



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ - ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ -
ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΔΩΡΑ ΔΕΣΠΟΙΝΑ
M.Sc. Τραπεζική και Χρηματοοικονομική

ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΜΑΥΡΩΝ ΑΜΜΩΝ ΑΠΟ ΤΗ ΔΥΤΙΚΗ
ΧΑΛΚΙΔΙΚΗ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2020





ΔΩΡΑ ΔΕΣΠΟΙΝΑ
M.Sc. Τραπεζική και Χρηματοοικονομική
Φοιτήτρια Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5375

ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΜΑΥΡΩΝ ΑΜΜΩΝ ΑΠΟ ΤΗ ΔΥΤΙΚΗ
ΧΑΛΚΙΔΙΚΗ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας,
Τομέας Ορυκτολογίας - Πετρολογίας - Κοιτασματολογίας

Επιβλέπουσα:

ΛΑΜΠΡΙΝΗ Χ. ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ
Αναπληρώτρια Καθηγήτρια



© Δώρα Δέσποινα, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Ορυκτολογίας - Πετρολογίας - Κοιτασματολογίας, 2020

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΜΑΥΡΩΝ ΑΜΜΩΝ ΑΠΟ ΤΗ ΔΥΤΙΚΗ
ΧΑΛΚΙΔΙΚΗ

– Διπλωματική Εργασία

© Dora Despoina, School of Geology, Dept. of Mineralogy - Petrology - Economic Geology, 2020

All rights reserved.

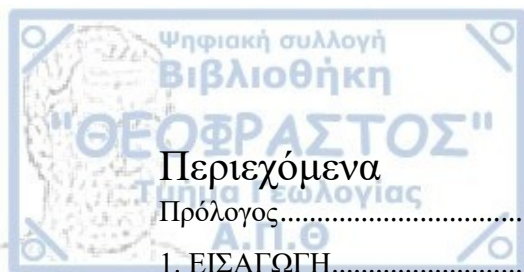
MINERALOGICAL STUDY OF BLACK SANDS FROM WEST HALKIDIKI –
Bachelor Thesis

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.

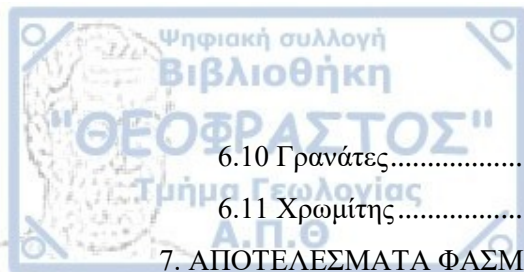


*Στους γιους μου,
Ακίνδυνο και Οδυσσέα.*



Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	7
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
1.1 Γενικά στοιχεία.....	8
1.2 Εμφανίσεις Μαύρης Άμμου	8
1.3 Μεθοδολογία	9
2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ.....	11
2.1 Θέσεις δειγματοληψίας	11
2.2 Γεωτεκτονικές Ζώνες	15
2.2.1 Ζώνη Αξιού	15
2.2.2 Σερβομακεδονική μάζα	16
2.2.3 Περιροδοπική ζώνη	17
2.2.4 Πλουτωνίτες	18
2.2.5 Ιζήματα	19
3. ΟΙ ΟΦΕΙΟΛΙΘΟΙ.....	21
3.1 Γενικά για τους οφειόλιθους	21
3.2 Γεωτεκτονικό περιβάλλον γένεσης ωκεάνιας λιθόσφαιρας Εσωτερικής Οφειολιθικής Λωρίδας (IRO)	22
3.3 Εμφανίσεις μεταλλεύματος στην εσωτερική οφειολιθική λωρίδα.	24
4. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ – ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ.....	26
4.1 Λεκάνη Καλαμαριάς	26
4.2 Χερσόνησος Κασσάνδρας.....	27
5. ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ, ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΚΚΩΝ ΑΜΜΟΥ	29
5.1 Κοκκομετρική ανάλυση	29
5.2 Μορφολογία και στερεοσκοπική εικόνα άμμου.....	30
6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΑΡΩΤΙΚΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑΣ (SEM).....	32
6.1 Ζιρκόνιο.....	32
6.2 Τιτανίτης.....	34
6.3 Ρουτίλιο	35
6.4 Επίδοτο και Αλλανίτη	37
6.5 Μαγνητίτης και Ίλμενίτης	39
6.6 Βιοτίτης	41
6.7 Αμφίβολοι.....	41
6.8 Χλωρίτες.....	42
6.9 Άστριοι	43



6.10 Γρανάτες.....	44
6.11 Χρωμίτης.....	48
7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑΣ ΦΘΟΡΙΣΜΟΥ ΑΚΤΙΝΩΝ-X (XRF).....	53
8. ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	54
Περίληψη.....	56
Abstract	56
Βιβλιογραφία.....	58



Πρόλογος

Οι αποθέσεις μαύρης άμμου στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου, είναι ένα πολύ συχνό φαινόμενο. Τα πετρώματα τροφοδοσίας αυτών των αποθέσεων ποικίλουν ως προς την ορυκτολογική και γεωχημική τους σύσταση. Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η ορυκτολογική και η γεωχημική μελέτη των αποθέσεων μαύρης άμμου σε ακτές της Δυτικής Χαλκιδικής και η διερεύνηση των μηχανισμών δημιουργίας τους.

Η μελέτη ξεκινάει με τη δειγματοληψία από τις περιοχές ενδιαφέροντος και στο 1^ο κεφάλαιο διευκρινίζονται οι μέθοδοι έρευνας που θα ακολουθηθούν. Στο 2^ο και 3^ο κεφάλαιο της εργασίας, περιγράφεται αναλυτικά η γεωλογία και η γεωτεκτονική εξέλιξη της περιοχής, στο 4^ο κεφάλαιο δίνονται τα μορφολογικά και υδρολογικά στοιχεία της περιοχής, στο 5^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσης και περιγράφεται η στερεοσκοπική εικόνα των δειγμάτων, στο 6^ο και 7^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της Σαρωτικής Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας και της φασματοσκοπίας φθορισμού ακτινών-X, αντίστοιχα, και τέλος στο 8^ο κεφάλαιο ακολουθεί η συζήτηση και η ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου θα ήθελα να εκφράσω στην αναπληρώτρια καθηγήτρια και επιβλέπουσα κα. Λαμπρινή Παπαδοπούλου για την ανάθεση της πτυχιακής εργασίας και την πολύτιμη βοήθειά της σε όλα τα στάδια εκπόνησης της πτυχιακής μου.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους και συμφοιτητές μου, Κυριακίδη Φώτιο και Λυπηρίδου Ισμήνη, που με συντρόφευσαν στις υπαίθριες εργασίες.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τον σύζυγο μου, Χρήστο, που στηρίζει όλα μου τα όνειρα.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1.1 Γενικά στοιχεία

Η γεωλογική ιστορία της Δυτικής Χαλκιδικής χαρακτηρίζεται από τη σύγκλιση των λιθοσφαιρικών πλακών της Γκοντβάνας και της Ευρασίας που οδήγησε στο κλείσιμο του ωκεάνιου χώρου της Τηθύος και την έναρξη της Αλπικής ορογένεσης. Ωκεάνια λιθόσφαιρα βρίσκεται σήμερα επωθημένη στα ηπειρωτικά περιθώρια, στα οποία έχουν διεισδύσει πλουτωνικά σώματα και έχουν καλυφθεί από μεταλλικά ιζήματα.

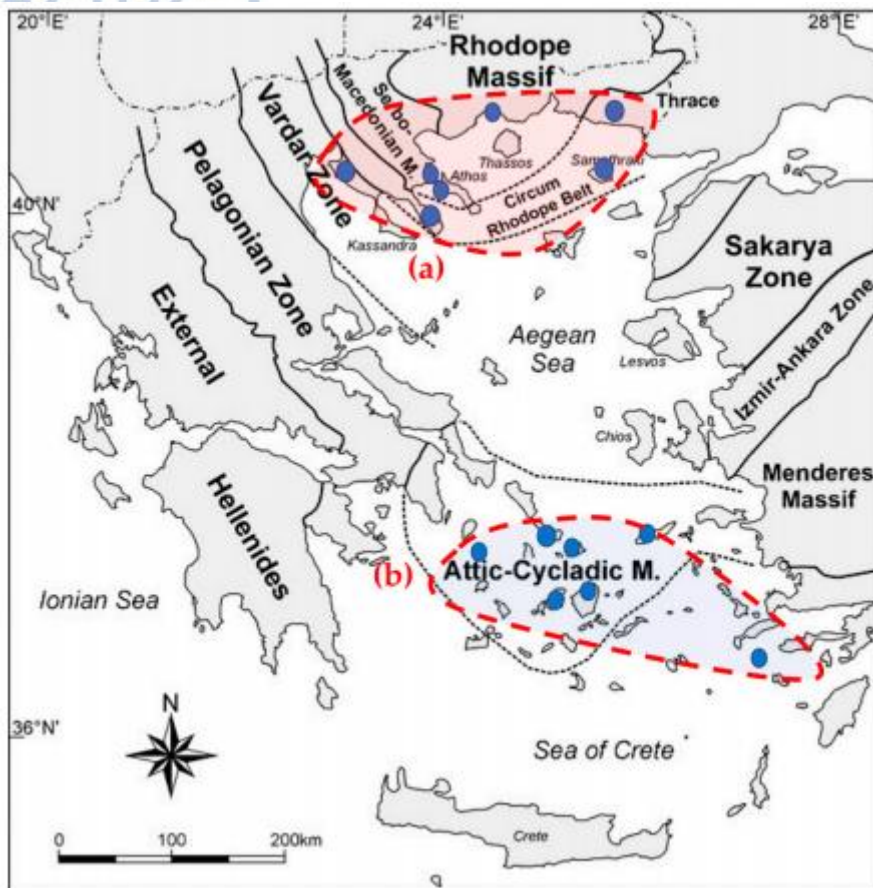
Πολλές προηγούμενες μελέτες έχουν ασχοληθεί με τη Δυτική Χαλκιδική οι οποίες επικεντρώνονται στους πετρολογικούς τύπους που τη συνθέτουν, τη στρωματογραφία της, την τεκτονική της και τη γεωχρονολόγησή της, ώστε να ερμηνεύσουν την προέλευση των οφειολίθων και το γεωτεκτονικό περιβάλλον γένεσης της ωκεάνιας λιθόσφαιρας. Πληθώρα κοιτασματολογικών ερευνών έχουν όμως εκτιμήσει την οικονομική διάσταση του γεωλογικού πλούτου της περιοχής, προσφέροντας γεωχημική γνώση.

Η παρούσα μελέτη έχει σκοπό να συνδυάσει τις ορυκτολογικές και γεωχημικές αναλύσεις με την ήδη υπάρχουσα γνώση και τη γεωμορφολογία της περιοχής, προκειμένου να εντοπίσει την πηγή προέλευσης του υπό εξέταση υλικού.

1.2 Εμφανίσεις Μαύρης Άμμου

Οι εμφανίσεις μαύρης άμμου οφείλονται στην ανθεκτικότητα των ορυκτών που την απαρτίζουν έναντι στη χημική αποσάθρωση, στο μεγάλο ειδικό βάρος των ορυκτών, στο μέγεθος και σχήμα των κόκκων και στην ταχύτητα κίνησης του μέσου μεταφοράς. Συνήθως η πηγή τροφοδοσίας των εμφανίσεων μαύρης άμμου είναι είτε ηφαιστειακά-πλουτωνικά πετρώματα, είτε μεταμορφωμένα. Τα ορυκτά συγκεντρώνονται μέσω του βαρυτικού διαχωρισμού και όταν η συγκέντρωσή τους είναι οικονομικού ενδιαφέροντος, σχηματίζουν εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα (Βαβελίδης Μ., «Σημειώσεις Γενικής Κοιτασματολογίας»).

Ο Gillson (1959) επισημαίνει ότι όλα τα κοιτάσματα μαύρης μεταλλοφόρας άμμου έχουν κάποια κοινά στοιχεία και παρόμοια γεωλογική ιστορία. Τα κοιτάσματα αυτά εντοπίζονται μόνο σε ακτές και ρέματα ηπειρωτικών μαζών και συνήθως σε τροπικές ή εύκρατες ζώνες. Κάποια από τα ορυκτά που συνήθως είναι εκμεταλλεύσιμα σε κοιτάσματα μαύρης άμμου είναι ο μαγνητίτης, ο ιλμενίτης, το ζirkόνιο, ο χρωμίτης, το ουράνιο, ο κασσιτερίτης, τα πλατινοειδή, ο χρυσός, ο γρανάτης, το ρουτίλιο, οι σπάνιες γαίες κ.α.



Χάρτης 1.1. Γεωτεκτονικές ζώνες της Ελλάδας με θαλάσσιες άμμους εμπλουτισμένες σε σπάνιες γαίες. (Papadopoulos et al., 2019).

Πολλές χώρες έχουν προχωρήσει στην εκμετάλλευση κοιτασμάτων θαλάσσιας άμμου. Η Αυστραλία εκμεταλλεύεται το ρουτίλιο και τον ιλμενίτη θαλάσσιων αποθέσεων για να εξάγει τιτάνιο, το ζirkόνιο από ζirkonioφόρες άμμους και το θόριο από το μοναζίτη (<https://www.ga.gov.au/education/classroom-resources/minerals-energy/australian-mineral-facts>). Η Νέα Ζηλανδία εκμεταλλεύεται τη μαύρη ηφαιστειακή άμμο για την παραγωγή ατσαλιού από τιτανομαγνητίτη (<https://www.nzsteel.co.nz/new-zealand-steel/the-story-of-steel/the-history-of-ironsand/>), ενώ η Νότια Αφρική είναι η μεγαλύτερη παραγωγός χώρα τιτανίου στον κόσμο και η δεύτερη σε ζirkόνιο μετά την Αυστραλία, εξάγοντας τα παραπάνω ορυκτά από αποθέσεις θαλάσσιων άμμων (Rozendaal et al., 2017).

1.3 Μεθοδολογία

Δείγματα άμμου συλλέχθηκαν από τις παραλίες της Ν. Ηράκλειας και του Γλαρόκαβου, οι οποίες βρίσκονται στην ανατολική και δυτική ακτή, αντίστοιχα, της χερσονήσου Κασσάνδρας, Χαλκιδικής. Το δείγμα της Ν. Ηράκλειας είναι από επιφανειακό ορίζοντα άμμου, ενώ του Γλαρόκαβου από βάθος 20 εκ. Τα δείγματα πλύθηκαν για την απομάκρυνση του θαλάσσιου άλατος, αλλά και οποιουδήποτε οργανικού περιεχομένου και στη συνέχεια ξηράθηκαν για να απομακρυνθεί η υγρασία.

Κατόπιν, εκτελέσθηκε κοκκομετρική ανάλυση σύμφωνα με τα ASTM standards. Με μαγνήτη χειρός διαχωρίστηκαν τα μαγνητικά ορυκτά των δειγμάτων (Εικ. 1.1.)

Η ορυκτολογική ανάλυση των δειγμάτων εκτελέσθηκε στο Διατμηματικό Εργαστήριο Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (Scanning Electron Microscope). Από αυτήν την ανάλυση «αντλήθηκαν» πληροφορίες σχετικά με τη σύσταση, τη μορφολογία και το μέγεθος των κόκκων της άμμου.

Ο προσδιορισμός της χημικής σύστασης των δειγμάτων, σε κύρια στοιχεία και ιχνοστοιχεία έγινε με τη χρήση φασματοσκοπίας φθορισμού ακτίνων-X (X-ray Fluorescence-XRF). Για τον σκοπό αυτό κονιοποιήθηκε μέρος των δειγμάτων και κατασκευάσθηκαν υαλοποιημένα δισκία.

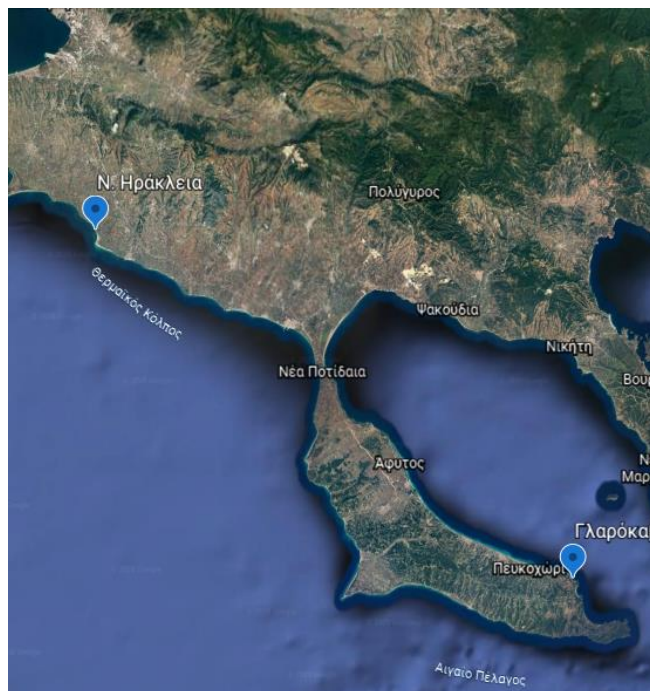


Εικόνα 1.1. Διαχωρισμός των ορυκτών με μαγνητική επιδεκτικότητα.

2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ

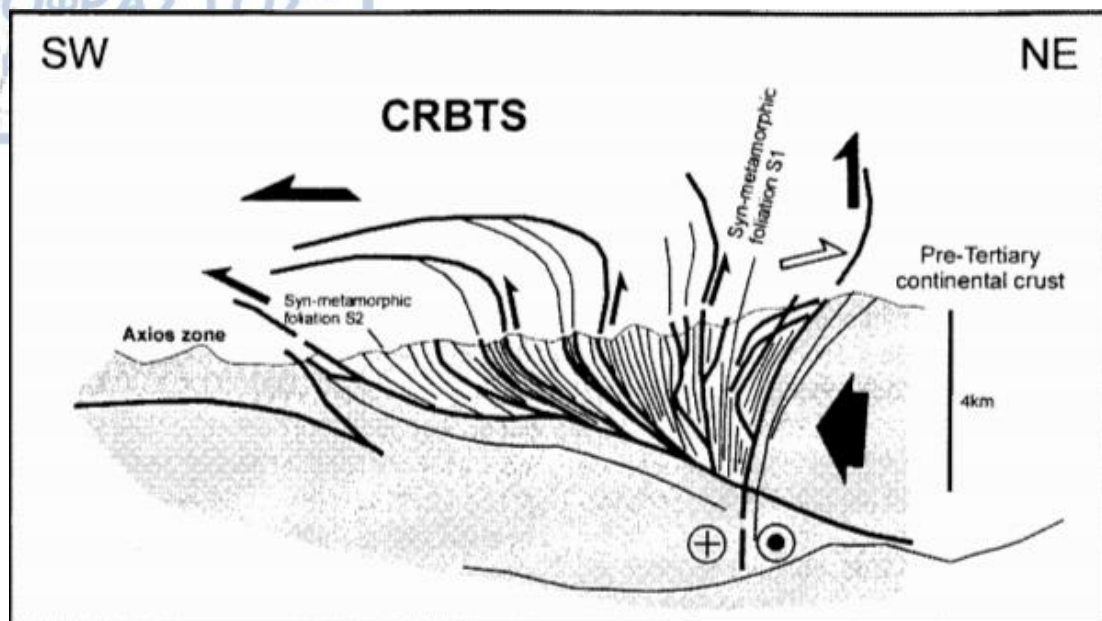
2.1 Θέσεις δειγματοληψίας

Τα υπό εξέταση δείγματα άμμου έχουν συλλεχθεί από ακτές της δυτικής Χαλκιδικής (Εικ. 2.1). Η ευρύτερη περιοχή μελέτης των δύο δειγματοληψιών εντάσσεται γεωγραφικά στη γεωτεκτονική ζώνη Αξιού και αντιπροσωπεύεται από μερικώς ή ολικώς μεταμορφωμένους σχηματισμούς της υποζώνης Παιονίας και οφειολίθους. Άλλες ζώνες που συμμετέχουν στην γεωλογία της περιοχής, είναι η Σερβομακεδονική μάζα και πιο συγκεκριμένα η ενότητα Βερτίσκου και η Περιοδοπική ζώνη με την ενότητα Κρύας Βρύσης – Χορτιάτη, αλλά και τη Μαγματική σειρά Χορτιάτη.



Εικόνα 2.1. Δορυφορική εικόνα των θέσεων δειγματοληψίας (Google Earth).

Σύμφωνα με τον Tranos et al. (2009), κατά το Άνω Ολιγόκαινο – Κάτω Μειόκαινο, η Περιοδοπική ζώνη έγινε ο δέκτης της τεκτονικής μεταφοράς της συμπίεσης, η οποία ασκήθηκε κατά διεύθυνση B-N και αυτό είχε ως αποτέλεσμα την ισχυρή μεταμορφική παραμόρφωση της, δημιουργώντας μια τεκτονική εφιππευτική megaδομή της Περιοδοπικής με κίνηση προς τα ΝΔ, η οποία περιλαμβάνει λείπια της Σερβομακεδονικής. Αυτή η θεωρία μπορεί να εξηγήσει τις εμφανίσεις της Περιοδοπικής ζώνης και της Σερβομακεδονικής μάζας στην περιοχή μελέτης (Σχ. 2.1). Όλη η παράκτια περιοχή, αλλά και σε μεγάλη σχετικά έκταση κατά την απομάκρυνση από αυτήν, καλύπτεται από αλλουβιακές, λιμναίες και παράκτιες αποθέσεις.



Σχήμα 2.1. Σχηματική τομή της γεωμετρίας των μετα-μεταμορφικών δομών της Περιοδοπικής ζώνης και η σχέση τους με τις παλαιότερες συμμεταμορφικές δομές (Tranosetal, 1999).

Η θέση που έγινε η πρώτη δειγματοληψία βρίσκεται στην παραλία Γλαρόκαβος, η οποία διοικητικά ανήκει στο δημοτικό διαμέρισμα Παλιουρίου και στο δήμο Κασσάνδρας Χαλκιδικής, με συντεταγμένες $39^{\circ}58'25''\text{N}$ και $23^{\circ}40'20''\text{E}$ (Εικ. 2.2).

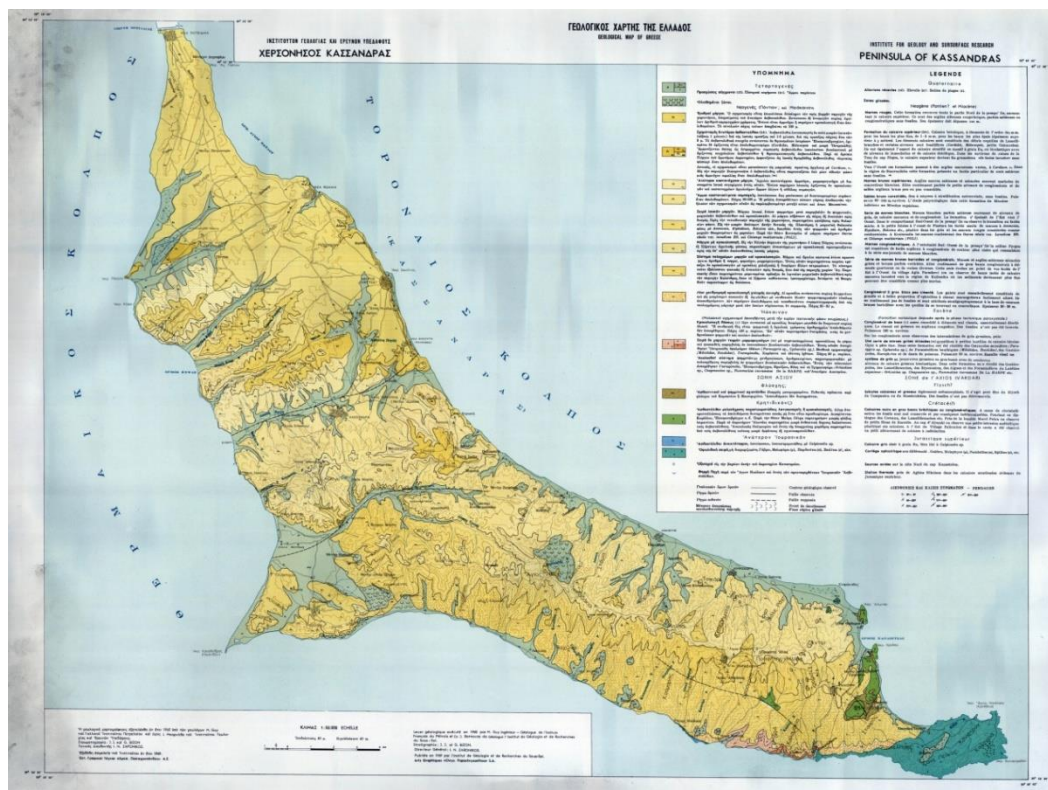
Η γεωλογική χαρτογράφηση της περιοχής έγινε από τον M. Guy και τον Μπορνόβα το έτος 1965. Για την παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε ο γεωλογικός χάρτης «Φύλλο Χερσόνησος Κασσάνδρας» που εκδόθηκε από το Ι.Γ.Μ.Ε. το 1969 (Σχ. 2.2).

