Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Γεωλογίας

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ-ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ

ΦΩΤΕΙΝΗ Ν. ΑΡΑΒΑΝΗ

«Μελέτη της μεταμόρφωσης των pillow λαβών από τη χερσόνησο της Κασσάνδρας, Χαλκιδική»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Θεσσαλονίκη 2017

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΦΩΤΕΙΝΗ Ν. ΑΡΑΒΑΝΗ

«Μελέτη της μεταμόρφωσης των pillow λαβών από τη χερσόνησο της Κασσάνδρας, Χαλκιδική»

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας

Τομέας Πετρολογίας-Ορυκτολογίας

Επιβλέπων Καθηγητής

Λαμπρινή Παπαδοπούλου, Επίκουρη Καθηγήτρια

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Α.Π.Θ

© ΦΩΤΕΙΝΗ Ν. ΑΡΑΒΑΝΗ, ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ, ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ, 2017
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All right reserved.

«Μελέτη της μεταμόρφωσης των pillow λαβών από τη χερσόνησο της Κασσάνδρας, Χαλκιδική»

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.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Περιεχόμενα

Περίληψη 6

Abstract 7

1. Πρόλογος 8

2. Εισαγωγή 9

3. Γεωλογία της Περιοχής 11

3.i) Ζώνη Αξιού 11

3 i.α) Υπο-ζώνη Παιονίας 13

3 i.β) Υπο-ζώνη Πάικου 14

3 i.γ) Υπο-ζώνη Αλμωπίας 14

3.ii) Χερσόνησος της Κασσάνδρας 15

4. Μεταμόρφωση υπερβασικών και βασικών πετρωμάτων 19

4.i) Υπερβασικά πετρώματα 21

4 i.α) Σερπεντινίωση του Περιδοτίτη 23

4.ii) Βασικά πετρώματα 25

4 ii.α) Ενυδάτωση βασικών πετρωμάτων 26

5. Πετρολογία των μεταβασικών πετρωμάτων της περιοχής μελέτης 31

6. Ορυκτολογία 35

6.i) Αμφίβολοι 36

6.ii) Πυρόξενοι 39

6.iii) Άστριος 44

6.iv) Χλωρίτης 47

6.v) Μαρμαρυγίες 49

6.vi) Επίδοτο – Αλλανίτης 51

6.vii) Τιτανίτης 55

6.viii) Ασβεστίτης 57

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

6. ix) Επουσιώδη ορυκτά 58
6. ix.a) Ζεόλιθος 58
6. ix.b) Χαλκοπυρίτης – Γαληνίτης – Σιδηροπυρίτης 58
6. ix.c) Μαγνητίτης 59
6. ix.d) Απατίτης 59
6. ix.e) Ζιρκόνιο 59
7. Συζήτηση-Συμπεράσματα 60
8. Βιβλιογραφία 64
9. Ιστολόγιο 66
Παράρτημα 66

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματεύεται τη μελέτη της μεταμόρφωσης των pillow λαβών από την περιοχή Ξυνά, στο νότιο άκρο της χερσονήσου της Κασσάνδρας, Χαλκιδικής. Αυτά τα οφειολιθικά πετρώματα επωθήθηκαν στο ηπειρωτικό περιθώριο πριν από το ανώτερο Ιουρασικό και ανήκουν στην υποζώνη Παιονίας της ζώνης Αξιού. Όπως διαπιστώθηκε από τη μελέτη των δειγμάτων, οι pillow λάβες έχουν δεχθεί την επίδραση μεταμόρφωσης. Οι λιθολογικοί τύποι που προσδιορίστηκαν στην περιοχή είναι α) μεταβασάλτης με βλαστοπορφυριτικό ιστό και β) μεταδολερίτης με βλαστοφειτικό ιστό. Αναγνωρίστηκαν τρεις παραγενέσεις· ο μεταβασάλτης Τ1: σιδηροτσερμακίτης + κλινοπυρόξενος + αλβίτης + επίδοτο + αλλανίτης + λευκός μαρμαρυγίας ± βιοτίτης ± τιτανίτης ± ζεόλιθος ± μαγνητίτης, ο μεταβασάλτης Τ3: σιδηροτσερμακίτης + αλβίτης + χλωρίτης ± επίδοτο ± ασβεστίτης ± απατίτης ± ζιρκόνιο ± σιδηροπυρίτης ± γαληνίτης και ο μεταδολερίτης Τ2: σιδηροτσερμακίτης + επίδοτο + τιτανίτης + ασβεστίτης ± χλωρίτης ± ζεόλιθος ± χαλκοπυρίτης. Η παρουσία επιδότου και αλβίτη δηλώνει ότι τα πετρώματα έχουν υποστεί μεταμόρφωση στην πρασινοσχιστολιθική φάση. Η μετάβαση του αλβίτη σε ολιγόκλαστο και η παρουσία τσερμακιτικής κεροστίλβης καθορίζει το όριο μεταξύ πρασινοσχιστολιθικής και αμφιβολιτικής φάσης και συμβαίνει στους 450-550 ^{o}C, ανάλογα με τη πίεση. Η έναρξη σχηματισμού βιοτίτη στους 400-450^{o}C, επιβεβαιώνει τις προηγούμενες θερμοκρασίες. Τέλος, μετάβαση από την πρασινοσχιστολιθική στην αμφιβολιτική φάση μεταμόρφωσης συμβαίνει σε θερμοκρασία 500±50^{o}C και σε πιέσεις 400-500MPa. Με βάση τα παραπάνω οι συνθήκες μεταμόρφωσης των pillow λαβών προσδιορίστηκαν σε Τ≈500^{o}C (±50) και Ρ=400-500MPa (4-5 kbar).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Abstract

This diploma thesis studies the metamorphism of pillow lavas from the area Xyna, at the southern part of Kassandra Peninsula in Chalkidiki. These ophiolithic rocks have been obducted on the continental margin before the Upper Jurassic and belong to the subzone of Paionia of Axios zone. Sample investigation confirmed that the pillow lavas were subjected to metamorphic procedures. The lithological types were determined as a) metabasalt with blastoporphyritic texture and b) metadolerite with blastophitic texture. Three assemblages were identified· metabasalt T1: ferritschermakite + clinopyroxene + albite + epidote + allanite + white mica ± biotite ± titanite ± zeolite ± magnetite, metabasalt T3: ferritschermakite+ albite + chlorite ± epidote ± calcite ± apatite ± zircon ± pyrite ± galena and metadolerite T2: ferritschermakite + epidote + titanite + calcite ± chlorite ± zeolite ± chalcopyrite. The transition of albite to oligoclase and the presence of tschermakitic hornblende defines the boundary between greenschist and amphibolite phases that occurs at 450-550^{o}C, depending on pressure. Biotite formation starts at 400-450^{o}C, confirming the previous temperatures. Finally, the transition from greenschist to amphibolite phases occurs at temperatures of 500±50^{o}C and pressures of 400-500MPa. Based on these findings the metamorphic conditions of the pillow lavas are determined at T≈500^{o}C (±50) and P=400-500MPa (4-5 Kbar).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

1. Πρόλογος

Η παρούσα μελέτη αποτελεί πτυχιακή εργασία που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του προγράμματος προπτυχιακών σπουδών του τμήματος Γεωλογίας, της Σχολής Θετικών Επιστημών, του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Σκοπός της εργασίας είναι ο προσδιορισμός της χημικής και ορυκτολογικής σύστασης των pillow λαβών που βρέθηκαν στο νότιο άκρο της χερσονήσου της Κασσάνδρας για τον προσδιορισμό των συνθηκών μεταμόρφωσης.

Στα πλαίσια της εργασίας έγινε αναζήτηση πληροφοριών για την γεωλογία της περιοχής, την προέλευση των πρωτολίθων, τους μεταβασίτες και τα ορυκτά που εντοπίστηκαν στα δείγματα. Επιπλέον, κατασκευάστηκαν και αναλύθηκαν λεπτές-στιλπνές τομές σε πολωτικό μικροσκόπιο και σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (Scanning Electron Microscope – S.E.M), τύπου JEOL JSM 840-A. Για τον προσδιορισμό των ορυκτολογικών φάσεων έγινε ανάλυση με φασματόμετρο ενεργειακής διασποράς (E.D.S.).

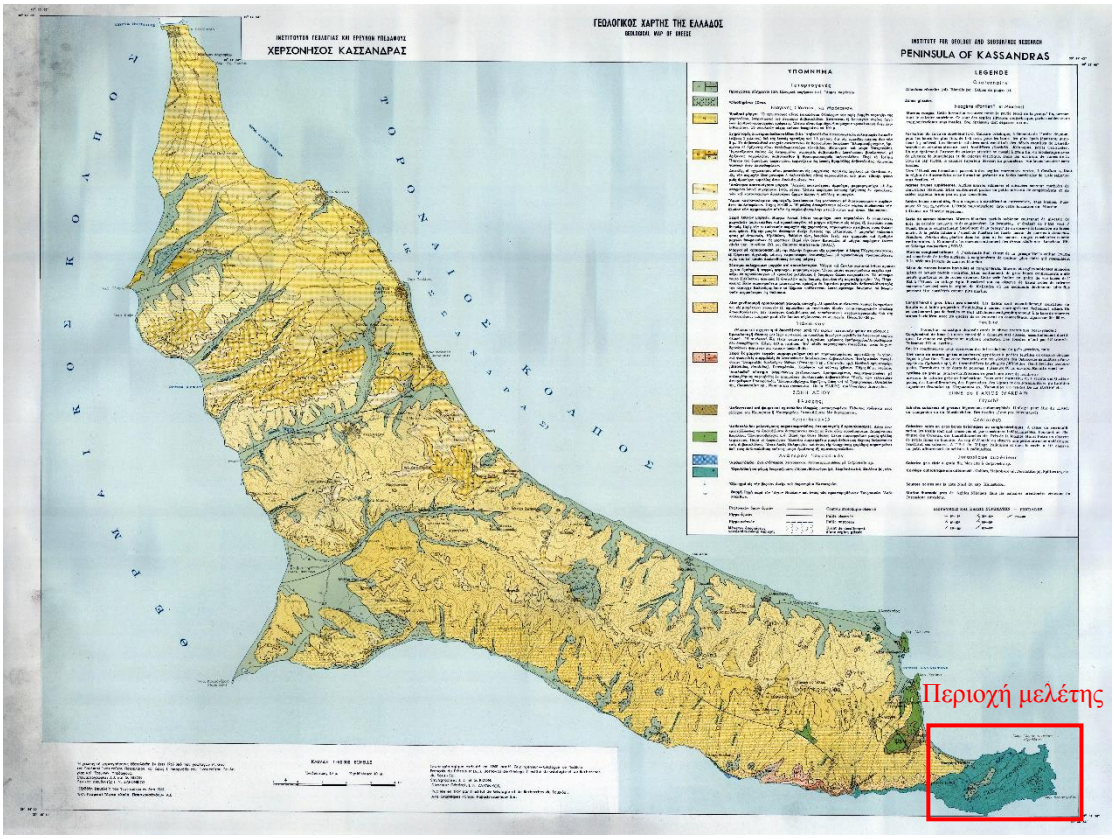
Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επίκουρη καθηγήτρια του τμήματος Γεωλογίας, του τομέα Ορυκτολογίας-Πετρολογίας, κα.Λαμπρινή Παπαδοπούλου τόσο για την πρόταση του θέματος όσο και για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση της, σε όλα τα στάδια εκπόνησης της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

2. Εισαγωγή

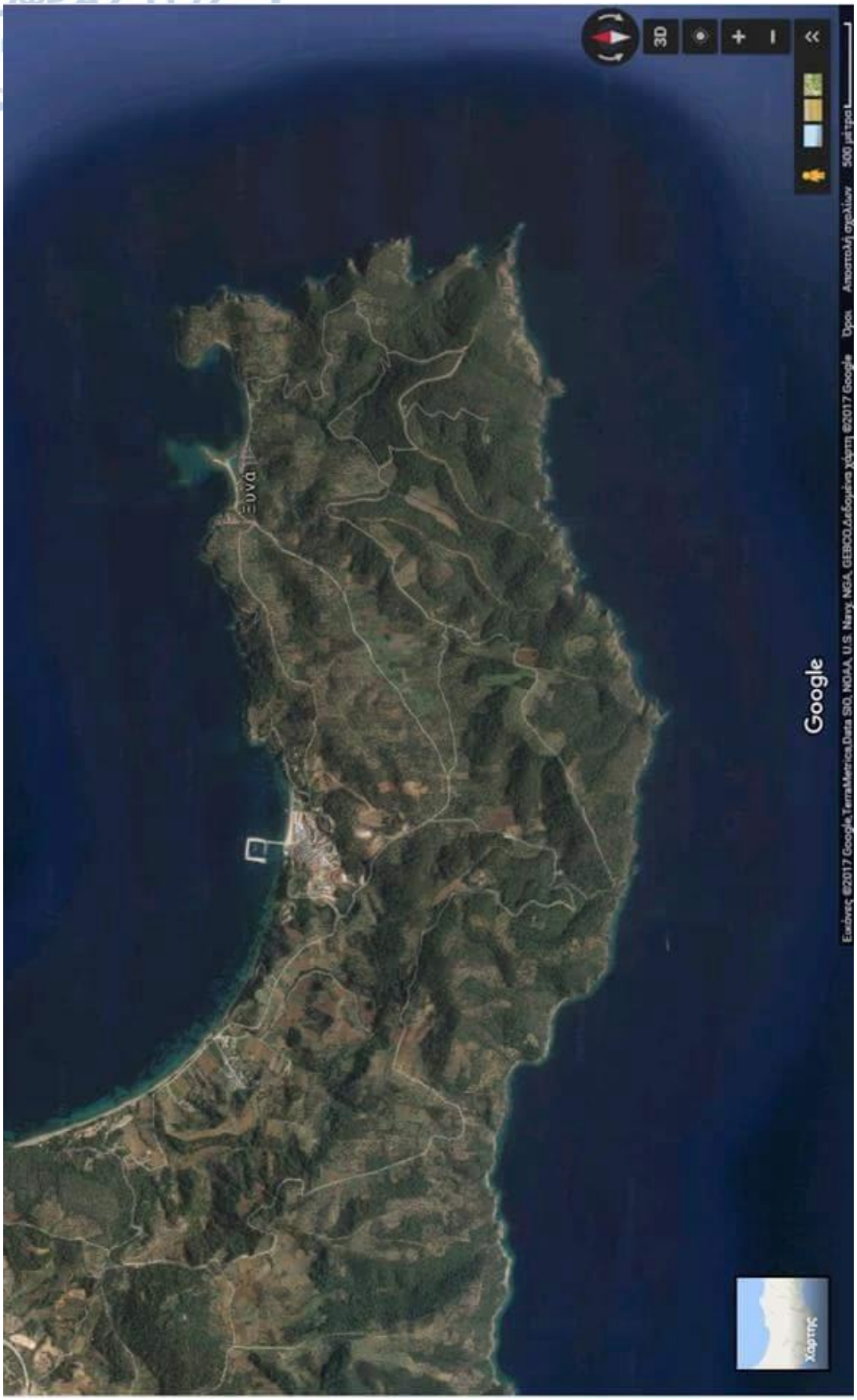
Οι pillow λάβες που μελετώνται αποτελούν τμήματα της οφειολιθικής σειράς που βρέθηκαν στο νότιο άκρο της χερσονήσου της Κασσάνδρας στην περιοχή Ξυνά (Σχήμα 2.1 και 2.2). Η περιοχή υπάγεται στον Δήμο Κασσάνδρας με την τελευταία μεταρρύθμιση του 2011. Η χερσόνησος της Κασσάνδρας έχει μακρά ιστορία που ξεκινά από τα αρχαία χρόνια. Συνολικά ο Δήμος Κασσάνδρας καταλαμβάνει έκταση 334.280km^2. Ο πληθυσμός του Δήμου ανέρχεται στους 16,672 κατοίκους σύμφωνα με την τελευταία απογραφή του 2011. Η περιοχή μελέτης απέχει περίπου 125km από την πόλη της Θεσσαλονίκης.



Σχήμα 2.1: Γεωλογικός χάρτης της χερσονήσου της Κασσάνδρας. (Guy & Bornova 1965, ΙΓΜΕ, φύλλο Χερσόνησος Κασσάνδρας).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Σχήμα 2.2: Δορυφορική εικόνα της περιοχής μελέτης (Google Maps)

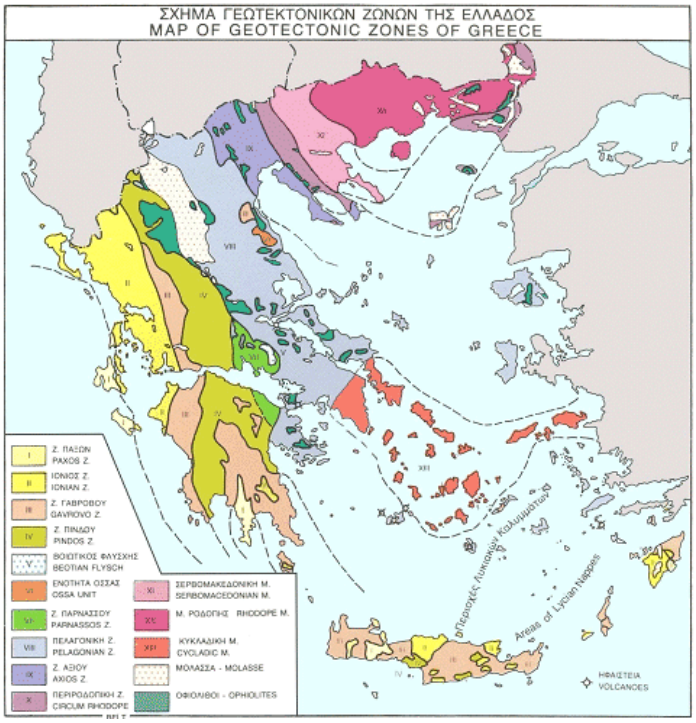
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

3. Γεωλογία της Περιοχής

3.i) Ζώνη Αξιού

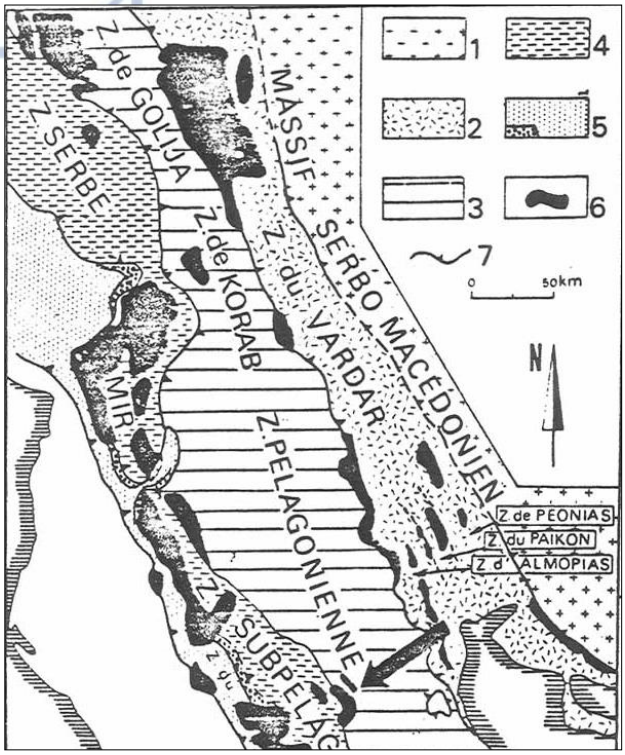
Ο Ελληνικός χώρος διακρίνεται σε δώδεκα γεωτεκτονικές ζώνες οι οποίες χωρίζονται σε εσωτερικές και εξωτερικές Ελληνίδες ζώνες (Σχήμα 3.1). Η περιοχή της Κασσάνδρας εντάσσεται στην γεωτεκτονική ζώνη του Αξιού η οποία ανήκει στις εσωτερικές Ελληνίδες. Ανατολικά της βρίσκεται η Περιροδοπική ζώνη και δυτικά η Πελαγονική (Σχήμα 3.2). Παλαιότερες απόψεις (Kossmat 1924) θεωρούν ότι η ζώνη Αξιού αποτελούσε μία ενιαία βαθιά αύλακα που οριοθετούσε το ηπειρωτικό τέμαχος της Ροδόπης (ανατολικά) με την ράχη της Πελαγονικής (δυτικά). Νεότερες απόψεις (Osswald 1938, Mercier 1966) υποστηρίζουν ότι η ζώνη Αξιού αποτελεί ένα τμήμα ωκεάνιας λιθόσφαιρας που δημιουργήθηκε σε κάποιον ωκεάνιο χώρο ο οποίος αποτελούσε τμήμα του ωκεανού της Τηθύος ή μια μικρή αυτόνομη ωκεάνια λεκάνη. Μία ακόμη άποψη για την ζώνη Αξιού (Mercier & Vergely 1975, Brown & Robertson 2004) υποστηρίζει ότι αποτελεί μια ζώνη συρραφής του ωκεανού που υπήρχε στην περιοχή.



Σχήμα 3.1: Χάρτης των γεωτεκτονικών ζωνών του ελληνικού χώρου (Μουντράκης 2010).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ



Σχήμα 3.2: Τμήμα γεωτεκτονικού σκαριφήματος του Βορειοελλαδικού χώρου με προέκταση προς τις Διναρίδες όπου φαίνονται οι δύο οφειολιθικές ακολουθίες. (Vergely 1977).

Κατά τον Mercier (1966) η ζώνη Αξιού υποδιαιρείται σε τρεις υπο-ζώνες οι οποίες από ανατολικά προς τα δυτικά είναι: η υπο-ζώνη Παιονίας, η υπο-ζώνη Πάικου και η υπο-ζώνη Αλμωπίας. Στις ζώνες Παιονίας και Αλμωπίας απαντώνται οφειολιθικά πετρώματα και ιζηματογενή πετρώματα βαθειάς θάλασσας (σχιστοκερατολιθική διάπλαση) τα οποία φανερώνουν τον ωκεάνιο χαρακτήρα της ζώνης. Ωστόσο, στην υπο-ζώνη Πάικου απαντώνται ιζηματογενή πετρώματα πελαγικού και νηριτικού χαρακτήρα καθώς και πλήθος ηφαιστειοϊζηματογενών πετρωμάτων. Γι' αυτό το λόγο, για την υπο-ζώνη Πάικου κυριαρχεί η άποψη (Mercier 1966) ότι αποτελούσε ένα ύβωμα μέσα στον ωκεάνιο χώρο το οποίο πιθανόν να αποτελούσε νησιωτικό τόξο που δημιουργήθηκε από την αρχική διάρρηξη και υποβύθιση της ωκεάνιας λιθοσφαιρικής πλάκας όταν ο ωκεανός άρχισε να κλείνει (Bébien 1982, Brown & Robertson 2003).

Όσον αφορά το υπόβαθρο της ζώνης Αξιού, αυτό αποτελείται από μεταμορφωμένα Παλαιοζωικά πετρώματα του προαλπικού υποβάθρου τα οποία πολλές φορές βρίσκονται συμπτυχωμένα μαζί με αλπικά ιζήματα. Το υπόβαθρο αποτελείται κυρίως από γνεύσιους,

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους, χαλαζιακούς-χλωριτικούς σχιστόλιθους και παρεμβολές γρανιτών–πηγματιτών. Ραδιοχρονολογήσεις που έγιναν σε αυτά τα πετρώματα φανερώνουν ότι έχουν υποστεί μεταμόρφωση κατά την Ερκύνια ορογένεση. Τα πετρώματα αυτά θεωρείται ότι αποσπάστηκαν τεκτονικά από τη Σερβομακεδονική μάζα και συμπτυχώθηκαν με τα αλπικά ιζήματα της ζώνης Αξιού (Μουντράκης 2010).

3 i.α) Υπο-ζώνη Παιονίας

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω αποτελεί την ανατολικότερη υποενότητα της ζώνης Αξιού η οποία έχει τοποθετηθεί τεκτονικά πάνω στις υπόλοιπες υποενότητες της ζώνης. Αντίστοιχα, πάνω από αυτήν έχει τοποθετηθεί τεκτονικά η Περιροδοπική ζώνη. Το όριο μεταξύ Περιροδοπικής ζώνης και υπο-ζώνης Παιονίας δεν είναι σαφές. Το ερώτημα που τίθεται είναι κατά πόσο διαφέρει η μία ζώνη από την άλλη τόσο γεωτεκτονικά όσο και παλαιογεωγραφικά, καθώς και ποιοι σχηματισμοί ανήκουν στην ζώνη της Περιροδοπικής και ποιοι όχι. Το ζήτημα αυτό είναι αρκετά περίπλοκο να απαντηθεί επειδή, η Περιροδοπική ζώνη με την υπο-ζώνη Παιονίας περιλαμβάνουν παρόμοια ιζήματα βαθειάς θάλασσας. Επιπλέον, η Περιροδοπική ορίστηκε ως ξεχωριστή ζώνη αργότερα από τις άλλες ζώνες του ελληνικού ορογενούς. Σήμερα είναι γενικά αποδεκτό ότι τα ιζήματα της υπο-ζώνης Παιονίας αποτελούν ιζήματα που αποτέθηκαν σε ανοιχτή και βαθιά θάλασσα. Αντίθετα, τα ιζήματα της Περιροδοπικής ζώνης αποτελούν ιζήματα που αποτέθηκαν στην ηπειρωτική κατωφέρεια της Ενδοχώρας και στην παλιά περιφερειακή τάφρο (Μουντράκης 2010).

