ορογένεσης εξελίχθηκε, σύμφωνα με το Μουντράκη (2010), ταυτόχρονα με την αμφιβολιτική μεταμόρφωση (Ιουρασικό). Η φάση αυτή των πτυχώσεων ήταν συμμεταμορφική και δημιούργησε ισοκλινείς πτυχές με άξονες ΒΔ-ΝΑ και την κύρια σχιστότητα της Σερβομακεδονικής μάζας. Κατά την ίδια περίοδο εμφανίστηκε και ο Μεσοζωικός μαγματισμός, ο οποίος δημιούργησε τους γρανίτες Αρναίας, Μονοπήγαδου κ.τ.λ. (Μουντράκης 2010).

Η πρασινοσχιστολιθική μεταμορφική φάση του Α. Ιουρασικού-Κ. Κρητιδικού συνδέεται με τις κλειστές – υποϊσοκλινείς πτυχές (Μουντράκης 2010).

Νεότερες μελέτες έδειξαν ότι τα μεταμορφωμένα πετρώματα της μάζας δέχονται μια πλαστική εκτατική τεκτονική ηλικίας Α. Κρητιδικό έως και Νέο Τριτογενές (Killias et al. 1999, Φαλαλάκης 2004, Μουντράκης 2010). Η τεκτονική αυτή συνεχίζεται ως ημι-πλαστική (semi-ductile) στο Ηώκαινο-Ολιγόκαινο-Κ. Μειόκαινο και προκάλεσε πυκνές ζώνες διάτμησης μικρής γωνίας κλίσης με κανονική κίνηση προς ΒΑ-ΝΔ, σχιστότητα και γράμμωση έκτασης ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης, στην οποία τοποθετείται παράλληλα ο κύριος άξονας εφελκυσμού σ3

(Killias et al 1999, Μουντράκης 2010). Η εφελκυστική τεκτονική, επίσης, δημιούργησε θραυστικές συνθήκες (brittle) και προκάλεσε κανονικά ρήγματα, τα οποία θεωρούνται ενεργά από το Ολιγόκαινο μέχρι σήμερα (Εικόνα 3.4.1) (Voidomatis et al. 1990, Παυλίδης 2010, Ζαΐμης 2013).

Πολλά τεκτονικά κέρατα και τεκτονικές τάφροι κατά μήκος της Σερβομακεδονικής μάζας οφείλονται στη νεοτεκτονική δραστηριότητα σύμφωνα με Pavlides and Kiliass (1987), Παυλίδης (2010). Τα ιζήματα Νεογενούς-Τεταρτογενούς, όπως αμμώδης μάργα, υφάλμυροι-λιμναίοι ασβεστόλιθοι, άμμος, ιλύς-άμμος, εκτείνονται σε μέρη της χερσονήσου της Χαλκιδικής (π.χ. περιοχή Ιερισσού και Γοματίου) με τις αντίστοιχες νεοτεκτονικές φάσεις (Pavlides and Kiliass 1987, Παυλίδης 2010).

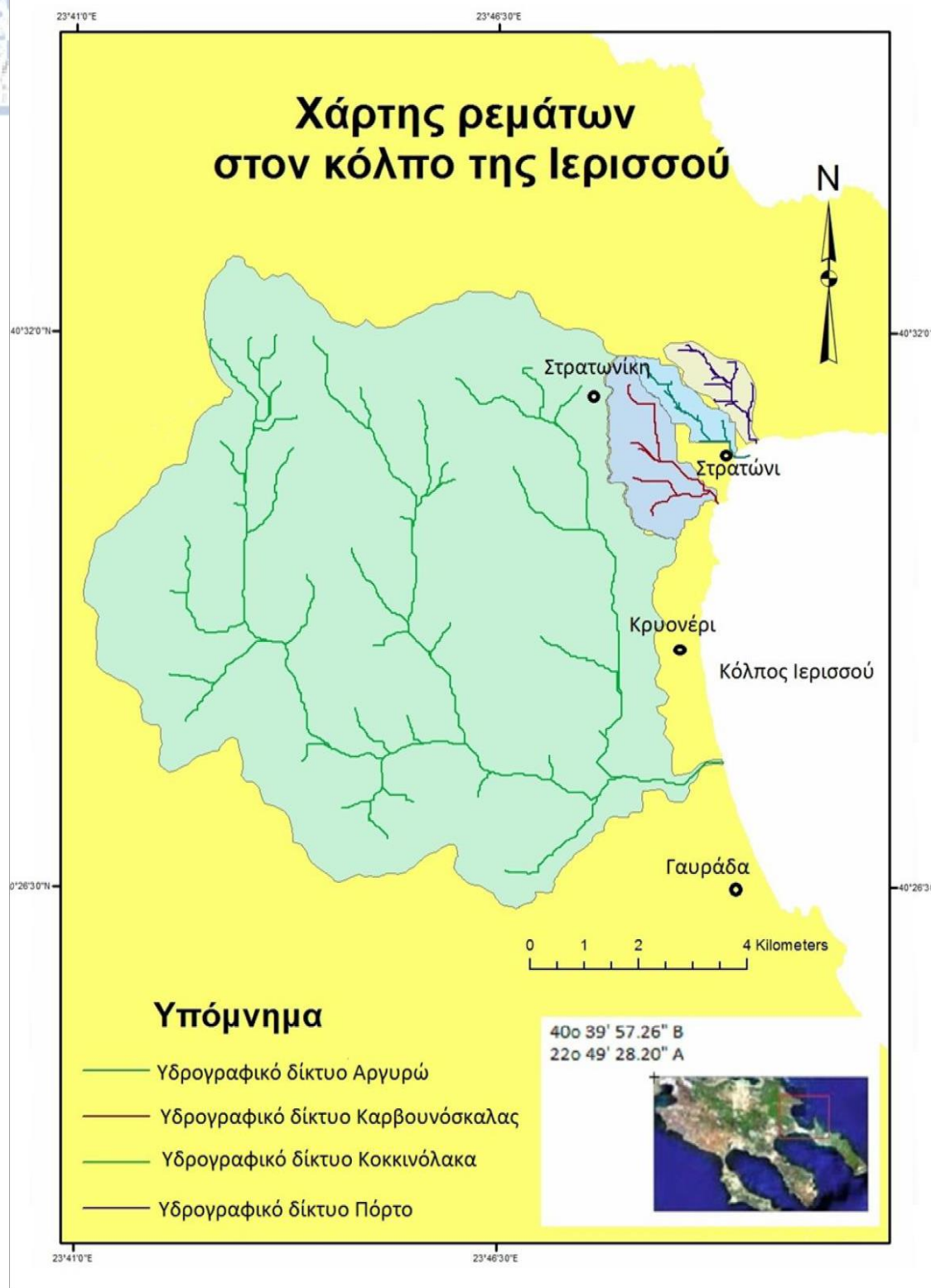
Σύμφωνα με τον Mountrakis (2006) και τους Pavlides and Kiliass (1987), τα μεγάλα ρήγματα της ΒΑ Χαλκιδικής εμφανίζουν τρεις γενικές διευθύνσεις ανάπτυξης. Ένα μεγάλο μέρος από αυτά προσανατολίζονται σε μία ΒΔ-ΝΑ ως ΒΒΔ-ΝΝΑ κατεύθυνση, ένα δεύτερο σύστημα έχει διεύθυνση περίπου Α-Δ ως ΔΒΔ-ΑΝΑ, ενώ ένα τρίτο έχει μία ΒΑ-ΝΔ κατεύθυνση. Μερικά ρήγματα τείνουν περίπου σε μία Β-Ν κατεύθυνση. Οι εφελκυστικές τάσεις έχουν γενική διεύθυνση Βορράς-Νότος και έτσι δημιουργούνται κανονικά ρήγματα, Α-Δ διεύθυνσης κυρίως (Παυλίδης 2010).

Σύμφωνα με τον Παυλίδη (2010), το ρήγμα Στρατωνίου - Βαρβάρας έχει μήκος περίπου 30 km εκ των οποίων 15 km στην ξηρά και έχει διεύθυνση Α - Δ. Θεωρείται ως χαρτογραφικό όριο της κατώτερης ενότητας Κερδυλίων με την ανώτερη ενότητα Βερτίσκου και με το οφιολιθικό σύμπλεγμα Βόλβης - Γοματίου (Dixon and Dimitriadis 1985). Διακρίνεται έτσι το ρήγμα Στρατωνίου - Βαρβάρας σε τρία τμήματα (segment), τα οποία είναι: ρήγμα Στρατωνίου, ρήγμα Βαρβάρας και ρήγμα Γοματίου (Μιχαηλίδου 2005, Χατζηπέτρος κ.α. 2005, Παυλίδης 2010).

3.5 Υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής

Στην περιοχή παρατηρούνται, σύμφωνα με τους Καταφιώτη (2008) και Ολάσογλου (2014), 4 λεκάνες απορροής, οι οποίες ανήκουν στα ρέματα: Κοκκινόλακκας, Αργυρούς, Καρβουνόσκαλα και Πόρτο, που εκβάλλουν στον κόλπο της Ιερισσού με κατεύθυνση ΒΔ-ΝΑ (Εικόνα 3.5.1.). Ο κόλπος της Ιερισσού έχει έκταση 166 km^2 και όγκο $8,3 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ και είναι μία από τις μεγαλύτερες ημίκλειστες υδατικές επιφάνειες του Β. Αιγαίου. Το σχήμα του κόλπου είναι ελλειπτικό και ο προσανατολισμός του ΒΔ-ΝΑ. Έχει απότομο κοντά στην ακτή πυθμένα και η ισοβαθής των 50m βρίσκεται πολύ κοντά στην ακτή. Θεωρείται μία λεκάνη ημίκλειστη που κοντά στην είσοδό της εξωτερικά παρουσιάζει μία υφαλοράχη και το κεντρικό της σημείο έχει βάθος 80m. Επίσης, όσον αφορά τη βιοποικιλότητά του, είναι ένας από τους πιο σημαντικούς ιχθυότοπους του Β. Αιγαίου ως προς τα πελαγικά είδη. (Sylaios et al. 2006, Perissoratis and Mitropoulos 1988, Kallianiotis 1999)

Το ρέμα Καρβουνόσκαλας ανήκει στο υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής, έχει ως «κορμό» τον Κοκκινόλακκα και βρίσκεται δυτικά του ρέματος Αργυρούς. Το ρέμα Καρβουνόσκαλας έχει έκταση $3,9 \text{ km}^2$ και μέσο υψόμετρο 684 m περίπου, αφού χαρακτηρίζεται ως ημιορεινό, αλλά και πεδινό κατά το ήμισυ. Το μεγαλύτερο μέρος (62%) της επιφάνειάς του καταλαμβάνεται από δάση και θαμνώδεις εκτάσεις, ενώ η υπόλοιπη επιφάνειά του αποτελείται από αγροτικές (21%) και δομημένες (17%) εκτάσεις. Σε σύγκριση με τα υπόλοιπα ρέματα παρουσιάζει λιγότερη δασοκάλυψη. Το ρέμα λειτουργεί ως χείμαρρος και οι εκτιμώμενες παροχές του είναι $0,01 \text{ m}^3/\text{s}$ η μέση και η μέγιστη $0,02 \text{ m}^3/\text{s}$. (Καταφιώτη 2008, Ολάσογλου 2014).



Εικόνα 3.5.1. Χάρτης των υδρογραφικών δικτύων των ρεμάτων: Αργυρώ, Καρβουνόσκαλα, Κοκκινόλακας και Πόρτο. Τροποποιημένα φύλλα των γεωλογικών χαρτών Στρατονίκης και Ιερισσού (ΙΓΜΕ, 1978) από Ολάσογλου (2014).

4. Μεταλλευτική ιστορία της ΒΑ Χαλκιδικής

Η ΒΑ Χαλκιδική θεωρείται το δεύτερο σε έκταση και μέγεθος μεταλλευτικό κέντρο της Ελλάδας. Το μέταλλευμα της περιοχής είναι πλούσιο σε χρυσό, άργυρο – μόλυβδο - ψευδάργυρο και χαλκό. Μέσα στα μεταλλεύματα μεικτών θειούχων, μαγγανίου, χαλκού, καθώς και σε χαλαζιακές φλέβες με αρσеноπυρίτη εντοπίζεται χρυσός, ενώ ο άργυρος μέσα σε μέταλλευμα μολύβδου και θειοαλάτων. Επίσης, σημαντική ήταν η εκμετάλλευση προσχωματικού χρυσού από ποταμούς και χειμάρρους της Χαλκιδικής (Vavelidis et. al. 1983, Wagner et. al. 1986, Βαβελίδης 2000).

Στην περιοχή παρατηρούνται, σύμφωνα με το Βαβελίδη (2000), αρχαίες μεταλλευτικές στοές και σκωρίες γεγονός που αποδεικνύει την μεταλλευτική και μεταλλουργική δραστηριότητα από την προϊστορική εποχή. Ανασκαφές στα αρχαία Στάγειρα και βεβαιωμένα ίχνη εκμετάλλευσης οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι η δραστηριότητα είχε ξεκινήσει από τον 6^ο αιώνα π.Χ. (Βαβελίδης 2000, Βαβελίδης 2009, Βαβελίδης και Μέλφος 2012). Όμως, σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά των αρχαίων μεταλλευτικών στοών στην Ολυμπιάδα και στο Μεταγγίτσι, η μεταλλευτική δραστηριότητα άρχισε κατά την αρχαϊκή εποχή. Τα Στάγειρα (σημερινή Ολυμπιάδα) παρόλο που ήταν η γενέτειρα του Αριστοτέλη, στα κείμενά του δεν αναφέρεται η αρχαία μεταλλευτική εκμετάλλευση της περιοχής (Vavelidis et al. 1983).

Σύμφωνα με τους Saguì 1928, Davies 1935, Βαβελίδης 2009, κατά την εποχή του Φιλίππου Β' έως την εποχή του Μεγάλου Αλεξάνδρου η εκμετάλλευση των μεταλλείων για την απόληψη αργύρου και μολύβδου ήταν συστηματική. Ο Κονοφάγος (1980) ανέφερε πως κατά την εποχή του Μεγάλου Αλεξάνδρου η Μακεδονική αυτοκρατορία στηρίχθηκε στα ατελείωτα πολεμικά λάφυρα και σε πολύτιμα μέταλλα από την Ανατολή, καθώς επίσης και στην εκμετάλλευση των κοιτασμάτων της Μακεδονίας και Θράκης (Βαβελίδης 2009).

Η μεταλλευτική δραστηριότητα δεν αναφέρεται κατά τον 1^ο αιώνα π.Χ. στην πόλη των Σταγείρων, η οποία είχε ερημώσει (Στράβων, Ζ, 35). Κατά τη Ρωμαϊκή περίοδο συνεχίστηκε η μεταλλευτική-μεταλλουργική δραστηριότητα, όπως έδειξαν μελέτες με χρονολόγηση ¹⁴C στην περιοχή Μεταγγίτσι, οι οποίες έδειξαν ηλικίες 60 - 130 μ.Χ. και 330 - 500 μ.Χ (Wagner et al. 1986).

Όσον αφορά την εκμετάλλευση κατά τη Ρωμαϊκή περίοδο δύο αρχαίοι συγγραφείς, ο Διόδωρος ο Σικελιώτης και ο Cassiodorus αναφέρουν ότι τα μεταλλεία αργύρου και χρυσού στη Μακεδονία έκλεισαν από τους Ρωμαίους το 167 π.Χ., ώστε να αποφευχθεί πιθανή καταπίεση και δυσaráσκεια των κατοίκων και ενδεχόμενη τροφοδοσία κάποιας επανάστασης από πηγές πλούτου.

Από το 866 μ.Χ. η περιοχή βόρεια από τον Ίσβορο (σημερινή Στρατωνίκη) αποκαλείται «Σιδηροκαύσια» (κοινώς Σιδερόκαψα), γεγονός που υποδηλώνει μεταλλευτική δραστηριότητα (Παπάγγελος 1991, Βακαλόπουλος 1964). Σύμφωνα με τον Βακαλόπουλο (1964) η περιοχή αφενός ήταν κατάφυτη, αφετέρου απαγορευόταν η υλοτομία, λόγω της χρήσης των δέντρων ως καύσιμη ύλη στα καμίνια κατά την τήξη του αργύρου. Δείγματα ξυλάνθρακα, που εντοπίστηκαν ανάμεσα σε αδιατάραχτα στρώματα σκωριών στην περιοχή Μαύρες Πέτρες, μελετήθηκαν με χρονολόγηση ^{14}C και έδωσαν ως αποτέλεσμα ηλικίες περίπου 1270-1290 μ.Χ., οι οποίες επιβεβαιώνουν τη μεταλλευτική δραστηριότητα κατά τη Βυζαντινή περίοδο (Wagner et al. 1986, Βαβελίδης 2000, Βαβελίδης and Μέλφος 2012).

Η μεταλλευτική και μεταλλουργική εκμετάλλευση των κοιτασμάτων της ΒΑ Χαλκιδικής συνεχίστηκε, σύμφωνα με ιστορικές πηγές και νεότερες έρευνες, συστηματικά από τον 15ο έως τον 17ο αι. μ.Χ με μεταβαλλόμενες περιόδους άνθισης και παρακμής (Wagner et al 1986, Βαβελίδης 2009). Στο πλαίσιο Προγράμματος Αρχαιομεταλλουργικής – Αρχαιολογικής έρευνας του Τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ. και της ΙΣΤ' Εφορείας Κλασικών και Προϊστορικών Αρχαιοτήτων μελετήθηκαν δείγματα άνθρακα από τις εγκαταστάσεις χύτευσης στη θέση Κηπουρίστρας Λάκκος στην Ολυμπιάδα, που έδειξαν εκμετάλλευση στην μεταβυζαντινή και υστεροβυζαντινή περίοδο, δηλαδή 1431-1656 μ.Χ. (Βαβελίδης 2000, Βαβελίδης 2009, Βαβελίδης και Μέλφος 2012).

Το πλήθος των μεταλλουργικών σκωριών, οι οποίες βρίσκονται στους χώρους που πραγματοποιούνταν καμίνευση αποδεικνύει τη μεταλλουργική δραστηριότητα κατά την περίοδο της Οθωμανικής αυτοκρατορίας, κυρίως το 16^ο έως 18^ο αιώνα (Wagner et al. 1986). Οι αρχαίες σκωρίες στην ευρύτερη περιοχή είναι πάνω από 1 Mt, το οποίο αντιστοιχεί με παραγωγή πάνω από 150.000 t καθαρού μολύβδου και 300 t αργύρου, ενώ στην Ολυμπιάδα αγγίζουν τους 200.000 t (Wagner et al. 1986). Οι μελέτες των Wagner et al. (1986), Βαβελίδη (2000, 2009) και Βαβελίδη και

Μέλφου (2012) συνάδουν με τις ιστορικές πηγές για την εκμετάλλευση των κοιτασμάτων της περιοχής κατά την Οθωμανική περίοδο.

Σύμφωνα με αναφορές του Γάλλου περιηγητή Belon (1553), στην ευρύτερη περιοχή υπήρχαν 500 – 600 φούρνοι για την επεξεργασία αργύρου και μολύβδου, όπου εργάζονταν πάνω από 6.000 εργάτες διαφόρων εθνοτήτων (Βαβελίδης 2000). Οι εργάτες έδιναν ως φόρο στο σουλτάνο το 1 στα 12 δράμια αργύρου από την παραγωγή (Hellas Gold 2016). Επίσης, κατά την περίοδο της Οθωμανικής αυτοκρατορίας στα Σιδηροκαύσια λειτουργούσε νομισματοκοπείο για την κοπή χρυσών και αργυρών νομισμάτων, που έκλεισε στα μέσα του 17ου αιώνα (Βακαλόπουλος 1964), ενώ από τα τελευταία χρόνια του 17^{ου} αιώνα υπάρχει η βαθμιαία παρακμή των μεταλλείων της ευρύτερης περιοχής (Anhegger 1943). Το 1705 δώδεκα χωριά της ΒΑ Χαλκιδικής (Γαλάτιστα, Βάβδος, Ραβνά, Στανός, Βαρβάρα, Λιαρίγκοβη, Νοβοσέλο, Μαχαλάς, Ίσβορος, Χωρούδα, Ρεβενίκια και Ιερισσός), τα οποία αποτελούσαν ένα Μεταλλευτικό Συνεταιρισμό, μετονομάζονται σε Μαντεμοχώρια και αποκτούν το δικαίωμα εκμετάλλευσης των μεταλλείων αργύρου και υποχρέωση καταβολής φόρου 550 λίβρες αργύρου/χρόνο στην Μεγάλη Πύλη (Βακαλόπουλος 1973, 1989, Παπάγγελος 1991, Hellas Gold 2016). Η εξαγωγή του αργύρου παραμένει στο χωριό Σιδερόκαψα (βυζαντινά Σιδηροκαύσια). Ο Leake (1835) αναφέρει πως η κοινοπραξία των Χάσικων, που βρίσκονταν κοντά στα Μαντεμοχώρια, είναι ίδια με εκείνη των μεταλλείων και πως τα 12 αυτά «ελευθεροχώρια» διοικούνται από τον «Μαδέμ-αγά». Σύμφωνα με τον ίδιο τα μεταλλεία λειτουργούσαν με πρωτόγονα μέσα, καθώς η θραύση του μεταλλεύματος γινόταν με πέτρες πάνω σε μια σανίδα με το χέρι, εν συνεχεία ακολουθούσε η έκπλυση και η τήξη με καύση ξυλάνθρακα, ενώ το μέταλλευμα κατώτερης ποιότητας θραυόταν σε μεγαλύτερα κομμάτια και τήκονταν 2 φορές χωρίς προηγούμενη πλύση.

Οι κάτοικοι της περιοχής εκμεταλλεύθηκαν τα μεταλλεία μέχρι το 1821. Το ίδιο έτος στην Ελληνική Επανάσταση συμμετείχε το «Κοινόν του Μαντεμίου» ως νομικό πρόσωπο (Παπάγγελος 1991). Στην περιοχή εγκαταστάθηκε στρατός 10.000 ανδρών για τη φύλαξη των μεταλλείων, των οποίων τη συντήρηση υποχρεώθηκαν να αναλάβουν τα Μαντεμοχώρια (Hellas Gold 2016). Το 1821 η ομοσπονδία δεν υφίσταται πλέον και τα χωριά υπάγονται στη δικαιοδοσία του Πασά και του Καδή της Θεσσαλονίκης, αφού προηγήθηκε η καταστροφή των Μαντεμοχωρίων από την Τουρκική πλευρά και η μετανάστευση των κατοίκων στο Άγιο Όρος και στα νησιά.

Ωστόσο, η πληρωμή των κεφαλικών φόρων από τους κατοίκους συνεχίζεται μέχρι το 1830 (Παπάγγελος 1991, Μαμαλάκης 1960, Χιονίδης 1977, Βακαλόπουλος 1973, Ζαΐμης 2013).

Το 1893 τα μεταλλεία εξαγοράσθηκαν από την «Γάλλο-Οθωμανική Α.Ε. Μεταλλεία Κασσάνδρας» και έτυχαν εκμετάλλευσης μέχρι το 1908, όπου η εταιρεία σταμάτησε τη λειτουργία εξαιτίας του ανταγωνισμού από τα αντίστοιχα μεταλλεύματα μαγγανίου της Μαύρης Θάλασσας (Παπαγρηγορίου κ.ά. 2010). Ουσιαστικά, εκμεταλλεύτηκαν τα κοιτάσματα μαγγανίου στις Μαύρες Πέτρες και την Πιάβιτσα, ενώ το 1901 προστέθηκαν στην εκμετάλλευση και τα κοιτάσματα σουλφιδίων (Βαβελίδης και Μέλφος 2012). Μέχρι το 1908 η παραγωγή έφτασε συνολικά στους 800.000 t μεταλλεύματος περιεκτικότητας 30 – 40% Mn (Παπαγρηγορίου κ.ά. 2010).

Μετά τη λήξη του Α' Παγκοσμίου πολέμου (1918) και τη Μικρασιατική καταστροφή (1922), δηλαδή το 1927, η «Ανώνυμη Ελληνική Εταιρεία Χημικών Προϊόντων και Λιπασμάτων (ΑΕΕΧΠ&Λ)» πήρε στην κατοχή της την «Οριστική Παραχώρηση Εκμετάλλευσης» από το Υπουργείο Εθνικής Οικονομίας και έτσι δημιουργήθηκαν τα «Μεταλλεία Κασσάνδρας» (Βαβελίδης και Μέλφος, 2012). Η «Ανώνυμη Ελληνική Εταιρεία Χημικών Προϊόντων και Λιπασμάτων (ΑΕΕΧΠ&Λ)» ιδρύθηκε το 1909 με στόχο την παραγωγή θεικού οξέος για βιομηχανική χρήση, υπερφωσφορικών λιπασμάτων και την υαλουργία. Εφόσον η χρήση λιπασμάτων ήταν αναγκαία για την ανάπτυξη της γεωργίας, η εταιρεία αγόρασε τα μεταλλεία για την εκμετάλλευση του θείου (Hellas Gold 2016). Το μεταλλείο του Μαδέμ Λάκκου λειτούργησε για πρώτη φορά με τη νέα εταιρεία το 1953, ενώ το μεταλλείο των Μαύρων Πετρών το 1957 παράγοντας μεταλλεύματα μικτών θειούχων. Τη χρονική περίοδο μεταξύ 1954 και 1966 διεξήχθησαν ερευνητικές εργασίες και εντοπίστηκαν εκμεταλλεύσιμα σώματα σουλφιδίων (Forward et al. 2011).

Μετά το τέλος του Β' Παγκοσμίου πολέμου η πλειοψηφία των μετοχών της ΑΕΕΧΠ & Λιπασμάτων αγοράστηκε από το Μποδοσάκη-Αθανασιάδη. Στις αρχές της δεκαετίας του 1970 κατασκευάστηκε στην παραλία του Στρατωνίου εργοστάσιο εμπλουτισμού στη θέση του παλιού πλυντηρίου για την επεξεργασία μικτών θειούχων (γαληνίτη, σφαλερίτη και σιδηροπυρίτη). Επιπρόσθετα, το 1970 κατασκευάστηκαν στοές για την εκμετάλλευση του δυτικού τμήματος του κοιτάσματος μικτών θειούχων

της Ολυμπιάδας, ενώ το 1972 άρχισε η εκμετάλλευση του μεταλλείου και στη συνέχεια το 1976 κατασκευάστηκε το εργοστάσιο εμπλουτισμού και η λίμνη απόθεσης τελμάτων. Τα εργοστάσια αυτά είχαν δυναμικότητα 50 t/h το καθένα (Δήμος Αριστοτέλη 2016, Παπαρηγορίου κ.ά. 2010, Forward et al. 2011). Το βάθος των στοών της Ολυμπιάδας έφτασε από το 1974 έως το 1984 τα 312 m κάτω από το επίπεδο της θάλασσας. Σε βάθος -254 m παρατηρήθηκε η πλούσια μεταλλοφορία του Ανατολικού Μεταλλοφόρου Σώματος της Ολυμπιάδας (Forward et al. 2011).

Όσον αφορά τα μαγγανιούχα κοιτάσματα της Πιάβιτσας, το 1960 παραχωρήθηκε το δικαίωμα εκμετάλλευσης στον Άγγλο Ιουλιανό Χάντερ από την ίδια την εταιρεία. Ωστόσο, η δραστηριότητα του μαγγανίου σταδιακά παρήκμασε με αποτέλεσμα την οριστική διακοπή της στα μέσα της δεκαετίας του 1980. Μεταξύ Σταγείρων και Νεοχωρίου βρίσκονται απομεινάρια του μεταλλείου Πιάβιτσας του Χάντερ, όπως οι ανοιχτές εκσκαφές εξόρυξης των μαγγανιούχων μεταλλευμάτων, το εργοστάσιο εμπλουτισμού και ο νεραύλακας, με το όνομα του ιδιοκτήτη ως τοπωνύμιο (Δήμος Αριστοτέλη 2016). Στα τέλη της ίδιας δεκαετίας αποφασίσθηκε από το ελληνικό κράτος να δημιουργηθεί μεταλλουργία χρυσού στην Ολυμπιάδα μέσω της κρατικής METBA. Όμως, αυτή η απόφαση δεν πραγματοποιήθηκε μέχρι σήμερα (Hellas Gold 2016).

Το 1991 πτώχευσε η «Ανώνυμη Ελληνική Εταιρεία Χημικών Προϊόντων και Λιπασμάτων (ΑΕΕΧΠ&Λ)» αυτό είχε ως αποτέλεσμα την παραχώρηση των μεταλλείων και των εγκαταστάσεων στην εταιρεία «TVX Hellas A.E.» το 1995. Σκοπός ήταν η δημιουργία μεταλλουργίας χρυσού στην Ολυμπιάδα και η εκμετάλλευση του κοιτάσματος μεικτών θειούχων στις «Μαύρες Πέτρες». Η «TVX Hellas A.E.» ήταν θυγατρική της канаδικής μεταλλευτικής εταιρείας TVX Gold. (Βαβελίδης και Μέλφος 2012, Hellas Gold 2016).

Η εξόρυξη μέχρι τότε γινόταν σε όλα τα επίπεδα από - 32 έως - 218 m, ενώ η κύρια στοά προσπέλασης έφθανε τα -230 m βάθος. Την πρώτη δεκαετία της παραγωγής πωλούνταν τα συμπυκνώματα γαληνίτη και σφαλερίτη, ενώ τα αποθηκευμένα συμπυκνώματα σιδηροπυρίτη / αρσеноπυρίτη με 20 ppm Au πωλήθηκαν πρόσφατα από την «Ελληνικός Χρυσός Α.Ε.». Η TVX Hellas ολοκλήρωσε το 1999 πρόγραμμα με 760 γεωτρήσεις σε συνολική έκταση 91.319 m² (Forward et al. 2011). Από το 1976 μέχρι 1995 παράχθηκαν 3,64 Mt μεταλλεύματος

από το μεταλλείο της Ολυμπιάδας, ενώ από το 1987 έως το 1995 πέρασαν από τη διαδικασία της λειοτρίβησης 970.150 t μεταλλεύματος, με περιεκτικότητες 8,19 ppm Au, 126,64 ppm Ag, 3,90% Pb, 5,63% Zn, 3,49% As, 13,97% Fe και 0,17% Sb (Forward et al. 2011). Όμως, η TVX Hellas αποχώρησε τρία χρόνια αργότερα από τα μεταλλεία της ΒΑ Χαλκιδικής εξαιτίας «παγώματος» της επένδυσης. Έτσι στις 12 Δεκεμβρίου 2003 υπογράφηκε σύμβαση με το Ελληνικό Δημόσιο για την παραχώρηση σε αυτό του συνόλου της κυριότητας των «Μεταλλείων Κασσάνδρας».

Το 2004 παραχωρήθηκαν τα δικαιώματα εκμετάλλευσης των μεταλλείων της περιοχής από το Ελληνικό Δημόσιο στην «Ελληνικός Χρυσός Ανώνυμη Εταιρεία Μεταλλείων και Βιομηχανίας Χρυσού». Το 2005 το μεταλλείο των Μαύρων Πετρών επαναλειτούργησε και το 2006 υποβάλλεται ενιαίο επιχειρηματικό σχέδιο για την παράλληλη ανάπτυξη και την εκμετάλλευση των κοιτασμάτων Μαύρων Πετρών, Ολυμπιάδας και Σκουριών, που προβλέπει και τη δημιουργία μεταλλουργίας χαλκού-χρυσού στην περιοχή του Μαντέμ Λάκκου. Το 2011, υπογράφηκε η Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων με Κοινή Υπουργική Απόφαση (ΚΥΑ) και εγκρίθηκαν οι τεχνικές μελέτες των υποέργων “Μεταλλευτικές Εγκαταστάσεις Σκουριών” και “Μεταλλευτικές εγκαταστάσεις Ολυμπιάδας” από το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Κλιματικής Αλλαγής. Το 2012, ξεκίνησε η υλοποίηση του επενδυτικού σχεδίου της Ελληνικός Χρυσός (Hellas Gold 2016).

Τα σημερινά αποθέματα (βεβαιωμένα και πιθανά) των Μαύρων Πετρών υπολογίζονται σε 1 Mt με 8,3% Zn, 6,0 % Pb και 170 ppm Ag (Hellas Gold 2018).

4.1 Τύποι μεταλλοφορίας στην περιοχή

Μέσα στα πετρώματα της Σερβομακεδονικής Μάζας στη ΒΑ Χαλκιδική εντοπίζονται, σύμφωνα με τους Vavelidis et al (1983), Hahn et al. (2010) και Αργυράκη et al. (2016), διαφορετικοί τύποι μεταλλοφορίας, όπως πορφυριτικού Cu-Au, αντικατάστασης πολυμεταλλικών σουλφιδίων Pb-Zn-Au-Ag, τύπου Skarn Cu και οξειδίων μαγγανίου με χρυσό (Εικόνες 4.1.1. - 4.1.3.). (Hahn et al. 2010, Ελληνικός Χρυσός 2013, Βαβελίδης 2012, Αργυράκη et al. 2016).

Στις περιοχές Πιάβιτσα, Βαρβάρα, Ζέπκο και Βίνα εντοπίζονται οξείδια μαγγανίου (Mn) μέσα στα μάρμαρα της ενότητας Κερδυλίων σε διακλάσεις, διάκενα,

στα όρια των κοιτασμάτων μεικτών θειούχων της Ολυμπιάδας και του Μαντέμ Λάκκου, καθώς και κατά μήκος του ρήγματος Βαρβάρας – Στρατωνίου (Βαβελίδης 2012). Οι περιοχές αυτές αποτελούν το εξωτερικό του υδροθερμικού συστήματος και συνδέονται με το skarn στην επαφή μαρμάρου - γρανοδιορίτη Στρατωνίου. Επίσης, ταυτίζονται με τη μεταλλοφορία του Μαντέμ Λάκκου όσον αφορά τα ισότοπα Pb (Nebel et al. 1991, Frei 1992, Vavelidis et al. 1983, Wagner et al. 1986, Βαβελίδης 2012). Η παραγένεση των ορυκτών, που παρατηρείται κυρίως, είναι μαγνητίτης, κλινοπυρόξενος, επίδοτο και γρανάτης (Nebel et al. 1991, Βαβελίδης 2012).

Στα Βαρβάρα η ανάπτυξη της μεταλλοφορίας γίνεται κατά μήκος μίας ζώνης 50.000m² με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ. Η μορφή της μεταλλοφορίας είναι στρωματοειδή ή ψευδοστρωματοειδή στο κυρίως κοίτασμα και στα καρστικά σώματα (πλήρωση φωλιών και ακανόνιστων χώρων) μέσα στο μάρμαρο. Το κοίτασμα ανήκει στα πυρολουσιτικού τύπου μαγγανιούχα μεταλλεύματα και αποτελείται κυρίως από υπεροξειδία και οξειδία του μαγγανίου. (Θεοδωρούδης και Γαλανόπουλος 1991, 1994, Καταφιώτη 2008)

Όσον αφορά τις μεταλλοφορίες πορφυριτικού Cu-Au, βρίσκονται στη Φυσόκα, Σκουριές, Κουλοχέρας, Τσικάρα, Άσπρα Χώματα, Άγιος Νικόλαος και Σεβαλιέ (Gilg 1993, Gilg and Frei 1994). Τα πορφυριτικά πετρώματα είναι γρανοδιοριτικής έως χαλαζοδιοριτικής σύστασης και παρουσιάζουν φυλλιτική εξαλλοίωση περιφερειακά με μεταλλοφορία τύπου πορφυριτικού Cu. Η συγκεκριμένη μεταλλοφορία αποτελείται πρωτογενώς από χαλαζία, σερικήτη, ανυδρίτη, σιδηροπυρίτη και χαλκοπυρίτη, που βρίσκονται κυρίως σε φλέβες ή εμποτισμούς (impregnations) και δευτερογενώς, από χαλαζία, ανθρακικά ορυκτά, σερικήτη, σιδηροπυρίτη, χαλκοπυρίτη, τετραεδρίτη, σφαλερίτη, γαληνίτη και χρυσό και βρίσκεται κυρίως στην «distal» φάση (Vavelidis et al. 1983, Wagner et al. 1986, Gilg 1993, Gilg and Frei 1994, Βαβελίδης 2012). Πιο συγκεκριμένα, το κοίτασμα των Σκουριών προέκυψε από την έντονη υδροθερμική εξαλλοίωση ενός συνηθισμένου πορφύρη, ο οποίος έχει βάθος που ξεπερνά τα 700 m (Papadakis and Michailidis 1976, Βαβελίδης 2012). Το κοίτασμα έχει διάσπαρτη και τύπου stockwork μεταλλοφορία και αποτελείται ορυκτολογικά από χαλκοπυρίτη, σιδηροπυρίτη, μαγνητίτη, βορνίτη, ενώ σε μικρότερες ποσότητες εντοπίζεται γαληνίτης, χρυσός και τετραεδρίτης (Βαβελίδης 2012). Σύμφωνα με European Goldfields (2008) και

Βαβελίδης (2012) τα αποθέματα του κοιτάσματος αγγίζουν τους 191 Mt με μέσες περιεκτικότητες 0,55% Cu, 0,8 gr/t Au και 2,5 gr/t Ag.

Η μεταλλοφορία των πολυμεταλλικών σουλφιδίων Pb-Zn-Au-Ag από αντικατάσταση (Ολυμπιάδα, Μαντέμ Λάκκο και Μαύρες Πέτρες) εντοπίζεται μέσα στα μάρμαρα της ενότητας Κερδυλίων κατά μήκος του ρήγματος Στρατωνίου-Βαρβάρας. Η μεταλλοφορία έχει τη μορφή στρωμάτων, φλεβών και φακών συμπαγών σουλφιδίων κλίσης 30 - 35° NA και μέσου πάχους 12m ή είναι διάσπαρτη (Gilg 1993, Βαβελίδης 2012, Αργυράκη 2016).

Οι μεταλλοφορίες της Ολυμπιάδας και του Στρατωνίου συνδέονται με πηγματιτικές και απλιτικές φλεβες, το γρανοδιορίτη του Στρατωνίου, τους χαλαζοδιοριτικούς πορφύρες της Φυσόκας και ανδεσιτικές – πορφυριτικές φλέβες στο Στρατόνι. (Nicolaou 1960, Frei 1992 και Gilg and Frei 1994).

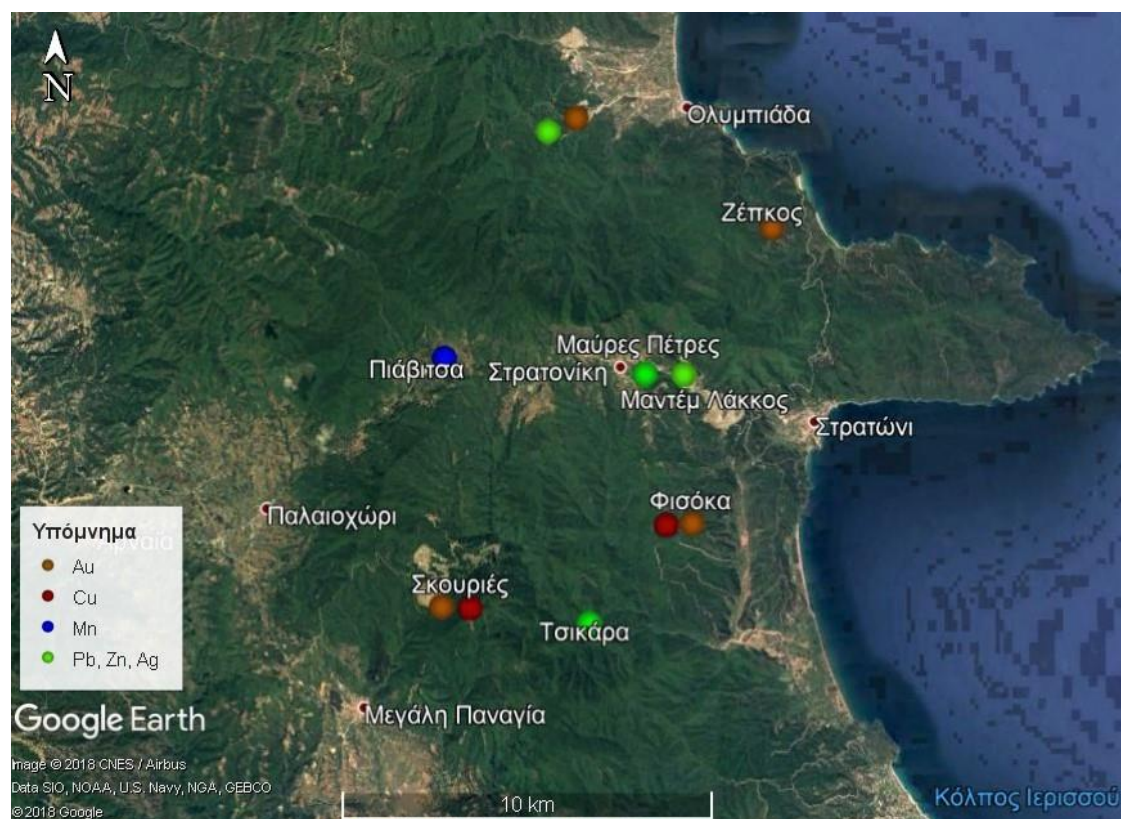
Στην περιοχή της Ολυμπιάδας εντοπίζεται υδροθερμικό-μετασωματικό κοιτάσμα μέσης θερμοκρασίας, το οποίο εντάσσεται στην κατηγορία των μεικτών θειούχων (PBG) σιδηροπυρίτη, γαληνίτη και σφαλερίτη. Εκτός των προαναφερθέντων, στην ορυκτολογική σύσταση του μεταλλεύματος συμμετέχουν αρσеноπυρίτης, χαλκοπυρίτης, τετραεδρίτης, βουλανζερίτης, βουρνονίτης, μαγνητοπυρίτης, εναργίτης και γραφίτης. Στο συγκεκριμένο κοιτάσμα υπάρχουν και σύνδρομα ορυκτά, όπως ο χαλαζίας, ο ασβεσίτης, ο ροδοχρωσίτης κ.ά. Μέσα στο πλέγμα σιδηροπυρίτη και αρσеноπυρίτη εντοπίζεται χρυσός. (Nicolaou 1964, Nicolaou and Kokonis 1980, Vavelidis et al., 1983, Wagner et al. 1986, Kalogeropoulos and Economou 1987, Kalogeropoulos et al. 1989b, Gilg 1993, Βαβελίδης 2012, Ζαΐμης 2013). Σύμφωνα με Βαβελίδης 2012, τα αποθέματα στο κοιτάσμα της Ολυμπιάδας είναι 14,5 Mt με μέσες περιεκτικότητες 4,2 wt% Pb, 5,6 wt% Zn, 9,3 g/t Au και 129 g/t Ag.

Όσον αφορά τις μεταλλοφορίες στο Μαντέμ Λάκκο και στις Μαύρες Πέτρες, βρίσκονται με τη μορφή συσσωματωμάτων μέσα στους ανθρακικούς σχηματισμούς, αλλά και μέσα σε ρήγματα, διάκενα και διακλάσεις. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το ρήγμα «Στρατωνίου – Βαρβάρας», όπου η συγκέντρωση της μεταλλοφορίας σουλφιδίων και σύνδρομων ορυκτών, όπως πυριτικά ορυκτά και ροδοχρωσίτης, γίνεται κοντά σε αυτό ή κατά μήκος του (Neubauer 1957). Πιο συγκεκριμένα, η μεταλλοφορία στο Μαντέμ Λάκκο εντοπίζεται κατά μήκος της επαφής μαρμάρου και

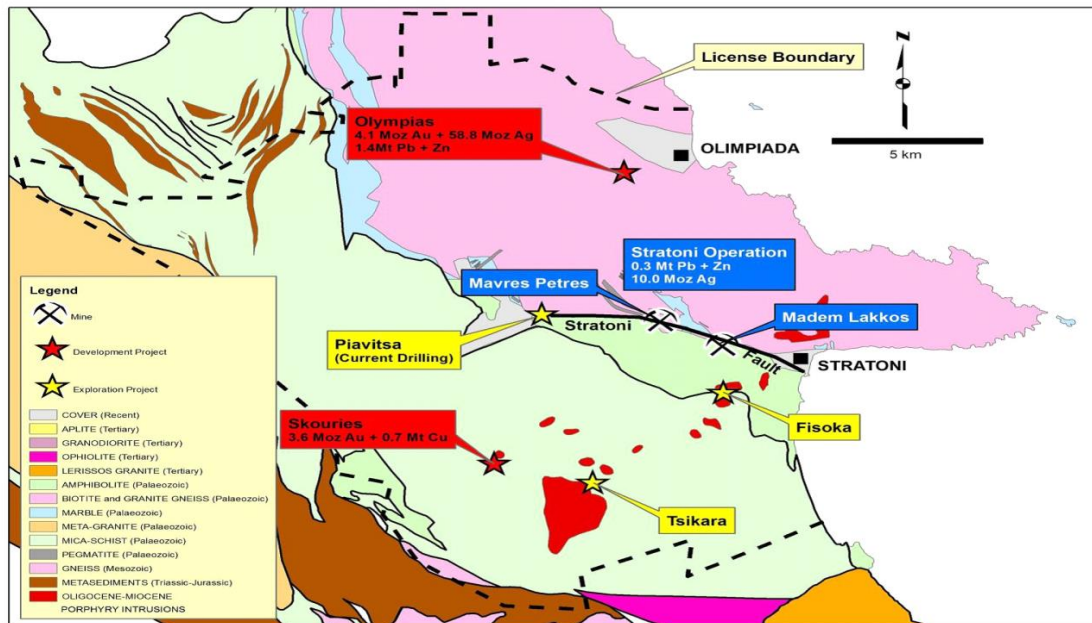
βιοτιτικού γνευσίου, ενώ στις Μαύρες Πέτρες κατά μήκος της τεκτονικής επαφής βιοτιτικού γνευσίου και αμφιβολίτη (Kalogeropoulos et al. 1989b). Και στις δύο περιοχές η μεταλλοφορία αποτελείται κυρίως από σιδηροπυρίτη, σφαλερίτη, αρσеноπυρίτη, χαλκοπυρίτη. Τα δευτερεύοντα ορυκτά της μεταλλοφορίας είναι τενναντίτης, βουρνονίτης, μαγνητοπυρίτης, μαρκασίτης, βουλανζερίτης, κουβανίτης, χαλκοσίνης, κοβελίνης, μαγνητίτης, αιματίτης, γραφίτης και αυτοφυής χρυσός, ενώ τα σύνδρομα ορυκτά είναι ασβεστίτης, χαλαζίας, ροδοχρωσίτης, γρανάτες και επίδοτο (Kalogeropoulos et al. 1989b).

Επίσης, σύμφωνα με Βαβελίδης 2012, στις περιοχές Πυργαδίκια, Μεταγγίτσι και Σαλονικίο παρατηρούνται χαλαζιακές φλέβες με σεελίτη (CaWO_4) και χρυσό. Η διείσδυση των φλεβών αυτών γίνεται σε διμαρμαρυγιακούς γνευσίους της ενότητας Βερτίσκου.

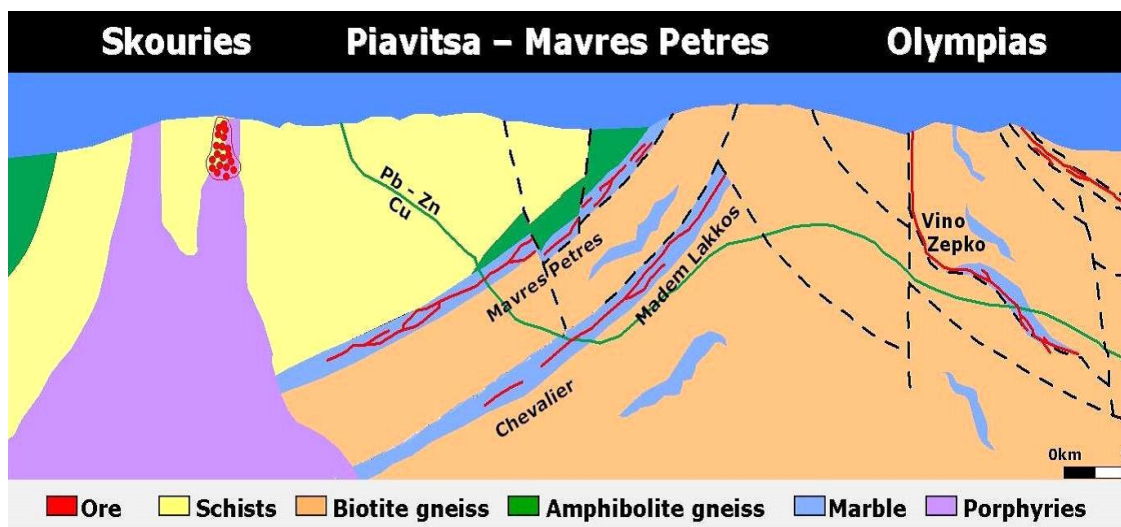
Τέλος, σε αρκετές θέσεις της ΒΑ Χαλκιδικής και πιο συγκεκριμένα στο Μεταγγίτσι και στα ρέματα Χαβρίας και Άσπρος Λάκκος εντοπίζεται προσχωματικός χρυσός (Vavelidis 1989, Βαβελίδης 2012).



Εικόνα 4.1.1. Χάρτης της ΒΑ Χαλκιδικής με τους διαφορετικούς τύπους μεταλλοφορίας Pb, Zn, Au, Ag, Cu. Google Earth 2016.



Εικόνα 4.1.2. Γεωλογικός χάρτης της ΒΑ Χαλκιδικής με τους διαφορετικούς τύπους μεταλλοφορίας Pb, Zn, Au, Ag, Cu (Ελληνικός Χρυσός 2013).

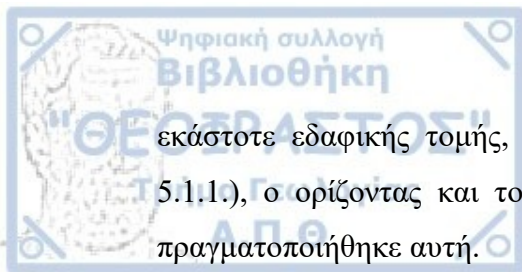


Εικόνα 4.1.3. Γεωλογική τομή της περιοχής με τα πετρώματα και τη μεταλλοφορία ανά τμήμα (Ελληνικός Χρυσός 2013).

Τα μελετηθέντα δείγματα προέρχονται από την περιοχή του Στρατωνίου και συγκεκριμένα από το ρέμα Καρβουνόσκαλα, το οποίο εκβάλλει στον Κόλπο της Ιερισσού. (Εικόνα 5.1.1.). Κατά τη διαδικασία της δειγματοληψίας απομακρύνουμε πρώτα το επιφανειακό εδαφικό υλικό, ώστε το δείγμα που θα πάρουμε να είναι "φρέσκο" και χωρίς ξένες προσμείξεις. Συνολικά συλλέχθηκαν 22 δείγματα (Εικ. 5.1.1.-5.1.6.) εκ των οποίων 7 δείγματα στερεού υλικού σε κατακόρυφο προφίλ [BGPR6 (A, B, C), 1A, 7, 8A, 10] σε μία αντιπροσωπευτική θέση, 4 δείγματα ενεργού ιζήματος κατά μήκος του ρέματος και 11 δείγματα εδάφους. Η δειγματοληψία των εδαφών πραγματοποιήθηκε κατά ορίζοντα. Όταν οι ορίζοντες δεν διακρίνονταν καλά, η δειγματοληψία γινόταν κατά στρώματα, τα οποία διαφέρουν μεταξύ τους λόγω της κατακόρυφης μεταβολής στην κοκκομετρική ή/και στην ορυκτολογική τους σύσταση. Όταν η διαδοχή των γεωλογικών σχηματισμών ήταν σαφής, το δείγμα διαχωριζόταν σε τμήματα κατακόρυφα. Στις περιπτώσεις που δεν ήταν ευδιάκριτη η διαφορετικότητα των στρωμάτων, η δειγματοληψία πραγματοποιούνταν κατά στρώσεις πάχους 20cm, 30cm ή και μέχρι 60cm βάθος, ανάλογα με το σκοπό της δειγματοληψίας. Με τη μέτρηση του συνολικού πάχους της τομής και του πάχους των επιμέρους τμημάτων συλλέχθηκε δείγμα κατακόρυφα, έτσι ώστε το κάθε δείγμα να είναι αντιπροσωπευτικό του τμήματος. Επίσης, τα υπο-δείγματα στο κατακόρυφο προφίλ συλλέχθηκαν σε διαφορετικούς συλλέκτες.

Στη δειγματοληψία ενεργού ιζήματος το δείγμα προκύπτει από τη σύνθεση περισσότερων δειγμάτων, που συλλέγονται από 5-10 σημεία εντός της ενεργής κοίτης κατά μήκος μιας απόστασης 100-200m. Η συλλογή των υπο-δειγμάτων ξεκινά από τα κατάντη προς τα ανάντη του ρέματος και αποθηκεύεται σε πλαστικό δοχείο. Αφού γίνει η καθίζηση των αιωρούμενων του σύνθετου δείγματος, ακολουθούν στράγγισμα, ανάμειξη, αφαίρεση των τεμαχίων διαμέτρου $> 2,0\text{cm}$ και αποθήκευση σε πλαστική σακούλα.

Τα αντιπροσωπευτικά δείγματα κάθε ορίζοντα ή στρώματος είναι ομοιόμορφα και έχουν βάρος περίπου 3kg. Το κάθε δείγμα τοποθετείται σε σακούλες πολυαιθυλενίου. Στη σακούλα του κάθε δείγματος αναγράφεται ο αριθμός της



εκάστοτε εδαφικής τομής, η περιοχή και η θέση με τις συντεταγμένες (Πίνακας 5.1.1.), ο ορίζοντας και το βάθος δειγματοληψίας, καθώς και η ημερομηνία που πραγματοποιήθηκε αυτή.

Οι περισσότερες θέσεις δειγματοληψίας είναι δίπλα στο δρόμο προς Στρατώνι (SKE1, 1-11, 1A, 3A, 3B, 8A, BGPR6), ενώ μερικές είναι κοντά στον εργοταξιακό δρόμο της εταιρείας (SKW2, SKE2) και άλλες κοντά σε οικισμούς (SKM1, SKM2) (Εικόνες 5.1.2. - 5.1.6.). Το δείγμα 3A αποτελεί τον επιφανειακό ορίζοντα, ενώ το 3B τον εσωτερικό.

Η βλάστηση, που παρατηρήθηκε, είναι σουσούρα, άριο, κέδρος, βάτα, φτέρες, μελιάδι κοντά στον εργοταξιακό δρόμο, άριο, πλατάνι και σουσούρα σε θέσεις κοντά στον κεντρικό δρόμο και βάτα σε θέσεις κοντά σε οικισμούς.

Πίνακας 5.1.1. Συντεταγμένες θέσεως των μελετηθέντων δειγμάτων.