Η θέση που έγινε η δεύτερη δειγματοληψία ανήκει στην ευρύτερη περιοχή της κοινότητας της Νέας Ηράκλειας που ανήκει στον δήμο Νέας Προποντίδας και στο νομό Χαλκιδικής, πολύ κοντά στο σημείο όπου συνορεύει παράκτια με το νομό Θεσσαλονίκης, με συντεταγμένες $40^{\circ}20'17''\text{N}$ και $23^{\circ}01'03''\text{E}$ (Εικ. 2.3).

Η γεωλογική χαρτογράφηση της περιοχής έγινε από τους H. Mollat και Π. Αντωνιάδη κατά το έτος 1969, χρησιμοποιήθηκαν γεωλογικά και στρωματογραφικά δεδομένα του L.E. Ricou, ενώ η διάρθρωση των τεταρτογενών και νεογενών σχηματισμών έγινε από τους γεωλόγους του Ι.Γ.Μ.Ε., Γ. Χριστοδούλου, Δ. Παργινό και Ν. Κουρμούλη, κατά το έτος 1971. Ο γεωλογικός χάρτης που χρησιμοποιείται για την μελέτη της περιοχής στην παρούσα εργασία είναι το «Φύλλο Βασιλικά» που εκδόθηκε από το Ι.Γ.Μ.Ε. κατά το έτος 1978 σε κλίμακα 1:50000 (Σχ. 2.3).



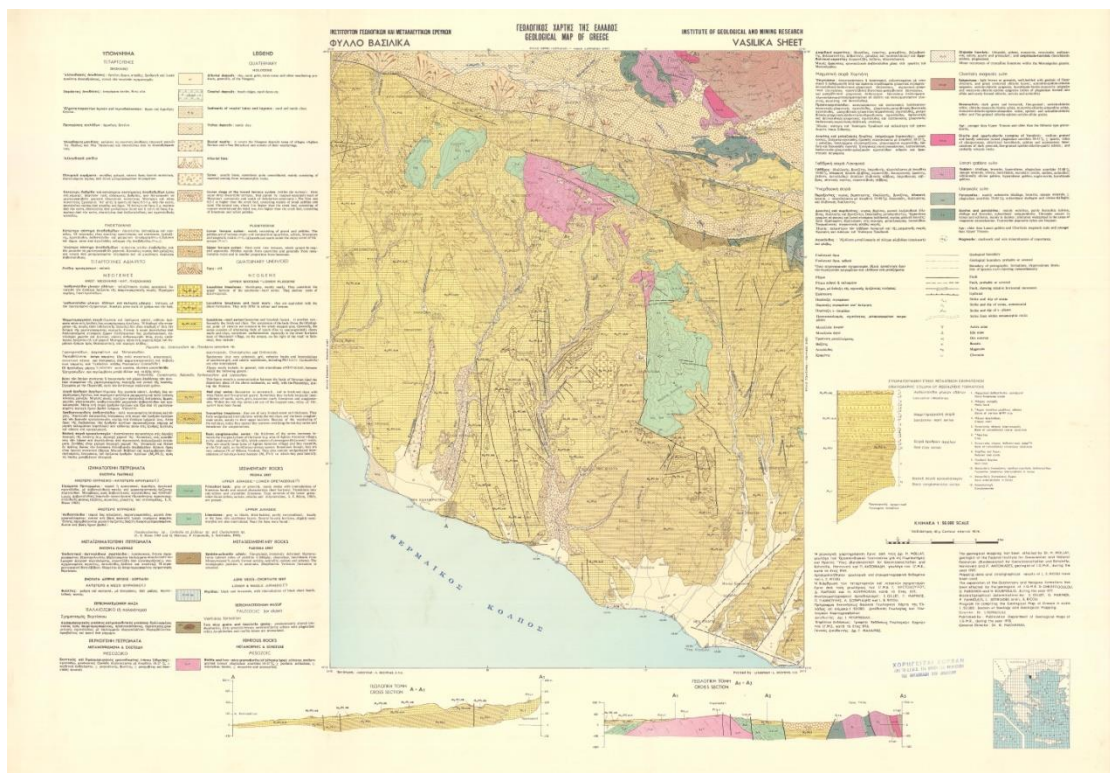
Εικόνα 2.2. Θέση δειγματοληψίας στην παραλία Γλαρόκαβος.



Σχήμα 2.2. Γεωλογικός Χάρτης (φύλλο Χερσώνησος Κασσάνδρας) 1:50000, ΙΓΜΕ, 1969.



Εικόνα 2.3. Θέση δειγματοληψίας στην παραλία της Ν. Ηράκλειας.



Σχήμα 2.3. Γεωλογικός Χάρτης (φύλλο Βασιλικά) 1:50000, ΙΓΜΕ, 1978.

2.2 Γεωτεκτονικές Ζώνες

2.2.1 Ζώνη Αξιού

Κύρια χαρακτηριστικά της ζώνης Αξιού είναι η «εσωτερική οφειολιθική λωρίδα», η παρουσία συνεχών τεκτονικών λεπιών με παράταξη ΒΔ-ΝΑ και κλίση προς τα ΒΑ, με το ένα επιπλέον το άλλο προς τα Δυτικά (Μουντράκης, 2010).

Η ζώνη Αξιού διαιρέθηκε σε τρεις υποζώνες από τον Mercier (1966), με κριτήριο τον παλαιογεωγραφικό τους χαρακτήρα και ονομάστηκαν «Αύλακα Παιονίας», «Υβωμα Πάικου» και «Αύλακα Αλμωπίας». Η περιοχή μελέτης ανήκει γεωτεκτονικά στην υποζώνη Παιονίας.

Η υποζώνη Παιονίας αποτελούσε τον ωκεάνιο χώρο (αύλακα) μεταξύ του ηπειρωτικού φλοιού (μάζα Σερβομακεδονικής) και του νησιωτικού τόξου (ύβωμα Πάικου). Τα μεγάλεια της υποζώνης Παιονίας αποτελούν και τις ενότητες στις οποίες διακρίθηκε και είναι οι εξής: 1) Ενότητα Γευγελής, 2) Ενότητα Ωραιοκάστρου, 3) Ενότητα Βαφειοχωρίου, 4) Ενότητα Αρτζάν, 5) Ενότητα Άσπρης Βρύσης, 6) Ενότητα Μεταλλικού, 7) Ενότητα Λεβεντοχωρίου (Μουντράκης, 2010).

Στην ευρύτερη περιοχή της χερσονήσου Κασσάνδρας η υποζώνη Παιονίας εντοπίζεται με τους εξής σχηματισμούς:

- Φλύσχης: ασβεστιτικοί και ψαμμιτικοί σχιστόλιθοι, ελαφρώς μεταμορφωμένοι.
- Ασβεστόλιθοι μελανόχροι, παχυστρωματώδεις, λατυποπαγείς ή κροκαλοπαγείς του Κρητιδικού. Στην θέση Μαύρη Πέτρα παρατηρούνται λειμωνιτικές φλέβες, ενώ στο ακρωτήριο Αλωνάκι παρατηρείται μία μικρή ανδευσιτική έκχυση εν μέσω των ασβεστόλιθων. Μέσα στην χαράδρα που βρίσκεται Ανατολικά του Παλιουρίου, διακρίνονται σχιστοκερατόλιθοι κάτω από το στρώμα των ασβεστόλιθων.
- Ασβεστόλιθοι, ανοικτότεφροι, λεπτόκοκκοι, λεπτοστρωματώδεις του Ανώτερου Ιουρασικού.
- Οφειολιθική σειρά: γάββροι, μελανοφύρες, περιδοτίτες, σπιλίτες κ.λπ. Οι μαξιλαροειδείς λάβες του νοτίου άκρου της χερσονήσου, έχουν υποστεί υδροθερμική εξαλλοίωση, μέσα στα εξαλλοιωμένα μέρη παρατηρούνται δευτερογενή ορυκτά, όπως είναι οι ζεόλιθοι, ενώ εμφανείς είναι και οι ρωγμές ψύξης (Zachariadis, 2007)

Τα συνοδά ιζήματα των οφειολίθων του νοτίου άκρου της χερσονήσου της Κασσάνδρας διακρίθηκαν από τον Feinberg (1998), σε δύο σχηματισμούς, στον υποκείμενο σχηματισμό Παλιουρίου και τον υπερκείμενο Ξενία-Κέλφος. Ο ηφαιστειοκλαστικός φλύσχης του σχηματισμού Παλιουρίου βρίσκεται σε επαφή με τις σπιλιτικές μαξιλαροειδείς λάβες, Ο φλύσχης δομείται από μετα-γραουβάκες, ανδευσιτικούς μετα-τοφίτες, πυριτιόλιθους και κερατόλιθους. Τα ανώτερα στρώματα του σχηματισμού Παλιουρίου περιλαμβάνουν ένα λατυποπαγές πάχους 1-4μ., το οποίο περιέχει χαλίκια διαβάση, δολερίτη, σπιλίτη και κερατόλιθους, ασβεστολιθικές κροκάλες και τραχει-ανδευσιτικά χαλίκια. Ακολουθεί ένα λεπτό στρώμα μικριτικού ασβεστόλιθου, που φανερώνει τη μείωση της στάθμης των υδάτων. Ο σχηματισμός Παλιουρίου τελειώνει με μία αργιλική ροή μάζας στην οποία περιέχονται κροκάλες ασβεστόλιθου και γραουβάκη (Michard et al. 1998).

Ο υπερκείμενος σχηματισμός Ξενία-Κέλφος περιέχει ασβεστόλιθους με κοράλλια και λατύπες, ενώ στον όρμο του Ξενία παρατηρούνται ασβεστολιθικές μάζες

με κροκάλες ασβεστολιθικές, σπιλιτών και χαλίκια γρανιτοειδών, τραχει-ανδεδίτων και ρυόλιθων (Feinberg, 1998).

Οι παραπάνω ιζηματογενείς σχηματισμοί της περιοχής είναι νηριτικού περιβάλλοντος. Τα ιζήματα αυτά αποτέθηκαν πάνω στους οφειόλιθους και χρονολογούν την τεκτονική τοποθέτηση (obduction) των οφειόλιθων πριν το Ανώτερο Ιουρασικό (Μουντράκης, 2010).

Στην ευρύτερη περιοχή της Νέας Ηράκλειας η υποζώνη Παιονίας αντιπροσωπεύεται από τους ακόλουθους ιζηματογενείς σχηματισμούς:

- Στρώματα Πρινοχωρίου: τεφροί ή πρασινωποί, αμμούχοι, αργιλικόι σχιστόλιθοι, με ασβεστολιθικές ταινίες. Μεταβάσεις προς ασβεστιτικούς σχιστόλιθους και κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους. Απαντούν τυπικά ορυκτά της κατώτερης πρασινοσχιστολιθικής φάσης μεταμόρφωσης (αλβίτης, σερίκίτης, χλωρίτης και στυλπνομέλας) (Ricou, 1965).
- Ασβεστόλιθοι: τεφροί έως γαλαζωποί, παχυστρωματώδεις, μερικώς ανακρυσταλλωμένοι, τοπικά στη βάση απαντούν λεπτά στρώματα ψαμμίτη. Επίσης παρεμβάλλονται μερικοί ορίζοντες βωξίτη, ελαφρά μεταμορφωμένοι.

Ακόμα αντιπροσωπεύεται από την υπερβασική σειρά:

- Πυροξενίτες: κυρίως βεμπστερίτης (διαλλαγής, βρονζίτης, αδιαφανή ορυκτά, +/- πλαγιόκλαστα με ανορθίτη 55-80%), επουσιώδη, διαλλαγίτης και ολιβινικός διαλλαγίτης.
- Δουνίτες και περιδοτίτες: κυρίως βερλίτες, μερικά λερζολιθικοί (ολιβίνης, διαλλαγής και βρονζίτης), επουσιώδεις μεταπεριδοτίτες. Εμφανίσεις χρωμίτη σε φακούς και λεπτά στρώματα (schlieren), κυρίως μέσα σε δουνίτες, πολύ εξαπλωμένη εξαλλοίωση στις περιοχές λευκολίθου. τουρμαλινικές πηγματιτικές φλέβες συχνές.

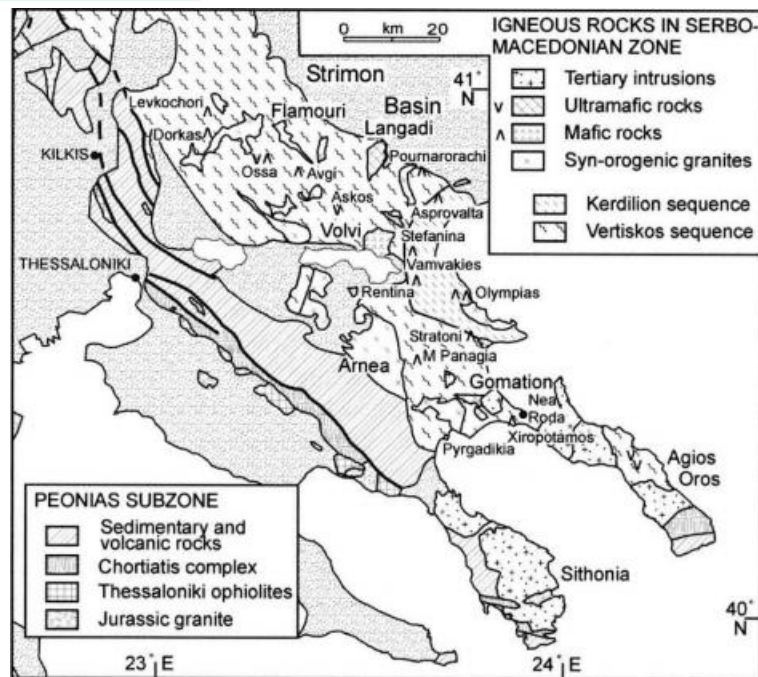
Σύμφωνα με τους Mussallam et al. (1981), η υπερβασική σειρά περιέχει χρωμίτη, δουνίτη και χαρτζβουργίτη, πετρώματα τα οποία επαναλαμβάνονται κυκλικά. Η κυκλικά επαναλαμβανόμενη ακολουθία έχει πρωτογενή αίτια και δεν οφείλεται σε δευτερογενή τεκτονικά αίτια.

Τα πετρώματα της υπερβασικής σειράς ανήκουν στην οφειολιθική λωρίδα της υποζώνης Παιονίας και αντιπροσωπεύουν την ωκεάνια λιθόσφαιρα που καλυμματικά βρέθηκε στην Περιοδοπική ζώνη. Ηλικιακά ορίζεται ως παλαιότερη των γάββρων Λαναρίου και της μαγματικής σειράς Χορτιάτη και νεότερη του Ανώτερου Τριαδικού.

2.2.2 Σερβομακεδονική μάζα

Η Σερβομακεδονική μάζα ήταν παλαιό ηπειρωτικό τέμαχος που έχει πολυμεταμορφωθεί, αποτελείται αποκλειστικά από πυριγενή και μεταμορφωμένα πετρώματα και διακρίνεται σε δύο επιμέρους ενότητες, την κατώτερη ενότητα των Κερδυλλίων και την ανώτερη ενότητα του Βερτίσκου. Στην περιοχή μελέτης συναντάται μόνο η ενότητα Βερτίσκου που είναι χαμηλότερης μεταμόρφωσης από αυτήν των Κερδυλλίων, η οποία αποτελείται κυρίως από ορθογνεύσιους, μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους, λεπτά στρώματα μαρμάρων και σχιστοποιημένα

σερπεντινικά σώματα τα οποία παρεμβάλλονται τεκτονικά στους υπόλοιπους σχηματισμούς, ενώ στους ανώτερους ορίζοντες υπάρχουν μεταγάρβροι, μεταδιαβάσεις και αμφιβολίτες (Dimitrijevic&Ciric, 1967).



Σχήμα 2.4. Η μάζα της Σερβομακεδονικής και η υποζώνη Παιονίας της ζώνης Αξιού (Kockel et al., 1977)

Οι σχηματισμοί της ενότητας Βερτίσκου εμφανίζονται σε κοντινή απόσταση μόνο από την περιοχή δειγματοληψίας στη Ν. Ηράκλεια και είναι οι εξής:

- Επιδοτιτικοί – ακτινολιθικοί σχιστόλιθοι: λεπτόκοκκοι, έντονα παραμορφωμένοι βλαστομυλωνίτες (νεοσχηματισμένοι σερικήτης, ακτινόλιθος, επίδοτο και τιτανίτης). Θεωρείται προϊόν ανάδρομης μεταμόρφωσης από σχηματισμό της ενότητας Βερτίσκου.
- Διμαρμαρυγικός γνεύσιος και μοσχοβιτικός γνεύσιος: εξαλλοιωμένος κυρίως με ανάδρομη μεταμόρφωση σε πρασινοκάστανους, σερικιτικούς – χλωριτικούς σχιστόλιθους με υπολείμματα πλαγιокλάστων. Παρεμβάλλονται αμφιβολίτες και φακοί από μάρμαρο.

2.2.3 Περιοδοπική ζώνη

Η Περιοδοπική ζώνη περιβάλλει τις κρυσταλλοσχιστώδεις μάζες της Σερβομακεδονικής και της Ροδόπης και αποτελεί τη θέση υποβύθισης της ωκεάνιας περιοχής της ζώνης Αξιού. Περιλαμβάνει από Ανατολικά προς τα Δυτικά τις ενότητες Ντεβέ Κοράν – Δουμπιά, Μελισσοχωρίου – Χολομώντα και Άσπρης Βρύσης – Χορτιάτη.

Στην περιοχή της Νέας Ηράκλειας εντοπίζεται η ενότητα Άσπρης Βρύσης – Χορτιάτη, της οποίας οι κατώτεροι ορίζοντες ανήκουν στην ηφαιστειοζηματογενή σειρά Περμο-Τριαδικής ηλικίας. Ο ανώτερος ορίζοντας αποτελείται από ιζήματα βαθιάς θάλασσας, όπως κερατόλιθους, αργιλικούς σχιστόλιθους, μαύρους γραφιτικούς

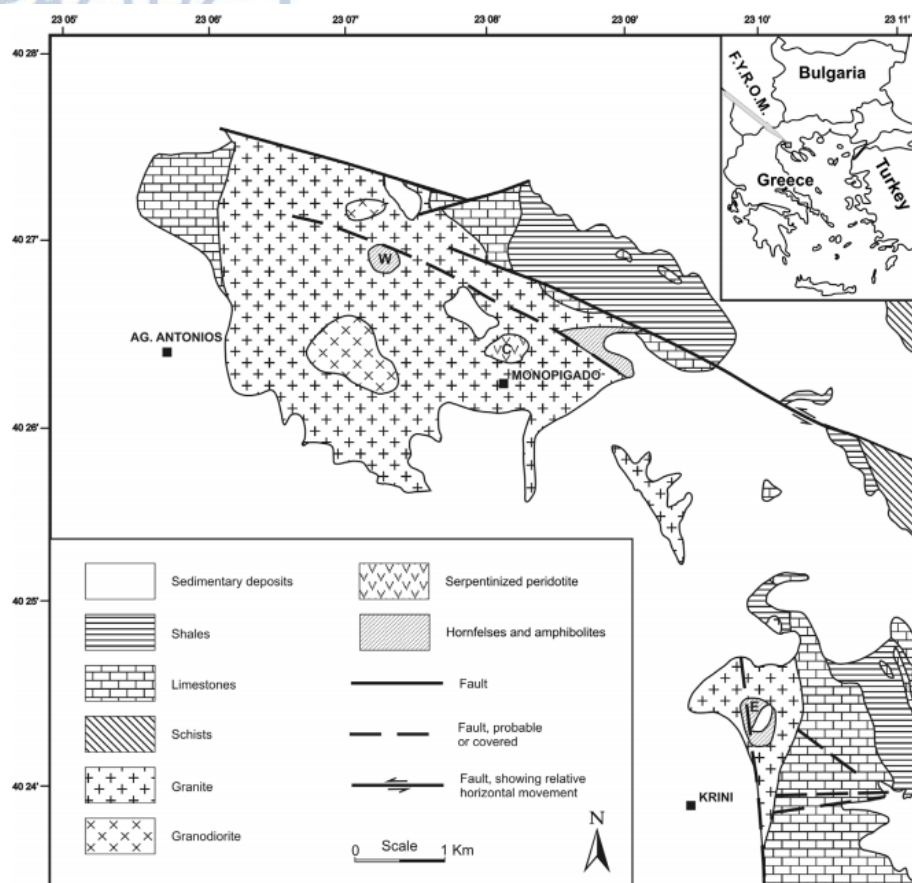
φυλλίτες, μάργες και χαλαζιακούς σχιστόλιθους, στα οποία παρεμβάλλονται οφειολιθικά σώματα με βασικά και υπερβασικά πετρώματα. Μέσα στον ορίζοντα των μεταϊζηματογενών πετρωμάτων, παρεμβάλλονται μεταμορφωμένα πετρώματα, όξινης μαγματικής προέλευσης, δηλαδή διορίτες, γρανοδιορίτες και γρανίτες που έχουν μεταμορφωθεί στην πρασινοσχιστολιθική φάση (Μουντράκης, 2010). Οι σχηματισμοί που συμμετέχουν στην γεωλογία της περιοχής είναι οι εξής:

- Γάββρος της σειράς Λαναρίου: στον οποίο περιέχονται διαλλαγής, βρονζίτης, υπερσθενής, πλαγιόκλαστα με ανορθίτη 55-80% και στα αδιαφανή ορυκτά περιλαμβάνονται ολιβίνης, κεροστίλβη, δευτερογενής ζοϊσίτης, επίδοτο, ακτινόλιθος. Ακόμη εντοπίζονται στην ίδια σειρά ολιβινικός γάββρος, υπερσθενικός γάββρος, αυγιτικός νορίτης, κεροστιλβικός γάββρος.
- Μαγματική σειρά Χορτιάτη: Επιγνεύσιοι: είναι ανοικτοκάστανοι ή πρασινωποί, καλοστρωμένοι με γνευσιακό ή οφθαλμοειδή ιστό και πράσινα στρεβλωμένα χλωριτικά στρώματα. Ακόμα εμφανίζονται ως ακτινολιθικοί-επιδοτιτικοί-χλωριτικοί επιγνεύσιοι, σερικιτικοί-χλωριτικοί επιγνεύσιοι, κεροστιλβικοί-βιοτιτικοί-μοσχοβιτικοί επιγνεύσιοι και μοσχοβιτικοί-χλωριτικοί-επιδοτιτικοί επιγνεύσιοι.
- Πρασινοσχιστόλιθοι: οι οποίοι είναι σκουροπράσινοι ή καστανωποί και λεπτόκοκκοι. Οι σχιστόλιθοι εμφανίζονται ως χλωριτικοί-μοσχοβιτικοί-βιοτιτικοί-αλμανδινικοί-επιδοτιτικοί-ακτινολιθικοί σε διάφορους συνδυασμούς ή ως λεπτόκοκκος χλωριτικός-επιδοτιτικός-σερικιτικός-αλβιτικός γνεύσιος. Η ηλικία τους είναι νεότερη του Ανώτερου Τριαδικού και παλαιότερη του γρανοδιορίτη τύπου Σιθωνίας.
- Διορίτης και χαλαζιακός διορίτης (σύμπλεγμα Γερακινής): εμφανίζεται μεσόκοκκος, ελάχιστα σχιστώδης. Ο διορίτης αποτελείται από ζωνώδη πλαγιόκλαστα με ανορθίτη 30-35%, +/-χαλαζίας, υπολείμματα κλινοπυρόξενου, χλωριτωμένη κεροστίλβη, επίδοτο και επουσιώδη ορυκτά. Παρεμβάλλονται ενστρώσεις σκοτεινοπράσινων, λεπτόκοκκων, επιδοτιτικών-χλωριτικών-χαλαζιακών σχιστολίθων, πιθανόν και ηφαιστειακά πετρώματα.