Η υπο-ζώνη Παιονίας χαρακτηρίζεται από την έντονη λεπιοειδή τεκτονική του Τριτογενούς. Τα λέπια εντοπίζονται τόσο σε μεγα- όσο και σε μικρο- κλίμακα. Κάθε επιμέρους ενότητα στην οποία χωρίζεται η Παιονία αποτελεί και ένα τεκτονικό μεγα-λέπι αν και αυτά φαίνονται αποκομμένα μεταξύ τους λόγω των μεταλπικών ιζημάτων που κάλυψαν μεταγενέστερα την περιοχή. Η γενική κλίση αυτών των τεκτονικών λεπίων είναι προς τα ΒΑ και έχουν τοποθετηθεί με συνεχείς εφιππεύσεις προς τα ΔΝΔ.

Τα πετρώματα που χαρακτηρίζουν την υποζώνη Παιονίας είναι κυρίως οι οφειόλιθοι που βρίσκονται σε όλες τις ενότητές της και έχουν μεγαλύτερη έκταση στην ενότητα Γευγελής (Μουντράκης 2010).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

3 i.β) Υπο-ζώνη Πάικου

Η υπο-ζώνη Πάικου βρίσκεται δυτικά της υπο-ζώνης Παιονίας και ανατολικά της υπο-ζώνης Αλμωπίας. Κατά τον Mercier (1966) η υπο-ζώνη Πάικου αποτελούσε ένα ύβωμα ανάμεσα στις δύο αύλακες της Παιονίας και της Αλμωπίας. Μεταγενέστερες απόψεις υποστηρίζουν ότι το Πάικο αποτελούσε ένα νησιωτικό τόξο μέσα στην ευρύτερη περιοχή του ωκεανού του Αξιού κατά την περίοδο του Ιουρασικού με έντονη ηφαιστειακή δραστηριότητα. (Μουντράκης 2010).

Τεκτονικά η περιοχή του Πάικου σχηματίζει ένα μεγάλο αντίκλινο το οποίο αποτελεί ένα metamorphic core complex. Γύρω από τον πυρήνα αυτού του αντικλίνου εκτείνονται οι υπόλοιπες ενότητες του Πάικου οι οποίες βρισκόταν επωθημένες πάνω σε αυτό (ενότητα Γκάντατς) (Μουντράκης 2010).

3 i.γ) Υπο-ζώνη Αλμωπίας

Η υπο-ζώνη Αλμωπίας αποτελεί το δυτικότερο τμήμα της ζώνης Αξιού. Κατά τον Mercier (1966) η περιοχή της Αλμωπίας αποτελούσε μία αύλακα ανάμεσα στο ύβωμα του Πάικου, που βρίσκόταν ανατολικά της, και στο ύβωμα της Πελαγονικής, που βρισκόταν δυτικά της. Νεότερες απόψεις τοποθετούν την Αλμωπία ως το εξωτερικότερο, δυτικό τμήμα του ωκεανού του Αξιού και γενικότερα του ωκεανού της Τηθύος. Άλλες απόψεις θεωρούν την Αλμωπία ως το ανατολικό περιθώριο της Πελαγονικής που αποτελούσε ένα ηπειρωτικό τέμαχος (Μουντράκης 2010).

Τα πετρώματα της υπο-ζώνης της Αλμωπίας είναι κυρίως οφειολιθικά μαζί με ιζήματα βαθιάς θάλασσας, ιζήματα της επίκλυσης του Άνω Κρητιδικού καθώς και μεταμορφωμένα πετρώματα που αποτελούν το υπόβαθρο πάνω στο οποίο επωθήθηκαν τα οφειολιθικά πετρώματα και ανήκουν στο ηπειρωτικό περιθώριο της Πελαγονικής. Η υπο-ζώνη της Αλμωπίας χαρακτηρίζεται από έντονη λεπιοειδή τεκτονική. Όλα τα πετρώματα που αναφέρθηκαν πιο πάνω βρίσκονται επωθημένα με τη μορφή τεκτονικών λεπίων το ένα πάνω στο άλλο και όλα προς τα δυτικά πάνω στην Πελαγονική. Τέλος, στην Αλμωπία κατά το Τριτογενές εκδηλώθηκε έντονη ηφαιστειότητα (Μουντράκης 2010).

Μία σύντομη περιγραφή της γεωτεκτονικής εξέλιξης της ζώνης Αξιού είναι η εξής: Η υποζώνη Αλμωπίας ερμηνεύεται ως μια πρώην ωκεάνια λεκάνη, η οποία υποβυθίστηκε κάτω από την Σερβομακεδονική μάζα για να δημιουργήσει το ηφαιστειακό τόξο του Πάικου στο

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Μέσο-Άνω Ιουρασικό. Κατά την διάρκεια του Άνω Ιουρασικού, οφειόλιθοι από αυτόν τον ωκεανό επωθήθηκαν προς τα δυτικά πάνω στην Πελαγονική ζώνη (Mercier & Vergely 1975; Brown & Robertson 1994, 2003, 2004; Bébien et al. 1994; Sharp & Robertson 1994). Παρόλα αυτά, κατά την διάρκεια του Κρητιδικού υπήρχε μία ωκεάνια λεκάνη στην περιοχή είτε ως υπολειμματικός ωκεανός που δεν επωθήθηκε κατά το Ιουρασικό, είτε ως μια μικρή λεκάνη που δημιουργήθηκε λόγω εφελκυσμού στο Κρητιδικό (Sharp & Robertson 1994). Το τελικό κλείσιμο του ωκεανού θεωρείται ότι συνέβη κατά το Τριτογενές, συνοδευόμενο με την επώθηση των οφειολίθων προς τα ανατολικά πάνω στην υποζώνη του Πάικου (Sharp & Robertson 1994; Brown & Robertson 2004). Μια διαφορετική άποψη για την υποζώνη του Πάικου είναι αυτή του τεκτονικού παραθύρου, (Godfriaux & Ricou 1991; Ricou & Godfriaux 1991, 1995; Ferrière et al. 2001) η οποία, όμως, είναι αρκετά αμφιλεγόμενη (e.g. Mercier & Vergély 1994). Οι οφειόλιθοι της Γευγελής στο δυτικό μέρος της υποζώνης της Παιονίας θεωρείται ότι δημιουργήθηκαν σε μία οπισθοτόξια λεκάνη που άνοιξε πίσω από (στα ανατολικά του) το τόξο του Πάικου (Bébien 1982; Brown & Robertson 2003). Στην συνέχια, επωθήθηκαν προς τα δυτικά πάνω στην υποζώνη του Πάικου (Mercier et al. 1975; Brown & Robertson 1994). Στοιχεία που αποδεικνύουν την υποβύθιση στο ανατολικό τμήμα της ζώνης Αξιού έχουν βρεθεί στο Πάικο και στο ανατολικό τμήμα της υποζώνης Παιονίας από τον Baroz et al. (1987) και Michard et al. (1994), όπου βρέθηκαν πετρώματα με φεγγίτη με υψηλή περιεκτικότητα σε Si και γλαυκοφανή.

3.ii) Χερσόνησος της Κασσάνδρας

Η περιοχή της Κασσάνδρας μελετήθηκε λεπτομερώς από τους Guy και Bornova το 1965 στα πλαίσια της χαρτογράφησης της περιοχής από το Ινστιτούτο Γεωλογίας και Ερευνών Υπεδάφους (σχήμα 2.1). Η χαρτογράφηση έγινε σε κλίμακα 1:50.000. Σύμφωνα με αυτή τη χαρτογράφηση η Χερσόνησος της Κασσάνδρας αποτελείται από (από το παλαιότερο στο νεότερο):

Οφειολιθική σειρά, μη διαχωριζόμενη. Γάββροι, Δολερίτες, Περιδοτίτες, Σπηλίτες κλπ., ηλικίας Ανώτερου Ιουρασικού. Εντάσσονται στην ζώνη Αξιού.

Ασβεστόλιθοι ανοικτότεφροι**,** λεπτόκοκκοι, λεπτοστρωματώδεις με *Calpionella sp.,* ηλικίας Ανώτερου Ιουρασικού. Εντάσσονται στην ζώνη Αξιού.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Ασβεστόλιθοι μελανόχρωμοι παχυστρωματώδεις με λατυποπαγή ή κροκαλοπαγή, ηλικίας Κρητιδικού. Εντάσσονται στην ζώνη Αξιού.

Ασβεστιτικοί και ψαμμιτικοί σχιστόλιθοι, ελαφρώς μεταμορφωμένοι, πιθανώς αυτός ο σχηματισμός να αποτελεί φλύσχη του Καμπανίου ή Μαιστριχτίου. Εντάσσονται στην ζώνη Αξιού.

Μολασσικοί σχηματισμοί (που αποτέθηκαν κατά την κύρια τεκτονική φάση πτύχωσης) ηλικίας Ηωκαίνου.

Σύστημα ψαμμιτών, χονδρόκοκκων, ερυθροκίτρινων, παχυστρωματωδών με παρεμβολές ασβεστολίθων.

Σειρά μαργών, τεφρών, με μαρμαρυγίες

Κροκαλοπαγές βάσης με κροκάλες κυρίως διοριτικές και ψαμμιτικό ή αργιλικό συνδετικό υλικό.

Κροκαλοπαγή, αδρομερή, χαλαρής συνοχής με κροκάλες κυρίως γρανιτικές και σε μικρότερο ποσοστό οφειολιθικές και ψαμμιτομαργαϊκό συνδετικό υλικό, ηλικίας Νεογενούς.

Σύστημα πολύχρωμων μαργών και κροκαλοπαγών, καστανές μάργες και άργιλοι ενίοτε πράσινες, ερυθρές ή τεφρές. Μέσα σε αυτές παρατηρούνται παχιά στρώματα κροκαλοπαγών, ηλικίας Νεογενούς.

Μάργες και κροκαλοπαγή, ηλικίας Νεογενούς.

Σειρά λευκών μαργών, Λευκές μάργες με παρεμβολές από ψαμμίτες, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και κροκαοπαγή, ηλικίας Νεογενούς.

Άμμοι καστανοκίτρινοι συμπαγείς, λεπτόκοκκοι ως μεσόκοκκοι με διασταυρούμενη στρώση, ηλικίας Νεογενούς.

Ανώτερες καστανόχρωμες μάργες, αμμούχοι καστανόχρωμοι άργιλοι, με μαρμαρυγίες ενίοτε με λευκούς ορίζοντες από κροκαλοπαγή και καστανόχρωμους ορίζοντες αργιλούχων άμμων, ηλικίας Νεογενούς.

Σχηματισμός ανώτερου ασβεστολίθου, ασβεστόλιθοι λατυποπαγείς με μικρές λατύπες, ηλικίας Νεογενούς

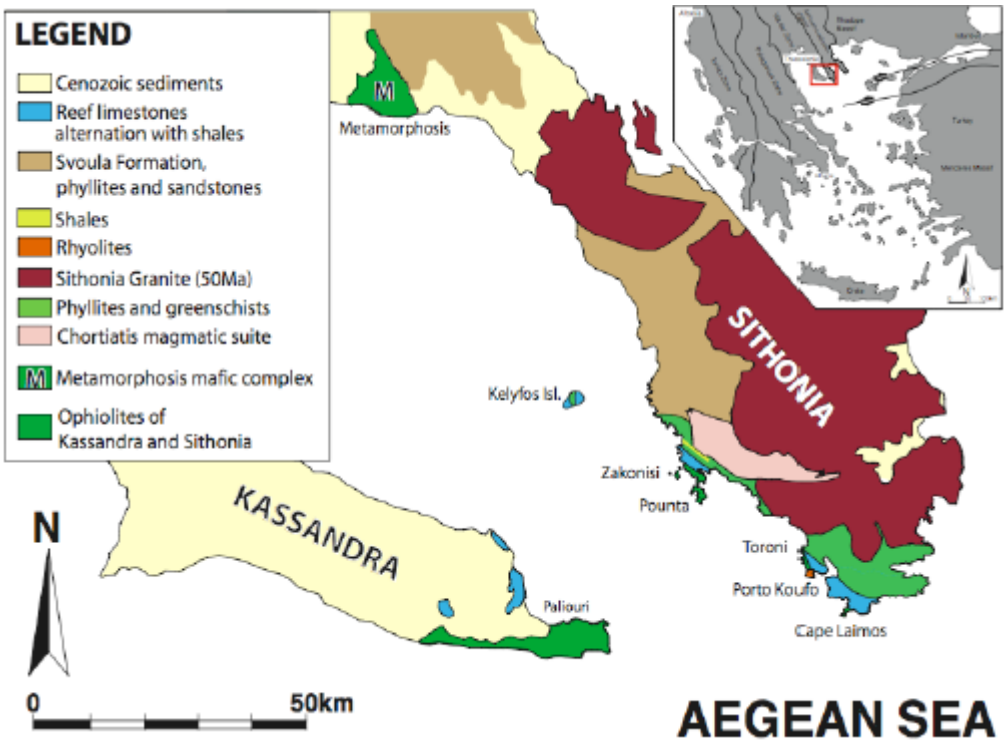
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Ερυθρές μάργες, αυτός ο σχηματισμός καλύπτει όλη την βόρεια περιοχή της χερσονήσου, ηλικίας Νεογενούς.

Σύγχρονες προσχώσεις, πλευρικά κορήματα και παράκτιοι άμμοι.

Σύμφωνα με τους Guy και Bornova (1965) οι κατώτεροι σχηματισμοί της χερσονήσου της Κασσάνδρας εντάσσονται στην ζώνη Αξιού. Κατά Μουντράκη (2010), τα πετρώματα αυτά θα πρέπει να εντάσσονται στην υπο-ζώνη Παιονίας.



Σχήμα 3.3: Γενικευμένος γεωλογικός χάρτης των νοτιότερων τμημάτων της περιοχής της Χαλκιδικής. Οφειολιθικές εμφανίσεις φαίνονται στο νοτιότερο άκρο της περιοχής της Κασσάνδρας όπως επίσης και στις νοτιοδυτικές ακτές της περιοχής της Σιθωνίας (Zachariadis 2007)

Η παρούσα εργασία αναφέρεται στα οφειολιθικά πετρώματα της χερσονήσου (Σχήμα 3.3). Η τοποθέτηση αυτών των πετρωμάτων στο ηπειρωτικό τέμαχος (obduction) συνέβη πριν το Ανώτερο Ιουρασικό (Μουντράκης 2010).

Πιο συγκεκριμένα τα οφειλιθικά πετρώματα της Κασσάνδρας αποτελούνται από μαζώδεις ροές λάβας και μαξιλαροειδείς λάβες (pillow lavas). Οι λάβες έχουν σκωριώδη υφή

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

και έχουν υποστεί ωκεάνια μεταμόρφωση. Πολλές από τις κοιλότητες έχουν πληρωθεί από δευτερογενή ορυκτά όπως ζεόλιθοι. Μια συνηθισμένη εξαλλοίωση που συμβαίνει σε αυτά τα πετρώματα είναι η μετατροπή ορυκτών σε επίδοτο. Οι pillow lavas εμφανίζουν χαρακτηριστικά ψύξης όπως ακτινωτές ρωγμώσεις οι οποίες παρατηρούνται σε όλες τις εμφανίσεις τους (Σχήμα 3.4). Στο νότιο, δυτικό και ανατολικό τμήμα τους οι εμφανίσεις φτάνουν μέχρι την θάλασσα, ενώ στο βόρειο τμήμα οριοθετούνται από τις Τριτογενείς και Τεταρτογενείς αποθέσεις. (Zachariadis 2007).

Σχήμα 3.4: Pillow lavas από την περιοχή μελέτης.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

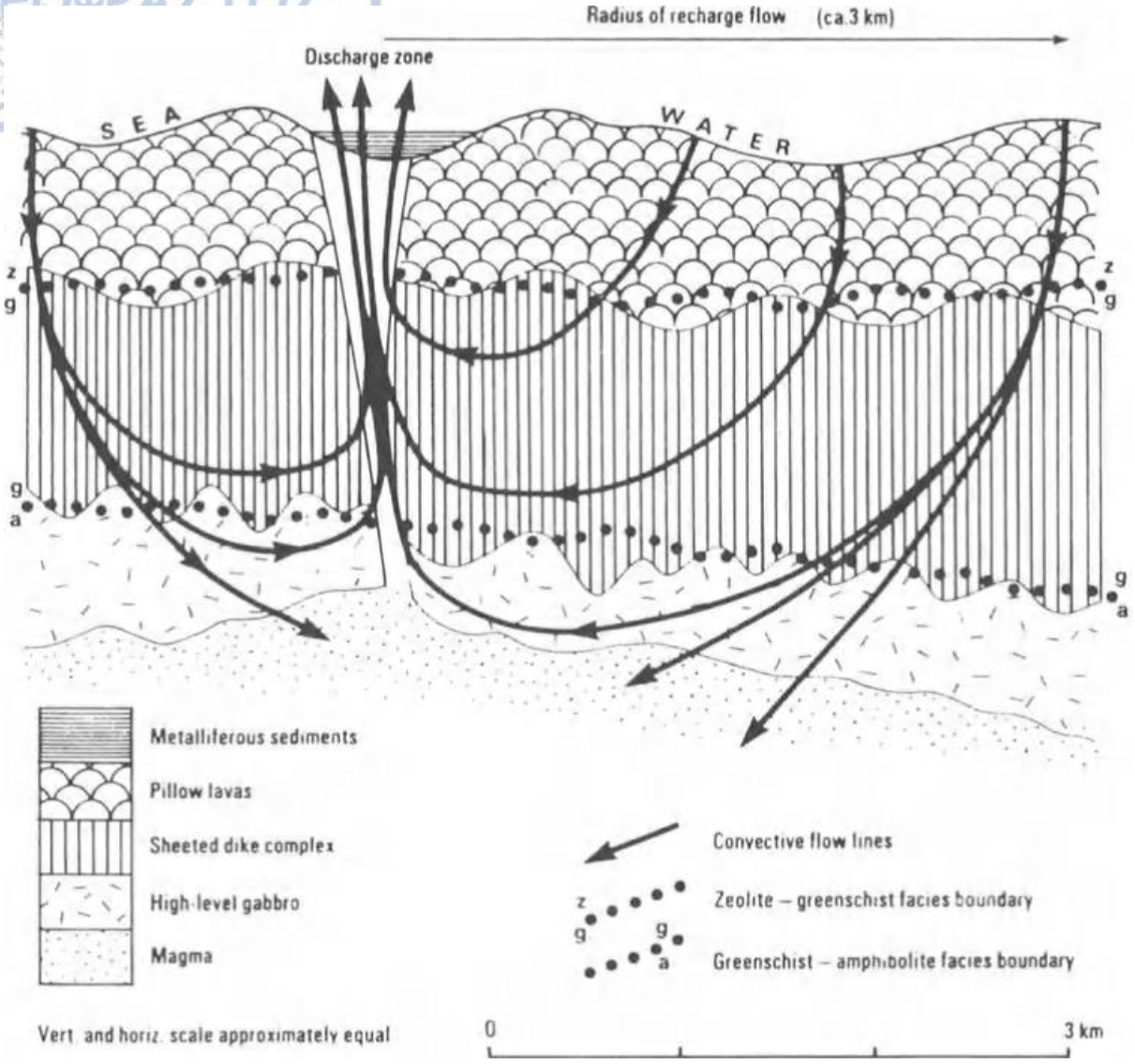
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

4. Μεταμόρφωση υπερβασικών και βασικών πετρωμάτων

Όπως είναι γνωστό, τα περισσότερα μεταμορφωμένα πετρώματα δημιουργούνται από μεγάλης κλίμακας τεκτονικές διεργασίες και συνδέονται με αλλαγές στην πίεση και τη θερμοκρασία. Οι πρωτόλιθοι των μεταϋπερβασικών είναι πετρώματα που σχηματίζονται κυρίως σε πυθμένες ωκεανών. Από μελέτες δειγμάτων ωκεάνιου φλοιού, έχει διαπιστωθεί, ότι μεταμορφωμένα πετρώματα, κυρίως πρασινοσχιστόλιθοι και σπανιότερα αμφιβολίτες, εμφανίζονται συχνά και σχηματίζονται από μεταμορφικές διαδικασίες που σχετίζονται με τη δημιουργία του ίδιου του ωκεάνιου φλοιού. (Σχήμα 4.1) Σε αυτά τα περιβάλλοντα ο τύπος της μεταμόρφωσης που λαμβάνει χώρα είναι περιοχική, ωκεάνια μεταμόρφωση (Miyashiro 1971). Αυτού του τύπου η μεταμόρφωση αναφέρεται σε μετατροπές που συμβαίνουν στον ωκεάνιο φλοιό και πιο συγκεκριμένα σε μεσοωκεάνιες ράχες. Τα μεταμορφωμένα πετρώματα που δημιουργούνται μετακινούνται καθώς ο ωκεάνιος φλοιός επεκτείνεται, καλύπτοντας έτσι μεγάλα τμήματα του ωκεάνιου πυθμένα. Αυτά τα πετρώματα είναι κυρίως βασικής και υπερβασικής σύστασης (βασάλτες, περιδοτίτες). Τα υπερβασικά μέλη έχουν μανδυακή προέλευση και είναι πλούσια σε Mg, γι' αυτό κατά την μεταμόρφωσή τους δημιουργούνται ένυδρα ή άνυδρα ορυκτά πλούσια σε Mg. Τα βασικά μέλη αποτελούνται κυρίως από πυριτικά ορυκτά πλούσια σε Ca-Mg-Fe-Al. Ένα βασικό χαρακτηριστικό των πετρωμάτων που δημιουργούνται από ωκεάνια μεταμόρφωση είναι η έντονη παρουσία φλεβών και η μετασωμάτωση που υφίστανται από την κυκλοφορία μεγάλης ποσότητας θερμού θαλασσινού νερού. Αυτή η διαδικασία προσομοιάζει με την υδροθερμική μεταμόρφωση (Coombs 1961). Σε αυτήν τα ρευστά διαλύματα ρέουν μέσα από σπασίματα των πετρωμάτων και προκαλούν ορυκτολογικές και χημικές αλλαγές στο πέτρωμα (Bucher K. & Grapes R. 2011). Στον πίνακα 4.1 δίνονται συνοπτικά τα χαρακτηριστικά της ωκεάνιας μεταμόρφωσης.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Σχήμα 4.1: Μοντέλο υδροθερμικής κυκλοφορίας θαλασσινού νερού κοντά σε μεσοωκεάνια ράχη, από Gass & Smewing (1981). Φαίνονται τα όρια των μεταμορφικών φάσεων που δημιουργούνται από τη μετασωμάτωση των πετρωμάτων από το θαλασσινό νερό.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

Πίνακας 4.1: Τυπικά χαρακτηριστικά της ωκεάνιας μεταμόρφωσης (τροποποιημένο από Bucher K. & Grapes R. 2011)

Τύπος Μεταμόρφωσης	Ωκεάνια Μεταμόρφωση
Γεωλογικό περιβάλλον	Σε ωκεάνιο φλοιό και ανώτερο μανδύα, εκτίνεται για αρκετές χιλιάδες τετραγωνικά χιλιόμετρα.
Στατικό/δυναμικό καθεστώς	± Στατικές, εκτατικό σπάσιμο και δημιουργία φλεβών, χωρίς σχιστότητα που να συνδέεται με την έκταση του ωκεάνιου πυθμένα.
Θερμοκρασία	150-500°C (>500 °C κοντά στο μάγμα)
Λιθοστατική πίεση	<300 MPa
Διαβαθμίσεις θερμοκρασίας	50-500 °C/km (κατακόρυφα και οριζόντια)
Διεργασίες	Η θερμότητα προέρχεται από την ασθενόσφαιρα και από διεισδύσεις βασικού μάγματος στις μεσοωκεάνιες ράχες σε συνδυασμό με την κυκλοφορία του θαλασσινού νερού μέσα από ρωγμώσεις στα ζεστά πετρώματα σε εκτατικό καθεστώς.
Τυπικά μεταμορφωμένα πετρώματα	Μεταβασάλτης, μεταγάββρος, σερπεντινίτης, σχιστόλιθος (συχνά μπορεί να παραμένει η αρχική δομή του πετρώματος)

4.i) Υπερβασικά πετρώματα

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω τα υπερβασικά είναι μαγνησιο-πυριτικά πετρώματα που υπό φυσιολογικές συνθήκες δεν περιέχουν καθόλου σαλικά ορυκτά ή περιέχουν ελάχιστο (<10 % κατ. όγκο) άστριο. Τα υπερβασικά πετρώματα προέρχονται από το μανδύα της Γης ο οποίος αποτελείται, ως επί το πλείστον, από τέτοια πετρώματα. Γι' αυτό το λόγο, όταν βρίσκονται υπερβασικά πετρώματα στο φλοιό της Γης, κατά συνέπεια και σε επιφανειακές εμφανίσεις, θα πρέπει να έχουν τοποθετηθεί τεκτονικά από το μανδύα κατά τη διάρκεια της ορογένεσης.