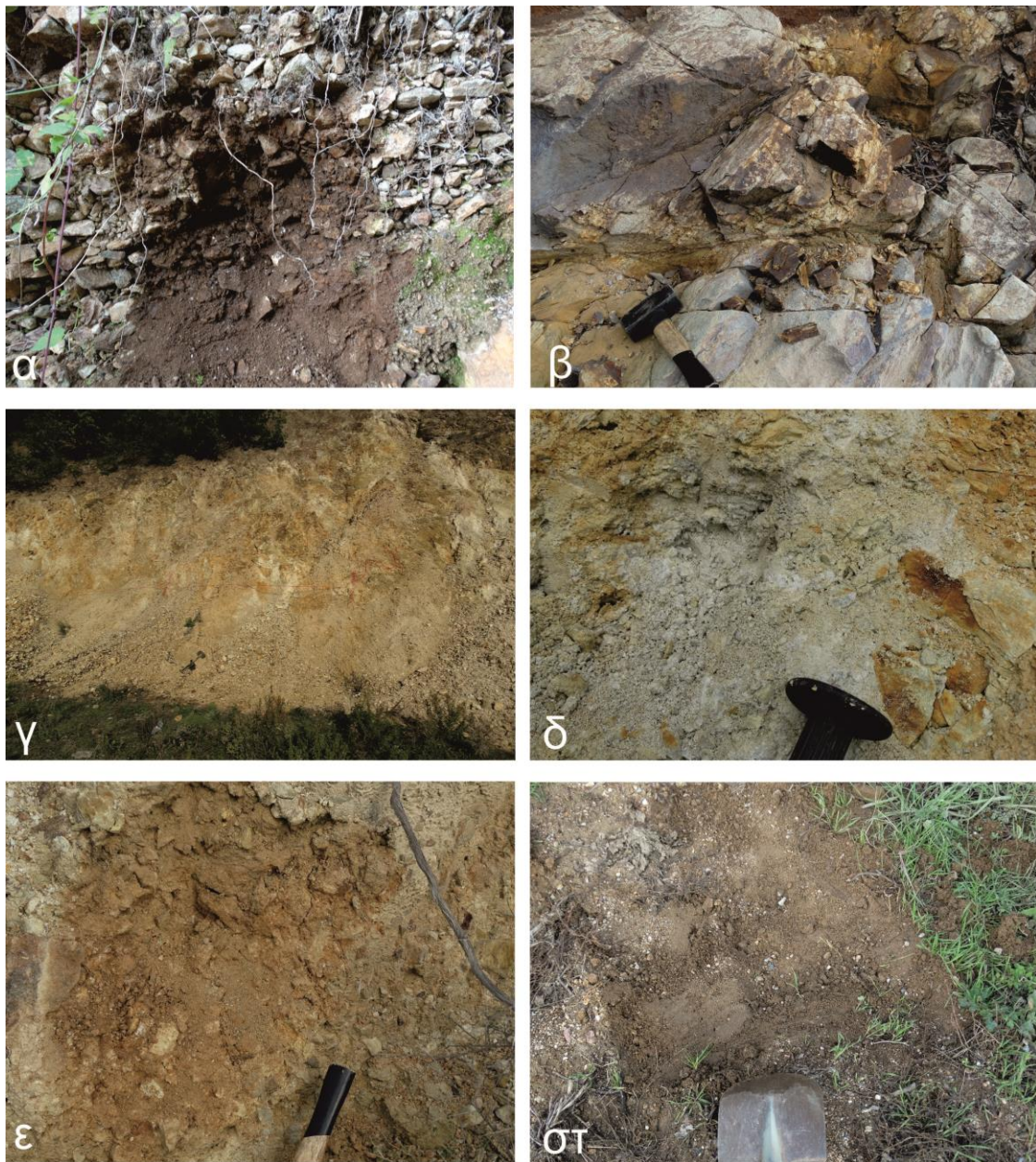
ΔΕΙΓΜΑ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΜΗΚΟΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)	
1	40°31'10.441"B	23°48'20.789"A	231,4	
1A	40°31'10.659"B	23°48'21.176"A	233,5	
2	40°31'10.633"B	23°48'20.970"A	225,6	
3A και 3B	40°31'10.041"B	23°48'22.635"A	238,9	
4	40°31'9.878"B	23°48'23.159"A	239	
5	40°31'9.836"B	23°48'22.980"A	240,2	
6	40°31'9.866"B	23°48'22.076"A	234,5	
7	40°31'9.446"B	23°48'20.052"A	234,6	
8	40°31'8.911"B	23°48'18.397"A	234,2	
8A	40°31'8.932"B	23°48'18.038"A	230,7	
9	40°31'8.942"B	23°48'17.477"A	231,1	
10	40°31'8.825"B	23°48'16.971"A	233	
11	40°31'8.516"B	23°48'16.273"A	234,2	
SKW2	40°31'03.5"B	23°48'29.0"A	129	Κατάντη
	40°31'04.3"B	23°48'27.7"A	141	Ανάντη
SKE1	40°31'15.8"B	23°48'39.9"A	226	
SKE2	40°31'02.7"B	23°48'43.9"A	107	Κατάντη
	40°31'04.8"B	23°48'43.7"A	107	Ανάντη
SKM1	40°30'44.9"B	23°49'0.07"A	42	Κατάντη
	40°30'45.3"B	23°48'99.4"A	42	Ανάντη
SKM2	40°30'31.6"B	23°49'23.8"A	16	Κατάντη
	40°30'32.3"B	23°49'22.4"A	16	Ανάντη
BGPR6 (A,B,C)	40°31'13.3"B	23°48'39.0"A	215	



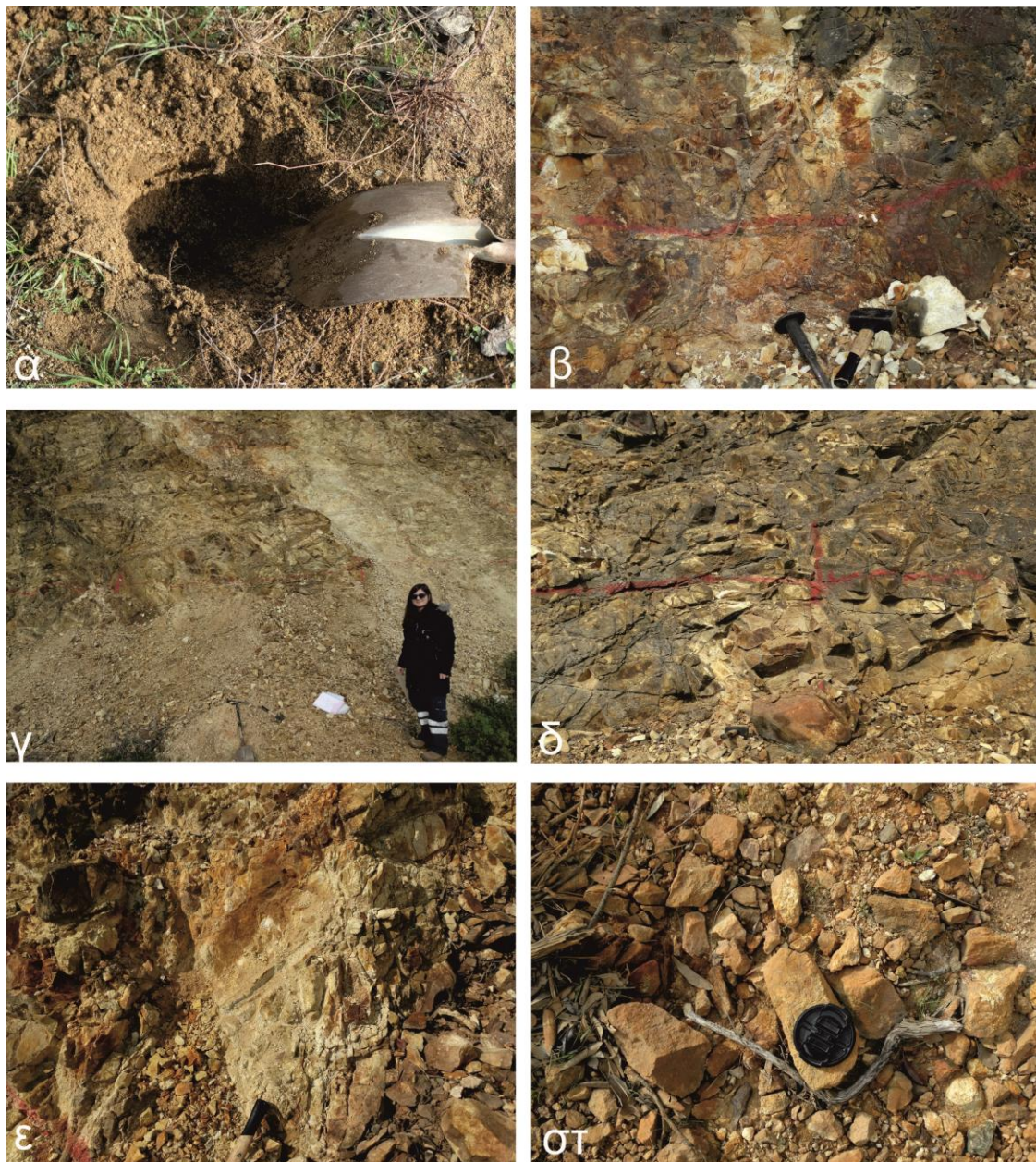
Εικόνα 5.1.1. Θέσεις δειματοληψίας στο ρέμα Καρβουνόσκαλα, Στρατόνι Χαλκιδικής , Google Earth 2018.



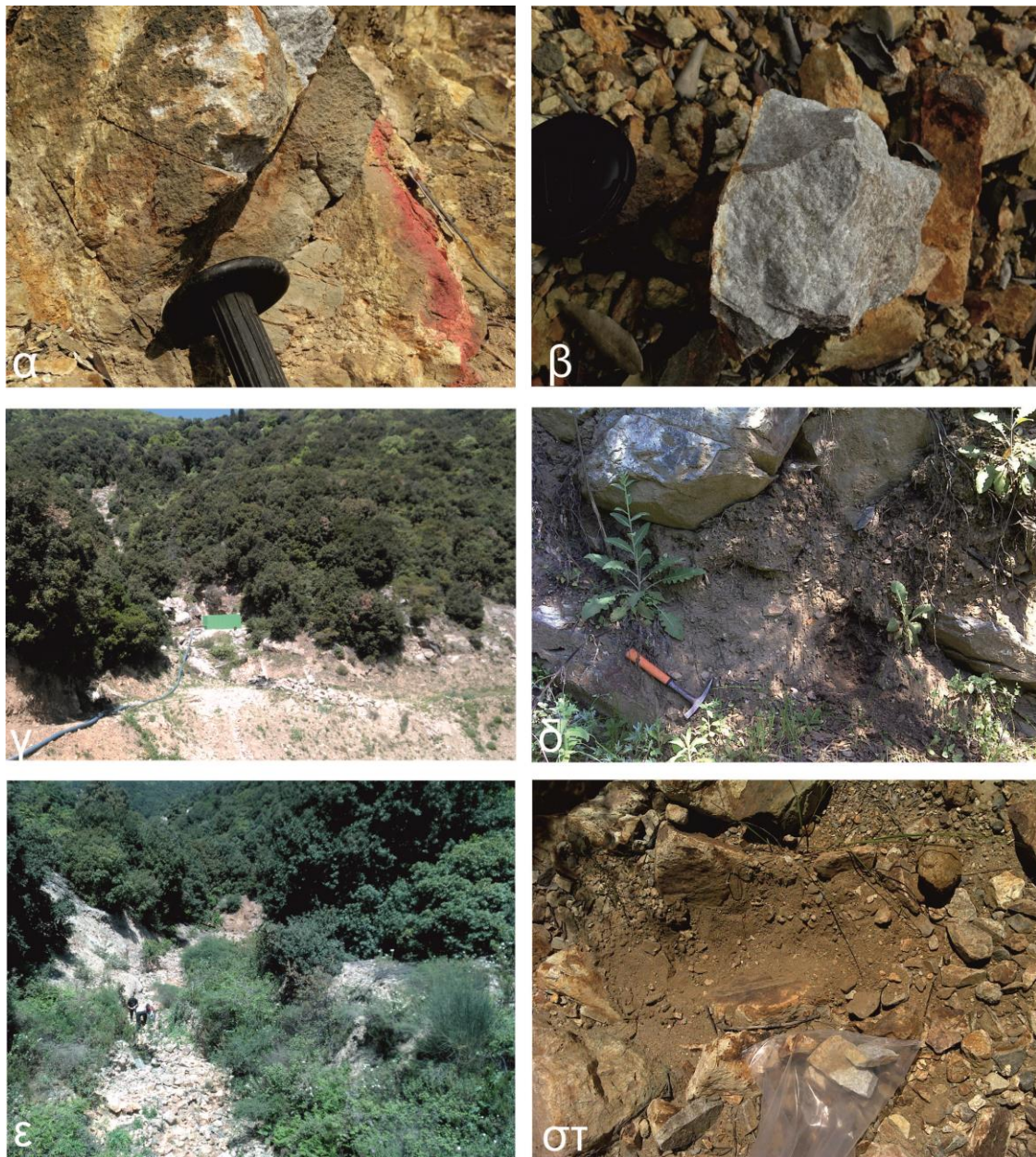
Εικόνα 5.1.2. Θέση δειματοληψίας του κατακόρυφου προφίλ BGPR6(A,B,C), α) Θέση δειματοληψίας BGPR 6A, γνεύσιος με φακούς αμφιβολίτη, β) Θέση δειματοληψίας BGPR 6B, γνεύσιος με φακούς αμφιβολίτη, γ) Θέση δειματοληψίας BGPR 6C, γρανίτης.



Εικόνα 5.1.3. α) Θέση δειγματοληψίας του δείγματος 1, β) Θέση δειγματοληψίας του δείγματος 1Α, όπου παρατηρούνται οξειδώσεις Μπ και διακλάσεις σε γρανιτικό πέτρωμα. γ) Θέση δειγματοληψίας του δείγματος 3Α και 3Β. Το δείγμα 3Α είναι επιφανειακό, ενώ το 3Β προέρχεται από τον εσωτερικό ορίζοντα του μετώπου. δ) Λεπτομέρεια της Εικ. 5.1.6.γ., ε) Θέση δειγματοληψίας του δείγματος 4, στ) Θέση δειγματοληψίας του δείγματος 5.



Εικόνα 5.1.4. α) Θέση δειγματοληψίας του δείγματος 6, β) Θέση δειγματοληψίας του δείγματος 7, όπου παρατηρείται απλίτης με φλεβίδια Py και οξειδώσεις Fe. γ) Θέση δειγματοληψίας του δείγματος 8, δ) Θέση δειγματοληψίας του δείγματος 8A, όπου εντοπίζεται γρανίτης με οξειδώσεις Fe και Mn. ε) Θέση δειγματοληψίας του δείγματος 9, στ) Θέση δειγματοληψίας του δείγματος 11.



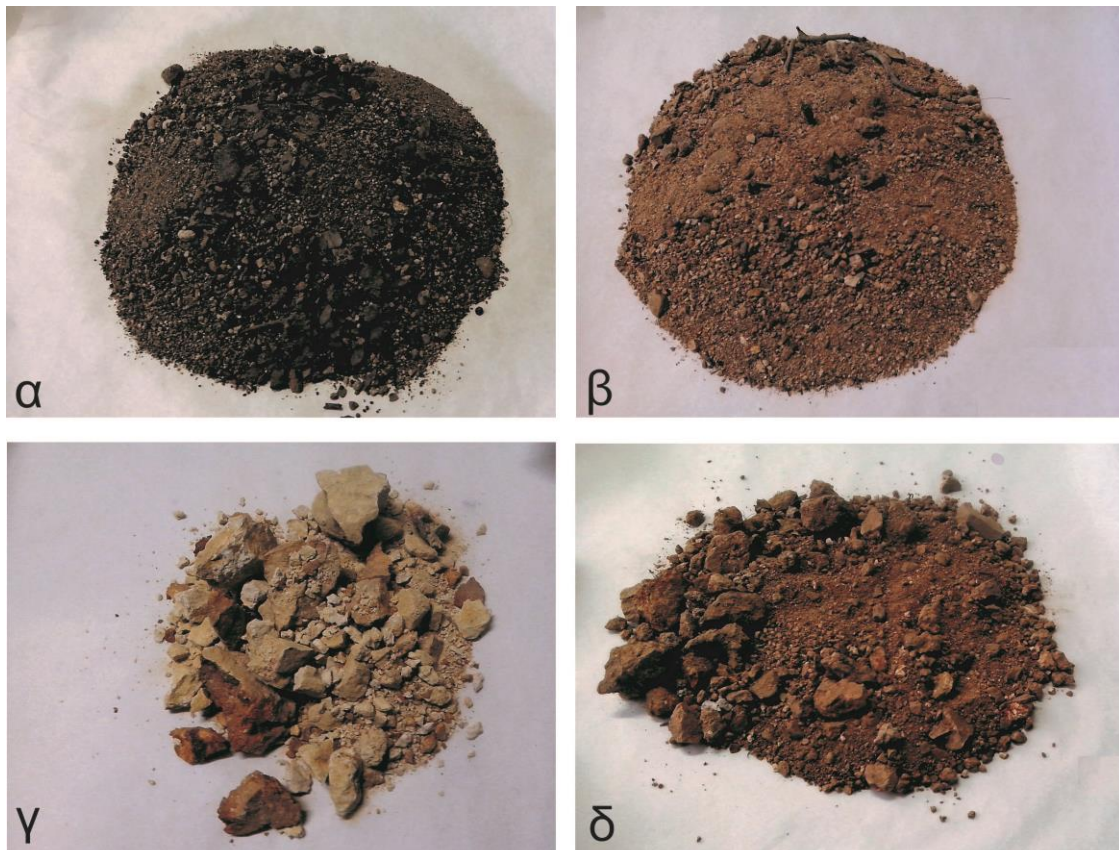
Εικόνα 5.1.5. α) Θέση δειγματοληψίας του δείγματος 10. Στη συγκεκριμένη θέση παρατηρείται απλίτης με οξειδώσεις Fe και Mn., β) Λεπτομέρεια της Εικ. 5.1.8.α., γ) Θέση δειγματοληψίας του δείγματος SKE1, δ) Λεπτομέρεια της Εικ. 5.1.8.γ.. Στη θέση αυτή έγινε δειγματοληψία ιζήματος. Ωστόσο, παρατηρείται αμφιβολίτης με παρουσία μεταλλοφορίας (Py, Sph). ε) Θέση δειγματοληψίας του δείγματος SKW2, στ) Λεπτομέρεια της Εικ. 5.1.8.ε.. Η θέση αυτή βρίσκεται κοντά στον εργοστασιακό δρόμο μεταξύ Μαντέμ Λάκκου - Στρατωνίου.



Εικόνα 5.1.6. α) Θέση δειγματοληψίας του δείγματος SKE2. Βρίσκεται κοντά στον εργοστασιακό δρόμο μεταξύ Μαντέμι Λάκκου-Στρατωνίου. Το δείγμα είναι αμμόδες με κορήματα και γενεσιακό υπόβαθρο, β) Λεπτομέρεια της Εικ. 5.1.9.α., γ) Θέση δειγματοληψίας του δείγματος SKM1. Ανάντη του κύριου κλάδου, όπου εκβάλλει αποστραγγιστική τάφρος με τσιμεντένια διευθετημένη κοίτη. Το ρέμα εδώ έχει ελάχιστη ροή και φαίνεται επιβαρυνόμενο. δ) Θέση δειγματοληψίας του δείγματος SKM2. Βρίσκεται κατάντη του κύριου κλάδου και παρατηρούνται πολλές κροκάλες και ελάχιστο λιμνάζον νερό. ε) Λεπτομέρεια της Εικ. 5.1.9.δ..

5.2 Προετοιμασία δειγμάτων

Η προετοιμασία των δειγμάτων στο εργαστήριο είναι απαραίτητη, ώστε τα δείγματα να είναι αντιπροσωπευτικά ορυκτολογικά και χημικά. Η προετοιμασία του κάθε δείγματος αποτελείται από δύο στάδια, την ξήρανση και το κοσκίνισμα (Εικ. 5.2.1-5.2.3).

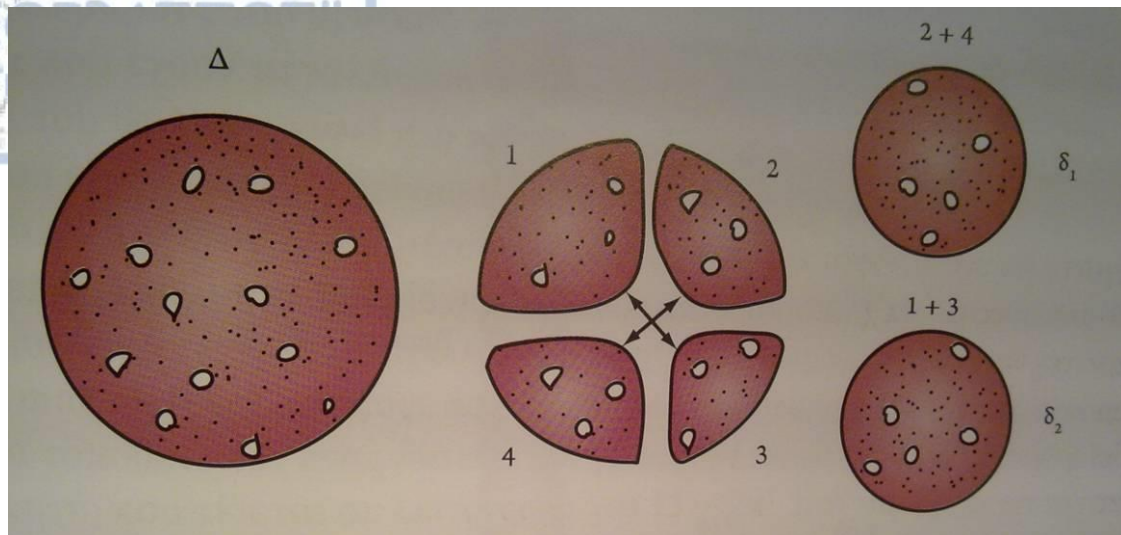


Εικόνα 5.2.1. α) Δείγμα 6 (Σκούρο καστανό εδαφικό δείγμα), β) Δείγμα 8 (Καστανό εδαφικό δείγμα), γ) Δείγμα 9 (Καστανοκίτρινο εδαφικό δείγμα με παρουσία κροκαλών), δ) Δείγμα 11 (Καστανό εδαφικό δείγμα).

Η ξήρανση των δειγμάτων έγινε σε φούρνο ξήρανσης στους 50°C για 48h περίπου για την αποφυγή αλλοίωσης των συστατικών του υλικού. Μετά την ξήρανση αποθηκεύτηκε η μισή ποσότητα από κάθε δείγμα ως αντιδείγμα για πιθανή μελλοντική χρήση. Με τη μέθοδο του σταυρού (Εικόνα 5.2.3.) έγινε η ελάττωση βάρους του δείγματος. Το τελικό αντιπροσωπευτικό δείγμα χρησιμοποιήθηκε για κοσκίνισμα αρχικά και στη συνέχεια για ανάλυση με Περιθλασιμετρία ακτινών-X (XRD), καθώς επίσης για χημική ανάλυση με XRF και ICP-ES, AAS.



Εικόνα 5.2.2. α) Δείγμα 1 (Σκούρο καστανό εδαφικό δείγμα), β) Δείγμα 2 (Καστανό εδ. δείγμα), γ) Δείγμα 3Α (Τεφροκίτρινο εδ. δείγμα), δ) Δείγμα 3Β (Τεφρό εδ. δείγμα), ε) Δείγμα 4 (Καστανό εδ. δείγμα), στ) Δείγμα 5 (Σκούρο καστανό εδ. δείγμα).



Εικόνα 5.2.3. Εργαστηριακός διαχωρισμός ενός δείγματος ιζημάτων σε μικρότερα όμοια δείγματα (Μέθοδος του σταυρού) (Ψιλοβίκος 2010, Βαβελίδης, Φιλιππίδης, Μιχαηλίδης 2006).

Τα δείγματα εδάφους κοσκινίζονται σε κόσκινα με οπές διαμέτρου 2mm και 0,063mm (Εικόνα 5.2.4.). Χρησιμοποιήθηκε, επίσης, το κόσκινο 0,125mm, ώστε το κλάσμα 2-0,125mm να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία στιλπνών τομών και ταυτόχρονα να απομακρυνθεί το λεπτότερο κλάσμα 0,063-0,125mm. Μετά την προσεκτική αποσυσσωμάτωση του δείγματος, ώστε να μη σπάσουν οι κρύσταλλοι των ορυκτών, το δείγμα χωρίζεται στα εξής κλάσματα:

Κροκάλες-Λατύπες >2mm

Άμμος <2mm (0,063mm-2mm)

Ιλύς και Άργιλος <0,063mm

Ο διαχωρισμός των κλασμάτων γίνεται, διότι οι κροκάλες έχουν μικρότερη ειδική επιφάνεια σε σύγκριση με την ιλύ και την άργιλο και γι'αυτό δεν συσσωρεύουν πολλούς ρυπαντές σε σχέση με το λεπτόκοκκο υλικό.

Το κλάσμα της ιλύος+αργίλου το διαχωρίζουμε σε δύο μέρη εκ των οποίων το ένα το κρατάμε αυτούσιο, ενώ το δεύτερο το χρησιμοποιούμε για το διαχωρισμό της ιλύος από την άργιλο. Για τη διαδικασία του διαχωρισμού ιλύος-αργίλου αρχικά τοποθετούμε το κάθε δείγμα σε ποτήρι ζέσεως και συμπληρώνουμε με απιονισμένο νερό. Αφού αποσυσσωματώσουμε το δείγμα με τη βοήθεια των υπερήχων για 1' και το αφήσουμε σε κατάσταση ηρεμίας για 12'', αφαιρούμε το υπερκείμενο και

επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία μέχρι να διαυγάσει το υποκείμενο. Το υπερκείμενο αποτελεί την άργιλο και την ιλύ, ενώ το υποκείμενο το κλάσμα της άμμου. Το κλάσμα της αργίλου-ιλύος το τοποθετούμε σε φυγοκεντρική φιάλη (Εικ. 5.2.4.). Οι φιάλες τοποθετούνται αντιδιαμετρικά στη φυγόκεντρο (Εικ. 5.2.5.), η οποία κατά τη λειτουργία της είναι απαραίτητο να έχει ζυγό αριθμό φιαλών ίδιου βάρους. Για το διαχωρισμό ιλύος και αργίλου η φυγοκέντρωση γίνεται στις 1000 στροφές ανά λεπτό με διάρκεια 3 λεπτά και 19 δευτερόλεπτα. (Τσιραμπίδης Α. Και Καντηράνης Ν., 1998)



Εικόνα 5.2.4. Αντιπροσωπευτικά δείγματα σε φιάλες φυγοκέντρωσης.



Εικόνα 5.2.5. Φυγόκεντρος με τοποθετημένες τις φιάλες αντιδιαμετρικά.

Μετά το διαχωρισμό με φυγοκέντρωση το κλάσμα, που μένει στον πυθμένα της φιάλης, αποτελεί την ιλύ και το αιωρούμενο την άργιλο. Το όριο μεταξύ ιλύος και άργιλου είναι 0,002mm. Τέλος, τοποθετούμε τα κλάσματα, που προέκυψαν κατά τη διαδικασία αυτή, δηλαδή άμμο, άργιλο και ιλύ, σε πορσελάνινες κάψες και τα αφήνουμε στο φούρνο στους 80°C μέχρι να φύγει η υγρασία και να μετρήσουμε στο ζυγό το βάρος τους (Εικ. 5.2.6.).



Εικόνα 5.2.6. Πορσελάνινες κάψες με άργιλο και ιλύ αντίστοιχα πριν την ξήρανση στο φούρνο (πάνω) και μετά την ξήρανση (κάτω).

Όσον αφορά την προετοιμασία των δειγμάτων για τις αναλύσεις XRF, XRD και χημικών αναλύσεων σε ολικό δείγμα, κονιοποιήθηκε αντιπροσωπευτική ποσότητα κάθε δείγματος (Εικ. 5.2.7) στο χέρι σε αχάτινο γουδί, αλλά και σε γουδί βολφραμίου μέχρι να γίνει αναφής σκόνη.

Η μελέτη της ορυκτολογικής σύστασης των δειγμάτων έγινε με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων-X σε περιθλασίμετρο του Τομέα Ορυκτολογίας-

Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας του Τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ.. Χρησιμοποιήθηκε περιθλασίμετρο τύπου PHILIPS PW1820/00, εξοπλισμένο με μικροεπεξεργαστή PW1710/00, λυχνία Cu και φίλτρο Ni για τη λήψη CuKα ακτινοβολίας, ενώ η περιοχή σάρωσης γωνίας 2θ ήταν $3-63^\circ$ και η ταχύτητα σάρωσης $1,2^\circ/\text{min}$. Πριν την ακτινογράφιση των δειγμάτων έγινε έλεγχος της ευαισθησίας και της ακρίβειας του περιθλασίμετρου με ειδικό πρότυπο καθαρού πυριτίου. Ο τρόπος προετοιμασίας των τυχαία προσανατολισμένων παρασκευασμάτων όλων των δειγμάτων ήταν ακριβώς ο ίδιος.



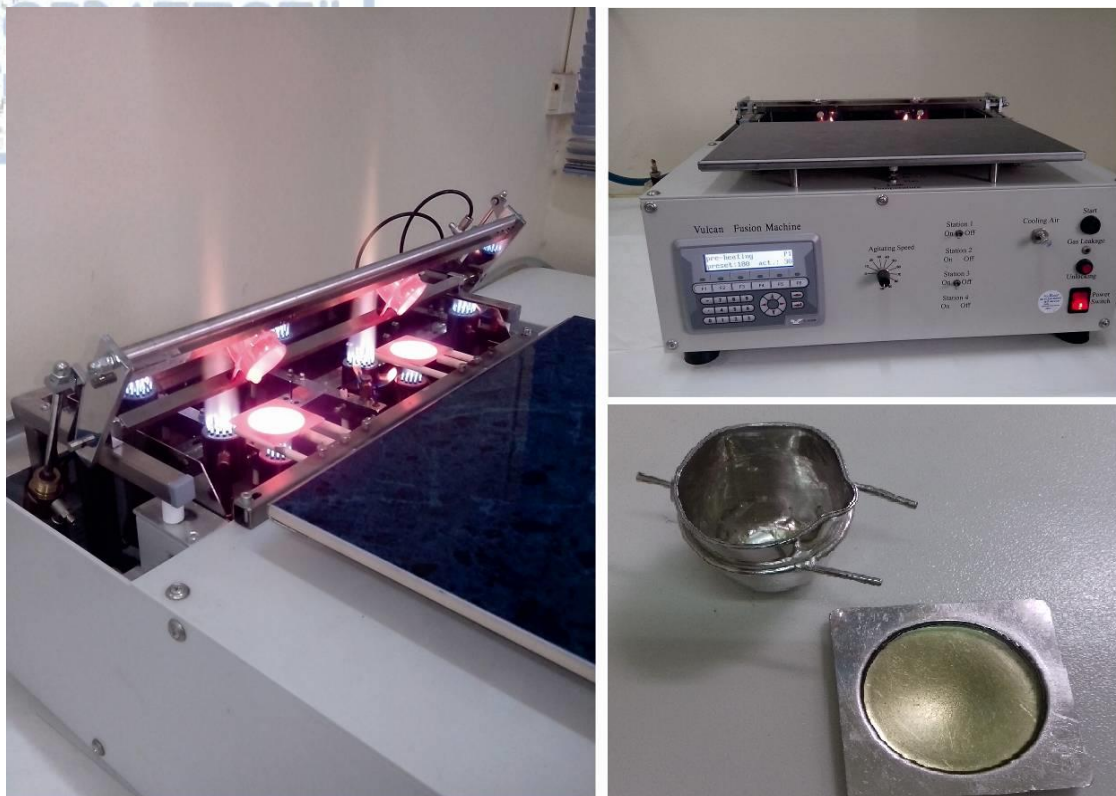
Εικόνα 5.2.7. Κονιοποίηση δείγματος στο γουδί αχάτη (αριστερά) και βολφραμίου (δεξιά).

Επίσης, μετρήθηκε η οργανική ύλη και η απώλεια πύρωσης. Για την οργανική ύλη ζυγίζεται άδεια κάψα στο φούρνο στους 500°C για 3 ώρες και έπειτα στον ξηραντήρα για 12 ώρες. Αφού ζυγισθεί, προσθέτουμε 5gr δείγματος και το τοποθετούμε στο φούρνο στους 110°C για 12 ώρες και στον ξηραντήρα για 12 ώρες, ώστε να υπολογιστεί από τη διαφορά βάρους η υγρασία του δείγματος. Τέλος, τοποθετούμε την κάψα με το δείγμα στο φούρνο στους 500°C για 8 ώρες και 12 ώρες στον ξηραντήρα και υπολογίζουμε την οργανική ύλη, που περιείχε το κάθε δείγμα (Εικ. 5.2.8.).



Εικόνα 5.2.8. Πορσελάνινες κάψες με δείγματα στο φούρνο (αριστερά), ξηραντήρας (δεξιά).

Η απώλεια πύρωσης χρησιμοποιήθηκε κυρίως για τη διευκόλυνση της προετοιμασίας των δειγμάτων για τη φασματοσκοπία με Φθορισμό των Ακτίνων Χ (XRF) (Εικόνα 5.2.9.). Σε ζυγισμένη και «ψημένη» κάψα τοποθετούμε 5gr δείγματος και μετά το ψήνουμε στο φούρνο στους 500°C για 20 λεπτά και στους 1050°C για 120λεπτά, ώστε αρχικά να απομακρυνθεί η οργανική ύλη και στη συνέχεια να απομακρυνθεί το H₂O, που υπάρχει με τη μορφή υδροξυλίων στη δομή των ορυκτών μέσω της απώλειας πύρωσης. Στη συνέχεια κατασκευάζονται υαλοποιημένα δισκία (fused beads) για τη μέτρηση των κυρίων στοιχείων. Στην περίπτωση αυτή, η σκόνη αναμιγνύεται με ειδικά αντιδραστήρια (συνήθως βορικές ενώσεις του Li και ιωδιούχο λίθιο) και τήκεται σε θερμοκρασίες 1100° -1200°C σε ειδικές συσκευές. Μ' αυτό τον τρόπο κατασκευάζεται ένα ομογενές υαλοποιημένο δισκίο. Ο καθαρισμός της κάψας από πλατίνα, που χρησιμοποιείται, γίνεται με Νατρίουχο άλας και θερμό υδροχλωρικό οξύ.



Εικόνα 5.2.9. Κατασκευή υαλοποιημένων δισκίων (fused beads) για τη φασματοσκοπία με Φθορισμό των Ακτίνων Χ (XRF).

Από τα μελετηθέντα δείγματα (εκτός των 2, 3A, 3B, 4, 5, 6 και 9) προετοιμάστηκαν εννιά στιλπνές τομές και τρεις λεπτές στιλπνές τομές (BGPR6A, BGPR6B, BGPR6C), οι οποίες αποτελούσαν μέρος ερευνητικού προγράμματος (Αργυράκη 2016). Οι τομές μελετήθηκαν με μεταλλογραφικό μικροσκόπιο, στερεοσκόπιο και ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM).

Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης τύπου Jeol JSM – 840A του Διατμηματικού Εργαστηρίου Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας του Α.Π.Θ. (Εικ. 5.2.10). Οι συνθήκες λειτουργίας του οργάνου ήταν 15 kV, ένταση ηλεκτρονικής δέσμης < 3 nA και διαμέτρου 1 μm .

Η προετοιμασία των δειγμάτων, η ανάλυση με Περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ (XRD) και XRF και η μέτρηση pH, πραγματοποιήθηκαν με την καθοδήγηση και τη βοήθεια του κ. Καντηράνη Ν. Και της κας. Παπαδοπούλου Α. (Αναπλ. Καθηγητές και διδάσκοντες του μαθήματος «Εργαστηριακές Μέθοδοι Έρευνας Ορυκτών και Πετρωμάτων» του Τμήματος Γεωλογίας, Α.Π.Θ.).



Εικόνα 5.2.10. Σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM).

Ακόμη, για την παρούσα εργασία μετρήθηκε σε πέντε δείγματα το pH. Σε ποτήρι ζέσεως των 100ml τοποθετήθηκαν 10gr δείγματος και 50 ml απιονισμένου νερού (αναλογία δείγματος-νερού 1:5) και μετά από την ανάδευση για 30' με γυάλινη ράβδο μετρήθηκε το pH με ηλεκτρονικό πεχάμετρο (Εικόνα 5.2.11.).



Εικόνα 5.2.11. Ηλεκτρονικό πεχάμετρο.

5.3. Κοκκομετρικές αναλύσεις

Ο υπολογισμός του ποσοστού (%) και ο χαρακτηρισμός των κύριων κοκκομετρικών κλασμάτων (κροκάλες, άμμος, άργιλος, ιλύς) στα μελετηθέντα δείγματα προσδιορίστηκαν σύμφωνα με τα αποτελέσματα των κοκκομετρικών αναλύσεων (Πίνακας 5.3.1.).

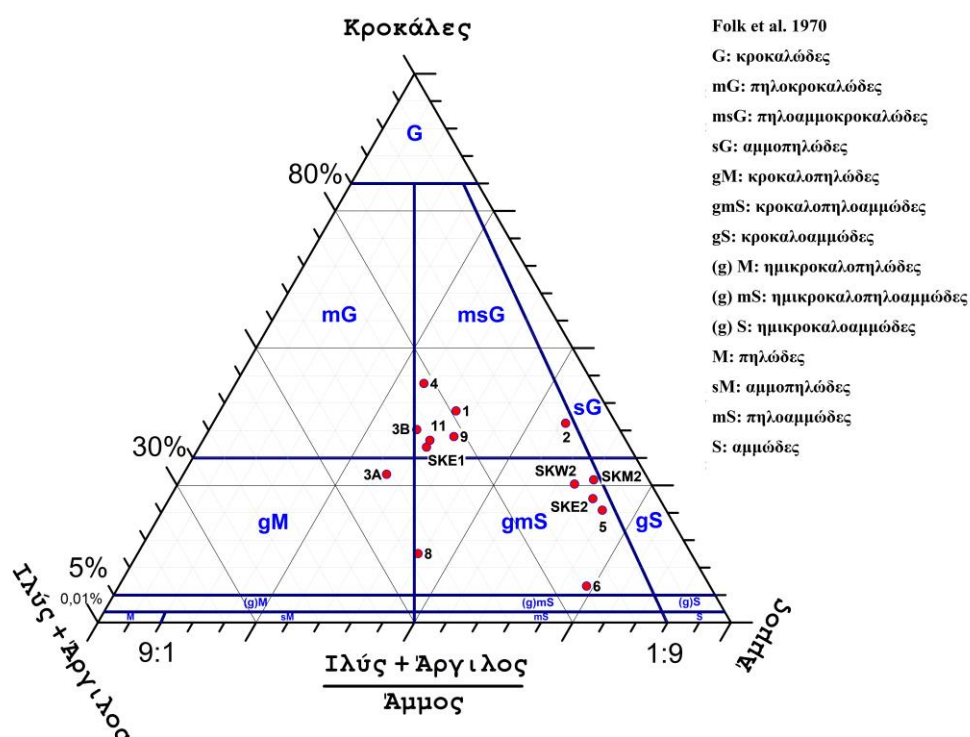
Με τη βοήθεια των τριγωνικών συστημάτων Folk (1970) προσδιορίστηκε η λιθολογία των μελετηθέντων ιζημάτων. Κάθε δείγμα προβάλλεται στο τριγωνικό σύστημα ανάλογα με τα ποσοστά συμμετοχής των κλασμάτων κροκαλών, άμμου και ιλύος και αργίλου (Σχήμα 5.3.1.). Σύμφωνα με τις αναλύσεις αυτές, το ποσοστό των κροκαλών κυμαίνεται μεταξύ 7% και 44%, αυτό της άμμου μεταξύ 30 % και 74 % , της ιλύος 3 % έως 30% και της αργίλου από 2% έως 15%. Τα δείγματα λόγω της παρουσίας κροκαλών χαρακτηρίζονται βάσει του τριγωνικού διαγράμματος ταξινόμησης των χονδρόκοκκων (Σχήμα 5.3.1.).

Οι λιθολογικές τάξεις προσδιορίστηκαν από το ποσοστό των κροκαλών (>2mm) και τη σχέση άμμος (2-0,06mm)/(ιλύς + άργιλος) (<0,06mm). Σύμφωνα με το Folk (1970), τα δείγματα 1, 2, 3B, 4, 9, 11 και SKE1 ονομάζονται Πηλοαμμοκροκαλώδη, το 3A Κροκαλοπηλώδες και τα δείγματα 5, 6, 8, SKE2, SKW2, SKM2 Κροκαλοπηλοαμμώδη (Σχήμα 5.3.1.). Επίσης, σύμφωνα με τους Shepard (1954) και Schlee (1973), ως επί το πλείστον τα δείγματα χαρακτηρίζονται ως κροκαλλώδη ιζήματα, εκτός από το δείγμα 6, όπου το ποσοστό των κροκαλών είναι κάτω από 10% (Σχήμα 5.3.2.).

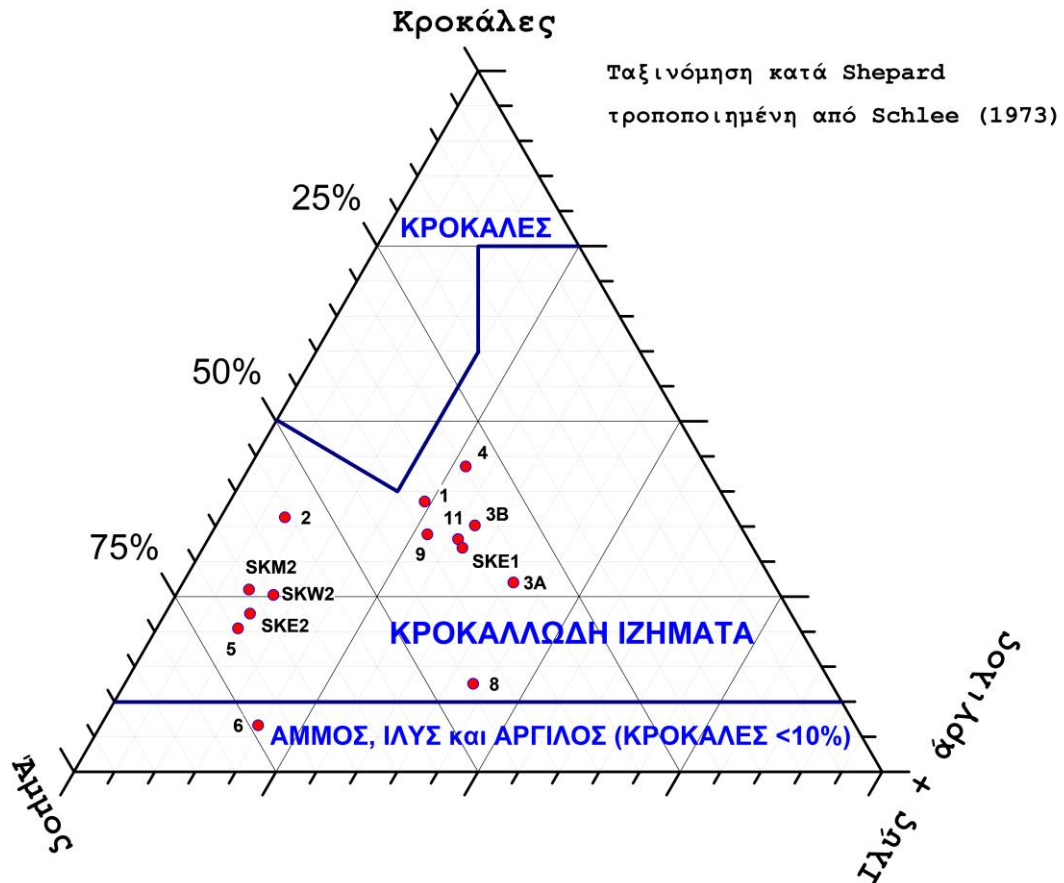
Με βάση το λιθολογικό χαρακτηρισμό διαπιστώνεται πως η πλειοψηφία των δειγμάτων είναι κροκαλώδη. Αυτό συνεπάγεται ένα περιβάλλον μεταφοράς υψηλής δυναμικής ενέργειας, που πιθανόν συνδέεται με απότομες αλλαγές του αναγλύφου.

Πίν. 5.3.1. Αποτελέσματα κοκκομετρικών αναλύσεων.

Δείγμα		Ποσοστό κροκαλών >2	Ποσοστό άμμου	Ποσοστό ιλύος	Ποσοστό αργίλου	Σύνολο
Έδαφος	1	39%	37%	17%	7%	100%
	2	36%	56%	3%	4%	100%
	3A	27%	32%	27%	14%	100%
	3B	35%	33%	26%	6%	100%
	4	44%	30%	16%	11%	100%
	5	20%	69%	7%	3%	100%
	6	7%	74%	14%	5%	100%
	8	13%	44%	30%	13%	100%
	9	34%	39%	19%	8%	100%
	11	33%	36%	16%	15%	100%
Ενεργό Τζημα	SKE1	32%	36%	23%	10%	100%
	SKE2	23%	67%	6%	5%	100%
	SKW2	25%	63%	8%	4%	100%
	SKM2	26%	65%	6%	2%	100%



Σχήμα 5.3.1. Ταξινόμηση κροκαλοφόρων ιζημάτων κατά Folk et al. 1970.



Σχήμα 5.3.2. Ταξινόμηση κροκαλοφόρων ιζημάτων κατά Shepard, τροποποιημένη από Sclee. (1973).

6. Ορυκτολογική μελέτη των ιζημάτων στο ρέμα Καρβουνόσκαλα

Για τον προσδιορισμό της ορυκτολογικής σύστασης των ιζημάτων του ρέματος Καρβουνόσκαλα μελετήθηκαν ακτινογραφικά συνολικά 13 δείγματα (Πίνακας 6.1) με τη χρήση περιθλασίμετρου ακτίνων X (XRD). Ο ημιποσοτικός προσδιορισμός πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο κατά Klug and Alexander (1974). Τα αποτελέσματα του προσδιορισμού αυτού παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.1.

Τα περιθλασιογράμματα των εξεταζόμενων δειγμάτων παρουσιάζονται στο Παράρτημα I, Σχήματα I.1 έως I.13. Επίσης, τα δείγματα, που αναφέρθηκαν παραπάνω, μαζί με τα δείγματα 1, 1A, 7 και 8A μελετήθηκαν και με τη χρήση μεταλλογραφικού και ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (SEM).

Από τη μελέτη των δειγμάτων με το μεταλλογραφικό και ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, καθώς και περιθλασιμετρία ακτίνων-X τα ιζήματα του ρέματος Καρβουνόσκαλα αποτελούνται από σουλφίδια, οξειδία-υδροξείδια του Fe, Ti και Mn, σύνδρομα πυριτικά και ανθρακικά ορυκτά, δευτερογενή ορυκτά, όπως θειοάλατα, αργιλικά και φωσφορικά ορυκτά, καθώς και σε μικρή περιεκτικότητα ορυκτά του U.

Στα πετρώματα εντοπίστηκαν σιδηροπυρίτης, χαλκοπυρίτης, γαληνίτης, μαγνητοπυρίτης, ιλμενίτης, μαγνητίτης, οξείδιο Ti, γκαιτίτης – λειμωνίτης, μοναζίτης, τιτανίτης, ζirkόνιο και ορυκτά του U και Th. Επίσης, εντοπίστηκαν χαλαζίας (32 έως 74 wt.%), πλαγιόκλαστο (5 έως 29 wt.%), μικροκλινής (1 έως 6 wt.%), βιοτίτης (5 έως 14 wt.%), αργιλικά (1 έως 10 wt.%), δολομίτης (έως 2 wt.%), ασβεστίτης (έως 7 wt.%), αμφίβολος (έως 6 wt.%), χλωρο – απατίτης, επίδοτο – αλλανίτης, γύψος και βαρύτης

Στα δείγματα εδάφους βρέθηκαν σιδηροπυρίτης (έως 2 wt.%), γιαιοσίτης (έως 6 wt.%), ιλμενίτης, μαγνητίτης, οξείδιο Ti, γκαιτίτης – λειμωνίτης, τιτανίτης, αιματίτης, οξείδια Fe – Mn και κερουσίτης. Ακόμη, εντοπίστηκαν χαλαζίας (42 έως 77 wt.%), πλαγιόκλαστο (1 έως 22 wt.%), μικροκλινής (2 έως 13 wt.%), βιοτίτης (2 έως 4 wt.%), αργιλικά (1 έως 17 wt.%), ασβεστίτης (έως 2 wt.%), αμφίβολος (έως 3 wt.%), χλωρο – απατίτης, επίδοτο – αλλανίτης, πυρόξενος, γρανάτης και μοσχοβίτης.

Τα δείγματα ενεργού ιζήματος αποτελούνται από σιδηροπυρίτη (έως 6 wt.%), ιλμενίτη, μαγνητίτη, οξειδίο Ti, γκαϊτίτη – λειμωνίτη, μοναζίτη, τιτανίτη, ζirkόνιο, αιματίτη, σκωρίες και οξείδια Fe – Mn. Αποτελούνται, επίσης, από χαλαζία (51 έως 69 wt.%), αλβίτη (6 έως 13 wt.%), μικροκλινή (έως 6 wt.%), βιοτίτη (1 έως 2 wt.%), αργιλικά (2 έως 4 wt.%), δολομίτη (έως 2 wt.%), αμφίβολο (1 έως 6 wt.%), επίδοτο – αλλανίτη, γύψο, πυρόξενο, χλωρίτη και μοσχοβίτη.

Στο Παράρτημα II παρατίθεται πίνακας με τις αντιπροσωπευτικές μετρήσεις μέσω του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (SEM) και ο δομικός τύπος των ορυκτών: μαγνητίτης, ιλμενίτης, οξειδίο Ti, άστριοι (καλιούχοι, πλαγιόκλαστο), βιοτίτης, αμφίβολοι (ακτινόλιθος, σιδηρο-ακτινολιθική κεροστίλβη, σιδηρο-τερμακιτική κεροστίλβη), γρανάτης, πυρόξενος, επίδοτο, αλλανίτης, τιτανίτης, ζirkόνιο, απατίτης και μοναζίτης.

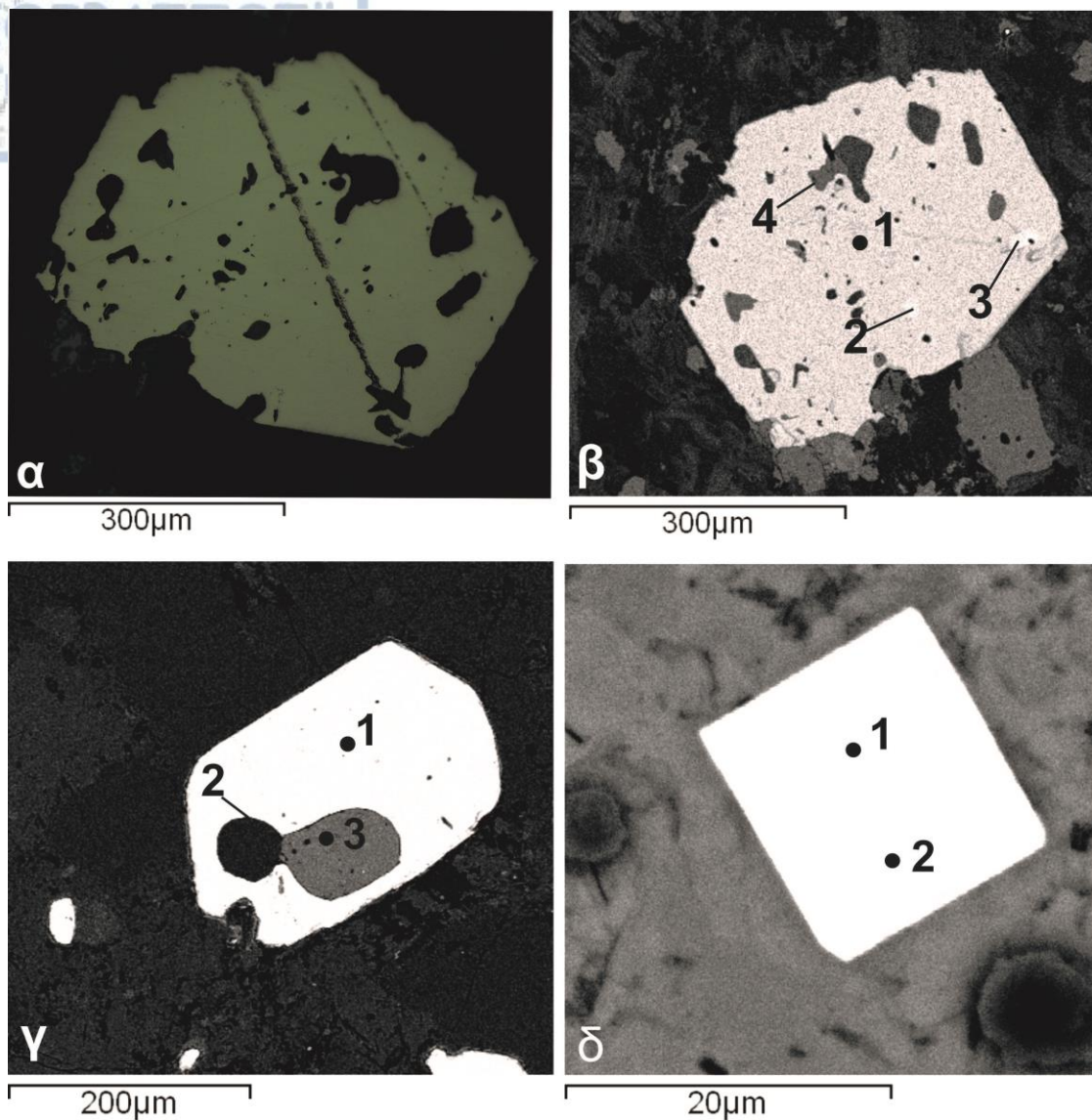
Πίνακας 6.1 Ημιποσοτική ορυκτολογική σύσταση (% wt.) των εξεταζόμενων δειγμάτων.

Δείγματα	10	BGPR 6A	BGPR 6B	BGPR 6C	2	3B	5	6	9	SKW2	SKE1	SKE2	SKM2
Είδος δείγματος	Πέτρωμα				Έδαφος					Ενεργό Ίζημα			
Χαλαζίας	48	33	32	74	73	77	49	47	42	69	51	65	62
Πλαγιόκλαστο (Αλβίτης)	19	29	28	5	11	1	22	22	10	10	13	10	6
Καλιούχος Άστρος	3	6	6	1	6	2	13	8	9	0	6	5	3
Μαρμαρυγίες (Βιοτίτης)	5	14	14	9	2	4	2	3	4	1	2	1	1
Αργιλικά Ορυκτά	10	5	5	1	4	1	3	9	17	4	4	3	2
Σιδηροπυρίτης	0	0	0	0	2	0	0	0	0	5	0	0	6
Γιαροσίτης	0	0	0	0	0	3	0	0	6	0	0	0	0
Δολομίτης	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
Ασβεστίτης	7	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
Αμφίβολος	0	6	6	0	2	0	3	2	0	3	5	1	6
Αμορφη μάζα	9	7	9	10	0	12	8	7	12	8	19	13	12
Σύνολο (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Ο σιδηροπυρίτης εντοπίστηκε στα περισσότερα μελετηθέντα δείγματα. Το μέγεθος των κόκκων φτάνει μέχρι 400μm, ωστόσο η πλειοψηφία των κόκκων έχει μέγεθος 100-200μm (Εικ. 6.1.1.1. γ, δ). Το σχήμα του είναι ακανόνιστο με γωνιώδεις μέχρι υπογωνιώδεις απολήξεις (Εικ. 6.1.1.1. α, β) μέχρι ιδιόμορφο (Εικ. 6.1.1.1. γ, δ). Εντοπίστηκε ως ελεύθερος κόκκος, καθώς επίσης και ως έγκλεισμα μέσα σε χαλκοπυρίτη (Εικ. 6.1.2.1. β). Στην εικόνα 6.1.1.1. δίνονται μικροφωτογραφίες από το μεταλλογραφικό μικροσκόπιο για το δείγμα 8Α (α) και από το σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο για τα δείγματα 8Α (β), BGPR 6Α (γ) και 10 (δ).

Σύμφωνα με τις αναλύσεις του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου (SEM), ο σιδηροπυρίτης εκτός από Fe και S περιέχει επίσης σε χαμηλές περιεκτικότητες Ni, Co και As. Η περιεκτικότητα σε Fe κυμαίνεται από 44,35 wt.% μέχρι 46,50 wt.%, με μέσο όρο 45,70 wt.%, σε Ni έως 0,75 wt.%, με μέσο όρο 0,30 wt.%, σε Co έως 1,30 wt.%, με μέσο όρο 0,50 wt.%, σε As μέχρι 0,90 wt.% με μέσο όρο 0,30 wt.% και σε S από 53,10 wt.% έως 53,60 wt.%, με μέσο όρο 53,40 wt.%.