2.2.4 Πλουτωνίτες

Βόρεια της χερσονήσου της Κασσάνδρας βρίσκεται ο πλουτωνίτης του Μονοπήγαδου. Η σύσταση του πλουτωνίτη απαρτίζεται από τρία διαφορετικά είδη πετρωμάτων, βιοτιτικό γρανοδιορίτη, βιοτιτικό γρανίτη και λευκογρανίτη, ενώ απλιτικές φλέβες διεισδύουν σε όλα τα παραπάνω πετρώματα. Ο πλουτωνίτης έχει ηλικία Ανώτερου Ιουρασικού (159 Ma) και έχει διεισδύσει στους οφειόλιθους, γεγονός που τον κατατάσσει ηλικιακά, σύγχρονο ή νεότερο των οφειολίθων. Επιπροσθέτως, στρωματογραφικά δεδομένα και γεωχρονολογήσεις U/Pb σε ζirkόνια τοποθετούν την ηλικία του πλουτωνίτη στο Άνω Ιουρασικό (Koroneos, 2008, Koroneos, 2010).

Τρία μεγάλα σώματα από πετρώματα του υποβάθρου περικλείονται μέσα στον πλουτωνίτη. Πρόκειται για κερατίτη και αμφιβολιτη, στα ανατολικά και δυτικά, αντίστοιχα και για σερπεντινωμένο περιδοτίτη στο κεντρικό τμήμα (Koroneos, 2008). Οι εμφανίσεις του διοψιδικού και αμφιβολιτικού κερατίτη αντιπροσωπεύουν τη θερμική μεταμόρφωση που υπέστησαν τα πετρώματα που ήρθαν σε επαφή με το πλουτωνικό σώμα.



Σχήμα 2.4. Γεωλογικός χάρτης του πλουτωνίτη του Μονοπήγαδου. Μέσα στην έκτασή του διακρίνονται τα σώματα του υποβάθρου (Koroneos, 2008).

2.2.5 Ιζήματα

Το Τεταρτογενές εμφανίζεται βόρεια της χερσονήσου, στην περιοχή της Νέας Ηράκλειας, ενώ νοτιότερα και πλησίον της παραλίας του Γλαρόκαβου, τα Τεταρτογενή ιζήματα σπανίζουν και η περιοχή καλύπτεται από Νεογενή ιζήματα.

Τεταρτογενές

Το Ολόκαινο χαρακτηρίζεται από ιζήματα που προέρχονται από διαφορετικά περιβάλλοντα απόθεσης. Οι αλλουβιακές αποθέσεις είναι κυρίως προϊόντα αποσάθρωσης των Νεογενών σχηματισμών, όπως άργιλοι, άμμοι, ερυθρογή και ψηφίδες. Οι παράκτιες αποθέσεις έχουν την μορφή αναχωμάτων ακτών και θινών, ενώ οι αμμούχες άργιλοι που προέρχονται από ιζήματα λιμνών και λιμνοθαλασσών, εντοπίζονται και στις προσχώσεις κοιλάδων. Τα πλευρικά κορήμματα, εντοπίζονται είτε χαλαρά, είτε συνεκτικά και αποτελούνται κυρίως από υλικά μεταμορφωμένων πετρωμάτων. Ανατολικά της κοινότητας Μεσημερίου και Νότια του Σχολαρίου, εντός των κοιτών των ρεμάτων παρατηρούνται αναβαθμίδες, η κοκκομετρία των οποίων αυξάνεται όσο αυξάνεται η υψομετρική τους απόσταση από την κοίτη. Τα χωριά Αγ. Παύλος και Ν. Ηράκλεια καλύπτονται από ελουβιακό μανδύα, δηλαδή από χαλαρό εδαφικό μανδύα αποσάθρωσης των Νεογενών σχηματισμών. Το Πλειστόκαινο εντοπίζεται σε σύστημα αναβαθμίδων που αποτελούνται από χαλίκια και κροκάλες,



ποικίλης προέλευσης και σύστασης, κυρίως μεταμορφωμένων πετρωμάτων και σε μικρότερη αναλογία ασβεστολιθικών.

Νεογενές

Στην περιοχή της Νέας Ηράκλειας το Νεογενές αποτελείται από ασβεστόλιθους, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και σκληρές μάργες. Το παραπάνω λιμναίο περιβάλλον σταδιακά μεταβαίνει σε υφάλμυρη φάση με τη ψαμμιτομαργαϊκή σειρά που επικάθεται με συμφωνία πάνω στη σειρά ερυθρών αργίλων, που αντιπροσωπεύουν λιμναία έως χερσαία φάση. Οι άργιλοι μεταβαίνουν πλευρικά σε κροκαλοπαγή στα περιθώρια των λεκανών, ενώ τραβερτινοειδείς ασβεστόλιθοι είναι αποσφηνωμένοι και στους δύο παραπάνω σχηματισμούς.

Στην ευρύτερη περιοχή της παραλίας Γλαρόκαβου, από τα νεότερα προς τα παλαιότερα στρώματα, το Νεογενές αντιπροσωπεύεται από τον σχηματισμό ερυθρών μαργών, το πάχος του οποίου υπερβαίνει τα 100 μ. και είναι υπερκείμενος του σχηματισμού του ανώτερου ασβεστόλιθου. Ακολουθούν οι καστανόχρωμες μάργες και οι καστανοκίτρινες συμπαγείς άμμοι, που αντιπροσωπεύουν λιμναία-χερσαία φάση και στη συνέχεια η σειρά λευκών μαργών, οι οποίες είναι και η μετάβαση στη θαλάσσια φάση. Οι σχηματισμοί που υπόκεινται των λευκών μαργών είναι οι μάργες με κροκαλοπαγή και ένα σύστημα πολύχρωμων μαργών και κροκαλοπαγών.

3. ΟΙ ΟΦΕΙΟΛΙΘΟΙ

3.1 Γενικά για τους οφειόλιθους

Πρώτος ο Brogniart (1813) χρησιμοποίησε τον όρο «οφειόλιθο» για να περιγράψει τους σερπεντινίτες σε χαοτικά μίγματα, αργότερα το (1821) επαναδιατύπωσε και συμπεριέλαβε στον όρο οφειόλιθο μία ακολουθία υπερβασικών, γαββρικών, διαβάσεων και ηφαιστειακών πετρωμάτων. Ο Steinmann το 1927 μελέτησε την συνύπαρξη των περιδοτιτών, των γάββρων και των διαβάσεων, με τα ιζήματα βαθιάς θάλασσας, όπως είναι οι κερατόλιθοι, οι ιλυόλιθοι και οι ασβεστόλιθοι, που βρίσκονται στις επιμέρους ορογενετικές ζώνες της Μεσογείου, κατέληξε ότι τα πετρώματα αυτά έχουν μαγματική συγγένεια και έχουν ως κοινή αιτία δημιουργίας την εξέλιξη ενός ευγεωσύγκλινου. Αποτέλεσμα της μελέτης αυτής ήταν η εισαγωγή του όρου «η Τριάδα του Steinmann», που περιλάμβανε τον σερπεντινίτη, τον διαβάση – σπιλίτη και τον κερατόλιθο, για την περιγραφή του όρου οφειόλιθοι (Bernoulli et al., 2003).

Τα τελευταία 200 χρόνια έχουν αναπτυχθεί πολλές θεωρίες για την προέλευση των οφειολίθων. Αλλά μόλις το 1971 ο Coleman προσπαθώντας να βρει την προέλευση των αλπικού τύπου περιδοτιτών, όρισε τους οφειόλιθους ως τμήματα της ωκεάνιας λιθόσφαιρας τα οποία έχουν επωθηθεί σε ηπειρωτικά περιθώρια.

Σύμφωνα με τον ορισμό που δόθηκε στο Penrose Field Conference για τους οφειολίθους, τον Σεπτέμβρη του 1972, ο όρος οφειόλιθοι αναφέρεται σε ένα σύμπλεγμα βασικών και υπερβασικών πετρωμάτων και δεν θα πρέπει να χρησιμοποιείται ως το όνομα ενός πετρώματος ή μίας λιθολογικής μονάδας κατά τη χαρτογράφηση. Σε μία πλήρως ανεπτυγμένη οφειολιθική ακολουθία, η σειρά των πετρωμάτων που συναντώνται από την βάση και προς τα πάνω, είναι η εξής:

- Σύμπλεγμα υπερβασικών πετρωμάτων, το οποίο συνίσταται από μεταβλητές αναλογίες χαρτζβουργίτη, λερζόλιθου και δουνίτη, συχνά μεταμορφική τεκτονική υφή (περισσότερο ή λιγότερο σερπεντινωμένα).
- Γαββρικό σύμπλεγμα, συνήθως με σωρευτική υφή, ενώ συχνά περιλαμβάνονται σωρευτικοί περιδοτίτες και πυροξενίτες, οι οποίοι εμφανίζονται λιγότερο παραμορφωμένοι από το υπερβασικό σύμπλεγμα.
- Σύμπλεγμα φλεβών βασικής σύστασης.
- Ηφαιστειακό σύμπλεγμα βασικής σύστασης, συνήθως έχει την μορφή μαξιλαροειδών λαβών (pillow lavas).
- Άλλα πετρώματα που σχετίζονται με τους οφειόλιθους είναι (1) τα υπερκείμενα συνοδά ιζήματα, όπως είναι οι κερατόλιθοι, οι αργιλικοί σχιστόλιθοι και οι ψαμμίτες, (2) τα αλπικού τύπου χρωμιτικά σώματα, τα οποία σχετίζονται με τους δουνίτες και (3) τα όξινα εκρηξιγενή πετρώματα. Η οφειολιθική ακολουθία μπορεί να μην είναι συνεχής και είναι δυνατόν μέρη της να απουσιάζουν. (Anonymous, 1972).

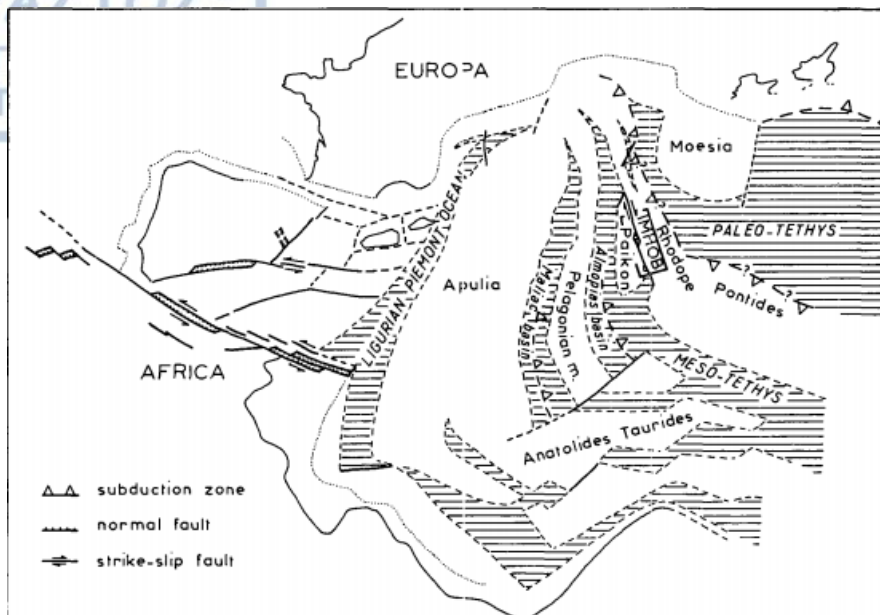
Σύμφωνα με τον Gansser (1974), για να θεωρηθεί μία οφειολιθική ακολουθία πλήρης θα πρέπει να εντοπίζονται και τα λοιπά μέρη που την συνθέτουν, δηλαδή η μεταμορφική σόλα και το χαοτικό μίγμα (mélange).

Ο ορισμός που δόθηκε στο Penrose Field Conference δεν περιλαμβάνει το γεωτεκτονικό περιβάλλον σχηματισμού των οφειολίθων, αφού μέχρι τότε ήταν αποδεκτό ότι προέρχονται αποκλειστικά από το τμήμα του ωκεάνιου φλοιού και του ανώτερου μανδύα, που σχηματίζονται στις μεσοωκεάνιες ράχες. Ο Akiho Miyashiro (1973), εξετάζοντας τη χημική σύσταση της κατώτερης σειράς μαξιλαροειδών λαβών και του συμπλέγματος φλεβών της οφειολιθικής ακολουθίας του όρους Τρόδος στην Κύπρο, διέκρινε ότι το 1/3 των εξετασθέντων πετρωμάτων είχαν ασβεσταλκαλικό χαρακτήρα. Αυτό τον οδήγησε στο συμπέρασμα ότι η προέλευση του μάγματος που σχημάτισε τους οφειόλιθους στην Κύπρο, δεν προήλθε από μία μεσοωκεάνια ράχη, αλλά έχει χημισμό νησιωτικού τόξου (Dilek, 2003).

Σήμερα είναι αποδεκτό ότι η ωκεάνια λιθόσφαιρα μπορεί να οφείλει τη γένεση της σε περιβάλλον μεσοωκεάνιας ράχης, αλλά και σε μετέπειτα στάδια του γεωτεκτονικού κύκλου εξέλιξης. Όπως, όταν ξεκινάει η αντίστροφη διαδικασία, δηλαδή το κλείσιμο ενός ωκεάνιου χώρου και οι εφελκυστικές τάσεις αντικαθίστανται από τη συμπίεση, ξεκινάει και η σύγκλιση των λιθοσφαιρικών πλακών, η οποία οδηγεί στην καταστροφή του ωκεάνιου φλοιού και τον σχηματισμό νησιωτικών τόξων και ενεργών ηπειρωτικών περιθωρίων. Κάποια τμήματα της ωκεάνιας λιθόσφαιρας δεν ακολουθούν το καταβυθιζόμενο υπόλοιπο μέρος της, αλλά επωθούνται στα ηπειρωτικά περιθώρια, αντιπροσωπεύοντας τα οφειολιθικά πετρώματα. Στη συνέχεια, όταν έχει καταστραφεί όλο το τμήμα της ωκεάνιας λιθόσφαιρας, λαμβάνει χώρα η ηπειρωτική σύγκρουση.

3.2 Γεωτεκτονικό περιβάλλον γένεσης ωκεάνιας λιθόσφαιρας Εσωτερικής Οφειολιθικής Λωρίδας (IRO)

Ο ελληνικός χώρος διαθέτει δύο οφειολιθικές μάζες, την «εσωτερική οφειολιθική λωρίδα» (IRO) και την «εξωτερική οφειολιθική λωρίδα» (ERO). Η εσωτερική οφειολιθική λωρίδα απαρτίζεται από τους οφειόλιθους της ενότητας Γευγελής, την οφειολιθική ακολουθία της ενότητας Ωραιοκάστρου και τους οφειόλιθους Θεσσαλονίκης και Χαλκιδικής (Bebien, 1986). Οι τελευταίοι (Σχ. 3.1) διακρίνονται σε αυτούς της Κασσάνδρας και της Σιθωνίας (Jung&Mussalam, 1985) και στους οφειόλιθους της ανατολικής Περιοδοπικής ζώνης, όπως είναι αυτοί της Σαμοθράκης (Tsikouras, 1990) και του Έβρου (Magganis, 2002).

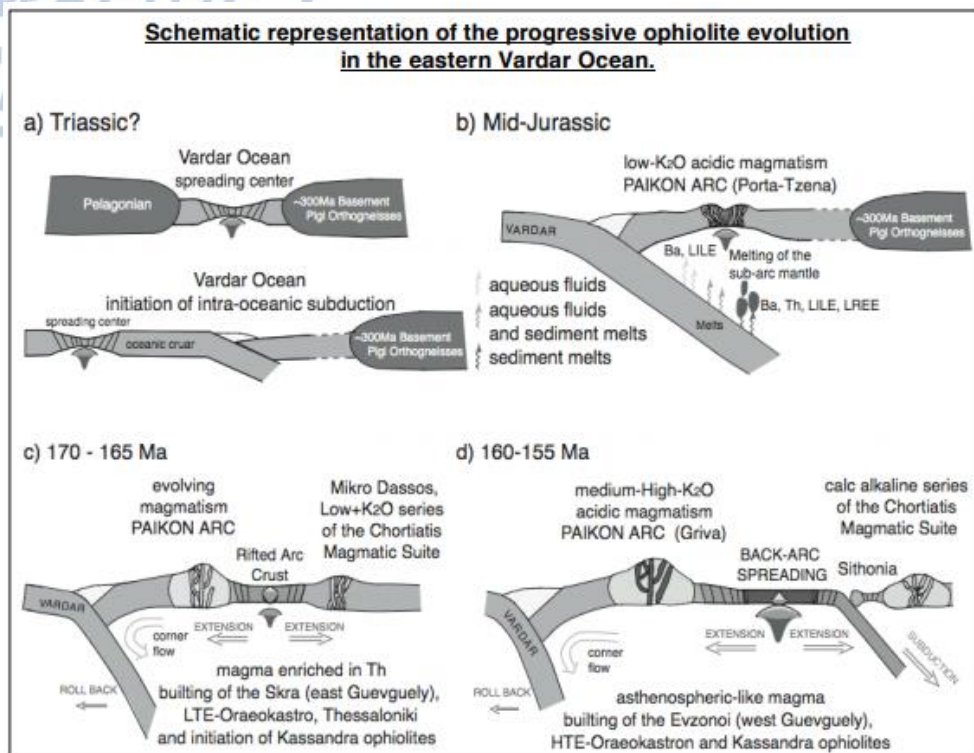


Σχήμα 3.1. Θέση εσωτερικής οφειολιθικής λωρίδας (IMHOB) κατά το Μέσο Ιουρασικό. (Bebien, 1986)

Το 1977 οι Bebien και Mercier, εξετάζοντας την σχέση μεταξύ οφειολίθων – μιγματιτών – γρανιτών της ενότητας Γευγελής, υποστήριξαν ότι οι οφειόλιθοι της εσωτερικής οφειολιθικής λωρίδας σχηματίστηκαν σε περιβάλλον οπισθοτόξιας λεκάνης σε μία ζώνη υποβύθισης νησιωτικού τόξου. Γεωχρονολογήσεις έδειξαν ότι οι οφειόλιθοι της ενότητας Γευγελής και των συμπλεγμάτων της Χαλκιδικής, είναι αυτόχθονοι και τοποθετήθηκαν στον ηπειρωτικό φλοιό σε μία ζώνη διάτμησης με παράταξη ΒΔ-ΝΑ, κατά το Μέσο – Άνω Ιουρασικό (Bébien et al., 1986).

Οι οφειόλιθοι που σχηματίζονται σε ζώνες υποβύθισης (supra-subduction zones) έχουν τα γεωχημικά χαρακτηριστικά οφειολίθων νησιωτικού τόξου, αλλά σχηματίζονται σε ζώνες εφελκυσμού πάνω από την υποβυθιζόμενη ωκεάνια πλάκα και διαφέρουν από τους οφειόλιθους που σχηματίζονται στις μεσοωκεάνιες ράχες (MORB) ως προς τη χημική τους σύσταση, τη μειωμένη περιεκτικότητα σε συστατικά του μανδύα, τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφανίσεων κοιτασμάτων χρωμίτη αλπικού τύπου και την κρυστάλλωση του κλिनοπυρόξενου πριν αυτή των πλαγιокλάστων, η οποία και αντικατοπτρίζεται στην αφθονία του βερλίτη έναντι του τροκτόλιθου (Pearce, 1984).

Ο Beccaluva (1989) έχοντας εξετάσει δείγματα αυγιτικών κλινοπυρόξενων από μεταβασάλτες διαφορετικών οφειολίθων του Φανεροζωϊκού, πρότεινε μία μέθοδο εντοπισμού της προέλευσης του μάγματος, άρα και του γεωτεκτονικού περιβάλλοντος γένεσης της ωκεάνιας λιθόσφαιρας, βασισμένη στην σύσταση $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$. Ο Ζαχαριάδης (2007) κατέταξε τους πυροξένους των οφειολίθων της Κασσάνδρας με την παραπάνω μέθοδο, σε πυροξένους οφειολίθων ζώνης υποβύθισης. Ο ίδιος συγγραφέας πρότεινε και ένα μοντέλο εξέλιξης των οφειολίθων στον ανατολικό ωκεάνιο χώρο της ζώνης Αξιού (Σχ. 3.2).



Σχήμα 3.2. Εξέλιξη του ωκεάνιου χώρου της ζώνης Αξιού (Zachariadis, 2007)

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στη μελέτη, των πλησιέστερων, στις θέσεις δειγματοληψίας, οφειολιθικών μαζών, δηλαδή των Βασιλικών, του Γαλαρινού και του νοτίου άκρου της χερσονήσου της Κασσάνδρας.

3.3 Εμφανίσεις μεταλλεύματος στην εσωτερική οφειολιθική λωρίδα.

Έχουν καταγραφεί περισσότερες από 60 εμφανίσεις χρωμιτιτών, οι οποίες και συνδέονται με τους δουνίτες και ακολουθούν την ΒΔ-ΝΑ διάταξη της οφειολιθικής λωρίδας (Michailidis and Sklavounos, 1996). Η εμφάνιση και η εξάπλωση του χρωμίτη μέσα στο πέτρωμα ποικίλει, το οποίο είναι και ιδιαίτερο χαρακτηριστικό, των Αλπικού τύπου κοιτασμάτων χρωμίτη (Thayer 1970, Dickey 1976, Ahmed 1984).

Στο οφειολιθικό σύμπλεγμα της Χαλκιδικής εμφανίζονται τρεις ιστολογικοί τύποι χρωμίτη, α) ο διάσπαρτος, β) ο ταινιωτός (schlieren-banded type), στον οποίο εναλλάσσονται ταινίες διάσπαρτου χρωμίτη και δουνίτη και γ) οσυμπαγής, υπό την μορφή φακών, λοβών και φλεβών. Συνήθως γίνεται βαθμιαία μετάβαση από τον συμπαγή τύπο στον διάσπαρτο τύπο χρωμίτη, καταλήγοντας σε σερπεντινωμένο δουνίτη που δεν περιέχει μετάλλευμα. Οι κόκκοι του χρωμίτη εμφανίζονται εξαλλοιωμένοι σε σιδηροχρωμίτη (Michailidis and Sklavounos, 1996). Τα φαινόμενα εξαλλοιώσεως σε σιδηροχρωμίτη ερμηνεύονται ως ένα μετασωματικό φαινόμενο που σχετίζεται με τη σερπεντινίωση και τη χαμηλού βαθμού μεταμόρφωση και συνήθως συνοδεύονται από τη δημιουργία χρωμιούχων πυριτικών ορυκτών όπως είναι ο χρωμιούχος χλωρίτης 'καιμεμερίτης' και ο χρωμιούχος γρανάτης 'ουβαροβίτης' (Εμμανουηλίδης, 2019).



Ο καιμμερερίτης εμφανίζεται να περιβάλλει ή να έχει ολικώς αντικαταστήσει τον χρωμίτη, ενώ σε κάποια δείγματα αναπτύσσεται μεταξύ χρωμίτη και σερπεντινωμένου δουνίτη ή/και αντικαθιστά τον σερπεντίνη. Ο καιμμερερίτης σχεδόν πάντα συνοδεύει τον χρωμίτη, όταν ο τελευταίος εμφανίζεται εξαλλοιωμένος σε σιδηροχρωμίτη, ενώ σπάνια εντοπίζεται με 'υγιή' χρωμίτη (Christofides et al., 1994)

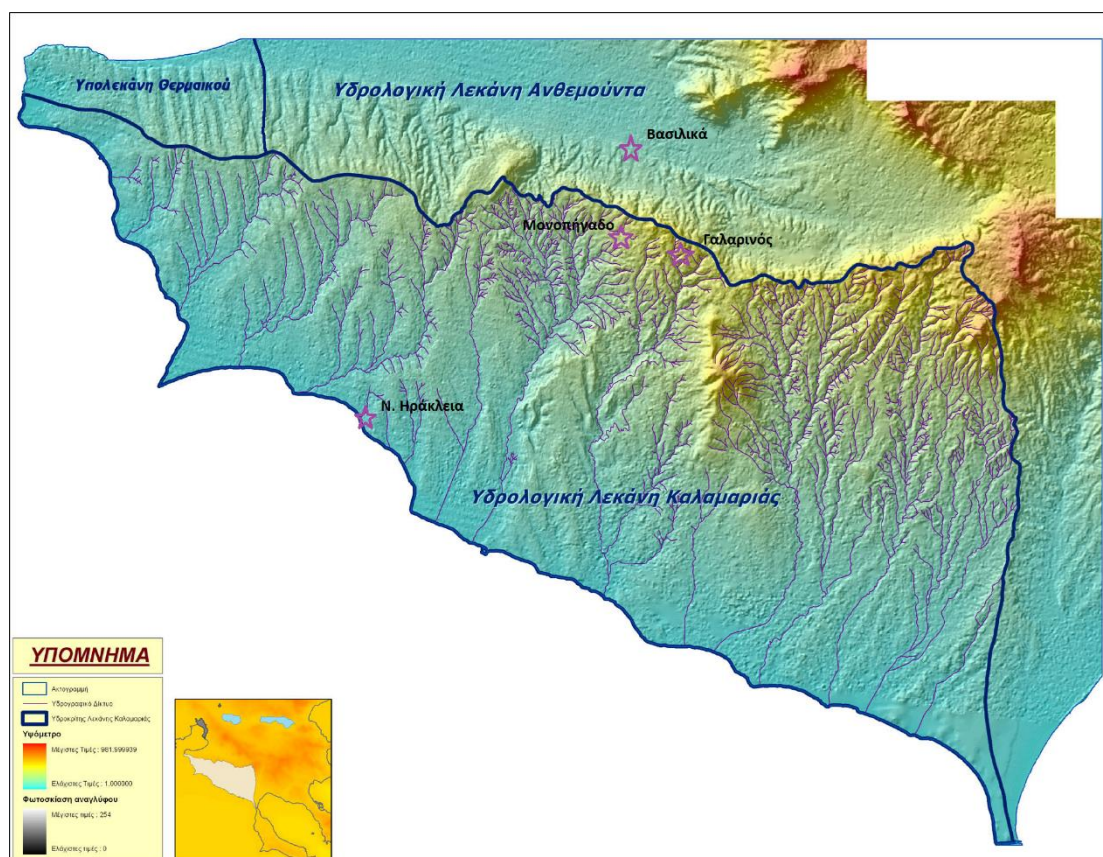
Οι δουνίτες και οι σερπεντινίτες συνδέονται με κοιτάσματα πλέγματος μικροφλεβιδίων κρυπτοκρυσταλλικού μαγνησίτη, τα οποία είναι και αποτέλεσμα της υδροθερμικής εξαλλοίωσης από πλούσια σε διοξείδιο του άνθρακα ρευστά κατά το τελικό στάδιο της επώθησης των οφειολίθων (Κρητιδικό). Η ορυκτολογική σύσταση των φλεβιδίων περιλαμβάνει μαγνησίτη, δολομίτη, χαλαζία και ασβεστίτη (Dabitziias, 1980).

4. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ – ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

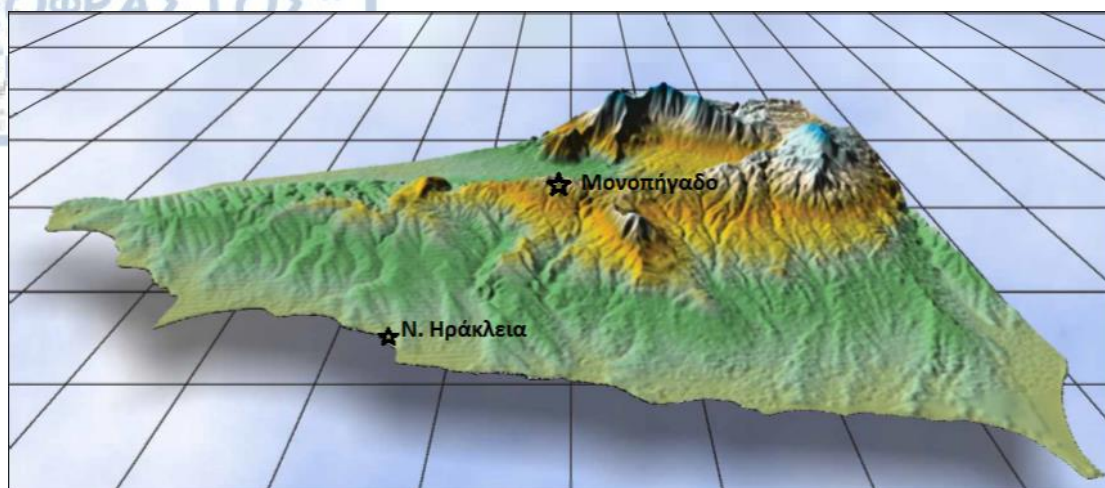
4.1 Λεκάνη Καλαμαριάς

Η παραλία της Ν. Ηράκλειας ανήκει στην υδρογεωλογική λεκάνη Καλαμαριάς, ο υδροκρίτης της οποίας τη διαχωρίζει στα ΒΑ από την υδρογεωλογική λεκάνη του Ανθεμούντα που έχει διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και στα ΒΔ από την υπολεκάνη Θερμαϊκού. Τα όρια της λεκάνης καθορίζονται από τις λοφώδεις περιοχές στα Β και στα ΒΑ, οι οποίες και συνιστούν τους ΝΝΔ πρόποδες του όρους Χολομώντα. Στα δυτικά και στα νότια η λεκάνη είναι εκτεθειμένη στο Θερμαϊκό κόλπο (Σχ. 4.1 και 4.2).

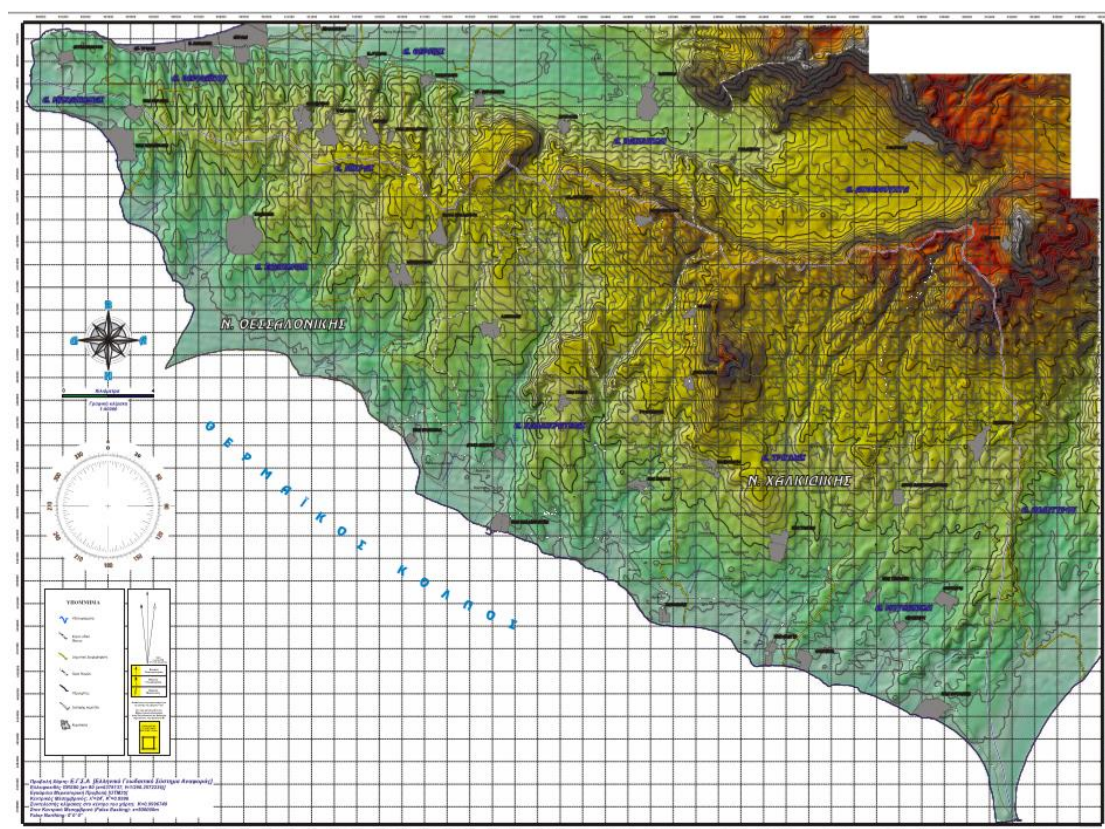
Στην περιοχή δεν υπάρχουν μόνιμα υδατορέματα και η επιφανειακή απορροή οφείλεται αποκλειστικά σε ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα. Το υδρογραφικό δίκτυο είναι δενδριτικής μορφής, αναπτύσσονται σε αυτό λεκάνες έως 3^{ης} τάξης κατά Strahler και αποτελείται από υποπαράλληλα ρέματα (Σχ. 4.3). Ο Θερμαϊκός κόλπος είναι ο τελικός αποδέκτης όλου του υδατικού δυναμικού της λεκάνης απορροής.



Σχήμα 4.1. Γεωμορφολογία της υδρολογικής λεκάνης Καλαμαριάς. Στον χάρτη έχει σημειωθεί η θέση δειγματοληψίας στη Ν. Ηράκλεια (Λήττας Α., 2002).



Χάρτης 4.2. Τρισδιάστατη απεικόνιση του γεωμορφολογικού χάρτη της υδρολογικής λεκάνης Καλαμαριάς (Λήττας Α., 2002).

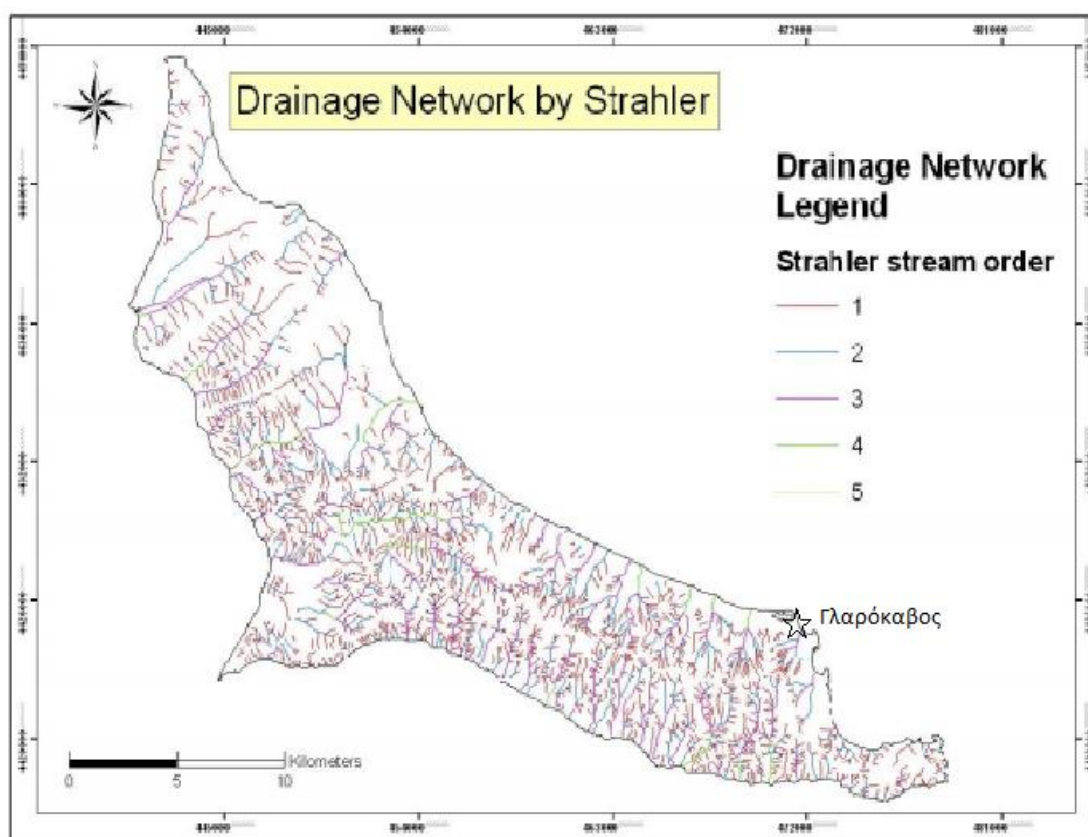


Χάρτης 4.3. Γεωμορφολογικός χάρτης υδρογεωλογικής λεκάνης Καλαμαριάς (Πηγή: Λήττας Α., 2002).

4.2 Χερσόνησος Κασσάνδρας

Η παραλία Γλαρόκαβος βρίσκεται στην ανατολική ακτή της χερσονήσου Κασσάνδρας, η οποία βρέχεται από τον Τορωναίο κόλπο. Στη θέση δειγματοληψίας στην παραλία Γλαρόκαβος εκβάλλει ένα ρέμα τρίτης τάξης κατά Strahler (Σχ. 4.4). Δεν υπάρχουν υδατορέματα με μόνιμη παροχή και η επιφανειακή απορροή οφείλεται μόνο στα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα. Κύριο χαρακτηριστικό της παράκτιας ζώνης της

περιοχής είναι τα πλημμυρικά εποχιακά φαινόμενα. Το σημείο δειγματοληψίας βρίσκεται σε χαρακτηρισμένη περιοχή Natura. Το ανάγλυφο είναι χαμηλό λοφώδες με μικρές παράκτιες πεδιάδες και χαμηλά υψόμετρα έως 345μ. Η ύπαρξη της λοφοσειράς στον κεντρικό άξονα της χερσονήσου είναι ο λόγος που τα ρέματα εμφανίζουν μια παράλληλη ανάπτυξη, δημιουργώντας παράλληλες κοιλάδες που αναπτύσσονται ομοιόμορφα εκατέρωθεν του υδροκρίτη (Syrides, 1990).

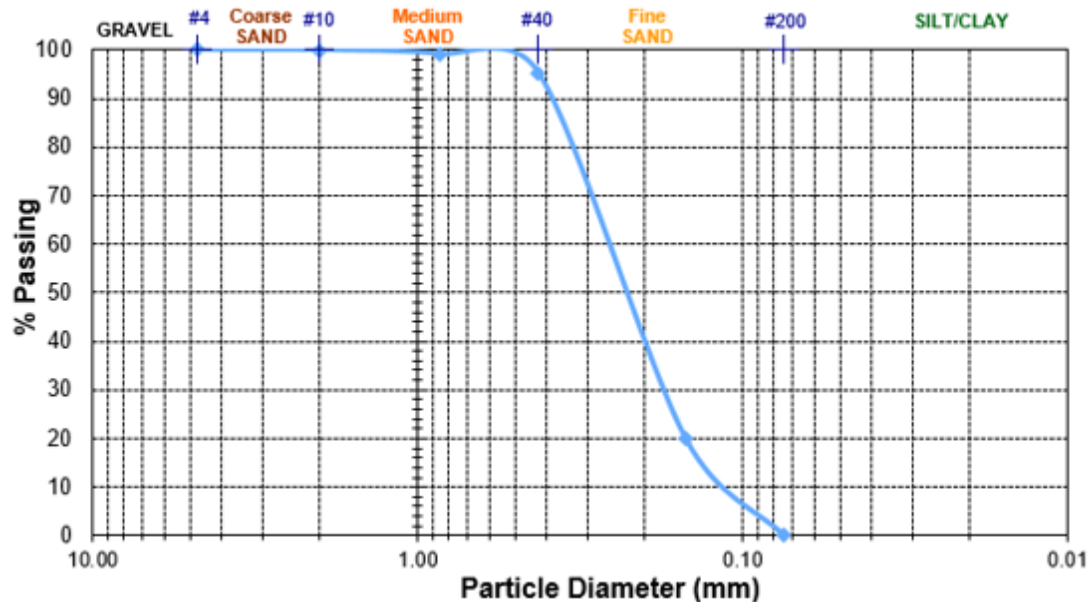


Σχήμα4.4. Υδρογραφικό δίκτυο χερσονήσου Κασσάνδρας αριθμημένο κατά Strahler (Καφίρα κ.α., 2015).

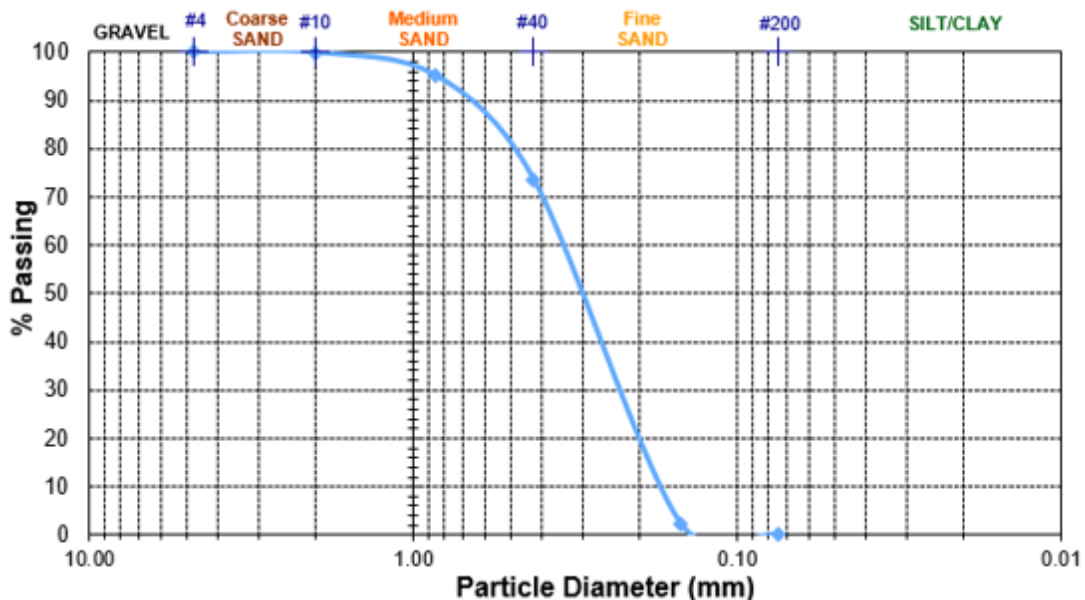
5. ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ, ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΚΚΩΝ ΑΜΜΟΥ

5.1 Κοκκομετρική ανάλυση

Η κοκκομετρική ανάλυση των δειγμάτων εκτελέστηκε σύμφωνα με τα ASTM standards για κοκκομετρική ανάλυση χονδρόκοκκου υλικού με την χρήση κοσκίνων.



Σχήμα 5.1. Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος από την παραλία της Ν. Ηράκλειας.



Σχήμα 5.2. Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος από την παραλία Γλαρόκαβος.

Η κοκκομετρική ανάλυση έχει ως σκοπό να ταξινομήσει το έδαφος, στην περίπτωση της παρούσας εργασίας, εκτελείται προκειμένου να συγκριθεί ο βαθμός

μηχανικής διεργασίας των δύο δειγμάτων. Οι κοκκομετρικές καμπύλες (Particle Size Distribution) κατασκευάστηκαν σε ημιλογαριθμικό διάγραμμα έχοντας στον άξονα των τετμημένων τη διάμετρο των κόκκων και στον άξονα των τεταγμένων το ποσοστό συγκρατούμενου εδαφικού υλικού σε κάθε κόσκινο.

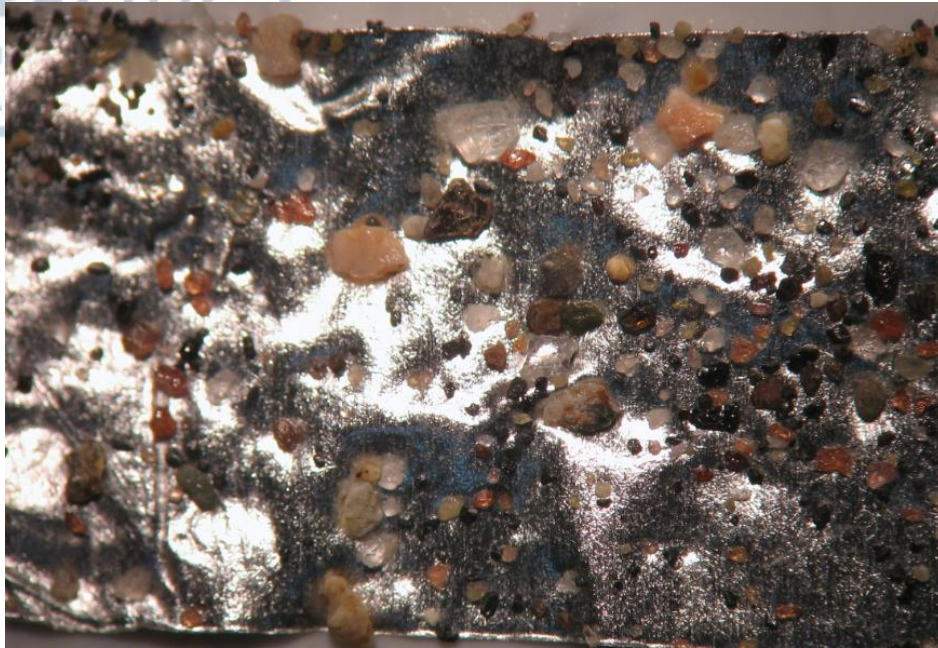
Η κοκκομετρική ανάλυση των δειγμάτων κατέταξε τα δείγματα ως άμμο, με τη διαφορά ότι το δείγμα από τη Ν. Ηράκλεια είναι πιο λεπτόκοκκο από αυτό του Γλαρόκαβου (Σχ. 5.1 και 5.2). Πιθανό αίτιο είναι ο διαφορετικός βαθμός μηχανικής διεργασίας που έχουν υποστεί τα δύο δείγματα από τη δράση των κυμάτων, αλλά και του μέσου μεταφοράς.

5.2 Μορφολογία και στερεοσκοπική εικόνα άμμου

Τα δείγματα περιέχουν μεγαλύτερο ποσοστό φεμικών ορυκτών από σαλικά, τα περισσότερα από τα οποία παρουσιάζουν μαγνητική επιδεκτικότητα. Οι κόκκοι των σαλικών ορυκτών είναι πιο γωνιώδεις από την εμφανώς πιο σφαιρική εμφάνιση των κόκκων των φεμικών ορυκτών, αλλά και σαφώς μεγαλύτεροι. Τα φεμικά ορυκτά είναι πιο συχνά μαύρα και καστανόμαυρα με μία κόκκινη χροιά (Εικ. 5.1) που πιθανόν να οφείλεται σε οξείδωση του σιδήρου. Στα σαλικά συμμετέχουν ορυκτά με λευκά, υπόλευκα και διάφορες διαβαθμίσεις του κόκκινου χρώματος (Εικ. 5.2).



Εικόνα 5.1. Στερεοσκοπική εικόνα φεμικών ορυκτών.



Εικόνα 5.2. Στερεοσκοπική εικόνα στην οποία είναι εμφανείς οι κόκκοι κόκκινου χρώματος.

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΑΡΩΤΙΚΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑΣ (SEM)

6.1 Ζιρκόνιο

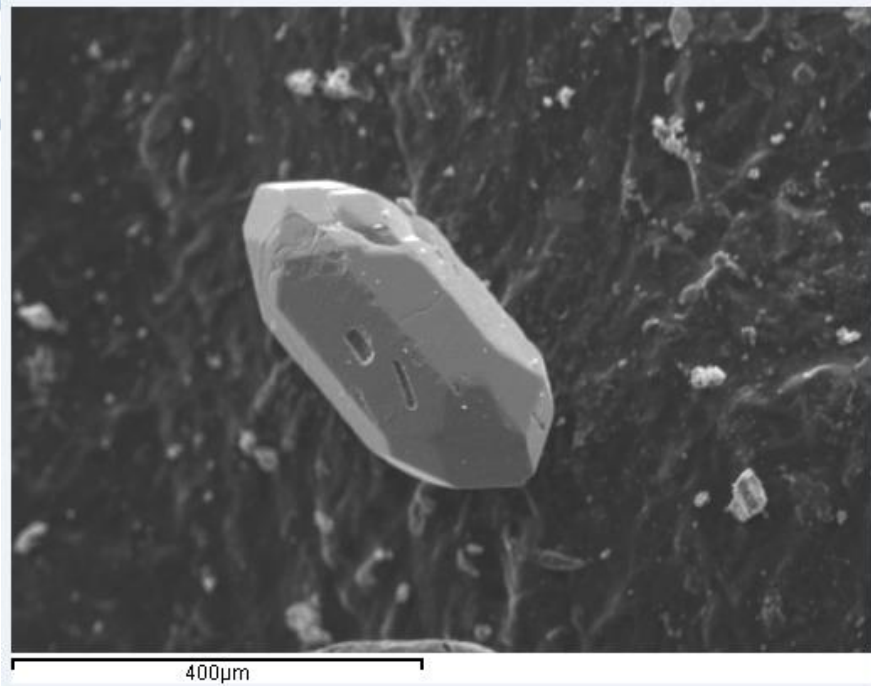
Το ζιρκόνιο είναι ένα νησοφυρτικό ορυκτό με χημικό τύπο $ZrSiO_4$ και είναι ένα σύνθετος επουσιώδης ορυκτό σε όξινα έως ενδιάμεσα πλουτωνικά πετρώματα, όπως είναι οι γρανίτες, οι μονζονίτες, οι συηνίτες, οι διορίτες και οι πηγματίτες, σε μεταμορφωμένα, κυρίως σε σχιστόλιθους και γνευσίους, αλλά και σε κλαστικά ιζήματα, αλλουβιακές αποθέσεις, θαλάσσιες και ποτάμιες άμμους (http://www.geo.auth.gr/212/1_neso/zircon.htm).

Στη σύσταση του ζιρκονίου συμμετέχουν τα οξείδια SiO_2 , ZrO_2 και HfO_2 . Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται οι μικροανλύσεις ζιρκονίων από τα δείγματα του Γλαρόκαβου και της Ν. Ηράκλειας. Μόνο δύο από τα αναλυθέντα ζιρκόνια παρουσιάζουν σημαντική περιεκτικότητα σε χάρνιο, ενώ οι συστάσεις των οξειδίων του Zr και του Si δεν παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις.