Τα υπερβασικά πετρώματα αποτελούνται κυρίως από σιδηρο-μαγνησιούχα πυριτικά ορυκτά. Τα άνυδρα υπερβασικά πετρώματα περιέχουν τρία ορυκτά: ολιβίνη, ορθοπυρόξενο και ασβεστούχο κλινοπυρόξενο, σε διαφορετικές αναλογίες. Αυτό έχει ως άμεση συνέπεια τα SiO_2, FeO, MgO και CaO να αποτελούν >95 % κ.β των άνυδρων υπερβασικών πετρωμάτων. Ο σίδηρος (Fe) αποτελεί ένα σημαντικό στοιχείο των περισσότερων υπερβασικών

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

πετρωμάτων. Η μεγαλύτερη ποσότητα Fe απαντάται κυρίως στη σπινελιούχο φάση (μαγνητίτης, σπινέλιος, χρωμίτης) και συνεπώς ο Fe βρίσκεται σε δύο διαφορετικά οξειδωτικά στάδια. Στα πυριτικά ορυκτά η αντικατάσταση Fe-Mg στον ολιβίνη και τον ορθοπυρόξενο συχνά υπερβαίνει τα 5-15 mol % (X_{Mg} ~ 0.85-0.95). Τα περισσότερα μεταϋπερβασικά πετρώματα περιλαμβάνουν και ένυδρα ορυκτά (αμφιβόλους, φυλλοπυριτικά κ.λ.π.) και συχνά ανθρακικά. Γι' αυτό το H_2O και το CO_2 πρέπει να συμπεριληφθούν στα συστατικά των μεταϋπερβασικών πετρωμάτων για να περιγραφούν οι φάσεις σε μερικώς ή πλήρως ενυδατωμένες (ή/ και ανθρακούχες) διαφοροποιήσεις πετρωμάτων με ολιβίνη, ορθοπυρόξενο + κλινοπυρόξενο. Το σύστημα SiO_2–MgO–CaO–H_2O–CO_2 και τα υποσυστήματα αυτού χρησιμοποιούνται και για την περιγραφή των μεταμορφωμένων πετρωμάτων που προέρχονται από υπερβασικά πετρώματα (Bucher K. & Grapes R. 2011). Στους πίνακες 4.2 και 4.3 δίνονται οι κυριότερες φάσεις που συμμετέχουν στα υπερβασικά πετρώματα κατά τη μεταμόρφωση τους, καθώς και οι αντιδράσεις σχηματισμού τους, αντίστοιχα.

Πίνακας 4.2: Οι φάσεις που συμμετέχουν στα υπερβασικά πετρώματα και οι χημικοί τους τύποι (τροποποιημένο από Bucher K. & Grapes R. 2011)

Φάσεις	**Χημικός Τύπος**
Χρυσοτίλης	$Mg_3Si_2O_5(OH)_4$
Αντιγορίτης	$Mg_{48}Si_{34}O_{85}(OH)_{62}$
Βρουσίτης	$Mg(OH)_2$
Τάλκης	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$
Φορστερίτης	Mg_2SiO_4
Ενστατίτης	$Mg_2Si_2O_6$
Ανθοφυλλίτης	$Mg_7Si_8O_{22}(OH)_2$
Διοψίδιος	$CaMgSi_2O_6$
Τρεμολίτης	$Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$
Χλωρίτης	$Mg_5Al_2Si_3O_{10}(OH)_8$
Ανορθίτης	$CaAl_2Si_2O_8$
Πυρωπό	$Mg_3Al_2Si_3O_{12}$

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

Πίνακας 4.3: Αντιδράσεις που πραγματοποιούνται κατά τη μεταμόρφωση υπερβασικών πετρωμάτων (τροποποιημένο από Bucher K. & Grapes R. 2011)

$$15Ctl + Tlc \Rightarrow Atg$$
$$17Ctl \Rightarrow Atg + 3Brc$$
$$Atg + 20Brc \Rightarrow 34Fo + 51H_2O$$

$$Atg \Rightarrow 18Fo + 4Tlc + 27H_2O$$

$$9Tlc + 4Fo \Rightarrow 5Ath + 4H_2O$$
$$2Tlc + 2Fo \Rightarrow 5En + 2H_2O$$
$$2Ath + 2Fo \Rightarrow 9En + 2H_2O$$
$$Atg \Rightarrow 10En + 14Fo + 31H_2O$$
$$Atg + 8Di \Rightarrow 18Fo + 4Tr + 27H_2O$$
$$2Tr + 2Fo \Rightarrow 5En + 4Di + 2H_2O$$

$$Chl \Rightarrow Fo + En + Spl + 4H_2O$$
$$Py + Fo \Rightarrow 2En + Spl$$
$$En + Di + Spl \Rightarrow 2Fo + An$$
$$4Spl + 2Tr \Rightarrow 6Fo + En + 4An + 2H_2O$$

4 i.α) Σερπεντινίωση του Περιδοτίτη

Η σερπεντινίωση των πετρωμάτων του μανδύα συμβαίνει φυσιολογικά σε τρία διαφορετικά περιβάλλοντα:

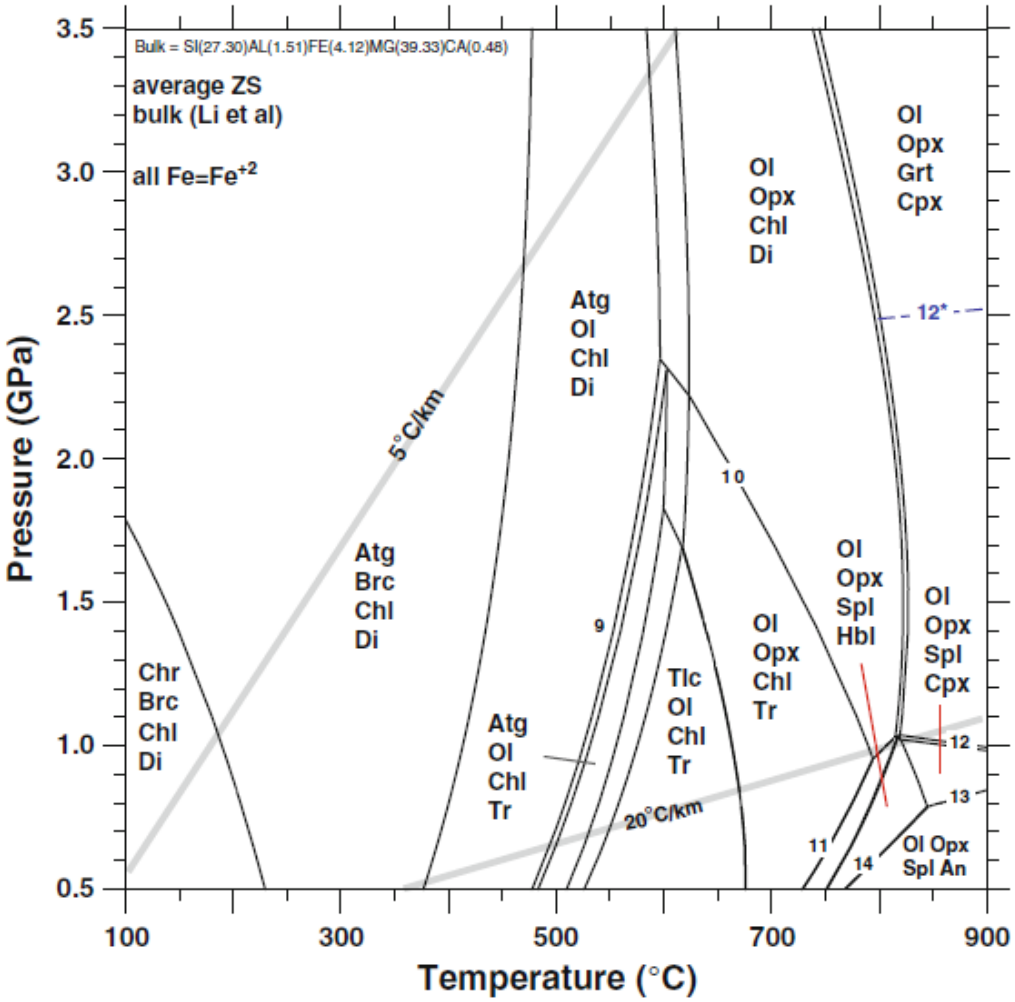
1) σε οφειολιθικά συμπλέγματα, όπου η σερπεντινίωση συνδέεται με ωκεάνια μεταμόρφωση
2) στο φλοιό, κατά τη διάρκεια της δημιουργίας ζωνών σύγκρουσης, και
3) μέσα στον ίδιο τον μανδύα.

Η χαμηλής θερμοκρασίας εξαλλοίωση των περιδοτιτών στους οφειολίθους αποτελεί μια διαδικασία ανάδρομης μεταμόρφωσης και ενυδάτωσης. Ένα υπερβασικό πέτρωμα όταν υποστεί τις συνθήκες που περιγράφονται στο διάγραμμα του σχήματος 4.2, παρουσία υδατικού

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

διαλύματος μπορεί να σερπεντινιωθεί (Δημητριάδης 1988, Bucher K. & Grapes R. 2011). Όπως φαίνεται από το Σχήμα 4.1., η πλήρης σερπεντινίωση συμβαίνει στους 620ºC σε πίεση 2.5GPa και στους 520ºC για πίεση 0.5GPa. Σε πίεση 100MPa η σερπεντινίωση μπορεί να ξεκινήσει στους 580 ºC.



Σχήμα 4.2: Διάγραμμα φάσεων (σταθερότητα παραγενέσεων) για ένα μέσο σερπεντινίτη από τον οφειόλιθο Zermatt-Saas (Li et al.2004)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

4.ii) Βασικά πετρώματα

Τα μεταμορφωμένα βασικά πετρώματα προέρχονται από βασικά πυριγενή πετρώματα, κυρίως βασάλτες και λιγότερο από γάββρο. Τέτοια μεταμορφωμένα πετρώματα είναι ο πρασινοσχιστόλιθος και ο αμφιβολίτης. Οι μεταμορφικές παραγενέσεις στα βασικά πετρώματα παρέχουν σημαντικές πληροφορίες για το βαθμό της μεταμόρφωσης και τις μεταμορφικές φάσεις.

Το μεγαλύτερο μέρος των βασικών πετρωμάτων απαρτίζεται από ηφαιστειακά πυριγενή πετρώματα, σε αντίθεση με τα αντίστοιχα πλουτωνικά. Οι βασάλτες σχηματίζουν μαζώδεις ροές λάβας, μαξιλαροειδείς δομές, στρωματοειδείς φλέβες, διεισδύσεις, υαλοκλαστικά λατυποπαγή και στρώματα τόφφων. Τα βασαλτικά πετρώματα έχουν περιεκτικότητα σε SiO_2 περίπου 49.2-47.1 ανάλογα με την προέλευση τους (Πίνακας 4.4). Συνιστούν το μεγαλύτερο μέρος του ωκεάνιου φλοιού και οι περισσότεροι βασάλτες εμφανίζονται να έχουν υποστεί μεταμόρφωση στον ωκεάνιο πυθμένα αμέσως μετά τον σχηματισμό τους στις μεσοωκεάνιες ράχες. Όταν μεταφέρονται σε ένα ηπειρωτικό περιθώριο, μέσω της κίνησης των τεκτονικών πλακών, τα ωκεάνια βασικά πετρώματα ανακρυσταλλώνονται και πάλι στο σημείο ή κοντά στο σημείο που συναντιούνται οι δύο συγκλίνουσες πλάκες και συνήθως διατηρούνται ως θραύσματα μέσα στο σύμπλεγμα της υποβύθισης. Η αλλαγή στην ορυκτολογία εξαρτάται από το αν ο ωκεάνιος φλοιός είχε υποβυθιστεί κάτω από μία ηπειρωτική πλάκα ή αν επωθήθηκε πάνω στον ηπειρωτικό φλοιό. Τα μεταμορφικά βασικά πετρώματα είναι ιδιαίτερα επιδεκτικά σε αλλαγές της θερμοκρασίας και της πίεσης. Αυτός είναι ο κύριος λόγος για τον οποίο τα περισσότερα ονόματα των διαφορετικών μεταμορφικών φάσεων προέρχονται από ορυκτολογικές παραγενέσεις (π.χ. πρασινοσχιστόλιθος, αμφιβολίτης, γρανουλίτης, γλαυκοφανιτικός σχιστόλιθος και εκλογίτης). Επιπρόσθετα, τα βασικά πετρώματα που μεταμορφώνονται σε συνθήκες χαμηλού βαθμού, κάτω από την πρασινοσχιστολιθική και γλαυκοφανιτική φάση, συχνά δείχνουν συστηματικές αλλαγές στην ορυκτολογία οι οποίες δημιουργούν την ανάγκη να υπάρξει περαιτέρω διαχωρισμός σε χαρακτηριστικές μεταμορφικές ζώνες. Σε αυτές τις υποδιαιρέσεις της χαμηλού βαθμού μεταμόρφωσης έχουν δοθεί ξεχωριστά ονόματα μεταμορφικών φάσεων όπως ζεολιθική, πρενιτική-πουμπελλυϊτική και πουμπελλυϊτική-ακτινολιθική, οι οποίες απλούστερα έχουν ομαδοποιηθεί ως υπο-πρασινοσχιστολιθικές φάσεις για πολύ χαμηλού βαθμού συνθήκες στα αρχικά στάδια της μεταμόρφωσης (Δημητριάδης 1988, Bucher K. & Grapes R. 2011).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

Πίνακας 4.4: Περιεκτικότητα στα πιο σημαντικά οξείδια σε δύο τύπους βασάλτη (MORB–Mid Ocean Ridge Basalt και Alkali-olivine basalt) σε σύγκριση με την περιεκτικότητα τους στον μέσο ωκεάνιο φλοιό και στον περιδοτίτη του άνω μανδύα (τροποποιημένο από Bucher K. & Grapes R. 2011)

Οξείδια	Βασάλτης (MORB)	Βασάλτης (alkali-olivine)	Ωκεάνιος φλοιός	Περιδοτίτης
SiO_2	49.2	47.1	48.6	45.3
TiO_2	2.03	2.3	1.4	0.2
Al_2O_3	16.09	14.2	16.5	3.6
Fe_2O_3	2.72	-	-	-
FeO	7.77	11.0	8.5	7.3
MgO	6.44	12.7	6.8	41.3
CaO	10.46	9.9	12.3	1.9
Na_2O	3.01	2.2	2.6	0.2
K_2O	0.14	0.4	0.4	0.1
H_2O	0.70	<1.0	1.1	<0.1
CO_2		<1.0	1.4	<0.1
C				

4 ii.α) Ενυδάτωση βασικών πετρωμάτων

Οι βασάλτες και οι γάββροι έχουν θερμοκρασία τήξης (solidus) περίπου 1200^{o}C. Έτσι, τα ένυδρα ορυκτά δεν αποτελούν τυπικά μέλη των στερεών παραγενέσεων των βασαλτών και άλλων βασικών πετρωμάτων. Συνεπώς, στο πλαίσιο της μεταμόρφωσης, τα βασικά πετρώματα, συμπεριλαμβανομένων και των πυροκλαστικών πετρωμάτων, είναι στο λιγότερο ενυδατωμένο στάδιο, εν αντιθέσει με τα «υγρά» ιζηματογενή πετρώματα τα οποία μεταμορφώνονται σε μέγιστη ενυδάτωση. Επειδή, τα νεοσχηματισθέντα ορυκτά στους μεταβασίτες σε χαμηλή θερμοκρασία είναι κυρίως ένυδρες φάσεις, η προσφορά νερού είναι πολύ σημαντική για την έναρξη της μεταμόρφωσης. Σε αντίθετη περίπτωση, τα πυριγενή πετρώματα θα παρέμεναν σχετικά ανεπηρέαστα από τη μεταμόρφωση. Μερική ή ολική μεταμόρφωση των βασικών πετρωμάτων μπορεί να συμβεί κατά τη διάρκεια της ωκεάνιας μεταμόρφωσης με υδροθερμική δραστηριότητα σε περιοχές νησιωτικών τόξων ή κατά τη διάρκεια ορογενετικής μεταμόρφωσης, όπου η παραμόρφωση διευκολύνει τη διείσδυση του νερού.

Κατά τη διάρκεια της μεταμόρφωσης των βασικών πετρωμάτων οι συνθήκες P_{tot}=P_{H2O} δεν διατηρούνται σταθερές. Αυτές, μπορούν να θεωρηθούν σταθερές μόνο σε συνθήκες χαμηλής μεταμόρφωσης στην περιοχή της υπο-πρασινοσχιστολιθικής φάσης, όπως φαίνεται και από τη διατήρηση μικροδομών οι οποίες απουσιάζουν από πετρώματα που έχουν μεταμορφωθεί στην πρασινοσχιστολιθική φάση ή και ψηλότερα. Κύριες πυριγενείς μεσαίου μεγέθους δομές, όπως

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

η μαγματική στρωμάτωση και οι μαξιλαροειδείς δομές, μπορεί να διατηρούνται ακόμα και στην εκλογιτική και γρανουλιτική φάση. Αδρόκοκκα γαββρικά πετρώματα έχουν τις μεγαλύτερες πιθανότητες να διατηρήσουν πρωτογενή πυριγενή ορυκτά, μέχρι και σε υψηλού βαθμού μεταμόρφωση. Τα γαββρικά πετρώματα συχνά ξεφεύγουν από την εσωτερική παραμόρφωση και αυτό αποτρέπει την είσοδο του νερού, δυσκολεύει την ανακρυστάλλωση και εμποδίζει την ενυδάτωση των πυριγενών πετρωμάτων (Bucher K. & Grapes R. 2011).

Όσον αφορά την χημική σύσταση, τα βασικά πετρώματα χαρακτηρίζονται από περιεκτικότητα σε SiO_2 45-60% ενώ είναι σχετικά πλούσια σε MgO, FeO, CaO και Al_2O_3. Γενικά στην πετρολογία, τα αντίστοιχα μεταμορφωμένα πετρώματα των βασικών με SiO_2 45–52 wt% ονομάζονται μεταβασικά, μεταβασαλτικά ή μεταβασίτες. Τα βασικά ή μαφικά πυριγενή πετρώματα περιέχουν σημαντικές ποσότητες των επόμενων οκτώ οξειδίων: SiO_2, TiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, FeO, MgO, CaO, Na_2O με K_2O, MnO, P_2O_5, H_2O, και CO_2 επίσης παρόντα σε μικρά ποσά. Αυτά τα οξείδια βρίσκονται σε σχετικά μικρή ποσότητα ορυκτών. Τα πιο σημαντικά ορυκτά που βρίσκονται σε μεταβασίτες φαίνονται στον Πίνακα 4.5 (Bucher K. & Grapes R. 2011). Στους Πίνακες 4.6 και 4.7 παρουσιάζονται οι διαδοχικές ορυκτολογικές αλλαγές που συμβαίνουν στα βασικά πετρώματα κατά τη μεταμόρφωσή τους στην πρασινοσχιστολιθική και αμφιβολιτική φάση. Στον Πίνακα 4.8 φαίνονται οι βασικές παραγενέσεις με βάση τις οποίες προσδιορίζονται οι αντίστοιχες μεταμορφικές φάσεις.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

Πίνακας 4.5: Ορυκτά και η σύστασή τους σε μεταβασικά πετρώματα. (τροποποιημένο από Bucher K. & Grapes R. 2011)

Νησοπυριτικά	
Γρανάτης	$(Fe,Mg,Ca)_3(Al,Fe)_2Si_3O_{12}$
Σωροπυριτικά	
Κυανίτης	Al_2SiO_5
Ζοϊσίτης	$Ca_2Al_3Si_3O_{12}(OH)$
Επίδοτο	$Ca_2FeAl_2Si_3O_{12}(OH)$
Πουμπελλυΐτης	$Ca_4Mg_1Al_5Si_6O_{23}(OH)_3 \bullet 2H_2O$
Βεζουβιανίτης	$Ca19Mg2Al_{11}Si_{18}O_{69}(OH)_9$
Λαουζονίτης	$CaAl_2Si_2O_7(OH)_2 \bullet H_2O$
Χλωριτοειδής	$Mg1Al_2Si_1O_5(OH)_2$
Ινοπυριτικά	
Πυρόξενοι	
Διοψίδιος	$CaMgSi_2O_6$
Ιαδεΐτης	$NaAlSi_2O_6$
Υπερσθενής	$(Mg,Fe)_2Si_2O_6$
Ομφακίτης	$(Ca,Na)(Mg,Fe,Al)Si_2O_6$
Αμφίβολοι	
Τρεμολίτης	$Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$
Ακτινόλιθος	$Ca_2(Fe,Mg)_5Si_8O_{22}(OH)_2$
Γλαυκοφανής	$Na_2(Fe,Mg)_3(Al)_2Si_8O_{22}(OH)_2$
Βαρροϊσίτης	$(Ca,Na)_2(Fe,Mg,Al)_5Si_8O_{22}(OH)_2$
Τσερμακίτης	$Ca_2(Fe,Mg)_3(Al)_2(Al_2Si_6O_{22}(OH)_2$
Κεροστίλβη	$(Na,K)Ca_2(Fe,Mg,Al)_5(Si,Al)_8O_{22}(OH,F,Cl)_2$
Φυλλοπυριτικά	
Μοσχοβίτης	$KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$
Σελαδονίτης	$KMgAlSi_4O_{10}(OH)_2$
Παραγονίτης	$NaAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$
Φλογοπίτης	$KMg_3[AlSi_3O_{10}](OH)_2$
Βιοτίτης	$K(Mg,Fe,Al,Ti)_3[(Al,Si)_3O_{10}](OH,F,Cl)_2$
Κλινόχλωρο	$Mg_5Al_2Si_3O_{10}(OH)_8$
Χλωρίτης	$(Fe,Mg)_5Al_2Si_3O_{10}(OH)_8$
Πρενίτης	$Ca_2Al_2Si_3O_{10}(OH)_2$
Τεκτοπυριτικά	
Χαλαζία	SiO_2
Ανορθίτης	$CaAl_2Si_2O_8$
Αλβίτης	$NaAlSi_3O_8$
Ανάλκιμο	$NaAlSi_2O_6 \bullet H_2O$
Σκαπόλιθος	$Ca_4(Al_2Si_2O_8)_3(CO_3,SO_4,Cl_2)$
Ζεόλιθοι	
Στιλβίτης	$CaAl_2Si_7O_{18} \bullet 7H_2O$
Χοϋλανδίτης	$CaAl_2Si_7O_{18} \bullet 6H_2O$
Λαουμοντίτης	$CaAl_2Si4O_{12} \bullet 4H_2O$
Βαϊρακίτης	$CaAl_2Si_4O_{12} \bullet 2H_2O$
Ανθρακικά	
Ασβεστίτης	$CaCO_3$
Αραγονίτης	$CaCO_3$
Δολομίτης	$Ca(Mg,Fe)(CO_3)_2$

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Πίνακας 4.6: Διαδοχικές ορυκτολογικές αλλαγές σε μεταβασικά πετρώματα (τροποποιημένο από James 1955)

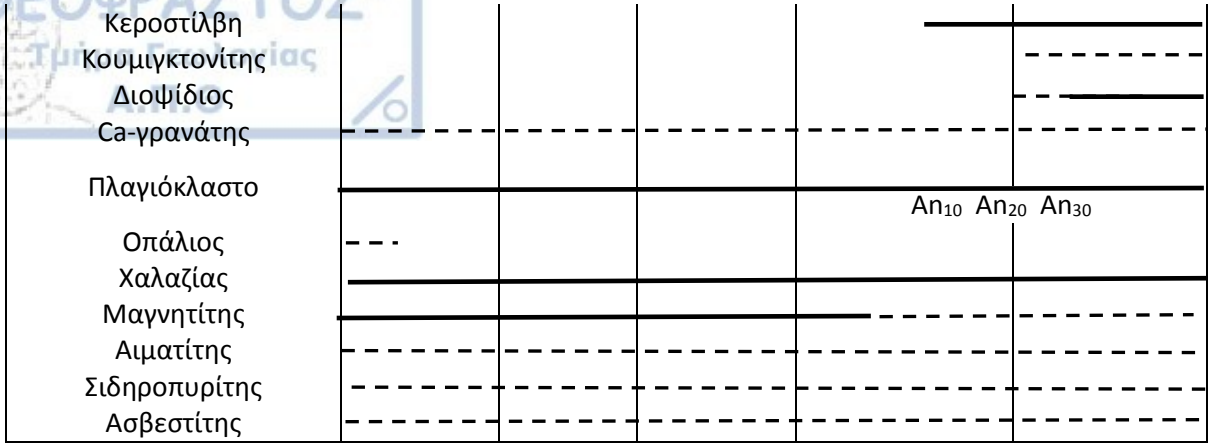
Μεταμορφικές φάσεις	**Πρασινοσχιστολιθική**		**Αμφιβολιτική**		
Ζώνες ορυκτών	**Χλωρίτης**	**Βιοτίτης**	**Γρανάτης**	**Σταυρόλιθος**	**Σιλλιμανίτης**
Μεταβασίτες					
Αλβίτης	—	—			
Αλβίτης-Ολιγόκλαστο		—	—		
Ολιγόκλαστο-Ανδεσίνης			—	—	
Ανδεσίνης				—	—
Επίδοτο	—	—	—		
Ακτινόλιθος	—	—			
Κεροστίλβη		μπλε-πρασινη		πρασινη	πράσινη & καστανή
Χλωρίτης	—	—			
Ασβεστίτης	—	—			
Βιοτίτης		πρασινος-καστανός		καστανή	—
Μοσχοβίτης	—	—	—	—	—
Χαλαζίας	—	—	—	—	—

Πίνακας 4.7: Εμφάνιση κάποιων μεταμορφικών ορυκτών σε μεταβασικά πετρώματα. Ζώνη I: Στιλβίτης (κλινοπτιλόλιθος)-βερμικουλίτης, Ζώνη II: Λαουμοντίτης-Χλωρίτης, Ζώνη III: Πουμπελλυΐτης-πρενίτης-χλωρίτης, Ζώνη IV: Ακτινόλιθος-πρασινοσχιστόλιθος, Ζώνη V: Αμφιβολίτης. Χ=μόνο σε φλέβες. (τροποποιημένο από Seki et al. 1969). Μοντμ=μοντμοριλλονίτης, Βερμ=βερμικουλίτης

Ζώνες ορυκτών	**Ζώνη I**	**Ζώνη II**	**Ζώνη III**	**Ζώνη IV**	**Ζώνη V**
Κλινοπτιλόλιθος	—	X	X		
Στιλβίτης	—	X	X		
Χοϋλανδίτης	—				
Μορντενίτης	—				
Χαμπαζίτης		X	X		
Λαουμοντίτης		—	X	X	X
Τομσονίτης		—			
Βαϊρακίτης		—			
Γουγκαβαϊρακίτης		—			
Ανάλκιμο	—	—	—		
Μοντμ-Βερμ	—				
Βερμ-Χλωρίτης	—	—			
Χλωρίτης		—	—	—	—
Σερικίτης		—	—	—	
Βιοτίτης			—	—	—
Πουμπελλυΐτης			—	—	
Πρενίτης			—	—	
Επίδοτο			—	—	—
Πιερμοντίτης				—	—
Ακτινόλιθος				—	

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.