Όπως υπολογίστηκε από τον ημιποσοτικό προσδιορισμό των ακτινογραφημάτων, η περιεκτικότητα του σιδηροπυρίτη δεν ανιχνεύεται εκτός από τα δείγματα 2, SKW2 και SKM2, όπου βρίσκεται σε περιεκτικότητα 5 wt. %, 6 wt.%, και 2 wt.% αντίστοιχα. Πιο συγκεκριμένα, τα δείγματα αυτά βρίσκονται στο δυτικό κλάδο (2, SKW2) και στα κατάντη του κύριου κλάδου του ρέματος.

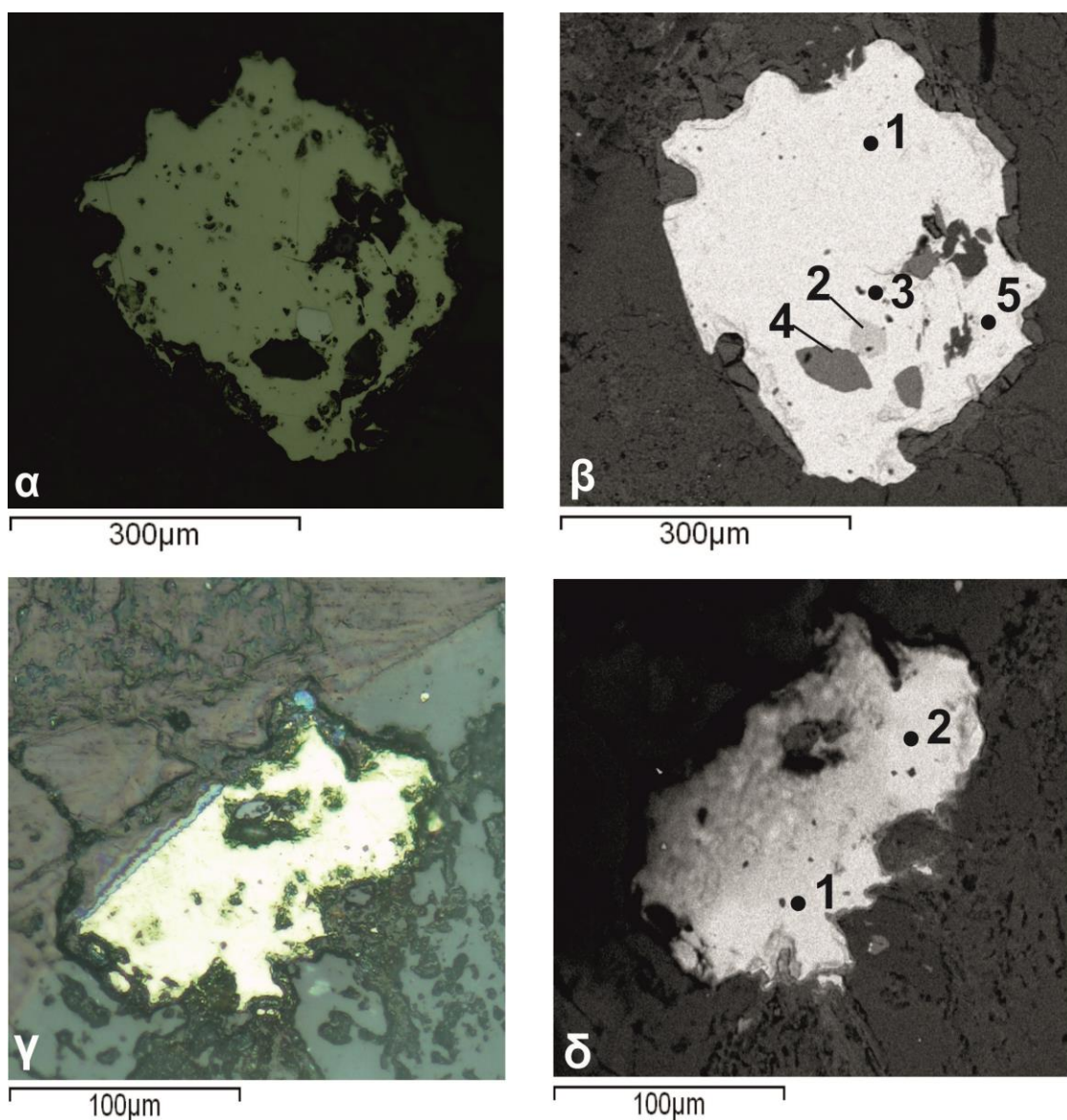


Εικόνα 6.1.1.1. α) Σιδηροπυρίτης με ακανόνιστο σχήμα, β) Σιδηροπυρίτης (1) με εγκλείσματα Ζirkονίου (2,3) και χλωροαπατίτη (4), γ) Ιδιόμορφος κρύσταλλος σιδηροπυρίτη (1) με εγκλείσματα χαλαζία (2) και γύψου (3), δ) Ιδιόμορφος κρύσταλλος σιδηροπυρίτη.

6.1.2 Χαλκοπυρίτης

Ο χαλκοπυρίτης εντοπίστηκε μόνο στο δείγμα 8Α, στα ανάντη του δυτικού κλάδου του ρέματος. Το μέγεθος των κόκκων φτάνει μέχρι 400μm και το σχήμα του είναι ακανόνιστο (Εικ. 6.1.2.1 α, β, γ, δ). Στην εικόνα 6.1.2.1. δίνονται παραδείγματα για το δείγμα 8Α από το μεταλλογραφικό μικροσκόπιο (α, γ) και από το σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (β, δ).

Σύμφωνα με τις αναλύσεις του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου (SEM), ο χαλκοπυρίτης εκτός από Cu, Fe και S περιέχει και Sb. Η περιεκτικότητα σε Cu κυμαίνεται από 33,50 wt.% μέχρι 33,90 wt.%, με μέσο όρο 33,80 wt.%, η περιεκτικότητα σε Fe από 29,70 wt.% έως 30,65 wt.% με μέσο όρο 30,30 wt.%, σε Sb έως 0,50 wt.% με μέσο όρο 0,40 wt.% και σε S από 34,90 wt.% έως 35,05 wt.%, με μέσο όρο 35,00 wt.%. Η περιεκτικότητα του χαλκοπυρίτη σε Ag, Te και Bi ήταν κάτω από το ανιχνεύσιμο όριο του SEM.

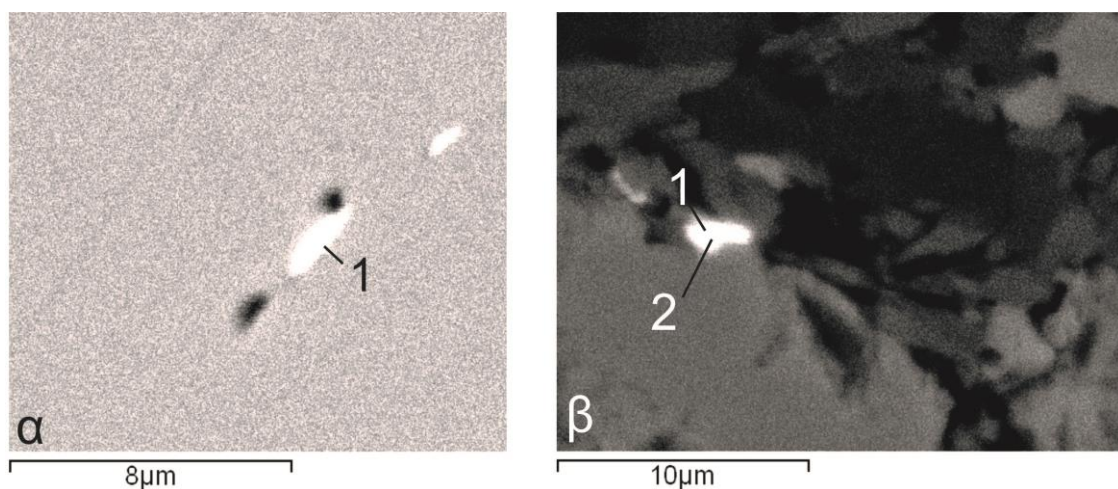


Εικόνα 6.1.2.1. α) Χαλκοπυρίτης με ακανόνιστο σχήμα, β) Χαλκοπυρίτης (1 και 3) ακανόνιστου σχήματος με εγκλείσματα σιδηροπυρίτη (2), χλωροαπατίτη (4) και πλαγιοκλάστου (5), γ) Χαλκοπυρίτης με ακανόνιστο σχήμα, δ) Αλλοτριόμορφος κρύσταλλος χαλκοπυρίτη (1 και 2).

6.1.3 Γαληνίτης

Ο γαληνίτης εντοπίστηκε σε ορισμένα δείγματα μέσα σε πετρώματα των μετώπων του ανατολικού και δυτικού κλάδου αντίστοιχα. Το μέγεθος του φτάνει μέχρι 2,5μm και εμφανίζεται με τη μορφή εγκλεισμάτων (Εικόνα 6.1.3.1 α, β). Στην εικόνα 6.1.3.1. δίνονται μικροφωτογραφίες με το σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο για τα δείγματα 7 (α) και BGPR 6B (β).

Στις αναλύσεις του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου (SEM) παρατηρήθηκε πως ο γαληνίτης είναι τυπικός.



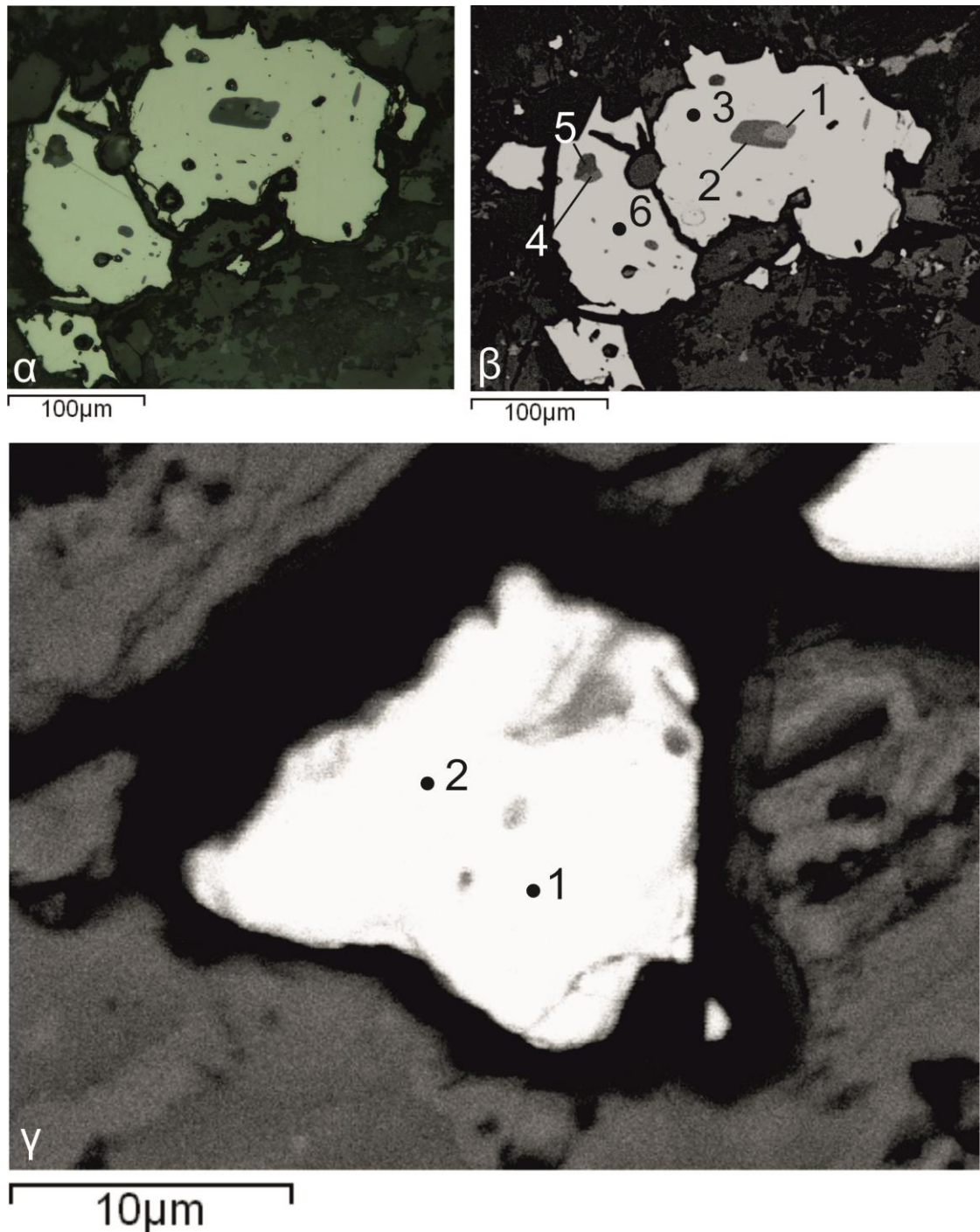
Εικόνα 6.1.3.1. α) Γαληνίτης (1) ακανόνιστου σχήματος, β) Κρύσταλλος γαληνίτη (1 και 2).

6.1.4 Μαγνητοπυρίτης

Ο μαγνητοπυρίτης εντοπίστηκε στα πετρώματα του μετώπου του δυτικού κλάδου με μέγεθος μέχρι 300μm και ακανόνιστο σχήμα (Εικ. 6.1.4.1. α, β) μέχρι υπιδιόμορφο (Εικ. 6.1.4.1. γ). Στην εικόνα 6.1.4.1. δίνονται μικροφωτογραφίες για το δείγμα 1Α από το μεταλλογραφικό μικροσκόπιο (α) και από το σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (β, γ).

Από τις αναλύσεις με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM) παρατηρήθηκε πως ο μαγνητοπυρίτης περιέχει Fe από 45,95 wt.% έως 45,60 wt.%, με μέσο όρο 45,80 wt.%, Cu από 0,15 wt.% έως 0,30 wt.%, με μέσο όρο 0,25 wt.%, Ni έως 0,10 wt.%, με μέσο όρο 0,10 wt.%, Co έως 0,65 wt.%, με μέσο όρο 0,15 wt.%, As έως 0,45

wt.% με μέσο όρο 0,45 wt.%, και S από 53,30 wt.% έως 53,50 wt.% με μέσο όρο 53,40 wt.%.



Εικόνα 6.1.4.1. α) Αλλοτριόμορφος κρύσταλλος μαγνητοπυρίτη με εγκλείσματα τιτανίτη, επιδότου και καλιούχου αστρίου, β) Κρύσταλλος μαγνητοπυρίτη (3 και 6) με εγκλείσματα τιτανίτη (1), επιδότου (2 και 4) και καλιούχου αστρίου (5), γ) Υπιδιόμορφος κρύσταλλος μαγνητοπυρίτη (1 και 2).

6.2 Οξείδια – υδροξείδια του Fe, Fe – Ti, Ti και Fe – Mn

6.2.1 Λειμωνίτης - Γκαιτίτης

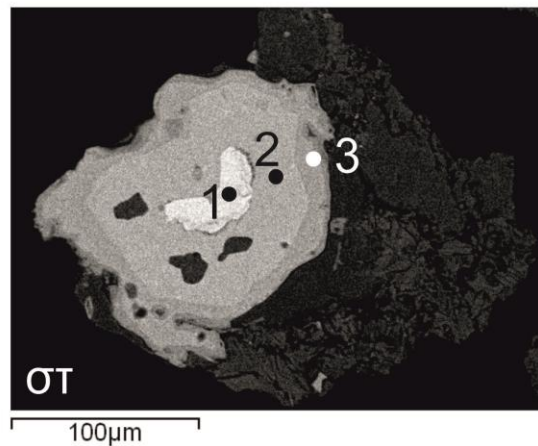
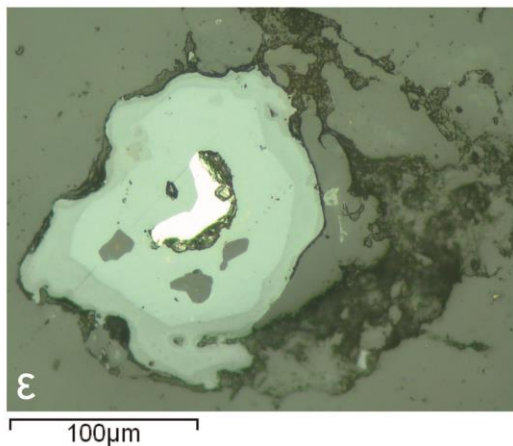
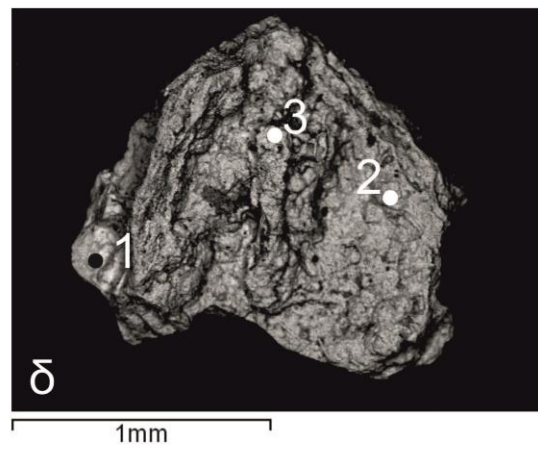
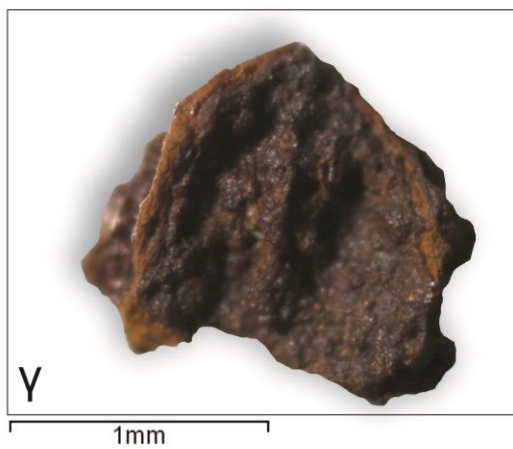
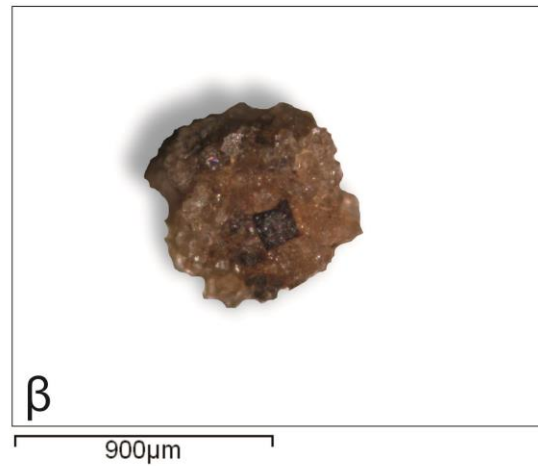
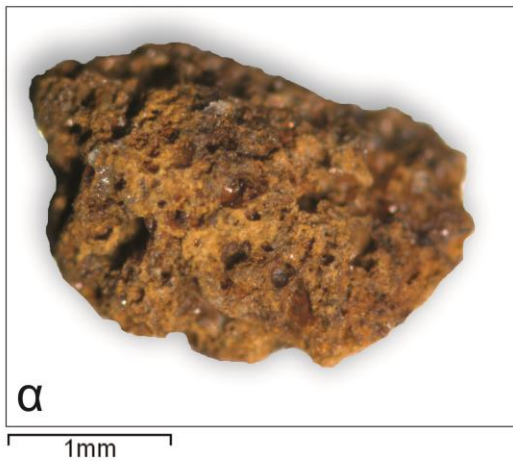
Ο λειμωνίτης (άμορφος) ή γκαιτίτης (ρομβικός) παρατηρήθηκε στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM) στα περισσότερα δείγματα. Στις εικόνες 6.2.1.1.- 6.2.1.2. παρατηρούνται κόκκοι σιδηροπυρίτη, που μετατρέπονται σε λειμωνίτη – γκαιτίτη. Το ορυκτό προέρχεται κυρίως από οξείδωση σιδηροπυρίτη και γι' αυτό συναντάται σε όλο το μήκος του ρέματος. Στην εικόνα 6.2.1.1. δίνονται μικροφωτογραφίες των δειγμάτων SKM2, SKE1 και 1 από το στερεοσκόπιο (α, β, γ) και των δειγμάτων 1 και SKW2 από το μεταλλογραφικό (ε) και το σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (δ, στ). Στην εικόνα 6.2.1.2. δίνονται μικροφωτογραφίες των δειγμάτων SKM2 και SKE1 από το μεταλλογραφικό μικροσκόπιο (α, γ) και από το σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (β, δ, ε).

Σύμφωνα με τους Perelomov and Kandeler (2006), ο γκαιτίτης παρουσιάζει αυξημένη τάση δέσμευσης του Zn στα εδάφη και αυτό δικαιολογεί την παρουσία του στις αναλύσεις με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM). Περιέχει FeO από 51,85 wt.% έως 99,30 wt.%, με μέσο όρο 82,60 wt.%, SO₃ έως 14,75 wt.%, με μέσο όρο 12,70 wt.%, P₂O₅ έως 10,45 wt.%, με μέσο όρο 5,10 wt.% και ZnO έως 5,75 wt.%, με μέσο όρο 4,40 wt.%.

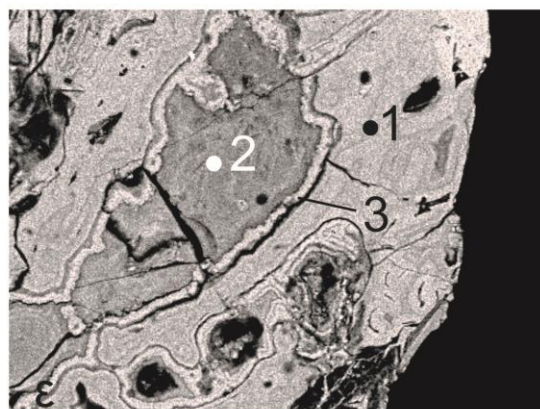
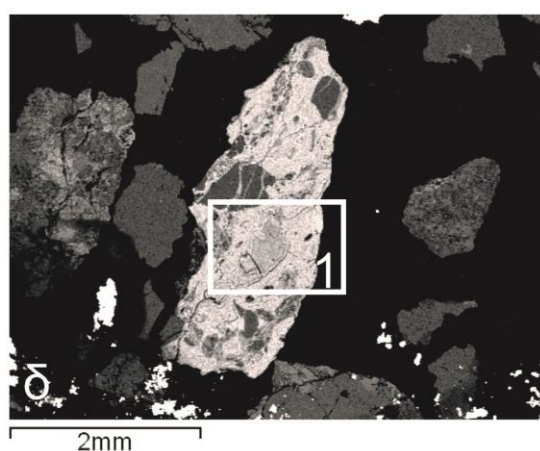
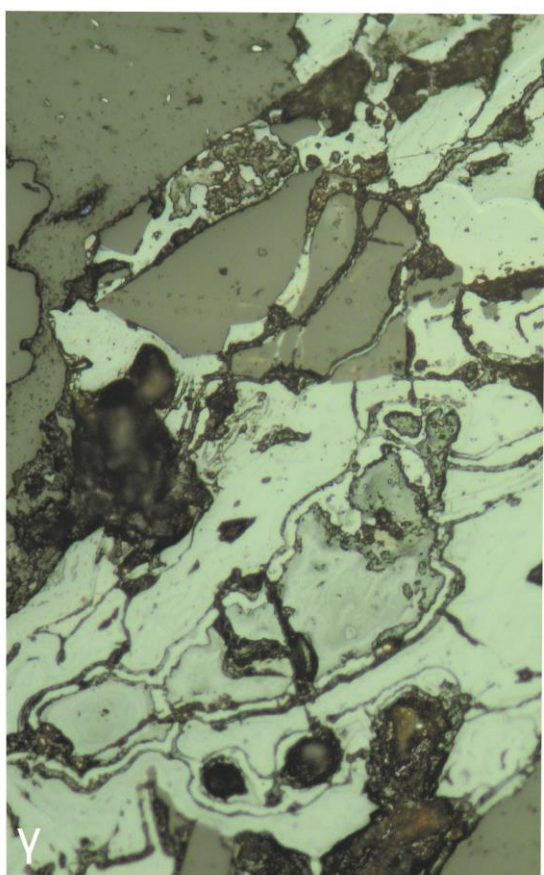
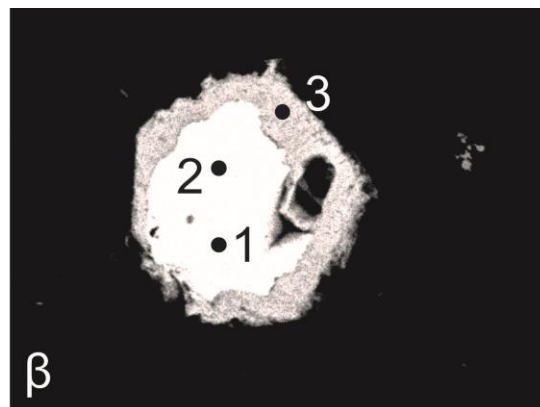
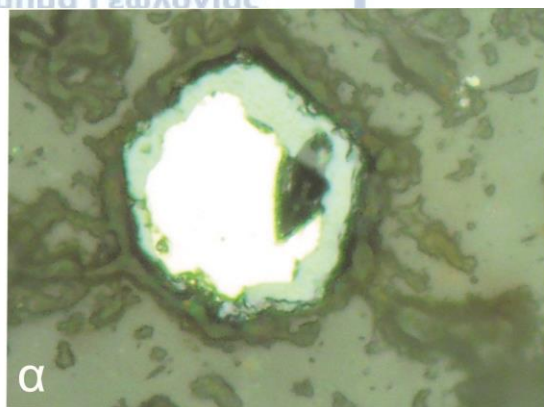
6.2.2 Μαγνητίτης

Ο μαγνητίτης παρατηρήθηκε κατά μήκος του ρέματος σε ορισμένα δείγματα με μέγεθος έως 400μm (Εικ. 6.2.2.1. α, β) και σχήμα από αλλοτριόμορφο (Εικ. 6.2.2.1. α, β, γ, δ) μέχρι ιδιόμορφο (Εικ. 6.2.2.1. ε). Επίσης, παρατηρήθηκε περιφερειακή μετατροπή του σε αιματίτη (μαρτιτίωση) (Εικ. 6.2.2.1. γ, δ). Στην εικόνα 6.2.2.1. δίνονται μικροφωτογραφίες για τα δείγματα 1 και BGPR 6B με το μεταλλογραφικό (α, γ) και το σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (β, δ, ε).

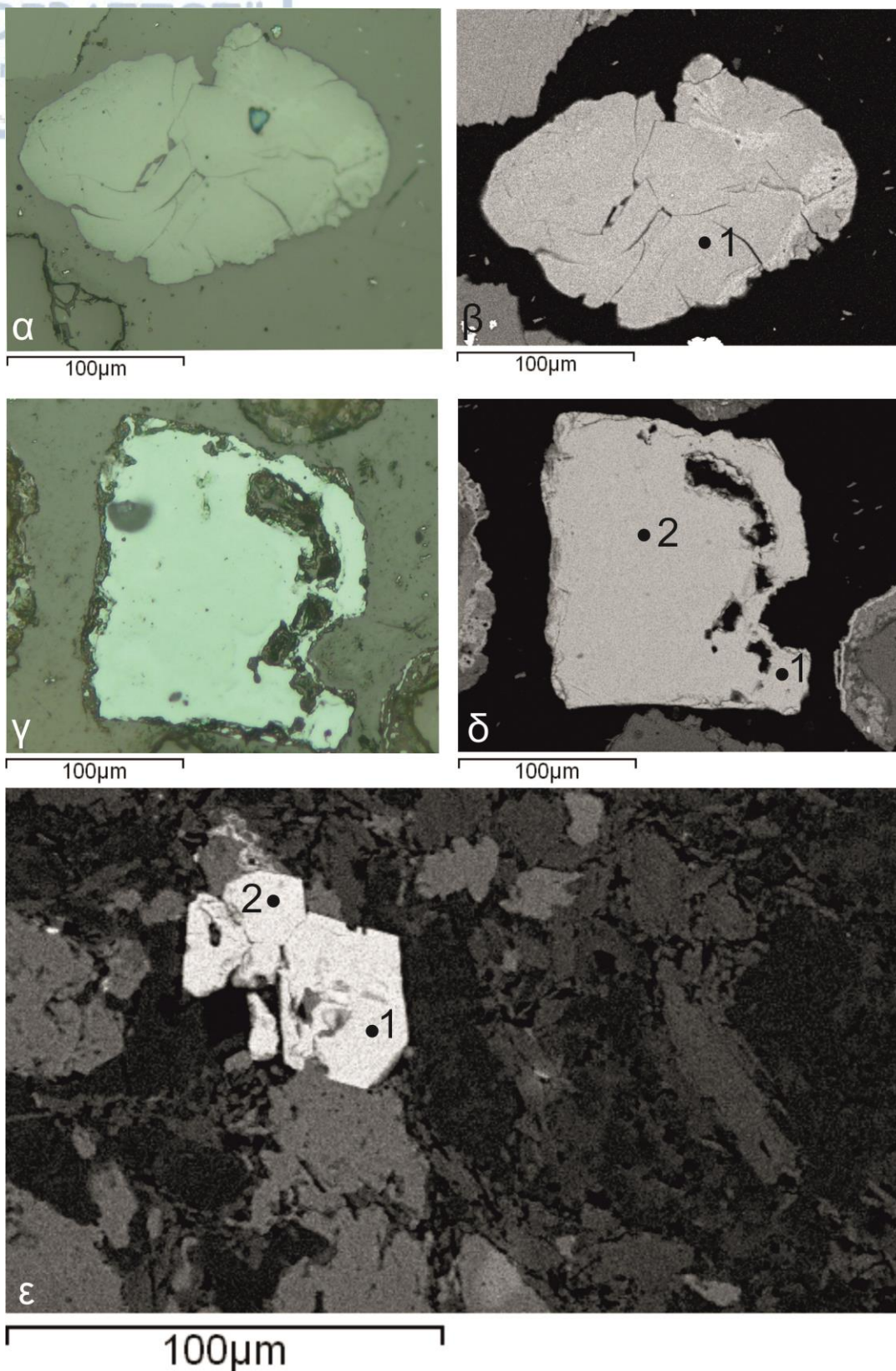
Σύμφωνα με τις αναλύσεις με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM), ο μαγνητίτης περιέχει FeO με μέσο όρο 95,30 wt.%, MnO έως 1,30 wt.%, με μέσο όρο 0,25 wt.% και CoO έως 1,00 wt.%, με μέσο όρο 0,70 wt.%. Η αντιπροσωπευτική ανάλυση και ο δομικός τύπος παρουσιάζονται στον πίνακα II.2 του Παραρτήματος II.



Εικόνα 6.2.1.1. α) Λειμωνίτης – Γκαιτίτης, β) Οξειδωμένος σιδηροπυρίτης μαζί με πυριτικά ορυκτά, γ) Συνσσωμάτωμα χαλαζία, αργιλοπυριτικών ορυκτών και οξειδίων του Fe, δ) Λεπτομέρεια της εικόνας 6.2.1.1.γ., χαλαζίας, αργιλικά ορυκτά και οξείδια του Fe (1 έως 3), ε) Περιφερειακή οξείδωση σιδηροπυρίτη, στ) Λεπτομέρεια εικόνας 6.2.1.1.ε., Σιδηροπυρίτης (1) και λειμωνίτης – γκαιτίτης (2 και 3).



Εικόνα 6.2.1.2. α) Ιδιόμορφος σιδηροπυρίτης και περιφερειακή αλλοίωσή του σε λειμωνίτη – γκαϊτίτης, β) Λεπτομέρεια της εικόνας 6.2.1.2.α., σιδηροπυρίτης (1 και 2) και λειμωνίτης – γκαϊτίτης (3), γ) Λειμωνίτης – γκαϊτίτης, δ) Λεπτομέρεια εικόνας 6.2.1.2.γ., Λειμωνίτης – γκαϊτίτης, ε) Λεπτομέρεια εικόνας 6.2.1.2.δ., Περιοχή μελέτης 1, Λειμωνίτης – γκαϊτίτης (1 έως 3).

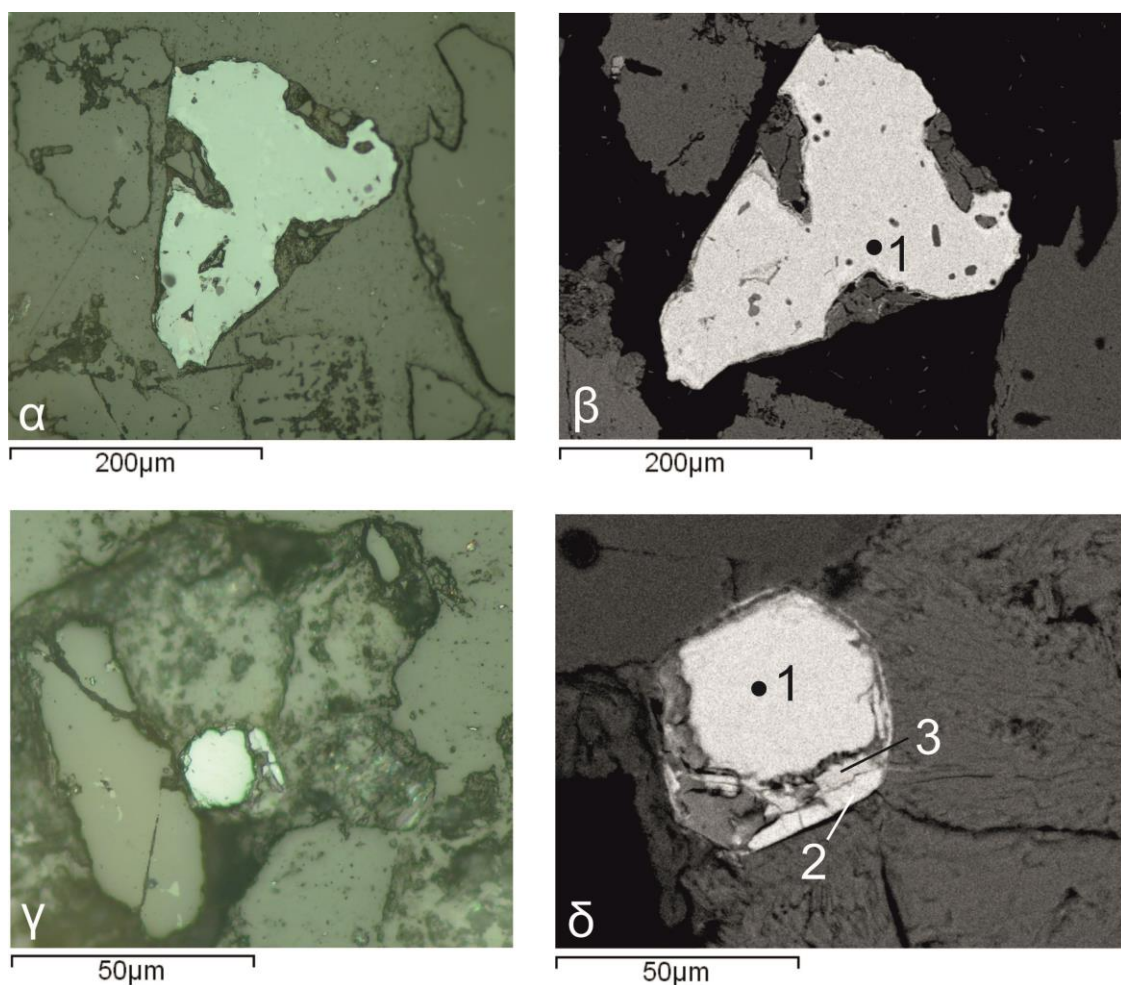


Εικόνα 6.2.2.1. α) Αλλοτριόμορφος κρύσταλλος μαγνητίτη, β) Κρύσταλλος μαγνητίτη με ακανόνιστο σχήμα (1), γ) Υπιδιόμορφος κρύσταλλος μαγνητίτη και περιφερειακή μετατροπή του σε αιματίτη (μαρτιτίωση), δ) Υπιδιόμορφος κρύσταλλος μαγνητίτη (2) και εξωτερικά αιματίτης (1), ε) Ιδιόμορφοι κρύσταλλοι μαγνητίτη.

6.2.3 Αιματίτης

Ο αιματίτης παρατηρήθηκε σε δείγματα ανάντη του ρέματος. Το μέγεθος του αιματίτη φτάνει μέχρι 400μm (Εικ. 6.2.3.1. α, β) και το σχήμα του είναι υπιδιόμορφο (Εικ. 6.2.3.1. α, β, γ, δ). Στην εικόνα 6.2.3.1. δίνονται μικροφωτογραφίες για το δείγμα SKE1 με μεταλλογραφικό (α, γ) και σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (β, δ).

Από τις αναλύσεις με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM) ο αιματίτης είναι τυπικός και περιέχει FeO με μέσο όρο 96,30 wt.%.



Εικόνα 6.2.3.1. α) Υπιδιόμορφος κρύσταλλος αιματίτη, β) Κρύσταλλος αιματίτη (1), γ) Υπιδιόμορφος κρύσταλλος αιματίτη μέσα σε συσσωμάτωμα ορυκτών, δ) Υπιδιόμορφος κρύσταλλος αιματίτη (1 έως 3).

6.2.4 Ιλμενίτης

Ο ιλμενίτης εντοπίστηκε σε δείγματα του δυτικού και του κύριου κλάδου. Το μέγεθός του φτάνει έως 30μm (Εικ. 6.2.4.1. α, β) και εμφανίζεται σε αποστρογγυλεμένους κόκκους (Εικ. 6.2.3.1. α, β) με γωνιώδεις μέχρι υπογωνιώδεις απολήξεις (Εικ. 6.2.4.1. γ, δ, ε). Εντοπίστηκε ως ελεύθερος κόκκος και ως έγκλεισμα σε τιτανίτη (Εικ. 6.2.4.1. β, δ). Στην εικόνα 6.2.4.1. δίνονται μικροφωτογραφίες για τα δείγματα SKM2, 1 και 8A από το μεταλλογραφικό (α, γ) και το σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (β, δ, ε).

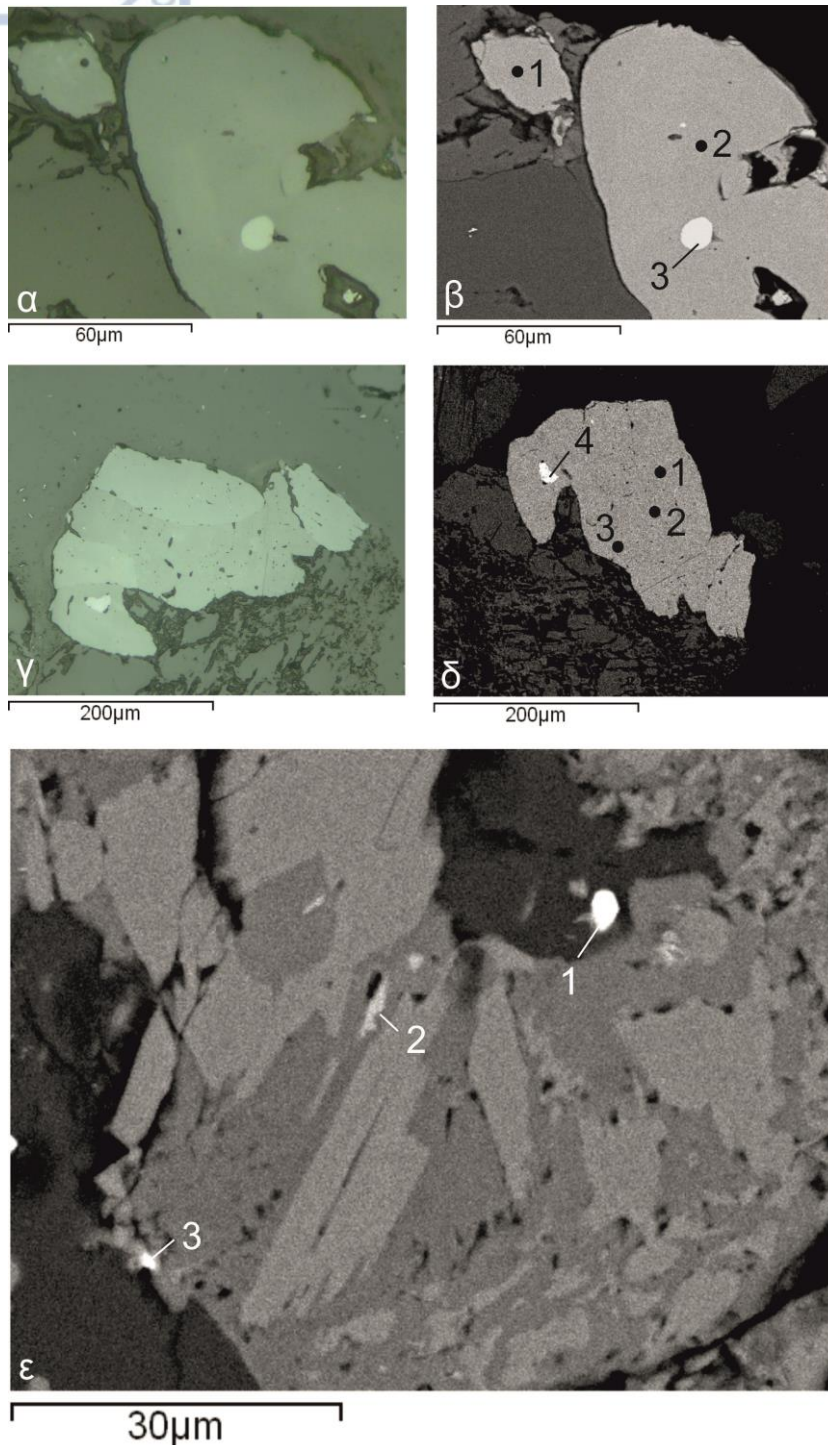
Σύμφωνα με τις αναλύσεις του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου (SEM) ο ιλμενίτης περιέχει TiO_2 από 48,30 wt.% έως 50,85 wt.%, με μέσο όρο 50,50 wt.%, FeO από 32,40 wt.% έως 44,80 wt.%, με μέσο όρο 40,10 wt.%, MnO από 2,00 wt.% έως 9,60 wt.%, με μέσο όρο 4,35 wt.%, MgO έως 0,25 wt.%, με μέσο όρο 0,25 wt.% και CaO από 3,10 wt.% έως 7,90 wt.%, με μέσο όρο 5,90 wt.%. Η αντιπροσωπευτική ανάλυση και ο δομικός τύπος παρουσιάζονται στον πίνακα II.2 του Παραρτήματος II.

6.2.5 Οξείδιο Ti

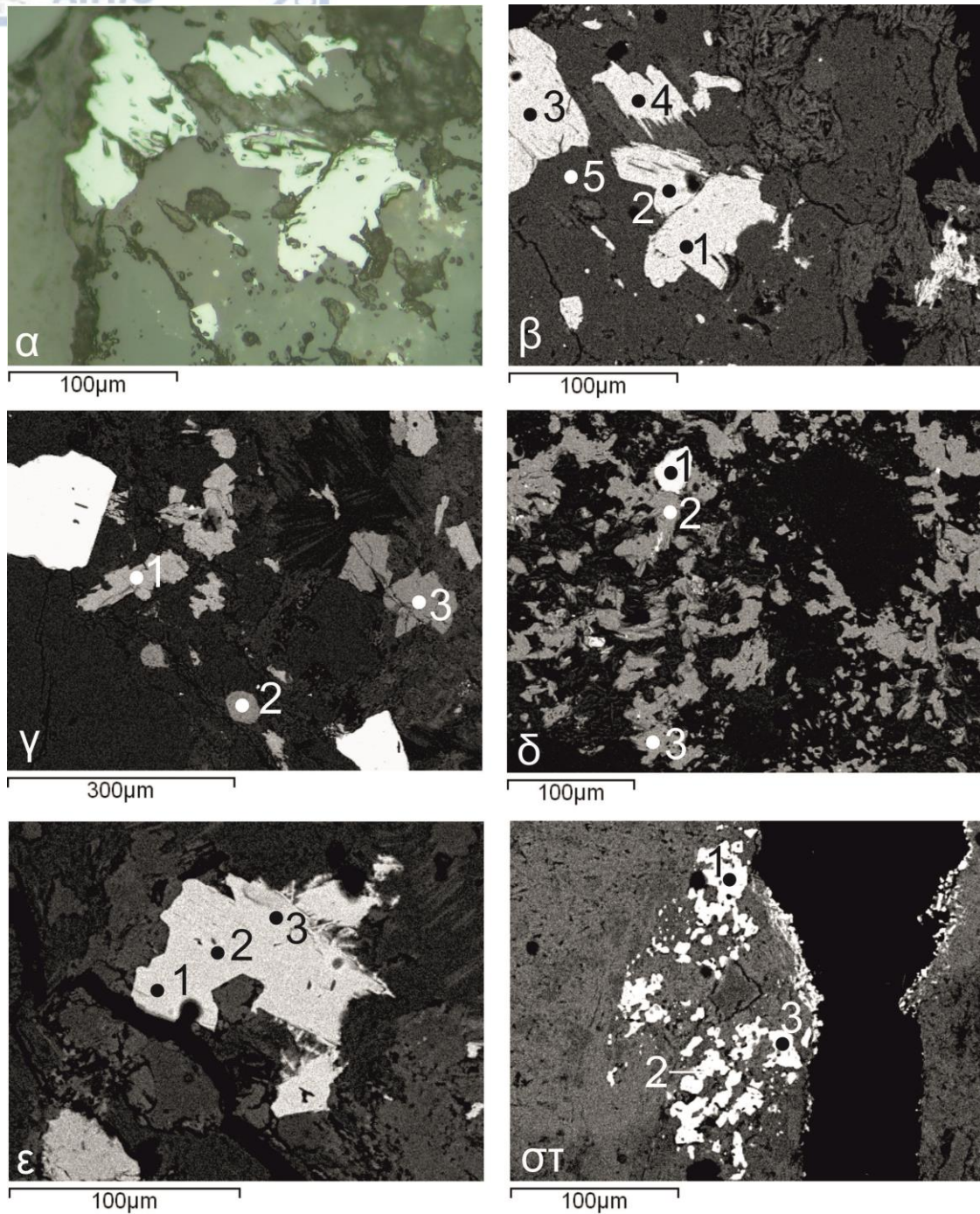
Το οξείδιο Ti εντοπίστηκε κατά μήκος του ρέματος. Το μέγεθός του είναι μέχρι 100μm (Εικ. 6.2.5.1. α, β, ε και Εικ. 6.2.5.2. α, β) και το σχήμα του είναι υπιδιόμορφο έως ιδιόμορφο (Εικ. 6.2.5.1., 6.2.5.2.). Παρατηρήθηκε με μορφή ελεύθερου κόκκου και ως έγκλεισμα σε τιτανίτη (Εικ. 6.3.10.1. δ, στ), χαλαζία (Εικ. 6.2.5.1. β) και σιδηροπυρίτη (Εικ. 6.2.5.2. δ). Το οξείδιο Ti δεν ήταν δυνατό να προσδιοριστεί εάν είναι ρουτίλιο ή ανατάσης, αφού δεν ήταν ανιχνεύσιμο μέσω XRD. Στην εικόνα 6.2.5.1. δίνονται μικροφωτογραφίες για τα δείγματα SKE2, 10, SKM2 και 7 από το μεταλλογραφικό (α) και το σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (β, γ, δ, ε, στ). Στην εικόνα 6.2.5.2. δίνονται μικροφωτογραφίες για το δείγμα από το μεταλλογραφικό (α, γ) και το σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (β, δ).

Σύμφωνα με τις αναλύσεις του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου (SEM) το οξείδιο Ti αποτελείται από TiO_2 από 83,30 wt.% έως 98,40 wt.%, με μέσο όρο 90,30 wt.%, V_2O_5 έως 1,90 wt.%, με μέσο όρο 1,15 wt.%, MnO έως 0,40 wt.%, με μέσο όρο 0,20 wt.%, Nb_2O_5 έως 1,70 wt.%, με μέσο όρο 0,60 wt.%, Ta_2O_5 έως 2,30 wt.% με μέσο όρο 0,50 wt.% και WO_3 μέχρι 1,65 wt.%, με μέσο όρο 0,50 wt.%. Η

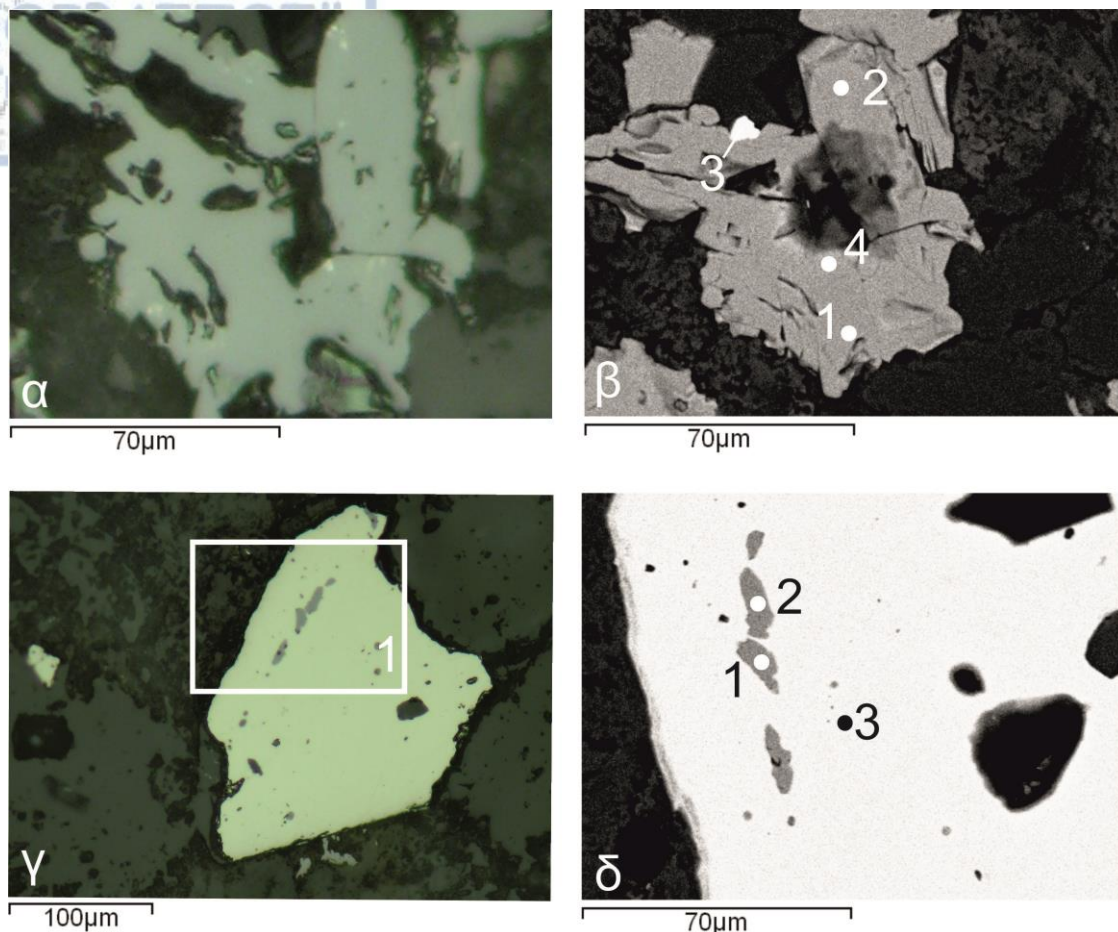
αντιπροσωπευτική ανάλυση και ο δομικός τύπος παρουσιάζονται στον πίνακα Π.2 του Παραρτήματος II.



Εικόνα 6.2.4.1. α) Αλλοτριόμορφος κρύσταλλος τιτανίτη με έγκλεισμα ιλμενίτη, β) Αποστρογγυλεμένος κρύσταλλος ιλμενίτη (3) μέσα σε τιτανίτη (1 και 2), γ) Αλλοτριόμορφος κρύσταλλος τιτανίτη με έγκλεισμα ιλμενίτη, δ) Αλλοτριόμορφος κρύσταλλος ιλμενίτη (4) μέσα σε τιτανίτη (1 έως 3), ε) Αποστρογγυλεμένος κρύσταλλος ιλμενίτη (1) δίπλα σε συσσωμάτωμα ορυκτών, όπου περιέχονται ορυκτά U και Th (2 και 3).



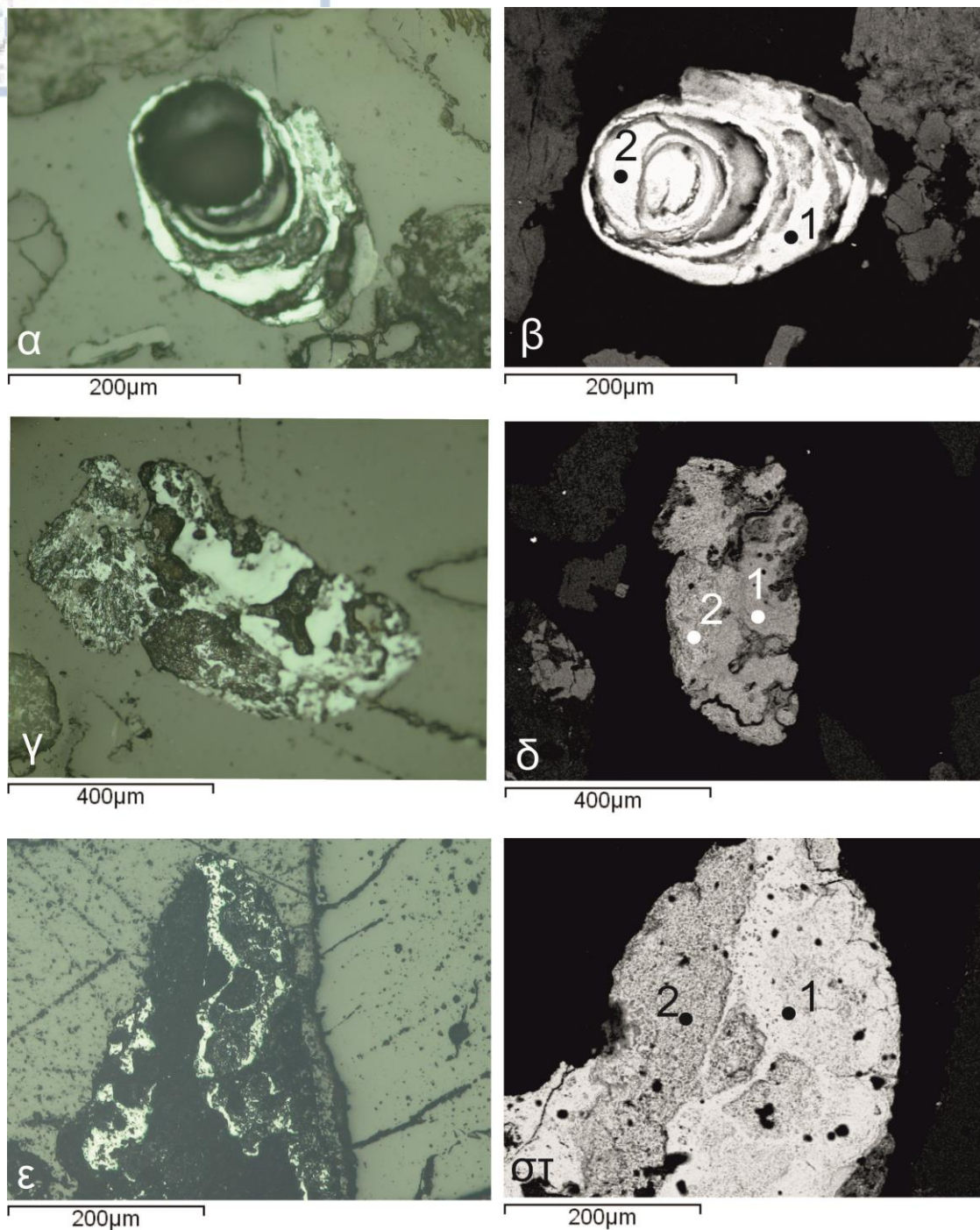
Εικόνα 6.2.5.1. α) Υπιδιόμορφοι κρύσταλλοι οξειδίου Ti μέσα σε χαλαζία, β) Κρύσταλλοι οξειδίου Ti (1 έως 4) και μέσα σε χαλαζία (5), γ) Συνσσωμάτωμα ορυκτών συμπεριλαμβανόμενων του οξειδίου Ti (1) και χλωροαπατίτη (2 και 3), δ) Συνσσωμάτωμα ορυκτών με κρυστάλλους οξειδίου Ti (2 και 3) και ζirkονίου (1), ε) Υπιδιόμορφος κρύσταλλος οξειδίου Ti (1 έως 3), στ) Αλλοτριόμορφοι κρύσταλλοι οξειδίου Ti (1 έως 3).