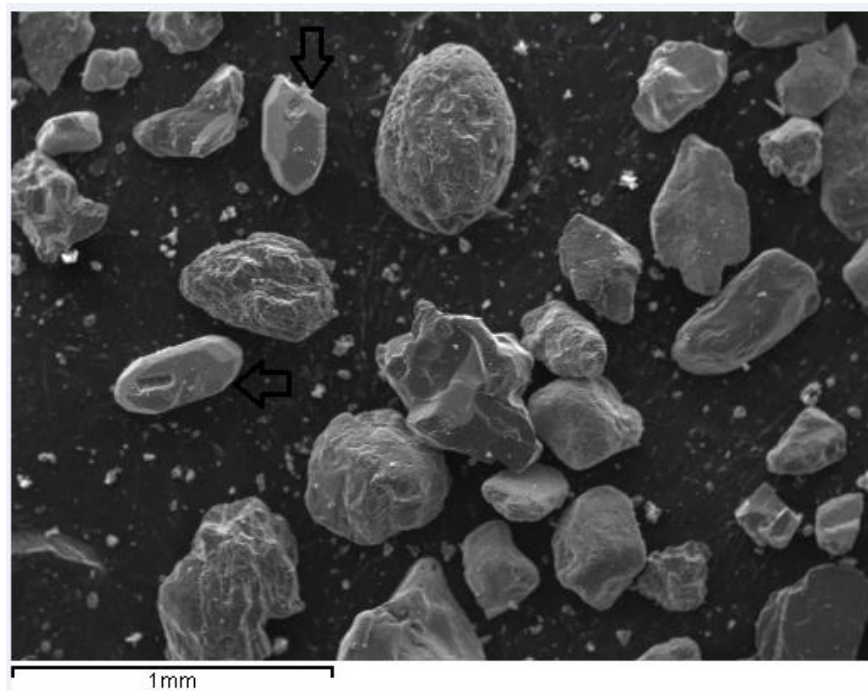
Οι κρύσταλλοι ζιρκονίου που εντοπίστηκαν είναι ιδιόμορφοι και το μέσο μήκος κρυστάλλων, μετρημένο ως προς τον άξονα c, είναι 400μm (Εικ. 6.1, 6.2 και 6.3). Τα ζιρκόνια του δείγματος της Ν. Ηράκλειας εμφανίζουν βιοτιτικά εγκλείσματα. Τα βιοτιτικά εγκλείσματα μπορούν να δώσουν πληροφορίες για τις φάσεις που ήταν παρούσες στο μάγμα κατά την κρυστάλλωση του ζιρκονίου (Bell et al., 2017). Μερικά εγκλείσματα είναι δυνατόν να δώσουν πληροφορίες και για το γεωτεκτονικό περιβάλλον σχηματισμού του μάγματος (Hopkins et al., 2008, 2010). Μία μελέτη σε γρανитоειδή της Ανταρκτικής από τους Jennings et al. (2011), έδειξε ότι τα βιοτιτικά εγκλείσματα στα ζιρκόνια έχουν ίδια χημική σύσταση με τον βιοτίτη του μητρικού πετρώματος.

Πίνακας 6.1. Μικροανλύσεις ζιρκονίων.

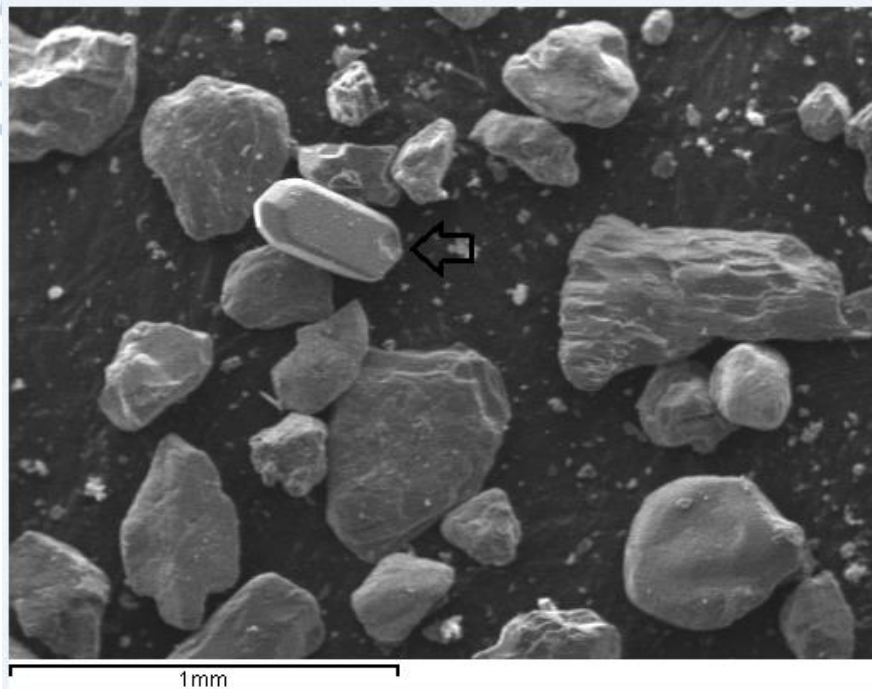
Γλαρόκαβος		Ηράκλεια						
Δείγμα	6a	2a	3a	3a	6a	6a	1a	1a
	1	1	2	3	4	5	6	7
SiO_2	31.61	32.42	32.59	32.66	32.53	32.07	32.46	32.57
ZrO_2	61.55	66.64	66.79	66.99	65.85	63.45	66.20	66.80
HfO_2	6.01	0.20	0.00	0.00	1.43	4.26	0.96	0.20
Σύνολο	99.17	99.25	99.38	99.65	99.81	99.78	99.62	99.57
Αριθμός Ιόντων με βάση τα 16 (O)								
Si	3,993	3.992	4.002	3.999	4.001	3.995	3.995	3.996
Zr	3,791	4.001	3.998	4.001	3.949	3.854	3.972	3.997
Hf	0.216	0.007	0.000	0.000	0.050	0.151	0.034	0.007



Εικόνα 6.1. Ιδιόμορφος κρύσταλλος ζirkονίου με βιοτιτικά εγκλείσματα, Ν. Ηράκλεια (Εικόνα απόSEM).



Εικόνα 6.2. Τα βέλη δείχνουν ιδιόμορφους κρυστάλλους ζirkονίου, Ν. Ηράκλεια (Εικόνα απόSEM).



Εικόνα 6.3. Τα βέλος δείχνει ιδιόμορφο κρύσταλλο ζirkονίου, Ν. Ηράκλεια (Εικόνα από SEM).

6.2 Τιτανίτης

Ο τιτανίτης είναι ένα νησοφυρτικό ορυκτό με χημικό τύπο $\text{CaTiO}(\text{SiO}_4)$ και είναι ένα σύνηθες επουσιώδες ορυκτό σε όξινα έως ενδιάμεσα πλουτωνικά πετρώματα, όπως είναι οι γρανίτες, οι μονζονίτες, οι συηνίτες και οι διορίτες και σπανιότερα βρίσκεται σε ηφαιστειακά και σε μεταμορφωμένα πετρώματα, δηλαδή γνευσίους, σχιστόλιθους, αμφιβολίτες και skarn, αλλά εντοπίζεται και ως ορυκτό αποσάθρωσης σε ιζηματογενή πετρώματα (http://www.geo.auth.gr/212/1_neso/titanite.html).

Ο τιτανίτης εντοπίστηκε μόνο στο δείγμα μαύρης άμμου από την παραλία της Ν. Ηράκλειας. Οι αναλογίες των κύριων οξειδίων (SiO_2 , TiO_2 και CaO) στη σύσταση των κόκκων τιτανίτη που αναλύθηκαν δεν παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις. Οι κόκκοι εμφανίζονται αποστρογγυλεμένοι, με ακανόνιστο σχήμα και σε μεγέθη που κυμαίνονται από 400 έως 500μm.

Ο τιτανίτης εντοπίστηκε μόνο στο δείγμα μαύρης άμμου από την παραλία της Ν. Ηράκλειας. Οι αναλογίες των κύριων οξειδίων (SiO_2 , TiO_2 και CaO) στη σύσταση των κόκκων τιτανίτη που αναλύθηκαν δεν παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις. Οι κόκκοι εμφανίζονται αποστρογγυλεμένοι, με ακανόνιστο σχήμα και σε μεγέθη που κυμαίνονται από 400 έως 500 μm .

Πίνακας 6.2. Μικροαναλύσεις σε κόκκους τιτανίτη.

Δείγμα	Ηράκλεια		
	3a	3a	5a
SiO_2	30.71	30.47	30.37
TiO_2	36.74	38.10	39.12
Al_2O_3	2.66	1.50	0.82
FeO	2.07	3.69	
MnO	0.28	0.26	0.23
MgO	0.56	0.21	0.27
CaO	25.65	25.39	27.14
V_2O_5	1.04		0.98
Σύνολο	99.70	99.62	98.93
Αριθμός ιόντων με βάση τα 4 (Si)			
Si	4.000	4.000	4.000
Ti	3.598	3.761	3.874
Al	0.408	0.232	0.127
Y	4.006	3.994	4.001
Fe	0.225	0.405	0.000
Mn	0.031	0.029	0.026
Mg	0.108	0.040	0.053
Ca	3.578	3.571	3.830
Na	0.000	0.000	0.000
V	0.108	0.000	0.103
K	0.000	0.000	0.000
X	4.051	4.046	4.012

6.3 Ρουτίλιο

Το ρουτίλιο (TiO_2) είναι ένα μεταλλικό ορυκτό που αποτελείται κυρίως από οξείδιο του τιτανίου και σε μικρές μόνο ποσότητες μπορεί να περιέχει σίδηρο, νίβιο και ταντάλιο. Είναι κοινό ορυκτό των πηγματιτών, των skarn, των γνευσίων και των σχιστολίθων. Η σκληρότητα του (6-6,5 Mohs) και το μεγάλο ειδικό βάρος, το καθιστά ορυκτό που σχηματίζει προσχωματικά κοιτάσματα θαλάσσιας άμμου (<https://www.sandatlas.org/rutile/>).

Ρουτίλιο εντοπίστηκε και στα δύο δείγματα μαύρης άμμου που είναι υπό εξέταση. Όπως διαπιστώθηκε από τις μικροαναλύσεις, οι κόκκοι ρουτίλιου και των δύο περιοχών περιέχουν Al_2O_3 και CaO σε ποσοστό <1% κ.β. Τα ρουτίλια από το δείγμα της Ν. Ηράκλειας παρουσίασαν υψηλότερο ποσοστό FeO και Nb_2O_5 (1,85% κ.β. και 1,78% κ.β., αντίστοιχα) ενώ τα ρουτίλια από το δείγμα του Γλαρόκαβου παρουσίασαν το υψηλότερο ποσοστό Ta_2O_5 και WO_3 (5,42% κ.β. και 2,00% κ.β., αντίστοιχα).

Πίνακας 6.3. Μικροανάλυσεις σε κόκκους ρουτιλίου.

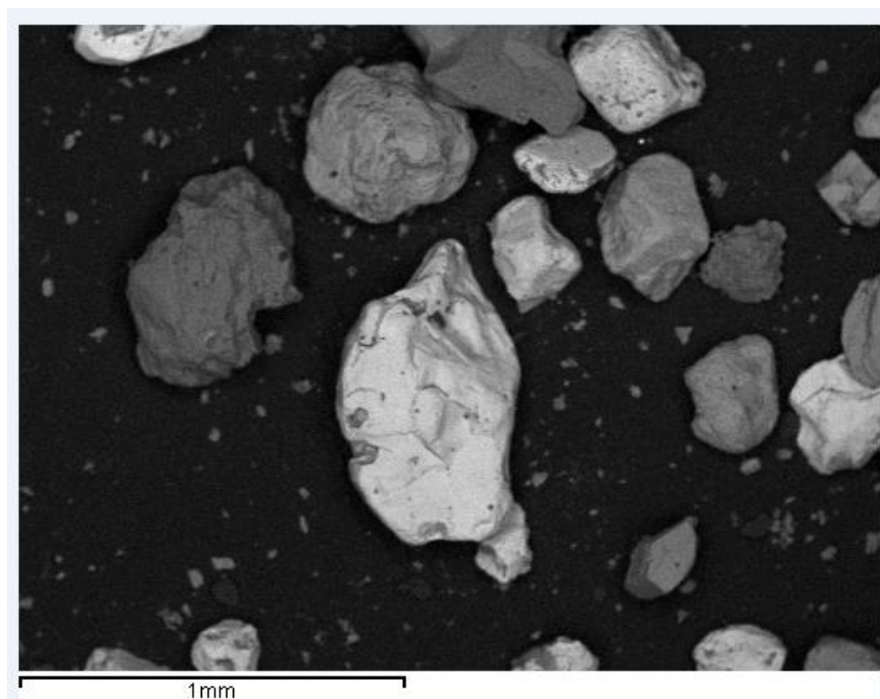
Γλαρόκαβος						Ηράκλεια						
Δείγμα	4a	8a	9a	7a	8a	2a	3a	4a	4a	1a	2a	8a
SiO ₂	5.53	2.27	1.34		1.39	0.94	0.43	1.77			0.67	0.15
TiO ₂	90.80	96.81	96.37		96.87	96.87	96.03	96.66	95.61	91.88	96.43	97.43
Al ₂ O ₃	0.94		0.64			0.46	0.36	0.30	0.21		0.32	0.34
FeO	1.80	0.04				0.38	1.85	0.59	0.46	1.33	0.32	
CaO	0.38		0.14			0.29	0.10	0.07	0.07	0.2	0.86	0.24
MnO		0.53	0.67		0.58	0.20	0.10				0.13	
Nb ₂ O ₅			1.03		0.11		0.22	0.26	1.52	1.78		0.11
Ta ₂ O ₅		0.15			5.42				0.78	2.37	0.85	
WO ₃				2.00	0.37	0.45			0.95	1.61	0.04	1.55
Σύνολο	99.45	99.80	100.19	100.26	99.97	99.57	99.10	99.64	99.59	99.17	99.62	99.82
Αριθμός ιόντων με βάση τα 8 (O)												
Si	0.073	0.030	0.018	0.019	0.000	0.013	0.006	0.024	0.000	0.000	0.009	0.002
Ti	0.903	0.966	0.962	0.971	0.968	0.974	0.976	0.967	0.974	0.957	0.974	0.983
Al	0.015	0.000	0.010	0.000	0.000	0.007	0.006	0.005	0.003	0.000	0.005	0.005
Fe	0.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.021	0.007	0.005	0.015	0.004	0.000
Ca	0.005	0.000	0.002	0.000	0.000	0.004	0.001	0.001	0.001	0.003	0.012	0.004
Mn	0.000	0.006	0.008	0.000	0.007	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
Nb	0.000	0.000	0.006	0.000	0.001	0.000	0.001	0.002	0.009	0.011	0.000	0.001
Ta	0.000	0.001	0.000	0.000	0.020	0.000	0.000	0.000	0.003	0.009	0.003	0.000
W	0.000	0.000	0.000	0.007	0.001	0.002	0.000	0.000	0.003	0.006	0.000	0.005
Σύνολο	1.016	1.003	1.006	0.997	0.998	1.006	1.013	1.005	0.999	1.001	1.009	1.000

6.4 Επίδοτο και Αλλανίτη

Το επίδοτο είναι σωροπυριτικό ορυκτό με χημικό τύπο $\text{Ca}_2(\text{Al,Fe})_3\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$ και βρίσκεται σε πετρώματα περιοχικής θερμικής μεταμόρφωσης, όπως είναι οι σχιστόλιθοι, οι γνεύσιοι, οι αμφιβολίτες, οι χαλαζίτες, οι φυλλίτες, τα μάρμαρα, τα skarns και οι κερατίτες. Ακόμα βρίσκεται στα πυριγενή πετρώματα ως μαγματικό ή ως δευτερογενές ορυκτό, ενώ αποτελεί και προϊόν αλλοίωσης των πλαγιокλάστων (http://www.geo.auth.gr/106/8_silicates/soro/epidote.htm).

Ο αλλανίτης ανήκει στην οικογένεια του επιδότου, είναι ένα ορυκτό πλούσιο σε σπάνιες γαίες με γενικό χημικό τύπο $(\text{Ca,Ce,La})_2(\text{Fe}^{2+},\text{Fe}^{3+},\text{Al})_3\text{O}(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{SiO}_4)(\text{OH})$ και βρίσκεται ως επουσιώδες ορυκτό το οποίο κρυσταλλώνεται κατά το πνευματολυτικό στάδιο, σε όξινα έως ενδιάμεσα πυριγενή πετρώματα και σε μεταμορφωμένα πετρώματα, κυρίως σε γνευσίους, σχιστόλιθους και skarn.

Το επίδοτο βρέθηκε στα δείγματα μαύρης άμμου της Ν. Ηράκλειας και του Γλαρόκαβου, ενώ ο αλλανίτης μόνο στο δείγμα της Ν. Ηράκλειας (Εικ. 6.4). Μικροανάλυσεις επιδότου και αλλανίτη δίνονται στον πίνακα 6.4. Οι κόκκοι αλλανίτη που αναλύθηκαν περιέχουν λανθάνιο, δημήτριο, νεοδύμιο, ουράνιο και θόριο. Ο αλλανίτης θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως δημητριούχος αλλανίτης.



Εικόνα 6.4. Στο κέντρο της εικόνας, ως φωτεινότερο ορυκτό, εμφανίζεται κόκκος αλλανίτη από το δείγμα της Ν. Ηράκλειας.

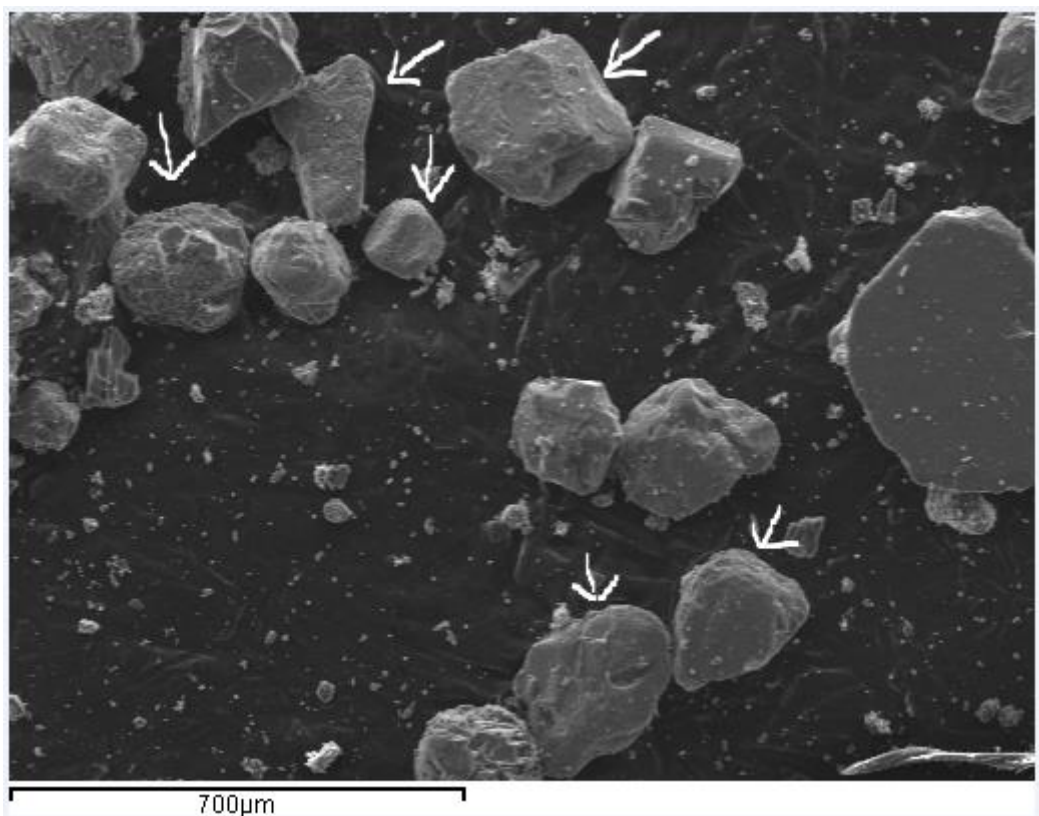
Πίνακας 6.4. Μικροανάλυσεις σε κόκκους επιδότου και αλλανίτη.

Γλαρόκαβος									Ηράκλεια						
Δείγμα	6a	8a	8a	9a	9a	9a	1a		2a	4a	6a	6a	1a	2a	7a
SiO ₂	38.98	37.89	37.63	37.68	37.79	33.78	36.14		34.83	32.50	32.41	32.02	31.81	23.85	36.33
TiO ₂	0.19		0.31			3.16									
Al ₂ O ₃	25.91	26.32	27.43	23.62	23.01	14.12	18.21		15.74	15.9	17.13	17.40	17.48	13.63	26.26
FeO*	9.51	10.18	10.62	12.85	13.86	22.02	21.13		25.16	13.15	13.39	13.88	10.02	19.45	12.09
MgO	0.33		0.68	0.66	0.70	1.27	0.48		0.57	1.83	2.40	0.50	2.74	1.03	0.00
MnO		0.64	0.18	1.62	0.56	1.51	0.31		1.04	0.89	0.00	0.70	0.98	4.06	0.73
CaO	23.67	24.22	19.64	21.85	21.87	22.66	22.24		20.41	13.35	14.71	13.18	12.54	10.16	23.62
Na ₂ O			2.84	1.43	0.83	0.03			1.53						0.36
K ₂ O	0.51	0.07	0.22	0.03	0.72	0.37	1.24		0.44						
La ₂ O ₃										5.35	4.65	6.90	6.69	7.13	
Ce ₂ O ₃										10.19	10.30	9.79	12.35	11.29	
Nd ₂ O ₃										2.62	1.50	3.53	2.97	5.11	
UO ₃										0.96	0.16	0.02		3.32	
ThO ₂										3.24	2.57	1.51	1.98	0.52	
Σύνολο	99.10	99.32	99.56	99.74	99.34	98.92	99.75		99.73	99.88	99.23	99.43	99.55	99.32	99.39
Αριθμός ιόντων με βάση τα 8 κατιόντα															
Si	2.995	2.915	2.811	2.876	2.907	2.724	2.844		2.743	2.962	2.888	2.933	2.904	2.325	2.794
Al	0.005	0.085	0.189	0.124	0.093	0.276	0.156		0.257	0.038	0.112	0.067	0.096	0.675	0.206
T	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000		3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
Ti	0.011	0.000	0.018	0.000	0.000	0.192	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Al	2.341	2.301	2.226	2.001	1.993	1.066	1.533		1.204	1.675	1.687	1.811	1.785	0.907	2.174
Fe ³⁺	0.611	0.655	0.663	0.820	0.892	1.486	1.391		1.658	1.005	0.997	1.063	0.765	1.601	0.778
Mg	0.038	0.000	0.076	0.075	0.080	0.153	0.056		0.067	0.250	0.319	0.069	0.373	0.151	0.000
Mn	0.000	0.042	0.011	0.105	0.037	0.103	0.020		0.070	0.069	0.000	0.055	0.076	0.339	0.047
M	3.001	2.998	2.994	3.001	3.002	3.000	3.000		2.999	2.999	3.003	2.998	2.999	2.998	2.999
Ca	1.949	1.996	1.572	1.786	1.803	1.959	1.875		1.722	1.308	1.405	1.293	1.226	1.072	1.947
Na	0.000	0.000	0.412	0.211	0.125	0.005	0.000		0.234	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.054
K	0.050	0.007	0.021	0.003	0.071	0.038	0.125		0.044	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
La	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.180	0.153	0.233	0.225	0.259	0.000
Ce	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.341	0.336	0.328	0.413	0.407	0.000
Nd	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.086	0.048	0.115	0.097	0.180	0.000
U	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.019	0.003	0.000	0.000	0.073	0.000
Th	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.067	0.052	0.032	0.041	0.012	0.000
A	1.999	2.003	2.005	2.000	1.999	2.002	2.000		2.000	2.001	1.997	2.001	2.002	2.003	2.001

6.5 Μαγνητίτης και Ιλμενίτης

Ο μαγνητίτης είναι οξείδιο του σιδήρου, ανήκει στην ομάδα των σπινελίων και έχει χημικό τύπο Fe_3O_4 . Ο ιλμενίτης είναι οξείδιο του τιτανίου και του σιδήρου, με χημικό τύπο FeTiO_3 και βρίσκονται ως επουσιώδη ορυκτά στα πυριγενή και στα μεταμορφωμένα πετρώματα (<https://www.sandatlas.org/ilmenite/>). Λόγω της ανθεκτικότητάς τους έναντι στην διάβρωση, μπορεί να βρεθούν σε θαλάσσιες άμμους σε ποσότητες ικανές να χαρακτηρίσουν μία εμφάνιση ως εκμεταλλεύσιμο κοίτασμα.