Πίνακας 4.8: Μεταμορφικές φάσεις και διαγνωστικές παραγενέσεις.

	Μεταϋπερβασικά πετρώματα	**Μεταβασικά πετρώματα**
Πρωτόλιθος	Ol + Opx ± Cpx ± Spl Ol + Opx ± Cpx ± Grt	Pl + Cpx ± Opx ± Qtz Pl + Cpx ± Opx ± Ol
Υποπρασινοσχιστολιθική	Ctl + Brc + Act Ctl + Tlc + Act ± Chl	Zeo Pmp + Prh + Chl + Ab ± Ep
Πρασινοσχιστολιθική	Atg + Brc + Di + Chl Atg + Tlc + Di + Chl Atg + Fo + Di + Chl	Ab + Chl + Ep + Act ± Phe, ± Bt, ± Stp
Αμφιβολιτική	Atg + Fo + Tr + Chl Tlc + Fo + Tr + Chl Ath + Fo + Tr + Chl En + Fo + Tr + Chl En + Fo + Hbl + Spl	Pl + Hbl + Ep Pl+ Hbl + Grt Pl + Hbl + Cpx ± Bt
Γρανουλιτική	En + Fo + Di + Spl	Pl + Cpx + Grt Pl + Cpx + Opx ± Hbl ± Bt
Γλαυκοφανιτική	Atg + Fo + Di + Chl	Gln + Lws + Chl ± Pg Gln + Ep ± Grt ± Pg ± Cld ± Tlc ± Chl
Εκλογιτική	Atg + Fo + Di + Chl En + Fo + Di + Grt	Omp + Grt ± Ky Omp + Grt ± Zo ± Phe Omp + Grt ± Zo ± Tlc ± Cld

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

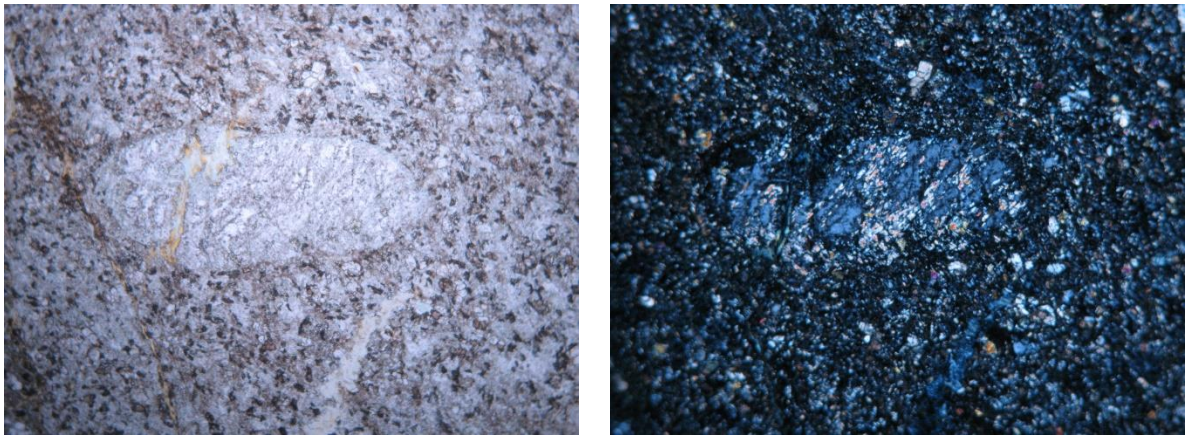
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

5. Πετρολογία των μεταβασικών πετρωμάτων της περιοχής μελέτης

Για την μελέτη των πετρωμάτων κατασκευάστηκαν τρεις λεπτές στιλπνές τομές, μία από κάθε διαφορετικό λιθολογικό τύπο της περιοχής. Η παρατήρηση αυτών των λεπτών τομών στο πολωτικό μικροσκόπιο διερχομένου φωτός παρείχε σημαντικές πληροφορίες για την προέλευση των μεταβασικών πετρωμάτων καθώς και για την ορυκτολογία τους η οποία θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο.

Πιο συγκεκριμένα στην πρώτη τομή (Τ1) το πέτρωμα εμφανίζει βλαστοπορφυριτικό ιστό με κάποιους φαινοκρυστάλλους. Εφόσον διατηρείται ο αρχικός ιστός του πετρώματος το πέτρωμα χαρακτηρίζεται ως μεταβασάλτης.

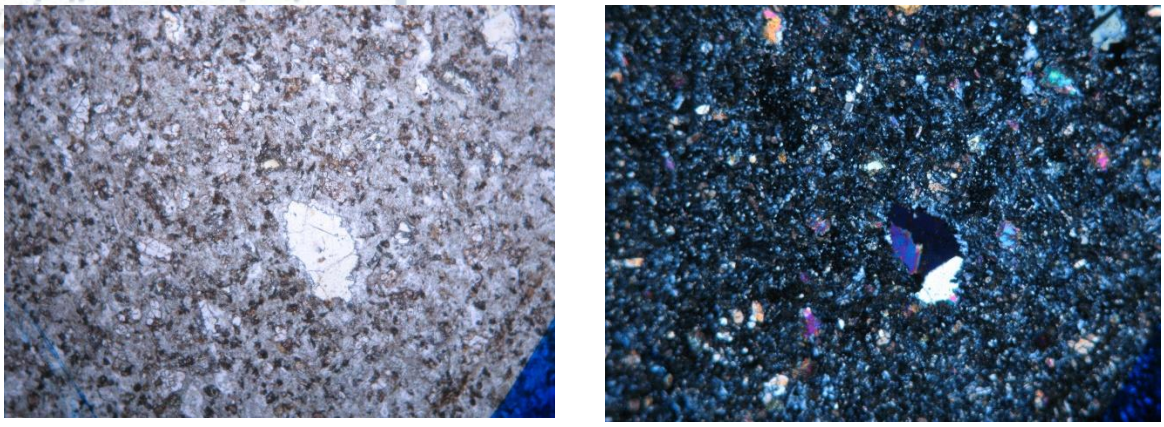
Οι περισσότεροι φαινοκρύσταλλοι αστρίων φαίνεται να αντικαθίστανται από άλλα ορυκτά κρατώντας όμως το αρχικό τους σχήμα (Σχήμα 5.1).



Σχήμα 5.1: Αντικατάσταση αστρίου από λευκό μαρμαρυγία. Εικόνες από πολωτικό μικροσκόπιο με //N (αριστερά) και +N (δεξιά) Η μεγάλη διάσταση της φωτογραφίας αντιστοιχεί σε 3mm.

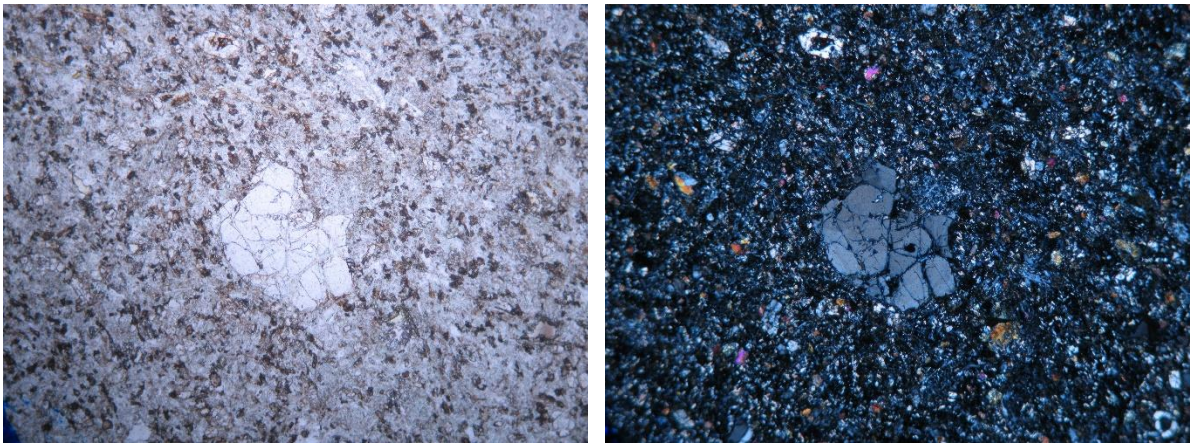
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας



Σχήμα 5.2: Κρύσταλλος επιδότου με πυρήνα αλλανίτη. Εικόνες από πολωτικό μικροσκόπιο με //N (αριστερά) και +N (δεξιά) Η μεγάλη διάσταση της φωτογραφίας αντιστοιχεί σε 3mm.

Ακόμη, φαίνονται φαινοκρύσταλλοι επιδότου με πυρήνα αλλανίτη (Σχήμα 5.2) όπως έχει προκύψει και από τις μικροαναλύσεις. Άλλοι φαινοκρύσταλλοι που υπάρχουν είναι πυρόξενοι (Σχήμα 5.3).

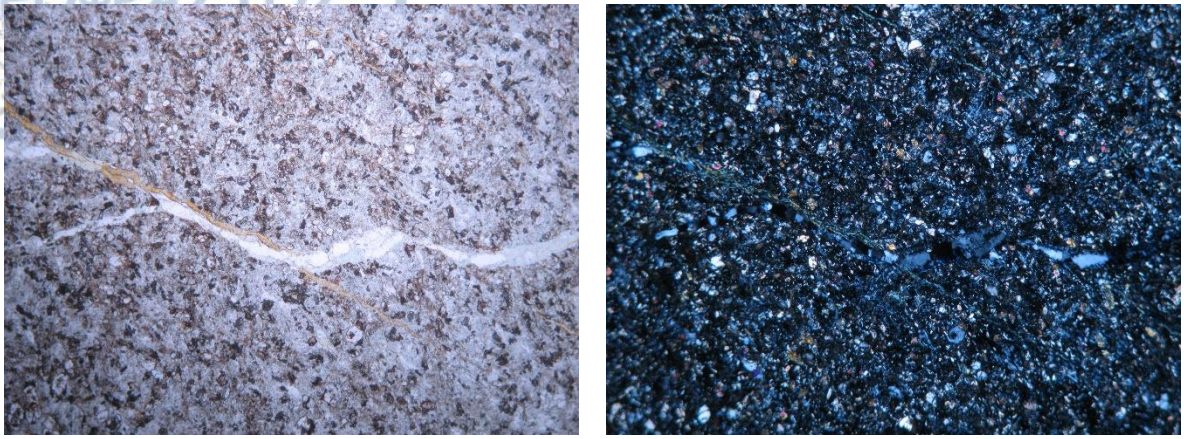


Σχήμα 5.3: Φαινοκρύσταλλος πυρόξενου. Εικόνες από πολωτικό μικροσκόπιο με //N (αριστερά) και +N (δεξιά) Η μεγάλη διάσταση της φωτογραφίας αντιστοιχεί σε 3mm.

Επιπλέον, σε αυτή την τομή φαίνεται να αναπτύσσεται χλωρίτης σε σπασίματα του πετρώματος (Σχήμα 5.4).

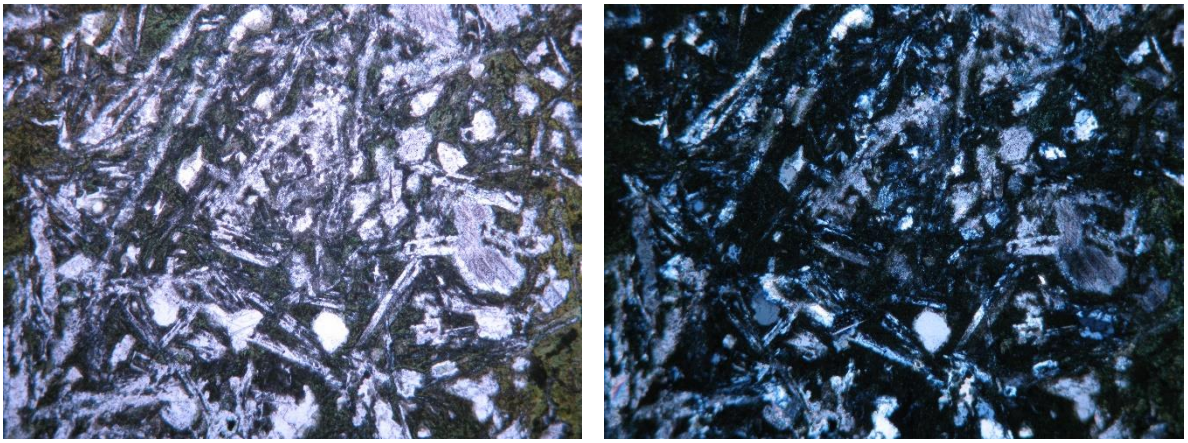
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Σχήμα 5.4: Σπασίματα του πετρώματος όπου έχει αναπτυχθεί χλωρίτης. Εικόνες από πολωτικό μικροσκόπιο με //N (αριστερά) και +N (δεξιά) Η μεγάλη διάσταση της φωτογραφίας αντιστοιχεί σε 3mm.

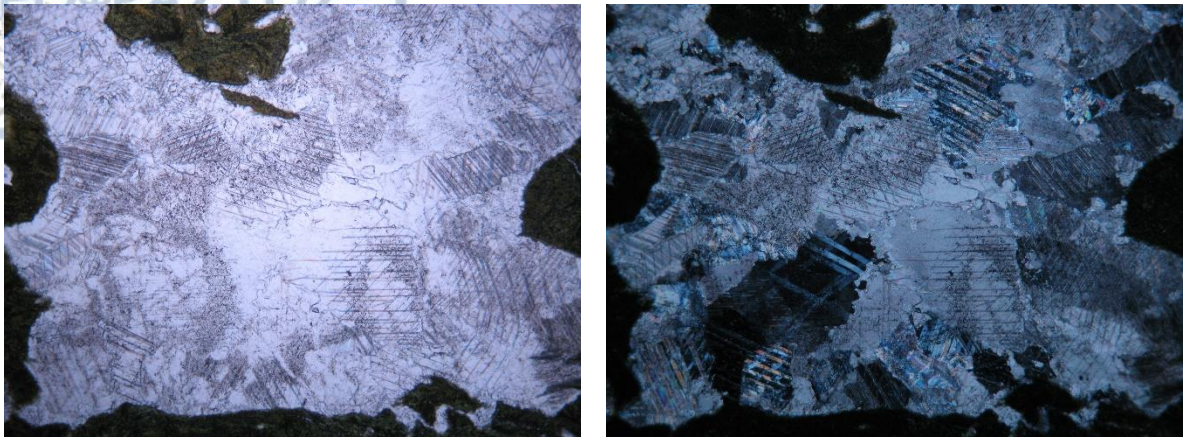
Στη δεύτερη τομή (Τ2), το πέτρωμα εμφανίζει υπολειμματικό οφειτικό ιστό (Σχήμα 5.5) με επιμήκεις κρυστάλλους πλαγιοκλάστων και κρυστάλλους αμφιβόλων και ασβεστίτη που έχουν προέλθει από την αντικατάσταση πυρόξενων. Το πέτρωμα χαρακτηρίζεται ως μεταδολερίτης. Στην τομή γενικά παρατηρείται έντονη παρουσία ασβεστίτη (Σχήμα 5.6) αλλά και παρουσία χλωρίτη και τιτανίτη.



Σχήμα 5.5: Βλαστοφειτικός ιστός. Εικόνες από πολωτικό μικροσκόπιο με //N (αριστερά) και +N (δεξιά) Η μεγάλη διάσταση της φωτογραφίας αντιστοιχεί σε 3mm.

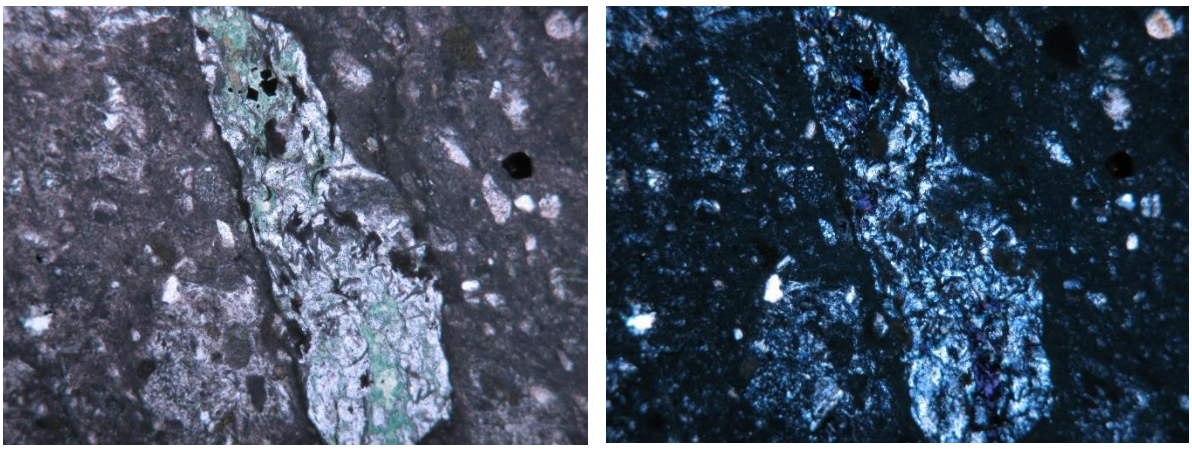
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Σχήμα 5.6: Κρύσταλλοι ασβεστίτη με χαρακτηριστικό λοβοειδή γρανοβλαστικό ιστό. Εικόνες από πολωτικό μικροσκόπιο με //N (αριστερα) και +N (δεξιά) Η μεγάλη διάσταση της φωτογραφίας αντιστοιχεί σε 3mm.

Στην τρίτη τομή (Τ3) το πέτρωμα παρουσιάζει υπολειμματικό πορφυριτικό ιστό αλλά τα περισσότερα ορυκτά έχουν αντικατασταθεί και σε κάποια έχει παραμείνει το σχήμα του αρχικού κρυστάλλου (Σχήμα 5.7). Με βάση τον ιστό, το πέτρωμα χαρακτηρίζεται ως μεταβασάλτης. Τα κύρια ορυκτά που παρατηρούνται σε αυτή την τομή είναι αμφίβολοι, άστριοι, χλωρίτης και κάποια ποσότητα μεταλλικών ορυκτών, κυρίως γαληνίτη και σιδηροπυρίτη.



Σχήμα 5.7 Φαινοκρύσταλλος πυρόξενου που αντικαθίσταται από αμφίβολο και χλωρίτη. Εικόνες από πολωτικό μικροσκόπιο με //N (αριστερα) και +N (δεξιά) Η μεγάλη διάσταση της φωτογραφίας αντιστοιχεί σε 3mm.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

6. Ορυκτολογία

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει αναφορά στα χαρακτηριστικά των κύριων ορυκτών που βρέθηκαν στο πλαίσιο της μελέτης. Ο προσδιορισμός αυτών των ορυκτών έγινε αρχικά με παρατήρηση λεπτών τομών σε μικροσκόπιο πολωμένου φωτός. Για την εύρεση των χημικών τύπων των ορυκτών έγιναν μικροαναλύσεις στο Διατμηματικό Εργαστήριο Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας του Α.Π.Θ με ηλεκτρονικό σαρωτικό μικροσκόπιο (Scanning Electron Microscope, S.E.M.) τύπου JEOL JSM-840A συνδεδεμένο με φασματόμετρο ενεργειακής διασποράς (Energy Dispersive Spectrometer, E.D.S.) INCA 250. Ως πρότυπο χρησιμοποιήθηκε δείγμα καθαρού Co. Οι συνθήκες ανάλυσης ήταν οι παρακάτω:

- Τάση λειτουργίας: 20 kV
- Ρεύμα δέσμης: 0.4 mA
- Χρόνος ανάλυσης: 80 sec
- Διάμετρος δέσμης ηλεκτρονίων: ~ 1 μm

Τα δείγματα για να αναλυθούν πρέπει να έχουν τέλεια αγωγιμότητα και γι' αυτό γίνεται εξάχνωση σε κενό ενός αγώγιμου υλικού -που στην περίπτωση αυτή είναι άνθρακας- από μία διάταξη βολταϊκού τόξου. Το πάχος της επικάλυψης με άνθρακα δεν ξεπερνά τα 200 Å ώστε να εξασφαλίζεται η ιδανική αγωγιμότητα χωρίς να επηρεάζεται η ευαισθησία του οργάνου. Η επανθράκωση έγινε με JEOL-4X εξαχνωτή κενού. Τα κύρια ορυκτά που βρέθηκαν είναι:

- Αμφίβολος
- Πυρόξενος
- Άστριος
- Χλωρίτης
- Μαρμαρυγίες
- Επίδοτο – Αλλανίτης
- Τιτανίτης
- Ασβεστίτης

Επιπλέον, έχουν βρεθεί:

- Ζεόλιθος

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

- Χαλκοπυρίτης – Γαληνίτης – Σιδηροπυρίτης
- Μαγνητίτης – Ιλμενίτης
- Απατίτης
- Ζιρκόνιο

6.i) Αμφίβολοι

Η ομάδα των αμφιβόλων αποτελεί μια μεγάλη ομάδα ινοπυριτικών ορυκτών που περιλαμβάνει πλήθος διαφορετικών ένυδρων ορυκτών. Οι αμφίβολοι συναντούνται σε πυριγενή πετρώματα από όξινα και αλκαλικά έως και υπερβασικά πετρώματα. Στα μεταμορφωμένα πετρώματα, οι αμφίβολοι σχηματίζονται σε περιβάλλοντα περιοχικής μεταμόρφωσης, σε συνθήκες πρασινοσχιστολιθικής έως και γρανουλιτικής φάσης. Μπορούν επίσης, να βρεθούν και σε πετρώματα που έχουν προκύψει από θερμομεταμόρφωση σε επαφή ασβεστολίθων ή ιζημάτων πλούσιων σε ασβέστιο. Οι αμφίβολοι κρυσταλλώνονται είτε στο μονοκλινές, είτε στο ρομβικό σύστημα. Επειδή αποτελούν μια μεγάλη ομάδα ορυκτών, δεν μπορεί να δοθεί ένας συγκεκριμένος χημικός τύπος για όλη την ομάδα αλλά, δίνεται ο γενικός τύπος $AB_2C_5^{vi}T_8^{iv}O_{22}(OH)_2$ όπου A,B,C και T αντιπροσωπεύουν κρυσταλλογραφικές θέσεις της δομής τους. Στην θέση A μπαίνουν τα: K^+, Na^+. Στην θέση B μπαίνουν τα: Mg^{2+}, Fe^{2+}, Mn^{2+}, Li, Ca^{2+}, Na^+. Στην θέση C μπαίνουν τα: Al^{3+}, Ti^{4+}, Zr^{4+}, Cr^{3+}, Fe^{3+}, Mn^{3+}, Mg^{2+}, Fe^{2+}, Mn^{2+}, Li^+ επίσης μπορεί να βρεθούν Zn, Ni, Co. Τέλος, στην θέση T μπαίνουν τα: Si^{4+}, Al^{3+}, Ti^{4+} (Deer et al. 1996 , Θεοδωρίκας 2013).

Στις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στα πετρώματα της περιοχής μελέτης οι αμφίβολοι που βρέθηκαν ανήκουν στην ομάδα των ασβεστιούχων αμφιβόλων (Leake et al.1997). Οι περισσότερες αναλύσεις, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.1, χαρακτηρίζονται ως σιδηροτσερμακίτης – τσερμακίτης. Ο γενικός χημικός τύπος του σιδηροτσερμακίτη είναι: $Ca_2(Mg_3Fe_2^{3+})Si_6Al_2O_{22}(OH)_2$, και του τσερμακίτη: $Ca_2(Mg_3AlFe^{3+})Si_6Al_2O_{22}(OH)_2$. Σε δύο θέσεις βρέθηκε σιδηροκερσουτίτης ($NaCa_2(Fe_4^{2+}Ti)Si_6Al_2O_{23}(OH)$) και σε μία γρουνερίτης ($Mg_5Al_2Si_6Al_2O_{22}(OH)_2$). Στον Πίνακα 6.1 φαίνεται ότι στις αμφιβόλους που βρέθηκαν στα πετρώματα της περιοχής το FeO κυμαίνεται από 2,06% έως 23,43%. Επιπλέον, το MgO κυμαίνεται από 0,33% έως 10,11% ενώ, το Al_2O_3 κυμαίνεται από 10,05% έως 26,53%. Ο υπολογισμός του χημικού τύπου και του Fe^{3+} έγινε με βάση τους Mogessie et al., (1990).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Α.Π.Θ

Πίνακας 6.1: Μικροαναλύσεις αμφιβόλων από τα μεταβασικά πετρώματα της περιοχής μελέτης.