Εικόνα 6.2.5.2. α) Υπιδιόμορφοι κρύσταλλοι οξειδίου Ti μαζί με ορυκτό U και Th, β) Κρύσταλλοι οξειδίου Ti (1, 2 και 4) και ορυκτού U και Th (3), γ) Σιδηροπυρίτης με εγκλείσματα οξειδίου Ti, δ) Λεπτομέρεια εικόνας 6.2.5.2.γ., Περιοχή μελέτης 1, κρύσταλλοι οξειδίου Ti (1 και 2) μέσα σε σιδηροπυρίτη (3).

6.2.6 Οξείδια – υδροξείδια του Fe - Mn

Τα οξείδια – υδροξείδια του Fe-Mn εντοπίστηκαν ανάντη του ρέματος. Το μέγεθος των μελετηθέντων οξειδίων φτάνει έως 500μm (Εικ. 6.2.6.1. γ, δ) και το σχήμα τους είναι αλλοτριόμορφο (Εικ. 6.2.6.1. α, β, γ, δ). Στην εικόνα 6.2.6.1. δίνονται μικροφωτογραφίες για τα δείγματα SKW2, SKE2 και SKM2 από το μεταλλογραφικό (α, γ, ε) και το σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (β, δ, στ).

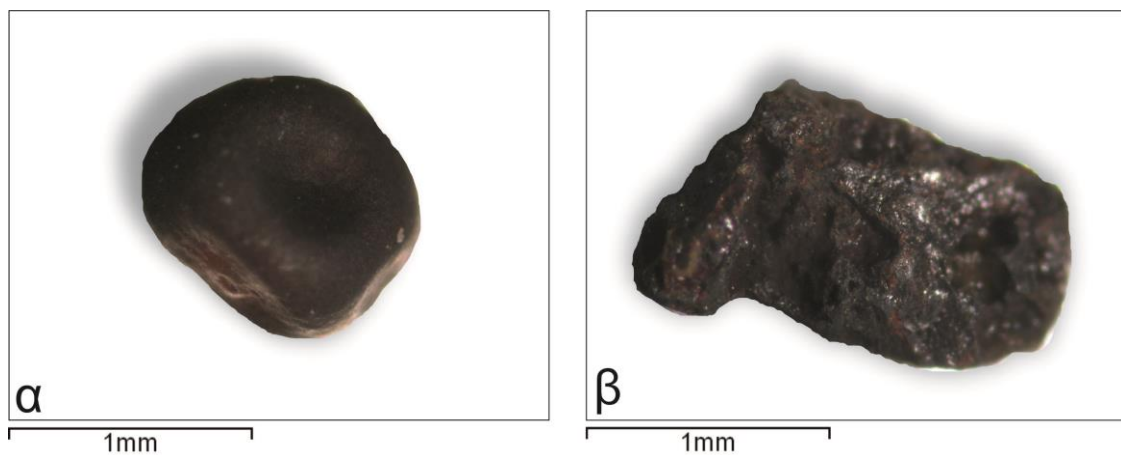


Εικόνα 6.2.6.1. α) Οξείδιο Mn και Pb, β) Οξείδιο Mn και Pb (1 και 2), γ) Οξείδια Fe και Mn και οξείδια Mn και Zn, δ) Οξείδια Fe και Mn (μέτρηση 1) και οξείδια Mn και Zn (2), ε) Οξείδιο Mn και Fe, στ) Οξείδιο Mn και Fe (1 και 2).

6.3 Σκωρία

Η σκωρία θεωρείται υποπροϊόν της μεταλλουργικής κατεργασίας κατά την οποία εξαγόταν μέταλλο από πλούσιο σε Pb και Zn μετάλλευμα μεικτών θειούχων. Στην περιοχή και ειδικά σε ευρήματα αρχαιολογικών ανασκαφών παρατηρούνται μεταλλουργικά υπολείμματα τύπου Speiss (Vavelidis 1983, Βαβελίδης 2000). Το γεγονός αυτό αποδεικνύει την παραγωγή Pb από μετάλλευμα των κοιτασμάτων της περιοχής με As και Sb, διότι το As και το Sb αποτελούν προϋπόθεση για το σχηματισμό τύπου Speiss κατά τη μεταλλουργική επεξεργασία (Βαβελίδης 2009).

Η σκωρία εντοπίστηκε σε δείγματα ανάντη του ανατολικού κλάδου και κατάντη του κύριου. Το μέγεθός της φτάνει μέχρι 2mm (Εικ. 6.3.1.1. α, β) και οι κόκκοι της είναι ακανόνιστοι με γωνιώδεις μέχρι υπογωνιώδεις απολήξεις (Εικ. 6.3.1.1. β) έως αποστρογγυλεμένοι (Εικ. 6.3.1.1. α). Στην εικόνα 6.3.6.1. δίνονται μικροφωτογραφίες για τα δείγματα SKE1 και SKM2 από το στερεοσκόπιο (α, β).



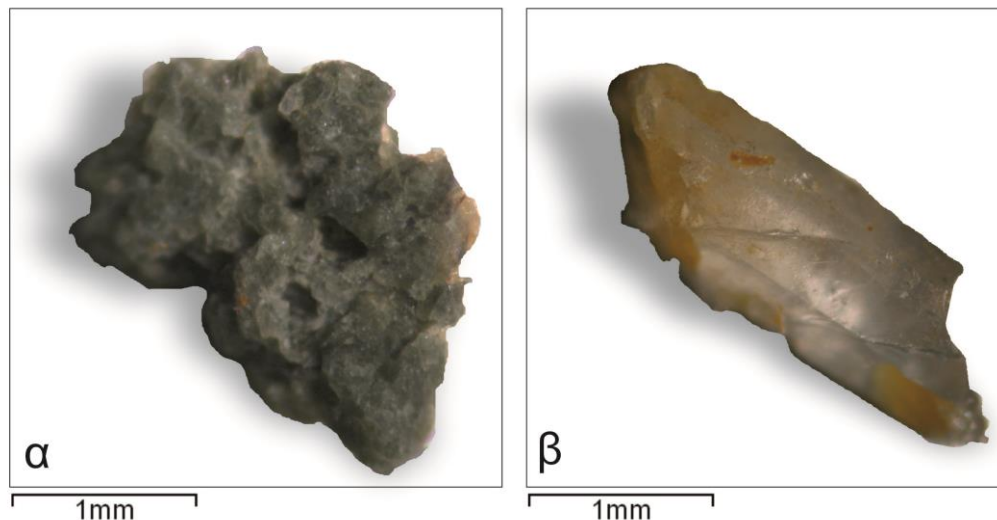
Εικόνα 6.3.1.1. α) Αποστρογγυλεμένη μεταλλουργική σκωρία, β) Μεταλλουργική σκωρία με ακανόνιστο σχήμα.

6.4 Ένυδρα θειϊκά ορυκτά

6.4.1 Γύψος

Η γύψος εντοπίστηκε σε δείγματα στον ανατολικό, δυτικό και κύριο κλάδο. Εντοπίζεται αλλοτριόμορφο μέχρι ιδιόμορφο με μέγεθος που φτάνει τα 2mm. Επίσης, βρέθηκε ως έγκλεισμα μαζί με χαλαζία μέσα σε σιδηροπυρίτη (Εικ. 6.1.1.1. γ). Στην εικόνα 6.4.1.1. δίνονται μικροφωτογραφίες από το στερεοσκόπιο για τα δείγματα SKW2 (α) και SKM2 (β).

Σύμφωνα με τις αναλύσεις του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου (SEM), η γύψος είναι τυπική.

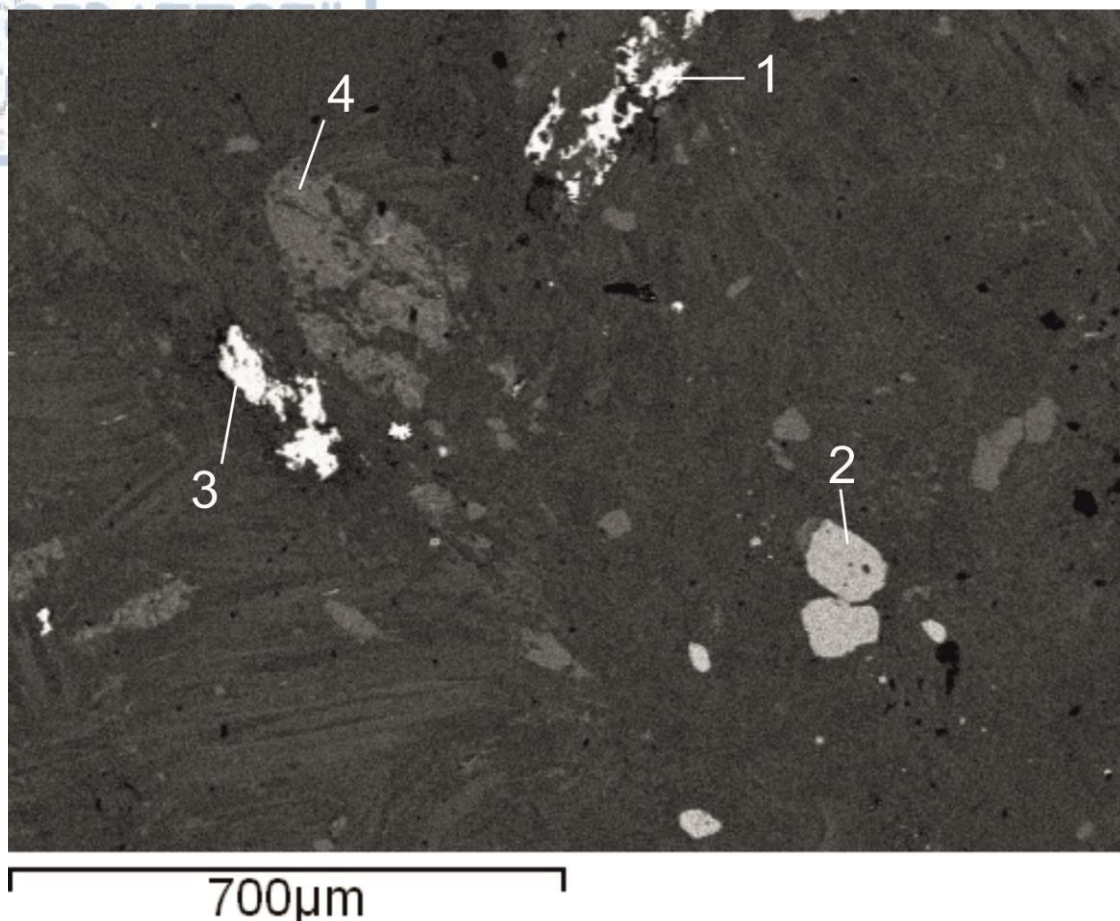


Εικόνα 6.4.1.1. α) Αλλοτριόμορφος κρύσταλλος γύψου, β) Ιδιόμορφος κρύσταλλος γύψου.

6.4.2 Βαρύτης

Ο βαρύτης εντοπίστηκε μόνο σε ένα δείγμα πετρώματος στο μέτωπο του δυτικού κλάδου με αλλοτριόμορφο σχήμα και μέγεθος έως 200μm (Εικ. 6.4.2.1.). Στην εικόνα 6.4.2.1. δίνεται μικροφωτογραφία από το σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο για το δείγμα 8Α.

Σύμφωνα με τις αναλύσεις με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM), ο βαρύτης είναι τυπικός.



Εικόνα 6.4.2.1. Αλλοτριόμορφοι κρύσταλλοι βαρύτη (1 και 3), αποστρογγυλεμένοι κρύσταλλοι σιδηροπυρίτη (2), κρύσταλλος τιτανίτη (4).

6.4.3 Γιαροσίτης

Ο γιαροσίτης προσδιορίστηκε με περιθλασιμετρία ακτίνων X (XRD) σε δύο δείγματα ιζήματος στον αποσαθρωμένο ορίζοντα εδάφους στο δυτικό κλάδο. Η περιεκτικότητά του στα δείγματα αυτά είναι 3wt.% έως 6% wt.. Ο γιαροσίτης συνδέεται με τη ζώνη οξείδωσης των θειούχων κοιτασμάτων, όπου ο σιδηροπυρίτης οξειδώνεται από διαλύματα σε όξινες και οξειδωτικές συνθήκες.

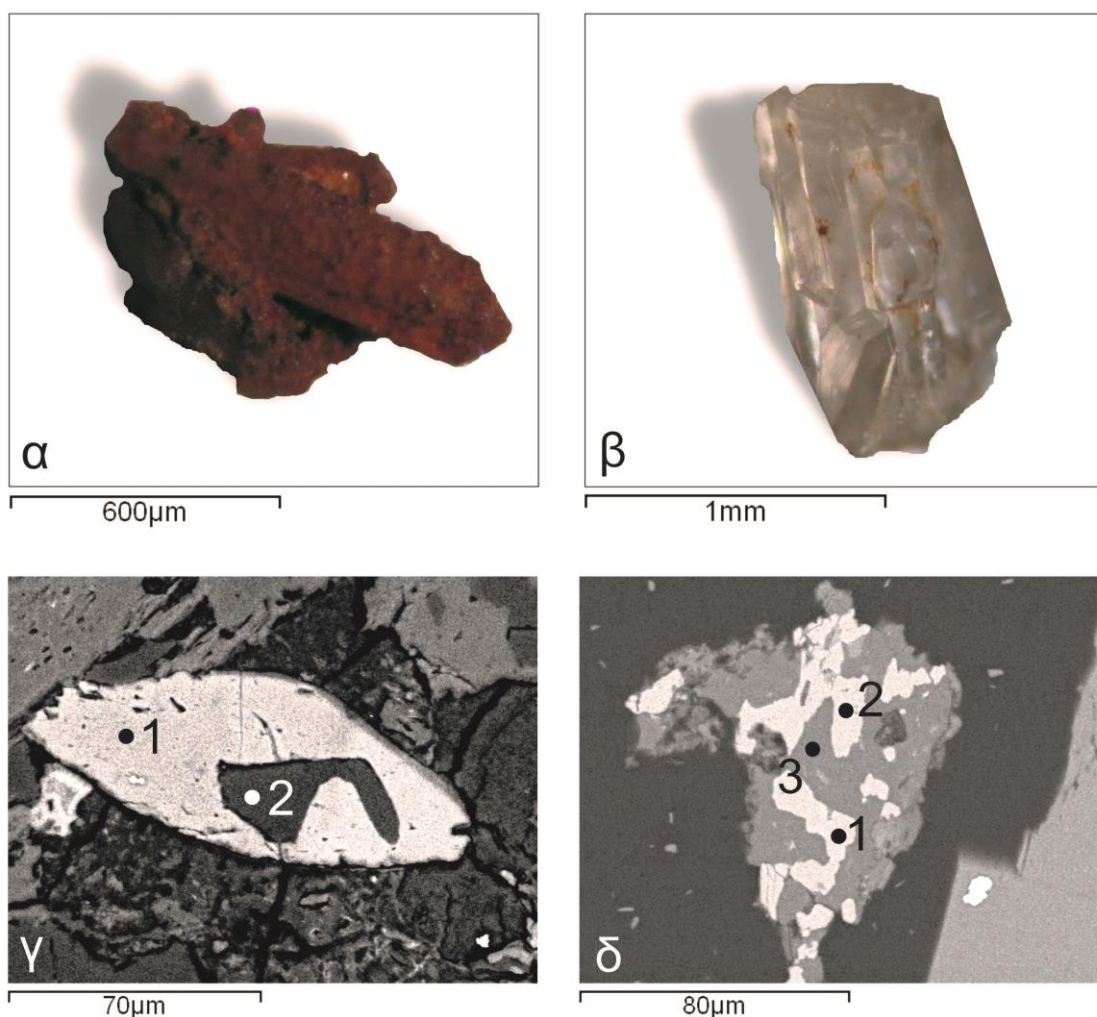
6.5 Πυριτικά ορυκτά

6.5.1 Χαλαζίας

Ο χαλαζίας είναι το συνηθέστερο σύνδρομο ορυκτό και εντοπίστηκε σχεδόν σε όλα τα δείγματα εκτός από τα δείγματα σε πετρώματα μετώπων στα ανάντη του

δυτικού κλάδου. Το μέγεθος των κόκκων φτάνει μέχρι 1mm (Εικ. 6.5.1.1. β), ενώ το σχήμα του είναι ιδιόμορφο (Εικ. 6.5.1.1. α) έως αλλοτριόμορφο (Εικ. 6.5.1.1. γ, δ). Βρέθηκε ως ελεύθερος κόκκος και ως έγκλεισμα σε άλλα ορυκτά, όπως ο σιδηροπυρίτης (Εικ. 6.1.1.1. γ) και ο τιτανίτης (Εικ. 6.5.1.1. γ). Στην εικόνα 6.5.1.1. δίνονται μικροφωτογραφίες για το δείγμα SKE1 από το στερεοσκόπιο (α, β) και για τα δείγματα 1Α και 1 από το σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (γ, δ).

Η περιεκτικότητά του, όπως υπολογίστηκε από τον ημιποσοτικό προσδιορισμό των ακτινογραφικών αποτελεσμάτων είναι από 32 wt.% έως 77 wt.%.

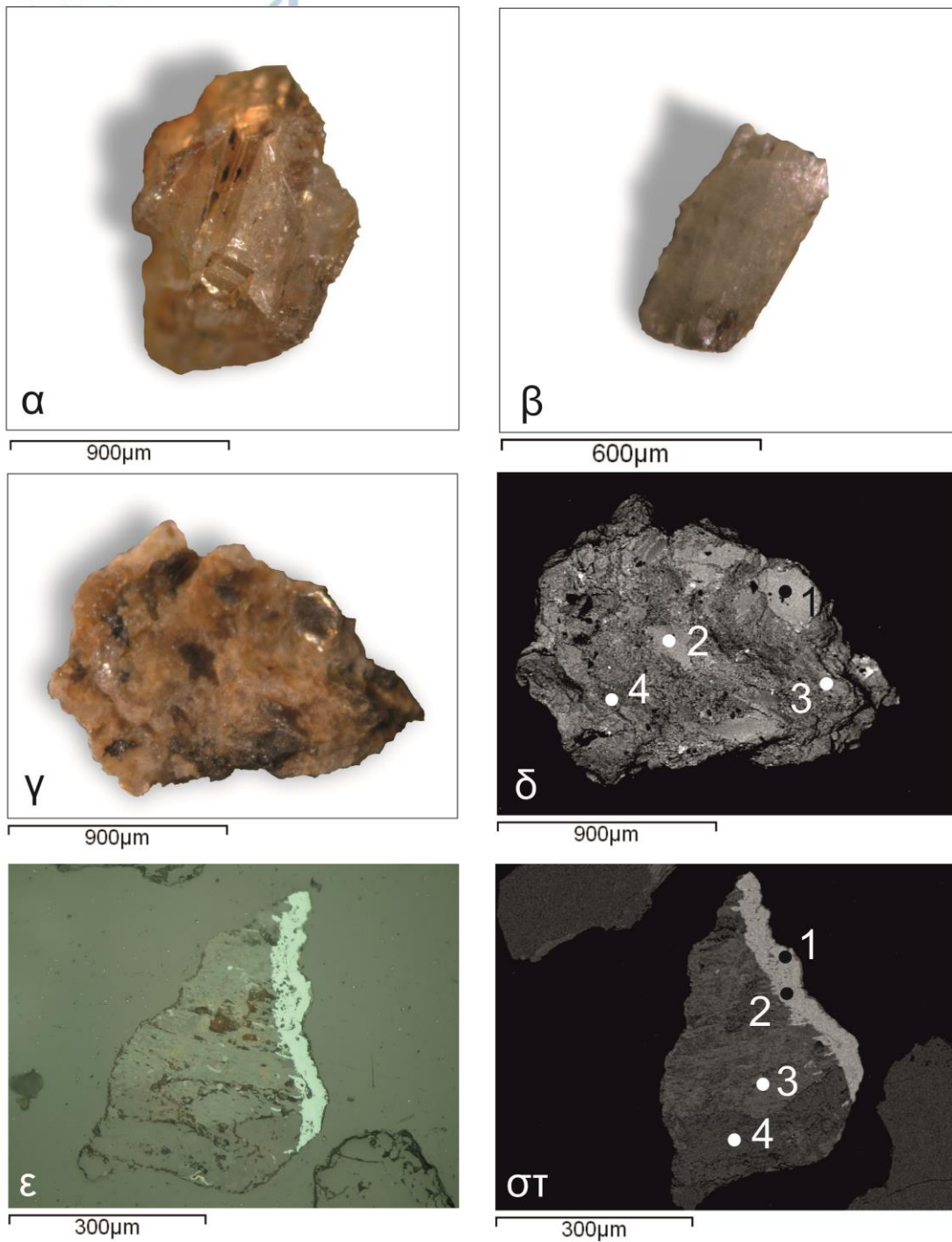


Εικόνα 6.5.1.1. α) Ιδιόμορφος κρύσταλλος χαλαζία καλυμμένος με οξείδια Fe, β) Υπιδιόμορφος κρύσταλλος χαλαζία, γ) Ιδιόμορφος κρύσταλλος τιτανίτη (1) με εγκλείσματα χαλαζία (2), δ) Συνσωμάτωμα οξειδίου Ti (1 και 2) και χαλαζία (3).

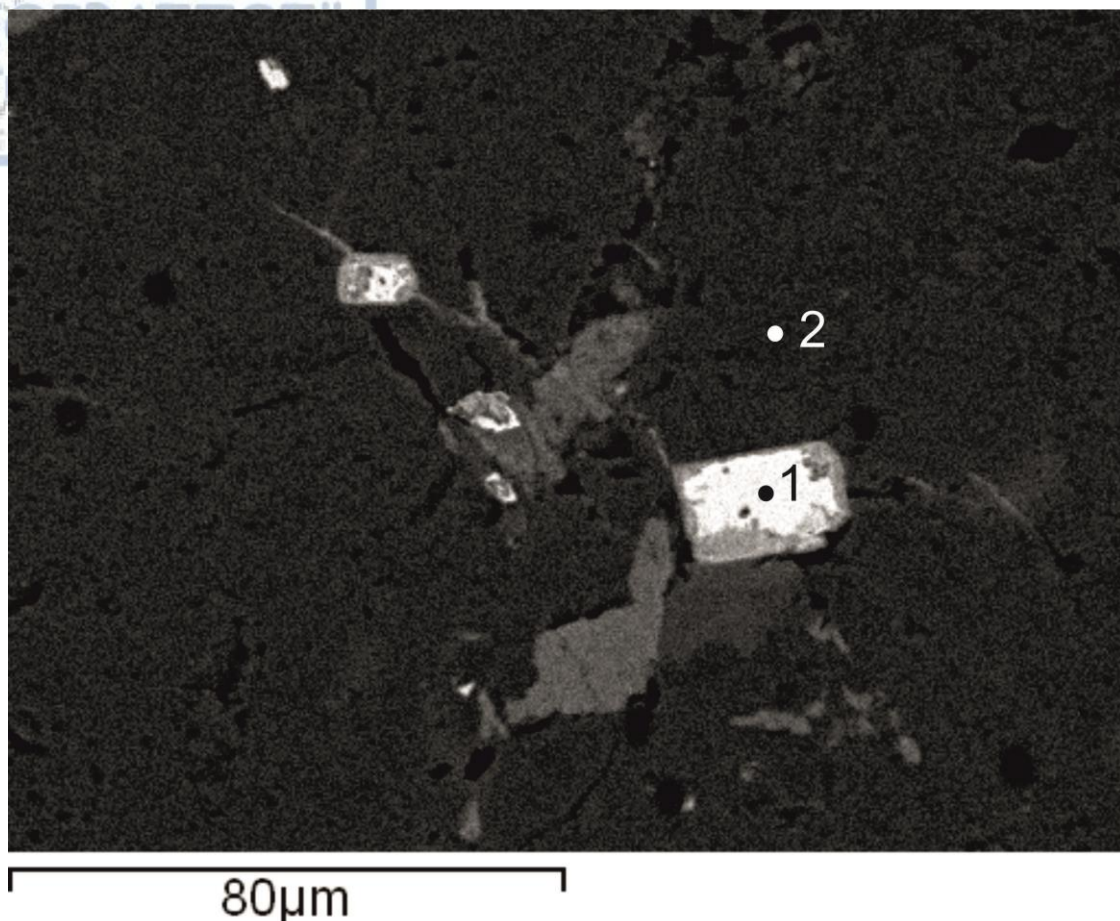
6.5.2 Αστριοί

Οι αστριοί, που προσδιορίστηκαν, είναι ο ανδρσίνης και το ορθόκλαστο (Εικ. 6.5.2.1-6.5.2.2.). Το σχήμα των αστρίων αυτών είναι ιδιόμορφο (Εικ. 6.5.2.1. β) μέχρι αλλοτριόμορφο (Εικ. 6.5.2.1. α, γ, δ, ε, στ). Εντοπίστηκαν ως ελεύθεροι κόκκοι μεγέθους μέχρι 900μm και ως εγκλείσματα σε χαλκοπυρίτη (Εικ. 6.1.2.1. γ) και σε μαγνητοπυρίτη (Εικ. 6.1.4.1. α, β). Δίνονται μικροφωτογραφίες κάτω από το στερεοσκόπιο για τα δείγματα SKM2 και 1 (Εικ. 6.5.2.1. α, β, γ), το μεταλλογραφικό μικροσκόπιο για το δείγμα 1 (Εικ. 6.5.2.1. ε) και το σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο για τα δείγματα 1 και BGPR 6B (Εικ. 6.5.2.1. δ, στ, και 6.5.2.2.).

Η περιεκτικότητα του πλαγιοκλάστου, όπως υπολογίστηκε από τον ημιποσοτικό προσδιορισμό των ακτινογραφικών αποτελεσμάτων είναι από 1 wt.% έως 29 wt.%, ενώ των καλιούχων αστρίων φτάνει μέχρι 13 wt.%. Ο καλιούχος άστριος εντοπίζεται ανάντη και των δύο κλάδων. Η παρουσία του συνεχίζεται στα κατάντη του ανατολικού κλάδου, αλλά και στα κατάντη του κύριου, όπου εκβάλλει το ρέμα στον κόλπο της Ιερισσού. Η αντιπροσωπευτική ανάλυση και ο δομικός τύπος παρουσιάζονται στον πίνακα II.1 του Παραρτήματος II.



Εικόνα 6.5.2.1. α-β) Ιδιόμορφος κρύσταλλος αστρίου, γ) Συσσωμάτωμα πλαγιόκλαστου και βιοτίτη, δ) Λεπτομέρεια της εικόνας 6.5.2.1.γ., πλαγιόκλαστο (4) και βιοτίτης (1-3), ε) Συσσωματώματα ορνυκτών, στ) Συσσωμάτωμα αμφίβολου (3), πλαγιόκλαστου (4) και λειμωνίτη (1 και 2).



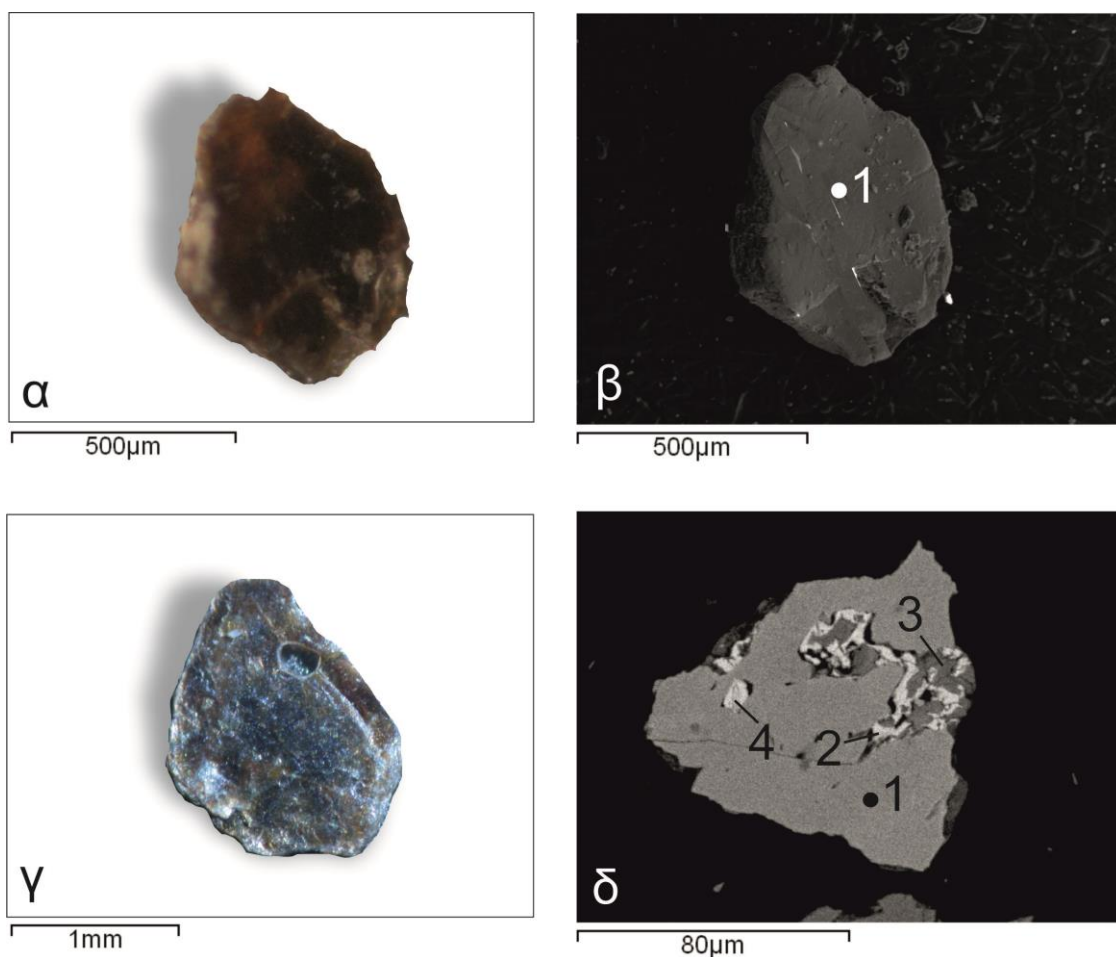
Εικόνα 6.5.2.2. Ιδιόμορφοι κρύσταλλοι οξειδωμένου σιδηροπυρίτη (1) μέσα σε πλαγιόκλαστο (2).

6.5.3 Μαρμαρυγίες

Ο μοσχοβίτης και ο βιοτίτης παρατηρήθηκαν σε ελάχιστα δείγματα (Εικόνα 6.5.3.1.). Το μέγεθος των ορυκτών αυτών φτάνει μέχρι 2mm (Εικ. 6.5.3.1. γ) και συναντήθηκαν ως ελεύθεροι κόκκοι και σε συσσωματώματα μαζί με άλλα ορυκτά. Στην εικόνα 6.5.3.1. δίνονται μικροφωτογραφίες για τα δείγματα 1 και SKE2 με το στερεοσκόπιο (α, γ) και για τα δείγματα 1 και SKE1 με το σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (β, δ).

Η περιεκτικότητα της ομάδας αυτής, όπως υπολογίστηκε από τον ημιποσοτικό προσδιορισμό των ακτινογραφικών αποτελεσμάτων είναι από 1 wt.% μέχρι 14% wt.. Η περιεκτικότητα των μαρμαρυγιών είναι αυξημένη στα πετρώματα ανάντη του ανατολικού κλάδου και μειώνεται σημαντικά στα κατάντη των δύο κλάδων και του κύριου κλάδου. Οι αναλύσεις με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM) έδειξαν πως ο βιοτίτης περιέχει SiO_2 από 35,00 wt.% έως 36,80 wt.%, με μέσο όρο 36,40 wt.%,

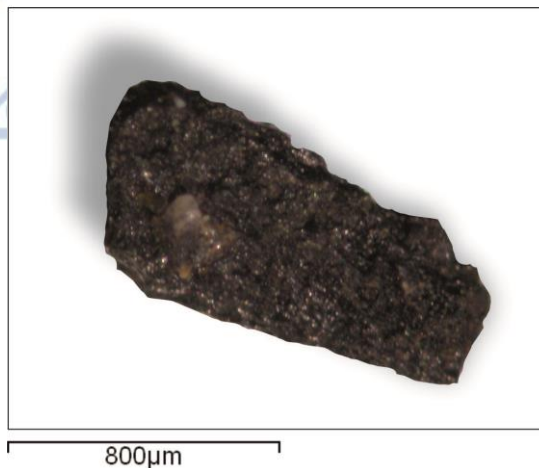
Al_2O_3 από 30,10 wt.% έως 32,00 wt.%, με μέσο όρο 31,30 wt.%, FeO από 16,90 wt.% έως 18,80 wt.%, με μέσο όρο 18,40 wt.%, MgO από 0,85 wt.% έως 1,30 wt.%, με μέσο όρο 0,90 wt.% και K_2O από 8,20 wt.% έως 9,70 wt.% με μέσο όρο 9,40 wt.%. Η αντιπροσωπευτική ανάλυση και ο δομικός τύπος παρουσιάζονται στον πίνακα Π.1 του Παραρτήματος Π.



Εικόνα 6.5.3.1. α) Φύλλα βιοτίτη, β) Λεπτομέρεια της εικόνας 6.5.3.1.α. Φύλλα βιοτίτη (1), γ) Φύλλα μοσχοβίτη, δ) Φύλλα βιοτίτη (3) και οξείδια Fe (2 και 4) μαζί με επίδοτο (1).

6.5.4 Χλωρίτης

Ο χλωρίτης παρατηρήθηκε μόνο σε ένα δείγμα, στα ανάντη του ανατολικού κλάδου με μέγεθος περίπου 1mm (Εικόνα 6.5.4.1.). Στην εικόνα 6.5.4.1. δίνεται μικροφωτογραφία για το δείγμα SKE1 κάτω από το στερεοσκόπιο.



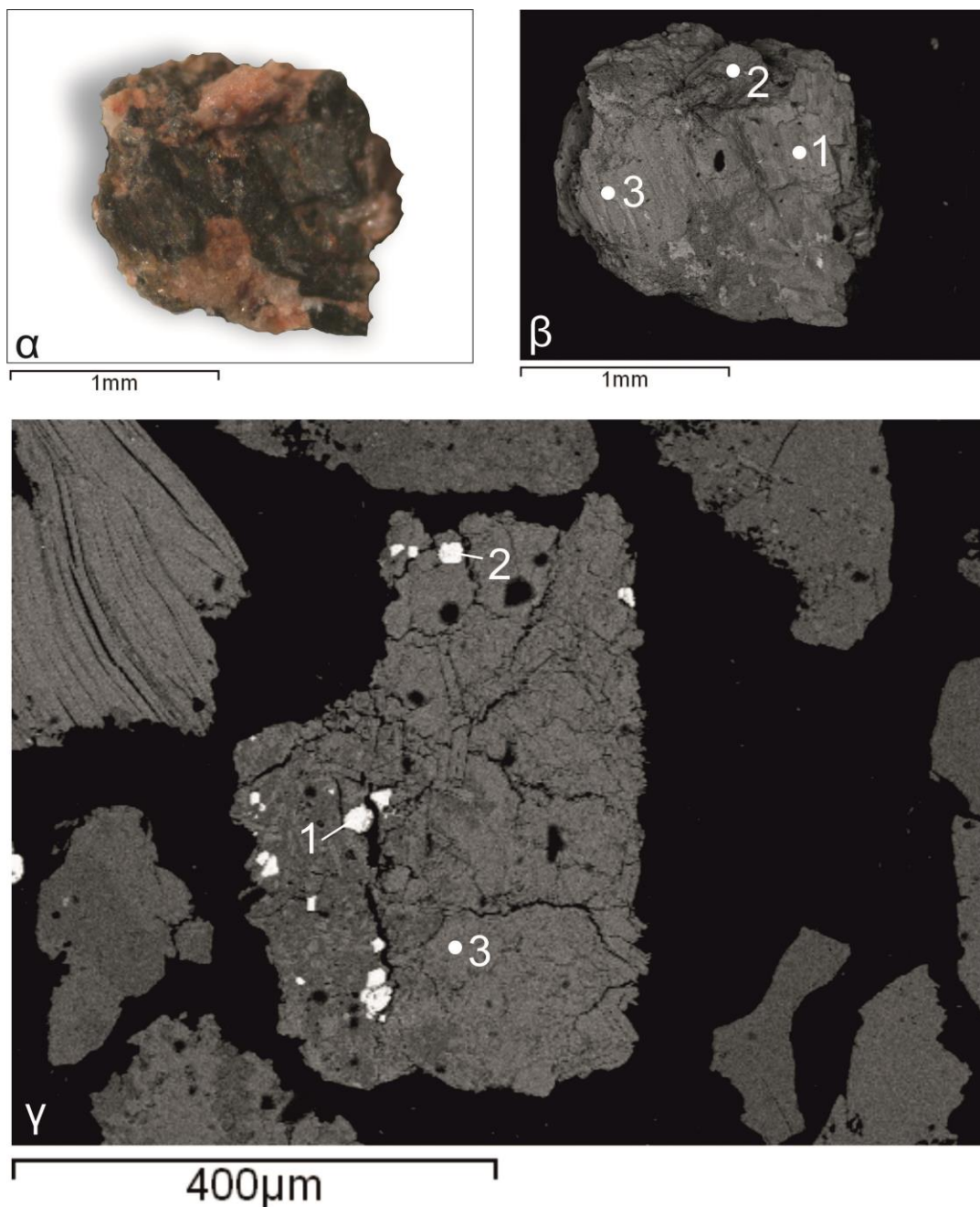
Εικόνα 6.5.4.1. α) Φύλλα χλωρίτη.

6.3.5 Αμφίβολοι

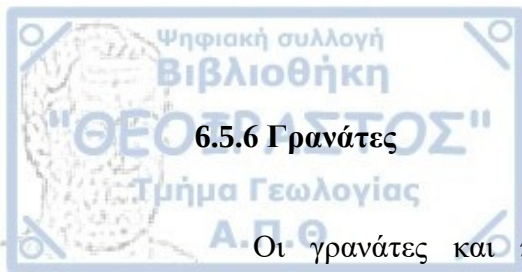
Οι αμφίβολοι, που προσδιορίστηκαν, είναι ο ακτινόλιθος, η σιδηρο-ακτινολιθική κεροστίλβη και η σιδηρο-τσερμακίτική κεροστίλβη, ανήκουν στους ασβεστούχους αμφίβολουσ. Εντοπίστηκαν σε συσσωματώματα μαζί με άλλα ορυκτά, όπως πυριτικά (πλαγιόκλαστο, γρανάτες) και οξείδια Fe (μαγνητίτης, λειμωνίτης-γκαιτίτης) (Εικ. 6.5.5.1. α, β, γ). Στην εικόνα 6.5.3.1. δίνονται μικροφωτογραφίες για το δείγμα 1. Πιο συγκεκριμένα, ο ακτινόλιθος εντοπίστηκε μόνο με τη χημική ταξινόμηση με βάση την αναλογία των κατιόντων, ενώ δεν εντοπίστηκε κατά τη μελέτη των δειγμάτων με περιθλασιμετρία ακτίνων X (XRD) ($< 3\%$), οπότε είναι σε μικρή ποσότητα και σε μικρά μεγέθη. Συναντήθηκε μόνο ως σύμφυση με χαλαζία και ως αλλοίωση της κεροστίλβης. Επίσης, η μορφή του δεν ήταν ινώδης.

Η περιεκτικότητα των αμφιβόλων, όπως μετρήθηκε από τον ημιποσοτικό προσδιορισμό των ακτινογραφικών αποτελεσμάτων είναι από 1% έως 6% wt.. Στα πετρώματα του δυτικού κλάδου (2, 5, 6) είναι χαμηλή η περιεκτικότητα σε σύγκριση με τα πετρώματα του ανατολικού (BGPR 6A, BGPR 6B). Όμως, στα κατάντη του δυτικού παρατηρούμε πως διατηρείται η περιεκτικότητα στα ίδια επίπεδα, ενώ η περιεκτικότητα στα κατάντη του ανατολικού σχεδόν μηδενίζεται. Γενικότερα, η περιεκτικότητα του ορυκτού στα κατάντη του κύριου κλάδου οφείλεται κυρίως στα πετρώματα ανάντη του δυτικού κλάδου. Στις αναλύσεις με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM) οι αμφίβολοι περιέχουν SiO_2 από 44,40 wt.% έως 56,55 wt.%, με μέσο όρο 52,80 wt.%, Al_2O_3 από 2,75 wt.% έως 12,48 wt.%, με μέσο όρο 4,85

wt.%, FeO από 6,10 wt.% έως 21,40 wt.%, με μέσο όρο 13,45 wt.%, MnO από 0,20 wt.% έως 0,75 wt.%, με μέσο όρο 0,60 wt.%, MgO από 8,50 wt.% έως 18,85 wt.%, με μέσο όρο 12,80 wt.%, CaO από 10,30 wt.% έως 12,70 wt.%, με μέσο όρο 10,90 wt.%, Na₂O από 0,35 wt.% έως 0,90 wt.%, με μέσο όρο 0,60 wt.% και K₂O από 0,25 wt.% έως 0,70 wt.% με μέσο όρο 0,40 wt.%. Η αντιπροσωπευτική ανάλυση και ο δομικός τύπος παρουσιάζονται στον πίνακα Π.1 του Παραρτήματος Π.

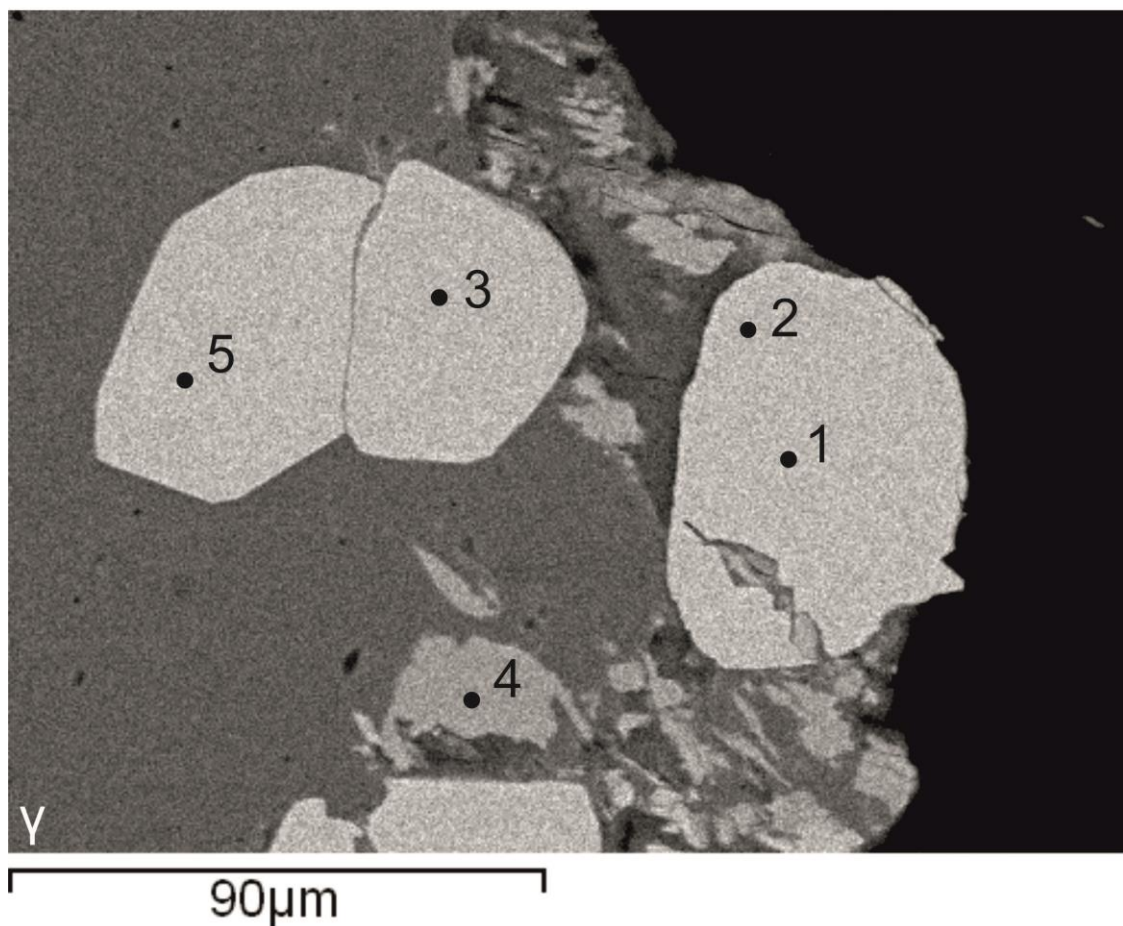
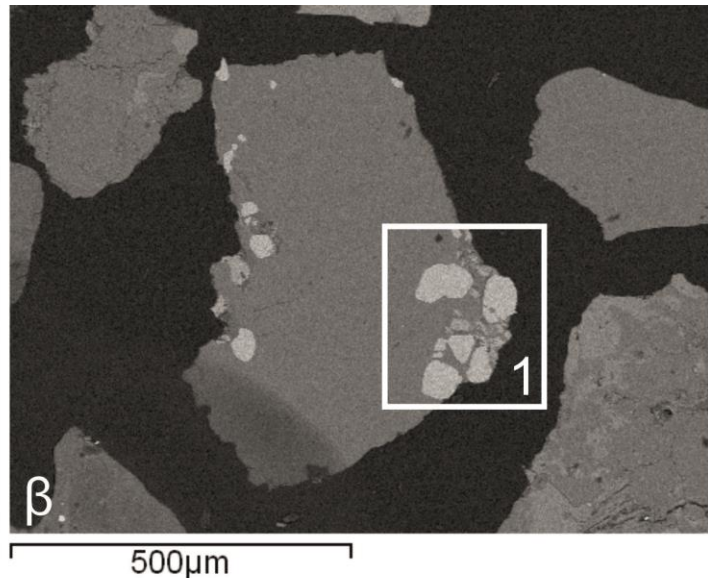
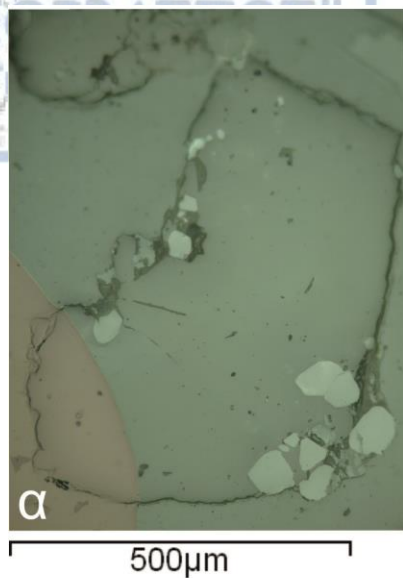


Εικόνα 6.5.5.1. α) Συσσωμάτωμα αμφιβόλου και πλαγιόκλαστου, β) Λεπτομέρεια της εικόνας 6.5.5.1.α. Αμφιβόλος (1 και 3) και πλαγιόκλαστο (2), γ) Συσσωμάτωμα αμφιβόλου (3) με κρυστάλλους μαγνητίτη (1 και 2).



Οι γρανάτες και πιο συγκεκριμένα ο αλμανδίνης – σπessαρτίνης - γροσσουλάριος εντοπίστηκαν μόνο σε ένα δείγμα ανάντη του δυτικού κλάδου, ως αποστρογγυλεμένοι κόκκοι μαζί με αμφίβολο. Το μέγεθός τους φτάνει περίπου 70μm (Εικ. 6.5.6.1.). Στην εικόνα 6.5.6.1. δίνονται μικροφωτογραφίες για το δείγμα 1 με το μεταλλογραφικό μικροσκόπιο (α) και το σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (β, γ).

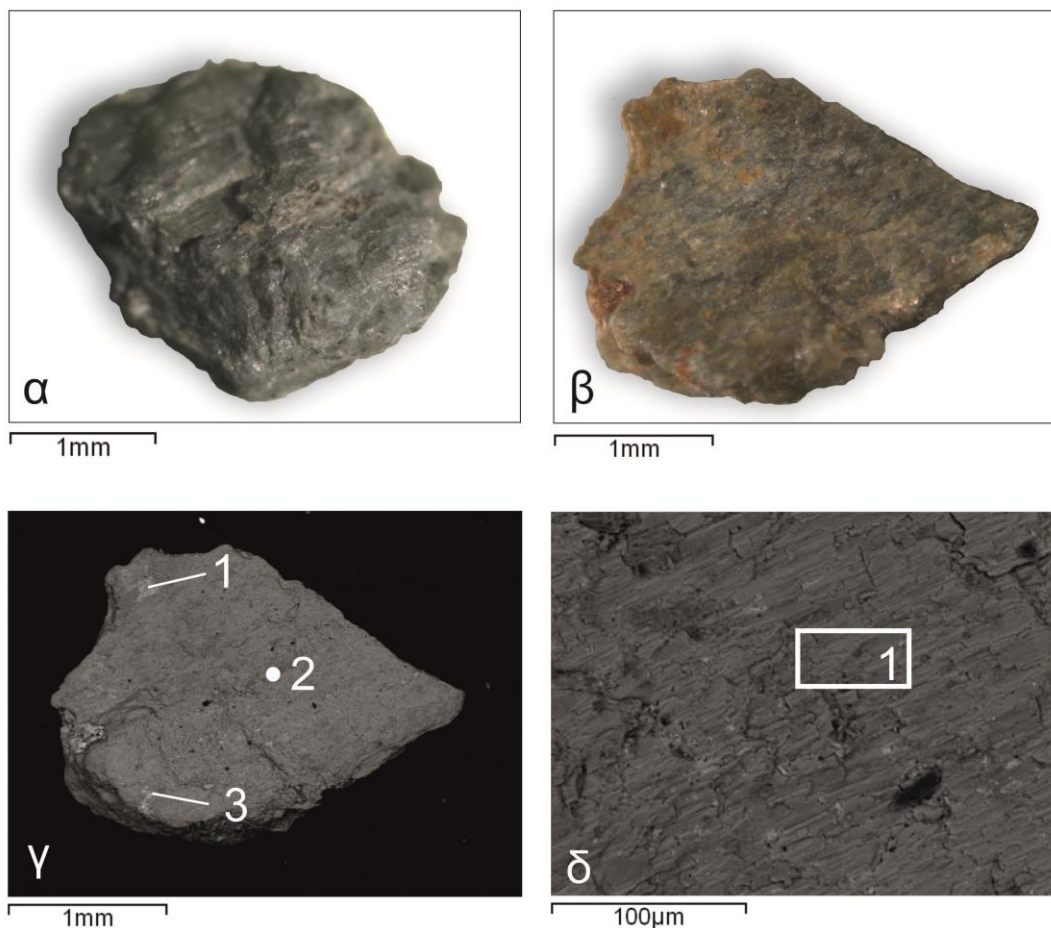
Από τις αναλύσεις με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM) φαίνεται ότι οι γρανάτες περιέχουν SiO₂ από 37,30 wt.% έως 38,20 wt.%, με μέσο όρο 37,65 wt.%, Al₂O₃ από 19,65 wt.% έως 21,25 wt.%, με μέσο όρο 20,85 wt.%, FeO από 17,85 wt.% έως 24,15 wt.%, με μέσο όρο 22,90 wt.%, MnO από 9,80 wt.% έως 13,00 wt.%, με μέσο όρο 10,75 wt.%, MgO από 1,15 wt.% έως 2,20 wt.%, με μέσο όρο 1,80 wt.%, CaO από 6,15 wt.% έως 8,40 wt.%, με μέσο όρο 7,10 wt.%, Na₂O έως 0,15 wt.%. Η αντιπροσωπευτική ανάλυση και ο δομικός τύπος παρουσιάζονται στον πίνακα Π.1 του Παραρτήματος Π.



Εικόνα 6.5.6.1. α) Συσσωμάτωμα με αμφιβόλους και αποστρογγυλεμένους γρανάτες, β) Λεπτομέρεια της εικόνας 6.3.6.1.α., γ) Λεπτομέρεια της εικόνας 6.5.6.1.β., Περιοχή μελέτης 1, αποστρογγυλεμένοι γρανάτες (1, 2, 3 και 5) και αμφίβολος (4).

Ο πυρόξενος, και πιο συγκεκριμένα ο αυγίτης, εντοπίστηκε σε ορισμένα δείγματα με μέγεθος μέχρι 3mm και με σχήμα αλλοτριόμορφο με γωνιώδεις μέχρι υπογωνιώδεις απολήξεις (Εικ. 6.5.7.1. α, β, γ). Μαζί με τον πυρόξενο παρατηρήθηκαν και αργιλικά ορυκτά. Στην εικόνα 6.5.7.1. δίνονται μικροφωτογραφίες για τα δείγματα 1 και SKM2 κάτω από το στερεοσκόπιο (α, β) και για το δείγμα 1 κάτω από το σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (γ, δ).

Η αντιπροσωπευτική ανάλυση και ο δομικός τύπος παρουσιάζονται στον πίνακα Π.1 του Παραρτήματος Π.



Εικόνα 6.5.7.1. α) Πυρόξενος με ακανόνιστο σχήμα, β) Γωνιώδης πυρόξενος, γ) Συσσωμάτωμα πυρόξενου με αργιλικά ορυκτά (1 έως 3), δ) Λεπτομέρεια της εικόνας 6.5.7.1.γ., πυρόξενος με αργιλικά ορυκτά (1).

6.5.8 Επίδοτο - Αλλανίτης

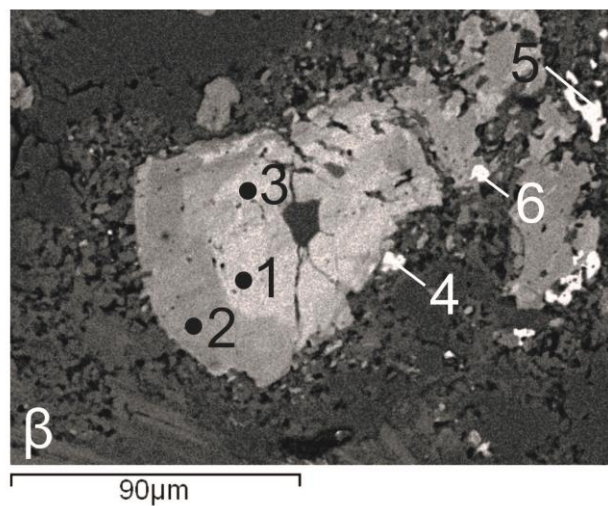
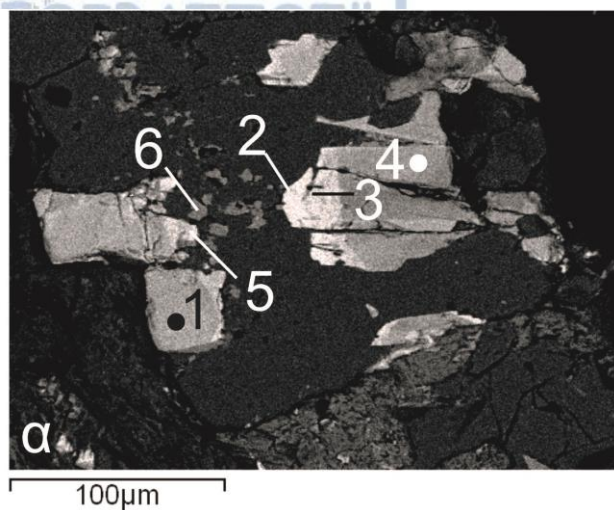
Το επίδοτο εντοπίστηκε σε ορισμένα δείγματα με μέγεθος που φτάνει μέχρι 100μm και έχει σχήμα αλλοτριόμορφο (Εικ. 6.5.8.1. α, β). Επίσης, εντοπίστηκε ως έγκλεισμα μέσα σε μαγνητοπυρίτη (Εικ. 6.1.4.1. α, β). Στην εικόνα 6.5.8.1. δίνονται μικροφωτογραφίες για τα δείγματα 8A και SKE1 κάτω από το σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (α, β).