Τα δείγματα μαύρης άμμου του Γλαρόκαβου και της Ν. Ηράκλειας περιέχουν μεγάλη ποσότητα των δύο ορυκτών. Οι κόκκοι μαγνητίτη εμφανίζονται αποστρογγυλεμένοι, ενώ οι κόκκοι ιλμενίτη έχουν μία πιο πινακοειδή μορφή. Τα μεγέθη των δύο ορυκτών ποικίλουν. Μικροαναλύσεις μαγνητίτη και ιλμενίτη δίνονται στον πίνακα 6.5.



Εικόνα 6.5. Τα λευκά βέλη δείχνουν κόκκους μαγνητίτη, οι οποίοι ποικίλουν σε σχήμα και μέγεθος (Εικόνα από SEM).

Πίνακας 6.5. Μικροανλύσεις κόκκων μαγνητίτη και ιλμενίτη.

Μαγνητίτης							Ιλμενίτης					
Γλαρόκαβος				Ηράκλεια			Γλαρόκαβος			Ηράκλεια		
Δείγμα	1a	3a	7a	8a	1a	2a	4a	9a	2a	3a	6a	8a
SiO ₂	4.41	1.48	1.01	2.39	2.97	0.76	1.37	1.28	2.54	1.40	0.20	2.58
TiO ₂	1.43		10.81	4.05	0.65	4.13	37.57	46.64	48.23	49.47	48.07	47.65
Al ₂ O ₃	0.83	0.75	0.69	1.98	1.64	0.41	0.59	0.22	1.14	0.29	0.36	2.06
FeO	79.31	88.00	78.29	82.73	87.46	87.66	55.22	44.91	43.12	44.52	44.92	45.36
MnO	0.05		0.78	0.38			0.65	0.09	1.61	0.60	0.81	1.36
MgO	3.18	1.70		2.04	0.44		0.27		0.43	0.28		0.58
CaO	0.57	0.26				0.46	0.45	0.38	0.44	0.16	0.66	0.19
CrO ₃	1.48	0.66		0.16	0.24		0.54	1.17	0.64		0.43	
ZnO	1.33	0.84	1.61	0.13		0.01		1.75	0.55	1.22	0.30	0.19
V ₂ O ₃	1.58		2.38	0.25	0.06	0.06		2.81	0.54	1.00	1.59	
NiO		0.19					0.77		0.70	0.49	0.73	
Σύνολο	94.17	93.87	95.57	94.11	93.46	93.49	97.43	99.24	99.93	99.43	98.07	99.97
Επαναυπολογισμόςwt%												
Fe ₂ O ₃	53.2	65.0	42.2	53.6	58.3	58.3	23.9	3.9	0.2	0.8	3.7	2.5
FeO	31.5	29.5	40.3	34.5	35.0	35.2	33.7	41.4	43.0	43.8	41.6	43.1
Σύνολο	99.5	100.4	99.8	99.5	99.3	99.3	99.8	99.6	99.9	99.5	98.4	100.2
Αριθμός ιόντων με βάση 4 (O)							Αριθμός ιόντων με βάση 3 (O)					
Si	0.16	0.06	0.04	0.09	0.11	0.03	0.03	0.03	0.06	0.04	0.01	0.06
Ti	0.04	0.00	0.31	0.11	0.02	0.12	0.72	0.89	0.90	0.94	0.93	0.88
Al	0.04	0.03	0.03	0.09	0.07	0.02	0.02	0.01	0.03	0.01	0.01	0.06
Fe ⁺³	1.47	1.83	1.20	1.50	1.66	1.68	0.46	0.07	0.00	0.02	0.07	0.05
Fe ⁺²	0.97	0.93	1.28	1.07	1.11	1.13	0.72	0.87	0.89	0.92	0.89	0.89
Mn	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.03	0.01	0.02	0.03
Mg	0.17	0.09	0.00	0.11	0.02	0.00	0.01	0.00	0.02	0.01	0.00	0.02
Ca	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.02	0.01
Na	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr	0.04	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	0.04	0.02	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.02	0.01	0.00
V	0.05	0.00	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.06	0.01	0.02	0.03	0.00
Ni	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.01	0.02	0.00
Nb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Σύνολο	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	2.01	2.00	2.00	2.00	2.01	2.00

6.6 Βιοτίτης

Ο βιοτίτης είναι φυλλοπυριτικό ορυκτό της ομάδας των μαρμαρυγιών με χημικό τύπο $K(Mg,Fe)_3(AlSi_3)O_{10}(OH)_2$ και βρίσκεται σε όλες τα κατηγορίες των πετρωμάτων (http://www.geo.auth.gr/106/8_silicates/phyllo/biotite.htm). Ο βιοτίτης δεν είναι πολύ ανθεκτικό ορυκτό, βρέθηκε σε μικρή ποσότητα μόνο στο δείγμα μαύρης άμμου της Ν. Ηράκλειας, κυρίως υπό την μορφή εγκλεισμάτων σε κρυστάλλους ζιρκονίου.

Πίνακας 6.6. Μικροαναλύσεις σε κόκκους και εγκλείσματα βιοτίτη.

Δείγμα	Ηράκλεια			
	1a	2a	3a	8a
SiO ₂	51.06	35.18	37.58	39.92
TiO ₂	0.59	5.34	0.57	1.90
Al ₂ O ₃	29.34	18.74	21.36	22.12
FeO	2.16	17.35	19.72	15.76
MnO		0.55	0.75	
MgO	2.23	8.49	5.80	6.47
CaO		1.21	1.57	0.27
Na ₂ O	0.07	0.75	0.84	0.74
K ₂ O	9.74	8.14	7.55	8.73
Σύνολο	95.18	95.76	95.73	95.90
Αριθμός ιόντων με βάση τα 22 (O)				
Si	6.755	5.287	5.629	5.809
Al IV	1.245	2.713	2.371	2.191
Z	8.000	8.000	8.000	8.000
Al VI	3.331	0.607	1.401	1.602
Ti	0.059	0.604	0.064	0.208
Fe ₃	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe ₂	0.239	2.180	2.470	1.917
Mn	0.000	0.071	0.095	0.000
Mg	0.439	1.902	1.296	1.403
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000
Ni	0.000	0.000	0.000	0.000
Y	4.068	5.365	5.325	5.130
Ca	0.000	0.194	0.252	0.041
Na	0.017	0.219	0.245	0.209
K	1.643	1.560	1.444	1.621
X	1.660	1.973	1.940	1.872

6.7 Αμφίβολοι

Οι αμφίβολοι είναι μία ομάδα ινοπυριτικών ορυκτών με γενικό χημικό τύπο $(Na,K)(A)_2(B)_5Si_8O_{22}(OH,F)_2$. Το Si των αμφιβόλων μπορεί να αντικατασταθεί από Al ή Ti, όπου $A=Na,Ca,Fe^{+2},Li,Mn^{+2},Al,[Zn,Ni,Co]$ και όπου $B=Fe^{+3},Mn^{+3},Cr,Al,Ti^{+4},Fe^{+2},Li,Mn^{+2}$ (<https://el.wikipedia.org/wiki/Αμφίβολοι>).

Στα δύο δείγματα μαύρης άμμου εντοπίστηκαν αμφίβολοι, οι οποίοι και αναλύθηκαν προκειμένου να ταξινομηθούν (Πίν. 6.7). Η εμφάνιση αμφιβόλων είναι

πιο συχνή στο δείγμα της Ν. Ηράκλειας. Οι κόκκοι των αμφιβόλων έχουν μέσο μήκος 1mm.

Πίνακας 6.7. Μικροανaluύσεις σε κόκκους αμφιβόλων.

Γλαρόκαβος		Ηράκλεια			
Δείγμα	6a	2a	3a	3a	1a
SiO ₂	48.90	45.32	45.97	48.14	40.94
TiO ₂	0.09	1.62	1.59	1.84	
Al ₂ O ₃	22.63	8.99	9.69	9.16	23.30
FeO	7.87	16.33	14.14	10.75	19.25
MnO	0.83	0.94	0.24	0.77	0.34
MgO	1.47	9.51	12.28	12.78	6.01
CaO	12.31	12.36	10.07	10.74	7.45
Na ₂ O	2.90	1.09	1.05	1.52	
K ₂ O	0.29	1.48	1.32	1.61	0.16
Cr ₂ O ₃		0.52	0.32	0.31	0.24
NiO	0.42		0.50	0.13	
Σύνολο	16.680	17.50	17.11	17.37	16.98
Αριθμός ιόντων με βάση 23 (O)					
Si	6.861	6.792	6.672	6.989	6.007
Aliv	1.139	1.208	1.328	1.011	1.993
Alvi	2.603	0.381	0.329	0.556	2.034
Ti	0.009	0.183	0.173	0.201	0.000
Cr	0.000	0.061	0.037	0.036	0.028
Fe ³⁺	0.000	0.000	0.944	0.000	0.000
Fe ²⁺	0.924	2.046	0.772	1.305	2.361
Mn	0.098	0.119	0.029	0.095	0.042
Mg	0.307	2.125	2.658	2.767	1.314
Ni	0.047	0.000	0.058	0.015	0.000
Ca	1.850	1.984	1.566	1.670	1.171
Na	0.790	0.318	0.295	0.428	0.000
K	0.052	0.282	0.245	0.298	0.029
OH*	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Σύνολο	16.680	17.500	17.106	17.371	16.980
Ταξινόμηση	αργιλο-σιδηροεδενίτης	καλιούχος εδενίτης	σιδηροκεροσίλβη	καλιούχος κεροσίλβη	ασβεστούχος γκεδρίτης

6.8 Χλωρίτες

Οι χλωρίτες είναι ομάδα φυλλοπυριτικών ορυκτών με γενικό χημικό τύπο (Mg,Fe,Al)₆(Si,Al)₄O₁₀(OH)₈. Βρίσκονται σε πυριγενή πετρώματα ως προϊόντα αλλοίωσης σιδηρομαγνησιούχων ορυκτών, σε μεταμορφωμένα πετρώματα και σε αργιλούχα ιζηματογενή (http://www.geo.auth.gr/106/8_silicates/phyll/chlorite.htm).

Βρέθηκαν ορυκτά της ομάδας των χλωριτών και στα δύο δείγματα μαύρης άμμου, σε μεγέθη κόκκων που κυμαίνονται από 0.8-1.0mm. Μικροανaluύσεις χλωριτών δίνονται στον πίνακα 6.8.

Πίνακας 6.8. Μικροαναλύσεις σε κόκκους χλωριτών.

Δείγμα	Γλαρόκαβος					Ηράκλεια				
	5a	8a	1a	1a		3a	6a	8a	1a	
SiO ₂	23.29		29.75	34.21	35.01	25.66	25.45	40.81	25.03	
TiO ₂	0.22		0.31	0.75		14.49	0.18	0.39	0.25	
Al ₂ O ₃	9.00		17.94	16.43	14.55	10.09	22.96	17.77	19.86	
FeO	46.26		11.38	1.81	5.29	25.47	35.49	14.66	36.30	
MnO	2.88		0.27		0.31	0.25		0.63	0.69	
MgO	4.26		26.76	32.37	29.45	5.97	2.93	9.07	4.27	
CaO	0.21		0.47	0.51		3.91	0.37	0.88	2.39	
Na ₂ O	0.74		0.19		0.66	1.98	0.10	0.39		
K ₂ O	0.95				0.19	0.04		1.80		
BaO							0.81			
Cr ₂ O ₃	2.65		0.97	0.43	1.50					
NiO				0.67		0.32	0.06			
Αριθμός ιόντων με βάση τα 28 (Ο)										
SiO ₂	23.29		29.75	34.21	35.01	25.66	25.45	40.81	25.03	
TiO ₂	0.22		0.31	0.75	0.00	14.49	0.18	0.39	0.25	
Al ₂ O ₃	9.00		17.94	16.43	14.55	10.09	22.96	17.77	19.86	
Cr ₂ O ₃	2.65		0.97	0.43	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	
Fe ₂ O ₃	0.00		0.00	2.01	1.92	5.39	3.76	12.44	1.45	
FeO	46.26		11.38	0.00	3.56	20.63	32.11	3.47	34.99	
MnO	2.88		0.27	0.00	0.31	0.25	0.00	0.63	0.69	
MgO	4.26		26.76	32.37	29.45	5.97	2.93	9.07	4.27	
NiO	0.00		0.00	0.67	0.00	0.32	0.06	0.00	0.00	
CaO	0.21		0.47	0.51	0.00	3.91	0.37	0.88	2.39	
Na ₂ O	0.74		0.19	0.00	0.66	1.98	0.10	0.39	0.00	
K ₂ O	0.95		0.00	0.00	0.19	0.04	0.00	1.80	0.00	
BaO	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.81	0.00	0.00	
H ₂ O*	9.85		12.27	12.85	12.58	10.94	10.85	12.20	10.74	
Σύνολο	100.30		100.32	100.23	99.75	99.67	99.58	99.84	99.67	
Ταξινόμηση	Δαφνίτης	Καμμερερίτης	Πεννίτης	Πεννίτης		Ριπιδόλιθος	Δαφνίτης	Διαβαντίτης	Δαφνίτης	

6.9 Άστριοι

Οι άστριοι είναι ομάδα τεκτοφυρικών ορυκτών με ακραία μέλη τους καλιούχους αστρίους (KAlSi₃O₈), τον αλβίτη (NaAlSi₃O₈) και τον ανορθίτη (CaAl₂Si₂O₈) και είναι η πιο διαδεδομένη ομάδα ορυκτών στην φύση (<https://www.sandatlas.org/feldspar/>). Στα δείγματα μαύρης άμμου έγιναν μικροαναλύσεις καλιούχων αστρίων και πλαγιокλάστων (Πίν. 6.9).

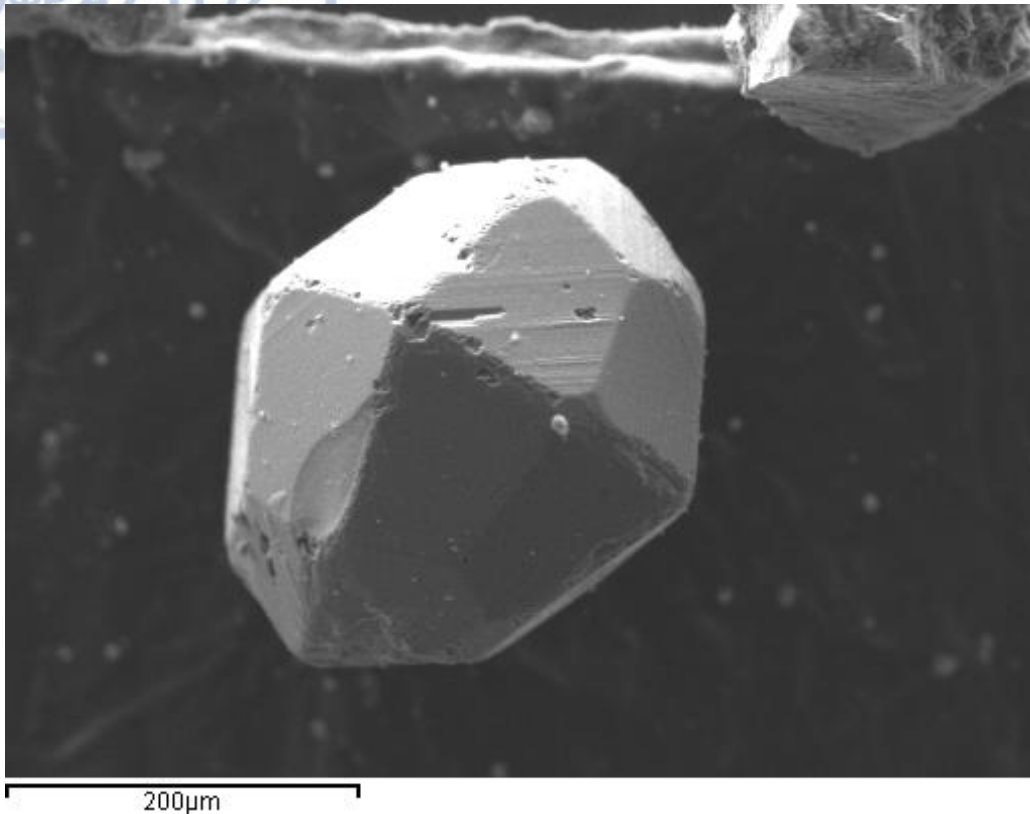
Πίνακας 6.9. Μικροανάλυσεις σε κόκκους καλιούχων αστρίων και πλαγιокλάστων.

Δείγμα	Γλαρόκαβος		Ηράκλεια			
	5a	5a	1a	3a	5a	2a
SiO ₂	63.56	61.94	68.43	67.93	65.17	62.90
Al ₂ O ₃	17.79	18.31	19.19	18.19	18.50	18.03
FeO	2.07	1.86	0.29	1.84	0.05	1.39
CaO	1.04	1.08	0.09	0.20		0.41
Na ₂ O	1.72		11.06	11.18	1.80	
K ₂ O	13.40	15.20	1.02	0.68	14.34	15.97
BaO	0.13	1.87	0.04			1.22
Σύνολο	99.71	100.26	100.12	100.02	99.86	99.92
Αριθμός ιόντων με βάση 8 (O)						
Si	2.947	2.912	2.997	2.989	2.996	2.951
Al	0.972	1.014	0.991	0.943	1.002	0.997
Fe ³⁺	0.080	0.073	0.011	0.068	0.002	0.054
Z	3.999	4.000	3.999	4.000	4.001	4.002
Ca	0.051	0.054	0.004	0.009	0.000	0.021
Na	0.155	0.000	0.939	0.954	0.160	0.000
K	0.793	0.911	0.057	0.038	0.841	0.956
Ba	0.002	0.035	0.001	0.000	0.000	0.022
X	1.001	1.000	1.001	1.001	1.002	0.999
Ακραία μέλη						
Or (K)	79.2	91.1	5.7	3.8	84.0	95.7
Ab (Na)	15.4	0.0	93.8	95.3	16.0	0.0
An (Ca+Mn+Mg)	5.1	5.4	0.4	0.9	0.0	2.1
Cn (Ba)	0.2	3.5	0.1	0.0	0.0	2.3

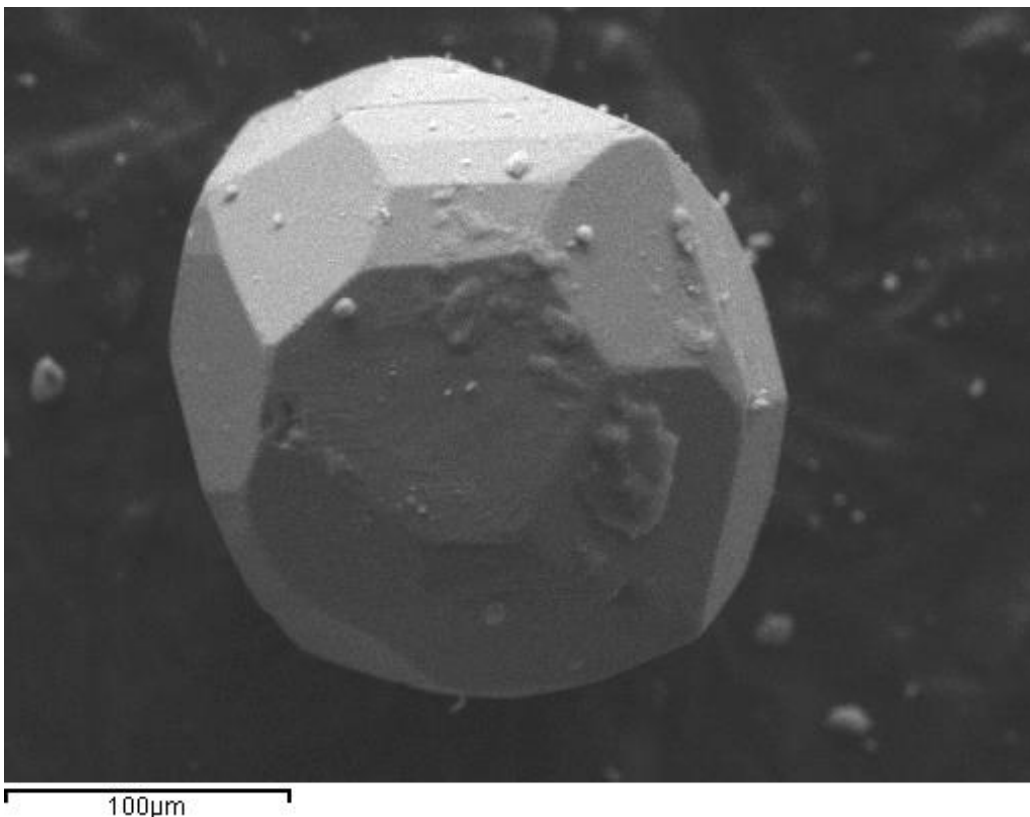
6.10 Γρανάτες

Οι γρανάτες είναι ομάδα νησοφυρικών ορυκτών με γενικό χημικό τύπο $X_3^{2+}Y_2^{3+}(SiO_4)_3$, όπου $X=Mg, Fe, Mn, Ca$ και όπου $Y=Al, Cr, Fe$. Βρίσκονται κυρίως σε μεταμορφωμένα πετρώματα και ενίοτε σε κάποια πυριγενή. Το γεγονός ότι έχουν μεγάλη σκληρότητα, 6.5- 7.5 στην κλίμακα Mohs, και μεγάλη αντοχή έναντι στη διάβρωση, καθιστά τους γρανάτες συχνό συστατικό των αμμοδών ιζημάτων (<https://www.sandatlas.org/garnet/>).

Και τα δύο δείγματα μαύρης άμμου περιέχουν γρανάτες με σύσταση που ποικίλει ακόμα και στο ίδιο το δείγμα. Οι γρανάτες της παραλίας Γλαρόκαβος είναι πολύ συχνά ιδιόμορφοι κρύσταλλοι, ενώ οι γρανάτες της παραλίας της Ν. Ηράκλειας εμφανίζονται σπασμένοι και αποστρογγυλεμένοι.



Εικόνα 6.6. Κρύσταλλος σύστασης 61.38% σπεςσαρτίνη, 17.55% αλμανδίνη, από το δείγμα μαύρης άμμου της παραλίας Γλαρόκαβος (Εικόνα από SEM).



Εικόνα 6.7. Κρύσταλλος σύστασης 58.54% σπεςσαρτίνη, 21.53% αλμανδίνη από το δείγμα μαύρης άμμου της παραλίας Γλαρόκαβος (Εικόνα από SEM).

Πίνακας 6.10. Μικροανάλυσεις σε γρανάτες από την παραλία Γλαρόκαβος.

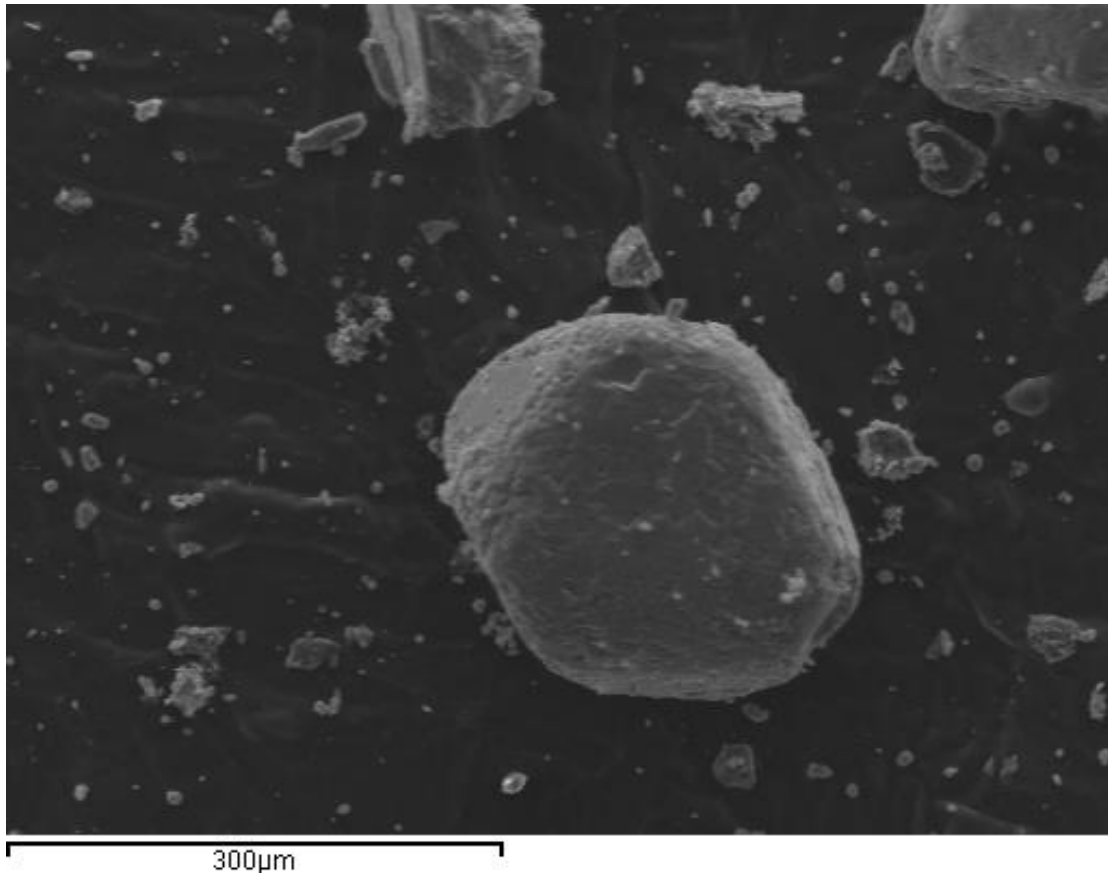
Γλαρόκαβος														
Δείγμα	1a	7a	9a	9a	1a	1a	1a	1a	1a	1a	5a	5a	8a	9a
SiO ₂	35.92	37.61	41.29	36.19	38.15	35.85	38.71	36.70	35.00	37.62	36.22	36.48	36.48	36.48
TiO ₂		0.16			1.43			1.24	4.93		0.62		0.52	0.52
Al ₂ O ₃	17.21	22.50	21.16	3.73	18.46	19.93	18.09	18.58	19.23	19.67	20.43	16.01	18.51	18.51
Cr ₂ O ₃				5.23	0.21	1.11	0.36		0.22		0.09			
FeO / FeO _{tot}	17.85	21.21	20.24	22.85	18.34	17.84	17.37	15.51	21.25	30.97	20.80	18.75	17.15	17.15
MnO	26.30	7.06	0.52	0.68	16.26	23.95	12.43	25.35	8.24	1.56	20.37	18.87	24.34	24.34
MgO	0.82	5.66	10.12	0.33	0.90		1.49	2.39	2.40	6.21	1.31		1	1
CaO	2.00	5.49	6.13	31.17	5.06	1.08	10.64	0.26	8.04	3.99	0.09	9.36	1.17	1.17
Na ₂ O			0.77		0.96		0.66		0.72		0.07	0.55	0.31	0.31
Σύνολο	100.10	99.68	100.21	100.19	99.76	99.76	99.76	100.02	100.02	100.02	100.02	100.02	99.47	99.47
Επαναυπολογισμός (wt%)														
τελικό FeO	12.29	20.86	19.40	2.07	17.91	17.22	14.34	14.73	20.02	27.23	20.47	9.95	14.72	14.72
τελικό Fe ₂ O ₃	6.18	0.39	0.93	23.10	0.48	0.68	3.36	0.86	1.37	4.15	0.37	9.77	2.70	2.70
τελικό MnO	26.30	7.06	0.52	0.68	16.26	23.95	12.43	25.35	8.24	1.56	20.37	18.87	24.34	24.34
τελικό Mn ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Σύνολο	100.72	99.72	100.31	102.50	99.81	99.82	100.09	100.10	100.17	100.43	100.06	100.99	99.74	99.74
ακραία μέλη														
Al-Σκορλομίτης		0.47%							9.83%		0.28%			
Μοριμοτοίτης								0.75%						
NaΤίγγραντης					4.36%				5.02%				1.62%	
Fe-Μοριμοτοίτης								6.86%						
Ματζορίτης					2.35%			0.19%						
Ουβαροβίτης				16.83%	0.68%	3.20%	1.13%		0.69%					
Κνορρινγκίτης											0.31%			
Σπεσσαρτίνης	61.38%	15.59%	1.09%	1.57%	37.15%	56.01%	28.01%	58.54%	18.62%	3.48%	47.09%	43.45%	56.68%	56.68%
Πυρωπό	3.38%	21.98%	37.69%	1.34%	0.48%		5.89%	9.47%	9.54%	24.30%	5.04%		4.10%	4.10%
Αλμανδίνης	17.55%	45.48%	40.54%	4.69%	40.40%	39.77%	31.90%	21.53%	44.69%	59.80%	44.79%	22.62%	29.17%	29.17%
Γροσσουλάριος		14.85%	14.14%	7.57%	9.99%		19.25%		8.08%	1.91%		9.57%		
Ανδραδίτης	5.90%		2.26%	66.18%	1.45%		9.95%		2.73%	9.30%		17.69%	2.90%	2.90%
Σκιαγίτης	10.77%					0.00%		2.65%			1.13%		4.68%	4.68%
υπόλοιπο	1.02%	1.63%	4.27%	1.82%	3.16%	1.02%	3.88%	0.00%	0.80%	1.21%	1.36%	6.67%	0.85%	0.85%
Σύνολο	100.00%	100.00%	99.99%	100.00%	100.02%	100.00%	100.01%	99.99%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

Πίνακας 6.11. Μικροανάλυσεις σε γρανάτες από την παραλία της Ν. Ηράκλειας.

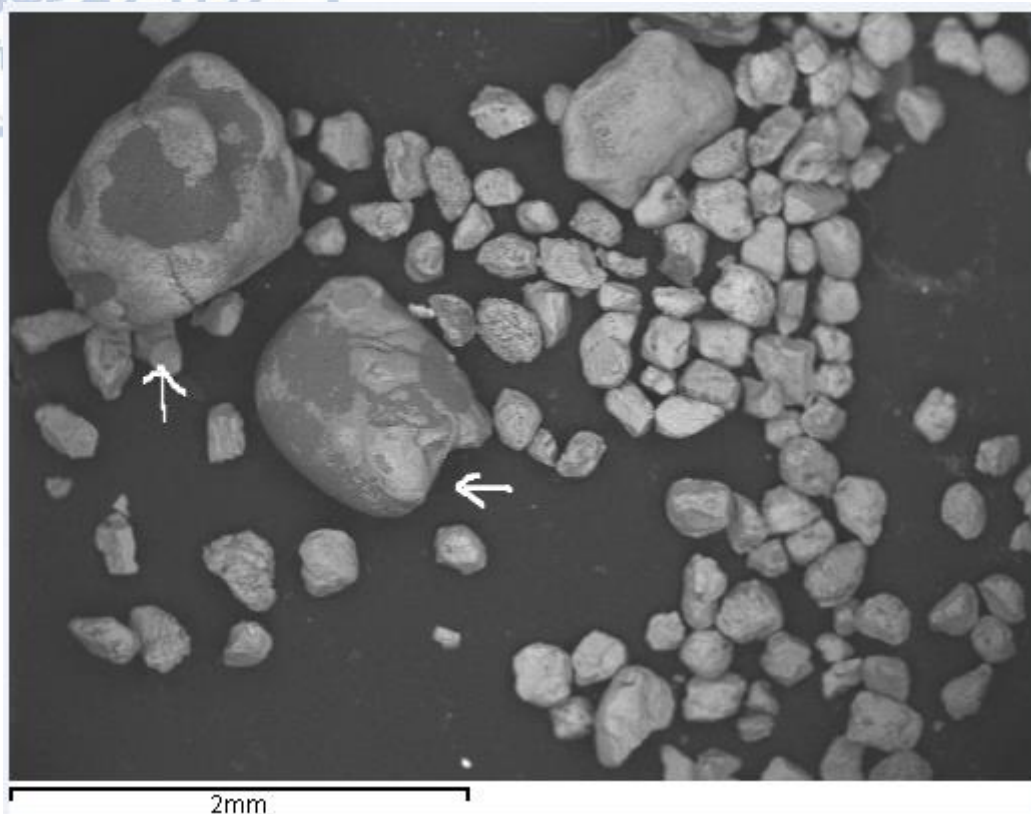
Ν. Ηράκλεια													
	5a	8a	8a	2a	6a	3a1	2a	2a	3a	4a	4a	8a	
SiO ₂	36.96	39.19	38.09	37.15	38.21	37.04	36.51	36.19	37.38	36.21	35.82	36.58	
TiO ₂	0.28		1.67	0.42		0.29	0.78		0.18	0.17	0.32	0.44	
Al ₂ O ₃	17.76	21.49	21.16	21.34	20.46	13.78	20.18	21.12	16.60	19.17	21.13	17.77	
Cr ₂ O ₃						0.30	0.06	0.65	0.38	0.10			
FeO / FeO _{tot}	35.98	19.10	8.72	23.19	22.74	20.32	28.37	27.59	30.76	24.11	23.33	31.45	
MnO	2.10		0.37	7.10		7.97	11.74	10.83	8.48	15.46	17.13	8.17	
MgO	1.44	2.73	0.71	0.76	2.91		1.05	1.63	4.09	1.59	0.50	2.48	
CaO	5.56	17.59	28.65	9.77	15.11	19.97	1.28	1.77	1.74	2.63	1.60	2.06	
Na ₂ O		0.02	0.26		0.14	0.15			0.25	0.27		0.55	
Σύνολο	100.08	100.13	99.62	99.73	99.58	99.81	99.97	99.78	99.86	99.71	99.82	99.50	
Επαναυπόλογισμός (wt%)													
τελικό FeO	32.62	19.10	7.49	23.19	20.48	10.20	28.37	27.13	25.59	20.35	22.83	26.25	
τελικό Fe ₂ O ₃	3.73	0.00	1.36	0.00	2.51	11.25	0.00	0.50	5.74	4.18	0.55	5.78	
τελικό MnO	2.10	0.00	0.37	7.10	0.00	7.97	11.74	10.83	8.48	15.46	17.13	8.17	
τελικό Mn ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Σύνολο	100.45	100.13	99.76	99.74	99.83	100.94	99.97	99.82	100.43	100.13	99.88	100.08	
ακραία μέλη													
Al-Σκορλομίτης			3.71%	0.83%		0.60%	0.29%			0.51%	1.00%	0.77%	
Μοριμοτοίτης	1.71%						0.29%						
NaΤιγγρανάτης			1.10%			0.28%			0.54%			0.59%	
Fe-Μοριμοτοίτης													
Ματζορίτης	1.46%	1.11%											
Ουβαροβίτης						0.95%	0.20%	2.08%	1.23%	0.32%			
Σπεςσαρτίνης	4.84%		0.80%	16.09%		18.15%	27.18%	24.92%	19.39%	35.64%	39.70%	18.82%	
Πυρωπό	3.90%	9.02%	2.72%	3.03%	11.32%		4.29%	6.62%	16.45%	6.45%	2.04%	10.06%	
Αλμανδίνης	73.61%	41.17%	16.04%	51.90%	44.72%	22.93%	64.77%	61.64%	43.44%	46.31%	52.26%	55.80%	
Γροσσουλάριος	3.03%	47.75%	72.52%	27.20%	38.03%	23.82%	1.01%	3.05%		1.69%	3.70%		
Ανδραδίτης	11.45%		1.99%		4.22%	32.08%			3.61%	5.16%		5.04%	
Σκιαγίτης									13.89%			3.91%	
υπόλοιπο	0.00%	0.95%	1.11%	0.95%	1.71%	1.19%	1.97%	1.68%	1.45%	3.92%	1.31%	5.02%	
Σύνολο	100.00%	100.00%	99.99%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	99.99%	100.00%	100.00%	100.01%	100.01%	

6.11 Χρωμίτης

Ο χρωμίτης είναι ορυκτό που ανήκει στο ακραίο μέλος της ομάδας σπινέλλιου – μαγνητίτη, με χημικό τύπο $(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})\text{O} \cdot (\text{Cr}, \text{Al}, \text{Fe}^{3+})_2\text{O}_3$ και βρίσκεται σε πυριγενή πετρώματα, όπως είναι οι νορίτες και οι περιδοτίτες, σε μεταμορφωμένα πετρώματα όπως είναι οι σερπεντινίτες και πολύ συχνά σε αποθέσεις μαύρης άμμου (<https://el.wikipedia.org/wiki/Χρωμίτης>).



Εικόνα 6.8. Κόκκος χρωμίτη από το δείγμα μαύρης άμμου της Ν. Ηράκλειας (Εικόνα από SEM).



Εικόνα 6.9. Τα λευκά βέλη δείχνουν κόκκους χρωμίτη από το δείγμα του Γλαρόκαβου (Εικόνα από SEM).

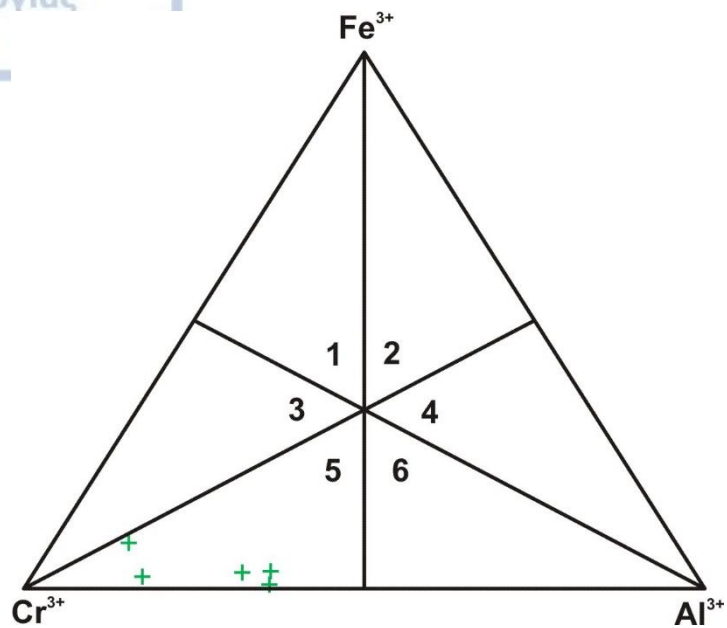
Τα δείγματα μαύρης άμμου από τις παραλίες της Ν. Ηράκλειας και του Γλαρόκαβου είναι πλούσια σε χρωμίτη. Οι κόκκοι χρωμίτη είναι αποστρογγυλεμένοι και ακανόνιστου σχήματος, ενώ το μέγεθος των κόκκων του δείγματος από τον Γλαρόκαβο είναι εμφανώς μεγαλύτερο (της τάξης 1-2mm), από το δείγμα της Ν. Ηράκλειας (0.3-1.0mm). Από το διάγραμμα ταξινόμησης των σπινελίων προκύπτει ότι τα δείγματα της Ν. Ηράκλειας προβάλλονται στο πεδίο του Al-ούχου χρωμίτη (Σχ. 6.1), ενώ τα δείγματα του Γλαρόκαβου παρουσιάζουν μεγαλύτερη διακύμανση. Συγκεκριμένα, προβάλλονται στα πεδία του Al-ούχου και Fe-ούχου χρωμίτη, ενώ τα περισσότερα δείγματα προβάλλονται στο πεδίο του Cr-ούχου μαγνητίτη.

Πίνακας 6.12. Μικροανάλυσεις σε κόκκους χρωμίτη από το δείγμα μαύρης άμμου της παραλίας Γλαρόκαβος.

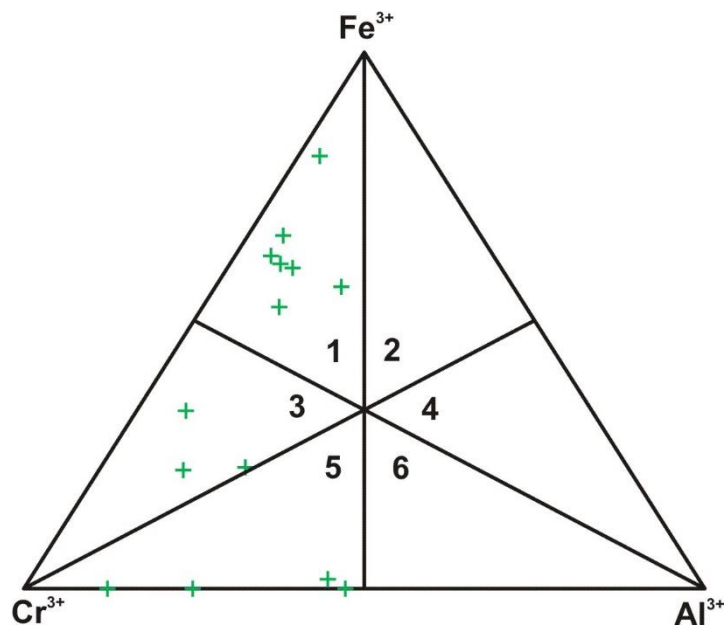
Γλαρόκαβος															
Δείγμα	1a	1a	1a	1a	1a	3a	3a	3a	4a	4a	4a	4a	4a	4a	4a
SiO ₂	0.66	3.86	5.84	1.39	23.85	4.59	8.27	4.07	5.32	6.08	0.75	0.22	0.13	3.60	
TiO ₂	0.13	0.59	0.92	0.00	0.54	1.78	0.29	0.46	1.36	0.00	0.41		1.60	2.45	
Al ₂ O ₃	1.42	2.04	2.27	10.39	6.36	2.57	2.88	1.89	3.91	6.68	4.90	9.02	5.06	16.19	
FeO*	79.72	52.22	44.10	13.11	42.35	60.86	57.35	62.62	44.66	58.91	23.98	35.22	37.21	32.75	
MnO	0.63	5.36	3.80	0.95			2.11	2.09	2.37	2.05					
MgO	0.21	6.16	1.95	6.54	5.96	2.84	2.78	1.69	9.11	3.46	1.10	4.80	4.13	3.95	
CaO	0.34	0.90	0.26		0.46	0.17	1.42	0.41	0.46	0.66					
Cr ₂ O ₃	10.45	18.35	27.53	46.97	10.54	16.17	13.63	15.35	18.55	13.40	51.45	35.43	39.79	30.04	
ZnO		1.27	1.15	4.98	0.20	0.59		0.26		0.27	1.28	2.18			
NiO	0.04		0.31			0.69	0.40	0.15	0.87		0.85			0.28	
Σύνολο	93.61	90.74	88.12	84.32	90.26	90.27	89.14	88.99	86.6	91.5	84.72	86.88	87.92	89.26	
Αριθμός ιόντων με βάση 4 (O)															
Si	0.0313	0.1654	0.2483	0.0545	0.8141	0.1999	0.3520	0.1853	0.2223	0.2508	0.0314	0.0092	0.0054	0.1324	
Ti	0.0046	0.0189	0.0293	0.0000	0.0140	0.0584	0.0094	0.0159	0.0427	0.0000	0.0129	0.0000	0.0500	0.0679	
Al	0.0796	0.1034	0.1139	0.4799	0.2556	0.1316	0.1447	0.1013	0.1925	0.3249	0.2429	0.4401	0.2481	0.7027	
Fe+2	1.2193	0.6918	1.0505	0.4297	1.2087	1.1676	1.1428	1.1344	0.6749	1.0571	0.8433	0.7543	0.8541	0.9788	
Fe+3	1.9423	1.1811	0.5169	0.0000	0.0000	1.0479	0.8986	1.2518	0.8859	0.9763	0.0000	0.4648	0.4417	0.0295	
Fet	3.1616	1.8729	1.5675	0.4297	1.2087	2.2155	2.0414	2.3862	1.5608	2.0334	0.8433	1.2191	1.2958	1.0084	
Mn	0.0254	0.1947	0.1367	0.0315	0.0000	0.0000	0.0761	0.0807	0.0838	0.0715	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
Mg	0.0151	0.3939	0.1234	0.3823	0.3034	0.1846	0.1762	0.1149	0.5674	0.2130	0.0693	0.2963	0.2565	0.2168	
Ca	0.0175	0.0414	0.0120	0.0000	0.0169	0.0080	0.0649	0.0200	0.0204	0.0291	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
Cr	0.3918	0.6222	0.9252	1.4558	0.2843	0.5565	0.4586	0.5531	0.6129	0.4371	1.7108	1.1596	1.3100	0.8746	
Zn	0.0000	0.0402	0.0360	0.1440	0.0049	0.0191	0.0000	0.0087	0.0000	0.0082	0.0397	0.0667	0.0000	0.0000	
Ni	0.0014	0.0000	0.0105	0.0000	0.0000	0.0243	0.0137	0.0055	0.0292	0.0000	0.0287	0.0000	0.0000	0.0084	
Σύνολο	3.7284	3.4530	3.2028	2.9777	2.9020	3.3977	3.3370	3.4716	3.3322	3.3682	2.9789	3.1910	3.1656	3.0111	
Επαναυπολογισμός ως προς 100%															
SiO ₂	0.67	4.08	6.51	1.65	26.43	4.91	8.99	4.39	5.95	6.42	0.88	0.25	0.14	4.02	
TiO ₂	0.13	0.62	1.02	0.00	0.60	1.91	0.32	0.50	1.52	0.00	0.48	0.00	1.79	2.74	
Al ₂ O ₃	1.44	2.17	2.53	12.32	7.04	2.74	3.14	2.04	4.37	7.06	5.78	10.21	5.66	18.12	
Fe ₂ O ₃	54.94	38.76	18.01	0.00	0.00	34.22	30.51	39.41	31.50	33.21	0.00	16.89	15.78	1.19	
FeO	31.04	20.43	32.93	15.54	46.92	34.31	34.92	32.13	21.60	32.36	28.30	24.66	27.46	35.57	
MnO	0.64	5.68	4.23	1.13	0.00	0.00	2.29	2.26	2.65	2.16	0.00	0.00	0.00	0.00	
MgO	0.22	6.53	2.17	7.76	6.61	3.04	3.02	1.83	10.18	3.66	1.30	5.43	4.63	4.42	
CaO	0.35	0.95	0.29	0.00	0.51	0.18	1.55	0.44	0.51	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	
Cr ₂ O ₃	10.55	19.44	30.68	55.70	11.67	17.30	14.82	16.57	20.75	14.15	60.74	40.09	44.55	33.62	
V ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
ZnO	0.00	1.35	1.28	5.90	0.22	0.64	0.00	0.28	0.00	0.29	1.51	2.47	0.00	0.00	
NiO	0.04	0.00	0.34	0.00	0.00	0.74	0.44	0.16	0.97	0.00	1.00	0.00	0.00	0.32	
Σύνολο	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Πίνακας 6.13. Μικροανάλυσεις σε κόκκους χρωμίτη από το δείγμα της Ν. Ηράκλειας.

Ηράκλεια					
Δείγμα	1a	2a	3a	4a	8a
SiO ₂	0.45	0.42	0.38	0.95	0.16
TiO ₂	1.30	0.31		0.56	0.18
Al ₂ O ₃	17.05	15.01	4.50	6.38	13.76
FeO*	14.46	23.26	27.69	23.93	18.07
MnO	0.92	0.97	1.59	1.69	0.76
MgO	4.49	5.01	2.15	2.95	8.22
CaO	0.04			0.15	
Cr ₂ O ₃	45.61	40.64	47.80	47.41	44.89
ZnO			0.25	1.72	
NiO	0.35	0.59	0.03	0.23	0.17
Σύνολο	84.67	86.22	84.38	85.98	86.2
Αριθμός ιόντων με βάση 4 (O)					
Si	0.0170	0.0162	0.0162	0.0391	0.0062
Ti	0.0364	0.0089	0.0000	0.0172	0.0051
Al	0.7513	0.6788	0.2272	0.3078	0.6101
Fe+2	0.4521	0.6952	0.8375	0.7937	0.5263
Fe+3	0.0000	0.0511	0.1552	0.0256	0.0423
Fet	0.4521	0.7463	0.9927	0.8193	0.5686
Mn	0.0290	0.0316	0.0577	0.0587	0.0241
Mg	0.2503	0.2864	0.1375	0.1800	0.4609
Ca	0.0017	0.0000	0.0000	0.0064	0.0000
Cr	1.3483	1.2327	1.6200	1.5344	1.3356
Zn	0.0000	0.0000	0.0080	0.0520	0.0000
Ni	0.0106	0.0183	0.0009	0.0076	0.0052
Σύνολο	2.8968	3.0192	3.0602	3.0226	3.0159
Επαναυπολογισμός ως προς 100%					
SiO ₂	0.54	0.49	0.45	1.11	0.19
TiO ₂	1.53	0.36	0.00	0.65	0.21
Al ₂ O ₃	20.14	17.38	5.30	7.41	15.93
Fe ₂ O ₃	0.00	2.05	5.67	0.97	1.73
FeO	17.08	25.08	27.53	26.94	19.37
MnO	1.08	1.13	1.87	1.97	0.88
MgO	5.30	5.80	2.54	3.43	9.51
CaO	0.05	0.00	0.00	0.17	0.00
Cr ₂ O ₃	53.87	47.04	56.32	55.09	51.99
V ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZnO	0.00	0.00	0.30	2.00	0.00
NiO	0.42	0.69	0.03	0.27	0.20
Σύνολο	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00



Σχήμα 6.1. Διάγραμμα ταξινόμησης σπινελίων από το δείγμα άμμου της Ν. Ηράκλειας (τροποποιημένο από Stevens, 1944). 1: Cr-ούχος μαγνητίτης, 2: Al-ούχος μαγνητίτης, 3: Fe-ούχος χρωμίτης, 4: Fe-ούχος σπινέλλιος, 5: Al-ούχος χρωμίτης και 6: Cr-ούχος σπινέλλιος.



Σχήμα 6.2. Διάγραμμα ταξινόμησης σπινελίων από δείγμα άμμου του Γλαρόκαβου (τροποποιημένο από Stevens, 1944). 1: Cr-ούχος μαγνητίτης, 2: Al-ούχος μαγνητίτης, 3: Fe-ούχος χρωμίτης, 4: Fe-ούχος σπινέλλιος, 5: Al-ούχος χρωμίτης και 6: Cr-ούχος σπινέλλιος.

7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑΣ ΦΘΟΡΙΣΜΟΥ ΑΚΤΙΝΩΝ-X (XRF)

Για τη γεωχημική μελέτη των αποθέσεων μαύρης άμμου στις παραλίες Ν. Ηράκλεια και Γλαρόκαβος χρησιμοποιήθηκαν δύο αντιπροσωπευτικά δείγματα, ένα από την κάθε περιοχή και αναλύθηκαν τα κύρια στοιχεία τους με τη μέθοδο XRF.

Η σύγκριση μεταξύ των δειγμάτων δείχνει ότι το δείγμα της Ν. Ηράκλειας είναι πλουσιότερο σε Fe_2O_3 και ZrO_2 (51,8% κ.β. και 1,99% κ.β., αντίστοιχα) και φτωχότερο σε Cr_2O_3 , TiO_2 και MnO (3,09% κ.β., 11,62% κ.β. και 0,79% κ.β., αντίστοιχα) σε σχέση με το δείγμα του Γλαρόκαβου, όπου οι τιμές Fe_2O_3 και ZrO_2 είναι 36,26% κ.β. και 0,91% κ.β. αντίστοιχα, ενώ τα Cr_2O_3 , TiO_2 και MnO έχουν τιμές 7,77% κ.β., 17,73% κ.β. και 1,23% κ.β., αντίστοιχα.

Πίνακας 7.1. Αναλύσεις κύριων στοιχείων (κ.β.%) των δειγμάτων μαύρης άμμου με τη μέθοδο XRF.

Οξείδια	Συγκέντρωση	
	Ν. Ηράκλεια	Γλαρόκαβος
Fe_2O_3	51.80	36.26
SiO_2	20.00	23.7
TiO_2	11.62	17.73
Al_2O_3	6.13	6.60
CaO	3.29	3.4
Cr_2O_3	3.09	7.77
ZrO_2	1.99	0.91
MgO	1.12	1.43
K_2O	0.00	0.38
Na_2O	0.00	1.20
MnO	0.79	1.23
Σύνολο	99.82	100.61

8. ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η επί τόπου έρευνα στην παραλία της Ν. Ηράκλειας έδειξε ότι η περιοχή αποτελούσε ένα πλημμυρικό πεδίο. Το μέγεθος των μεταφερθέντων κροκαλών, οι οποίες τώρα βρίσκονται συμπαγοποιημένες μέσα στο λεπτότερο ίζημα, είναι μεγάλο, το οποίο και οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η δύναμη του μεταφορικού μέσου ήταν μεγάλη. Η ζώνωση του συμπαγοποιημένου υλικού αντιπροσωπεύει την περιοδικότητα των πλημμυρικών φαινομένων. Οι κροκάλες είναι ως επί το πλείστον υπερβασικής σύστασης, κάποιες είναι σερπεντινωμένες και άλλες με εμφανείς στρώσεις μεταλλεύματος χρωμίτη. Επίσης βρέθηκαν και κροκάλες εξαλλοιωμένου πετρώματος με μεταλλοφορία λευκόλιθου. Το κύμα διαβρώνει τις πλημμυρικές αποθέσεις και μεταφέρει το υλικό διάβρωσης κατά μήκος της ακτής, αποθέτοντας τα ορυκτά με το μεγαλύτερο ειδικό βάρος και απομακρύνοντας αυτά με το μικρότερο.

Η προέλευση του υπερβασικού υλικού είναι οι οφειόλιθοι της περιοχής. Πιθανές τέτοιες θέσεις είναι είτε η υπερβασική σειρά που βρίσκεται πλησίον του χωριού Γαλαρινός, είτε η οφειολιθική ακολουθία της περιοχής των Βασιλικών, με την προϋπόθεση τουλικό να διαβρώθηκε από το μητρικό πέτρωμα πριν την ενεργοποίηση του ρήγματος του Ανθεμούντα, δηλαδή πριν το Μέσο Πλειστόκαινο (Μουντράκης et al., 1993). Η ορυκτολογική ανάλυση έδειξε μεγάλη συγκέντρωση κόκκων χρωμίτη, ενώ η γεωχημική ανάλυση επιβεβαίωσε την υψηλή περιεκτικότητα σε οξείδιο χρωμίου. Το δείγμα της Ν. Ηράκλειας χαρακτηρίζεται από υψηλή περιεκτικότητα σιδήρου, το οποίο μπορεί να εξηγηθεί από την αλλοίωση του χρωμίτη σε σιδηροχρωμίτη, ένα πολύ εκτεταμένο φαινόμενο των οφειολίθων στην περιοχή σύμφωνα με τους Michailidis and Sklavounos, 1996.

Ο επιδοτιτικός- ακτινολιθικός σχιστόλιθος που θεωρείται προϊόν ανάδρομης μεταμόρφωσης του σχηματισμού Βερτίσκου και βρίσκεται νότια του χωριού Γαλαρινός, αλλά και οι κερατίτες, οι οποίοι είναι αποτέλεσμα θερμικής μεταμόρφωσης του πλουτωνίτη του Μονοπήγαδου, μπορεί να είναι τα πετρώματα που τροφοδότησαν το δείγμα άμμου με τιτανίτη και επίδοτο. Ο αλλανίτης που βρέθηκε στο δείγμα, πλούσιος σε δημήτριο και λανθάνιο, πιθανόν προέρχεται από τον πλουτωνίτη του Μονοπήγαδου. Η σύσταση των γρανατών που βρέθηκαν είναι αλμανδίνης, γροσσουλάριος και σε μικρή ποσότητα ανδραδίτης. Ειδικότερα ο γροσσουλάριος, έχει εντοπιστεί μέσα στον διοψιδικό κερατίτη, ενώ ο πρασινοσχιστόλιθος της μαγματικής σειράς Χορτιάτη, είναι πλούσιος σε αλμανδίνη και επίδοτο. Οι χλωρίτες είναι πλούσιοι σε Fe και κατατάσσονται ως ριπιδόλιθος και δαφνίτης.

Η επί τόπου έρευνα στην περιοχή του Γλαρόκαβου έδειξε ότι το σημείο δειγματοληψίας τροφοδοτείται από ρέμα το οποίο ξεκινάει ανατολικά της θέσης, κατεύθυνση στην οποία και εντοπίστηκε τμήμα της υπερβασικής σειράς της εσωτερικής οφειολιθικής λωρίδας. Η εμφάνιση του οφειολίθου έχει την μορφή χαμηλού λόφου ανατολικά του επαρχιακού δρόμου, ενώ στις παρυφές του λόφου εμφανίζεται και ο υπερκείμενος ασβεστόλιθος. Ο οφειόλιθος εμφανίζεται μεταμορφωμένος στην πρασινοσχιστολιθική φάση μεταμόρφωσης. Η εμφάνιση της οφειολιθικής λωρίδας τόσο κοντά στη θέση δειγματοληψίας, μπορεί να εξηγήσει την ύπαρξη μεγάλης συγκέντρωσης οξειδίου του χρωμίου.

Οι γρανάτες που εντοπίστηκαν στο δείγμα είναι της σειράς σπεςσαρτίνη-αλμανδίνη, βρέθηκε όμως και ανδραδίτης. Σύμφωνα με τον Feinberg (1998), ο ηφαιστειοκλαστικός φλύσχος του σχηματισμού Παλιουρίου που βρίσκεται σε επαφή με τις σπιλιτικές μαξιλαροειδείς λάβες δομείται από μετα-γραουβάκες, ανδεσιτικούς μετα-τοφφίτες, πυριτιόλιθους και κερατόλιθους. Ο ίδιος φλύσχος εμφανίζεται στο ακρωτήρι Αλωνάκι υποκείμενος του ασβεστολίθου και πιθανόν να αποτελεί την προέλευση των γρανατών και του επιδότου. Στο δείγμα του Γλαρόκαβου βρέθηκε μόνο επίδοτο και όχι αλλανίτης, όπως αναμενόταν, αφού άλλη πιθανή προέλευση του επιδότου είναι τα υπερβασικά σώματα. Οι χλωρίτες που αναλύθηκαν, είναι ως επί το πλείστον πλούσιοι σε Mg, πεννίνιτης και καιμμερερίτης και πιθανόν είναι προϊόντα εξαλλοίωσης των ορυκτών των υπερβασικών πετρωμάτων. Ο καιμμερερίτης περιβάλλει ή αντικαθιστά ολικώς τον χρωμίτη και εμφανίζεται σχεδόν πάντα με σιδηροχρωμίτη (Christofides et al., 1994). Στο (Σχ. 6.2) η ταξινόμηση σπινελλίων στον Γλαρόκαβο κατατάσσει κόκκους χρωμίτη από το δείγμα σε Fe-ούχο χρωμίτη, εξηγώντας την προέλευση του χλωρίτη. Η ταξινόμηση των σπινελλίων στα δύο δείγματα, όπως φαίνεται στα Σχ. 6.1 και Σχ. 6.2, παρουσιάζει σημαντική διαφορά. Στο δείγμα της Ν. Ηράκλειας όλοι οι σπινέλλιοι κατατάσσονται ως Al-ούχοι χρωμίτες, ενώ στο δείγμα του Γλαρόκαβου οι σπινέλλιοι κατατάσσονται από Cr-ούχοι μαγνητίτες έως Al-ούχοι χρωμίτες. Και τα δύο δείγματα περιέχουν ρουτίλιο, μαγνητίτη και ιλμενίτη, συνήθη ορυκτά των μαύρων άμμων της Μεσογείου.

Περίληψη

Βασικό χαρακτηριστικό της γεωλογίας της Δυτικής Χαλκιδικής, είναι η εμφάνιση της Εσωτερικής Οφειολιθικής Λωρίδας (IRO). Τα υπερβασικά πετρώματα, ο γρανίτης του Μονοπήγαδου και τα μεταμορφωμένα πετρώματα της Σερβομακεδονικής μάζας τροφοδοτούν τις ακτές μέσω ενός συστήματος ρεμάτων. Οι μηχανικές διεργασίες στις οποίες υποβάλλεται το υλικό, από το μέσο μεταφοράς και τη κυματική δράση, οδηγούν στο σχηματισμό μαύρης άμμου και στην απόθεση της στις κοντινές ακτές.

Ορυκτολογική έρευνα παράκτιων αποθέσεων μαύρης άμμου από τη Ν. Ηράκλεια με τη μέθοδο της Σαρωτικής Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας (SEM), έδειξε ότι η σύσταση της αποτελείται κυρίως από χρωμίτη, μαγνητίτη, ιλμενίτη, ρουτίλιο, τιτανίτη, επίδοτο, αμφιβόλους, ζirkόνιο, γρανάτες και χλωρίτη. Ανιχνεύθηκαν, επίσης, ποσότητες αλλανίτη, αστρίων, χαλαζία και βιοτίτη. Ομοίως, η ορυκτολογική έρευνα αποθέσεων μαύρης άμμου από τον Γλαρόκαβο, έδειξε ότι η σύσταση της αποτελείται κυρίως από μαγνητίτη, ιλμενίτη, χρωμίτη, ρουτίλιο, χλωρίτη, επίδοτο και γρανάτες, ενώ ανιχνεύθηκαν ασβεστίτης, ζirkόνιο, αμφίβολοι και άστριοι. Η γεωχημική έρευνα των δειγμάτων με τη μέθοδο φασματοσκοπίας φθορισμού ακτινών – X (XRF), έδειξε σημαντικές διαφορές ως προς την σύσταση δειγμάτων των δύο περιοχών. Η σύγκριση μεταξύ των δειγμάτων δείχνει ότι το δείγμα της Ν. Ηράκλειας είναι πλουσιότερο σε Fe_2O_3 και ZrO_2 , 51,8% κ.β. και 1,99% κ.β., αντίστοιχα, και φτωχότερο σε Cr_2O_3 , TiO_2 και MnO , 3,09% κ.β., 11,62% κ.β. και 0,79% κ.β., αντίστοιχα, σε σχέση με το δείγμα του Γλαρόκαβου, όπου οι τιμές Fe_2O_3 και ZrO_2 είναι 36,26% κ.β. και 0,91% κ.β., αντίστοιχα, ενώ τα Cr_2O_3 , TiO_2 και MnO έχουν τιμές 7,77% κ.β., 17,73% κ.β. και 1,23% κ.β., αντίστοιχα.

Abstract

Dominant feature of the geological setting of West Halkidiki, is the internal ophiolite complex. Ultramafic rocks, Monopigado's granite and metamorphic rocks from Serbomacedonian massif supply the coasts through a drainage system. Black sand deposits on the nearest beaches have been formed due to the mechanical weathering as a result of transfer and wave power.

Mineralogical investigation using scanning electron microscopy (SEM), on black sand deposits of N. Irakleia, showed that the main mineralogical components are chromite, magnetite, ilmenite, rutile, titanite, epidote, amphiboles, zircon, garnet and chlorite. Traces of allanite, feldspars, quartz and biotite were also found. The same method in Glarokavo's sample showed as main components magnetite, ilmenite, chromite, rutile, chlorite, epidote and garnet, while calcite, zircon, amphiboles and feldspars were also traced. Geochemical analyses performed by using X-ray fluorescence (XRF) spectrometer, indicated critical differences in composition between the samples. N. Irakleia's sample is richer in Fe_2O_3 and ZrO_2 , 51.8wt% and 1.99wt%, respectively, but contains less Cr_2O_3 , TiO_2 and MnO , 3.09wt%, 11.62wt% and 0.79wt%, respectively, in comparison to Glarokavo's sample, where Fe_2O_3 and ZrO_2



contents were found 36.26wt% and 0.91wt% respectively, while Cr_2O_3 , TiO_2 and MnO contents reached 7.77wt%, 17.73wt% and 1.23wt%, respectively.

Βιβλιογραφία

- Ahmed, Z. (1984). Stratigraphic and textural variations in the chromite composition of the ophiolitic Sakhakot-Qila Complex, Pakistan. *Economic Geology*, 79(6), 1334-1359.
- Anonymous. (1972). Penrose field conference on ophiolites. *Geotimes*, 17(12), 24-25.
- Bebien, J., & Mercier, J. L. (1977). Le cadre structural de l'association ophiolites-migmatites-granites de Guevgueli (Macedoine, Grece); une croûte de bassin intra-arc?. *Bulletin de la Société géologique de France*, 7(4), 927-934.
- Bébien, J., Dubois, R., & Gauthier, A. (1986). Example of ensialic ophiolites emplaced in a wrench zone: Innermost Hellenic ophiolite belt (Greek Macedonia). *Geology*, 14(12), 1016-1019.
- Beccaluva, L., Macciotta, G., Piccardo, G. B., & Zeda, O. (1989). Clinopyroxene composition of ophiolite basalts as petrogenetic indicator. *Chemical Geology*, 77(3-4), 165-182.
- Bell, E. A., Boehnke, P., & Harrison, T. M. (2017). Applications of biotite inclusion composition to zircon provenance determination. *Earth and Planetary Science Letters*, 473, 237-246.
- Bernoulli, D., Manatschal, G., Desmurs, L., & Muntener, O. (2003). Where did Gustav Steinmann see the trinity? Back to the roots of an Alpine ophiolite concept. *Special Papers-Geological Society of America*, 93-110.
- Brogniart, A. (1813). *Essai d'une classification minéralogique des roches mélangées*. Bossange.
- Brogniart, A. (1821). Sur le gisement des ophiolithes. *Bull. Soc. Philom. Ann. Min.*
- Christofides, G., Thimiatis, G., Koroneos, A., Sklavounos, S., & Eleftheriadis, G. (1994). Mineralogy and chemistry of Cr-chlorites associated with chromites from Vavdos and Vasilika Ophiolite Complexes (Chalkidiki, Macedonia, N. Greece). *Chemie der Erde*, 54(2), 151-166.
- Coleman, R. G. (1971). Plate tectonic emplacement of upper mantle peridotites along continental edges. *Journal of Geophysical Research*, 76(5), 1212-1222.
- Dabitizas, S. G. (1980). Petrology and genesis of the Vavdos cryptocrystalline magnesite deposits, Chalkidiki Peninsula, northern Greece. *Economic Geology*, 75(8), 1138-1151.
- Dickey Jr, J. S. (1976). A hypothesis of origin for podiform chromite deposits. In *Chromium: its Physicochemical Behavior and Petrologic Significance* (pp. 1061-1074). Pergamon.
- Dilek, Y. (2003). Ophiolite concept and its evolution. *Special Papers-Geological Society of America*, 1-16.
- Dimitrijevic, M., & Ciric, G. (1967). Essai sur l'évolution de la masse Servo-Macedonienne. *Acta Geologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, 11, 35-47.
- Gansser, A. (1974). The ophiolitic melange, a world-wide problem on Tethyan examples: *Eclogae Geol.*

- Gillson, J. L., 1959, Sand deposits of titanium minerals: *Mining Eng.*, v. 11, p. 421-429.
- Hopkins, M. D., Harrison, T. M., & Manning, C. E. (2010). Constraints on Hadean geodynamics from mineral inclusions in > 4 Ga zircons. *Earth and Planetary Science Letters*, 298(3-4), 367-376.
- Hopkins, M., Harrison, T. M., & Manning, C. E. (2008). Low heat flow inferred from > 4 Gyr zircons suggests Hadean plate boundary interactions. *Nature*, 456(7221), 493-496.
- Jennings, E. S., Marschall, H. R., Hawkesworth, C. J., & Storey, C. D. (2011). Characterization of magma from inclusions in zircon: Apatite and biotite work well, feldspar less so. *Geology*, 39(9), 863-866.
- Jung, D., & Mussalam, K. (1985). The Sithonia ophiolite: a fossil oceanic crust.
- Kockel, F., Mollat, H., & Walther, H. W. (1977). *Geological Map of the Chalkidiki Peninsula and Adjacent Areas Greece*.
- Koroneos, A. (2008). Biotites from biotite-rich crusts of enclaves and clots in the Monopigadon pluton (Macedonia, northern Greece). *Period. Mineral*, 77, 3-20.
- Koroneos, A. (2010). Petrogenesis of the Upper Jurassic Monopigadon pluton related to the Vardar/Axios ophiolites (Macedonia, northern Greece) and its geotectonic significance. *Chemie der Erde-Geochemistry*, 70(3), 221-241.
- Magganas, A. C. (2002). Constraints on the petrogenesis of Evros ophiolite extrusives, NE Greece. *Lithos*, 65(1-2), 165-182.
- Mercier, J. (1966). *Etude géologique des zones internes des Hellénides en Macédoine centrale (Grèce)*. (Doctoral dissertation).
- Michailidis, K. M., & Sklavounos, S. A. (1996). Chromite ores in the Gerakini-Ormylia ophiolites, Chalkidiki peninsula, northern Greece. *CHEMIE DER ERDE-GEOCHEMISTRY*, 56(2), 97-115.
- Michard, A., Feinberg, H., & Montigny, R. (1998). Supra-ophiolitic formations from the Thessaloniki nappe (Greece), and associated magmatism: an intra-oceanic subduction predates the Vardar obduction. *Comptes Rendus de l' Académie des Sciences-Series IIA-Earth and Planetary Science*, 327(7), 493-499.
- Michard, A., Feinberg, H., & Montigny, R. (1998). The Chalkidiki supra-ophiolitic formations, and their bearing on the Vardarian obduction process. *Δελτίον της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας*, 32(1), 59-64.
- Miyashiro, A. (1973). The Troodos ophiolitic complex was probably formed in an island arc. *Earth and Planetary Science Letters*, 19(2), 218-224.
- Mussallam, K., Jung, D., & Burgath, K. (1981). Textural features and chemical characteristics of chromites in ultramafic rocks, Chalkidiki complex (Northeastern Greece). *Tschermaks mineralogische und petrographische Mitteilungen*, 29(2), 75-101.

Papadopoulos, A., Tzifas, I. T., & Tsikos, H. (2019). The Potential for REE and Associated Critical Metals in Coastal Sand (Placer) Deposits of Greece: A Review. *Minerals*, 9(8), 469.

Pearce, J. A., Lippard, S. J., & Roberts, S. (1984). Characteristics and tectonic significance of supra-subduction zone ophiolites. *Geological Society, London, Special Publications*, 16(1), 77-94.

Ricou, L. E. (1965). *Contribution a l' étude géologique de la bordure sud-ouest du Massif Serbo-Macédonien aux environs de Salonique* (Doctoral dissertation, Verlag nichtermittelbar).

Rozendaal, A., Philander, C., & Heyn, R. (2017). The coastal heavy mineral sand deposits of Africa. *South African Journal of Geology* 2017, 120(1), 133-152.

Stevens, R. E. (1944). Composition of some chromites of the western hemisphere. *American Mineralogist: Journal of Earth and Planetary Materials*, 29(1-2), 1-34.

Syrides, G. (1990). Lithostratigraphic, biostratigraphic and palaeogeographic study of the Neogene-Quaternary sedimentary deposits of Chalkidiki Peninsula, Macedonia, Greece. *Scientific Annals of the School of Geology, University of Thessaloniki*, 1(11), 1-243.

Thayer, T. P. (1970). Chromite segregations as petrogenetic indicators. In: Symposium on Bushveld Igneous Complex and other layered intrusions. *Geol. Soc. S-Africa Spec. Publ.*, 1, 380-390.

Tsikouras, B., Pe-Piper, G., & Hatzipanagiotou, K. (1990). A new date for an ophiolite on the northeastern margin of the Vardar Zone, Samothraki, Greece. *Neues Jahrbuch für Mineralogie Monatshefte*, 11, 521-7.

Zachariadis, P. T. (2007). Ophiolites of the eastern Vardar zone, N. Greece. In *Geophysical Research Abstracts* (Vol. 8, p. 05560).

Ελληνική Βιβλιογραφία

Καφήρα, Β., Αλμπανάκης, Κ., & Οικονομίδης, Δ. (2015). Flood risk assessment using remote sensing and geographical information systems (GIS). An example from Kassandra peninsula, Chalkidiki, Greece. *Πανελλήνια και Διεθνή Γεωγραφικά Συνέδρια, Συλλογή Πρακτικών*, 287-308.

Μουντράκης, Δ. (2010). "Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας", Εκδόσεις: University Studio Press\

Μουντράκης, Δ., Γ. Συρίδης, Α. Πολυμενάκος και Σ. Παυλίδης (1993). Η νεοτεκτονική δομή του ανατολικού περιθωρίου του βυθίσματος Αξιού - Θερμαϊκού στην περιοχή της δυτικής Χαλκιδικής (κεντρική Μακεδονία), *Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας*, 28(1), 379-395.

Βαβελίδης, Μ. «Σημειώσεις Γενικής Κοιτασματολογίας»



Τρανός, Μ. Δ., Κίλιας, Α. Α., & Μουντράκης, Δ. Μ. (1999). Geometry and kinematics of the Tertiary post-metamorphic Circum Rhodope Belt Thrust System (CRBTS), Northern Greece. *Δελτίον της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας*, 33, 5-16.

Διαδικτυακές Πηγές

http://www.geo.auth.gr/106/8_silicates/phyllo/biotite.htm

http://www.geo.auth.gr/106/8_silicates/soro/epidote.htm

http://www.geo.auth.gr/212/1_neso/titanite.htm

http://www.geo.auth.gr/212/1_neso/zircon.htm

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%BC%CF%86%CE%AF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B9>

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A7%CF%81%CF%89%CE%BC%CE%AF%CF%84%CE%B7%CF%82>

<https://www.ga.gov.au/education/classroom-resources/minerals-energy/australian-mineral-facts>

<https://www.nzsteel.co.nz/new-zealand-steel/the-story-of-steel/the-history-of-ironsand/>

<https://www.sandatlas.org/feldspar/>

<https://www.sandatlas.org/garnet/>

<https://www.sandatlas.org/ilmenite/>

<https://www.sandatlas.org/rutile/>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0070457107580015>