Αμφίβολοι									
	T1–C4			T1–C6				T1–C7	
(%κβ)	2a-2	2a3	2a-4	2a-2	2a-3	2a-7	2a-8	2a-6	3a-2
SiO_2	38,90	42,13	41,06	39,85	40,36	39,20	39,91	41,96	42,97
TiO_2	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	14,89	7,31	0,00	0,00
Al_2O_3	23,93	22,57	21,09	21,49	21,86	10,05	14,63	19,93	26,53
FeO	7,74	6,58	8,27	11,18	8,90	7,65	12,11	12,25	3,52
MnO	0,00	0,00	0,11	0,00	0,10	0,72	0,00	0,00	0,06
MgO	2,39	2,45	1,86	6,20	4,62	0,38	0,33	10,11	1,25
CaO	24,28	23,93	24,99	18,35	21,63	24,87	23,17	12,45	21,82
Na_2O	0,00	0,00	0,07	0,38	0,00	0,00	0,20	0,33	1,36
K_2O	0,24	0,19	0,00	0,12	0,14	0,00	0,00	0,10	0,00
Cr_2O_3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Σύνολο	99,74	99,93	99,48	99,60	99,65	99,75	99,64	99,85	99,62
Χημικός Τύπος (23 O)									
Si	5,712	6,091	6,053	5,861	5,911	5,902	6,026	6,010	6,086
Al IV	2,288	1,909	1,947	2,139	2,089	1,783	1,974	1,990	1,914
Al VI	1,853	1,937	1,717	1,586	1,684	0,000	0,630	1,374	2,514
Ti	0,025	0,000	0,000	0,000	0,000	1,686	0,830	0,000	0,000
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe^{3+}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,688	0,000
Fe^{2+}	0,950	0,796	1,020	1,375	1,090	0,963	1,529	0,779	0,417
Mn	0,000	0,000	0,013	0,000	0,012	0,092	0,000	0,000	0,007
Mg	0,524	0,527	0,409	1,360	1,009	0,084	0,074	2,159	0,263
Ca	3,819	3,707	3,946	2,892	3,394	4,012	3,749	1,910	3,312
Na	0,000	0,000	0,019	0,108	0,000	0,000	0,059	0,091	0,374
K	0,045	0,036	0,000	0,022	0,025	0,000	0,000	0,018	0,000
OH	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

Αμφίβολοι									
	T2–C1							T2–C3	
(%κβ)	1a-4	1a-5	1a-6	3a-5	3a-6	3a-7	3a-8	1a-8	1a-9
SiO_2	42,32	41,88	41,15	40,60	41,49	43,89	43,16	39,69	40,38
TiO_2	0,53	0,14	0,00	0,00	0,42	2,03	0,36	0,03	0,19
Al_2O_3	25,18	25,61	26,28	21,01	21,03	21,97	22,69	20,92	20,83
FeO	2,86	2,06	2,85	9,40	9,79	4,74	5,71	9,73	9,75
MnO	0,00	0,09	0,15	0,00	0,14	0,00	0,51	0,12	0,30
MgO	2,67	2,62	2,60	2,05	1,72	2,24	1,88	1,65	1,86
CaO	23,26	24,53	23,83	23,17	22,23	21,37	21,75	24,13	23,22
Na_2O	0,00	0,27	0,00	0,60	0,06	0,68	0,68	0,33	0,27
K_2O	0,05	0,00	0,28	0,13	0,06	0,10	0,11	0,31	0,03
Cr_2O_3	0,17	0,02	0,35	0,19	0,00	0,00	0,00	0,17	0,20
Σύνολο	99,15	99,31	99,60	99,17	98,96	99,10	98,92	99,08	99,05
Χημικός Τύπος (23 O)									
Si	6,028	5,964	5,869	6,025	6,134	6,286	6,242	5,940	6,012
Al iv	1,972	2,036	2,131	1,975	1,866	1,714	1,758	2,060	1,988

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

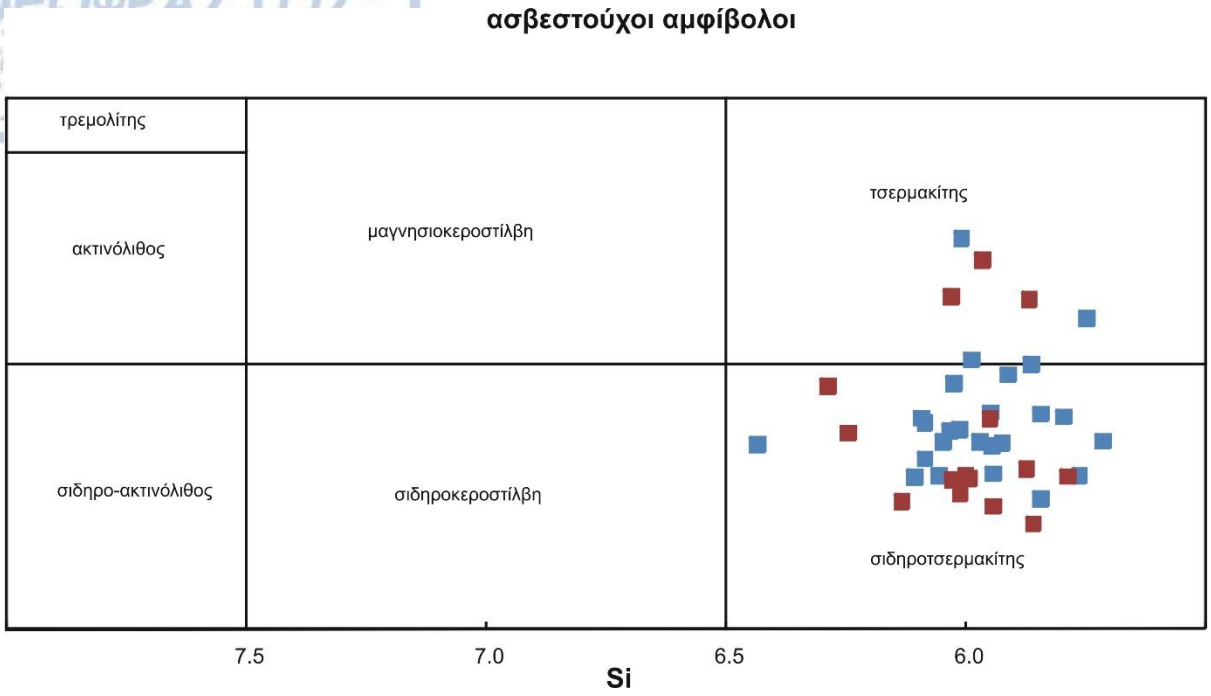
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

A vi	2,254	2,262	2,286	1,701	1,799	1,994	2,111	1,630	1,668
Ti	0,057	0,015	0,000	0,000	0,046	0,219	0,039	0,003	0,022
Cr	0,020	0,002	0,039	0,023	0,000	0,000	0,000	0,021	0,024
Fe^{3+}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe^{2+}	0,341	0,245	0,340	1,166	1,210	0,568	0,690	1,218	1,215
Mn	0,000	0,011	0,018	0,000	0,017	0,000	0,063	0,015	0,038
Mg	0,567	0,556	0,553	0,453	0,379	0,478	0,406	0,368	0,414
Ca	3,549	3,743	3,642	3,684	3,522	3,279	3,370	3,869	3,704
Na	0,000	0,075	0,000	0,173	0,017	0,188	0,191	0,096	0,078
K	0,009	0,000	0,051	0,024	0,011	0,018	0,020	0,059	0,006
OH	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

Αμφίβολοι									
	T3–C2		T3-C3					T3–C4	
(%κβ)	1a-3	1a-4	1a-5	1a-6	1a-7	1a-8	2a-1	1a-4	1a-5
SiO_2	40,30	41,92	38,51	43,71	47,10	51,68	40,71	42,71	44,94
TiO_2	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,10	0,35	0,11
Al_2O_3	24,88	24,89	18,84	24,06	22,76	21,34	23,80	22,39	22,31
FeO	5,17	4,85	13,77	5,47	4,12	3,28	6,25	6,31	6,26
MnO	0,64	0,31	0,63	0,15	0,22	0,24	0,33	0,39	0,00
MgO	1,99	1,61	8,30	1,38	2,02	1,50	1,84	1,84	1,71
CaO	23,83	23,18	16,56	21,36	18,15	15,57	23,57	22,63	20,96
Na_2O	0,28	0,00	0,00	0,38	2,27	3,60	0,18	0,45	0,86
K_2O	0,00	0,17	1,15	0,68	0,55	0,00	0,32	0,16	0,20
Cr_2O_3	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29
Σύνολο	99,45	99,32	99,76	99,28	99,32	99,45	99,14	99,28	99,74
Χημικός Τύπος (23 O)									
Si	5,843	6,032	5,780	6,267	6,643	7,137	5,944	6,192	6,418
Al iv	2,157	1,968	2,220	1,733	1,357	0,863	2,056	1,808	1,582
A vi	2,094	2,252	1,114	2,334	2,426	2,611	2,040	2,017	2,174
Ti	0,031	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006	0,011	0,038	0,012
Cr	0,000	0,034	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,033
Fe^{3+}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe^{2+}	0,627	0,584	1,728	0,656	0,486	0,379	0,763	0,765	0,747
Mn	0,079	0,038	0,080	0,018	0,027	0,028	0,041	0,048	0,000
Mg	0,429	0,346	1,858	0,295	0,425	0,310	0,400	0,397	0,364
Ca	3,702	3,573	2,664	3,282	2,742	2,304	3,688	3,515	3,208
Na	0,079	0,000	0,000	0,105	0,621	0,964	0,052	0,126	0,238
K	0,000	0,030	0,220	0,124	0,100	0,000	0,060	0,029	0,036
OH	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Σχήμα 6.1: Ονοματολογία αμφιβόλων. Με μπλε χρώμα σημειώνονται οι αναλύσεις των μεταβασαλτών (τομές Τ1 και Τ3) και με κόκκινο οι αναλύσεις του μεταδολερίτη (τομή Τ2).

6.ii) Πυρόξενοι

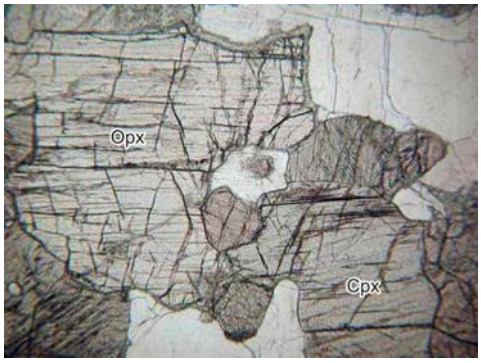
Η ομάδα των πυροξένων ανήκει και αυτή στα ινοπυριτικά ορυκτά και αποτελείται από δύο κύριες ομάδες τους ορθο- και τους κλινο- πυρόξενους. Αυτοί συναντώνται σε βασικά (γάββροι, βασάλτες), υπερβασικά (περιδοτίτες, πυροξενίτες) και ενδιάμεσα (ανδεσίτες, μονζονίτες) πυριγενή πετρώματα καθώς και σε μεταμορφωμένα πετρώματα (γρανουλίτες, εκλογίτες). Οι ορθοπυρόξενοι κρυσταλλώνονται στο ρομβικό σύστημα ενώ οι κλινοπυρόξενοι στο μονοκλινές (σχήμα 6.2 και 6.3). Η χημική σύσταση μπορεί να αποδοθεί από τον γενικό τύπο: $M_2M_1(Al,Si)_2O_6$ (Morimoto 1989) όπου στη θέση M_2 μπορούν να μπουν τα εξής κατιόντα: (Na^+), (Ca^{2+}), (Mn^{2+}), (Fe^{2+}), (Mg^{2+}) και (Li^+) και στη θέση M_1 μπορούν να μπούν τα εξής κατιόντα: (Mn^{2+}), (Fe^{2+}), (Fe^{3+}), (Al^{3+}), (Cr^{3+}), (Sc^{3+}) και (Ti^{3+}). Γενικά τόσο οι ορθο- όσο και οι κλινο-πυρόξενοι εμφανίζονται άχρωμοι ως ελαφρά χρωματισμένοι με πρισματικές τομές παράλληλα στον c άξονα και οκταγωνικές βασικές τομές κάθετα στον c. Επιπλέον, έχουν διπλό σχισμό. Η βασική διαφορά των ορθοπυρόξενων από τους κλινοπυρόξενους στο μικροσκόπιο είναι η κατάσβεση και τα χρώματα πόλωσης (σχήμα 6.4). Οι ορθοπυρόξενοι παρουσιάζουν ορθή κατάσβεση και χαμηλά χρώματα πόλωσης, ενώ οι κλινοπυρόξενοι παρουσιάζουν πλάγια κατάσβεση και μέτρια έως ψηλά χρώματα πόλωσης (Deer et al 1996, Θεοδωρίκας 2013).

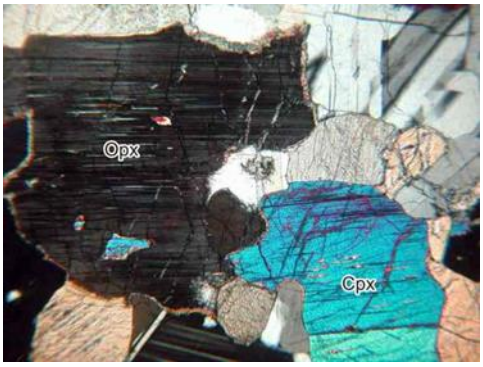
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

Σχήμα 6.2: ορθοπυρόξενος (υπερσθενής) μακροσκοπικά. (πηγή:http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo212y/)

Σχήμα 6.3: κλινοπυρόξενοι (αυγίτης) μακροσκοπικά. (πηγή:http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo212y/)





Σχήμα 6.4: Τομή γάββρου όπου φαίνονται κρύσταλλοι ορθο- και κλινο-πυρόξενου. (με //N (αριστερά) και +N (δεξιά). (πηγή:http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo212y/).

Στον Πίνακα 6.2 φαίνεται ότι στους πυρόξενους που αναλύθηκαν το FeO κυμαίνεται από 5,92% έως 16,23%. Επιπλέον, το MgO κυμαίνεται από 9,92% έως 15,67% και το Al_2O_3 από 0,44% έως 6,46%.

Στις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στα πετρώματα της περιοχής μελέτης οι πυρόξενοι που βρέθηκαν είναι ασβεστιούχοι κλινοπυρόξενοι και χαρακτηρίζονται ως αυγίτης και διοψίδιος όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.5. Ο γενικός χημικός τύπος του αυγίτη είναι: $(Ca,Mg,Fe^{2+},Fe^{3+},Ti,Al)_2[(Al,Si)_2O_6]$ και του διοψίδιου $CaMg(Si_2O_6)$.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Πίνακας 6.2: Μικροαναλύσεις πυρόξενων από τα μεταβασικά πετρώματα της περιοχής μελέτης.

Πυρόξενοι									
	T1–C3				T1–C7			T1–C8	
(%κβ)	1a-1	1a-2	1a-3	1a-4	2a-7	2a-8	2a-12	1a-1	1a-2
SiO_2	52,57	52,15	52,48	52,54	50,07	50,83	50,54	52,58	51,96
TiO_2	0,68	0,49	0,56	0,49	1,43	2,00	1,60	0,72	1,22
Al_2O_3	3,33	3,11	2,67	3,58	4,07	3,19	4,39	1,65	2,60
FeO	6,90	6,62	5,92	6,39	9,06	7,39	7,93	9,58	8,16
MnO	0,02	0,00	0,42	0,06	0,89	0,00	0,14	0,00	0,16
MgO	13,23	14,47	15,61	15,65	14,60	13,96	13,61	15,25	13,72
CaO	22,26	22,26	22,33	20,59	19,41	21,64	21,30	20,15	21,10
Na_2O	0,96	0,53	0,12	0,58	0,15	0,55	0,27	0,15	0,52
K_2O	0,02	0,00	0,00	0,16	0,00	0,02	0,33	0,07	0,34
Cr_2O_3	0,13	0,00	0,00	0,00	0,34	0,20	0,00	0,00	0,04
Σύνολο	100,11	99,63	100,10	100,05	100,02	99,79	100,11	100,14	99,82
Χημικός τύπος (6 O)									
Si	1,940	1,928	1,930	1,924	1,865	1,891	1,877	1,951	1,935
Al	0,060	0,072	0,070	0,076	0,135	0,109	0,123	0,049	0,065
Fe^{3+}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
T	*2,000*	*2,000*	*2,000*	*2,000*	*2,000*	*2,000*	*2,000*	*2,000*	*2,000*
Al	0,085	0,064	0,046	0,078	0,044	0,031	0,069	0,024	0,049
Fe^{3+}	0,002	0,018	0,002	0,020	0,013	0,001	0,001	0,000	0,001
Ti	0,019	0,014	0,015	0,014	0,040	0,056	0,045	0,020	0,034
Cr	0,004	0,000	0,000	0,000	0,010	0,006	0,000	0,000	0,001
Mg	0,728	0,798	0,856	0,854	0,811	0,774	0,753	0,844	0,761
Fe^{2+}	0,162	0,106	0,081	0,034	0,083	0,132	0,132	0,113	0,154
M1	*1,000*	*1,000*	*1,000*	*1,000*	*1,000*	*1,000*	*1,000*	*1,000*	*1,000*
Fe^{2+}	0,049	0,080	0,099	0,141	0,186	0,097	0,113	0,184	0,099
Mn	0,001	0,000	0,013	0,002	0,028	0,000	0,004	0,000	0,005
Ca	0,880	0,882	0,880	0,808	0,774	0,863	0,847	0,801	0,842
Na	0,069	0,038	0,008	0,042	0,011	0,040	0,020	0,011	0,038
K	0,001	0,000	0,000	0,008	0,000	0,001	0,016	0,003	0,016
M2	*1,000*	*1,000*	*1,000*	*1,000*	*1,000*	*1,000*	*1,000*	*1,000*	*1,000*
Fe_2O_3	0,07	0,66	0,06	0,73	0,45	0,03	0,04	0,00	0,04
FeO	6,84	6,03	5,86	5,73	8,65	7,36	7,90	9,58	8,12
Δομή Πυρόξενων									
En	40,0	42,3	44,3	45,9	42,8	41,5	40,7	43,4	40,9
Fs	11,7	10,9	10,1	10,6	16,4	12,3	13,5	15,3	13,9
Wo	48,3	46,8	45,6	43,4	40,9	46,2	45,8	41,3	45,2

Πυρόξενοι						
	T1–C8					
(%κβ)	1a-3	2a-2	2a-3	2a-4	3a-4	3a-5
SiO_2	52,79	51,59	51,62	50,14	50,72	48,91
TiO_2	0,60	0,48	0,33	1,55	1,47	2,28
Al_2O_3	2,07	3,57	0,44	4,56	3,83	5,33
FeO	8,84	8,03	16,23	7,58	6,57	9,85
MnO	0,48	0,02	0,78	0,39	0,30	0,51
MgO	14,32	13,66	9,92	13,25	13,27	13,62

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

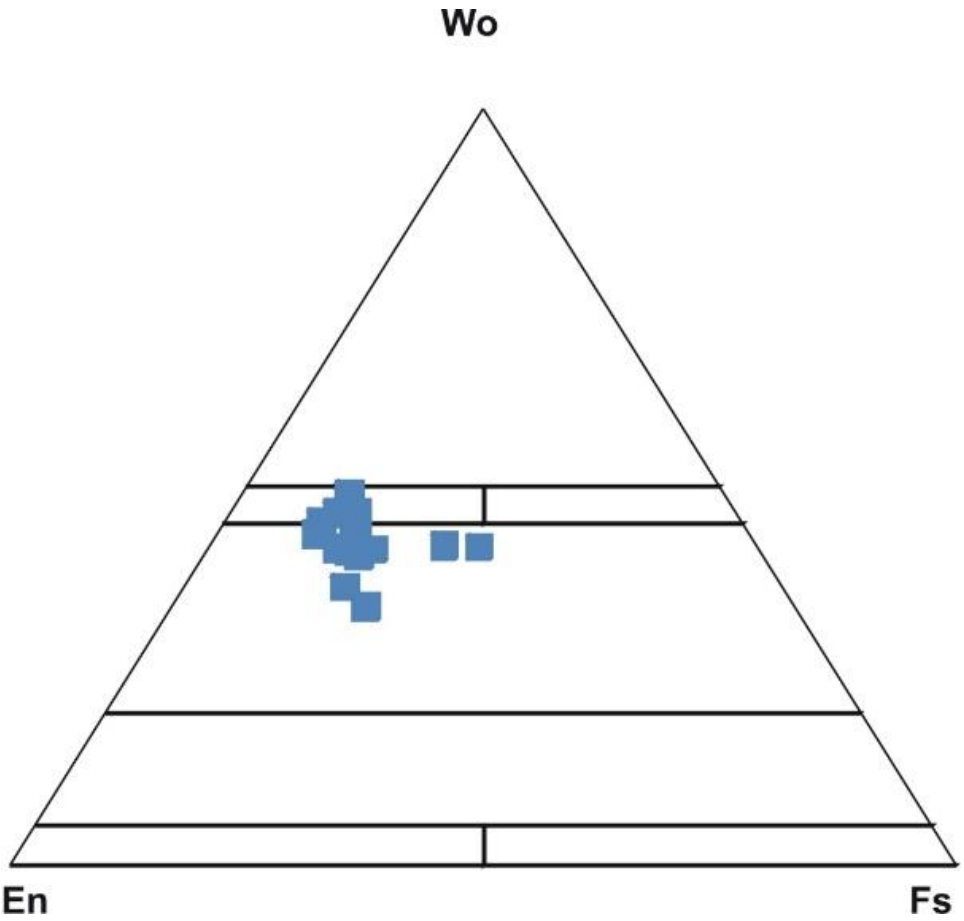
CaO	19,84	21,57	19,67	21,19	22,61	19,41
Na_2O	0,60	0,34	0,40	0,60	0,17	0,23
K_2O	0,22	0,31	0,15	0,04	0,55	0,00
Cr_2O_3	0,00	0,30	0,68	0,43	0,33	0,00
Σύνολο	99,76	99,85	100,21	99,73	99,81	100,15
Χημικός τύπος (6 O)						
Si	1,964	1,917	1,986	1,868	1,889	1,826
Al	0,036	0,083	0,014	0,132	0,111	0,174
Fe^{3+}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
T	*2,000*	*2,000*	*2,000*	*2,000*	*2,000*	*2,000*
Al	0,054	0,073	0,006	0,068	0,057	0,061
Fe^{3+}	0,002	0,013	0,006	0,009	0,000	0,002
Ti	0,017	0,013	0,009	0,043	0,041	0,064
Cr	0,000	0,009	0,021	0,013	0,010	0,000
Mg	0,794	0,757	0,569	0,736	0,737	0,758
Fe^{2+}	0,133	0,135	0,389	0,130	0,155	0,115
M1	*1,000*	*1,000*	*1,000*	*1,000*	*1,000*	*1,000*
Fe_2	0,140	0,102	0,127	0,097	0,050	0,191
Mn	0,015	0,001	0,025	0,012	0,010	0,016
Ca	0,791	0,859	0,811	0,846	0,903	0,776
Na	0,043	0,024	0,030	0,043	0,012	0,017
K	0,011	0,015	0,007	0,002	0,026	0,000
M2	*1,000*	*1,000*	*1,000*	*1,000*	*1,000*	*1,000*
Fe_2O_3	0,07	0,46	0,21	0,32	0,00	0,06
FeO	8,77	7,61	16,04	7,29	6,57	9,79
Δομή Πυρόξενων						
En	42,4	40,6	29,5	40,2	39,7	40,8
Fs	15,5	13,4	28,4	13,6	11,6	17,4
Wo	42,2	46,0	42,1	46,2	48,7	41,8

Πυρόξενοι						
	T1–C8			T1–C6		T1–C3
(%κβ)	3a-6	3a-7	4a-5	1a-7	1a-8	1a-6
SiO_2	50,86	51,85	50,64	52,64	48,38	50,50
TiO_2	1,01	0,00	0,85	0,53	2,04	0,89
Al_2O_3	4,55	1,15	3,87	1,74	6,46	5,53
FeO	8,48	13,95	9,15	8,43	11,81	9,81
MnO	0,00	0,99	0,00	0,22	0,34	0,22
MgO	13,75	11,34	14,51	15,67	14,95	15,34
CaO	20,67	19,93	20,78	20,35	15,50	17,06
Na_2O	0,65	0,05	0,00	0,21	0,26	0,43
K_2O	0,12	0,39	0,00	0,10	0,00	0,00
Cr_2O_3	0,04	0,00	0,48	0,00	0,00	0,00
Σύνολο	100,13	99,65	100,28	99,88	99,74	99,78
Χημικός τύπος (6 O)						
Si	1,881	1,983	1,880	1,949	1,807	1,869
Al	0,119	0,017	0,120	0,051	0,193	0,131
Fe^{3+}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

T	*2,000*	*2,000*	*2,000*	*2,000*	*2,000*	*2,000*
Al	0,079	0,035	0,049	0,025	0,092	0,111
Fe^{3+}	0,035	0,004	0,010	0,015	0,006	0,001
Ti	0,028	0,000	0,024	0,015	0,057	0,025
Cr	0,001	0,000	0,014	0,000	0,000	0,000
Mg	0,758	0,647	0,803	0,865	0,833	0,847
Fe^{2+}	0,099	0,314	0,100	0,079	0,013	0,017
M1	*1,000*	*1,000*	*1,000*	*1,000*	*1,000*	*1,000*
Fe_2	0,129	0,128	0,173	0,166	0,350	0,286
Mn	0,000	0,032	0,000	0,007	0,011	0,007
Ca	0,819	0,817	0,827	0,807	0,620	0,677
Na	0,047	0,004	0,000	0,015	0,019	0,031
K	0,006	0,019	0,000	0,005	0,000	0,000
M2	*1,000*	*1,000*	*1,000*	*1,000*	*1,000*	*1,000*
Fe_2O_3	1,24	0,14	0,37	0,55	0,20	0,04
FeO	7,36	13,82	8,82	7,93	11,63	9,77
Δομή Πυρόξενων						
En	41,2	33,3	42,0	44,6	45,4	46,2
Fs	14,3	24,6	14,8	13,8	20,7	16,9
Wo	44,5	42,1	43,2	41,6	33,8	36,9



Σχήμα 6.5: Ονοματολογία Πυροξένων. Πυρόξενοι βρέθηκαν μόνο στο μεταβασάλτη στην τομή Τ1.