Οι αναλύσεις του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου (SEM) έδειξαν πως το επίδοτο περιέχει SiO₂ από 32,20 wt.% έως 37,70 wt.%, με μέσο όρο 34,10 wt.%, Al₂O₃ από 17,40 wt.% έως 27,20 wt.%, με μέσο όρο 23,20 wt.%, FeO από 2,10 wt.% έως 17,25 wt.%, με μέσο όρο 11,60 wt.%, MnO έως 1,80 wt.%, με μέσο όρο 0,60 wt.%, CaO από 12,60 wt.% έως 24,00 wt.%, με μέσο όρο 16,50 wt.%, Na₂O έως 2,20 wt.%. με μέσο όρο 0,00 wt.% και K₂O έως 0,80 wt.%. με μέσο όρο 0,10 wt.%.

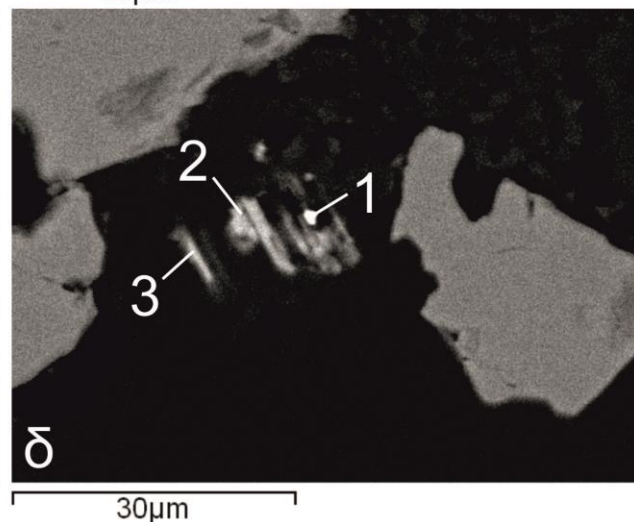
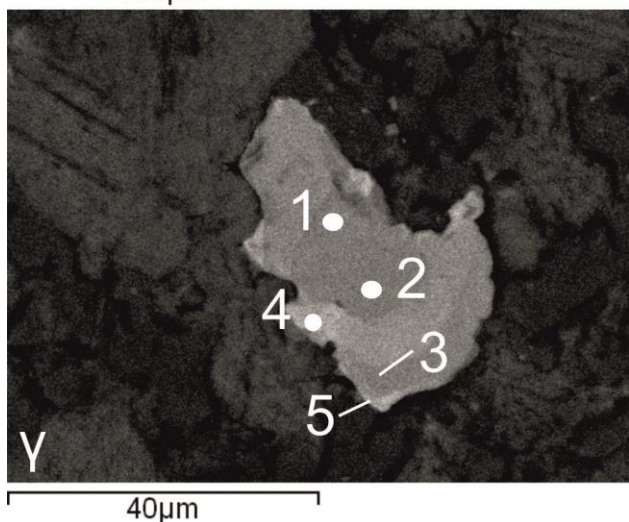
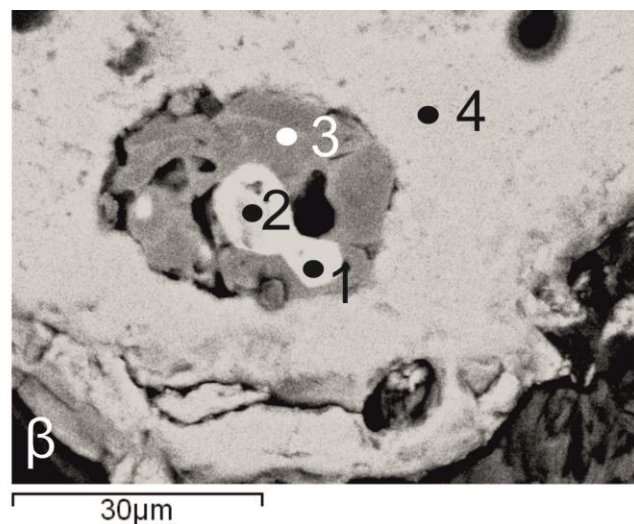
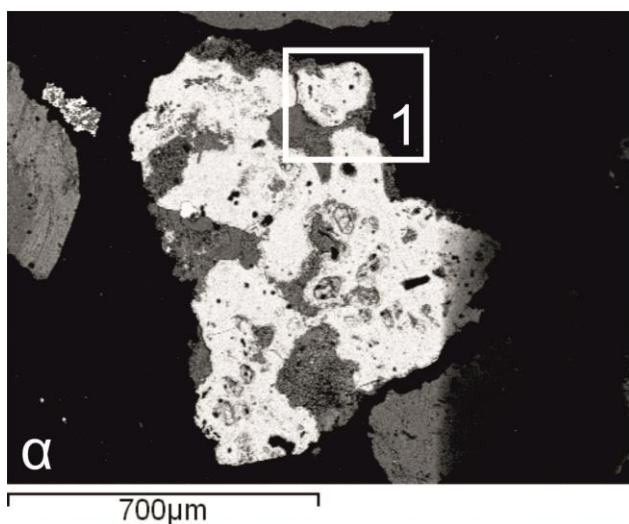
Ο αλλανίτης αναγνωρίστηκε σε ορισμένα δείγματα με μέγεθος που φτάνει μέχρι 40μm (Εικ. 6.5.8.2. γ) και βρίσκεται με τη μορφή αλλοτριόμορφων κρυστάλλων (Εικόνα 6.5.8.2. α, β, γ, δ). Στην εικόνα 6.5.8.2. δίνονται μικροφωτογραφίες για τα δείγματα 10, 8A και SKM2 από το σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (α, β, γ, δ).

Οι αναλύσεις με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM) έδειξαν πως ο αλλανίτης περιέχει SiO₂ από 31,30 wt.% έως 31,40 wt.%, με μέσο όρο 31,40 wt.%, TiO₂ από 0,55 wt.% έως 2,10 wt.%, με μέσο όρο 1,30 wt.%, Al₂O₃ από 16,90 wt.% έως 20,10 wt.%, με μέσο όρο 18,50 wt.%, FeO από 10,85 wt.% έως 11,90 wt.%, με μέσο όρο 11,40 wt.%, MgO από 0,90 wt.% έως 1,30 wt.%, με μέσο όρο 1,10 wt.%, MnO από 0,70 wt.% έως 0,80 wt.%, με μέσο όρο 0,75 wt.%, CaO από 13,00 wt.% έως 13,30 wt.%, με μέσο όρο 13,20 wt.%, La₂O₃ από 3,80 wt.% έως 4,40 wt.% με μέσο όρο 4,10 wt.%, Ce₂O₃ από 11,00 wt.% έως 12,40 wt.% με μέσο όρο 11,70 wt.%, Nd₂O₃ από 4,10 wt.% έως 5,60 wt.%. με μέσο όρο 4,90 wt.% και ThO₂ έως 0,80 wt.%. με μέσο όρο 0,40 wt.%.

Η αντιπροσωπευτική ανάλυση και ο δομικός τύπος παρουσιάζονται στον πίνακα Π.2 του Παραρτήματος Π.



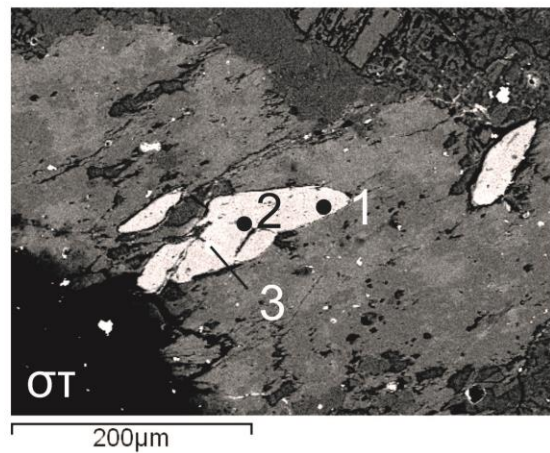
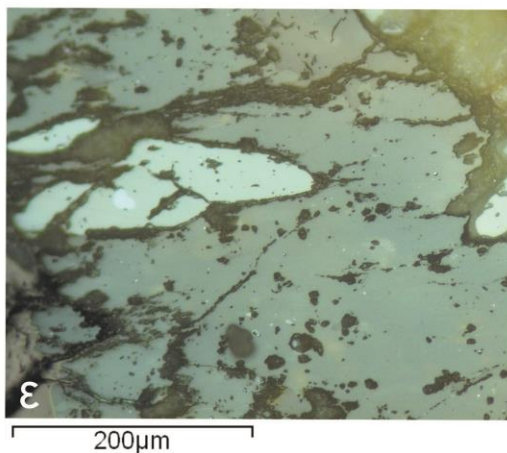
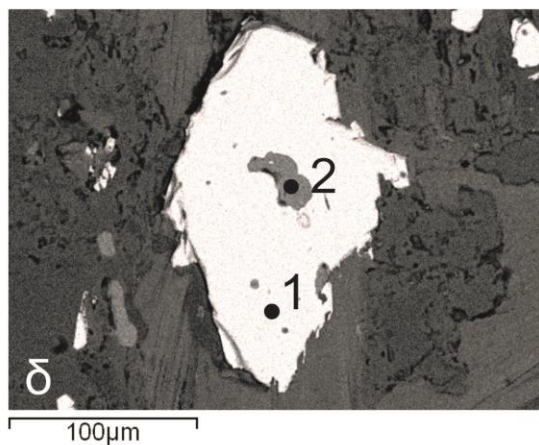
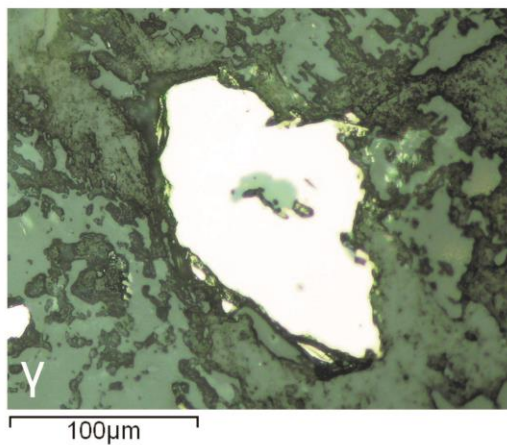
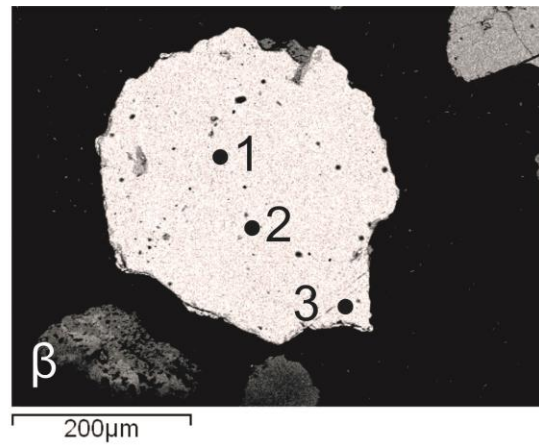
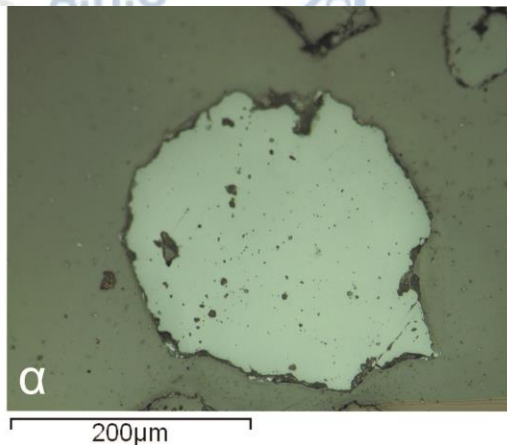
Εικόνα 6.5.8.1. α) Υπιδιόμορφοι κρύσταλλοι αλλανίτη (1 έως 3) μαζί με επίδοτο (4 έως 6), β)
Αλλοτριόμορφος κρύσταλλος επιδότου (1 έως 3) μαζί με μαγνητίτη (4 έως 6).



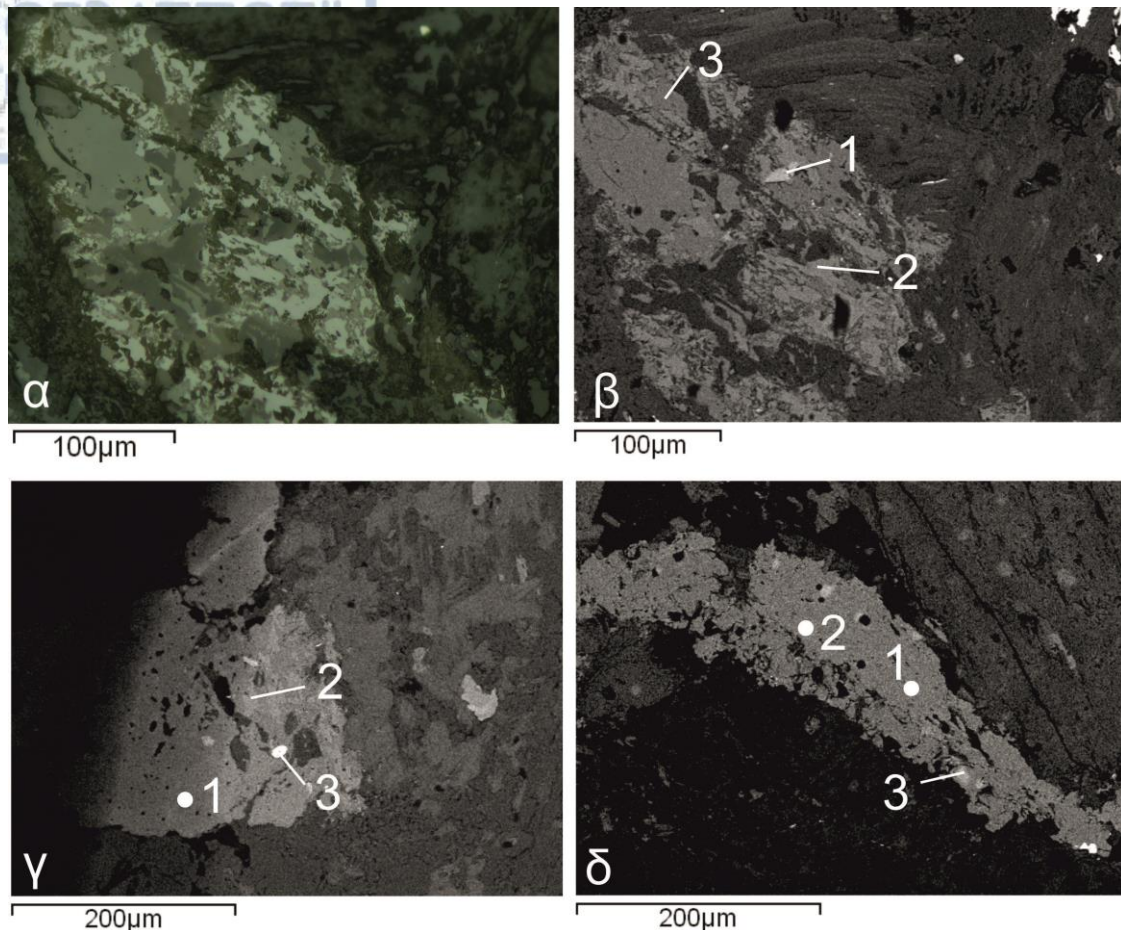
Εικόνα 6.5.8.2. α) Συσσωμάτωμα ορυκτών, β) Λεπτομέρεια της εικόνας 6.5.8.2.α, Κρύσταλλοι
αλλανίτη (1 και 2) και επιδότου (3) μέσα σε λειμωνίτη - γκαιτίτη (4), γ) Αλλοτριόμορφος αλλανίτης (1
έως 5), δ) Κρύσταλλοι αλλανίτη (2 και 3) μαζί με ορυκτό του U και Th (1).

Ο τιτανίτης προσδιορίστηκε στα περισσότερα δείγματα κατά μήκος του ρέματος με μέγεθος μέχρι 400μm (Εικ. 6.5.9.1. α, β και Εικ. 6.5.9.2. δ) και σχήμα αλλοτριόμορφο (Εικ. 6.5.9.2. α, β, γ, δ) μέχρι υπιδιόμορφο (Εικ. 6.5.9.1. α, β, γ, δ). Επίσης, εντοπίστηκε ως έγκλεισμα σε μαγνητοπυρίτη (Εικ. 6.1.4.1. α, β) και σιδηροπυρίτη (Εικ. 6.5.9.1. γ), αλλά και ως ελεύθερος κόκκος. Στην εικόνα 6.5.9.1. δίνονται μικροφωτογραφίες για τα δείγματα 1A, 8A και SKE2 από το μεταλλογραφικό μικροσκόπιο (α, γ, ε) και από το σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (β, δ, στ). Στην εικόνα 6.5.9.2. δίνονται μικροφωτογραφίες για το δείγμα 8A από το μεταλλογραφικό μικροσκόπιο (α) και για τα δείγματα 8A και BGPR 6B από το σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (β, γ, δ).

Οι αναλύσεις με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM) έδειξαν πως ο τιτανίτης περιέχει SiO₂ από 30,80 wt.% έως 32,10 wt.%, με μέσο όρο 31,10 wt.%, TiO₂ από 30,40 wt.% έως 39,95 wt.%, με μέσο όρο 38,60 wt.%, Al₂O₃ από 0,55 wt.% έως 7,60 wt.%, με μέσο όρο 1,45 wt.%, FeO έως 2,05 wt.%, με μέσο όρο 0,60 wt.%, MnO έως 0,60 wt.%, με μέσο όρο 0,25 wt.%, MgO έως 0,60 wt.%, με μέσο όρο 0,20 wt.%, CaO από 25,80 wt.% έως 29,25 wt.%, με μέσο όρο 27,50 wt.%, Na₂O έως 0,40 wt.% με μέσο όρο 0,20 wt.%, V₂O₅ έως 1,10 wt.%, με μέσο όρο 0,30 wt.% και K₂O έως 0,50 wt.% με μέσο όρο 0,15 wt.%. Η αντιπροσωπευτική ανάλυση και ο δομικός τύπος παρουσιάζονται στον πίνακα Π.2 του Παραρτήματος Π.



Εικόνα 6.5.9.1. α) Αποστρωγγυλεμένος κρύσταλλος τιτανίτη, β) Λεπτομέρεια της εικόνας 6.5.9.1.α., τιτανίτης (1 έως 3), γ) Υπιδιόμορφος σιδηροπυρίτης με έγκλεισμα τιτανίτη, δ) Λεπτομέρεια της εικόνας 6.3.9.1.γ., σιδηροπυρίτης (1) με έγκλεισμα τιτανίτη (2), ε) Κρύσταλλος τιτανίτη με έγκλεισμα οξειδίου Ti, στ) Οξείδιο Ti (3) μέσα σε τιτανίτη (1 και 2).



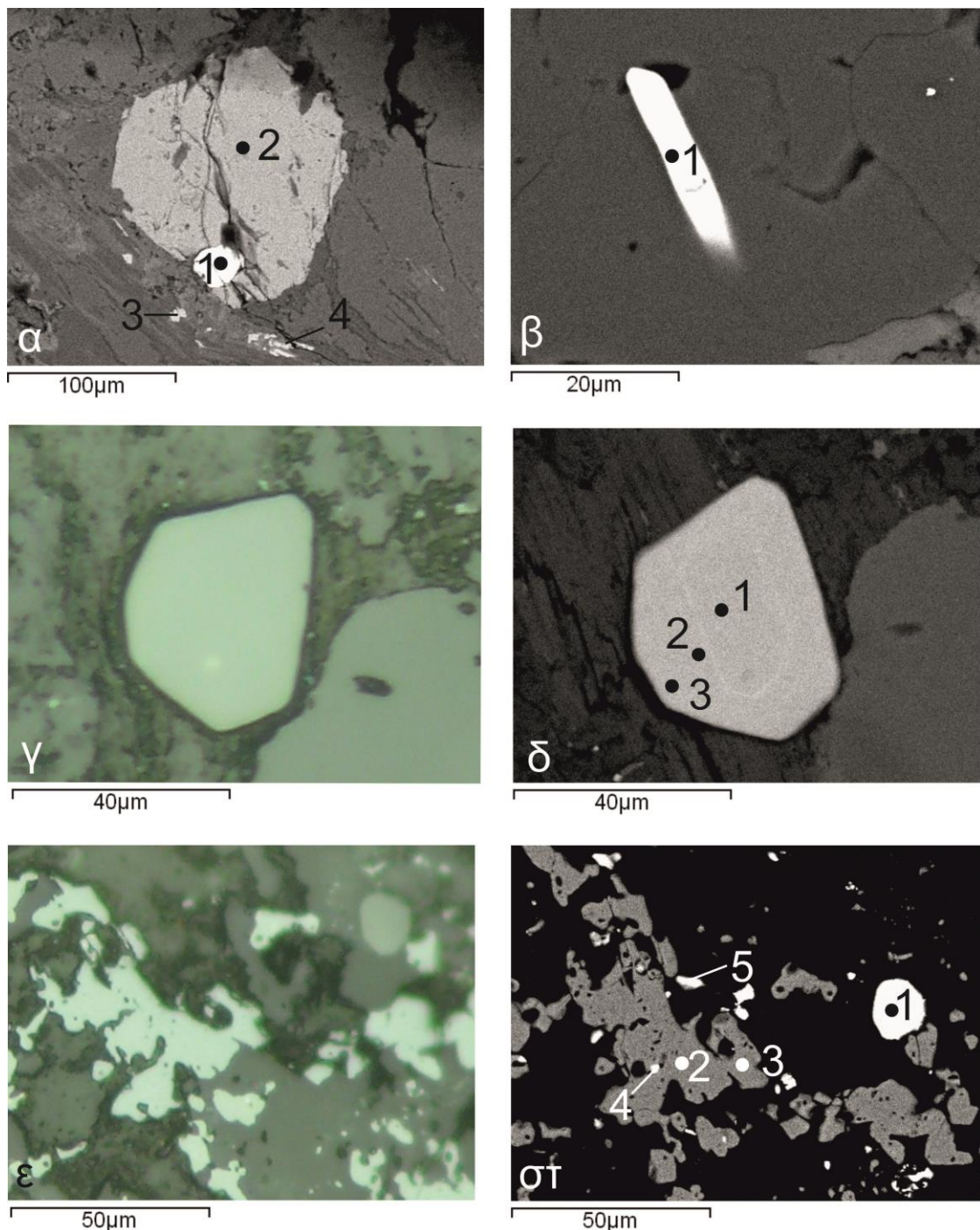
Εικόνα 6.5.9.2. α) Συσσωμάτωμα οξειδίου Ti , αλλανίτη και τιτανίτη, β) Λεπτομέρεια της εικόνας 6.5.9.2.α., Συσσωμάτωμα οξειδίου Ti (2), αλλανίτη (1) και τιτανίτη (3), γ) Αλλοτριόμορφος τιτανίτης (1) με οξείδιο Ti (2) και ζirkόνιο (3), δ) Τιτανίτης με ακανόνιστο σχήμα (1 και 2) και απατίτης (3).

6.5.10 Ζirkόνιο

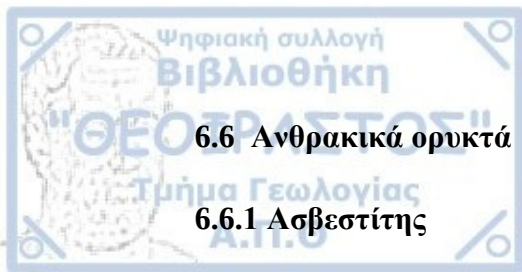
Το ζirkόνιο εντοπίστηκε υπιδιόμορφο και ιδιόμορφο (Εικ. 6.5.10.1. α, β, γ, δ) στα περισσότερα δείγματα κατά μήκος του ρέματος. Επίσης, συναντήθηκε ως ελεύθερος κόκκος και έγκλεισμα σε σιδηροπυρίτη (Εικ. 6.1.1.1. β) με μέγεθος μέχρι $50\mu m$ (Εικ. 6.5.10.1 γ, δ). Στην εικόνα 6.5.10.1. δίνονται μικροφωτογραφίες για τα δείγματα 8A, 10, SKM2 και 7 από το μεταλλογραφικό μικροσκόπιο (γ, ε) και από το σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (α, β, δ, στ).

Οι αναλύσεις με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM) έδειξαν πως το ζirkόνιο περιέχει SiO_2 από 32,30 wt.% έως 32,70 wt.%, με μέσο όρο 32,50 wt.%, ZrO_2 από 65,05 wt.% έως 67,20 wt.%, με μέσο όρο 66,30 wt.% και HfO_2 από 0,10 wt.% έως

2,55 wt.%, με μέσο όρο 1,30 wt.%. Η αντιπροσωπευτική ανάλυση και ο δομικός τύπος παρουσιάζονται στον πίνακα Π.2 του Παραρτήματος Π.



Εικόνα 6.5.10.1. α) Αλλοτριόμορφος κρύσταλλος απατίτη (2) μαζί με κρύσταλλο ζirkονίου (1) και κρυστάλλους οξειδίου Ti (2 και 3), β) Ιδιόμορφο ζirkόνιο (1), γ) Ιδιόμορφο ζirkόνιο, δ) Λεπτομέρεια της εικόνας 6.3.10.1.γ., ζirkόνιο (1 έως 3), ε) Υπιδιόμορφο ζirkόνιο μαζί με οξείδιο Ti και μοναζίτη, στ) Λεπτομέρεια της εικόνας 6.5.10.1.ε., ζirkόνιο (1), οξείδιο Ti (2 και 3) και μοναζίτης (4 και 5).



Ο ασβεστίτης εντοπίστηκε σε δείγματα ανάντη του δυτικού κλάδου με περιεκτικότητες από 2 έως 7 wt.%.

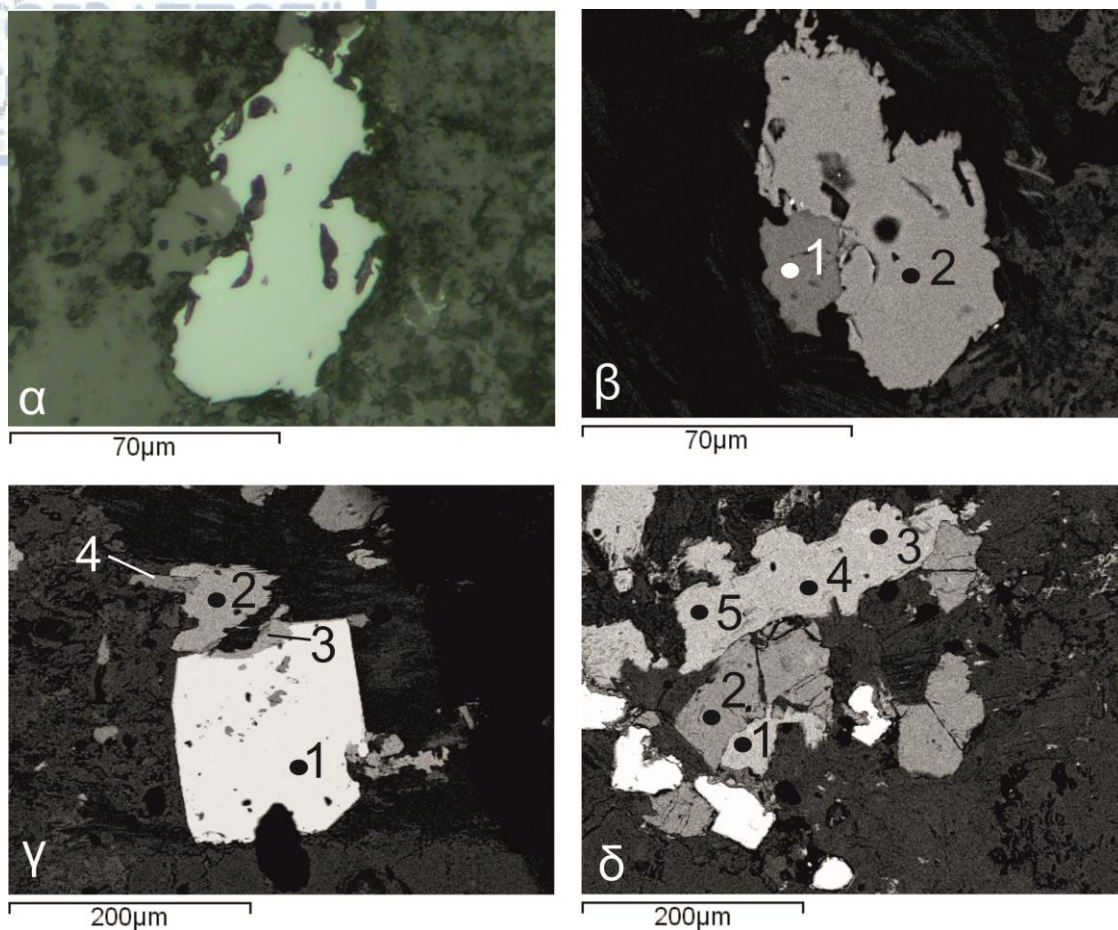
6.6.2 Δολομίτης

Ο δολομίτης εντοπίστηκε σε δείγματα κατάντη του ανατολικού κλάδου και του κύριου κλάδου με περιεκτικότητα 2 wt.%.

6.6.3 Απατίτης

Ο απατίτης και πιο συγκεκριμένα ο χλωρο-απατίτης βρέθηκε σε δείγματα ανάντη του ρέματος με μέγεθος μέχρι 100μm (Εικ. 6.6.3.1. δ) και με σχήμα υπιδιόμορφο (Εικ. 6.6.3.1. γ, δ) έως αλλοτριόμορφο (Εικ. 6.6.3.1. α, β). Το ορυκτό αυτό βρίσκεται ως ελεύθερος κόκκος και ως έγκλεισμα σε σιδηροπυρίτη (Εικ. 6.1.1.1. β) και σε χαλκοπυρίτη (Εικ. 6.1.2.1. γ). Στην εικόνα 6.4.3.1. δίνονται μικροφωτογραφίες για τα δείγματα 10 και BGPR 6A κάτω από το μεταλλογραφικό μικροσκόπιο (α) και κάτω από το σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (β, γ, δ).

Οι αναλύσεις με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM) έδειξαν πως ο απατίτης περιέχει CaO από 57,50 wt.% έως 58,70 wt.%, με μέσο όρο 58,20 wt.%, P₂O₅ από 40,50 wt.% έως 40,90 wt.%, με μέσο όρο 40,70 wt.%, και Cl από 0,25 wt.% έως 1,40 wt.%, με μέσο όρο 0,80 wt.%. Η αντιπροσωπευτική ανάλυση και ο δομικός τύπος παρουσιάζονται στον πίνακα Π.2 του Παραρτήματος Π.

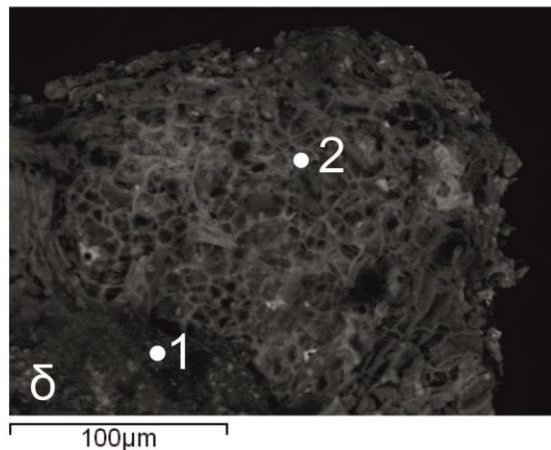
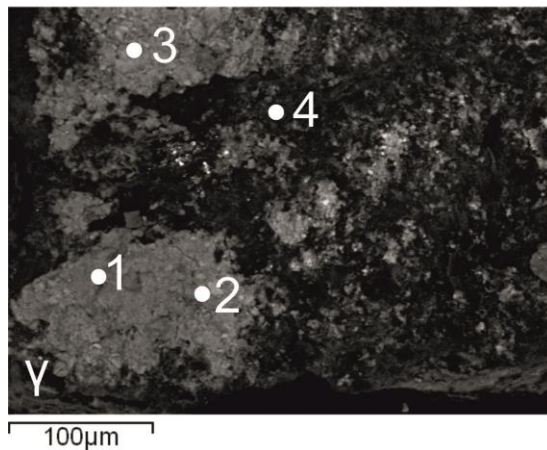
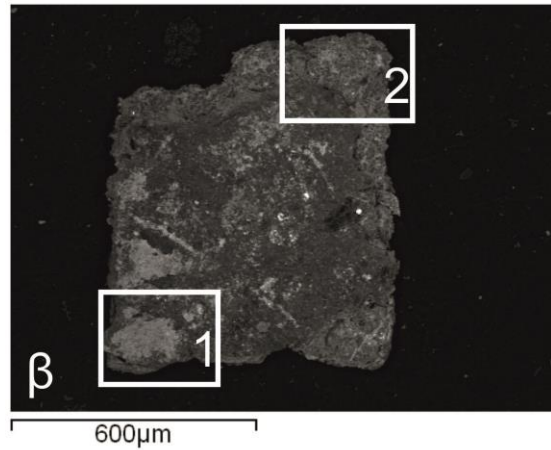
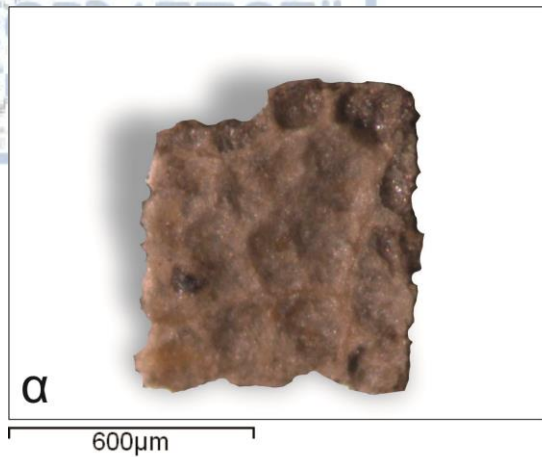


Εικόνα 6.6.3.1. α) Κρύσταλλος οξειδίου Ti και απατίτη, β) Λεπτομέρεια της εικόνας 6.6.3.1.α., Οξείδιο Ti με ακανόνιστο σχήμα (2) και απατίτης (1), γ) Υπιδιόμορφος σιδηροπυρίτης (1) μαζί με οξείδιο Ti (2 και 3) και απατίτη (4), δ) Κρύσταλλος απατίτη (2) και οξειδίου Ti (1, 3, 4 και 5).

6.6.4 Κερουσίτης

Ο κερουσίτης αναγνωρίστηκε ως μεμονωμένος κόκκος στερεοσκοπικά σε ένα δείγμα. Το μέγεθός του είναι περίπου 600μm, ενώ το σχήμα του είναι υπιδιόμορφο (Εικ. 6.6.4.1. α, β, γ, δ). Στην εικόνα 6.6.4.1. δίνονται μικροφωτογραφίες για το δείγμα 1 από το στερεοσκόπιο (α) και από το σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (β, γ, δ).

Οι αναλύσεις του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου (SEM) έδειξαν πως ο κερουσίτης περιέχει PbO από 12,8 wt.% έως 75,29 wt.%, με μέσο όρο 17,32 wt.%.



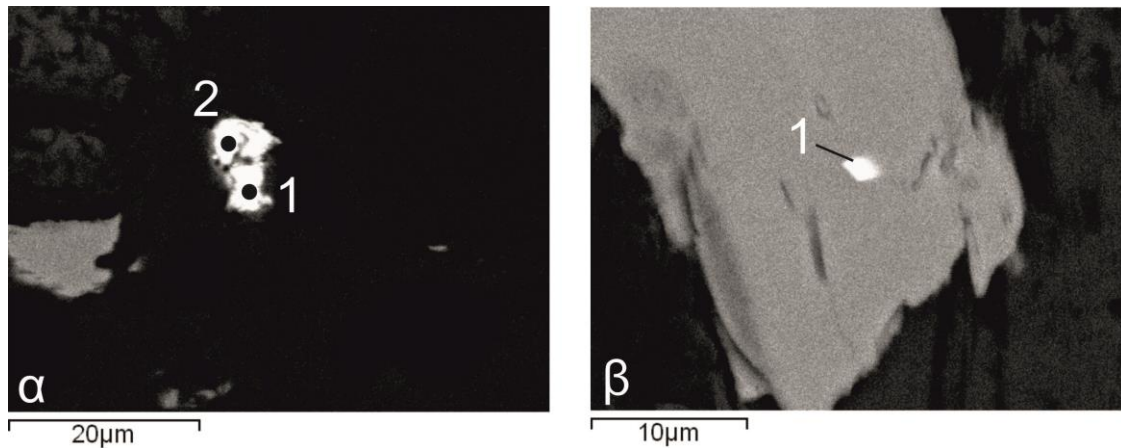
Εικόνα 6.6.4.1. α) Κερουσίτης, δείγμα 1, στερεοσκόπιο, β) Λεπτομέρεια της εικόνας 6.6.4.1.α., Υπιδιόμορφος κερουσίτης (περιοχές ανάλυσης 1 και 2), δείγμα 1, ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM), γ) Λεπτομέρεια εικόνας 6.6.4.1.β., Περιοχή ανάλυσης 1, κερουσίτης με οργανικά στοιχεία (1 έως 4), δείγμα 1, ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM), δ) Λεπτομέρεια εικόνας 6.6.4.1.β., Περιοχή ανάλυσης 2, κερουσίτης με οργανικά στοιχεία (1 και 2), δείγμα 1, ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM).

6.7 Ορυκτά U και Th

Τα ορυκτά U και Th αναγνωρίστηκαν με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM) σε πετρώματα μετώπων στα ανάντη του δυτικού κλάδου του ρέματος. Το μέγεθος τους φτάνει μέχρι 10μm (Εικ. 6.7.1.1. α) και έχουν σχήμα αλλοτριόμορφο (Εικ. 6.7.1.1. α, β). Στην εικόνα 6.7.1.1. δίνονται μικροφωτογραφίες για το δείγμα 10 από το σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (α, β).

Οι αναλύσεις στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM) έδειξαν πως πρόκειται για ορυκτά του U και Th, που αποτελούνται από Y_2O_3 έως 4,80 wt.%, με μέσο όρο

4,15 wt.%, ThO_2 από 5,20 wt.% έως 59,60 wt.%, με μέσο όρο 19,00 wt.% και UO_3 έως 39,00 wt με μέσο όρο 7,40 wt.%



Εικόνα 6.7.1.1. α) Ορυκτό Th, β) Ορυκτό U.

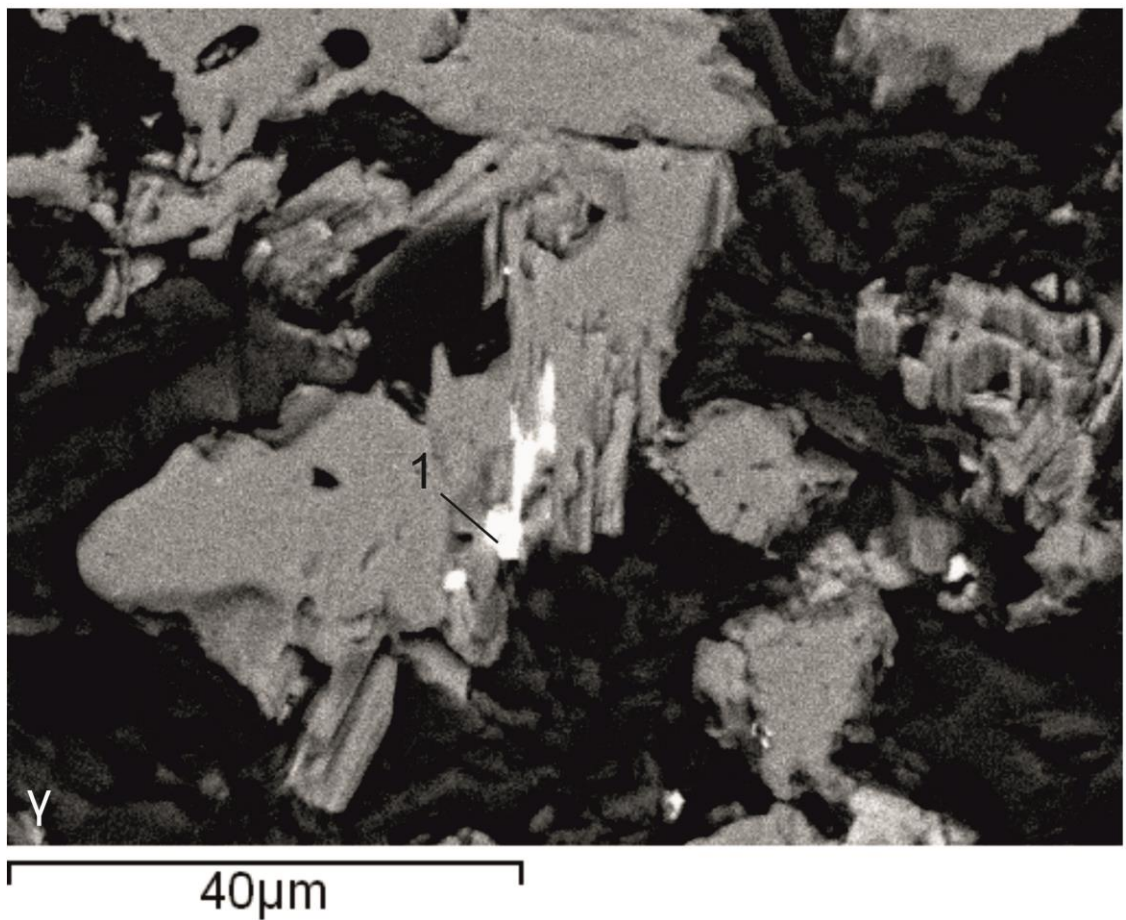
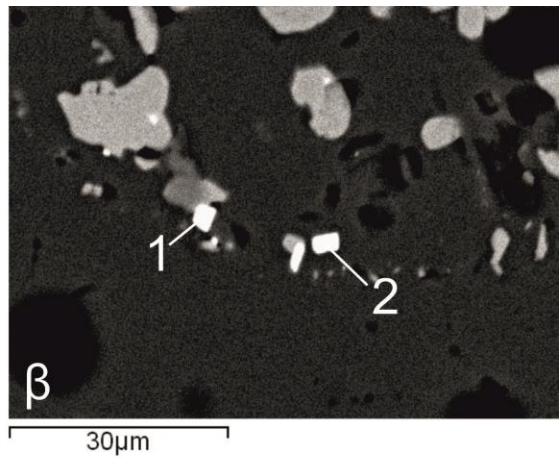
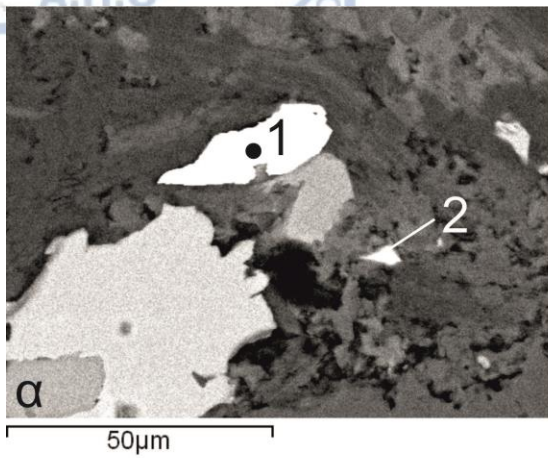
6.8 Φωσφορικά ορυκτά

6.8.1 Μοναζίτης

Ο μοναζίτης εντοπίστηκε σε ορισμένα δείγματα. Το μέγεθός του φτάνει έως 30μm (Εικ. 6.8.1.1. α) και έχει σχήμα αλλοτριόμορφο (Εικ. 6.8.1.1. γ) έως υπιδιόμορφο (Εικ. 6.8.1.1. α, β). Στην εικόνα 6.8.1.1. δίνονται μικροφωτογραφίες για τα δείγματα 10 και SKM2 από το σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (α, β, γ). Η αντιπροσωπευτική ανάλυση και ο δομικός τύπος παρουσιάζονται στον πίνακα Π.2 του Παραρτήματος II.

6.9 Αργιλικά ορυκτά

Τα αργιλικά ορυκτά προσδιορίστηκαν με τη χρήση ακτίνων X (XRD). Η περιεκτικότητα, όπως υπολογίστηκε από τον ημιποσοτικό προσδιορισμό των ακτινογραφικών αποτελεσμάτων είναι από 1 έως 17 wt.%.



Εικόνα 6.8.1.1. α) Αλλοτριόμορφοι κρύσταλλοι μοναζίτη (1 και 2), β) Ιδιόμορφοι κρύσταλλοι μοναζίτη (1 και 2), γ) Μοναζίτης (1).

7. Γεωχημικά χαρακτηριστικά του ρέματος Καρβουνόσκαλα

Η περιοχή έρευνας μελετήθηκε γεωχημικά με μετρήσεις pH, χημικές αναλύσεις κυρίων στοιχείων με φασματοσκοπία Φθορισμού Ακτίνων X (XRF) και αναλύσεις ιχνοστοιχείων σε αντιπροσωπευτικά ολικά δείγματα. Το pH μετρήθηκε στο εργαστήριο με το ηλεκτρονικό πεχάμετρο σε αιώρημα απιονισμένου νερού βάσει της μεθόδου McLean (1982). Οι χημικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν με ICP-ES, ICP, ατομικής απορρόφησης (AAS), πυρομεταλλουργίας (Fire Assay) και με χρήση κλιβάνου καύσης (LECO/Σταθμικά). Οι αναλύσεις XRF πραγματοποιήθηκαν στο Διατμηματικό Εργαστήριο Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας του ΑΠΘ με φασματοσκόπιο φθορισμού ακτίνων X (S4-Pioneer, Bruker), ενώ η προετοιμασία των δειγμάτων έγινε στο εργαστήριο του Τομέα Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας του Τμήματος Γεωλογίας.

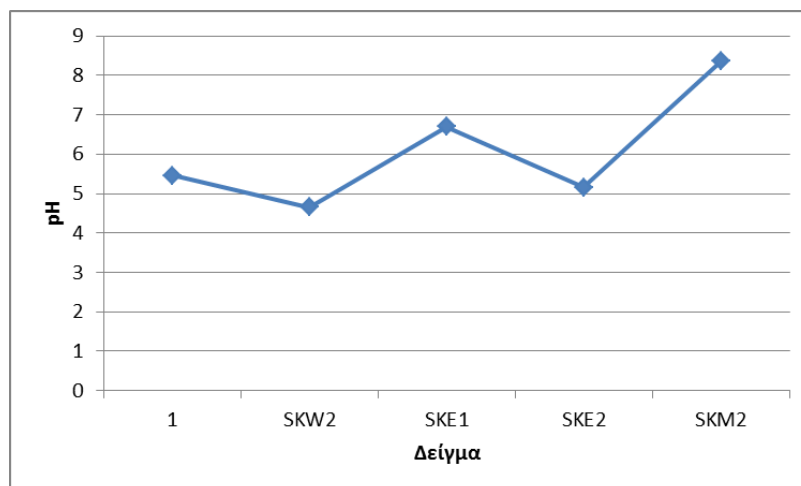
Οι μετρήσεις του pH πραγματοποιήθηκαν σε 5 αντιπροσωπευτικά δείγματα του ρέματος (Πιν. 7.1., Εικ. 7.1., 7.2.). Τα δείγματα του δυτικού κλάδου (1, SKW2) καθώς και του ανατολικού κλάδου (SKE1, SKE2) έχουν ελαφρώς όξινο pH, ενώ το δείγμα που βρίσκεται στην εκβολή του ρέματος και στα κατάντη του κύριου κλάδου (SKM2) αλκαλικό.



Εικόνα 7.1 Θέσεις αντιπροσωπευτικών δειγμάτων του ρέματος Καρβουνόσκαλα, που έγιναν μετρήσεις pH.

Πίνακας 7.1 Μετρήσεις pH σε δείγματα από το ρέμα Καρβουνόσκαλα.

Δείγμα	pH
1	5,461
SKW2	4,648
SKE1	6,702
SKE2	5,161
SKM2	8,356



Εικόνα 7.2 Διακύμανση pH σε δείγματα του ρέματος Καρβουνόσκαλα.

Οι αναλύσεις κυρίων στοιχείων πραγματοποιήθηκαν με τη μέθοδο XRF για τα δείγματα 1A, 5, 6, 7, 8, 8A, 9, 10, 11, BGPR6 (A, B, C), SKE1, SKE2, SKW2 και SKM2 (Πίν. 7.2.). Όλα τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με την παγκόσμια μέση σύσταση του ηπειρωτικού φλοιού, των επιφανειακών εδαφών και των ψαμμιτών και υπολογίστηκε ο συντελεστής εμπλουτισμού, ώστε να αξιολογηθεί ο εμπλουτισμός των εξεταζόμενων δειγμάτων από τα περιβάλλοντα πετρώματα, εδάφη και ιζήματα και την επιβάρυνση από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες (Πίν. 7.3. - 7.8 και στις Εικ 7.3. - 7.7.). Τα όρια της παγκόσμιας μέσης σύστασης του ηπειρωτικού φλοιού, των επιφανειακών εδαφών και των ψαμμιτών για τα κύρια στοιχεία και τα ιχνοστοιχεία, καθώς και ο συντελεστής συγκέντρωσης συγκρίνονται με βάση τις μελέτες Αργυράκη Α. (2007), Καράμπελας Α. (2010), Håkanson, L. (1980), Hansford T.S. and Boerngen G.J. (1984), Kabata-Pendias A. (2011), Krauskopf K. and Bird D. (1995), Mason B. and Moore C.B. (1982), Taylor S. R. and S.M. McLennan (1985), Rudnick, R. L. and D. M. Fountain. (1995) (Πίν. 7.14.).

Πίνακας 7.2. Αναλύσεις κύριων στοιχείων στα δείγματα του ρέματος Καρβουνόσκαλα (ppm).

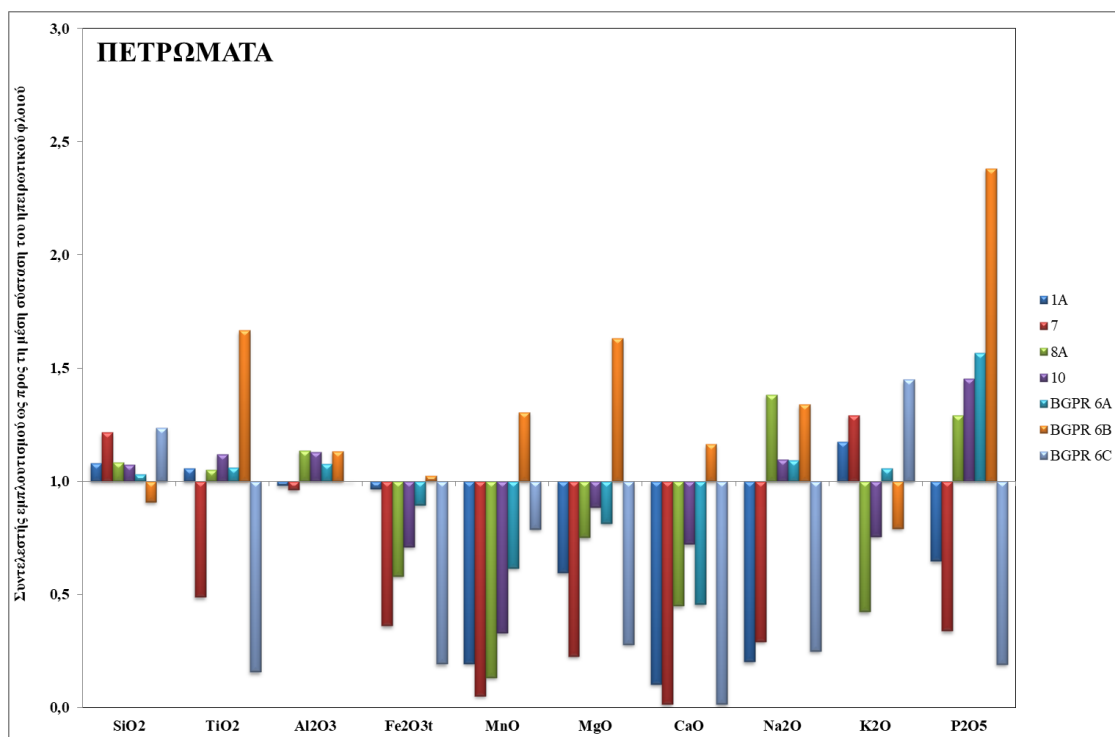
Είδος	Πέτρωμα							Έδαφος					Ενεργό ίζημα			
Δείγμα	1A	7	8A	10	BGPR 6A	BGPR 6B	BGPR 6C	5	6	8	9	11	SKE1	SKE2	SKW2	SKM2
SiO ₂	64,90	73,15	65,25	64,50	62,00	54,75	74,30	66,00	63,05	61,45	63,60	58,75	51,35	69,85	66,85	66,40
TiO ₂	0,75	0,35	0,75	0,80	0,75	1,15	0,10	0,65	0,65	0,70	0,75	0,80	0,80	0,60	0,80	0,50
Al ₂ O ₃	14,90	14,60	17,25	17,15	16,35	17,20	15,20	14,35	15,40	17,10	16,90	14,90	15,00	13,55	13,60	11,60
Fe ₂ O _{3t}	6,50	2,40	3,90	4,75	6,00	6,85	1,30	3,80	4,05	4,25	2,40	11,05	6,45	5,15	6,25	6,75
MnO	0,02	0,01	0,01	0,05	0,05	0,15	0,10	0,10	0,10	0,02	0,02	0,02	0,20	0,15	0,10	0,50
MgO	1,85	0,70	2,35	2,75	2,55	5,05	0,85	1,25	1,55	2,25	2,65	2,00	3,10	2,20	2,75	3,20
CaO	0,55	0,10	2,45	3,95	2,50	6,40	0,10	3,75	2,85	0,55	0,35	0,25	2,35	1,70	2,55	3,35
Na ₂ O	0,60	0,90	4,15	3,30	3,30	4,00	0,75	2,80	2,95	1,25	1,85	0,40	1,60	1,75	1,75	1,30
K ₂ O	3,40	3,75	1,25	2,20	3,05	2,30	4,20	2,50	2,35	2,75	2,30	2,50	2,15	2,50	1,95	1,90
P ₂ O ₅	0,15	0,10	0,30	0,35	0,40	0,55	0,05	0,15	0,20	0,30	0,15	0,35	0,25	0,20	0,20	0,15
LOI	6,40	3,60						4,55	7,20	9,65	8,80	9,20	4,10	2,95	3,25	3,60
Σύνολο	100,02	99,66	97,66	99,79	96,95	98,40	96,94	99,91	100,35	100,26	99,77	100,22	87,35	100,60	100,05	99,24

Πίνακας 7.3. Αναλύσεις ιχνοστοιχείων στα δείγματα του ρέματος Καρβουνόσκαλα (ppm).