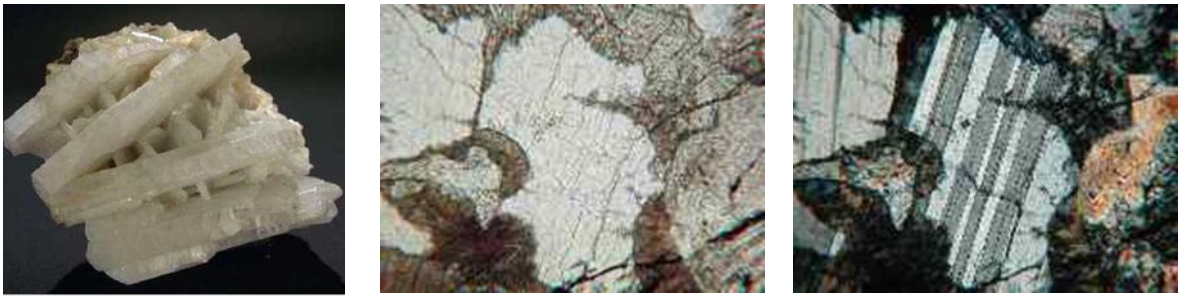
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

6.iii) Άστριος

Η ομάδα των αστρίων ανήκει στα τεκτοπυριτικά ορυκτά. Τα ορυκτά αυτής της ομάδας, ανάλογα με τη χημική τους σύσταση κατατάσσονται στις υποκατηγορίες των αλκαλιούχων αστρίων και των πλαγιοκλάστων. Η χημική σύσταση των ορυκτών της ομάδας των αλκαλιούχων αστρίων κυμαίνεται μεταξύ των ακραίων μελών του ορθοκλάστου (Or) με χημικό τύπο $KAlSi_3O_8$ και του αλβίτη (Ab) με χημικό τύπο $NaAlSi_3O_8$. Από την άλλη, η χημική σύσταση των πλαγιοκλάστων κυμαίνεται μεταξύ των ακραίων μελών του αλβίτη (Ab) και του ανορθίτη (An) με χημικό τύπο $CaAl_2Si_2O_8$.

Η ομάδα των αστρίων στα πετρώματα της περιοχής μελέτης εκπροσωπείται από τον αλβίτη. Ο αλβίτης, όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, αποτελεί το ακραίο νατριούχο μέλος της ομάδας των πλαγιοκλάστων και το πιο όξινο από αυτά. Τα πλαγιόκλαστα γενικά συναντώνται σε όλα τα πυριγενή πετρώματα (εκτός από τα υπερβασικά), στα περισσότερα μεταμορφωμένα και σε ιζηματογενή (ψαμμίτες). Ο χημικός τύπος του αλβίτη είναι $NaAlSi_3O_8$, κρυσταλλώνεται στο τρικλινές σύστημα και είναι λευκό ή άχρωμο. Σχηματίζει ιδιόμορφους ή υπιδιόμορφους κρυστάλλους ενώ μπορεί να έχει και πινακοειδή ή πρισματική μορφή. Παρουσιάζει δύο σχισμούς οι οποίοι τέμνονται με γωνία περίπου 90^o και πολυδυμία (αλβιτική και Carlsbad). Μικροσκοπικά παρουσιάζει πλάγια κατάσβεση με χαμηλά χρώματα πόλωσης ενώ συχνά μπορεί να έχει μυρμηκιτικές συμφύσεις (Σχήμα 6.6). Οι αλλοιώσεις που μπορεί να εμφανίζει είναι η καολινίωση, η σερικιτίωση και η σωσσυριτίωση (Deer et al 1996, Θεοδωρίκας 2013).



Σχήμα 6.6: Αριστερά: αλβίτης μακροσκοπικά. Κέντρο και δεξιά: τομή από γάββρο με πλαγιόκλαστα που εμφανίζουν αλβιτική πολυδυμία. (με //N (κέντρο) και +N (δεξιά))
(πηγή: http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo212y/)

Οι χημικές αναλύσεις των αστρίων δίνονται στον πίνακα 6.3. Από αυτές προκύπτει ότι οι άστριοι, όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, χαρακτηρίζονται ως αλβίτης και ολιγόκλαστο όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.7.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Πίνακας 6.3: Μικροαναλύσεις αστρίων από τα πετρώματα της περιοχής μελέτης.

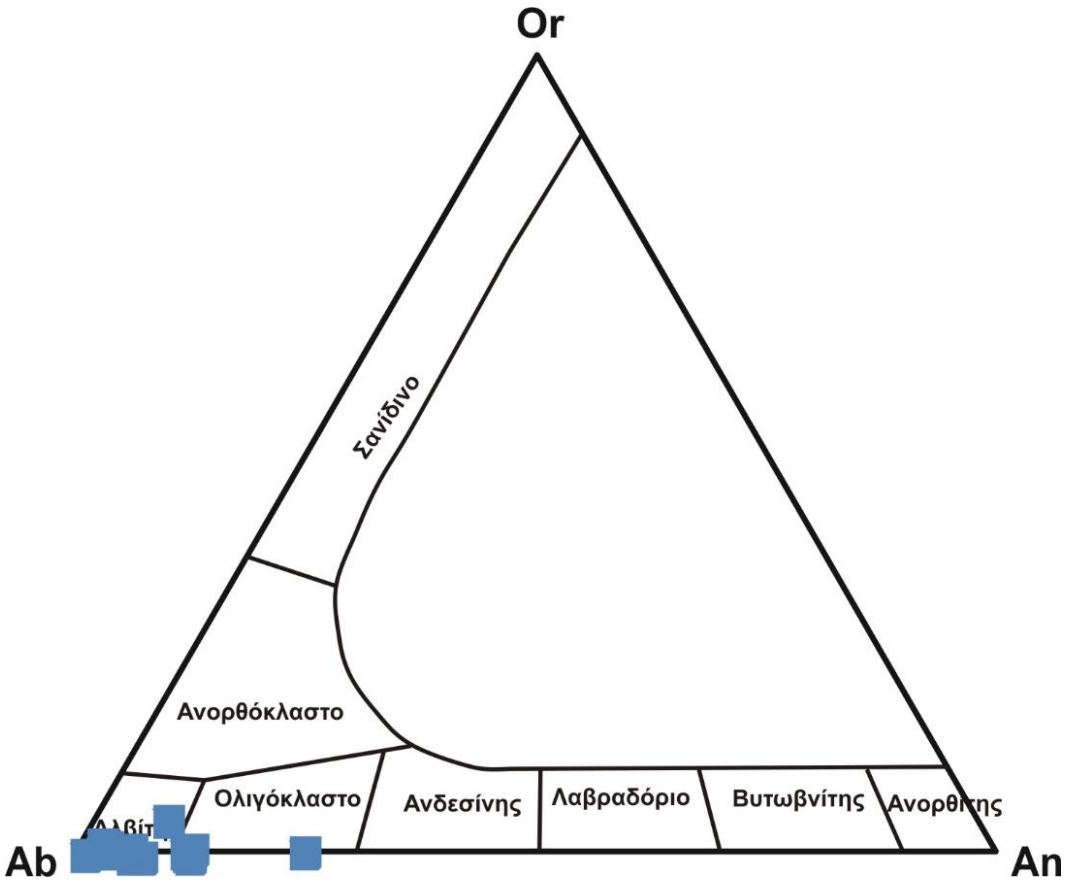
Άστριοι								
	T1–C1			T1–C7				
(%κβ)	1a-1	1a-2	1a-3	1a-1	1a-2	1a-3	1a-4	3a-1
SiO_2	68,61	66,47	67,39	68,22	65,29	65,73	67,89	67,72
TiO_2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al_2O_3	19,29	20,65	19,73	19,61	21,41	21,05	19,85	20,24
FeO	0,39	0,00	0,71	0,00	0,00	0,21	0,00	0,00
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,00	1,47	1,38	0,41	2,44	2,27	0,53	1,14
Na_2O	11,79	10,37	10,97	11,47	10,30	10,34	11,40	11,14
K_2O	0,01	0,68	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00
BaO	0,20	0,43	0,00	0,00	0,24	0,32	0,28	0,00
Σύνολο	100,30	100,06	100,17	99,87	99,68	99,92	99,95	100,23
Χημικός τύπος (8 O)								
Si	2,994	2,927	2,952	2,986	2,884	2,897	2,974	2,957
Al	0,992	1,072	1,018	1,012	1,115	1,093	1,025	1,041
Fe_3	0,014	0,000	0,026	0,000	0,000	0,008	0,000	0,000
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Z	*4,000*	*3,999*	*3,996*	*3,998*	*3,998*	*3,998*	*3,999*	*3,998*
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,000	0,070	0,065	0,019	0,115	0,107	0,025	0,053
Na	0,998	0,885	0,932	0,973	0,882	0,884	0,968	0,943
K	0,001	0,038	0,000	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000
Ba	0,003	0,007	0,000	0,000	0,004	0,005	0,005	0,000
X	*1,002*	*1,000*	*0,996*	*1,001*	*1,002*	*0,996*	*0,998*	*0,996*
Δομή Αστρίων								
Or (K+Ba)	0,4	4,5	0,0	0,9	0,4	0,5	0,5	0,0
Ab (Na)	99,6	88,5	93,5	97,2	88,1	88,7	97,0	94,6
An (Ca+Mn+Mg)	0,0	7,0	6,5	1,9	11,5	10,8	2,5	5,4

Άστριοι								
	T3–C3			T3–C4			T3–C5	
(%κβ)	2a-3	2a-4	2a-5	1a-1	1a-2	1a-3	1a-3	1a-4
SiO_2	65,77	65,47	65,36	67,72	67,06	67,95	67,66	62,38
TiO_2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al_2O_3	20,95	20,95	21,43	19,78	19,94	19,24	19,39	23,31
FeO	0,62	0,55	0,06	0,01	0,66	0,50	0,22	0,17
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	2,46	2,47	2,40	0,42	1,05	0,65	0,27	5,04
Na_2O	10,36	10,21	10,33	11,40	11,00	11,27	11,36	8,78
K_2O	0,00	0,11	0,00	0,16	0,16	0,12	0,05	0,12
BaO	0,00	0,10	0,13	0,19	0,00	0,00	0,72	0,00
Σύνολο	100,16	99,87	99,72	99,69	99,87	99,73	99,67	99,81

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Χημικός τύπος (8 O)								
Si	2,890	2,889	2,884	2,975	2,946	2,983	2,983	2,770
Al	1,085	1,089	1,114	1,024	1,033	0,995	1,007	1,220
Fe_3	0,023	0,020	0,002	0,000	0,024	0,018	0,008	0,006
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Z	*3,998*	*3,998*	*4,000*	*3,999*	*4,003*	*3,997*	*3,998*	*3,996*
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,116	0,117	0,113	0,020	0,049	0,030	0,013	0,240
Na	0,883	0,874	0,884	0,971	0,937	0,959	0,971	0,756
K	0,000	0,006	0,000	0,009	0,009	0,007	0,003	0,007
Ba	0,000	0,002	0,002	0,003	0,000	0,000	0,013	0,000
X	*0,999*	*0,999*	*1,000*	*1,003*	*0,995*	*0,996*	*0,999*	*1,002*
Δομή Αστρίων								
Or (K+Ba)	0,0	0,8	0,2	1,2	0,9	0,7	1,5	0,7
Ab (Na)	88,4	87,5	88,4	96,8	94,1	96,3	97,2	75,4
An (Ca+Mn+Mg)	11,6	11,7	11,4	2,0	4,9	3,1	1,3	23,9



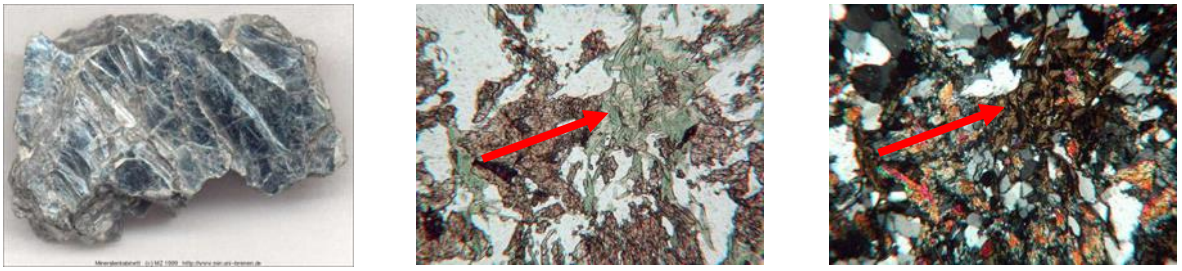
Πίνακας 6.7: Ονοματολογία αστρίων. Άστριοι βρέθηκαν στους μεταβασάλτες (τομές Τ1 και Τ3).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

6.iv) Χλωρίτης

Ο χλωρίτης συναντάται σε μεταμορφωμένα πετρώματα (πρασινοσχιστόλιθο, χλωριτικό σχιστόλιθο), αλλά και σε πυριγενή, ως προϊόν αλλοίωσης και σε αργιλικά ιζήματα. Αποτελεί προϊόν αλλοίωσης φεμικών ορυκτών. Η κύρια εμφάνισή του είναι σε μεταμορφωμένα πετρώματα. Ανήκει στα φυλλοπυριτικά ορυκτά, ο χημικός του τύπος είναι $(Mg,Fe,Al)_6(Si,Al)_4O_{10}(OH)_8$ και κρυσταλλώνεται στο μονοκλινές και στο τρικλινές σύστημα (Deer et al 1996, Θεοδωρίκας 2013). Το χρώμα του μακροσκοπικά και μικροσκοπικά κυμαίνεται από ανοιχτό πράσινο ως άχρωμο. Έχει φυλλώδη μορφή και τέλειο σχισμό παράλληλο στα φύλλα. Στο πολωτικό μικροσκόπιο παρουσιάζει ασθενή πλεοχροϊσμό, περίπου ορθή κατάσβεση, με χαμηλά χρώματα πόλωσης ή ανώμαλα (ιώδη, κυανά, καστανά) (Σχήμα 6.8).



Σχήμα 6.8: Αριστερά: Χλωρίτης μακροσκοπικά σε φύλλα. Κέντρο και δεξιά: τομή από σχιστόλιθο με χλωρίτη. (με //N (κέντρο) και +N (δεξιά)) (πηγή:http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo212y/)

Στον Πίνακα 6.4 δίνονται οι μικροαναλύσεις των χλωριτών. Από τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στους χλωρίτες της περιοχής μελέτης βρέθηκε ότι αυτοί είναι κυρίως πυκνοχλωρίτης και διαβαντίτης όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6.9.

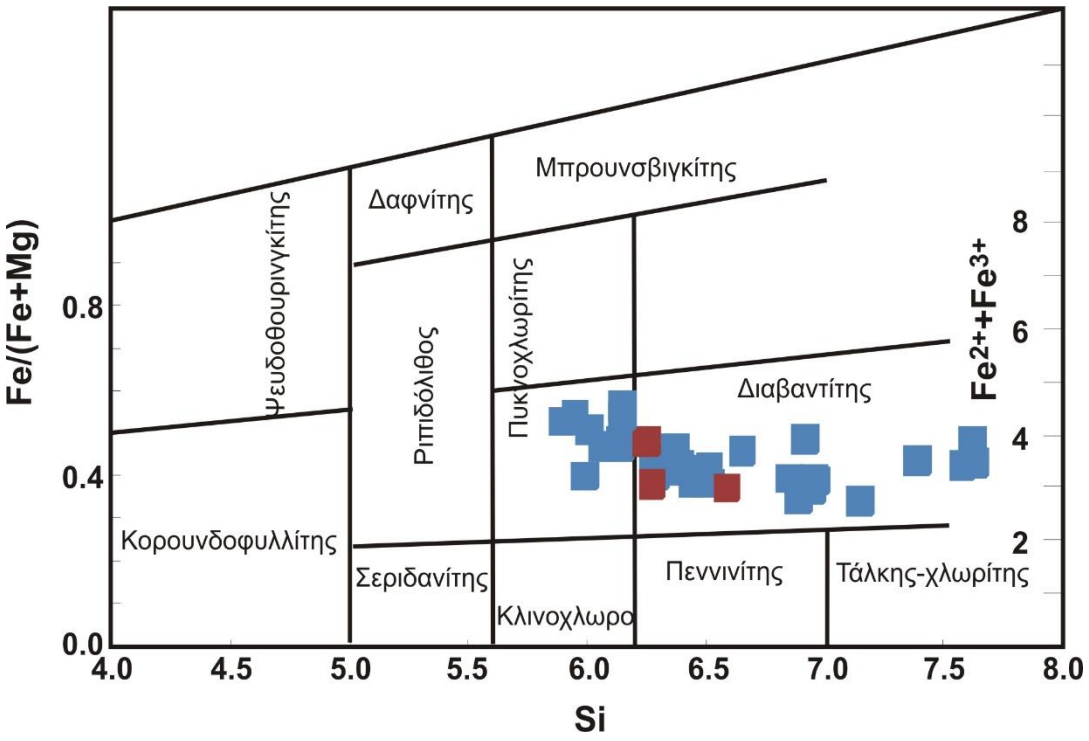
Πίνακας 6.4: Μικροαναλύσεις χλωριτών από τα πετρώματα της περιοχής μελέτης.

Χλωρίτες								
	T2–C2			T3–C5				
(%κβ)	1a-6	1a-7	1a-8	1a-5	1a-6	1a-7	1a-11	1a-12
SiO_2	32,48	30,80	29,46	28,84	28,85	29,09	27,76	27,33
TiO_2	0,03	0,00	0,00	0,57	0,00	0,15	0,00	0,00
Al_2O_3	15,45	17,68	15,40	18,54	17,03	17,06	17,81	16,84
FeO	19,56	19,71	25,73	25,46	28,13	28,27	28,80	28,63
MnO	0,43	0,00	0,74	0,39	0,83	0,05	0,40	1,10
MgO	18,09	17,92	15,20	13,49	11,86	12,87	12,76	13,66
CaO	0,54	0,23	0,72	0,22	0,18	0,16	0,00	0,13
Na_2O	0,20	0,04	0,00	0,41	0,35	0,00	0,00	0,00
K_2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

BaO	0,02	0,17	0,00	0,00	0,09	0,18	0,39	0,30
Cr_2O_3	0,01	0,31	0,02	0,00	0,39	0,23	0,26	0,00
Σύνολο	98,83	98,89	98,67	99,59	99,10	99,58	99,53	99,38
Χημικός τύπος (28 O)								
Si	6,583	6,252	6,240	5,987	6,131	6,134	5,915	5,872
Ti	0,004	0,000	0,000	0,090	0,000	0,024	0,000	0,000
Al	3,690	4,230	3,845	4,536	4,266	4,241	4,473	4,264
Cr	0,001	0,050	0,003	0,000	0,065	0,038	0,044	0,000
Fe^{3+}	0,472	0,450	0,191	0,334	0,285	0,348	0,202	0,000
Fe^{2+}	2,844	2,896	4,366	4,087	4,713	4,637	4,930	5,161
Mn	0,075	0,000	0,132	0,069	0,150	0,009	0,073	0,199
Mg	5,467	5,423	4,799	4,174	3,758	4,046	4,055	4,377
Ca	0,117	0,051	0,164	0,048	0,042	0,036	0,000	0,030
Na	0,157	0,034	0,000	0,329	0,289	0,000	0,000	0,000
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,135
Ba	0,003	0,028	0,000	0,000	0,015	0,029	0,066	0,050
OH	16,000	16,000	16,000	16,000	16,000	16,000	16,000	16,000
Σύνολο	35,411	35,414	35,740	35,653	35,713	35,543	35,758	36,088
FeO calc	16,78	17,06	24,65	23,54	26,52	26,29	27,66	28,63
Fe_2O_3 calc	3,09	2,95	1,20	2,14	1,79	2,19	1,26	0,00



Σχήμα 6.9: Ονοματολογία χλωριτών. Με μπλε χρώμα σημειώνονται οι αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στο μεταβασάλτη (τομές Τ1 και Τ3) και με κόκκινο οι αναλύσεις που αναφέρονται στο μεταδολερίτη (τομή Τ2).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

6.v) Μαρμαρυγίες

Οι μαρμαρυγίες είναι μία ομάδα φυλλοπυριτικών ορυκτών που κρυσταλλώνονται στο μονοκλινές σύστημα. Ο γενικός χημικός τύπος των μαρμαρυγιών είναι : $AC_{2-3}(OH,F)_2T_4O_{10}$, όπου A,C και T αντιπροσωπεύουν κρυσταλλογραφικές θέσεις της δομής τους. Στη θέση A τοποθετούνται τα : (K^+), (Na^+) ή (Ca^{2+}), μπορούν ακόμη να βρεθούν: (Ba^{2+}), (Rb^+), (Cs^+) κ.λπ.. Στη θέση C τοποθετούνται τα: (Al^{3+}), (Mg^{2+}) ή (Fe^{2+}), μπορούν ακόμη να βρεθούν: (Mn^{2+}), (Cr^{3+}), (Ti^{4+}), (Li^+) κ.λπ.. Τέλος, στη θέση T τοποθετούνται τα: (Si^{4+}) ή (Al^{3+}), μπορούν ακόμη να βρεθούν (Fe^{3+}) και (Ti^{4+}). Οι μαρμαρυγίες είναι διαδεδομένα ένυδρα ορυκτά που συναντώνται στα περισσότερα πυριγενή και μεταμορφωμένα πετρώματα (Deer et al 1996, Θεοδωρίκας 2013). Στα πετρώματα που μελετήθηκαν βρέθηκε λευκός μαρμαρυγίας στο μεταβασάλτη (τομή Τ1) ενώ κάτω από το μικροσκόπιο διαπιστώθηκε και η ύπαρξη βιοτίτη στο ίδιο δείγμα.

Στον Πίνακα 6.5 δίνονται οι μικροαναλύσεις των λευκών μαρμαρυγιών από την περιοχή μελέτης. Όπως διαπιστώνεται το FeO κυμαίνεται από 6,41% έως 16,77% και το MgO από 2,75% έως 11,12%. Επιπλέον, το SiO_2 κυμαίνεται από 39,55% έως 55,40% ενώ, το Al_2O_3 κυμαίνεται από 19,21% έως 21,57%.

Στο Σχήμα 6.10 φαίνεται ότι ο λευκός μαρμαρυγίας αποτελεί ενδιάμεσο μέλος της σειράς σελαδονίτη-μοσχοβίτη, παρουσιάζοντας μεγαλύτερη περιεκτικότητα στο μόριο του σελαδονίτη.

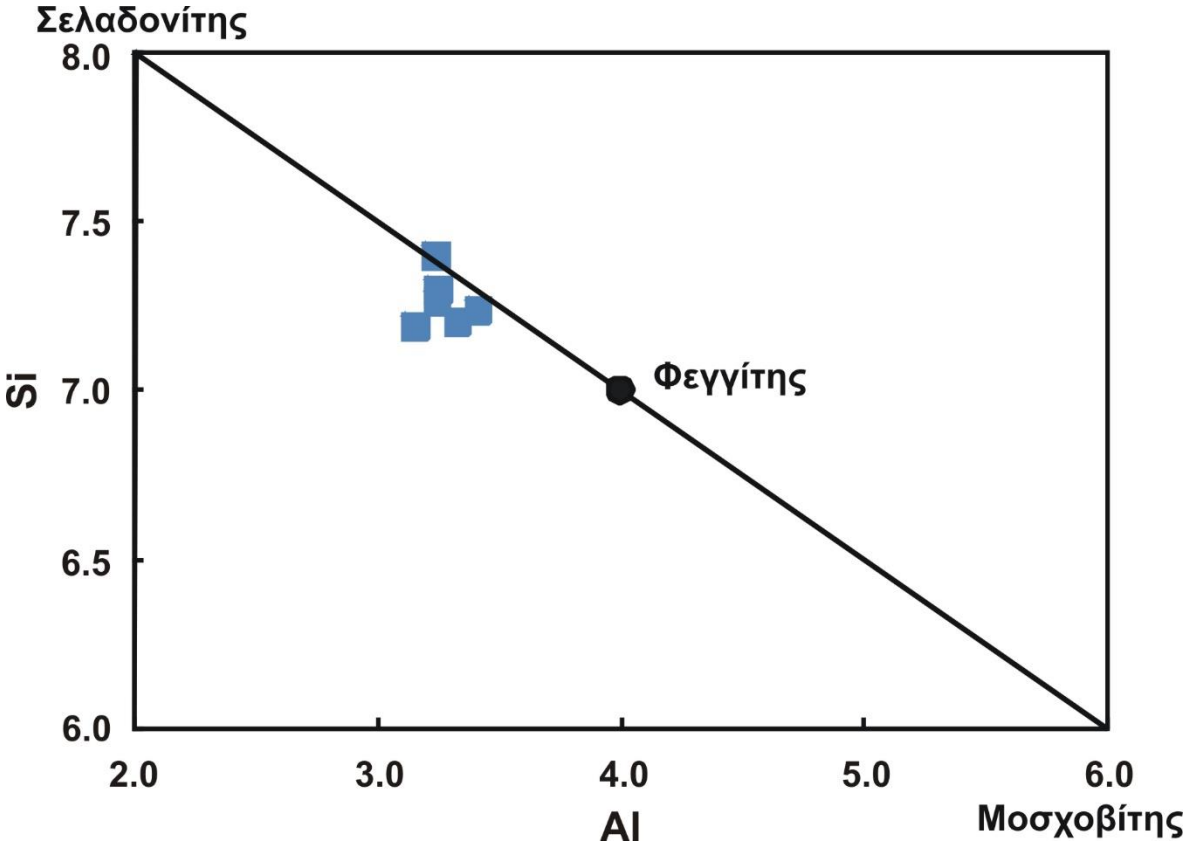
Πίνακας 6.5: Μικροαναλύσεις σε μαρμαρυγίες από πετρώματα της περιοχής.