Είδος	Πέτρωμα							Έδαφος											Ενεργό ίζημα			
Δείγμα	1A	7	8A	10	BGPR 6A	BGPR 6B	BGPR 6C	1	2	3A	3B	4	5	6	8	9	11	SKE1	SKE2	SKW2	SKM2	
Ag	6	7	2	2	<2	3	<2	2	3	3	4	3	3	3	3	2	4	2	<2	2	2	
As	40	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	48	37	12	< 10	92	94	79	107	< 10	146	501	< 10	166	36	
Au	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	
B	< 10	58	< 10	< 10	173	159	169	94	66	125	130	21	22	31	17	44	< 10	86	43	11	< 10	
Ba	76	99	105	77	348	251	155	122	106	74	68	147	80	82	87	48	74	226	189	200	95	
Be	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	
Bi	26	< 10	< 10	77	< 10	175	67	11	50	31	17	69	61	26	< 10	< 10	14	112	53	110	90	
Cd	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	13	< 10	< 10	< 10	11,5	
Co	89	74	56	51	61	40	146	50	66	53	42	82	69	53	14	25	20	85	127	96	101,5	
Cr	93	45	56	91	185	125	138	78	103	32	23	47	23	26	< 10	< 10	25	198	143	138	75	
Cu	50	14	28	25	30	91	25	42	59	20	17	21	57	76	20	18	61	192	156	110	149	
Li	183	70	96	138	137	119	< 10	118	90	32	< 10	99	87	114	112	71	256	142	99	124	151,5	
Mn	69	13	54	217	384	825	1035	504	466	23	14	17	540	564	55	44	49	2951	1776	1334	3933,5	
Mo	< 10	< 10	< 10	< 10	13	< 10	< 10	20	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	
Ni	22	< 10	13	22	< 10	18	< 10	31	40	< 10	< 10	< 10	< 10	26	< 10	< 10	< 10	86	24	24	41,5	
Pb	2758	668	58	48	191	996	215	123	467	430	328	401	351	378	250	33	645	673	352	538	273	
S	12400	13800	20500	30200	10700	3830	660	2060	4460	2670	1590	3370	2780	1320	3640	3690	1880	1100	1890	3570	2290	
Sb	120	24	< 10	< 10	257	162	93	234	89	63	37	21	15	12	12	< 10	19	114	119	104	57,5	
Se	< 10	< 10	30	60	56	84	26	< 10	25	< 10	27	30	13	22	23	49	< 10	< 10	57	< 10	15,5	
Sr	245	91	171	193	459	502	269	164	132	42	24	160	141	148	175	97	375	515	475	536	411,5	
Tl	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	
V	20	< 10	22	14	61	110	11	51	35	16	13	< 10	29	37	11	< 10	15	90	65	79	28	
Zn	191	36	60	293	114	278	278	140	423	37	26	17	225	247	75	57	93	635	361	825	1534,5	

Πίνακας 7.4. Συντελεστές εμπλουτισμού κύριων στοιχείων στα πετρώματα του ρέματος Καρβουνόσκαλα ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση του ηπειρωτικού φλοιού.

Δείγμα	1A	7	8A	10	BGPR 6A	BGPR 6B	BGPR 6C
SiO ₂	1,08	1,22	1,08	1,07	1,03	0,91	1,23
TiO ₂	1,06	0,49	1,05	1,12	1,06	1,67	0,16
Al ₂ O ₃	0,98	0,96	1,14	1,13	1,08	1,13	1,00
Fe ₂ O _{3t}	0,97	0,36	0,58	0,71	0,89	1,03	0,19
MnO	0,19	0,05	0,13	0,33	0,62	1,30	0,79
MgO	0,59	0,23	0,75	0,89	0,81	1,63	0,28
CaO	0,10	0,01	0,45	0,72	0,46	1,16	0,01
Na ₂ O	0,20	0,29	1,38	1,09	1,09	1,34	0,25
K ₂ O	1,17	1,29	0,42	0,76	1,06	0,79	1,45
P ₂ O ₅	0,65	0,34	1,29	1,45	1,57	2,38	0,19



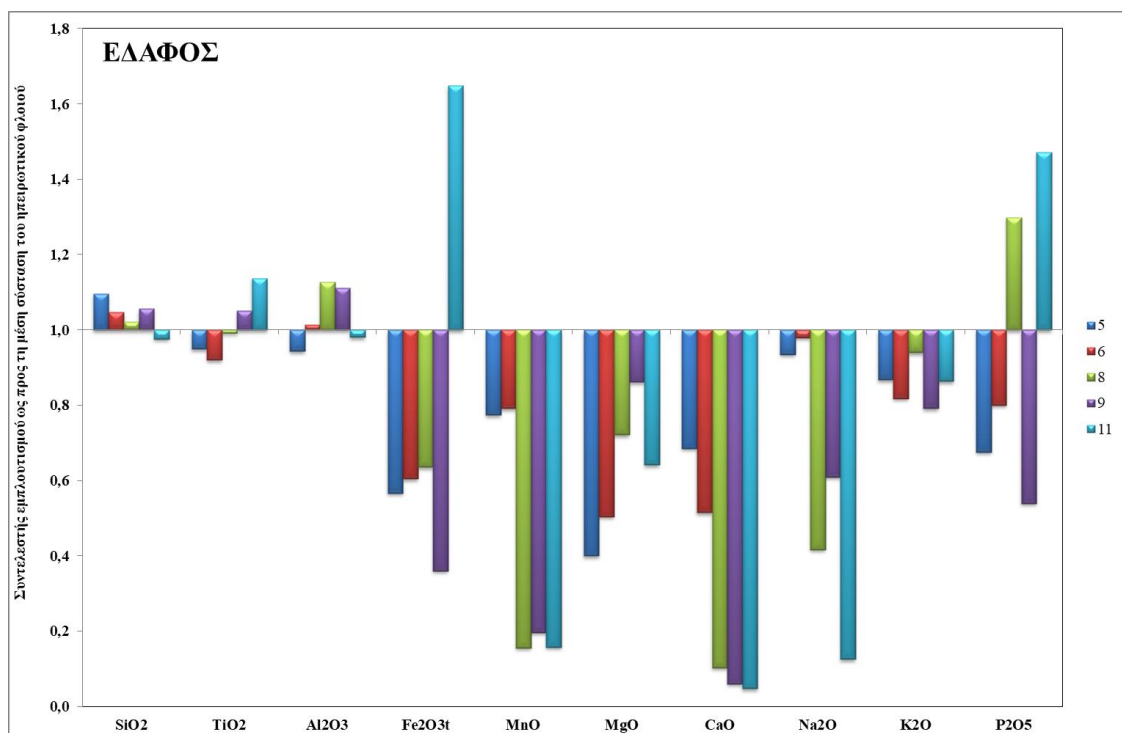
Εικόνα 7.3. Συντελεστές εμπλουτισμού κύριων στοιχείων στα πετρώματα του ρέματος Καρβουνόσκαλα ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση του ηπειρωτικού φλοιού.

Σύμφωνα με τη παγκόσμια μέση σύσταση του ηπειρωτικού φλοιού, τα πετρώματα του ρέματος είναι κυρίως πτωχευμένα και μέτρια εμπλουτισμένα σε κύρια στοιχεία. Παρατηρείται μέτριος εμπλουτισμός σε TiO₂, MgO, Na₂O και P₂O₅ στο

δείγμα BGPR 6B, Na₂O και P₂O₅ στο 8A, K₂O στο BGPR 6A και P₂O₅ στα δείγματα 10 και BGPR 6A (Πιν. 7.4., Εικ. 7.3.).

Πίνακας 7.5. Συντελεστές εμπλουτισμού κύριων στοιχείων στα εδάφη του ρέματος Καρβουνόσκαλα ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση του ηπειρωτικού φλοιού.

Δείγμα	5	6	8	9	11
SiO ₂	1,10	1,05	1,02	1,06	0,98
TiO ₂	0,95	0,92	0,99	1,05	1,14
Al ₂ O ₃	0,94	1,01	1,13	1,11	0,98
Fe ₂ O _{3t}	0,57	0,60	0,64	0,36	1,65
MnO	0,77	0,79	0,16	0,20	0,16
MgO	0,40	0,50	0,72	0,86	0,64
CaO	0,69	0,51	0,10	0,06	0,05
Na ₂ O	0,93	0,98	0,42	0,61	0,13
K ₂ O	0,87	0,82	0,94	0,79	0,86
P ₂ O ₅	0,68	0,80	1,30	0,54	1,47

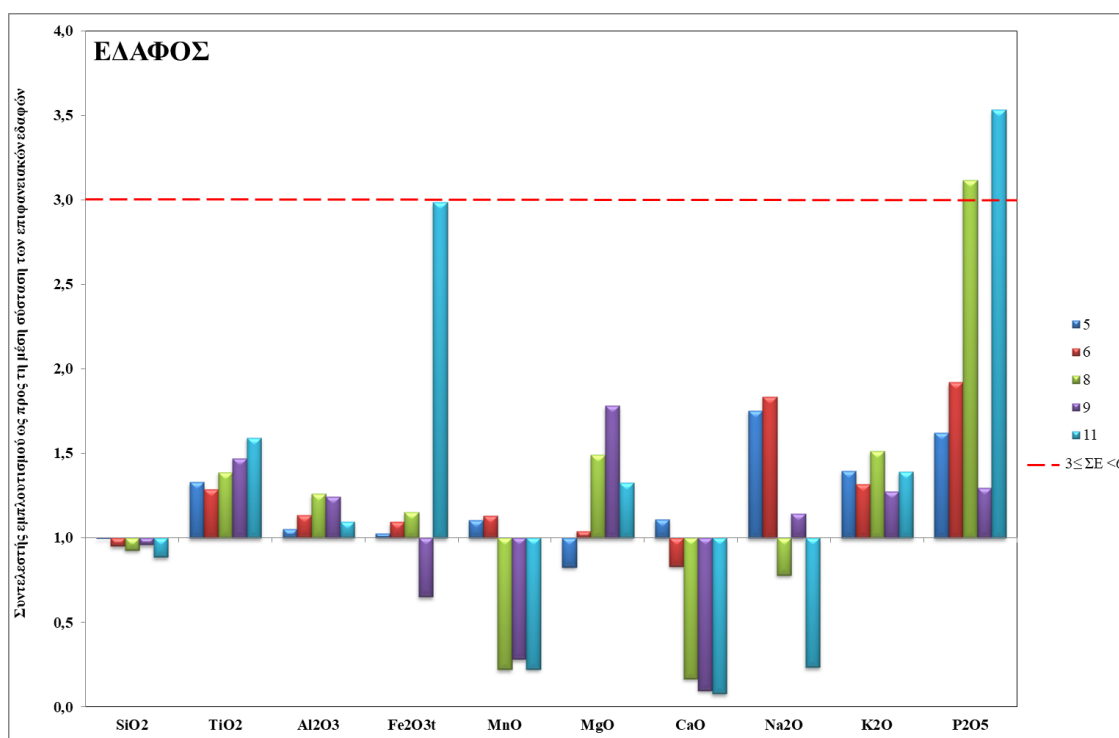


Εικόνα 7.4. Συντελεστές εμπλουτισμού κύριων στοιχείων στα εδάφη του ρέματος Καρβουνόσκαλα ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση του ηπειρωτικού φλοιού.

Σύμφωνα με τη παγκόσμια μέση σύσταση του ηπειρωτικού φλοιού, τα εδάφη του ρέματος είναι κυρίως πτωχευμένα σε κύρια στοιχεία. Παρατηρείται μέτριος εμπλουτισμός σε Fe_2O_3 και P_2O_5 στο δείγμα 11 και P_2O_5 στο 8 (Πιν. 7.5., Εικ. 7.4.).

Πίνακας 7.6. Συντελεστές εμπλουτισμού κύριων στοιχείων στα εδάφη του ρέματος Καρβουνόσκαλα ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση των επιφανειακών εδαφών.

Δείγμα	5	6	8	9	11
SiO_2	1,00	0,95	0,93	0,96	0,89
TiO_2	1,33	1,29	1,39	1,47	1,59
Al_2O_3	1,05	1,13	1,26	1,24	1,10
Fe_2O_{3t}	1,03	1,09	1,15	0,65	2,99
MnO	1,11	1,13	0,22	0,28	0,22
MgO	0,83	1,04	1,49	1,78	1,33
CaO	1,11	0,83	0,17	0,10	0,08
Na_2O	1,75	1,84	0,78	1,14	0,24
K_2O	1,40	1,32	1,51	1,27	1,39
P_2O_5	1,62	1,92	3,12	1,29	3,53

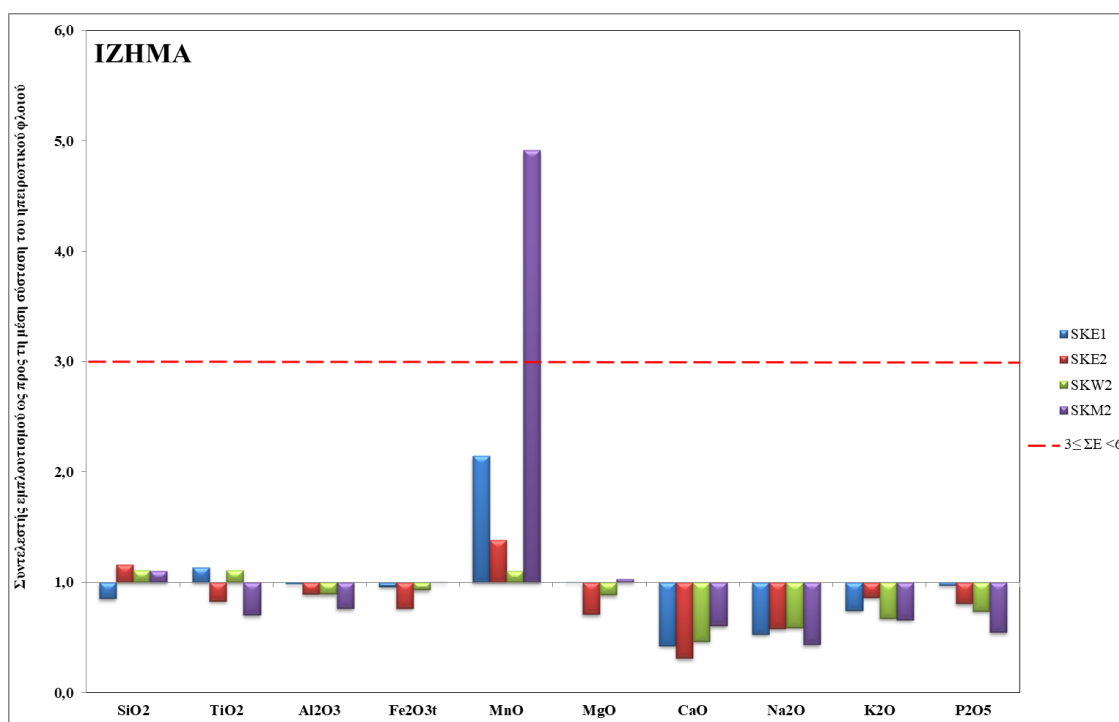


Εικόνα 7.5. Συντελεστές εμπλουτισμού κύριων στοιχείων στα εδάφη του ρέματος Καρβουνόσκαλα ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση των επιφανειακών εδαφών.

Σύμφωνα με τη παγκόσμια μέση σύσταση των επιφανειακών εδαφών, τα εδάφη του ρέματος είναι κυρίως πτωχευμένα και μέτρια εμπλουτισμένα σε κύρια στοιχεία. Παρατηρείται μέτριος εμπλουτισμός σε Fe_2O_3 στο 11, MgO στο 9, Na_2O και P_2O_5 στα δείγματα 5 και 6 και υψηλός εμπλουτισμός σε P_2O_5 στα 8 και 11 (Πιν. 7.6., Εικ. 7.5.).

Πίνακας 7.7. Συντελεστές εμπλουτισμού κύριων στοιχείων στα ενεργά ιζήματα του ρέματος Καρβουνόσκαλα ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση του ηπειρωτικού φλοιού.

Δείγμα	SKE1	SKE2	SKW2	SKM2
SiO_2	0,85	1,16	1,11	1,10
TiO_2	1,14	0,83	1,11	0,70
Al_2O_3	0,99	0,89	0,89	0,76
Fe_2O_{3t}	0,96	0,77	0,93	1,01
MnO	2,15	1,39	1,10	4,91
MgO	1,00	0,71	0,88	1,03
CaO	0,43	0,31	0,47	0,61
Na_2O	0,53	0,58	0,59	0,44
K_2O	0,75	0,86	0,67	0,66
P_2O_5	0,97	0,81	0,74	0,55

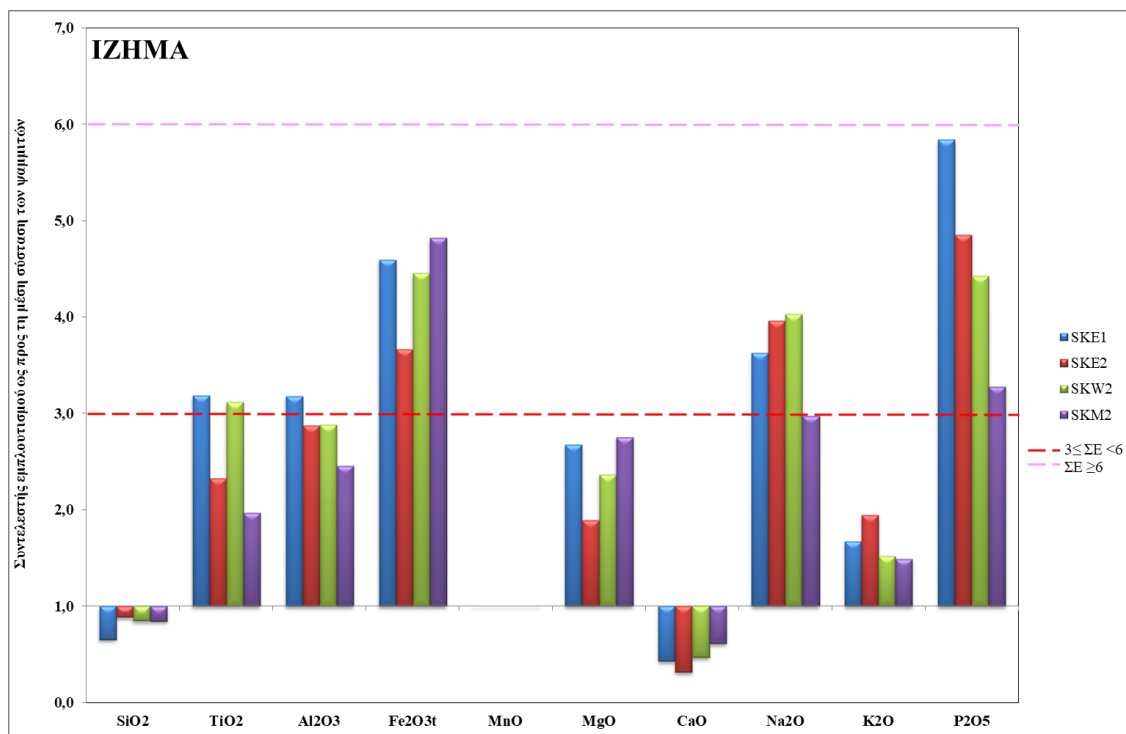


Εικόνα 7.6. Συντελεστές εμπλουτισμού κύριων στοιχείων στα ενεργά ιζήματα του ρέματος Καρβουνόσκαλα ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση του ηπειρωτικού φλοιού.

Στα ενεργά ιζήματα του ρέματος παρατηρείται μέτριος εμπλουτισμός σε MnO στο δείγμα SKE1, και σημαντικός εμπλουτισμός στο SKM2 σύμφωνα με την παγκόσμια μέση σύσταση του ηπειρωτικού φλοιού. Όλα τα υπόλοιπα ενεργά ιζήματα είναι πτωχευμένα σε κύρια στοιχεία ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση του ηπειρωτικού φλοιού (Πιν. 7.7., Εικ. 7.6.).

Πίνακας 7.8. Συντελεστές εμπλουτισμού κύριων στοιχείων στα ενεργά ιζήματα του ρέματος Καρβουνόσκαλα ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση των ψαμμιτών.

Δείγμα	SKE1	SKE2	SKW2	SKM2
SiO ₂	0,65	0,89	0,85	0,84
TiO ₂	3,19	2,32	3,11	1,97
Al ₂ O ₃	3,18	2,87	2,88	2,46
Fe ₂ O _{3t}	4,59	3,66	4,46	4,82
MnO	1,00	1,00	1,00	1,00
MgO	2,68	1,90	2,37	2,75
CaO	0,43	0,31	0,47	0,61
Na ₂ O	3,62	3,96	4,03	2,97
K ₂ O	1,68	1,94	1,52	1,49
P ₂ O ₅	5,84	4,85	4,43	3,28



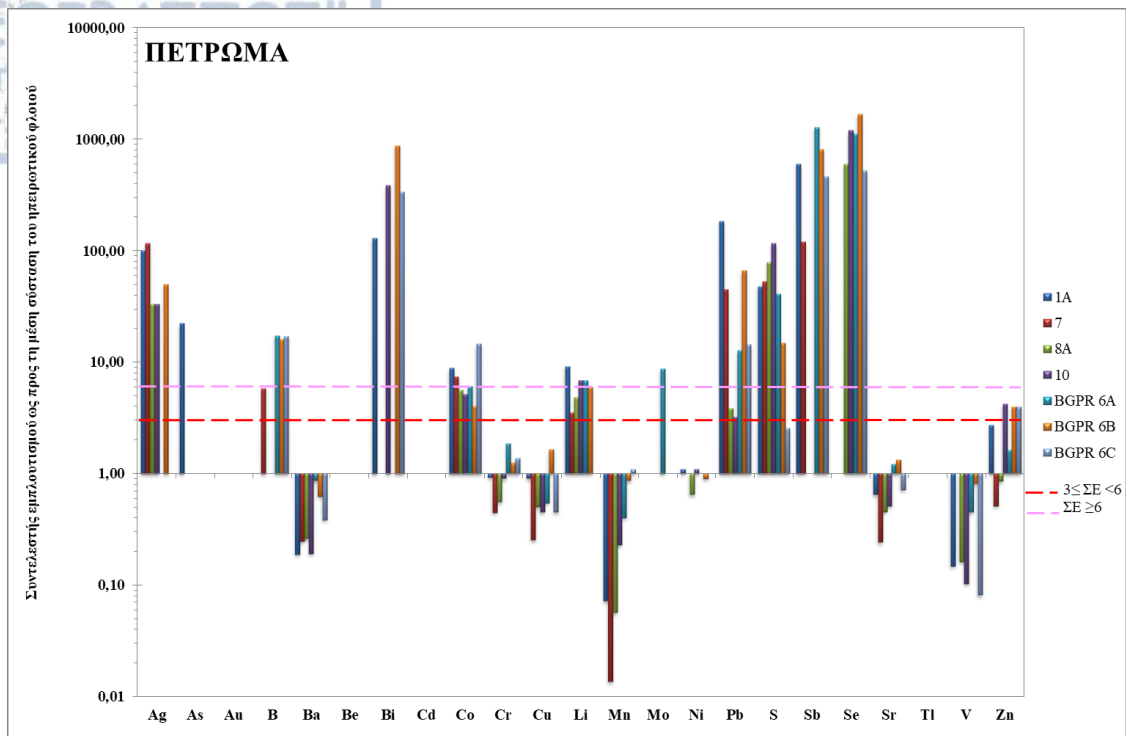
Εικόνα 7.7. Συντελεστές εμπλουτισμού κύριων στοιχείων στα ενεργά ιζήματα του ρέματος Καρβουνόσκαλα ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση των ψαμμιτών.

Στα ενεργά ιζήματα του ρέματος παρατηρείται σημαντικός εμπλουτισμός σε TiO_2 στα δείγματα SKE1, SKW2, σε Al_2O_3 στο δείγμα SKE1, Na_2O στα SKE1, SKE2 και SKW2, Fe_2O_3 και P_2O_5 σε όλα τα δείγματα σύμφωνα με την παγκόσμια μέση σύσταση των ψαμμιτών. Όλα τα υπόλοιπα ενεργά ιζήματα είναι πτωχευμένα και μέτρια εμπλουτισμένα σε κύρια στοιχεία ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση των ψαμμιτών (Πιν. 7.8., Εικ. 7.7.).

Οι χημικές αναλύσεις επιλεγμένων ιχνοστοιχείων έγιναν σε 21 ολικά δείγματα από την περιοχή μελέτης. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.3.. Όλα τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με την παγκόσμια μέση σύσταση του ηπειρωτικού φλοιού, των επιφανειακών εδαφών και των ψαμμιτών, όπως φαίνεται στους Πίνακες 7.9-7.13 και στις Εικόνες 7.8-7.12.

Πίνακας 7.9. Συντελεστές εμπλουτισμού ιχνοστοιχείων στα πετρώματα του ρέματος Καρβουνόσκαλα ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση του ηπειρωτικού φλοιού.

Δείγμα	1A	7	8A	10	BGPR 6A	BGPR 6B	BGPR 6C
Ag	100,00	116,67	33,33	33,33	<33,33	50,00	<33,33
As	22,22	<5.6	<5.6	<5.6	<5.6	<5.6	<5.6
Au	<25	<25	<25	<25	<25	<25	<25
B	<1	5,80	<1	<1	17,30	15,90	16,90
Ba	0,19	0,25	0,26	0,19	0,87	0,63	0,39
Be	<3.33	<3.33	<3.33	<3.33	<3.33	<3.33	<3.33
Bi	130,00	<50.00	<50.00	385,00	<50.00	875,00	335,00
Cd	<100.00	<100.00	<100.00	<100.00	<100.00	<100.00	<100.00
Co	8,90	7,40	5,60	5,10	6,10	4,00	14,60
Cr	0,93	0,45	0,56	0,91	1,85	1,25	1,38
Cu	0,91	0,25	0,51	0,45	0,55	1,65	0,45
Li	9,15	3,50	4,80	6,90	6,85	5,95	<0.50
Mn	0,07	0,01	0,06	0,23	0,40	0,87	1,09
Mo	<6.67	<6.67	<6.67	<6.67	8,67	<6.67	<6.67
Ni	1,10	<0.50	0,65	1,10	<0.50	0,90	<0.50
Pb	183,87	44,53	3,87	3,20	12,73	66,40	14,33
S	47,69	53,08	78,85	116,15	41,15	14,73	2,54
Sb	600,00	120,00	<50.00	<50.00	1285,00	810,00	465,00
Se	<200.00	<200.00	600,00	1200,00	1120,00	1680,00	520,00
Sr	0,65	0,24	0,46	0,51	1,22	1,34	0,72
Tl	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00
V	0,15	<0.07	0,16	0,10	0,45	0,81	0,08
Zn	2,73	0,51	0,86	4,19	1,63	3,97	3,97



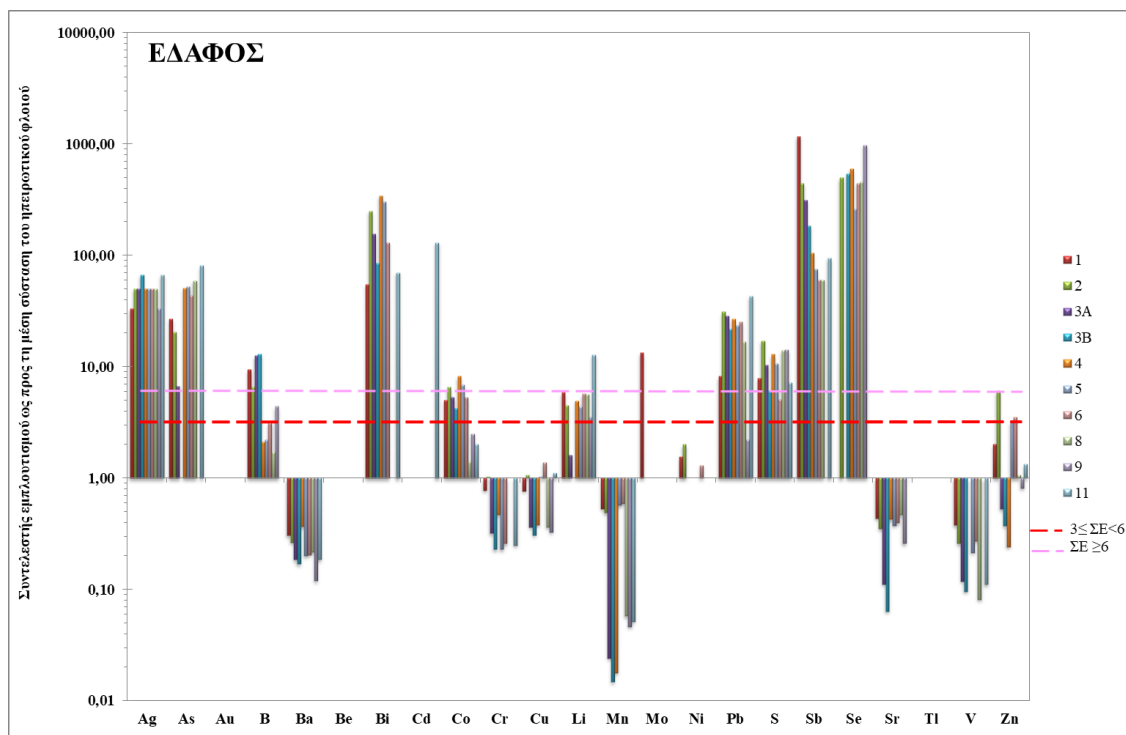
Εικόνα 7.8. Συντελεστές εμπλουτισμού ιχνοστοιχείων στα πετρώματα του ρέματος Καρβουνόσκαλα ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση του ηπειρωτικού φλοιού.

Στα πετρώματα του ρέματος παρατηρείται υψηλός εμπλουτισμός ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση του ηπειρωτικού φλοιού σε Ag στα δείγματα 1A, 7, 8A, 10 και BGPR 6B, σε As στο δείγμα 1A, σε B στα δείγματα 7, BGPR 6A, BGPR 6B και BGPR 6C, σε Bi στα δείγματα 1A, 10, BGPR 6B και BGPR 6C και σε Co στα 1A, 7 και BGPR 6C. Επίσης, τα πετρώματα είναι πολύ εμπλουτισμένα σε Li στα δείγματα 1A, 10 και BGPR 6A, σε Mo στο BGPR 6A, Pb στα δείγματα 1A, 7, BGPR 6A, BGPR 6B και BGPR 6C, σε S σε όλα τα πετρώματα εκτός του δείγματος BGPR 6C, σε Sb σε όλα εκτός των δειγμάτων 8A και 10 και Se σε όλα τα δείγματα.

Ο εμπλουτισμός είναι σημαντικός σε B στο δείγμα 7, σε Co στα δείγματα 8A, 10, BGPR 6A και BGPR 6B, σε Li στα δείγματα 7, 8A και BGPR 6C, σε Pb στα 8A και 10 και σε Zn στα δείγματα 10, BGPR 6B και BGPR 6C. Τα πετρώματα ως επί το πλείστον είναι σημαντικά και πολύ εμπλουτισμένα σε ιχνοστοιχεία ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση του ηπειρωτικού φλοιού (Πιν. 7.9., Εικ. 7.8.).

Πίνακας 7.10. Συντελεστές εμπλουτισμού ιχνοστοιχείων στα εδάφη του ρέματος Καρβουνόσκαλα ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση του ηπειρωτικού φλοιού.

Δείγμα	1	2	3A	3B	4	5	6	8	9	11
Ag	33,33	50,00	50,00	66,67	50,00	50,00	50,00	50,00	33,33	66,67
As	26,67	20,56	6,67	<5.56	51,11	52,22	43,89	59,44	<5.56	81,11
Au	<25	<25	<25	<25	<25	<25	<25	<25	<25	<25
B	9,40	6,60	12,50	13,00	2,10	2,20	3,10	1,70	4,40	<1.00
Ba	0,31	0,27	0,19	0,17	0,37	0,20	0,21	0,22	0,12	0,19
Be	<3.33	<3.33	<3.33	<3.33	<3.33	<3.33	<3.33	<3.33	<3.33	<3.33
Bi	55,00	250,00	155,00	85,00	345,00	305,00	130,00	<50.00	<50.00	70,00
Cd	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	130,00
Co	5,00	6,60	5,30	4,20	8,20	6,90	5,30	1,40	2,50	2,00
Cr	0,78	1,03	0,32	0,23	0,47	0,23	0,26	<0.1	<0.1	0,25
Cu	0,76	1,07	0,36	0,31	0,38	1,04	1,38	0,36	0,33	1,11
Li	5,90	4,50	1,60	<0.5	4,95	4,35	5,70	5,60	3,55	12,80
Mn	0,53	0,49	0,02	0,01	0,02	0,57	0,59	0,06	0,05	0,05
Mo	13,33	<6.67	<6.67	<6.67	<6.67	<6.67	<6.67	<6.67	<6.67	<6.67
Ni	1,55	2,00	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	1,30	<0.50	<0.50	<0.50
Pb	8,20	31,13	28,67	21,87	26,73	23,40	25,20	16,67	2,20	43,00
S	7,92	17,15	10,27	6,12	12,96	10,69	5,08	14,00	14,19	7,23
Sb	1170,00	445,00	315,00	185,00	105,00	75,00	60,00	60,00	<50.00	95,00
Se	<200.00	500,00	<200.00	540,00	600,00	260,00	440,00	460,00	980,00	<200.00
Sr	0,44	0,35	0,11	0,06	0,43	0,38	0,39	0,47	0,26	1,00
Tl	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00
V	0,38	0,26	0,12	0,10	<0.07	0,21	0,27	0,08	<0.07	0,11
Zn	2,00	6,04	0,53	0,37	0,24	3,21	3,53	1,07	0,81	1,33



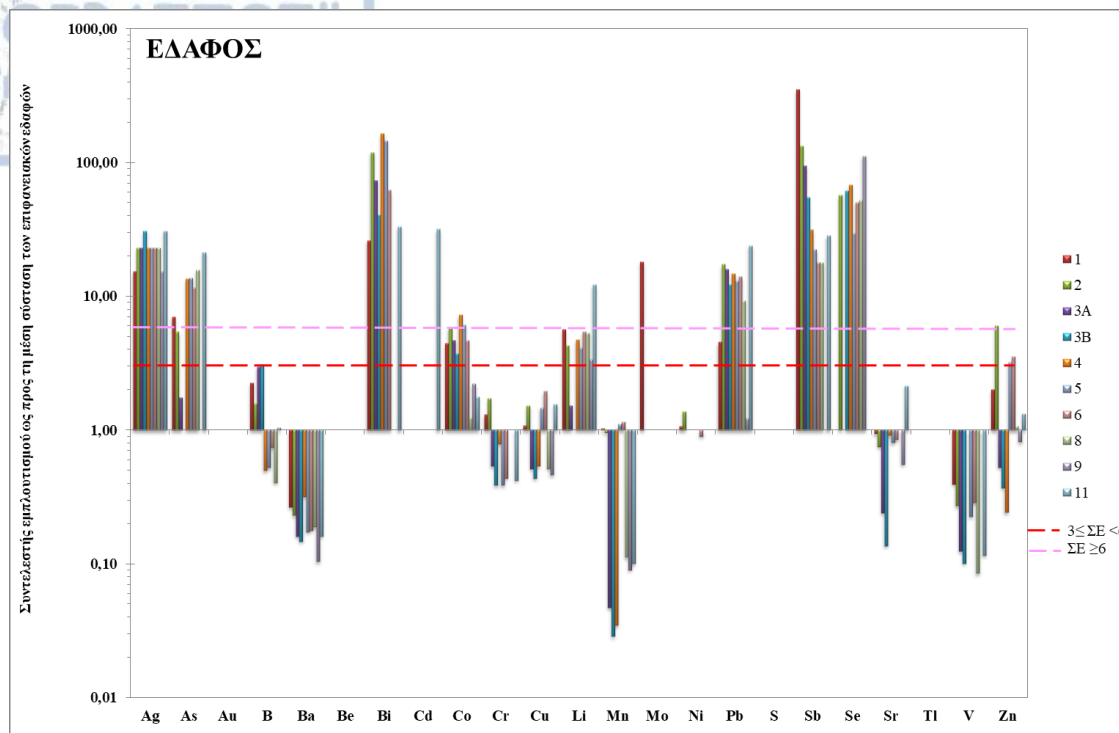
Εικόνα 7.9. Συντελεστές εμπλουτισμού ιχνοστοιχείων στα εδάφη του ρέματος Καρβουνόσκαλα ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση του ηπειρωτικού φλοιού.

Στα εδάφη του ρέματος παρατηρείται υψηλός εμπλουτισμός ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση του ηπειρωτικού φλοιού σε Ag και As σε όλα τα δείγματα, σε B στα δείγματα 1, 2, 3A, 3B, σε Bi σε όλα δείγματα εκτός των 8 και 9, σε Cd στο δείγμα 11 και σε Co στα 2, 4, 5. Επίσης, τα εδάφη είναι πολύ εμπλουτισμένα σε Li στο δείγμα 11, σε Mo στο 1, Pb σε όλα τα δείγματα εκτός του 9, σε S σε όλα τα πετρώματα εκτός του δείγματος 6 και σε Sb σε όλα εκτός του 9.

Ο εμπλουτισμός είναι σημαντικός σε B στο δείγμα 9, σε Co στα δείγματα 1, 3A, 3B και 6, σε Li στα δείγματα 1, 2, 4, 5, 6, 8 και 9, σε S στο 6 και σε Zn στα δείγματα 2, 5, και 6. Τα εδάφη του ρέματος ως επί το πλείστον είναι πτωχευμένα και πολύ εμπλουτισμένα σε ιχνοστοιχεία ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση του ηπειρωτικού φλοιού (Πιν. 7.10., Εικ. 7.9.).

Πίνακας 7.11. Συντελεστές εμπλουτισμού ιχνοστοιχείων στα εδάφη του ρέματος Καρβονόσκαλα ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση των επιφανειακών εδαφών.

Δείγμα	1	2	3A	3B	4	5	6	8	9	11
Ag	15,38	23,08	23,08	30,77	23,08	23,08	23,08	23,08	15,38	30,77
As	7,03	5,42	1,76	<1.46	13,47	13,76	11,57	15,67	<1.46	21,38
Au	<33.33	<33.33	<33.33	<33.33	<33.33	<33.33	<33.33	<33.33	<33.33	<33.33
B	2,24	1,57	2,98	3,10	0,50	0,52	0,74	0,40	1,05	<0.24
Ba	0,27	0,23	0,16	0,15	0,32	0,17	0,18	0,19	0,10	0,16
Be	<7.46	<7.46	<7.46	<7.46	<7.46	<7.46	<7.46	<7.46	<7.46	<7.46
Bi	26,19	119,05	73,81	40,48	164,29	145,24	61,90	<23.81	<23.81	33,33
Cd	<24.39	<24.39	<24.39	<24.39	<24.39	<24.39	<24.39	<24.39	<24.39	31,71
Co	4,42	5,84	4,69	3,72	7,26	6,11	4,69	1,24	2,21	1,77
Cr	1,31	1,73	0,54	0,39	0,79	0,39	0,44	<0.17	<0.17	0,42
Cu	1,08	1,52	0,51	0,44	0,54	1,47	1,95	0,51	0,46	1,57
Li	5,62	4,29	1,52	<0.48	4,71	4,14	5,43	5,33	3,38	12,19
Mn	1,03	0,95	0,05	0,03	0,03	1,11	1,16	0,11	0,09	0,10
Mo	18,18	<9.09	<9.09	<9.09	<9.09	<9.09	<9.09	<9.09	<9.09	<9.09
Ni	1,07	1,38	<0.34	<0.34	<0.34	<0.34	0,90	<0.34	<0.34	<0.34
Pb	4,56	17,30	15,93	12,15	14,85	13,00	14,00	9,26	1,22	23,89
S										
Sb	349,25	132,84	94,03	55,22	31,34	22,39	17,91	17,91	<14.93	28,36
Se	<22.73	56,82	<22.73	61,36	68,18	29,55	50,00	52,27	111,36	<22.73
Sr	0,94	0,75	0,24	0,14	0,91	0,81	0,85	1,00	0,55	2,14
Tl	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00
V	0,40	0,27	0,12	0,10	<0.08	0,22	0,29	0,09	<0.08	0,12
Zn	2,00	6,04	0,53	0,37	0,24	3,21	3,53	1,07	0,81	1,33



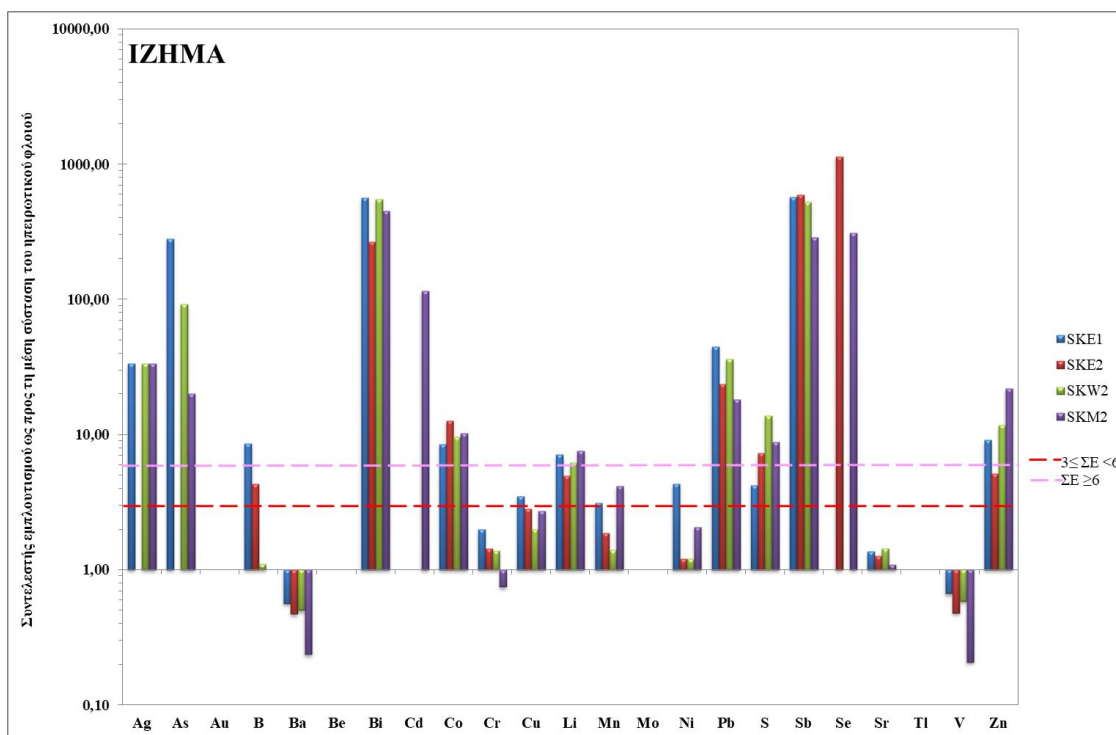
Εικόνα 7.10. Συντελεστές εμπλουτισμού ιχνοστοιχείων στα εδάφη του ρέματος Καρβουνόσκαλα ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση των επιφανειακών εδαφών.

Στα εδάφη του ρέματος παρατηρείται υψηλός εμπλουτισμός ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση των επιφανειακών εδαφών σε Ag σε όλα τα δείγματα, σε As στα δείγματα 1, 4, 5, 6, 8 και 11, σε Bi σε όλα τα δείγματα εκτός των 8 και 9, σε Cd στο δείγμα 11 και σε Co στα 4 και 5. Επίσης, τα εδάφη είναι πολύ εμπλουτισμένα σε Li στο δείγμα 11, σε Mo στο 1, Pb σε όλα τα δείγματα εκτός των 1 και 9, σε Sb σε όλα εκτός του 9, σε Se σε όλα τα δείγματα εδάφους εκτός των 1, 3A και 11 και σε Zn στο δείγμα 2.

Ο εμπλουτισμός είναι σημαντικός σε As στο δείγμα εδάφους 2, σε Co στα δείγματα 1, 2, 3A, 3B και 6, σε Li στα δείγματα 1, 2, 4, 5, 6, 8 και 9, σε Pb στο δείγμα 1, και σε Zn στα δείγματα 5 και 6. Τα εδάφη του ρέματος ως επί το πλείστον είναι πτωχευμένα και πολύ εμπλουτισμένα σε ιχνοστοιχεία ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση των επιφανειακών εδαφών (Πιν. 7.11., Εικ. 7.10.).

Πίνακας 7.12. Συντελεστές εμπλουτισμού ιχνοστοιχείων στα ενεργά ιζήματα του ρέματος Καρβουνόσκαλα ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση του ηπειρωτικού φλοιού.

Δείγμα	SKE1	SKE2	SKW2	SKM2
Ag	33,33	<33.33	33,33	33,33
As	278,33	<5.56	92,22	20,00
Au	<25	<25	<25	<25
B	8,60	4,30	1,10	<1.00
Ba	0,57	0,47	0,50	0,24
Be	<3.33	<3.33	<3.33	<3.33
Bi	560,00	265,00	550,00	450,00
Cd	<100.00	<100.00	<100.00	115,00
Co	8,50	12,70	9,60	10,15
Cr	1,98	1,43	1,38	0,75
Cu	3,49	2,84	2,00	2,71
Li	7,10	4,95	6,20	7,58
Mn	3,11	1,87	1,40	4,14
Mo	<6.67	<6.67	<6.67	<6.67
Ni	4,30	1,20	1,20	2,08
Pb	44,87	23,47	35,87	18,20
S	4,23	7,27	13,73	8,81
Sb	570,00	595,00	520,00	287,50
Se	<200.00	1140,00	<200.00	310,00
Sr	1,37	1,27	1,43	1,10
Tl	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00
V	0,67	0,48	0,59	0,21
Zn	9,07	5,16	11,79	21,92



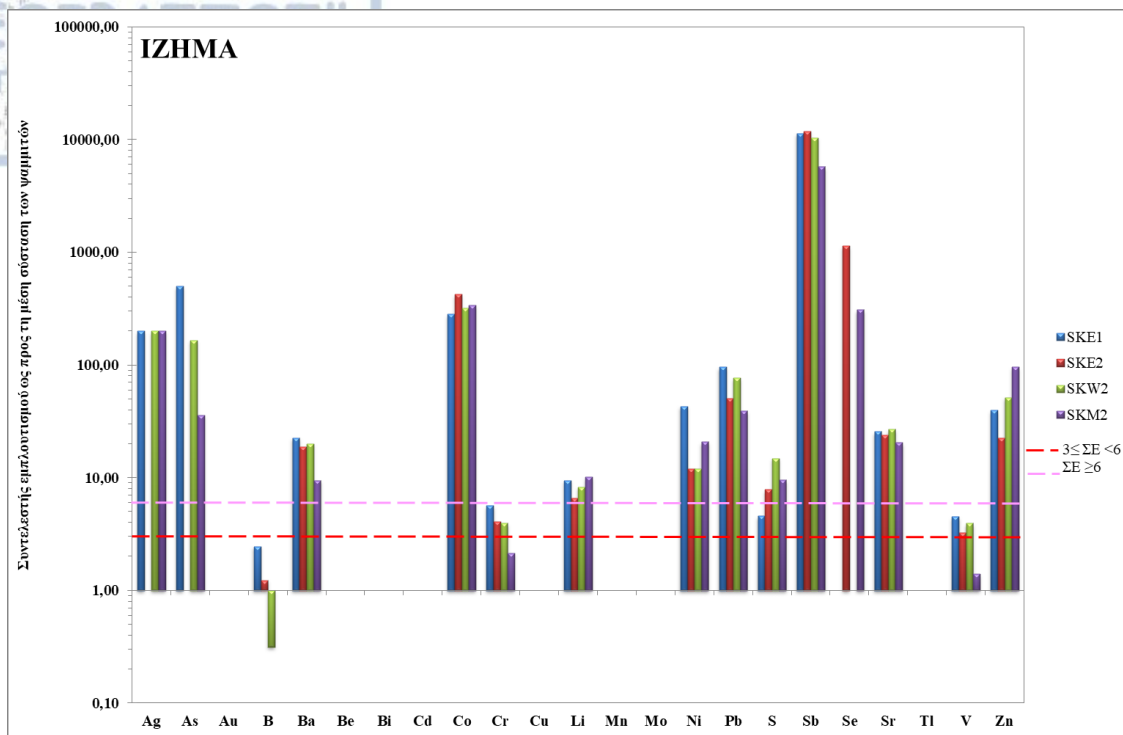
Εικόνα 7.11. Συντελεστές εμπλουτισμού ιχνοστοιχείων στα ενεργά ιζήματα του ρέματος Καρβουνόσκαλα ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση του ηπειρωτικού φλοιού.

Στα ενεργά ιζήματα του ρέματος παρατηρείται υψηλός εμπλουτισμός ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση του ηπειρωτικού φλοιού σε Ag, As, Li και Zn σε όλα τα δείγματα ιζήματος εκτός του SKE2, σε B στο SKE1, σε Bi, Co, Pb και Sb σε όλα τα δείγματα και σε Cd στο δείγμα SKM2. Επίσης, τα ιζήματα είναι πολύ εμπλουτισμένα σε S σε όλα τα δείγματα ιζήματος εκτός του SKE1 και σε Se στα δείγματα SKE2 και SKM2.

Ο εμπλουτισμός είναι σημαντικός σε B και Li στο δείγμα SKE2, σε Cu, S και Ni στο δείγμα ενεργού ιζήματος SKE1 και σε Mn στα SKE1 και SKM2. Τα ιζήματα του ρέματος ως επί το πλείστον είναι σημαντικά και πολύ εμπλουτισμένα σε ιχνοστοιχεία ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση του ηπειρωτικού φλοιού (Πιν. 7.12., Εικ. 7.11.).

Πίνακας 7.13. Συντελεστές εμπλουτισμού ιχνοστοιχείων στα ενεργά ιζήματα του ρέματος Καρβουνόσκαλα ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση των ψαμμιτών.

Δείγμα	SKE1	SKE2	SKW2	SKM2
Ag	200,00	<200.00	200,00	200,00
As	501,00	<10.00	166,00	36,00
Au				
B	2,46	1,23	0,31	<0.29
Ba	22,60	18,90	20,00	9,50
Be				
Bi				
Cd				
Co	283,33	423,33	320,00	338,33
Cr	5,66	4,09	3,94	2,14
Cu				
Li	9,47	6,60	8,27	10,10
Mn				
Mo	<50.00	<50.00	<50.00	<50.00
Ni	43,00	12,00	12,00	20,75
Pb	96,14	50,29	76,86	39,00
S	4,58	7,88	14,88	9,54
Sb	11400,00	11900,00	10400,00	5750,00
Se	<200.00	1140,00	<200.00	310,00
Sr	25,75	23,75	26,80	20,58
Tl	<12.20	<12.20	<12.20	<12.20
V	4,50	3,25	3,95	1,40
Zn	39,69	22,56	51,56	95,91



Εικόνα 7.12. Συντελεστές εμπλουτισμού ιχνοστοιχείων στα ενεργά ιζήματα του ρέματος Καρβουνόσκαλα ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση των ψαμμιτών.

Στα ενεργά ιζήματα του ρέματος παρατηρείται υψηλός εμπλουτισμός ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση των ψαμμιτών σε Ag και As σε όλα τα δείγματα ιζήματος εκτός του SKE2, σε B, Co, Li, Ni, Pb, Sb, Sr και Zn σε όλα τα δείγματα, σε S σε όλα τα δείγματα ιζήματος εκτός του SKE1 και σε Se στα δείγματα SKE2 και SKM2.

Ο εμπλουτισμός είναι σημαντικός σε Cr και V σε όλα τα δείγματα ιζήματος εκτός του SKM2 και σε S στο δείγμα ενεργού ιζήματος SKE1. Τα ιζήματα του ρέματος ως επί το πλείστον είναι πολύ εμπλουτισμένα σε ιχνοστοιχεία ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση του ηπειρωτικού φλοιού (Πιν. 7.12., Εικ. 7.11.).

Πίνακας 7.14. Όρια παγκόσμιας μέσης σύστασης του ηπειρωτικού φλοιού, των επιφανειακών εδαφών και των ψαμμιτών κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων και συντελεστής συγκέντρωσης.

	Παγκόσμια Μέση Σύσταση Ηπειρωτικού Φλοιού	Παγκόσμια Μέση Σύσταση Επιφανειακών Εδαφών	Παγκόσμια Μέση Σύσταση Ψαμμιτών
Κύρια Στοιχεία			
SiO₂	60,2	66,3	78,73
TiO₂	0,7	0,5	0,25
Al₂O₃	15,2	13,6	4,72
Fe₂O_{3t}	6,7	3,7	1,4
MnO	0,1	0,07	
MgO	3,1	1,5	1,16
CaO	5,5	3,4	5,47
Na₂O	3	1,6	0,44
K₂O	2,9	1,8	1,29
P₂O₅	0,24	0,1	0,04
Ιχνοστοιχεία			
Ag	0,06	0,13	0,01
As	1,8	6,83	1
Au	0,004	0,003	
B	10	42	35
Ba	400	460	10
Be	3	1,34	
Bi	0,2	0,42	
Cd	0,1	0,41	
Co	10	11,3	0,3
Cr	100	59,5	35
Cu	55	38,9	
Li	20	21	15
Mn	950	488	
Mo	1,5	1,1	0,2
Ni	20	29	2
Pb	15	27	7
S	260		240
Sb	0,2	0,67	0,01
Se	0,05	0,44	0,05
Sr	375	175	20
Tl	0,5	0,5	0,82
V	135	129	20
Zn	70	70	16
Συντελεστής συγκέντρωσης		Χαρακτηρισμός	
< 1		Πτωχευμένο	
1 - 3		Μέτρια εμπλουτισμένο	
3 - 6		Σημαντικά εμπλουτισμένο	
> 6		Πολύ εμπλουτισμένο	

8. Συζήτηση αποτελεσμάτων

Το ρέμα Καρβουνόσκαλα εκβάλλει στον κόλπο της Ιερισσού και η λεκάνη απορροής του βρίσκεται στο Στρατώνι, περιοχή με μακρόχρονη εξορυκτική και μεταλλευτική δραστηριότητα. Από την αρχή της μελέτης του συγκεκριμένου ρέματος κύριος προβληματισμός ήταν εάν το συγκεκριμένο ρέμα είναι επιβαρυνμένο σε βαρέα μέταλλα και εάν αυτά καταλήγουν στον Κόλπο της Ιερισσού, οπότε και αν τον επηρεάζουν.

Για τη μελέτη πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία 22 δειγμάτων εκ των οποίων 7 δείγματα πετρώματος, 4 δείγματα ενεργού ιζήματος κατά μήκος του ρέματος και 11 δείγματα εδάφους. Τα δείγματα αυτά μελετήθηκαν στο στερεοσκόπιο, στο μεταλλογραφικό και ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM), με περιθλασιμετρία ακτίνων X (XRD) και φασματοσκοπία με Φθορισμό των Ακτίνων X (XRF). Στα δείγματα μετρήθηκε το pH και έγιναν χημικές αναλύσεις ICP-ES, ICP, ατομική απορρόφηση (AAS), πυρομεταλλουργία (Fire Assay) και χρήση κλιβάνου καύσης (LECO/Σταθμικά).

Από την ορυκτολογική μελέτη στα πετρώματα προσδιορίστηκαν σουλφίδια, όπως σιδηροπυρίτης, χαλκοπυρίτης, μαγνητοπυρίτης, γαληνίτης, οξειδία-υδροξείδια του Fe, δηλαδή λειμωνίτης – γκαιτίτης και μαγνητίτης, οξειδία-υδροξείδια του Fe - Ti, όπως ιλμενίτης, οξείδιο Ti, αργιλικά ορυκτά και ορυκτά του φωσφόρου, όπως μοναζίτης, πυριτικά ορυκτά (χαλαζία, πλαγιόκλαστο, K-άστριοι, αμφίβολος, βιοτίτης, επίδοτο - αλλανίτης, τιτανίτης, ζirkόνιο), ανθρακικά ορυκτά (χλωρο - απατίτης, ασβεστίτης, δολομίτης), θειοάλατα (γύψος, βαρύτης) και ορυκτά του U και Th.