Μαρμαρυγίες							
	T1–C1			T1–C7	T1–C1		
(%κβ)	1a-4	1a-5	1a-6	2a-3	2a-5	2a-6	2a-8
SiO_2	53,54	55,40	54,00	39,55	54,14	52,85	53,76
TiO_2	0,56	0,00	0,02	0,37	0,23	0,63	0,05
Al_2O_3	20,97	20,60	21,57	19,21	20,49	19,73	20,35
Fe_2O_3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	6,41	6,88	6,68	16,77	6,71	7,62	7,69
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00	0,00
MgO	3,59	2,75	3,21	11,12	3,58	4,03	3,41
CaO	0,69	0,00	0,23	0,00	0,62	1,26	1,12
Na_2O	0,00	0,00	0,08	0,40	0,21	0,00	0,34
K_2O	10,63	10,97	11,14	8,97	10,18	10,29	9,89
Cr_2O_3	0,34	0,58	0,19	0,57	0,00	0,00	0,00
Σύνολο	96,73	97,19	97,14	96,96	96,34	96,41	96,61
Χημικός τύπος (22 O)							
Si	7,198	7,397	7,235	5,762	7,293	7,185	7,259
Al IV	0,802	0,603	0,765	2,238	0,707	0,815	0,741

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

T	*8,000*	*8,000*	*8,000*	*8,000*	*8,000*	*8,000*	*8,000*
Al VI	2,521	2,639	2,641	1,061	2,546	2,346	2,498
Ti	0,057	0,000	0,002	0,040	0,023	0,064	0,005
Fe^{3+}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe^{2+}	0,721	0,768	0,749	2,044	0,756	0,867	0,869
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,021	0,000	0,000
Mg	0,719	0,548	0,641	2,416	0,719	0,817	0,687
Cr	0,036	0,061	0,021	0,065	0,000	0,000	0,000
Ni	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	*4,054*	*4,017*	*4,054*	*5,626*	*4,065*	*4,094*	*4,059*
Ca	0,099	0,000	0,034	0,000	0,089	0,184	0,162
Na	0,000	0,000	0,020	0,112	0,055	0,000	0,088
K	1,823	1,869	1,904	1,668	1,749	1,784	1,704
A	*1,923*	*1,869*	*1,958*	*1,780*	*1,894*	*1,968*	*1,954*
Mg/(Mg+Fe2)	0,499	0,417	0,461	0,542	0,487	0,485	0,442



Πίνακας 6.10: Ονοματολογία λευκών μαρμαρυγιών. Λευκοί μαρμαρυγίες βρέθηκαν στο μεταβασάλτη (τομή Τ1).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

6.vi) Επίδοτο – Αλλανίτης

Το επίδοτο είναι σωροπυριτικό ορυκτό που συναντάτε κυρίως σε μεταμορφωμένα πετρώματα γενικής και θερμικής μεταμόρφωσης (πρασινοσχιστόλιθοι, γνεύσιοι, αμφιβολίτες, χαλαζίτες, φυλλίτες, μάρμαρα, skarns, κερατίτες). Επίσης, μπορεί να βρεθεί σε πυριγενή πετρώματα ως πρωτογενές ή ως δευτερογενές ορυκτό, είτε ως προϊόν αλλοίωσης πλαγιοκλάστων. Ο χημικός του τύπος είναι $Ca_2Fe^{3+}Al_2O(Si_2O_7)(SiO_4)(OH)$, κρυσταλλώνεται στο μονοκλινές και εμφανίζεται από άχρωμο ως και ανοικτό κιτρινοπράσινο. Οι κρύσταλλοι που σχηματίζει είναι στηλοειδείς, πρισματικοί, ινώδεις με εξαγωνικές διατομές ενώ μπορεί να σχηματίζει και αλλοτριόμορφους κόκκους καθώς και κοκκώδη, ινώδη ή ακτινωτά συσσωματώματα (Σχήμα 6.11). Στο πολωτικό μικροσκόπιο εμφανίζει καθόλου ως ασθενή πλεοχροϊσμό, πλάγια κατάσβεση (ή ορθή σε πρισματικές τομές) και υψηλά φωτεινά χρώματα πόλωσης. Συχνά μπορεί να εμφανίζει ζώνωση με κρυστάλλους που στον πυρήνα έχουν καστανό αλλανίτη και στην περιφέρεια επίδοτο (Deer et al 1996, Θεοδωρίκας 2013).

Στον πίνακα 6.6 δίνονται οι μικροαναλύσεις επιδότου από την περιοχή μελέτης.

Ο αλλανίτης ανήκει στα ορυκτά της ομάδας του επιδότου. Εμφανίζεται κυρίως ως επουσιώδες ορυκτό σε όξινα και ενδιάμεσα πυριγενή πετρώματα (γρανίτες, συηνίτες, διορίτες, πηγματίτες). Επίσης, εμφανίζεται σε μεταμορφωμένα πετρώματα (γνεύσιοι, σχιστόλιθοι, skarns). Ο χημικός του τύπος είναι $(Ca,Ce,La)_2(Fe^{2+},Fe^{3+},Al)_3O(Si_2O_7)(SiO_4)(OH)$, κρυσταλλώνεται στο μονοκλινές και έχει καστανό χρώμα. Σχηματίζει και αυτός στηλοειδείς, πρισματικούς ή βελονοειδείς κρυστάλλους ενώ μπορεί να σχηματίζει και αλλοτριόμορφους κόκκους καθώς και κοκκώδη συσσωματώματα, όπως το επίδοτο από το οποίο συχνά περιβάλλεται (Σχήμα 6.12). Στο πολωτικό μικροσκόπιο εμφανίζει σαφή πλεοχροϊσμό, ορθή κατάσβεση στις πρισματικές τομές και μέτρια χρώματα πόλωσης που συνήθως καλύπτονται από το χρώμα του ορυκτού (Deer et al 1996, Θεοδωρίκας 2013). Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω συχνά σχηματίζονται ζωνώδεις κρυστάλλοι με πυρήνα από αλλανίτη και περιφέρεια από επίδοτο (Σχήμα 6.13).

Στον πίνακα 6.7 δίνονται οι αναλύσεις αλλανίτη από την περιοχή μελέτης.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

Σχήμα 6.11: Κρύσταλλοι επιδότου μακροσκοπικά (πηγή:http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo212y/)

Σχήμα 6.12: Κρύσταλλος αλλανίτη μακροσκοπικά (πηγή:http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo212y/)

Σχήμα 6.13: ζωνώδης κρύσταλλος με πυρήνα από αλλανίτη και περιφέρεια από επίδοτο όπως φαίνεται σε πολωτικό μικροσκόπιο με //N (αριστερά) και +N (δεξιά). (πηγή: http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo212y/)

Πίνακας 6.6: Μικροαναλύσεις επιδότων από τα πετρώματα της περιοχής μελέτης.

Επίδοτο							
	T1–C1				T1–C2		
(%κβ)	2a-1	2a-2	2a-3	2a-4	1a-1	1a-2	1a-3
SiO_2	37,99	38,01	37,34	37,54	37,74	37,49	37,91
TiO_2	0,00	0,00	0,00	0,06	0,18	0,00	0,08
Al_2O_3	20,93	22,42	20,38	20,58	21,11	21,58	20,93
FeO	15,94	14,11	16,68	16,32	14,98	14,71	15,55
MgO	0,00	0,34	0,00	0,28	0,10	0,17	0,10
MnO	0,10	0,00	0,26	0,00	0,51	0,39	0,18
CaO	23,47	23,11	23,47	23,10	23,20	23,56	23,22
Na_2O	0,00	0,22	0,00	0,29	0,00	0,00	0,00
K_2O	0,18	0,30	0,01	0,00	0,31	0,00	0,34
Σύνολο	98,62	98,51	98,13	98,18	98,14	97,90	98,32
Χημικός τύπος							
Si	2,996	2,971	2,967	2,966	2,985	2,967	2,995
Al	0,004	0,029	0,033	0,034	0,015	0,033	0,005
T	*3,000*	*3,000*	*3,000*	*3,000*	*3,000*	*3,000*	*3,000*
Ti	0,000	0,000	0,000	0,004	0,011	0,000	0,005

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Al	1,941	2,037	1,876	1,883	1,953	1,980	1,944
Fe^{2+}	1,051	0,923	1,108	1,079	0,991	0,974	1,027
Mg	0,000	0,040	0,000	0,033	0,012	0,020	0,012
Mn^{2+}	0,007	0,000	0,018	0,000	0,034	0,026	0,012
M	*2,999*	*3,000*	*3,002*	*2,999*	*3,001*	*3,000*	*3,000*
Ca	1,983	1,936	1,998	1,956	1,967	1,999	1,966
Na	0,000	0,034	0,000	0,045	0,000	0,000	0,000
K	0,018	0,030	0,001	0,000	0,032	0,000	0,034
A	*2,001*	*2,000*	*1,999*	*2,001*	*1,999*	*1,999*	*2,000*

Επίδοτο						
	T1–C2			T1–C7		
(%κβ)	1a-4	1a-5	1a-6	2a-2	2a-10	2a-11
SiO_2	36,77	36,99	37,16	37,06	37,75	37,32
TiO_2	0,00	0,31	0,19	0,00	0,09	0,14
Al_2O_3	20,60	20,21	20,22	20,24	22,66	20,70
FeO	15,48	16,52	16,06	17,55	14,17	16,55
MgO	0,60	0,09	0,71	0,00	0,00	0,00
MnO	0,71	0,65	0,00	0,00	0,16	0,00
CaO	23,44	23,02	23,42	23,38	23,38	23,11
Na_2O	0,00	0,27	0,06	0,00	0,20	0,05
K_2O	0,00	0,00	0,00	0,09	0,03	0,29
Σύνολο	97,61	98,05	97,82	98,32	98,44	98,16
Χημικός Τύπος						
Si	2,924	2,938	2,948	2,942	2,961	2,959
Al	0,076	0,062	0,052	0,058	0,039	0,041
T	*3,000*	*3,000*	*3,000*	*3,000*	*3,000*	*3,000*
Ti	0,000	0,019	0,011	0,00	0,006	0,009
Al	1,855	1,830	1,839	1,836	2,056	1,893
Fe^{2+}	1,030	1,097	1,066	1,165	0,929	1,097
Mg	0,071	0,010	0,084	0,000	0,000	0,000
Mn^{2+}	0,048	0,044	0,000	0,000	0,010	0,000
M	*3,004*	*3,000*	*3,000*	*3,001*	*3,001*	*2,999*
Ca	1,997	1,959	1,991	1,989	1,965	1,964
Na	0,000	0,041	0,009	0,00	0,030	0,008
K	0,000	0,00	0,00	0,009	0,003	0,029
A	*1,997*	*2,000*	*2,000*	*1,998*	*1,998*	*2,001*

Επίδοτο						
	T2–C2			T3–C3		
(%κβ)	1a-1	1a-2	1a-3	1a-1	1a-2	1a-3
SiO_2	37,20	37,40	38,09	38,17	36,78	36,21
TiO_2	0,00	0,00	0,39	0,26	0,63	0,42
Al_2O_3	21,64	20,95	21,70	23,56	23,94	22,53
FeO	15,43	15,85	14,12	11,83	12,92	15,15
MgO	0,00	0,29	0,16	0,57	0,00	0,00
MnO	0,47	0,26	0,66	0,44	0,55	0,81

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

CaO	23,42	23,65	22,86	23,50	23,70	23,65
Na_2O	0,02	0,00	0,53	0,28	0,00	0,00
K_2O	0,15	0,01	0,00	0,10	0,17	0,06
Σύνολο	98,32	98,41	98,52	98,71	98,68	98,82
Χημικός Τύπος						
Si	2,937	2,952	2,984	2,962	2,875	2,844
Al	0,063	0,048	0,016	0,038	0,125	0,156
T	*3,000*	*3,000*	*3,000*	*3,000*	*3,000*	*3,000*
Ti	0,000	0,000	0,023	0,015	0,037	0,025
Al	1,951	1,901	1,988	2,117	2,081	1,930
Fe^{2+}	1,019	1,047	0,926	0,768	0,845	0,995
Mg	0,000	0,035	0,018	0,065	0,000	0,000
Mn^{2+}	0,031	0,018	0,044	0,029	0,036	0,054
M	*3,001*	*3,001*	*2,999*	*2,994*	*2,999*	*3,004*
Ca	1,981	2,000	1,920	1,954	1,985	1,991
Na	0,003	0,00	0,080	0,043	0,00	0,00
K	0,015	0,001	0,00	0,010	0,016	0,006
A	*1,999*	*2,001*	*2,000*	*2,007*	*2,001*	*1,997*

Πίνακας 6.7: Μικροαναλύσεις αλλανίτη από τα πετρώματα της περιοχής μελέτης.

Αλλανίτης							
	T1–C2			T1–C6	T1–C7		
(%κβ)	1a-7	1a-8	1a-4	2a-5	2a-6	2a-1	2a-9
SiO_2	37,16	36,52	35,02	35,19	34,98	35,86	34,40
TiO_2	0,00	0,00	0,00	0,32	0,00	0,00	0,14
Al_2O_3	20,31	19,37	19,45	19,12	19,44	20,02	18,58
FeO	15,96	16,34	16,13	15,89	15,37	15,48	15,21
MgO	0,00	0,00	0,32	0,00	0,20	0,00	0,00
MnO	0,00	0,05	0,00	0,02	0,39	0,17	0,30
CaO	21,93	21,07	20,03	17,94	18,22	19,88	16,68
Na_2O	0,00	0,00	0,00	0,58	0,00	0,11	0,24
K_2O	0,10	0,00	0,00	0,00	0,44	0,13	0,14
La_2O_3	0,00	0,36	1,18	1,55	1,90	1,81	2,62
Ce_2O_3	1,14	3,54	5,47	5,57	6,34	3,22	5,47
Nd_2O_3	0,64	0,94	0,00	2,12	1,19	1,41	4,10
UO_3	1,02	0,00	0,00	0,00	0,44	0,00	0,25
ThO_2	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00	0,62	0,00
Σύνολο	98,27	98,19	97,89	98,30	98,91	98,70	98,14
Χημικός τύπος							
Si	2,994	3,000	2,922	2,964	2,941	2,966	2,976
Al	0,006	0,00	0,078	0,036	0,059	0,034	0,024
T	*3,000*	*3,000*	*3,000*	*3,000*	*3,000*	*3,000*	*3,000*
Ti	0,000	0,000	0,000	0,020	0,000	0,000	0,009
Al	1,924	1,875	1,835	1,862	1,868	1,918	1,871
Fe^{2+}	1,076	1,122	1,126	1,119	1,081	1,071	1,101
Mg	0,000	0,000	0,039	0,000	0,025	0,000	0,000
Mn^{2+}	0,000	0,003	0,000	0,001	0,028	0,012	0,022

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

M	*3,000*	*3,000*	*3,000*	*3,002*	*3,002*	*3,001*	*3,003*
Ca	1,894	1,854	1,791	1,618	1,642	1,762	1,546
Na	0,000	0,000	0,000	0,095	0,000	0,018	0,041
K	0,010	0,000	0,000	0,000	0,047	0,014	0,015
La	0,000	0,011	0,036	0,048	0,059	0,055	0,084
Ce	0,034	0,107	0,167	0,172	0,195	0,098	0,173
Nd	0,018	0,027	0,000	0,064	0,036	0,042	0,127
Y	0,044	0,000	0,000	0,000	0,020	0,000	0,012
Th	0,000	0,000	0,006	0,000	0,000	0,012	0,000
A	*2,000*	*1,999*	*2,000*	*1,997*	*1,999*	*2,001*	*1,998*

6.vii) Τιτανίτης

Ο τιτανίτης ή σφήνα ανήκει στα νησοπυρικά ορυκτά και είναι σύνηθες επουσιώδες ορυκτό. Συναντάται σε όξινα ως ενδιάμεσα πλουτωνικά πετρώματα (γρανίτες,μονζονίτες, συηνίτες, διορίτες) και σπάνια σε ηφαιστειακά. Επίσης συναντάται σε μεταμορφωμένα πετρώματα (γνέυσιοι, σχιστόλιθοι, αμφιβολίτες, skarns). Μπορεί να είναι προϊόν αλλοίωσης του βιοτίτη της κεροστίλβης ή του κλινοπυρόξενου, ενώ ο ίδιος αλλοιώνεται σε λευκόξενο (ένα μίγμα ρουτιλίου, ανατάση και χαλαζία). Ο χημικός του τύπος είναι $CaTiOSiO_4$, κρυσταλλώνεται στο μονοκλινές σύστημα και έχει καστανωπό χρώμα. Σχηματίζει αλλοτριόμορφους, ακανόνιστους και αποστρογγυλεμένους κόκκους στα μεταμορφωμένα πετρώματα ενώ στα πυριγενή σχηματίζει ιδιόμορφες ως υπιδιόμορφες σφηνοειδείς, ρομβοειδείς τομές (Deer et al 1996, Θεοδωρίκας 2013). Στο πολωτικό μικροσκόπιο εμφανίζει πλάγια κατάσβεση με πάρα πολύ υψηλά χρώματα πόλωσης τα οποία όμως δεν φαίνονται λόγω του χρώματος του ορυκτού, με αποτέλεσμα να εμφανίζει ίδια εικόνα με παράλληλα και διασταυρωμένα Nicols (Σχήμα 6.14).

Στον πίνακα 6.8 δίνονται οι μικροαναλύσεις τιτανίτη από την περιοχή μελέτης.

Σχήμα 6.14: Αριστερά: Κρύσταλλος τιτανίτη μακροσκοπικά. Κέντρο και δεξιά: Τομή από μεταμορφωμένο πέτρωμα με αποστρογγυλεμένους κρυτστάλλους τιτανίτη στο σημείο που δείχνει το βέλος (με //N στο κεντρο και με +N δεξιά) (πηγή:http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo212y/)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Πίνακας 6.8 Μικροαναλύσεις σε τιτανίτες από τα πετρώματα της περιοχής μελέτης.

Τιτανίτης						
	T1–C8			T2–C1		
(%κβ)	3a-1	3a-2	3a-3	3a-1	3a-2	3a-3
SiO_2	30,79	30,34	30,84	31,21	31,50	31,88
TiO_2	38,08	38,54	35,78	36,27	35,74	32,27
Al_2O_3	1,83	1,12	3,36	3,62	3,82	6,47
FeO	1,11	1,29	2,25	1,83	0,76	1,70
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00
MgO	0,49	0,00	0,66	0,49	0,18	0,07
CaO	27,11	26,72	26,27	26,46	26,18	25,89
Na_2O	0,00	0,96	0,00	0,00	1,09	1,39
K_2O	0,02	0,01	0,00	0,03	0,07	0,00
Σύνολο	99,42	98,98	99,15	99,92	99,54	99,67
Χημικός τύπος (4 Si)						
Si	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
Ti	3,720	3,821	3,490	3,496	3,413	3,045
Al	0,280	0,173	0,514	0,547	0,571	0,957
Y	*4,000*	*3,995*	*4,004*	*4,043*	*3,984*	*4,001*
Fe	0,120	0,143	0,244	0,196	0,081	0,179
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,021	0,000
Mg	0,095	0,000	0,127	0,094	0,034	0,013
Ca	3,773	3,775	3,650	3,633	3,562	3,480
Na	0,000	0,245	0,000	0,000	0,268	0,338
K	0,003	0,002	0,000	0,005	0,011	0,000
X	*3,991*	*4,164*	*4,022*	*3,928*	*3,977*	*4,010*

Τιτανίτης					
	T2–C1	T2–C3			
(%κβ)	3a-4	1a-6	1a-7	2a-7	2a-8
SiO_2	32,19	30,55	30,83	30,62	31,06
TiO_2	31,95	36,57	35,15	37,39	34,83
Al_2O_3	7,07	2,85	3,88	2,15	3,94
FeO	1,36	2,50	3,56	2,43	1,76
MnO	0,26	0,23	0,40	0,00	0,00
MgO	0,11	0,00	0,00	0,11	0,20
CaO	24,32	26,54	25,71	26,62	27,30
Na_2O	2,29	0,19	0,00	0,00	0,00
K_2O	0,00	0,10	0,00	0,02	0,09
Σύνολο	99,56	99,53	99,54	99,34	99,18
Χημικός τύπος (4 Si)					
Si	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
Ti	2,986	3,600	3,430	3,674	3,373
Al	1,036	0,439	0,593	0,332	0,598
Y	*4,021*	*4,040*	*4,023*	*4,005*	*3,971*
Fe	0,141	0,274	0,386	0,266	0,190
Mn	0,027	0,025	0,044	0,000	0,000

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Mg	0,020	0,000	0,000	0,021	0,038
Ca	3,238	3,723	3,574	3,726	3,768
Na	0,551	0,047	0,000	0,000	0,000
K	0,000	0,016	0,000	0,003	0,015
X	*3,978*	*4,086*	*4,004*	*4,015*	*4,010*

6.viii) Ασβεστίτης

Ο ασβεστίτης είναι ανθρακικό ορυκτό, από τα πιο διαδεδομένα μη πυριτικά ορυκτά. Συναντάτε σε ιζηματογενή πετρώματα (ασβεστόλιθοι) ως βασικό συστατικό και ως συνδετικό υλικό σε κλαστικά ιζηματογενή. Επιπλέον, συναντάτε σε μεταμορφωμένα πετρώματα (μάρμαρα) αλλά και ως υδροθερμικό ή δευτερογενές ορυκτό σε κοιλότητες πυριγενών πετρωμάτων και ως πρωτογενές στους καρμπονατίτες. Μπορεί να αποτελεί προϊόν αλλοίωσης των πλαγιοκλάστων και Ca-Mg-Fe ορυκτών. Ο χημικός του τύπος είναι $CaCO_3$, κρυσταλλώνεται στο τριγωνικό σύστημα και είναι άχρωμος ή λευκός. Σχηματίζει αλλοτριόμορφους κόκκους και ενίοτε ρομβοεδρικές δομές κυρίως στα ιζηματογενή. Παρουσιάζει τέλειο ρομβοεδρικό σχισμό και σε μερικές τομές παρατηρούνται τρεις σχισμοί (Σχήμα 6.15). Μικροσκοπικά εμφανίζει κατάσβεση συμμετρική ως προς τον σχισμό και πάρα πολύ υψηλά χρώματα πόλωσης (Deer et al 1996, Θεοδωρίκας 2013).

Στον πίνακα 6.9 δίνονται οι μικροαναλύσεις ασβεστίτη από τα πετρώματα της περιοχής μελέτης. Όπως προκύπτει από αυτές ο ασβεστίτης περιέχει στη σύστασή του MgO έως 0,56% κ.β., MnO έως 0,91 % κ.β, FeO έως 0,38 % κ.β., SrO έως 0,62% κ.β. και BaO έως 0,70% κ.β. Σε μία περίπτωση μόνο στην τομή Τ3-1, ανάλυση 3a-3, βρέθηκε ασβεστίτης με υψηλότερες περιεκτικότητες σε MgO, FeO και MnO. Ο συγκεκριμένος ασβεστίτης βρίσκεται μαζί με αμφίβολο και πιθανότατα αντικαθιστά πυρόξενο.

Σχήμα 6.15: Αριστερά: μακροσκοπικός κρύσταλλος ασβεστίτη. Κέντρο και δεξιά: Τομές από μάρμαρο (με //N (κέντρο) και +N (δεξιά)) (πηγή:http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo212y/)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Πίνακας 6.9: Μικροαναλύσεις ασβεστιτών από πετρώματα της περιοχής μελέτης.

Ασβεστίτης										
	T2–C1				T2–C3				T3–C1	
(%κβ)	1a-1	1a-2	1a-3	2a-5	1a-3	1a-4	1a-5	2a-1	3a-2	3a-3
CaO	54,88	54,89	54,76	55,12	55,20	54,03	53,91	54,56	54,91	39,20
MgO	0,34	0,22	0,19	0,00	0,09	0,50	0,56	0,17	0,38	7,09
MnO	0,04	0,22	0,00	0,00	0,22	0,67	0,91	0,51	0,10	1,01
FeO	0,11	0,10	0,21	0,14	0,21	0,21	0,38	0,10	0,00	8,22
SrO	0,00	0,00	0,40	0,62	0,00	0,00	0,00	0,18	0,15	0,00
BaO	0,42	0,00	0,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60	0,04	0,00
CO_2	43,64	43,51	43,69	43,60	43,68	43,49	43,71	43,63	43,65	44,16
Σύνολο	99,42	98,93	99,95	99,48	99,39	98,89	99,47	99,75	99,23	99,68

6. ix) Επουσιώδη ορυκτά

6. ix.a) Ζεόλιθος

Οι ζεόλιθοι προέρχονται από εξαλλοίωση ηφαιστειακών υλικών με την επίδραση υδατικών διαλυμάτων. Συναντώνται κυρίως σε τοφφικούς ψαμμίτες και πηλόλιθους και σε χαμηλού βαθμού μεταμορφωμένα πετρώματα. Οι ζεόλιθοι έχουν ίδια κρυσταλλική δομή με τους αστρίους και τα αστριοειδή (Θεοδωρίκας 2013). Στις αναλύσεις που έγιναν ζεόλιθος βρέθηκε τόσο στό μεταβασάλτη όσο και στο μεταδολερίτη (τομές Τ1 και Τ2) και προσδιορίζεται ως χοϋλανδίτης ($CaAl_2Si_7O_{18} \cdot 6H_2O$).