Στα ενεργά ιζήματα του ρέματος προσδιορίστηκαν σιδηροπυρίτης, λειμωνίτης – γκαιτίτης, αιματίτης και μαγνητίτης, ιλμενίτης, οξείδιο Ti, αργιλικά ορυκτά και μοναζίτης. Επίσης, προσδιορίστηκαν δολομίτης, γύψος, σκωρίες, οξειδία-υδροξείδια του Fe - Mn και πυριτικά ορυκτά, όπως χαλαζία, πλαγιόκλαστο, K-άστριοι, αμφίβολος, μαρμαρυγίες, πυρόξενος, χλωρίτης επίδοτο - αλλανίτης, τιτανίτης και ζirkόνιο.

Επίσης, στα δείγματα εδάφους προσδιορίστηκαν σιδηροπυρίτης, γιαιοσίτης, λειμωνίτης – γκαιτίτης, αιματίτης, μαγνητίτης, ιλμενίτης, οξείδιο Ti και αργιλικά

ορυκτά. Επίσης, προσδιορίστηκαν κερουσίτης, ασβεστίτης, χλωρο – απατίτης, οξείδια-υδροξείδια του Fe - Mn και πυριτικά ορυκτά, όπως χαλαζίας, πλαγιόκλαστο, K-άστριοι, αμφίβολος, μαρμαρυγίες, πυρόξενος, γρανάτης, επίδοτο – αλλανίτης και τιτανίτης.

Οι χημικές αναλύσεις των κύριων στοιχείων στα πετρώματα παρουσιάζουν περιεκτικότητα σε SiO_2 από 54,75 μέχρι 74,30 wt.%, σε TiO_2 από 0,10 έως 1,20 wt.%, Al_2O_3 από 14,60 έως 17,25 wt.%, Fe_2O_3 από 1,30 μέχρι 6,85 wt.%, MnO έως 0,15 wt.%, MgO από 0,70 έως 5,05 wt.%, CaO από 0,10 έως 6,40 wt.%, Na_2O από 0,60 έως 4,15 wt.%, K_2O από 1,25 μέχρι 4,20 wt.% και P_2O_5 από 0,05 έως 0,55 wt.%.

Οι χημικές αναλύσεις επιλεγμένων ιχνοστοιχείων στα πετρώματα παρουσιάζουν συγκέντρωση σε Ag από <2 μέχρι 7 ppm, As από <10 έως 40 ppm, B από <10 έως 175 ppm, Ba από 75 έως 350 ppm, Bi από <10 έως 175 ppm, Co από 40 έως 145 ppm, Cr από 45 έως 185 ppm, Cu από 15 έως 90 ppm, Li από <10 έως 185 ppm και Mn από 15 μέχρι 1035 ppm. Επίσης, ανιχνεύθηκαν συγκεντρώσεις σε Mo από <10 μέχρι 15 ppm, Ni από <10 μέχρι 20 ppm, Pb από 50 έως 2760 ppm, S από 660 μέχρι 30200 ppm, Sb από <10 έως 255 ppm, Se από <10 έως 85 ppm, Sr από 90 έως 500 ppm, V από <10 έως 110 ppm και Zn από 35 έως 295 ppm. Για τα ιχνοστοιχεία Au (< 0,1 ppm), Be (<10 ppm), Cd (<10 ppm) και Tl (<10 ppm) οι αναλύσεις έδειξαν συγκεντρώσεις κάτω του ανιχνεύσιμου ορίου.

Οι χημικές αναλύσεις των κύριων στοιχείων στα εδάφη παρουσιάζουν περιεκτικότητα σε SiO_2 από 58,75 μέχρι 66,00 wt.%, σε TiO_2 από 0,65 έως 0,80 wt.%, Al_2O_3 από 14,35 έως 17,10 wt.%, Fe_2O_3 από 2,40 μέχρι 11,05 wt.%, MnO έως 0,10 wt.%, MgO από 1,25 έως 2,65 wt.%, CaO από 0,25 έως 3,75 wt.%, Na_2O από 0,40 έως 2,95 wt.%, K_2O από 2,30 μέχρι 2,75 wt.% και P_2O_5 από 0,15 έως 0,35 wt.%.

Οι χημικές αναλύσεις ιχνοστοιχείων στα δείγματα εδάφους παρουσιάζουν συγκέντρωση σε Ag από <2 μέχρι 4 ppm, As από <10 έως 145 ppm, B από <10 έως 130 ppm, Ba από 50 έως 145 ppm, Bi από <10 έως 70 ppm, Cd από <10 μέχρι 15 ppm, Co από 15 έως 80 ppm, Cr από <10 έως 105 ppm, Cu από 15 έως 75 ppm, Li από <10 έως 255 ppm και Mn από 15 μέχρι 565 ppm. Επίσης, ανιχνεύθηκαν συγκεντρώσεις σε Mo από <10 μέχρι 20 ppm, Ni από <10 μέχρι 40 ppm, Pb από 35 έως 645 ppm, S από 1320 μέχρι 4460 ppm, Sb από <10 έως 235 ppm, Se από <10 έως 50 ppm, Sr από 25 έως 375 ppm, V από <10 έως 50 ppm και Zn από 15 έως 425 ppm.

Για τα ιχνοστοιχεία Au (< 0,1 ppm), Be (<10 ppm), και Tl (<10 ppm) οι αναλύσεις έδειξαν συγκεντρώσεις κάτω του ανιχνεύσιμου ορίου.

Οι χημικές αναλύσεις των κύριων στοιχείων στα ενεργά ιζήματα παρουσιάζουν περιεκτικότητα σε SiO₂ από 51,35 μέχρι 69,85 wt.%, σε TiO₂ από 0,50 έως 0,80 wt.%, Al₂O₃ από 11,60 έως 15,00 wt.%, Fe₂O₃ από 5,15 μέχρι 6,75 wt.%, MnO από 0,10 έως 0,50 wt.%, MgO από 2,20 έως 3,20 wt.%, CaO από 1,70 έως 3,35 wt.%, Na₂O από 1,30 έως 1,75 wt.%, K₂O από 1,90 μέχρι 2,50 wt.% και P₂O₅ από 0,15 έως 0,25 wt.%.

Οι χημικές αναλύσεις ιχνοστοιχείων στα πετρώματα παρουσιάζουν συγκέντρωση σε Ag από <2 μέχρι 2 ppm, As από <10 έως 500 ppm, B από <10 έως 85 ppm, Ba από 95 έως 225 ppm, Bi από 55 έως 110 ppm, Cd από <10 μέχρι 12 ppm, Co από 85 έως 125 ppm, Cr από 75 έως 200 ppm, Cu από 110 έως 190 ppm, Li από 100 έως 152 ppm και Mn από 1335 μέχρι 3935 ppm. Επίσης, ανιχνεύθηκαν συγκεντρώσεις σε Ni από 25 μέχρι 85 ppm, Pb από 275 έως 675 ppm, S από 1100 μέχρι 3570 ppm, Sb από 60 έως 120 ppm, Se από <10 έως 55 ppm, Sr από 410 έως 535 ppm, V από 30 έως 90 ppm και Zn από 360 έως 1535 ppm. Για τα ιχνοστοιχεία Au (< 0,1 ppm), Be (<10 ppm), Mo (<10 ppm) και Tl (<10 ppm), οι αναλύσεις έδειξαν συγκεντρώσεις κάτω του ανιχνεύσιμου ορίου.

Σύμφωνα με τους Jenne (1968), Mulligan et al. (2001), Kabata-Pendias (2011), τα οξείδια Fe - Mn αποτελούν φορείς βαρέων μετάλλων λόγω της προσρόφησης ανόργανων ρυπαντών. Οπότε, η συγκέντρωση βαρέων μετάλλων στα οξείδια μπορεί να είναι μέχρι και 20 φορές υψηλότερη από την περιβάλλουσα εδαφική μάζα. Η συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων στα οξείδια Fe - Mn έχει την εξής σειρά: Pb>Cd>Mn>Co>Ni>Fe (McKenzie 1980, Nimfopoulos et al. 1997).

Ο Fe εντοπίστηκε στα πετρώματα και στα εδάφη σε χαμηλή μέχρι μέτρια συγκέντρωση με βάση την παγκόσμια μέση σύσταση ηπειρωτικού φλοιού και επιφανειακών εδαφών. Στα ιζήματα η συγκέντρωση είναι χαμηλή βάσει της παγκόσμιας μέσης σύστασης ηπειρωτικού φλοιού και σημαντική βάσει της παγκόσμιας μέσης σύστασης ψαμμιτών. Ο Fe προέρχεται από τα σουλφίδια, τα οξείδια - υδροξείδια Fe - Mn και Fe - Ti, το γιαιροσίτη και τα πυριτικά ορυκτά.

Σύμφωνα με τον Mulligan et al. (2001), ο Pb προέρχεται κυρίως από μεταλλευτική και μεταλλουργική δραστηριότητα και η κατανομή του στους ορίζοντες του εδάφους είναι ανομοιόμορφη. Σύμφωνα με τους Mulligan et al. (2001), Kabata-Pendias (2011) σε συνθήκες εδάφους με αυξημένη οργανική ουσία και οξύτητα, δηλαδή χαμηλό pH, αυξάνεται η διαλυτότητα, άρα και η κινητικότητα, του Pb και προσροφάται μόνο από τα ανώτερα στρώματα λόγω της οργανικής ουσίας. Ωστόσο, σε άλλες εδαφολογικές συνθήκες η κινητικότητά του είναι περιορισμένη. Σύμφωνα με την παγκόσμια μέση σύσταση ηπειρωτικού φλοιού, επιφανειακών εδαφών και ψαμμιτών όλα τα δείγματα του ρέματος είναι πολύ εμπλουτισμένα σε Pb.

Κατά την αποσάθρωση ή διαλυτοποίηση ορυκτών απελευθερώνεται δισθενής Zn, ο οποίος ακινητοποιείται στους επιφανειακούς εδαφικούς ορίζοντες μέσω της προσρόφησής του από την οργανική ύλη, τα οξείδια-υδροξείδια Fe-Mn, τα ανθρακικά και τα αργιλικά ορυκτά (Kabata-Pendias 2011). Η προσρόφηση του Zn πραγματοποιείται στο κλάσμα της αργίλου σε εδάφη πλούσια σε οξείδια (McBride et al. 1979). Επιπλέον, σε συνθήκες χαμηλού pH (<7), μειώνεται η προσρόφηση του, οπότε αυξάνεται η κινητικότητά του. Ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση ηπειρωτικού φλοιού και επιφανειακών εδαφών τα πετρώματα και τα εδαφικά δείγματα είναι σημαντικά εμπλουτισμένα σε Zn, ενώ τα δείγματα ενεργού ιζήματος χαρακτηρίζονται ως πολύ εμπλουτισμένα βάσει την παγκόσμια μέση σύσταση ηπειρωτικού φλοιού και ψαμμιτών. Η προέλευση Zn μέσα στον γκαϊτίτη – λειμωνίτη πιθανόν αποδίδεται στον σφαλερίτη.

Ο Ag σε ορισμένα δείγματα εντοπίστηκε σε ορισμένα δείγματα κάτω από το όριο ανιχνευσιμότητας. Γενικότερα, εντοπίστηκε σε υψηλή συγκέντρωση ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση ηπειρωτικού φλοιού, επιφανειακών εδαφών και ψαμμιτών. Η προέλευσή του οφείλεται πιθανόν στα σουλφίδια, όπως σιδηροπυρίτης, γαληνίτης, κ.α..

Όσον αφορά τις ενώσεις του As, δεσμεύονται μέσω της προσρόφησης από αργιλικά ορυκτά και οξείδια μετάλλων (Violante et al. 2008). Επιπλέον, η συμπεριφορά του As στα εδάφη εξαρτάται από την ένωσή του με P, Fe, Al και Mn. Επίσης, το As συνδέεται με οργανική ύλη και με κρυσταλλικά και άμορφα οξείδια του Fe (Dudas 1987). Σε όλα τα δείγματα εντοπίστηκε σε υψηλή συγκέντρωση ως

προς την παγκόσμια μέση σύσταση ηπειρωτικού φλοιού, επιφανειακών εδαφών και ψαμμιτών.

Το Β εντοπίστηκε σε όλα τα δείγματα. Η συγκέντρωσή του ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση ηπειρωτικού φλοιού, επιφανειακών εδαφών και ψαμμιτών μειώνεται από τα ανάντη του ρέματος προς τα κατόντη, όπου τα δείγματα εκεί είναι πτωχευμένα σε αυτό το ιχνοστοιχείο. Η προέλευσή του οφείλεται στα αργιλικά ορυκτά, καθώς και την οργανική ουσία που περιέχεται στα δείγματα (Shorrocks, 1997).

Το Ba εντοπίστηκε σε όλα τα δείγματα με χαμηλές συγκεντρώσεις, εκτός από τη συγκέντρωσή του στα ενεργά ιζήματα ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση των ψαμμιτών, όπου ήταν υψηλή. Το Ba οφείλεται στο βαρύτη.

Όσον αφορά το Bi παρατηρείται υψηλός εμπλουτισμός στα πετρώματα, εδάφη και ιζήματα με βάση την παγκόσμια μέση σύσταση ηπειρωτικού φλοιού και επιφανειακών εδαφών. Η προέλευσή του πιθανότατα οφείλεται στα σουλφίδια και στον αντιμονίτη Μαύρων Πετρών (Λιβιάς Α. κ.α. 2015).

Το Cd ανιχνεύθηκε κάτω από το όριο ανιχνευσιμότητας στα δείγματα, εκτός από ένα δείγμα εδάφους και ένα ενεργού ιζήματος. Στα δείγματα αυτά οι συγκεντρώσεις είναι υψηλές ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση ηπειρωτικού φλοιού και επιφανειακών εδαφών.

Όλα τα δείγματα είναι πολύ εμπλουτισμένα σε Co ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση ηπειρωτικού φλοιού, επιφανειακών εδαφών και ψαμμιτών. Η συγκέντρωση αυτή οφείλεται στο σιδηροπυρίτη, μαγνητοπυρίτη και μαγνητίτη.

Το Cr εντοπίστηκε στα δείγματα με συγκεντρώσεις χαμηλές έως μέτριες ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση ηπειρωτικού φλοιού και επιφανειακών εδαφών. Όμως, η συγκέντρωσή του είναι μέτρια έως σημαντική στα δείγματα ενεργού ιζήματος ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση των ψαμμιτών. Η προέλευσή του οφείλεται στα βασικά πετρώματα της ευρύτερης περιοχής και συγκεκριμένα στους αμφιβολίτες.

Ο Cu προέρχεται από το χαλκοπυρίτη. Η συγκέντρωσή του στα δείγματα εδάφους και πετρώματος είναι χαμηλή έως μέτρια ως προς την παγκόσμια μέση

σύσταση ηπειρωτικού φλοιού και επιφανειακών εδαφών, ενώ στα ενεργά ιζήματα είναι μέτρια έως σημαντική ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση ηπειρωτικού φλοιού.

Το Li σε ορισμένα δείγματα παρατηρήθηκε σε συγκέντρωση κάτω του ανιχνεύσιμου ορίου, ενώ στα υπόλοιπα δείγματα η συγκέντρωσή του είναι από μέτρια έως υψηλή. Πιο συγκεκριμένα, η συγκέντρωσή του ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση ηπειρωτικού φλοιού στα πετρώματα και στα ενεργά ιζήματα είναι σημαντική μέχρι υψηλή, ενώ στα ιζήματα ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση ψαμμιτών είναι υψηλή. Ακόμη, τα εδαφικά δείγματα είναι μέτρια έως πολύ εμπλουτισμένα ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση ηπειρωτικού φλοιού και επιφανειακών εδαφών. Το Li προέρχεται από το λεπιδόλιθο.

Το Mn εντοπίστηκε στα πετρώματα ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση ηπειρωτικού φλοιού σε χαμηλή έως μέτρια συγκέντρωση, στα εδάφη σε χαμηλή περιεκτικότητα με βάση την παγκόσμια μέση σύσταση ηπειρωτικού φλοιού και σε χαμηλή έως μέτρια με βάση την παγκόσμια μέση σύσταση επιφανειακών εδαφών. Στα ενεργά ιζήματα η περιεκτικότητα είναι μέτρια έως σημαντική βάσει της παγκόσμιας μέσης σύστασης ψαμμιτών. Το Mn προέρχεται από το μαγνητίτη, ιλμενίτη, οξειδίο Ti, την αμφίβολο, το γρανάτη, επίδοτο – αλλανίτη, τιτανίτη και τα οξείδια – υδροξείδια Fe – Mn. Επίσης, το Mn οφείλεται και στις διάσπαρτες εμφανίσεις σκωριών από την αρχαιομεταλλουργική δραστηριότητα στην ευρύτερη περιοχή, οι οποίες συνηθίζονταν στο παρελθόν να χρησιμοποιούνται ως υλικό οδοστρώσης. Έτσι, έχουμε ως αποτέλεσμα τη σημαντική διασπορά των σκωριών στην ευρύτερη περιοχή της ΒΑ Χαλκιδικής και την ενσωμάτωσή τους στο γεωχημικό υπόβαθρο εμπλουτίζοντας έτσι το έδαφος σε Mn.

Το Mo ανιχνεύθηκε κάτω από το όριο ανιχνευσιμότητας στα δείγματα, εκτός από ένα δείγμα πετρώματος και ένα εδάφους. Στα δείγματα αυτά οι συγκεντρώσεις είναι υψηλές ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση ηπειρωτικού φλοιού και επιφανειακών εδαφών. Η προέλευσή του είναι είτε λιθογενής είτε ανθρωπογενής.

Το Ni εντοπίστηκε σε ορισμένα δείγματα κάτω του ανιχνεύσιμου ορίου. Στα πετρώματα εντοπίστηκε ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση ηπειρωτικού φλοιού σε χαμηλή έως μέτρια συγκέντρωση, στα εδάφη σε μέτρια περιεκτικότητα με βάση την παγκόσμια μέση σύσταση ηπειρωτικού φλοιού και σε χαμηλή έως μέτρια με

βάση την παγκόσμια μέση σύσταση επιφανειακών εδαφών. Στα ενεργά ιζήματα η περιεκτικότητα είναι μέτρια έως σημαντική ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση ηπειρωτικού φλοιού και υψηλή βάσει της παγκόσμιας μέσης σύστασης ψαμμιτών. Επίσης, η περιεκτικότητά του στα δείγματα οφείλεται στο σιδηροπυρίτη, μαγνητοπυρίτη, μαγνητίτη και μεταλλοφορία Fe – Ni.

Το S εντοπίστηκε σε όλα τα δείγματα σε υψηλή συγκέντρωση του ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση ηπειρωτικού φλοιού, επιφανειακών εδαφών και ψαμμιτών και οφείλεται στα σουλφίδια, οξείδια Fe – Mn – Ti και στα ένυδρα θειικά ορυκτά.

Το Sb, όπως και το Se, εντοπίστηκαν σε ορισμένα δείγματα κάτω του ανιχνεύσιμου ορίου, ενώ στα υπόλοιπα σε υψηλή συγκέντρωση του ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση ηπειρωτικού φλοιού, επιφανειακών εδαφών και ψαμμιτών. Η περιεκτικότητά του Sb οφείλεται στο χαλκοπυρίτη και στον αντιμονίτης Μαύρων Πετρών (Λιβάς Α. κ.α. 2015), ενώ του Se σε προσμείξεις σε θειούχα ή θειικά ορυκτά πολλών μετάλλων (Kabata-Pendias A. 1998, Fordyce F. 2007).

Τα πετρώματα είναι πτωχευμένα έως μέτρια εμπλουτισμένα σε Sr ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση ηπειρωτικού φλοιού, όπως και τα εδάφη ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση επιφανειακών εδαφών. Τα εδάφη ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση ηπειρωτικού φλοιού χαρακτηρίζονται πτωχευμένα, τα ενεργά ιζήματα ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση ηπειρωτικού φλοιού μέτρια εμπλουτισμένα και ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση ψαμμιτών πολύ εμπλουτισμένα σε Sr. Το ιχνοστοιχείο αυτό πιθανόν προέρχεται από το επίδοτο.

Τα ενεργά ιζήματα είναι μέτρια έως σημαντικά εμπλουτισμένα σε V ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση ψαμμιτών, ενώ όλα τα δείγματα είναι πτωχευμένα ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση ηπειρωτικού φλοιού και επιφανειακών εδαφών. Επίσης, σε ορισμένα δείγματα εντοπίζεται με συγκέντρωση κάτω του ανιχνεύσιμου ορίου, ενώ στα υπόλοιπα προέρχεται από τους τιτανίτη, μαγνητίτη και οξείδια Ti.

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων Be, Tl και Au είναι κάτω από το όριο ανιχνευσιμότητας.

Επίσης, μέσω των αναλύσεων του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης, εντοπίστηκαν ιχνοστοιχεία που λόγω της χαμηλής συγκέντρωσης δεν ανιχνεύτηκαν

κατά τη διαδικασία των χημικών αναλύσεων. Τα Nb, Ta και W εντοπίστηκαν στα οξείδια Ti, το Cl στο χλωροαπατίτη και στον κερουσίτη και ο C στους ασβεστίτη και δολομίτη. Ακόμη, τα Zr και Hf προέρχονται από το ζirkόνιο, τα La, Ce, Nd από τον αλλανίτη και το μοναζίτη, το Th από τον αλλανίτη, μοναζίτη και τα ορυκτά U και Th, το Y από τα ορυκτά U και Th και το μοναζίτη και τέλος το U από τα ορυκτά U και Th.

9. Συμπεράσματα

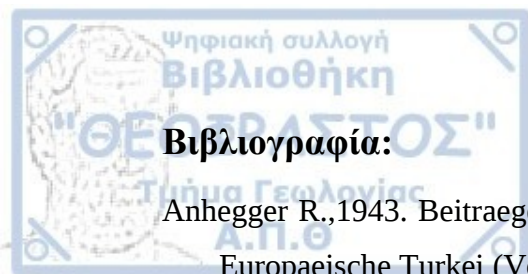
- Το ρέμα Καρβουνόσκαλα ταξινομείται με βάση τις κοκκομετρικές αναλύσεις ιστολογικά από πηλοαμμοκροκαλώδη έως κροκαλοπηλοαμμόδη και σπάνια κροκαλοπηλώδη. Οι κόκκοι στο σύνολό τους κυρίως έχουν μέγεθος κάτω από 2 mm.
- Το ρέμα χαρακτηρίζεται ως χείμαρρος λόγω της μη μόνιμης ροής νερού.
- Το ρέμα περιέχει, εκτός από τα σύνδρομα ορυκτά της πρωτογενούς μεταλλοφορίας της περιοχής και μεταλλικά ορυκτά από τα πετρώματα που τη φιλοξενούν, όπως σουλφίδια και οξείδια – υδροξείδια Fe - Mn και Fe -Ti.
- Τα μεταλλικά ορυκτά, που εντοπίστηκαν στα πετρώματα είναι σιδηροπυρίτης, χαλκοπυρίτης, γαληνίτης, μαγνητοπυρίτης, ιλμενίτης, μαγνητίτης, οξείδιο Ti, γκαιτίτης – λειμωνίτης, μοναζίτης, τιτανίτης, ζirkόνιο και ορυκτά του U και Th.
- Στα δείγματα εδάφους αναγνωρίστηκαν, εκτός από τα διαφανή, τα μεταλλικά ορυκτά σιδηροπυρίτης (έως 2 wt.%), γαιροσίτης (έως 6 wt.%), ιλμενίτης, μαγνητίτης, οξείδιο Ti, γκαιτίτης – λειμωνίτης, τιτανίτης, αιματίτης, οξείδια Fe – Mn και κερουσίτης.
- Στα δείγματα ενεργού ιζήματος εντοπίστηκαν σιδηροπυρίτης (έως 6 wt.%), ιλμενίτης, μαγνητίτης, οξείδιο Ti, γκαιτίτης – λειμωνίτης, μοναζίτης, τιτανίτης, ζirkόνιο, αιματίτης, σκωρίες και οξείδια Fe – Mn.

- Τα δείγματα πετρώματος αποτελούνται από μη μεταλλικά ορυκτά, όπως χαλαζίας (32 έως 74 wt.%), πλαγιόκλαστο (5 έως 29 wt.%), μικροκλινής (1 έως 6 wt.%), βιοτίτης (5 έως 14 wt.%), αργιλικά (1 έως 10 wt.%), δολομίτης (έως 2 wt.%), ασβεστίτης (έως 7 wt.%), αμφίβολος (έως 6 wt.%), χλωρο – απατίτης, επίδοτο – αλλανίτης, γύψος και βαρύτης.
- Τα δείγματα εδάφους αποτελούνται από χαλαζία (42 έως 77 wt.%), αλβίτη (1 έως 22 wt.%), μικροκλινή (2 έως 13 wt.%), βιοτίτη (2 έως 4 wt.%), αργιλικά (1 έως 17 wt.%), ασβεστίτη (έως 2 wt.%), αμφίβολο (έως 3 wt.%), χλωρο – απατίτη, επίδοτο – αλλανίτη, πυρόξενο, γρανάτη και μοσχοβίτη.
- Τα μη μεταλλικά ορυκτά που αναγνωρίστηκαν στα ενεργά ιζήματα του ρέματος είναι χαλαζίας (51 έως 69 wt.%), πλαγιόκλαστο (6 έως 13 wt.%), μικροκλινής (έως 6 wt.%), βιοτίτης (1 έως 2 wt.%), αργιλικά (2 έως 4 wt.%), δολομίτης (έως 2 wt.%), αμφίβολος (1 έως 6 wt.%), επίδοτο – αλλανίτης, γύψος, πυρόξενο, χλωρίτης και μοσχοβίτης.
- Οι μετρήσεις pH έδειξαν πως τα δείγματα του δυτικού (5,45 έως 4,65) και του ανατολικού κλάδου (6,70 έως 5,15) είναι ελαφρώς όξινα, ενώ το δείγμα που βρίσκεται στην εκβολή του ρέματος και στα κατάντη του κύριου κλάδου (SKM2) (8,35) είναι αλκαλικό. Το pH μεταβάλλεται από τα ανάντη προς τα κατάντη του ρέματος και αυτό πιθανόν να οφείλεται στην παρουσία κροκαλών μαρμάρου από τη γύρω περιοχή, που εξουδετερώνουν το pH, καθώς επίσης και στην πιθανή υφαλμύριση των νερών στα κατάντη του ρέματος.
- Τα πετρώματα είναι πολύ εμπλουτισμένα (Συντελεστής >6) σε Ag, As, B, Bi, Co, Li, Mo, Pb, S, Sb και Se και σημαντικά εμπλουτισμένα (Συντελεστής 3-6) σε Zn ως προς τη παγκόσμια μέση σύσταση του ηπειρωτικού φλοιού.
- Τα εδάφη είναι πολύ εμπλουτισμένα (Συντελεστής >6) σε Ag, As, B, Bi, Cd, Co, Mo, Pb, S, Sb και Se και σημαντικά εμπλουτισμένα (Συντελεστής 3-6) σε Li, Zn και P₂O₅ ως προς τη παγκόσμια μέση σύσταση του ηπειρωτικού φλοιού και των επιφανειακών εδαφών.

- Τα ενεργά ιζήματα είναι πολύ εμπλουτισμένα (Συντελεστής >6) σε Ag, As, B, Bi, Cd, Co, Li, Pb, S, Sb, Se και Zn και σημαντικά εμπλουτισμένα (Συντελεστής 3-6) σε Mn, Cu και Ni βάσει της παγκόσμιας μέσης σύστασης του ηπειρωτικού φλοιού. Όμως, Βάσει της παγκόσμιας μέσης σύστασης των ψαμμιτών τα ενεργά ιζήματα είναι πολύ εμπλουτισμένα (Συντελεστής >6) σε Ag, As, Ba, Co, Li, Ni, Pb, S, Sb, Se, Sr και Zn και σημαντικά εμπλουτισμένα (Συντελεστής 3-6) σε Fe, Cr και P_2O_5 .
- Ο εμπλουτισμός του ρέματος σε ιχνοστοιχεία αποδίδεται στα πετρώματα της ευρύτερης περιοχής, στην παλαιότερη μεταλλουργική και μεταλλευτική δραστηριότητα και στην ανθρωπογενή παρέμβαση.

Το ρέμα Καρβουνόσκαλα βρίσκεται στη ΒΑ Χαλκιδική και συγκεκριμένα δυτικά του ρέματος Αργυρώ, διασχίζει την κατοικημένη περιοχή του Στρατωνίου και εκβάλλει στον κόλπο της Ιερισσού. Συνολικά συλλέχθηκαν 22 δείγματα εκ των οποίων 7 δείγματα πετρώματος, 4 δείγματα ενεργού ιζήματος και 11 δείγματα εδάφους κατά μήκος του ρέματος. Από την ταξινόμηση των δειγμάτων προέκυψε ότι τα ιζήματα χαρακτηρίζονται από πηλοαμμοκροκαλώδη έως κροκαλοπηλοαμμώδη και σπάνια κροκαλοπηλώδη. Από τη μικροσκοπική και ακτινογραφική μελέτη στα πετρώματα του ρέματος προσδιορίστηκαν στα δείγματα τα μεταλλικά ορυκτά σιδηροπυρίτης, ιμμενίτης, μαγνητίτης, οξείδιο Ti, γκαιτίτης – λειμωνίτης, χαλκοπυρίτης, γαληνίτης, μαγνητοπυρίτης και ορυκτά του U και Th. Στα δείγματα εδάφους προσδιορίστηκαν ακόμη γιαροσίτης, αιματίτης, οξείδια Fe – Mn και κερουσίτης και στα ενεργά ιζήματα αιματίτης, μεταλλουργικές σκωρίες και οξείδια Fe – Mn. Τα μη μεταλλικά ορυκτά, που προσδιορίστηκαν σε όλα τα δείγματα, είναι πυριτικά και ανθρακικά, ενώ εντοπίστηκαν επιπλέον γύψος, βαρύτης και μοναζίτης στα πετρώματα και γύψος στα ενεργά ιζήματα. Οι μετρήσεις pH έδειξαν ότι τα δείγματα του δυτικού και του ανατολικού κλάδου είναι ελαφρώς όξινα, ενώ αυτά στην εκβολή του ρέματος και στα κατάντη του κύριου κλάδου είναι αλκαλικά. Το pH μεταβάλλεται επομένως από τα ανάντη προς τα κατάντη του ρέματος από ελαφρώς όξινο σε αλκαλικό. Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων συγκρίθηκαν με την παγκόσμια μέση σύσταση του ηπειρωτικού φλοιού, των επιφανειακών εδαφών και των ψαμμιτών. Όλα τα δείγματα είναι εμπλουτισμένα σε Ag, As, B, Bi, Co, Li, Pb, S, Sb, Se και Zn ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση του ηπειρωτικού φλοιού, των επιφανειακών εδαφών και των ψαμμιτών. Παρατηρείται επίσης εμπλουτισμός στα πετρώματα σε Mo, στα εδάφη σε Cd, Mo και P και στα ενεργά ιζήματα σε Mn, Cu και Ni βάσει της παγκόσμιας μέσης σύστασης του ηπειρωτικού φλοιού, ενώ βάσει της παγκόσμιας μέσης σύστασης των ψαμμιτών σε Sr, Fe, Cr και P.

Karvounoskala's stream is located in NE Ckalkidiki and specifically, west of Argiros' stream, it crosses the Stratonis residential area and flows into the Gulf of Ierissos. A total of 22 samples were collected, including 7 rock samples, 4 samples of active sediment and 11 soil samples along the stream. The classification of the samples revealed that the sediments were characterized by sandy silt conglomerate to silt sand conglomerate and rarely silt conglomerate. From the mineralogical study of the rock samples of the stream based on X-ray diffraction, optical and scanning electron microscopy the metallic minerals that were determined are pyrite, ilmenite, magnetite, Titanium oxide, goethite - limonite, chalcopyrite, galena, pyrrhotite and U and Th minerals. In the soil samples jarosite, hematite, mineral phases of Mn and Fe oxyhydroxides and cerussite were identified while in the active sediment samples hematite, slag and mineral phases of Mn and Fe oxyhydroxides were recognized. The non-metallic minerals identified in all the samples are silicates and carbonates, and additionally gypsum, baryte and monazite were found in the rocks as well as gypsum in the active sediments. The pH measurements showed that samples of the western and eastern branches of the stream are slightly acidic, while those in the estuary and downstream of the main branch are alkaline. The pH is therefore changed from upstream to downstream from slightly acid to alkaline. The results of the chemical analyses were compared to the global average composition of the continental crust, of the surface soils and of sandstones. All samples are enriched in Ag, As, B, Bi, Co, Li, Pb, S, Sb, Se and Zn relative to the global average composition of the continental crust, of the surface soils and of sandstone. In the rocks, enrichment is also observed in Mo, Cd, in the soils in Mo and P and in active sediments in Mn, Cu and Ni compared to the global average composition of the continental crust, while compared to the global average composition of sandstones enrichment is noticed in Sr, Fe, Cr and P.



Βιβλιογραφία:

Anhegger R., 1943. Beitrage zur Geschichte des Bergbaus im Osmanischen Reich, I Europaeische Türkei (Vol. 1), Istanbul.

Belon P., 1555. Les observations de plusieurs singularitez et choses memorables trouvées en Grèce, Asie, Judée, Egypte, Arabie et autres pays étrangers.

Paris: Antwerp, Chrispher Plantin.

Davies O., 1935. Roman mines in Europe. *Oxford, Clarendon Press.*

Dixon J. E. and Dimitriadis S., 1985. Metamorphosed ophiolitic rocks from the Serbo- Macedonian Massif, near Lake Volvi, north-east Greece.

Geol. Soc. London, Spec. Pub., 17,349-359.

Echtler H., Matte P., and Maluski H., 1987. Large southwestward ductile thrusting in the alpine Serbo-Macedonian belt. *Terra Cognita*, 7, p. 106.

European Goldfields, 2008. Development, Delivery, Growth. p. 16.

Folk, R. L., Andrews, P. B. and Lewis, D. W., 1970. Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 13, 937 – 968.

Fordyce F., 2007. "Selenium Geochemistry and Health".

AMBIO: A Journal of the Human Environment 36: 94.

Forward P. and Francis A., 2009. Technical Report on the Stratoni Project, Pb Zn Ag Deposits, Northern Greece. *European Goldfields Ltd.* p. 54.

Forward P., Francis A. and Liddell N., 2011. Technical Report on the Olympias Project, Au Pb Zn Ag Deposits, Northern Greece. *European Goldfields Ltd.* p. 207.

Frei R., 1992. Isotope (Pb, Rb-Sr, S, O, C, U-Pb) geochemical investigations on Tertiary intrusives and related mineralizations in the Serbomacedonian Pb-Zn, Sb + Cu-Mo metallogenic province in northern Greece. Ph.D. Thesis, ETH, Zurich, p. 231.

Fytikas M. D., Innocenti F., Manetti P., Mazzuoli R., Peccerillo A. and Villari L., 1984. Tertiary to Quaternary evolution of volcanism in the Aegean region. In D. J. E., and R. A. F., *The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean* (Vol. 17, pp. 687-699). *Geol. Soc. London. Spec. Publ.*

Gilg H., 1993. Geochronological (K-Ar), fluid inclusion and stable isotope (C, H, O) studies of skarn, porphyry copper, and carbonate-hosted Pb-Zn (Ag, Au) replacement deposits in the Kassandra mining district (Eastern Chalkidiki, Greece). Ph.D. Thesis, ETH, Zurich.

Gilg H. and Frei R., 1994. Chronology of magmatism and mineralization in the Kassandra mining area, Greece: The potential and limitations of dating hydrothermal illites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58(9), pp. 2107-2122.

Hahn A., Rankin A., Treloar P., Naden J., Forward P. and Kilias S.P., 2010. Hydrothermal Pb-Zn-AuAg and Cu-Au mineralisation in the Kassandra mine district, N. Greece: a metallogenetic model with regional economic implications?, *Abstract Volume of the XIX Carpatho-Balkanian Geological Association Congress*, v. 39 , p. 151-152.

Håkanson L., 1980. Contamination factor (CF) - Ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Research*, 14, pp. 975-1001.

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

Harre W., Kockel F., Kreuzer H., Lenz H., Muller P. and H.W., W., 1968. Über Rejuvenation im Serbo-Mazedonischen Massiv (Deutung radiometrischen Altersbestimmungen). *23 Int Geol Congr*, (pp. 223-236). Praga.

Himmerkus F., Reischmann T. and Kostopoulos D., 2006. Late Proterozoic and Silurian basement units within the Serbomacedonian massif, northern Greece: the significance of terrane accretion in the Hellenides. In: Robertson, and Mountrakis, *Tectonic Development of the Eastern Mediterranean Region* (pp. 35-50). London. Sp. Publ.

Himmerkus F., Anders B., Reischmann T. and Kostopoulos D., 2007. Gondwana-derived terranes in the northern Hellenides, *Geological Society of America Memoirs*, v. 200, p. 379-390.

Jenne E.A., 1968. Controls on Mn, Fe, Co, Ni, Cu, and Zn concentrations in soils and water—the significant role of hydrous Mn and Fe oxides; in Gould, R.F. (ed.), Trace Inorganics in Water, Advances in Chemistry Series No. 73: *American Chemical Society*, Washington, D.C., pp. 337–387.

Kabata-Pendias A., 1998. "Geochemistry of selenium". *Journal of environmental pathology, toxicology and oncology* : official organ of the International Society for Environmental Toxicology and Cancer 17 (3–4): 173–177.

Kabata-Pendias A., 2011. Trace elements in soils and plants, 4th ed. London, New York: Taylor and Francis.

Kallianiotis A., 1999. The anchovy fishery in the Aegean Sea. A flourishing industry or a lost affair? *Scientia Marina* 60 (Suppl. 2), 287–28899

Kalogeropoulos S. and Economou G., 1987. A study of carbonate sphalerites from the carbonate- hosted Pb-Zn sulphide deposits of the eastern Chalkidiki Peninsula, Northern Greece. *Canadian Mineralogist* (25), pp. 639-646.

Kalogeropoulos S., Chorianopoulos E., Bitzios D. and Hellingwerf R., 1989a. A study of the mineralogical and geochemical changes of the Kerdilia marbles in relation to the Pb-Zn (Au,Ag) sulphide ore deposits. Unpub. report, *I.G.M.E.*, 21

Kalogeropoulos S., Kilias S., Bitzios D., Nicolaou M. and Both R., 1989b. Genesis of the Olympias carbonate-hosted Pb-Zn (Au, Ag) sulphide ore deposit, eastern Chalkidiki, northern Greece. *Econ. Geol.*, 84, pp. 1210-1234.

Kalogeropoulos S., Frei R., Nikolaou M. and Gerouki F., 1990. Origin and metallogenetic significance of the Tertiary Stratoni "granodiorite", Chalkidiki N. Greece: Isotopic and chemical evidence. *Bull Geol Soc Greece*, XXVI(23), pp. 23-38.

Kilias A., Falalakis G. and Mountrakis D., 1999. Cretaceous-Tertiary structures and kinematics of the Serbomacedonian metamorphic rocks and their relation to the exhumation of the Hellenic Hinterland. *Int. Journ. Earth Sciences*, 88, pp. 513-531.

Kockel F. and Walther H., 1968. Zur Geologischen entwicklung des Sudli-chen Serbomazedonischen massivs. *Bulg. Ak. Sc. Bull. Geol.*, KH XVII, pp. 133-142.

Kockel F., Mollat H. and Walther H., 1971. Geologie des Serbo-Mazedonischen Massivs und seines mesozoischen Rahmens (Nord-Griechenland). *Geol. Jahrb.*, 89, pp. 529-551

Kockel F., Mollat H. and Gundlach H., 1975. Hydrothermally altered and (copper) mineralized porphyritic intrusions in the Serbo-Macedonian Massif (Greece). *Mineral. deposita*, 10, pp. 195-204.

Kockel F., Mollat H. and Walther H., 1977. Erläuterungen zur Geologischen Karte der Chalkidhiki und angrenzender Gebiete 1:100.000 (Nord-Griechenland). Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.

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

Kydonakis K., Brun J.-P., Sokoutis D., Gueydan F., 2015. Kinematics of Cretaceous subduction and exhumation in the western Rhodope (Chalkidiki block). *Tectonophysics* 665 (2015) pp. 218-235.

Kydonakis K., Brun J.-P., Poujol M., Monie P., Chatzitheodoridis E., 2016. Inferences on the Mesozoic evolution of the North Aegean from the isotopic record of the Chalkidiki block. *Tectonophysics* 682 (2016) pp. 65-84.

Leake W., 1835. *Travels in Northern Greece* (Vol. III). London. p. 553

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

McBride M. B., Blasiak J. J., 1979. Zinc and copper solubility as a function of pH in an acid soil. *Soil Sci. Am. J.*, 43, 866.

McKenzie R.M., 1980. The adsorption of lead and other heavy metals on oxides of manganese and iron. *Aust. J Soil Res.*, 18, 61-73.

Melfos V., Voudouris P.C., 2012. Geological, Mineralogical and Geochemical Aspects for Critical and Rare Metals in Greece. *Minerals*, 2, 300-317

Merciel J., 1966. Etude géologique des zones internes des Hellenides en Macédoine centrale. *Ann. Geol. des Pays Hell.*, 20, pp. 1-793.

Mountrakis D. M. and Tranos M. D., 2004. The Kavala–Xanthi–Komotini fault (KXKF): a complicated active fault zone in Eastern Macedonia– Thrace (Northern Greece). In: Chatzipetros, A. A. and Pavlides, S. B. (Eds), *5th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology*, Thessaloniki, Greece, 2, pp. 857–860.

Mulligan C.N., Yong R.N., Gibbs B.F., 2001. Remediation technologies for metalcontaminated soils and groundwater: an evaluation. *Eng. Geol.*, 60, pp. 193-207.

Nebel M., 1989. Metamorphism and polygenesis of the Madem Lakkos polymetallic sulphide deposit, Chalkidiki, Greece. Ph.D. Thesis, Colorado School of Mines.

Nebel M., Hutchinson R., and Zartman R., 1991. Metamorphism and polygenesis of the Madem Lakkos polymetallic sulphide deposit, Chalkidiki, Greece. *Econ. Geol.*, 86, pp. 81-105.

Neubauer W., 1957. Geologie der blei-zinkreichen Kieslagerstätten von Kassandra (Chalkidike, Griechenland). *Berg und Huttenmannische Mh.*, 102, pp. 1-16.

Nicolaou M., 1960. L' intrusion granitique dans la region de Stratoni-Olympiade et sa relation avec la metallogenese. *Annal. Geol. des Pays Helleniques*, 11, pp. 214-265.

Nicolaou M., 1964. The mineralogy and micrography of the sulphide ores of Kassandra mines Greece. *Annal. Geol. des Pays Helleniques*, 16, pp. 111-139.

Nicolaou M., and Kokonis I., 1980. Geology and development of the Olympias mine, eastern Chalkidiki, Macedonia, Greece. In: M. Jones (Ed.), *Complex sulphide ores* (pp. 260-270). London: Inst. Mining Metallurgy.

Nimfopoulos M.K., Pattrick R.A.D., Michailidis K.M., Polya D.A. and Esson J., 1997. Geology, geochemistry and origin of the continental karst-hosted supergane manganese deposits in the western Rhodope massif, Macedonia, northern Greece. *Explor. Min. Geol.*, 6, pp. 171-184.

Papadakis A. and Michailidis K., 1976. Hydrothermal alteration and porphyry copper type mineralization in the subvolcanic rocks of eastern Chalkidiki (Greece). *Sci. Annals, Fac. Phys. and Mathem., Univ. Thessaloniki*, 16, pp. 451-473.

Pavlidis S. and Kiliass A., 1987. Neotectonic and active faults along the Serbomacedonian zone (Chalkidiki, N. Greece). *Annales Tectonicae*, 1, pp. 97-104.

Pavlidis S. B. and Tranos M. D., 1991. Structural characteristics of two Strong eart hquakes in the North Aegean: Ierissos (1932) and Agios efstratios (1968). *J. Sruct. Geol.* 13, 2:205-214.

- Perelomov L.V., Kandeler E., 2006. Effects of soil microorganisms on the sorption of zinc and lead compounds by goethite. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 169:95 – 100.
- Perissoratis C. and Mitropoulos D., 1988. Late Quaternary Evolution of the Northern Aegean Shelf. *Institute of Geology and Mineral Exploration*. Athens.
- Rudnick R. L. and Fountain D. M., 1995. *Rev. Geophys.* 33: 267-309.
- Sakellariou D., 1989. Geologie des Serbomazedonischen Massivs in der nordostlichen Chalkidiki, N.-Griechenland-Deformation und Metamorphose. *Geological Monographs*. National and Kapodistrian University of Athens, Dept. of Geology, Dynamic, Tectonic, Applied Geology, 2, pp. 1-177.
- Sagui L.C., 1928. The ancient mining works of Cassandra, Greece. *Economic Geology*, 23, p. 671.
- Schlee, J.S., 1973. Atlantic continental shelf and slope of the United States - sediment texture of the northeastern part. *US Geological Survey Professional Paper* 529-L, pp. 64.
- Shepard, F.P., 1954. Nomenclature based on sand – silt - clay ratios. *Journal of Sedimentary Petrology* 24 (3), 151 – 158.
- Shorrocks V.M., 1997. The occurrence and correction of boron deficiency. *Plant Soil* 193:121-148.
- Sylaios G., Koutrakis E. and Kallianiotis A., 2006. Hydrographic variability, water masses dynamics and baroclinic circulation at Strymonikos Gulf, N. Greece. *Continental Shelf Research*, 26: 217235101
- Taylor S. R. and McLennan S.M., 1985. *The continental Crust: Its composition and evolution*. Blackwell Scientific Public., Oxford, England, 312 pp.
- Tompouloglou C., 1981. Les mineralisations tertiaires, type cuivre porphyrique, du massif Serbo-Macedonien (Macedoine Grece) dans leur contexte magmatique (avec un traitement geostatistique pour les donnees du prospect d' Alexia). Ph.D. Thesis, Ecole National Superieure des Mines de Paris.
- Tompouloglou C., Campiglio C. and Bellon H., 1986. Les manifestation magmatiques dans le Massif Serbo-Macedonien (Greece) a l' Oligo-Miocene; Precisions apportees par l' analyse radiometrique 40K-40Ar. *Comp. Rend. Acad. Sci.*, 302, pp. 431-436.

Vavelidis M., Pernicka E. and Wagner G., 1983. Untersuchungen in den Pb-Ag und AuVorkommen von NE-Chalkidiki (Nordgriechenland). Beihefte zum Eurp. J. Miner., 61, pp. 212-213.

Vavelidis M., 1989. Das Au-Ag Vorkommen von Metagitsi. Chalkidiki (Nordgriechenland). Berichte der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft. Beih. z. Eur. J. Mineral. Vol.1.

Voidomatis P., Pavlides S. and Papadopoulos G., 1990. Active deformation and seismic potential in the Serbomacedonian zone, northern Greece. Tectonophysics, 179, pp. 1-9.

Wagner G., Pernicka E., Vavelidis M., Baranyi I. and Bassiakos I., 1986. Archaeometallurgische Untersuchungen auf Chalkidiki. Anschnitt, 38(5-6), pp. 166-186.

Ελληνική βιβλιογραφία

Αργυράκη Α., 2007. Σημειώσεις του μαθήματος Αναλυτική Γεωχημεία. Ε.Κ.Π.Α. Αθήνα.

Αργυράκη Α., Καντηράνης Ν., Κελεπερτζής Ε., Πασιόπουλος Ν., Γιούρη Α., Στεργίου Χ., Καρέτου Α., Φλίγκος Γ., Σακαρίκου Α., 2016. Εδαφογεωχημική διασκόπηση για τον προσδιορισμό του γεωχημικού υποβάθρου σε περιοχές ανάντη και εκτός των έργων της εταιρείας ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΧΡΥΣΟΣ Α.Ε.Μ.Β.Χ. στην περιφερειακή ενότητα Χαλκιδικής. Αδημοσίευτη Τεχνική Έκθεση για την Ελληνικός Χρυσός Α.Ε., Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ, Αθήνα. Σε συνεργασία με τον Τομέα Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας του Τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ.

Βαβελίδης Μ., 1993. Γιαροσίτης. «Ένα σημαντικό ορυκτό στην αναζήτηση και τον εντοπισμό αργύρου και χρυσού στην Ελλάδα», *Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ.*, σελ. 85 – 92. Αθήνα.

Βαβελίδης Μ., 2000. Πρόδρομη μελέτη των αρχαίων μεταλλευτικών και μεταλλουργικών εργασιών στην Κηπουρίστρα Ολυμπιάδας Χαλκιδικής. TVX-ΕΛΛΑΣ.

- Βαβελίδης Μ., 2009. Η μεταλλευτική και μεταλλουργική δραστηριότητα στη Μακεδονία και Θράκη, με αναφορά στη λατομική δραστηριότητα, από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα. Στο Ε. Ε. Χαρτοθήκη (Επιμ.), Μεταλλεία-Τόποι-Πόλεμοι, Αναγνώσεις χαρτών από το αρχείο της Επιθεώρησης Μεταλλείων Βορείου Ελλάδος του Υπουργείου Ανάπτυξης (σσ. 17-86). Θεσσαλονίκη: ΖΗΤΗ
- Βαβελίδης Μ. και Μέλφος Β., 2012. Αρχαιομεταλλουργική έρευνα στην περιοχή Κηπουρίστρα Ολυμπιάδας (Αρχαία Στάγαιρα), ΒΑ Χαλκιδική. *Επιστημονική Επετηρίδα του Τμήματος Γεωλογίας, Α.Π.Θ.*, 101, σσ. 9-16.
- Βακαλόπουλος Α., 1973. Ιστορία του νέου Ελληνισμού, Τουρκοκρατία 1669-1812, Η οικονομική άνοδος και ο φωτισμός του γένους (Τόμ. Δ'). Σελ. 312. Θεσσαλονίκη.
- Βακαλόπουλος Α., 1989. Πηγές της Ιστορίας της Μακεδονίας 1354-1833. (Μ. Βαφειάδου, Επιμ.). *Εταιρεία Μακεδονικών Σπουδών*. Σελ. 500. Θεσσαλονίκη.
- Δημητριάδης Σ., 1974. Πετρολογική μελέτη των μιγματιτικών γνευσίων και αμφιβολιτών των περιοχών Ρεντίνας - Ασπροβάλτας, Σταυρού - Ολυμπιάδος. Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Θεσσαλονίκη.
- Ζαΐμης Σ., 2013. Ορυκτολογική και γεωχημική έρευνα σε θέσεις αποκατάστασης του παλαιού τέλματος στη μεταλλευτική περιοχή Ολυμπιάδος, ΒΑ Χαλκιδική. Διατριβή Ειδίκευσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Σελ. 156 Θεσσαλονίκη.
- Θεοδωρούδης Α., Γαλανόπουλος Β., 1991. Η μαγγανιούχος μεταλλοφορία του Δημόσιου Μεταλλείου Βαρβάρας (τ.ΟΠ-13) του Ν. Χαλκιδικής (Αδημ. Εκθ. Ι.Γ.Μ.Ε.).
- Θεοδωρούδης Α., Γαλανόπουλος Β., 1994. Κοίτασμα Μαγγανίου της ΒΑ Χαλκιδικής. *Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας* τομ. XXX/1, Πρακτικά 7^{ου} Επιστημονικού Συνεδρίου. Σελ. 519-531. Θεσσαλονίκη.
- Καράμπελας Α., 2010. Μελέτη επιπέδων μαγνησίου, ασβεστίου και σιδήρου σε εδάφη και σε βαμβάκι (*Gossypium hirsutum*) στην περιοχή του Αλμυρού Ν. Μαγνησίας. Απεικόνιση της χωρικής παραλλακτικότητας των στοιχείων αυτών με GIS. Πτυχιακή εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. Σελ. 54. Βόλος.

Καρέτου Α., 2014. Ορυκτολογική έρευνα στην παλαιά απόθεση Αρσеноπυρίτη Ολυμπιάδας, ΒΑ Χαλκιδική. Πτυχιακή εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Σελ. 80. Θεσσαλονίκη.

Κασώλη-Φουρναράκη Α., 1981. Συμβολή στην ορυκτολογική και πετρολογική μελέτη αμφιβολιτικών πετρωμάτων της Σερβομακεδονικής Μάζας. Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Σελ. 231. Θεσσαλονίκη.

Καταφιώτη Μ., 2008. Εκτίμηση των περιβαλλοντικών συνθηκών στο Ν.Χαλκιδικής όσον αφορά τα βαρέα μέταλλα. Διατριβή Ειδίκευσης, Πανεπιστήμιο Πατρών. Σελ. 128. Πάτρα.

Κονοφάγος Κ., 1980. Στο αρχαίο Λαύριο και η Ελληνική τεχνική παραγωγής του αργύρου. Εκδοτική Ελλάδος Α.Ε., σελ. 458. Αθήνα.

Λιβάς Α., Καντηράνης Ν. και Φιλίππιδης Α., 2015. Επιστημονική Επετηρίδα, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 103, Σελ. 31 – 33. Θεσσαλονίκη.

Μαμαλάκης Ι., 1960. Νέα στοιχεία σχετικά με την Ελληνική Επανάσταση της Χαλκιδικής το 1821. *Δελτίον της Ιστορικής και Εθνολογικής Εταιρείας της Ελλάδος*, 14, σ. 454.

Μιχαλίδου Α., Χατζηπέτρος Α., Παυλίδης Σ., 2005. Ποσοτική ανάλυση - Μορφοτεκτονικοί δείκτες για τις περιοχές των ρηγμάτων Στρατωνίου – Βαρβάρας και Γοματίου - Μεγάλης Παναγίας (Ανατολική Χαλκιδική). *Ημερίδα - 1η Συνάντηση της Επιτροπής Γεωμορφολογίας της Ε.Γ.Ε.*, Θεσσαλονίκη.

Μιχαλίδου Α., (2005). Μορφοτεκτονική ανάλυση με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS), και μικροτεκτονική των ρηγμάτων Στρατωνίου - Βαρβάρας και Γοματίου (Ανατολική Χαλκιδική). Διατριβή Ειδίκευσης, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Σελ. 155, Θεσσαλονίκη.

Μουντράκης Μ., 1985. Γεωλογία της Ελλάδας. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Μουντράκης Μ., 2010. Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας. University Studio Press. Σελ. 373. Θεσσαλονίκη

Ολιάσογλου Ε., 2014. Ιζηματολογική και ορυκτολογική μελέτη της κατανομής των βαρέων ορυκτών στις άμμους του κόλπου της Ιερισσού. Διατριβή Ειδικεύσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Σελ. 153. Θεσσαλονίκη.

Παπάγγελος Ι., 1991. Το κοινόν του Μαντεμίου. Η διαχρονική πορεία του κοινοτισμού στη Μακεδονία, Κέντρο Ιστορίας Θεσσαλονίκης του Δήμου Θεσσαλονίκης. Αυτοτελείς Εκδόσεις.

Παπαρηγορίου Σ., Παπαδάκη Α., Κατσέλης Ι., Κοτζαγεώργης Γ., Μπεκιάρης Ι., Τέντες Γ. κ.α., 2010. Μελέτη περιβαλλοντικών περιπτώσεων μεταλλευτικών - μεταλλουργικών εγκαταστάσεων της Εταιρείας Ελληνικός Χρυσός στη Χαλκιδική. ENVECO A.E. Προστασία, Διαχείριση και Οικονομία Περιβάλλοντος, Αθήνα.

Παυλίδης Σ., Τσάπανος Θ., Κοραβος Γ., Μιχαηλίδου Α., Χατζηπέτρος Α., 2010. Ειδική σεισμοτεκτονική μελέτη των ρηγμάτων της ευρύτερης περιοχής των μεταλλείων Κασσάνδρας. ENVECO A.E., Θεσσαλονίκη.

Τσιραμπίδης Α. Και Καντηράνης Ν., 1998. Σύσταση και προέλευση των σύγχρονων ποτάμιων αποθέσεων του Έβρου (Θράκη). 8^ο Διεθνές Συνέδριο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, Πάτρα, Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ., 32/2: 329-337.

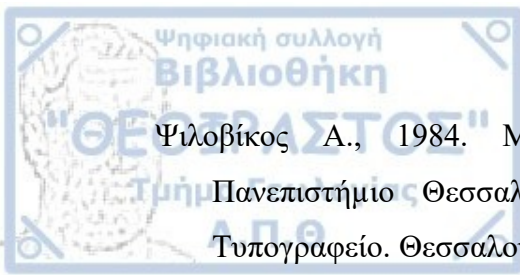
Φαλαλάκης Γ., 2004. Κινηματική ανάλυση και παραμόρφωση στο όριο των κρυσταλλοσχιστωδών μαζών της Σερβομακεδονικής και της Ροδόπης (όρη Κερκίνης, Βροντούς - Μακεδονία). Διδακτορική Διατριβή, σελ. 198. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Θεσσαλονίκη.

Φιλιππίδης Α., 2006. Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωχημεία. Τμήμα Εκδόσεων, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Σελ. 171. Θεσσαλονίκη:

Χατζηπέτρος Α., Μιχαηλίδου Α., Τσάπανος Θ., Παυλίδης Σ., 2005. Μορφοτεκτονική - Σεισμοτεκτονική μελέτη του ρήγματος Στρατωνίου και Γοματίου (Αν. Χαλκιδικής). Επιστημονική Συνεδρία της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας: Γεωλογία της Θράκης – Σεισμοτεκτονική του ΒΑ Αιγαίου.

Χατζόπουλος Ο., 1992. Στράβων. Γεωγραφικά 7, Αθήνα.

Χιονίδης Γ., 1977. Οι Μακεδόνες πρόσφυγες της Σκοπέλου. Μακεδονικά, 17, σσ. 135-136.



Ψιλοβίκος Α., 1984. Μαθήματα Ιζηματολογίας. Σελ. 358. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων, Πανεπιστημιακό Τυπογραφείο. Θεσσαλονίκη.

Διαδικτυακές Πηγές

Climate-data.org. Climate, Stratoni, <http://en.climate-data.org/location/123419>, (ανακτήθηκε το 2016)

E-fox.gr, <http://www.e-fox.gr/index.php?pN=map=print.htm&txtNomosID=344>, (ανακτήθηκε το 2016)

e-stratoni.gr, Γενικές πληροφορίες, <http://www.stratoni.net/general/genikes-plirofories/>, (ανακτήθηκε το 2016)

e-stratoni.gr, Ιστορία Στρατωνίου, <http://www.stratoni.net/history/istoria-stratoniou/>, (ανακτήθηκε το 2016)

Forest.gr, Ύλη, http://www.forest.gr/portal/index.php?option=com_content&task=view&id=40, (ανακτήθηκε το 2016)

Wikipedia, Natura 2000, http://el.wikipedia.org/wiki/Natura_2000, (ανακτήθηκε το 2009)

Βικιπαιδεία, Η ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια, Στρατώνι Χαλκιδικής, https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A3%CF%84%CF%81%CE%B1%CF%84%CF%8E%CE%BD%CE%B9_%CE%A7%CE%B1%CE%BB%CE%BA%CE%B9%CE%B4%CE%B9%CE%BA%CE%AE%CF%82, (ανακτήθηκε το 2016)

Βικιπαιδεία, Η ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια, Στρατώνι Χαλκιδικής, https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B5%CF%84%CE%B1%CE%BB%CE%BB%CE%B5%CE%AF%CE%B1_%CE%A7%CE%B1%CE%BB%CE%BA%CE%B9%CE%B4%CE%B9%CE%BA%CE%AE%CF%82, (ανακτήθηκε το 2016)

Δήμος Αριστοτέλη Χαλκιδικής, Στρατώνι Χαλκιδικής, <http://www.dimosaristoteli.gr/gr/villages/stratoni>, (ανακτήθηκε το 2016)

Δήμος Αριστοτέλη Χαλκιδικής, Στρατώνι Χαλκιδικής, <http://www.dimosaristoteli.gr/gr/culture/mines-history>, (ανακτήθηκε το 2016)



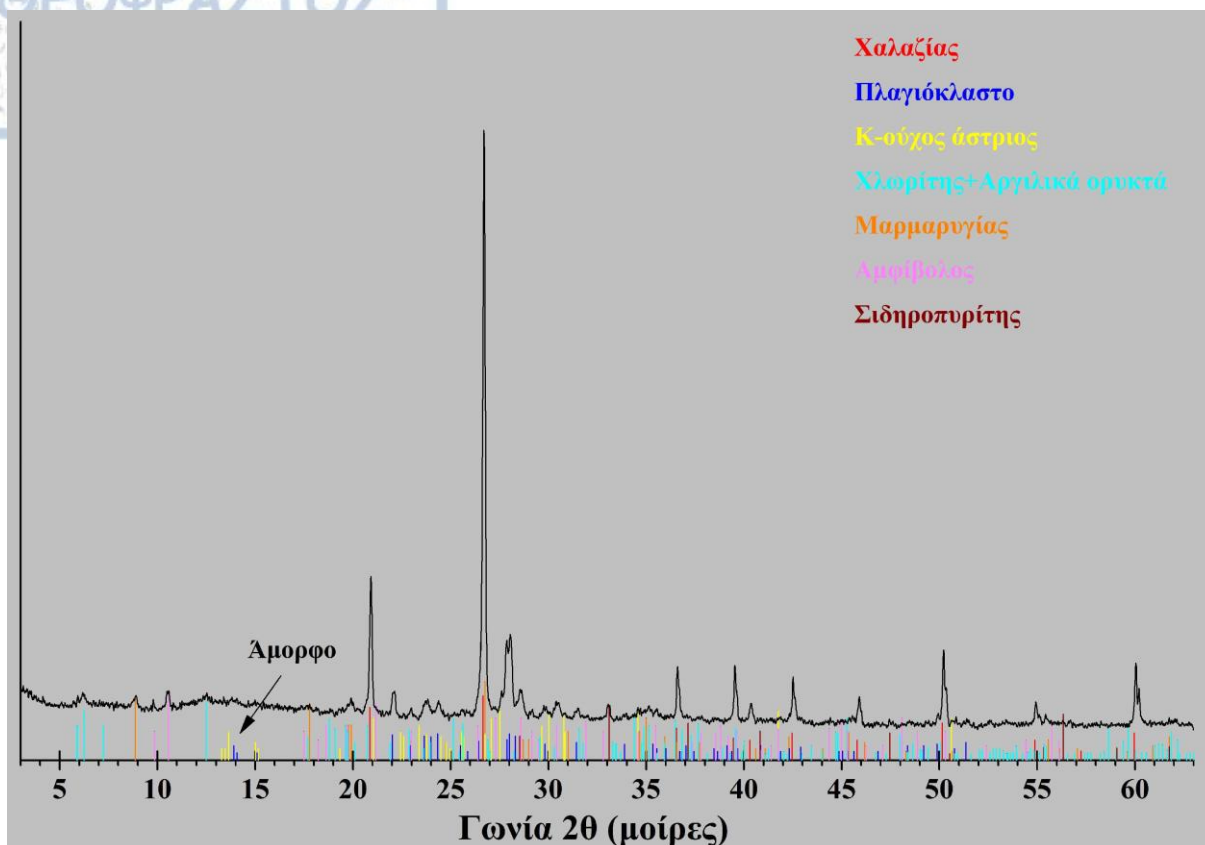
Ελληνικός Χρυσός, Ιστορικό των μεταλλείων στη Χαλκιδική, <http://www.hellas-gold.com/ellinikos-xrysos/istoriko-metalleiwn>, (ανακτήθηκε το 2013)

Ελληνικός Χρυσός, Μεταλλείο Μαύρων Πετρών, <http://www.hellas-gold.com/metalleia/ergostasio-xrysou-stratoni>, (ανακτήθηκε το 2018)

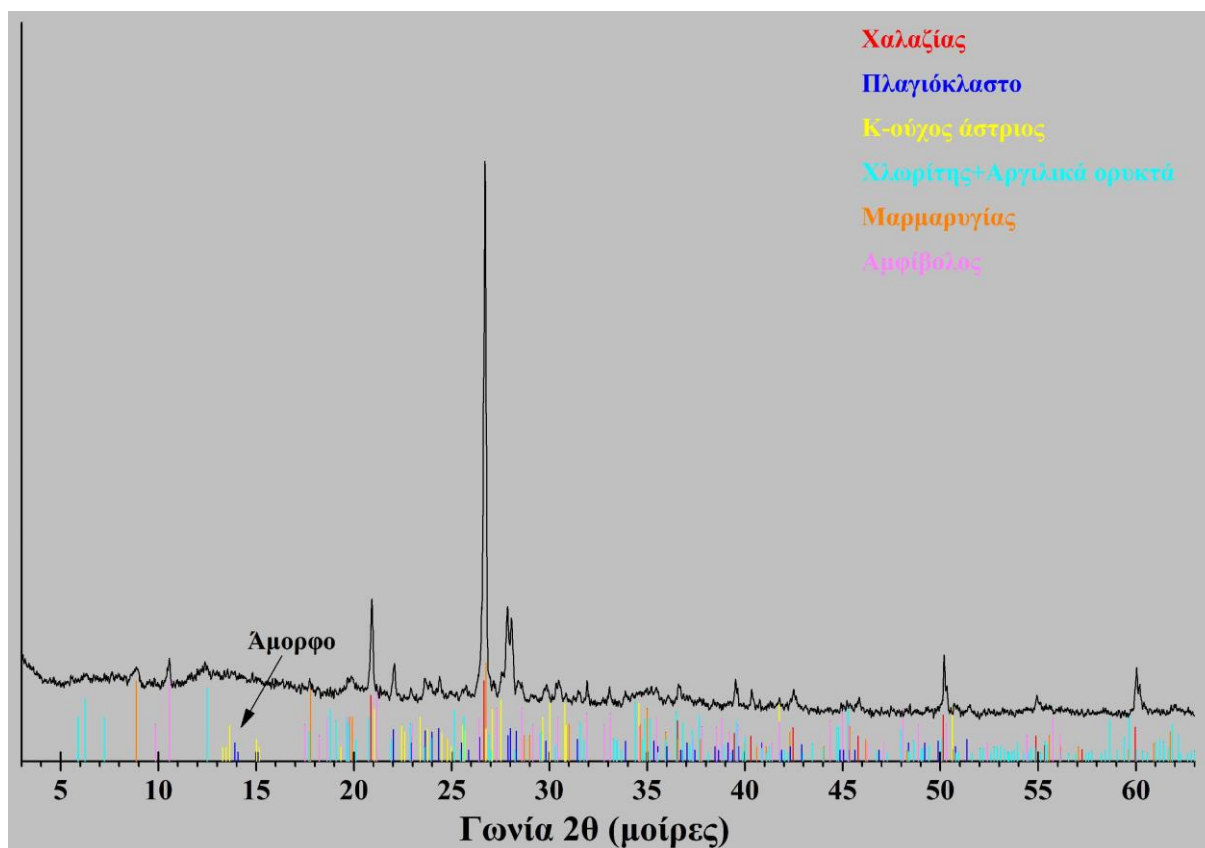
Οδηγός Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας, Αναστασιάδης Β., Όρος Στρατονικό, http://cultour.damt.gov.gr/article.php?article_id=1196&topic_id=16&level=2&belongs=15&area_id=11&lang=gr, (ανακτήθηκε το 2016)

ΥΠΕΧΩΔΕ, Natura 2000, <http://www.minenv.gr/1/12/121/12103/g1210300.html>, (ανακτήθηκε το 2016)

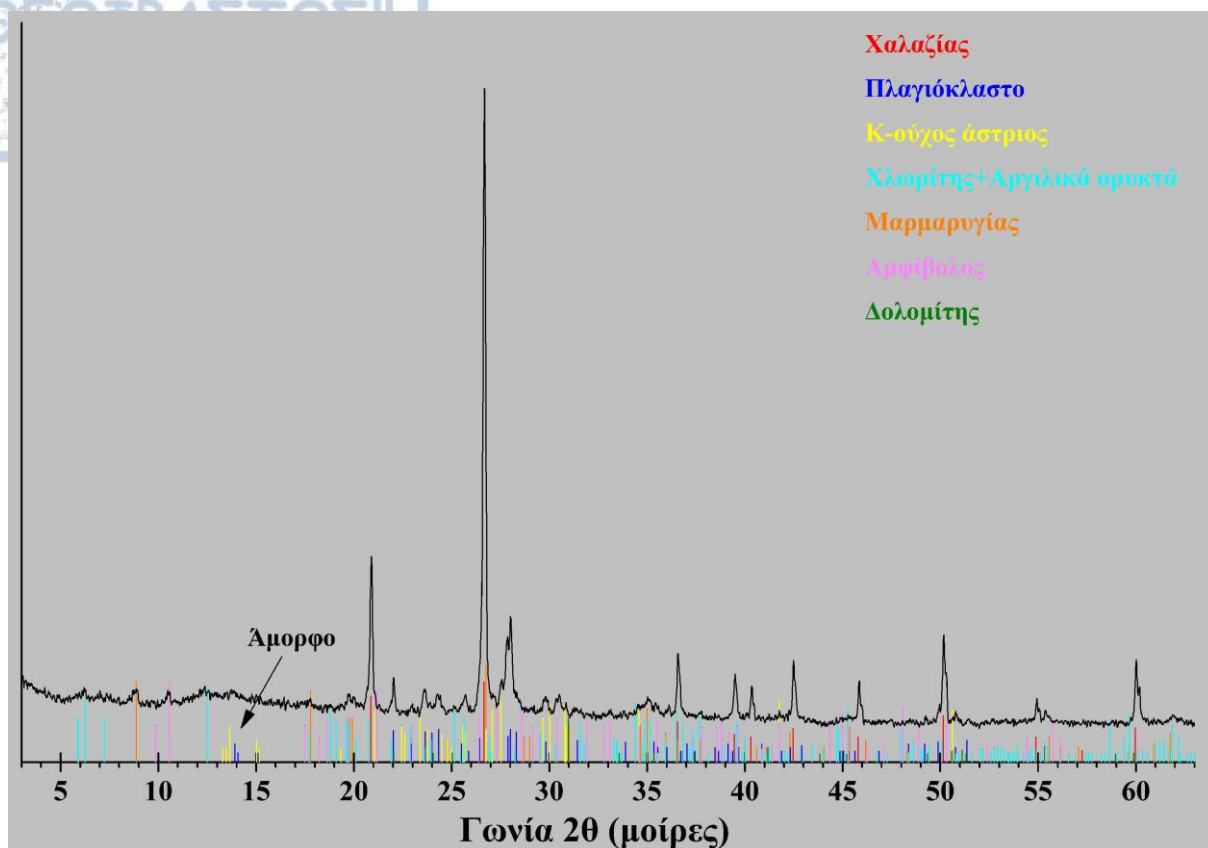
Φιλότης, ΕΜΠ, ΤΥΠΥΘΕ, <http://www.itia.ntua.gr/filotis/SitesData/GR1270001.pdf>, (ανακτήθηκε το 2016)



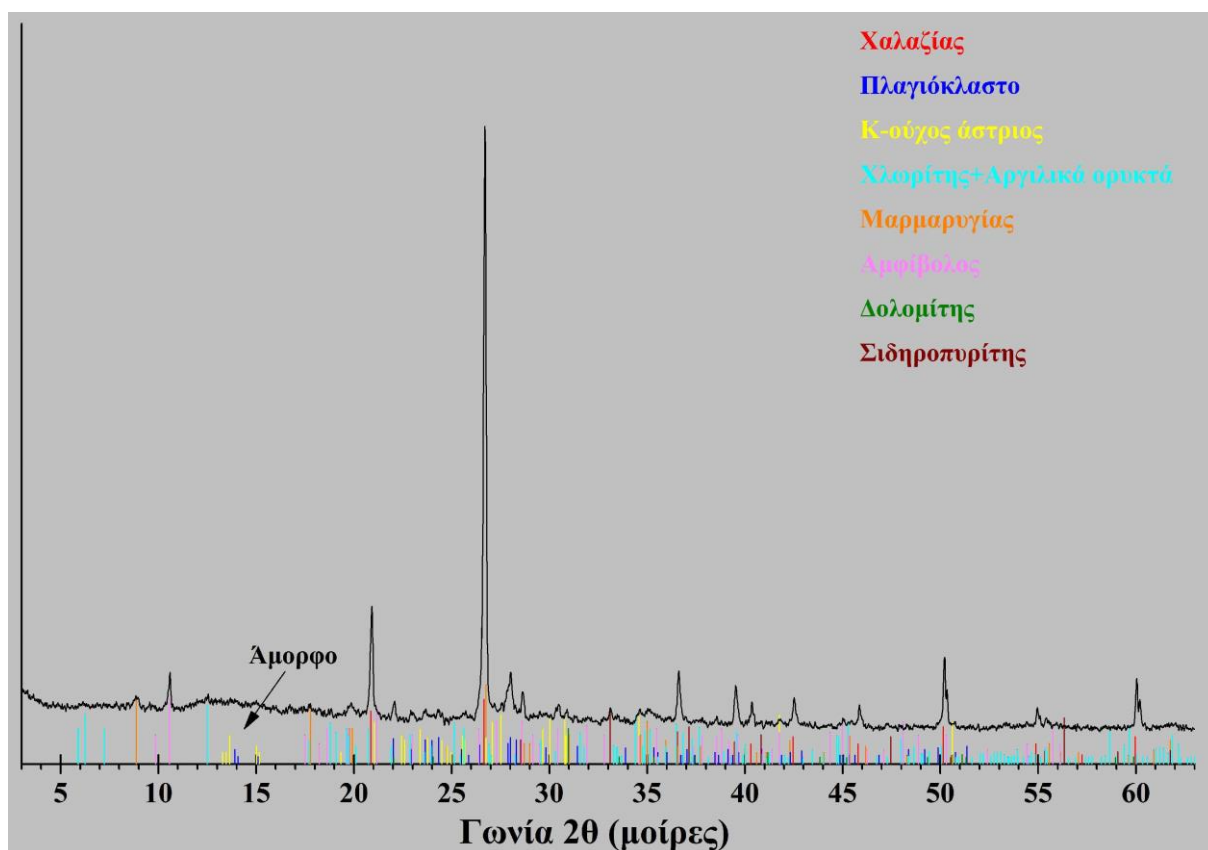
Σχήμα Ι.1. Περιθλασιόγραμμα ακτίνων-Χ (XRD) του δείγματος SKW2.



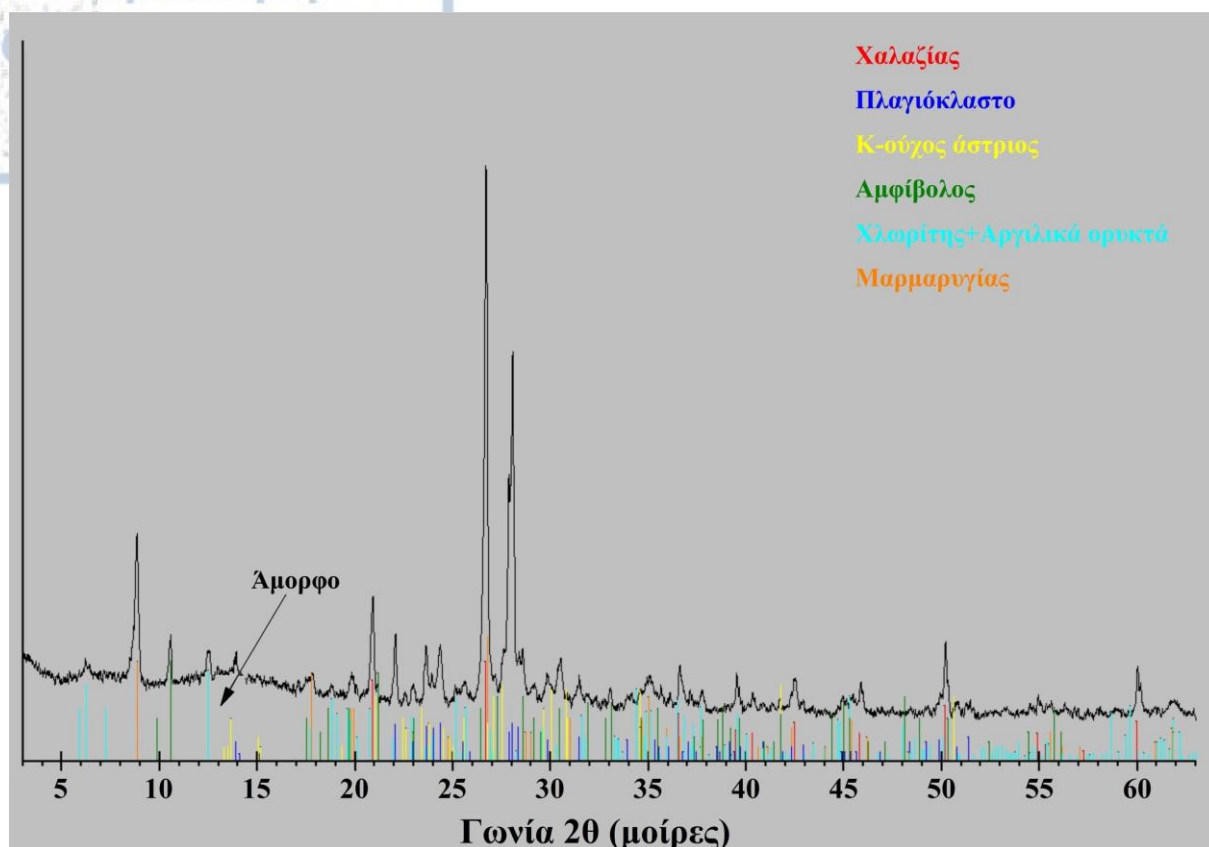
Σχήμα Ι.2. Περιθλασιόγραμμα ακτίνων-Χ (XRD) του δείγματος SKE1.



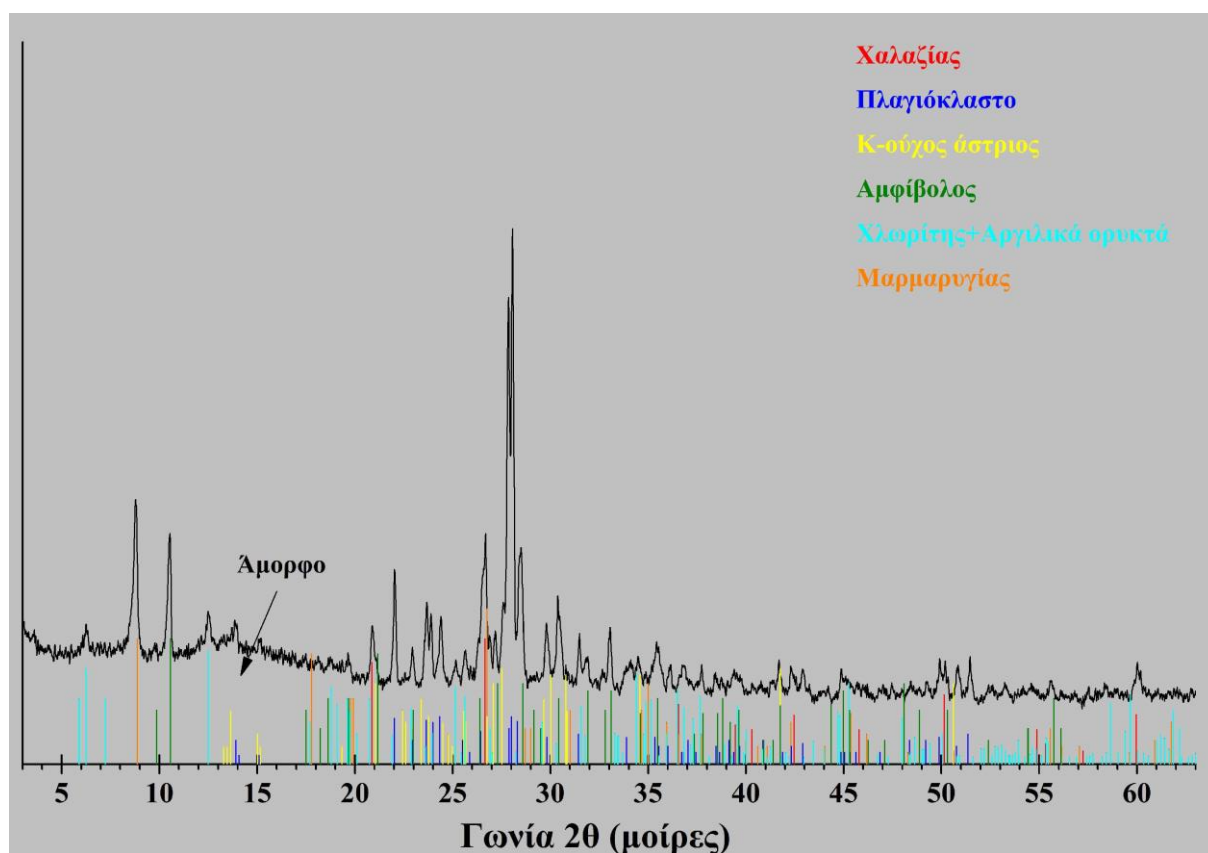
Σχήμα 1.3. Περιθλασιόγραμμα ακτίνων-Χ (XRD) του δείγματος SKE2.



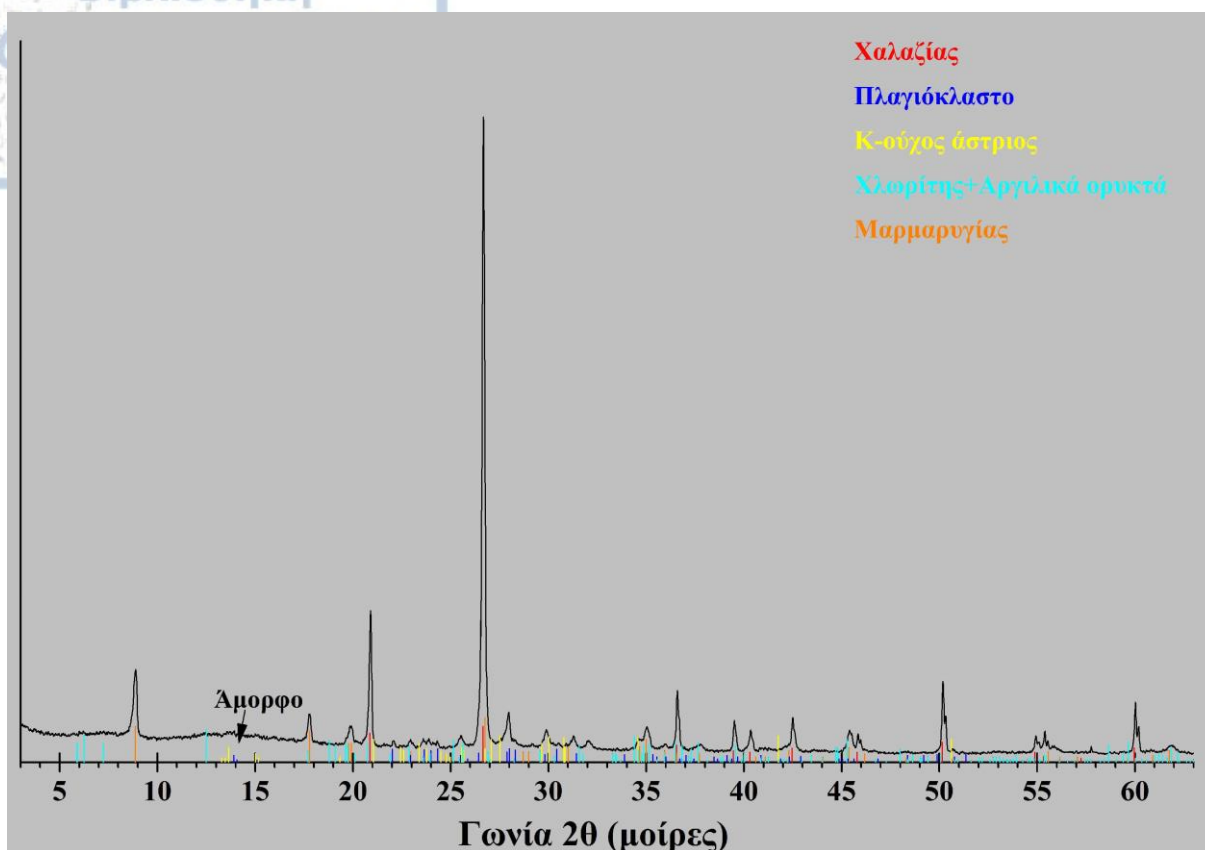
Σχήμα 1.4. Περιθλασιόγραμμα ακτίνων-Χ (XRD) του δείγματος SKM2.



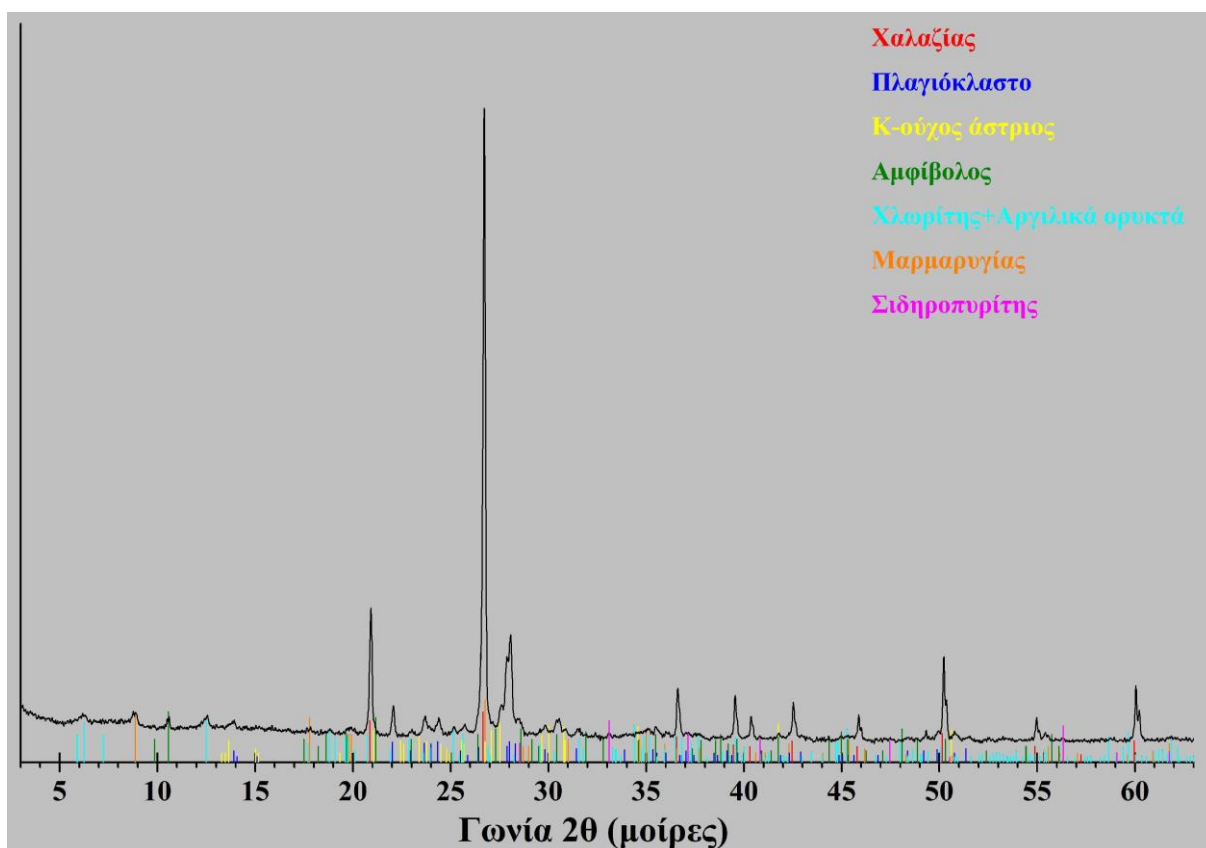
Σχήμα 1.5. Περιθλασιόγραμμα ακτίνων-Χ (XRD) του δείγματος BGPR 6A.



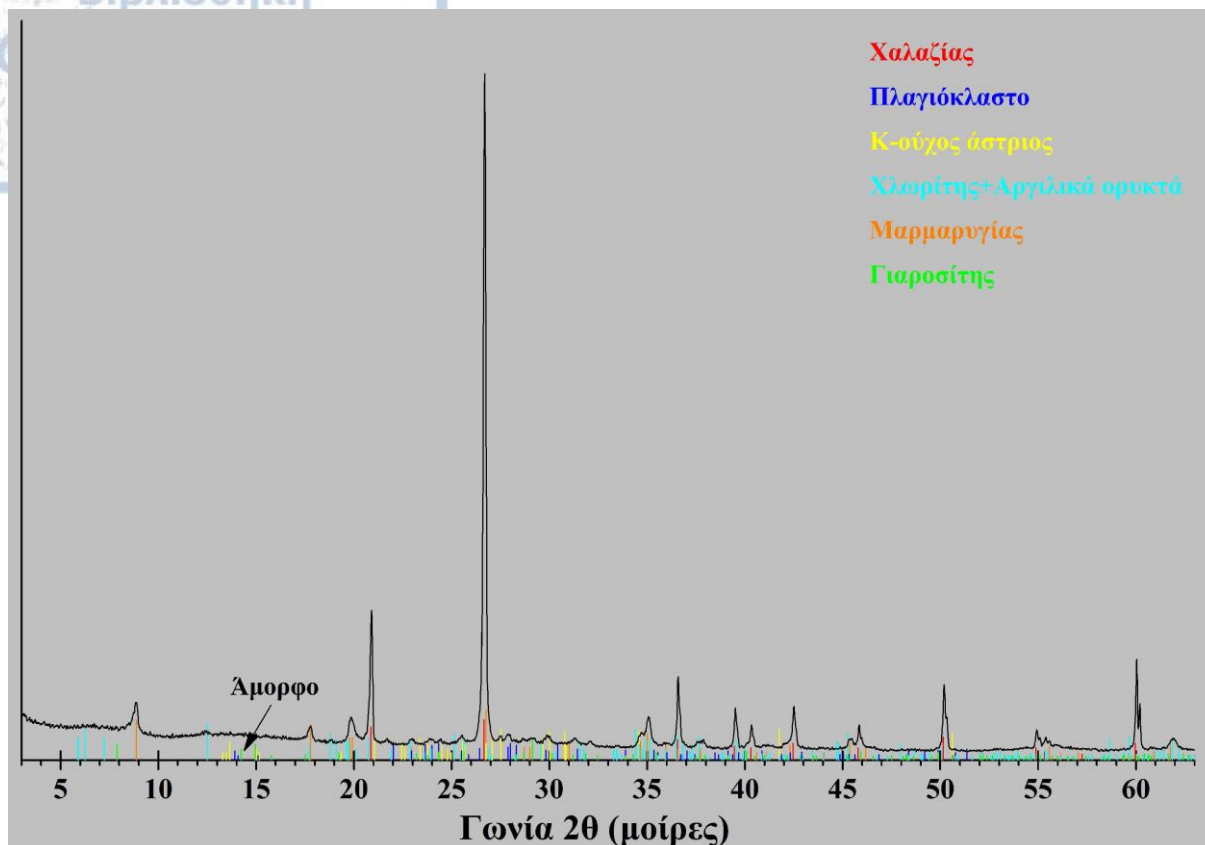
Σχήμα 1.6. Περιθλασιόγραμμα ακτίνων-Χ (XRD) του δείγματος BGPR 6B.



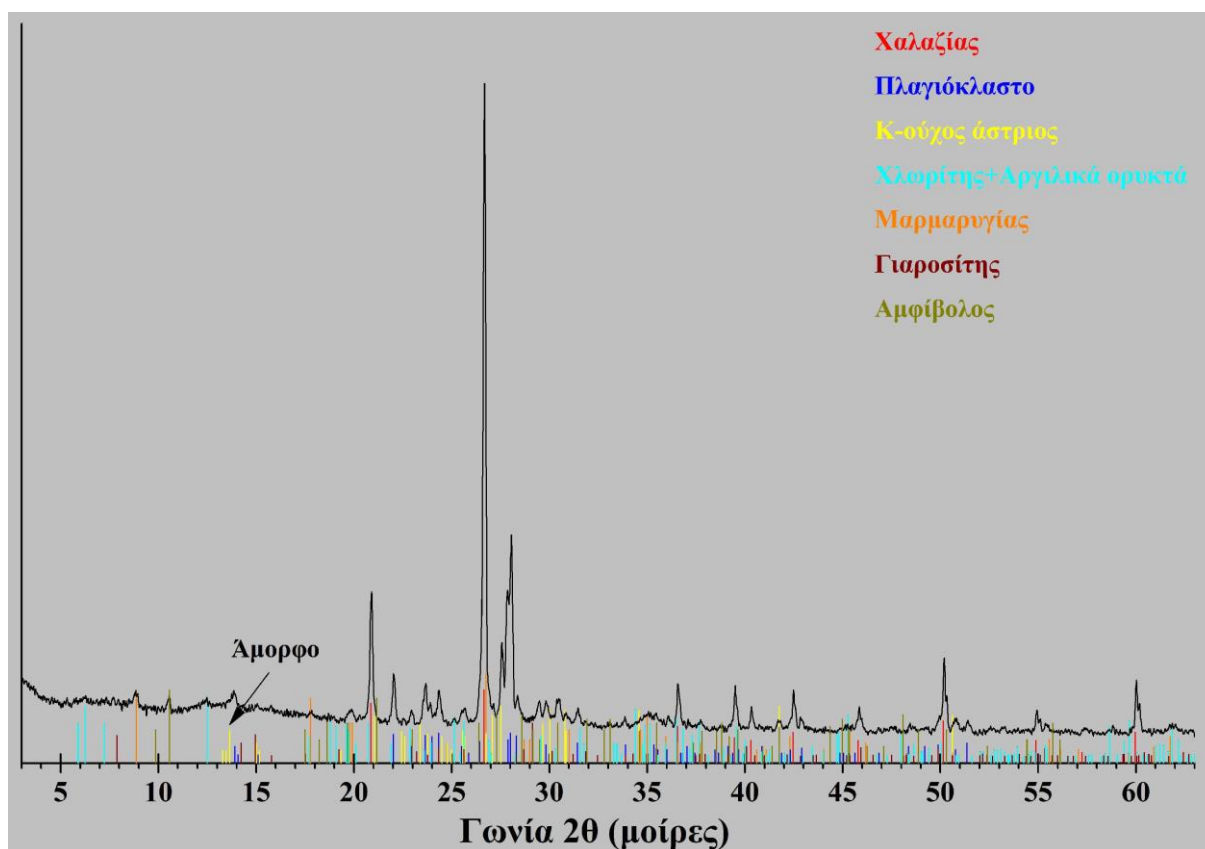
Σχήμα Ι.7. Περιθλασιόγραμμα ακτίνων-Χ (XRD) του δείγματος BGPR 6C.



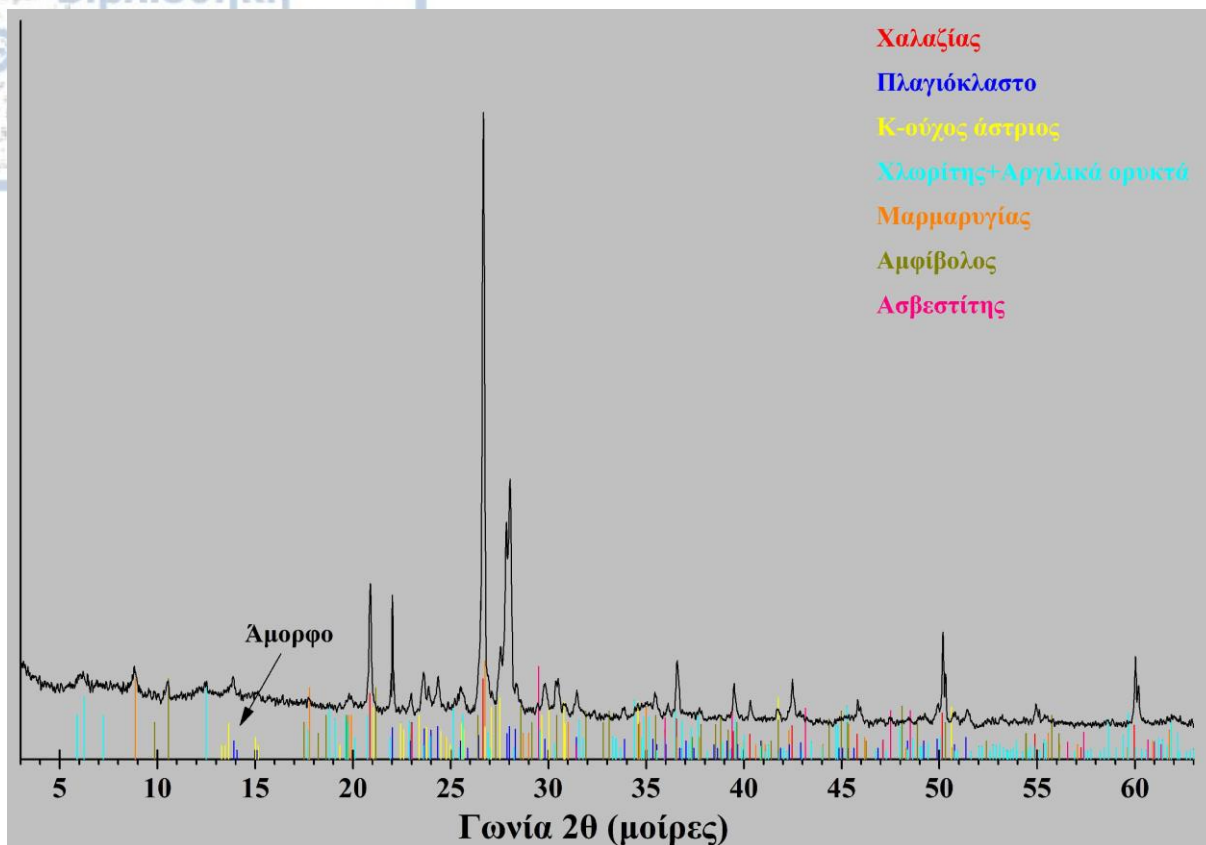
Σχήμα Ι.8. Περιθλασιόγραμμα ακτίνων-Χ (XRD) του δείγματος 2.



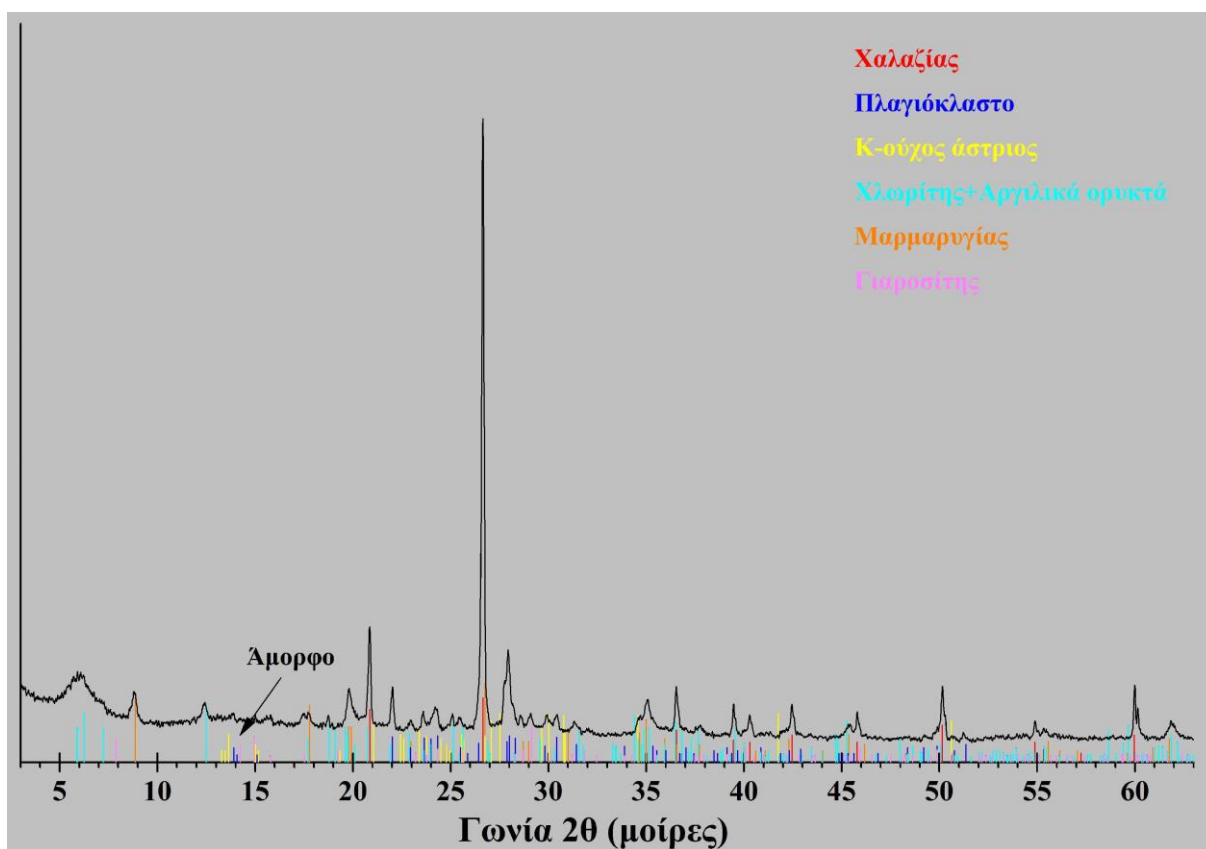
Σχήμα I.9. Περιθλασιόγραμμα ακτίνων-X (XRD) του δείγματος 3B.



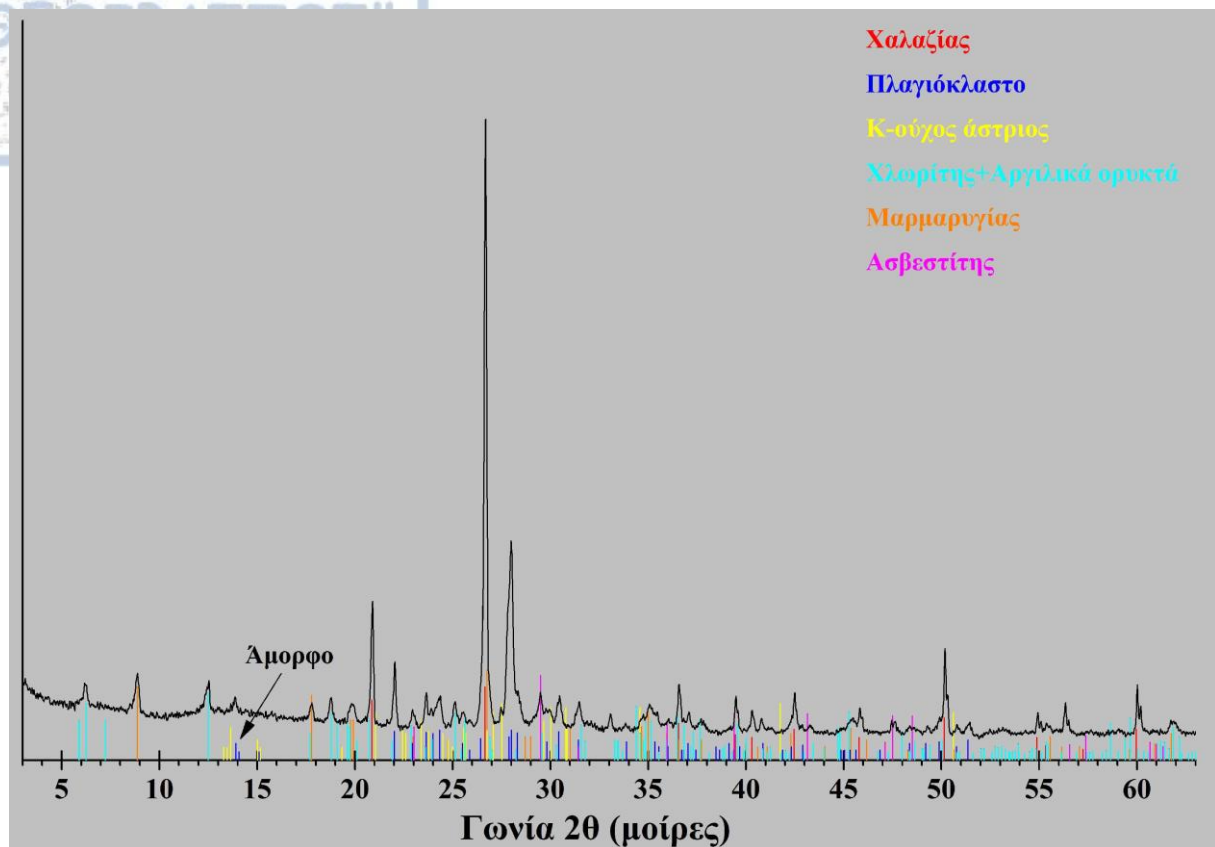
Σχήμα I.10. Περιθλασιόγραμμα ακτίνων-X (XRD) του δείγματος 5.



Σχήμα I.11. Περιθλασιόγραμμα ακτίνων-X (XRD) του δείγματος 6.



Σχήμα I.12. Περιθλασιόγραμμα ακτίνων-X (XRD) του δείγματος 9.



Σχήμα Ι.13. Περιθλασιόγραμμα ακτίνων-Χ (XRD) του δείγματος 10.

Παράρτημα II

Πίνακας II.1 Αντιπροσωπευτικές αναλύσεις και δομικός τύπος των ορυκτών: Κ-άστριος, πλαγιόκλαστο, βιοτίτης, ακτινολίθος, σιδηρο-ακτινολιθική κερροσιτίβη, πυρόξενος και γρανάτης.

Οξείδια	Κ-άστριος	Πλαγιόκλαστο	Βιοτίτης	Ακτινολίθος	Σιδηρο-ακτινολιθική	Σιδηρο-τεφριμακτιική	Πυρόξενος	Γρανάτης
					κεροσιτίβη	κεροσιτίβη		
SiO ₂	64.60	58.61	35.01	56.55	49.79	44.40	52.68	37.72
TiO ₂	-	-	0.04	-	-	-	-	-
Al ₂ O ₃	17.00	25.65	31.28	2.75	5.16	12.48	1.71	21.26
FeO	1.48	0.39	18.41	6.06	21.42	17.43	12.22	24.14
MnO	-	-	0.16	0.60	0.58	0.75	0.67	9.95
MgO	-	-	0.86	18.85	8.50	9.77	15.28	1.74
CaO	-	7.78	1.09	12.68	10.73	10.33	17.13	6.15
K ₂ O	15.36	0.05	9.68	0.26	0.33	0.70	-	-
Na ₂ O	0.91	7.18	-	0.34	0.77	0.91	0.19	-
BaO	0.25	-	-	-	-	-	-	-
Cr ₂ O ₃	-	-	-	0.22	-	-	-	-
H ₂ O*	-	-	-	2.16	2.01	2.05	-	-
Σύνολο	99.61	99.67	96.53	100.46	99.72	99.94	99.88	100.96
Κατιόντα ανά		8 (O)	22 (O)		23 (O)		6 (O)	12 (O)
Si	3.007	2.628	5.151	7.837	7.444	6.494	1.969	3.000
Al	0.932	1.356	5.424	0.448	0.910	2.151	0.076	1.993
Ti	-	-	0.005	-	-	-	-	-
Fe ³	0.058	0.015	-	0.000	0.481	1.237	-	0.0063
Fe ²	-	-	2.265	0.702	2.196	0.895	0.382	1.5995
Mn	-	-	0.020	0.070	0.074	0.093	0.021	0.6704
Mg	-	-	0.189	3.894	1.895	2.130	0.852	0.2063
Cr	-	-	0.171	0.024	0.000	0.000	-	-
Ca	-	0.374	-	1.883	1.718	1.619	0.686	0.5241
Na	0.082	0.625	1.817	0.092	0.222	0.258	0.014	-
K	0.912	0.003	-	0.047	0.063	0.130	-	-
Ba	0.005	-	-	-	-	-	-	-

Αναλογίες μορίων στους αστρίους			Mg/(Mg+Fe ²⁺) στο βιοτίτη		Αναλογίες μορίων στον πυρόξeno		Αναλογία μορίων στο γρανάτη					
Or	91.3	0.3	0.08		En	43.9	Μαγιωρίτης	0.03				
Ab	8.2	62.4			Fs	20.8	Σπασαρτίτης	22.35				
An	0.0	37.3			Wo	35.3	Πυροπό	6.84				
Cn	0.5	0.0					Αλμανδίνης	53.32				
							Γροσσουλάριος	17.15				
							Ανδραδίτης	0.32				
							Σύνολο	100.01				

Πίνακας II.2 Αντιπροσωπευτικές αναλύσεις και δομικός τύπος των ορυκτών: επίδοτο, αλλανίτης, τιτανίτης, ζιρκόνιο, μοναζίτης, μαγνητίτης, ιμμενίτης και οξείδιο Ti.

Οξείδια	Επίδοτο	Αλλανίτης	Τιτανίτης	Οξείδια	Ζιρκόνιο	Απατίτης	Μοναζίτης	Οξείδια	Μαγνητίτης	Ιμμενίτης	Οξείδιο Ti
SiO ₂	34.28	31.42	30.97	SiO ₂	32.31	-	-	SiO ₂	5.60	2.67	2.80
TiO ₂	-	2.11	38.42	TiO ₂	-	-	2.52	TiO ₂	-	45.50	95.85
Al ₂ O ₃	22.83	16.92	1.60	CaO	-	58.73	1.07	Al ₂ O ₃	-	-	0.21
FeO	17.24	11.91	0.48	La ₂ O ₃	-	-	20.05	FeO	88.73	42.21	0.23
MnO	0.76	0.79	-	Ce ₂ O ₃	-	-	32.03	MnO	-	8.59	-
MgO	-	1.31	-	Nd ₂ O ₃	-	-	10.70	CaO	-	-	0.71
CaO	23.10	13.32	28.38	ThO ₂	-	-	2.15	V ₂ O ₅	-	-	0.29
K ₂ O	0.09	-	-	ZrO ₂	65.06	-	-	Σύνολο	94.34	98.97	100.09
Na ₂ O	0.28	-	-	HfO ₂	2.55	-	-	Κατιόντα ανά	4 (O)	3 (O)	2 (O)
La ₂ O ₃	-	3.77	-	P ₂ O ₅	-	40.68	30.92	Si	0.2106	0.0671	0.037
Ce ₂ O ₃	-	12.40	-	Cl	-	0.24	-	Al	-	-	0.003
Nd ₂ O ₃	-	4.13	-	Y ₂ O ₃	-	-	0.52	Ti	-	0.8614	0.946
ThO ₂	-	0.83	-	Σύνολο	99.92	99.60	99.97	Fe ³	1.5787	1.004	-
Σύνολο	98.59	98.92	99.86	Κατιόντα ανά	16 (O)	26 (O)	4 (O)	Fe ²	1.2106	0.7454	0.003
Κατιόντα ανά	12.5 (O)	4 (Si)	-	Si	3.992	-	-	Mn	-	0.1831	-
Si	2.698	2.875	4.000	Ti	-	-	0.071	V	-	-	0.006
Al	2.118	1.826	3.977	Ca	-	10.963	0.043	Ca	-	-	0.010
Ti	-	0.146	-	P	-	6.000	0.986	Υπολογισμός Fe ₂ O ₃ και FeO στο			
Fe ²	1.134	0.912	0.052	La	-	-	0.278	μαγνητίτη και στον ιμμενίτη			
Mn	0.050	0.061	-	Ce	-	-	0.442	Fe ₂ O ₃ % κ.β.	55.8	7.5	-
Mg	0.000	0.179	-	Nd	-	-	0.144	FeO % κ.β.	38.5	35.4	-
Ca	1.948	1.306	3.928	Y	-	-	0.010	Σύνολο	99.9	99.7	-
Na	0.043	-	-	Th	-	-	0.018				
K	0.009	-	-	Zr	3.919	-	-				
La	-	0.127	-	Hf	0.090	-	-				
Ce	-	0.416	-	Cl	-	0.072	-				
Nd	-	0.135	-								
Th	-	0.017	-								