6. ix.b) Χαλκοπυρίτης – Γαληνίτης – Σιδηροπυρίτης

Ο χαλκοπυρίτης, ο γαληνίτης και ο σιδηροπυρίτης ανήκουν στα θειούχα ορυκτά. Ο χημικός τύπος του χαλκοπυρίτη είναι $CuFeS_2$, του γαληνίτη είναι PbS και του σιδηροπυρίτη FeS_2. Ο χαλκοπυρίτης κρυσταλλώνεται στο τετραγωνικό σύστημα, ο γαληνίτης στο κυβικό και ο σιδηροπυρίτης στην παρημιεδρία του κυβικού. Ο χαλκοπυρίτης αποτελεί διαδεδομένο ορυκτό του χαλκού και συναντάτε σε κοιτάσματα σουλφιδίων, κυρίως σε υδροθερμικές φλέβες καθώς επίσης μπορεί να σχηματίζεται και από μεταμόρφωση επαφής. Ο γαληνίτης συναντάτε σε υδροθερμικές φλέβες, ιζηματογενή πετρώματα και σε πηγματίτες. Ο σιδηροπυρίτης εμφανίζει

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

χαρακτηριστικές ποικίλσεις. Είναι το πιο διαδεδομένο ορυκτό των σουλφιδίων και συναντάτε σε όξινα και βασικά πυριγενή πετρώματα σαν επουσιώδες ορυκτό, καθώς και σε ιζηματογενή και μεταμορφωμένα. Σχηματίζεται κυρίως σε υδροθερμικές φλέβες και από μεταμόρφωση επαφής (Θεοδωρίκας 2013).

6. ix.c) Μαγνητίτης

Ο μαγνητίτης είναι οξείδιο του σιδήρου. Έχει γενικό χημικό τύπο Fe_3O_4 και κρυσταλλώνεται στο κυβικό σύστημα και εμφανίζει έντονες μαγνητικές ιδιότητες. Ο μαγνητίτης συναντάτε ως επουσιώδες ορυκτό στα πυριγενή και στα μεταμορφώμενα πετρώματα (Θεοδωρίκας 2013).

6. ix.d) Απατίτης

Ο απατίτης είναι φωσφορικό ορυκτό. Έχει γενικό χημικό τύπο $Ca_5(F,Cl,OH)(PO_4)_3$ και κρυσταλλώνεται στο εξαγωνικό σύστημα. Είναι σύνηθες επουσιώδες ορυκτό και βρίσκεται κυρίως σε όξινα, ενδιάμεσα και βασικά πυριγενή πετρώματα. Επιπλέον, βρίσκεται σε μεταμορφωμένα αλλά και σε κλαστικά ιζήματα. Είναι άχρωμος και σχηματίζει μικρούς ιδιόμορφους ως υπιδιόμορφους πρισματικούς κρυστάλλους με εξαγωνικές διατομές (Θεοδωρίκας 2013).

6. ix.e) Ζιρκόνιο

Το ζιρκόνιο ανήκει στα νησοπυριτικά ορυκτά. Έχει γενικό χημικό τύπο $ZrSiO_4$ και κρυσταλλώνεται στο τετραγωνικό σύστημα. Είναι σύνηθες επουσιώδες ορυκτό και βρίσκεται κυρίως σε όξινα έως ενδιάμεσα πλουτωνικά πετρώματα, σε μεταμορφωμένα αλλά και σε κλαστικά ιζήματα. Είναι άχρωμο έως ελαφρά καστανωπό και σχηματίζει πολύ μικρούς, συνήθως ιδιόμορφους πρισματικούς, τετραγωνικούς κρυστάλλους (Θεοδωρίκας 2013).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

7. Συζήτηση-Συμπεράσματα

Σύμφωνα με τις παρατηρήσεις που έγιναν στο πολωτικό μικροσκόπιο διερχομένου φωτός και σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 5 για τον ιστό και τα ορυκτά των πετρωμάτων, μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για τους πρωτόλιθους των μεταμορφωμένων πετρωμάτων. Έτσι, για τα πετρώματα των τομών Τ1 και Τ3, προκύπτει ότι ο πρωτόλιθος θα πρέπει να είναι βασάλτης εφόσον και τα δύο εμφανίζουν βλαστοπορφυριτικό ιστό και γι' αυτό το λόγο χαρακτηρίστηκαν ως μεταβασάλτες. Επιπρόσθετα, για το πέτρωμα της τομής Τ2, το οποίο έχει βλαστοφειτικό ιστό, προκύπτει το συμπέρασμα ότι, θα πρέπει να προέρχεται από δολερίτη γι' αυτό και χαρακτηρίστηκε ως μεταδολερίτης.

Οι παραγενέσεις που βρέθηκαν στις τρεις τομές που μελετήθηκαν είναι:

- Τομή Τ1 (μεταβασάλτης): Fe-Ts + Cpx + Ab + Ep + All + λευκός μαρμαρυγίας ± Bt ± Tit ± Zeo ± μαγνητίτης
- Τομή Τ2 (μεταδολερίτης): Fe-Ts + Ep + Tit + Cc ± Chl ± Zeo ± Cpy
- Τομή Τ3 (μεταβασάλτης): Fe-Ts + Ab + Chl ± Ep ± Cc ± Ap ± Zir ± Py ± Gal

Οι αντιδράσεις αφυδάτωσης που συμβαίνουν σε μεταμορφωμένα πετρώματα είναι ισχυρά ενδόθερμες. Επομένως οι αντιδράσεις ενυδάτωσης βασαλτικών πετρωμάτων είναι εξώθερμες και απελευθερώνουν μεγάλες ποσότητες θερμότητας. Η θερμότητα που απελευθερώνεται κατά την αντικατάσταση της βασαλτικής παραγένεσης Cpx+Pl από τα χαμηλής θερμοκρασίας ένυδρα ορυκτά Prh+Chl+Zeo μπορεί να αυξήσει τη θερμοκρασία έως και 100^{o}C. Όταν ξεκινήσουν οι εξώθερμες αντιδράσεις θα συνεχίσουν όσο υπάρχει διαθέσιμο νερό. Η αύξηση της θερμοκρασίας θα αναγκάσει αρχικά τις αντιδράσεις να προχωρήσουν γρηγορότερα, αλλά να έρθουν και πιο κοντά στην κατάσταση ισορροπίας, όπου τελικά θα σταματήσουν. Πρέπει να ληφθεί υπόψη, όμως, ότι οι αντιδράσεις ενυδάτωσης βασικών πετρωμάτων είναι μετασταθείς κι άρα συμβαίνουν μακριά από την κατάσταση ισορροπίας (Bucher & Grapes 2011). Επομένως, η μετασταθής φύση των αντιδράσεων αυτών, που αντικαθιστούν υψηλής θερμοκρασίας άνυδρες πυριγενείς παραγενέσεις με χαμηλής θερμοκρασίας ένυδρες, έχει σαν αποτέλεσμα τα βασικά χαμηλού βαθμού μεταμορφωμένα πετρώματα να εμφανίζουν συχνά παραγενέσεις που βρίσκονται σε κατάσταση μη ισορροπίας.

Έτσι, σε συνθήκες υποπρασινοσχιστολιθικής φάσης μπορούν να βρεθούν μαζί πυριγενή ορυκτά υψηλών θερμοκρασιών με μεταμορφικά ορυκτά χαμηλών θερμοκρασιών. Η

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

διαδικασία της ενυδάτωσης συνήθως οδηγεί στο σχηματισμό μετασωματικών ζωνωδών δομών, όπως δίκτυα φλεβών και συγκεντρικές ορυκτολογικές ζώνες που αντικατοπτρίζουν την προοδευτική ενυδάτωση των pillow λαβών. Σ' αυτή την περίπτωση, οι ρηγματώσεις στις επιφάνειες των pillow λαβών καθοδηγούν τη διαδικασία της ενυδάτωσης προς το κέντρο τους. Τα προϊόντα της ενυδάτωσης εξαρτώνται όχι μόνο από τη P και τη T αλλά και από τη χημική σύσταση της ρευστής φάσης.

Η πρασινοσχιστολιθική φάση μεταμόρφωσης χαρακτηρίζεται από την παραγένεση Ab+Chl+Act+Ep, ενώ η αμφιβολιτική φάση από την παραγένεση Pl (>An17)+Hbl+Bt+Ep. Οι χαρακτηριστικές πρόδρομες αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά τη μεταμόρφωση των μεταβασιτών σχετίζονται κυρίως με τη σύσταση του πλαγιοκλάστου και της αμφιβόλου.

Στην πρασινοσχιστολιθική φάση μεταμόρφωσης, το πλαγιόκλαστο έχει σύσταση καθαρού αλβίτη, αν και σε χαμηλές πιέσεις μπορεί να υπάρξει ένα λίγο πιο ασβεστούχο πλαγιόκλαστο (Starkey and Frost 1990). Σ' αυτές τις συνθήκες, ο σχηματισμός επιδότου και χλωρίτη συνοδεύεται από την απελευθέρωση SiO_2 και κατά συνέπεια η παρουσία χαλαζία σ' αυτά τα πετρώματα είναι συνηθισμένη, παρόλο που απουσιάζει από τον πρωτόλιθο. Στις μικροσκοπικές παρατηρήσεις διαπιστώθηκε η ύπαρξη χαλαζία στα υπό μελέτη πετρώματα.

Στην παραγένεση των υπό μελέτη πετρωμάτων έχει βρεθεί αλβίτης και σε ορισμένες μόνο θέσεις ολιγόκλαστο. Σε αυτό το σημείο κρίνεται σκόπιμο να εξηγηθεί ο λόγος για τον οποίο ενώ οι πρωτόλιθοι των μεταβασιτών είναι βασικά πετρώματα, τα πλαγιόκλαστα που βρίσκονται στους μεταβασίτες είναι αλβίτες, δηλαδή όξινα πλαγιόκλαστα. Η απάντηση σε αυτό το ερώτημα έχει να κάνει με την μεταμόρφωση και τις συνθήκες στις οποίες αυτή έγινε. Αρχικά, τα πετρώματα σε θερμοκρασίες περίπου 250-300^oC μεταμορφώνονται στην ζεολιθική (υποπρασινοσχιστολιθική) φάση. Σε υψηλότερες θερμοκρασίες τα πετρώματα πλέον περνούν στην πρασινοσχιστολιθική φάση. Σε αυτή τη φάση οι ζεόλιθοι είναι ασταθείς και τη θέση τους παίρνουν πλαγιόκλαστα συστάσεως αλβίτη. Το Ca των βασικών πλαγιοκλάστων των πρωτολίθων μπορεί να διαλυθεί στο νερό που διαποτίζει το πέτρωμα. Με αυτόν τον τρόπο τα πλαγιόκλαστα, έμμεσα, εμπλουτίζονται σε Na και γίνονται περισσότερο όξινα. Στην συνέχεια, όσο αυξάνει ο βαθμός μεταμόρφωσης τα πλαγιόκλαστα γίνονται περισσότερο βασικά. Επιπλέον, το Ca και το Al του πλαγιοκλάστου καθώς αυξάνουν οι συνθήκες μεταμόρφωσης, εισέρχεται αρχικά στο λομοντίτη, στην πρενιτική-πουμπελλυϊτική φάση στον πρενίτη και στην πρασινοσχιστολιθική φάση στο επίδοτο. Ένα μέρος του Ca που απελευθερώνεται από τη διάσπαση του ανορθίτη, μπορεί να δώσει ασβεστίτη (Mason 1990).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Η αμφίβολος που βρέθηκε στις παραγενέσεις των πετρωμάτων είναι συστάσεως τσερμακίτη-σιδηροτσερμακίτη. Σε χαμηλού βαθμού συνθήκες μεταμόρφωσης εμφανίζεται ακτινόλιθος, ο οποίος μετατρέπεται σε Na-Al κεροστίλβη σε υψηλότερο βαθμό μεταμόρφωσης ενώ αυξάνει και το τσερμακιτικό περιεχόμενο της αμφιβόλου. Η μετατροπή σε Na-Al κεροστίλβη συμβαίνει στους 450-550^{o}C, ανάλογα με τη πίεση (Bucher & Grapes 2011).

Ένα ακόμη ορυκτό της παραγένεσης είναι ο λευκός μαρμαρυγίας που βρέθηκε ότι είναι πλουσιότερος στο μόριο του σελαδονίτη. Ο λευκός μαρμαρυγίας είναι το πιο συνηθισμένο K-ούχο ορυκτό σε χαμηλού βαθμού μεταβασικά πετρώματα και σε θερμοκρασίες κάτω από 400^{o}C. Ο βιοτίτης μπορεί να εμφανιστεί ως ένα επιπλέον K-ούχο ορυκτό από την πρασινοσχιστολιθική στην ανώτερη αμφιβολιτική φάση. Κατά την πρόδρομη μεταμόρφωση, ο βιοτίτης γίνεται πιο πλούσιος σε Ti και Mg. Ο βιοτίτης αρχίζει να σχηματίζεται σε μεταβασίτες στους 400-450^{o}C από αντικατάσταση του μοσχοβίτη. Στην αντίδραση σχηματισμού του βιοτίτη παίρνει μέρος το σελαδονιτικό περιεχόμενο του λευκού μαρμαρυγία κι έτσι, ο λευκός μαρμαρυγίας που έχει σύσταση σελαδονίτη σε χαμηλού βαθμού μεταμορφωμένα πετρώματα, γίνεται πιο μοσχοβιτικός σε ψηλότερες μεταμορφικές συνθήκες κι αφού αρχίσει ο σχηματισμός του βιοτίτη. Στους μεταβασάλτες διαπιστώθηκε η ύπαρξη βιοτίτη μαζί με λευκό μαρμαρυγία κι άρα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι το πέτρωμα έφτασε στους 400-450^{o}C που αρχίζει ο σχηματισμός του βιοτίτη (Bucher & Grapes 2011).

Στο μεταδολερίτη παρατηρήθηκε η ύπαρξη ασβεστίτη. Ρευστά πλούσια σε CO_2 οδηγούν σε μεταβασάλτες με ασβεστίτη και ανκερίτη, ενώ ευνοούν το σχηματισμό λιγότερο ένυδρων παραγενέσεων σε σύγκριση με ρευστά που περιέχουν μόνο H_2O. Ο ασβεστίτης όμως που εμφανίζεται στο πέτρωμα πληρώνει κενούς χώρους από σπασίματα και ρωγμώσεις. Από αυτή την παρατήρηση εξάγεται το συμπέρασμα ότι η ύπαρξη του ασβεστίτη θα πρέπει να οφείλεται σε υδροθερμικά ρευστά πλούσια σε ασβέστιο που διείσδυσαν στις ρωγμές του πετρώματος και τις πλήρωσαν. Το ασβέστιο που φέρουν αυτά τα ρευστά μπορεί να προέρχεται είτε από τα ίδια τα ρευστά, αν αυτά περιείχαν ήδη ασβέστιο, είτε από την εξαλλοίωση των βασικών πλαγιοκλάστων. Ασβεστίτης βρίσκεται όμως και στην κύρια μάζα του πετρώματος. Αυτός ο ασβεστίτης σε συνδυασμό με τις αμφιβόλους πιθανόν να έχει προκύψει από τις μεταμορφικές αντιδράσεις των πυροξένων και των αστρίων (Bucher & Grapes 2011).

Με βάση τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι το πέτρωμα θα πρέπει να βρίσκεται σε μια μεταβατική φάση μεταξύ της πρασινοσχιστολιθικής και της αμφιβολιτικής φάσης. Στοιχεία που αποδεικνύουν ότι αυτό το πέτρωμα έχει υποστεί πρασινοσχιστολιθική μεταμόρφωση είναι

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

η παρουσία σε αυτό, επιδότου και αλβίτη. Η μετάβαση του αλβίτη σε ολιγόκλαστο είναι απότομη και καθορίζει το όριο μεταξύ πρασινοσχιστολιθικής και αμφιβολιτικής φάσης που είναι μεταβατικό. Από την άλλη πλευρά η παρουσία του σιδηροτσερμακίτη, ως αμφιβόλου, δείχνει την μετάβαση του πετρώματος προς την αμφιβολιτική φάση. Η μετατροπή του αλβίτη σε ολιγόκλαστο και του ακτινόλιθου σε Na-Al κεροστίλβη πλουσιότερη σε τσερμακιτικό μόριο συμβαίνει στους 450-550^{o}C, ανάλογα με τη πίεση. Επιπλέον, ο σχηματισμός βιοτίτη ξεκινάει στους 400-450^{o}C. Τέλος, η μετάβαση από την πρασινοσχιστολιθική στην αμφιβολιτική φάση μεταμόρφωσης συμβαίνει σε θερμοκρασία 500±50^{o}C και σε πιέσεις 400-500Mpa (Bucher & Grapes 2011).

Συνεπώς, και με βάση όλες τις παραπάνω παρατηρήσεις, οι συνθήκες υπό τις οποίες έλαβε χώρα η μεταμόρφωση των pillow λαβών της περιοχής μελέτης προσδιορίζονται σε θερμοκρασίες T≈500^{o}C (±50) και πιέσεις P=400-500MPa (4-5 kbar).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

8. Βιβλιογραφία

Δημητριάδης Σ. (1988). Εισαγωγή στην πετρολογία μεταμορφωμένων πετρωμάτων. Εκδόσεις Γιαχούδη, σ. 254.

Θεοδωρίκας Σ. (2013). Ορυκτολογία – Πετρολογία (4η έκδοση). Γραφικές τέχνες «Μέλισσα», σ. 926.

Μουντράκης Δ. (2010). Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας. University Studio Press, σ. 373.

Baroz F., Bébien J. & Ikenne, M. (1987). An example of high-pressure low temperature metamorphic rocks from an island-arc: the Paikon series (innermost Hellenides, Greece). Journal of Metamorphic Geology, 5, 509-507.

Bébien J. (1982). L'association ignee de Guevgueli (Macedoine greque). Expression d'un magmatisme ophiolitique dans une dechirure continentale. DSc thesis, Universite de Nancy I, France. 468 p.

Bébien J., Platevoet B. & Mercier J. (1994). Geodynamic significance of the Paikon Massif in the Hellenides. Contribution of the volcanic rock studies. Bull. Geol. Soc. Greece, 30, 63-67.

Brown S.A.M. & Robertson A.H.F. (1994). New structural evidence from the Mesozoic-Early Tertiary Paikon unit, Greece. Bull. Geol. Soc. Gr., 159-170.

Brown S.A.M. & Robertson A.H.F. (2003). Sedimentary geology as a key to understanding the tectonic evolution of the Mesozoic–Early Tertiary Paikon Massif, Vardar suture zone, N Greece. Sedimentary Geology, 160, 179–212.

Brown S.A.M. & Robertson A.H.F. (2004). Evidence for Neotethys rooted within the Vardar suture zone from the Voras Massif, northernmost Greece. Tectonophysics, 381, 143–173.

Bucher K. & Grapes R. (2011). Petrogenesis of Metamorphic Rocks (8th edition). Springer. P. 428

Coombs DS. (1961) Some recent work on the lower grades of metamorphism. Aust J Sci

24:203–215

Deer, W.A., Howie, R.A. & Zussman, J. (1996). An introduction to the Rock Forming Minerals: Second Edition. Longman Limited, Essex, England.

Ferrière, J., Bonneau, M., Caridroit, M., Bellier, J. P., Gorican, S., & Kollmann, H. (2001). Les nappes tertiaires du Païkon (zone du Vardar, Macédoine, Grèce): arguments stratigraphiques pour une nouvelle interprétation structurale. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences-Series IIA-Earth and Planetary Science, 332(11), 695-702.

Gass, I. G., & Smewing, J. D. (1981). Ophiolites: obducted oceanic lithosphere. The sea, 7, 339-362.

Godfriaux J. & Ricou L.E. (1991). Le Paiko, unde fenetre tectonique dans les Hellenides internes. C.R. Acad. Sci. Paris, 313, 1479-1484.

IGME 1965: Geological Map of Greece, scale 1:50.000, Institute of Geology and Mineral

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Exploration, Athens.

James HL. (1955) Zones of regional metamorphism in the Precambrian of northern Michigan. Geol Soc Am Bull 66:1455–1488

Kossmat F. (1924). Geologies der zentralen Balkanhalbinsel. Die kriegs Schauplätze 1914-18. Geol. dergestellt, H. 12, 198, S.Berlin.

Li, X.P., Rahn, M. and Bucher, K., (2004). Serpentinites of the Zermatt-Saas ophiolite complex and their texture evolution. J. Metam. Geol.,22,159–177.

Mason, R., (1990). Petrology of the metamorphic rocks(Vol. 230). Unwin Hyman.

Mercier J. (1966). Mouvements orogéniques, épirogéniques et magmatisme d'âge jurassique supérieur – éocrétacé dans les zones intternes des Hellénides (Macedoine Grèce). Rev. Géor. Phys. Géol.dyn. (2), VIII, fasc. 4, 265-278.

Mercier J., Vergely P. (1975). Le massif du Paikon est-il une fenetre tectonique dans la zone d'Axios-Vardar (Macedoine, Grèce)? C.R. Acad. Sci. Paris, 320, 765-772.

Mercier J., Vergely P. & Bebien J. (1975). Les ophiolites helleniques "obductees" au Jurassique superieur sont-elles les vestiges d'un ocean tethysien ou d'une mer marginal pereuropeene? C.R. Somm. S. Soc. Geol. France, 4, 108-112.

Mercier, J. & Vergély, P. (1994). Is the Paikon Massif a tectonic window in the Axios–Vardar Zone. (Internal Hellenides, Macedonia, Greece). Bulletin of the Geological Society of Greece, XXX(1), 115–120.

Michard, A., Goffe, B., Liati, A., & Mountrakis, D. (1994). 1st Evidence of blueschit-facies metamorphism in the Circum-Rhodope Nappes, internal Hellenides, Greece. Comptes rendus de l academie des sciences serie II, 318(11), 1535-1542.

Miyashiro A. (1971) Pressure and temperature conditions and tectonic significance of regional and ocean floor metamorphism. Tectonophysics 13:141–159

Morimoto, N. (1989). Nomenclature of pyroxenes. Canad. Mineral.,27, 143-156.

Osswald K. (1938). Geologische Geschishte von Griechische-Nordmakedonien. Υπόμνημα Γεωλογικής Υπηρεσίας Ελλάδας, 3.

Ricou, L. E., & Godfriaux, I. (1991). Une coupe à travers les ophiolites et gneiss allochtones entre le massif Pélagonien et la fenêtre du Païkon (Grèce du Nord). Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série 2, Mécanique, Physique, Chimie, Sciences de l'univers, Sciences de la Terre, 313(13), 1595-160

Ricou L.E., Godfriaux I. (1995). Mice au point la fenêtre multiple du Paikon et la structure du Vardar en Grèce. C.R. Acad. Sci. Paris, 321, 601-608.

Seki Y, Oki Y, Matsuda T, Mikami K, Okumura K (1969). Metamorphism in the Tanzawa Mountains, central Japan. J Jpn Assoc Mineralog Petrolog Econ Geolog 61(1–29):50–75

Sharp, I. R., & Robertson, A. H. F. (1994). Late Jurassic-lower cretaceous ocenic crust and sediments of the eastern Almopias zone, NW Macedonia (Greece), Implications for the evolution of the eastern"Interna." Hellenides. Bull. Geol. Soc. Gr., 30(1), 47-61.

Statkey JR, R. J., & Frost B. R. (1990). Low-grade Metamorphism of the Karmutsen Volcanics, Vancouver Island, British Columbia. Journal of Petrology, 31(1), 167-195.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
ΑΠΘ

Vergely P. (1977). Ophiolites et phases tectoniques superposées dans les Hellenides. VI Coll. Geol. Aegean region, Athens, 1293-1301.

Zachariadis P. (2007). Ophiolites of the eastern Vardar Zone, N. Greece. Dissertation zur Erlangung des Grades "Doktor der Naturwissenschaften" am Fachbereich Chemie, Pharmazie und Geowissenschaften der Johannes Gutenberg-Universität, Mainz.

9. Ιστολόγιο

http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo212y/

http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo425y/

Παράρτημα

Συμβολισμοί ορυκτών

Ab	Αλβίτης
Act	Ακτινόλιθος
All	Αλλανίτης
Ap	Απατίτης
Atg	Αντιγορίτης
Ath	Ανθοφυλλίτης
Aug	Αυγίτης
Brc	Βρουσίτης
Bt	Βιοτίτης
Cc	Ασβεστίτης
Chl	Χλωρίτης
Cld	Χλωριτοειδής
Cpx	Κλινοπυρόξενος
Cpy	Χαλκοπυρίτης
Ctl	Χρυσοτίλης
Di	Διοψίδιος
En	Ενστατίτης
Ep	Επίδοτο
Fe-Hbl	Σιδηροκεροστίλβη

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Fe-Ts	Σιδηροτσερμακίτης
Fo	Φορστερίτης
Gal	Γαληνίτης
Gln	Γλαυκοφανής
Grt	Γρανάτης
Hbl	Κεροστίλβη
Ky	Κυανίτης
Lws	Λοσονίτης
Ol	Ολιβίνης
Omp	Ομφακίτης
Opx	Ορθοπυρόξενος
Pg	Παραγονίτης
Phe	Φεγγίτης
Pmp	Πουμπελλυΐτης
Prh	Πρενίτης
Py	Σιδηροπυρίτης
Qtz	Χαλαζίας
Spl	Σπινέλιος
Stp	Στιλπνομέλας
Tlc	Τάλκης
Tr	Τρεμολίτης
Zeo	Ζεόλιθοι
Zir	Ζιρκόνιο
Zo	Ζοϊσίτης

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης