ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΙΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ- ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ-
ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΗΣ- ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ
ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ: Σπάνιες γαίες στις μαύρες άμμους της περιοχής του Αγγελοχωρίου

ΚΗΠΟΥΡΟΥ – ΠΑΝΑΓΙΩΤΟΥ
Ι. ΑΦΡΟΔΙΤΗ Α.Ε.Μ. 5216

ΛΑΖΑΡΙΔΗΣ Φ. ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ
Α.Ε.Μ. 5352

Επιβλέποντες καθηγητές :

Κορωναίος Αντώνιος, καθηγητής
Καντηράνης Νικόλαος, αναπληρωτής καθηγητής
Αλμπανάκης Κωνσταντίνος, αναπληρωτής καθηγητής

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2018

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΙΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ- ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ-
ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΗΣ- ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ
ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ: Σπάνιες γαίες στις μαύρες άμμους της περιοχής του Αγγελοχωρίου

ΚΗΠΟΥΡΟΥ – ΠΑΝΑΓΙΩΤΟΥ
Ι. ΑΦΡΟΔΙΤΗ Α.Ε.Μ. 5216

ΛΑΖΑΡΙΔΗΣ Φ. ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ
Α.Ε.Μ. 5352

Επιβλέποντες καθηγητές :

Κορωναίος Αντώνιος, καθηγητής
Καντηράνης Νικόλαος, αναπληρωτής καθηγητής
Αλμπανάκης Κωνσταντίνος, αναπληρωτής καθηγητής

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2018

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη

© Κηπουρού – Παναγιώτου Ι. Αφροδίτη και Λαζαρίδης Φ. Στυλιανός, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομείς Ορυκτολογίας – Πετρολογίας – Κοιτασματολογίας και Φυσικής – Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας , 2018
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.
ΣΠΑΝΙΕΣ ΓΑΙΕΣ ΣΤΙΣ ΜΑΥΡΕΣ ΑΜΜΟΥΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΑΓΓΕΛΟΧΩΡΙΟΥ– *Διπλωματική Εργασία*

© Kipourou – Panagiotou I. Afroditi and Lazaridis F. Stylianos, School of Geology, Dept. of Mineralogy – Petrology – Economic Geology and Physical – Environmental Geography, 2018
All rights reserved.
RARE EARTH ELEMENTS IN THE BLACK SANDS OF AGGELOCHORI AREA– *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.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

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

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ 5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 7
1.1 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ 7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 12
2.1 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ 12
2.2 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ 16
2.2.1 Προετοιμασία Για Ορυκτολογικές Αναλύσεις 20
2.2.2 Προετοιμασία Για Χημικές Αναλύσεις 21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 22
3.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ 22
3.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΙΖΗΜΑΤΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ 25
3.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΕΩΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ 27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 42
4.1 ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 44
5.1 ΠΕΡΙΛΗΨΗ 44
5.2 ABSTRACT 44
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 46

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

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

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι μαύρες άμμοι είναι γεωλογικοί σχηματισμοί εμπλουτισμένοι σε συγκεντρώσεις βαριών ορυκτών οι οποίες προκύπτουν με την διαδικασία του βαρυτικού διαχωρισμού, εξαιτίας της αντοχής τους στην αποσάθρωση. Ονομάζονται προσχωματικά κοιτάσματα και τα περισσότερα προέρχονται από γρανίτες ή από υψηλού βαθμού μεταμορφωμένα πετρώματα.

Οι σχηματισμοί αυτοί συναντώνται κυρίως σε παλαιότερες αλλά και σε νεότερες αποθέσεις παράκτιων περιοχών. Το μαύρο χρώμα τους οφείλεται στη συγκέντρωση μεγάλων ποσοτήτων μεταλλικών ορυκτών.

Γενικά τα κυριότερα ορυκτά που βρίσκονται σε μαύρες άμμους είναι ιλμενίτης, μαγνητίτης, γρανάτης, χαλαζίας, άστριοι, τιτανίτης, ρουτίλιο, μοναζίτης, ξενότιμο, ζιρκόνιο και αλλανίτης.

Ο μοναζίτης, το ξενότιμο, ο αλλανίτης και το ζιρκόνιο μπορούν να συγκεντρώνουν στη δομή τους σπάνιες γαίες, πολλές φορές σε ποσότητες οικονομικού ενδιαφέροντος. Από την άλλη μεριά, το συνεχώς αυξανόμενο περιβαλλοντικό ενδιαφέρον των μαύρων άμμων έγκειται στο γεγονός της παρουσίας U, Th και προϊόντων των ραδιενεργών διασπάσεών τους, τα οποία εγκυμονούν ραδιενεργό κίνδυνο (Eisenbud 1987, Faure 1992).

Οι σπάνιες γαίες (REE) σύμφωνα με τον IUPAC είναι μια ομάδα 17 χημικών στοιχείων του περιοδικού πίνακα και περιλαμβάνει τις 15 λανθανίδες (La – Lu), το Sc και το Y (Διαδικτυακή πηγή Δ1). Χωρίζονται στις ελαφρές (LREE), La μέχρι Eu, και στις βαριές (HREE), Gd μέχρι Lu, σπάνιες γαίες. Ανήκουν στα στοιχεία μετάπτωσης του περιοδικού πίνακα που βρίσκονται μεταξύ των κύριων ομάδων ΙΙ και ΙΙΙ. Όλες οι σπάνιες γαίες είναι μέταλλα με μοναδικές ιδιότητες, τα οποία βρίσκουν εφαρμογή σε ένα ευρύ φάσμα της βιομηχανίας υψηλής τεχνολογίας. Ενδεικτικά αναφέρονται μερικές από τις σημαντικότερες χρήσεις τους. Αυτές είναι :

- Χρωστικές ουσίες
- Οπτικές ίνες και λέιζερ
- Ηλεκτρονικές συσκευές, οθόνες κλπ.
- Μαγνήτες
- Λιπάσματα
- Ανιχνευτές στην ιατρική
- Ειδικές χρήσεις υάλου και κεραμικών

Τα κύρια ορυκτά που συναντώνται στην συγκεκριμένη περιοχή μελέτης είναι χαλαζίας, καλιούχοι άστριοι, πλαγιόκλαστο, μοσχοβίτης, χλωρίτης, μαγνητίτης, ζιρκόνιο, τιτανίτης, απατίτης, δολομίτης και σε μικρότερες ποσότητες αμφίβολοι, πυρόξενοι και βιοτίτης.

Ο σκοπός της παρούσας έρευνας είναι η εύρεση της ορυκτολογικής σύστασης των μαύρων άμμων που συλλέχθηκαν από την περιοχή του Αγγελοχωρίου, καθώς και η αναζήτηση της ποσότητας των σπανίων γαιών που περιέχεται σε αυτές. Ακόμα, η έρευνα επικεντρώνεται στην σύγκριση της περιεκτικότητας των σπανίων γαιών των συγκεκριμένων μαύρων άμμων με περιεκτικότητες σπανίων γαιών από γρανιτικές άμμους άλλων περιοχών.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

Τελικός στόχος της έρευνας είναι να αναζητηθεί η περιοχή από την οποία προέρχονται οι μαύρες άμμοι του Αγγελοχωρίου.

Για την επίτευξη όλων των παραπάνω, έγινε κατάλληλη επεξεργασία των δειγμάτων με διάφορες μεθόδους, καθώς και χημικές και ορυκτολογικές αναλύσεις, όπως επίσης και συγκρίσεις με άλλες περιεκτικότητες σπανίων γαιών σε γρανιτικές άμμους άλλων περιοχών.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
Τμήμα Γεωλογίας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Σύμφωνα με τον Μουντράκη (2010), η περιοχή του Αγγελοχωρίου ανήκει γεωλογικά στη ζώνη Αξιού, η οποία έχει διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ και πλάτος 30-70 Km. Αρχίζει από την περιοχή των Σκοπίων, επεκτείνεται μέχρι τον Θερμαϊκό κόλπο και το Αιγαίο, περιλαμβάνει κάποια νησιά των Βόρειων Σποράδων και κάμπτεται στη συνέχεια προς τη Μικρά Ασία.

Η ζώνη Αξιού υποδιαιρείται σε τρείς υποζώνες οι οποίες από τα δυτικά προς τα ανατολικά είναι η υποζώνη της Παιονίας, η υποζώνη του Πάικου και η υποζώνη της Αλμωπίας.

Πιο συγκεκριμένα, το Αγγελοχώρι ανήκει στην υποζώνη της Παιονίας (Εικ. 1.1.1). Το υπόβαθρο της περιοχής αποτελείται κυρίως από γνεύσιους, σχιστόλιθους, αμφιβολίτες, ανθρακικά, καθώς και πυριγενή και υπερβασικά πετρώματα Μεσοζωικής ηλικίας. Βασικό χαρακτηριστικό της ζώνης Αξιού είναι οι μεγάλες οφειολιθικές μάζες που έχουν εξάπλωση σε όλο το χώρο της ζώνης.

Η τεκτονική δομή της ζώνης Αξιού χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη συνεχών τεκτονικών λεπιών με παράταξη ΒΔ-ΝΑ και κλίση προς τα ΒΑ και το ένα εφιππεύει το άλλο προς τα Δ. Η δημιουργία αυτής της λεπιοειδούς τεκτονικής χρονολογείται στο Τριτογενές και είναι αποτέλεσμα της ηπειρωτικής σύγκρουσης της πλάκας της Απουλίας με την ενιαία Κιμμερική - Ευρασιατική Ήπειρο.

Πάνω από το υπόβαθρο αναπτύχθηκε κατά το Τριτογενές η Μολασσική αύλακα του Αξιού με πολυφασική ιζηματογένεση. Αποτελείται από ψαμμίτες, μάργες, κροκαλοπαγή, λατυποπαγή και ασβεστόλιθους Ηωκαινικής - Μειοκαινικής ηλικίας.

Το μεγαλύτερο μέρος αυτής της Τριτογενούς αύλακας καλύπτεται από τις χερσαίες Νεογενείς και Τεταρτογενείς αποθέσεις της κοιλάδας του Αξιού και της ευρύτερης πεδιάδας της Θεσσαλονίκης. Η λεκάνη-κοιλάδα Αξιού-Θεσσαλονίκης έχει μεγάλο πλάτος και διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ. Εκτείνεται από τα σύνορα Ελλάδας – F.Y.R.O.M. προς τη Θεσσαλονίκη και συνεχίζει στο Θερμαϊκό κόλπο. Τα ιζήματα είναι κυρίως ποταμοχειμάρριας και λιμναίας φάσης (Εικ. 1.1.2).

Νεότερες απόψεις (Jolivet et al. 2012) υποστηρίζουν ότι η δημιουργία των Τριτογενών και Τεταρτογενών λεκανών που πληρώθηκαν με ιζήματα είναι αποτέλεσμα μιας και μοναδικής ζώνης υποβύθισης, ενεργής από το Άνω Κρητιδικό. Αυτή η ζώνη έχει καταναλώσει τόσο ωκεάνιο όσο και ηπειρωτικό λιθοσφαιρικό μανδύα. Διαδοχικά κατανάλωσε τον ωκεανό του Αξιού, την Πελαγονική ήπειρο, τον ωκεανό της Πίνδου, την πλατφόρμα της Απουλίας και τέλος τον ωκεανό της Ανατολικής μεσογείου. Τμήματα από αυτές τις ζώνες αυξήθηκαν προοδευτικά για να δημιουργηθούν τα συσσωρευμένα συμπλέγματα των Ελληνίδων οροσειρών και της Μεσογειακής ράχης. Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ της τεκτονικής του φλοιού και των ρευμάτων μεταφοράς του μανδύα κατά τη διάρκεια της υποβύθισης της πλάκας, δημιουργούν στο πίσω μέρος συνθήκες εφελκυσμού και οπισθοτόξιες λεκάνες στα 35 Ma (Εικ. 1.1.3). Παρόμοια άποψη υποστηρίζεται και από τους Sinn & Schlemmer (2014), η οποία φαίνεται στην εικόνα 1.1.4.

Στην ακτή του ακρωτηρίου Τούζλα, στην εξωτερική πλευρά του Μεγάλου Εμβόλου που χωρίζει τον Θερμαϊκό κόλπο από τον κόλπο της Θεσσαλονίκης, βρίσκονται τα στρώματα

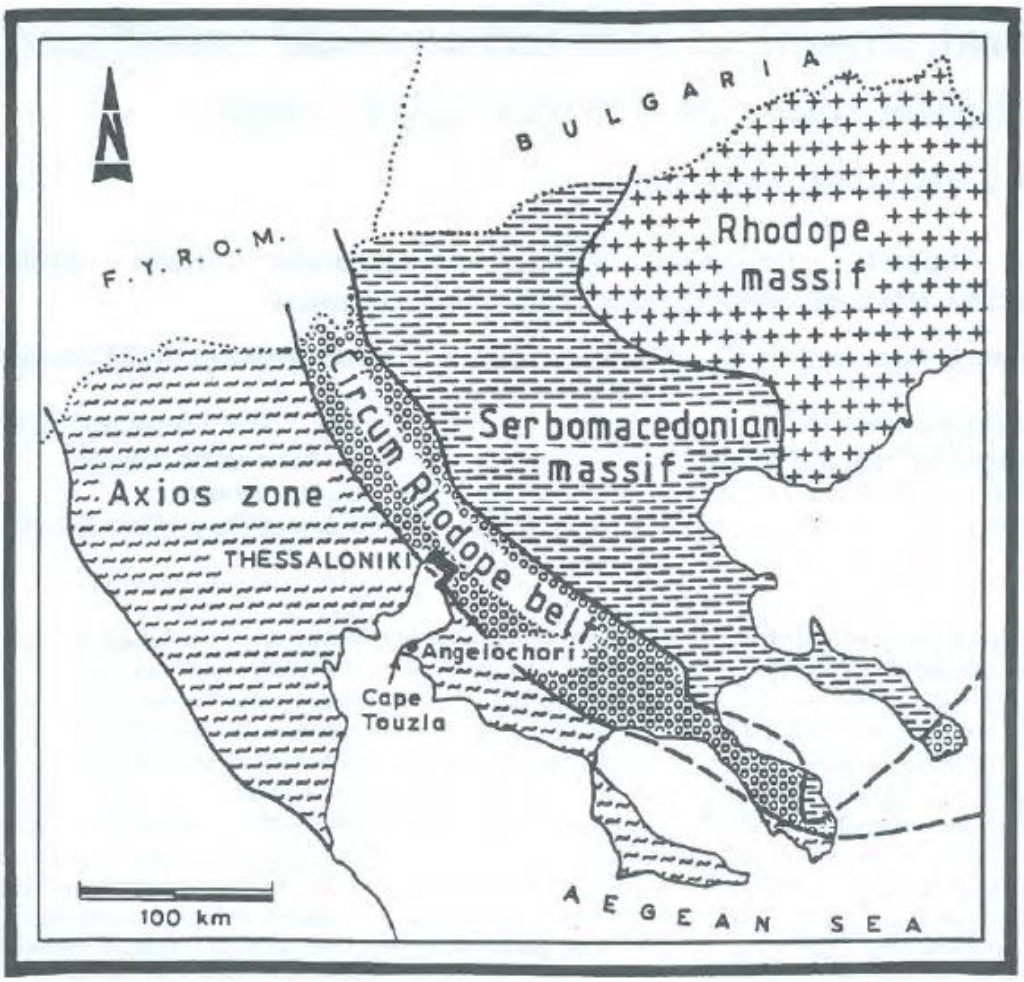
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη

της μαύρης άμμου που σχηματίζεται συνήθως σε λεπτά, επιφανειακά στρώματα που έχουν μεγάλη ανάπτυξη παράλληλα προς την ακτογραμμή και περιορισμένο πλάτος. Αυτά τα ιζήματα δημιουργούνται μετά από περιόδους μεγάλης θαλασσοταραχής και στην περιοχή του Αγγελοχωρίου χαρακτηρίζονται ως ώριμα ιζήματα που η μητρική τους πηγή βρίσκεται στις παλαιότερες Πλειοκαινικές και Πλειστοκαινικές αποθέσεις της περιοχής. Διαπιστώθηκε ότι συντελείται στην περιοχή μια νεότερη επεξεργασία των παλαιότερων αποθέσεων με τη σύνθετη δράση ποταμών - χειμάρρων στην ξηρά και κυμάτων - ρευμάτων στη θάλασσα (reworked sediments) (Ψιλοβίκος & Αλμπανάκης 1981).

Συγκεκριμένα στο Αγγελοχώρι τα κυριότερα ιζήματα που βρέθηκαν από τα παλαιότερα προς τα νεότερα είναι ερυθρωπές μάργες σε εναλλαγές με ψαμμίτες και χαλίκια Πλειοκαίνου, ακολουθούν ψαμμίτες και χαλίκια Πλειοκαίνου και τέλος αλλούβια και ερυθροχώματα (terra rossa) Πλειστοκαινικής ηλικίας (Koufos & Pavlides 1988).

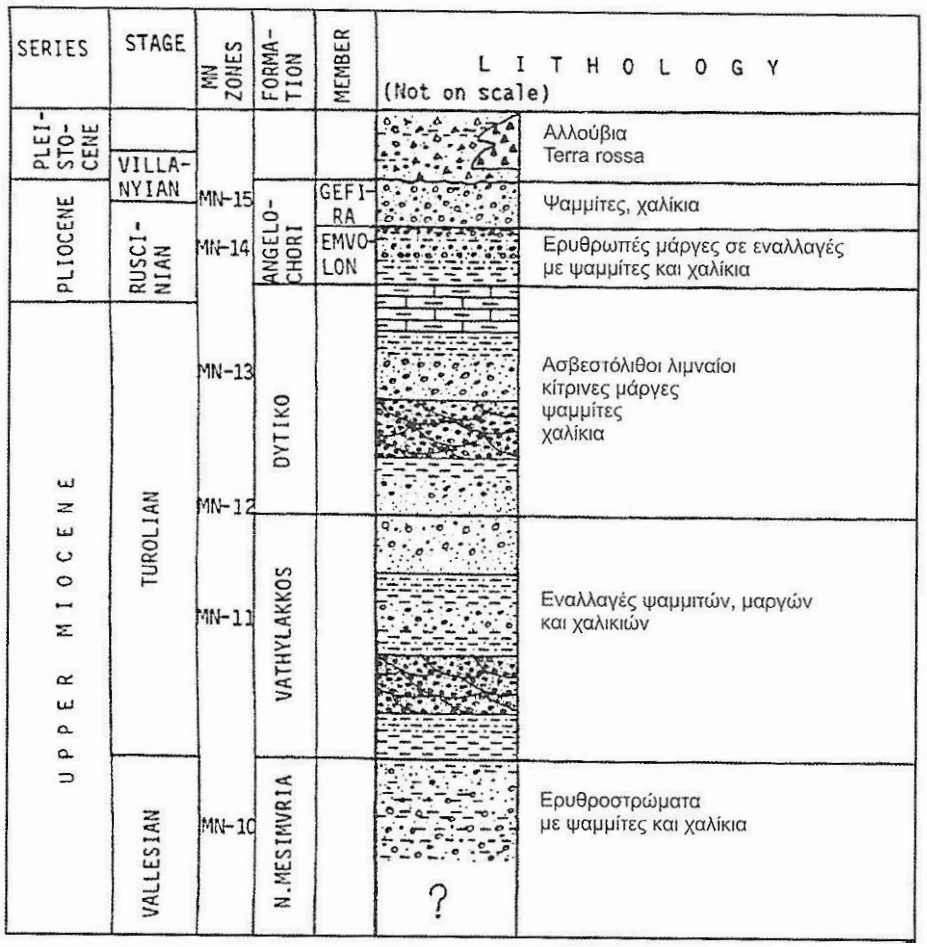
Μεγάλο ενδιαφέρον στην ευρύτερη περιοχή παρουσιάζουν τα Άνω Μειοκαινικά ιζήματα όπου παλαιοντολογικές ανασκαφές έφεραν στο φως μια απολιθωμένη πανίδα θηλαστικών με το διαδεδομένο γένος Hipparion και το κρανίο του Ouranopithecus macedoniensis (Koufos & De Bonis 2006).



Εικ. 1.1.1 : Απλοποιημένος γεωτεκτονικός χάρτης της Κεντρικής και Ανατολικής Μακεδονίας (Jacobshagen 1986, από Filippidis et al. 1997). Περιλαμβάνεται και η περιοχή μελέτης (Αγγελοχώρι).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

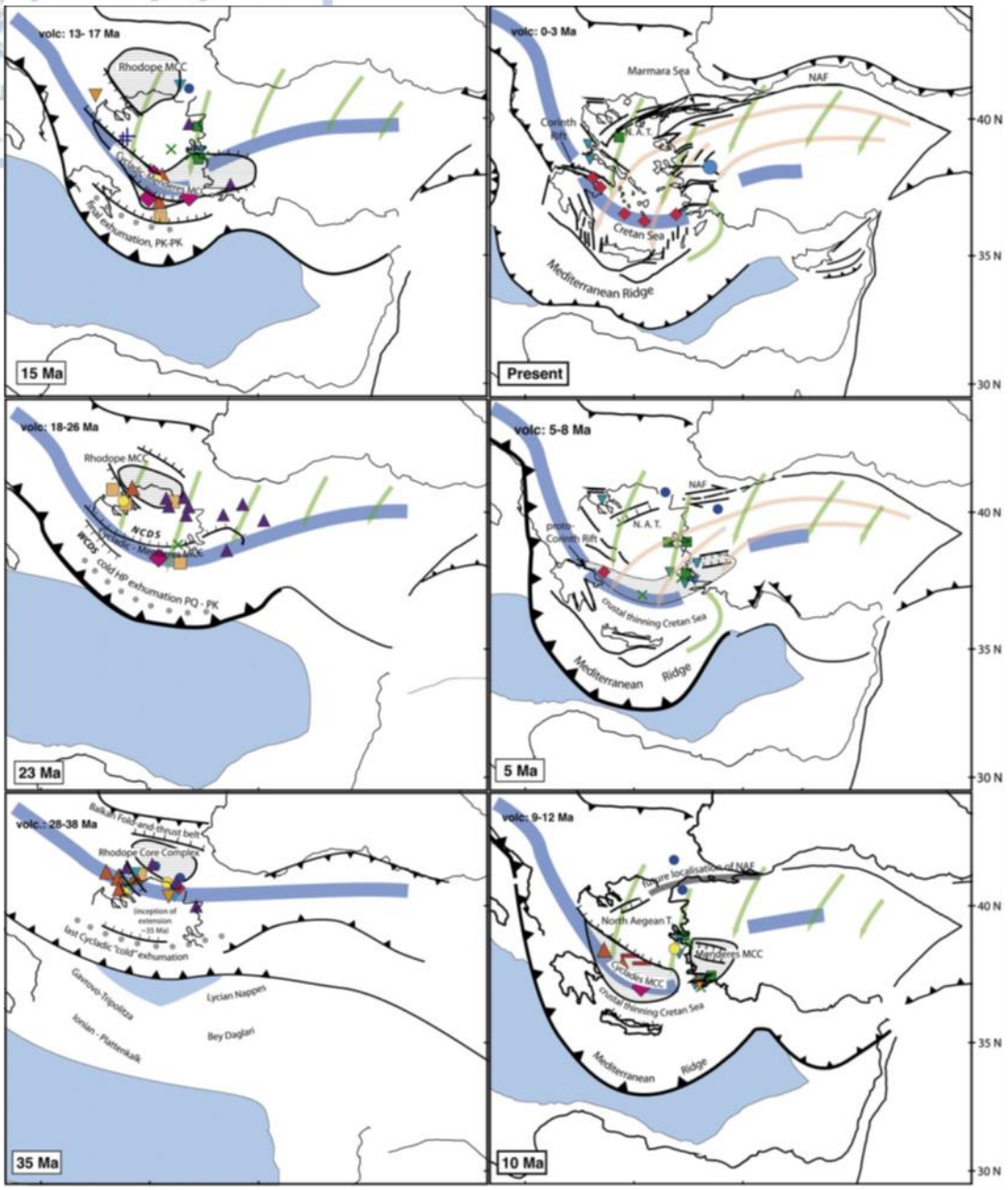
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ
Τμήμα



Εικ. 1.1.2 : Συνθετική λιθοστρωματογραφική στήλη της Νεογενούς - Τεταρτογενούς λεκάνης Αξιού (Koufos & Pavlides 1988).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

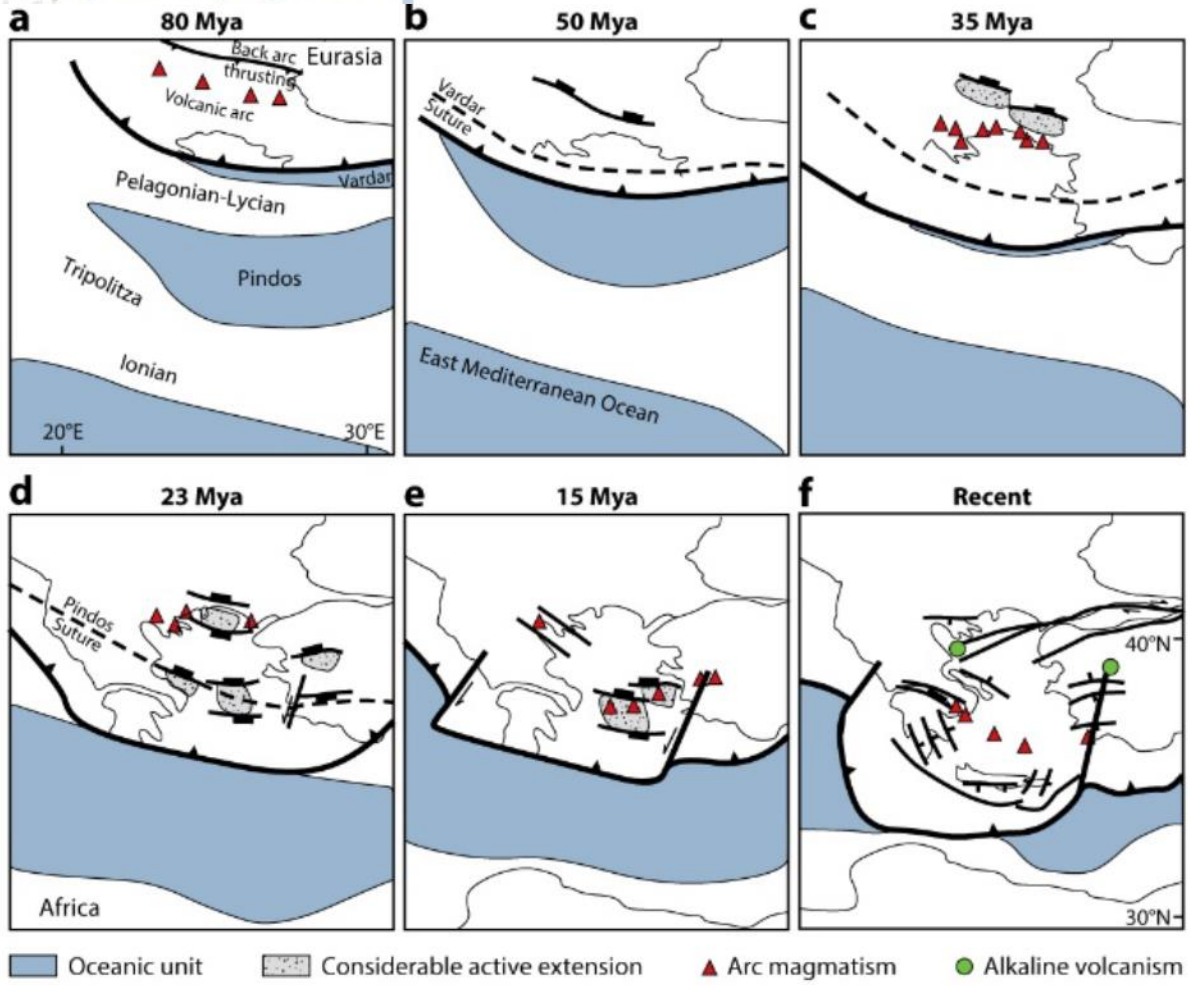
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη



Εικ. 1.1.3 : Αναπαραστάσεις της περιοχής του Αιγαίου από το Άνω Ηώκαινο (35 Ma) μέχρι και σήμερα. Η παχιά μπλε γραμμή δείχνει την θέση της πλάκας σε βάθος 150 km. Ο μπλε τομέας είναι η ωκεάνια λιθόσφαιρα της Ανατολικής Μεσογείου. Τα πράσινα βέλη αντιπροσωπεύουν την ασθενοσφαιρική ροή και τα πορτοκαλί την ροή του ανώτερου φλοιού. Ηφαιστειότητα από Pe-Piper and Piper (2006 και 2007, από Jolivet et al. 2012).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη



Εικ. 1.1.4 : Γεωδυναμική εξέλιξη και τεκτονική αναπαράσταση του Αιγαίου από τα 80 Ma έως την σημερινή κατάσταση (Ring et al. 2010, από Sinn & Schlemmer 2014).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
Τμήμα Γεωλογίας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στην περιοχή του Αγγελοχωρίου, βόρεια του λιμανιού του. Τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την συλλογή των δειγμάτων ήταν :

- Μια σκάλα, πτυσσόμενη, ώστε να φτάνει αρκετά μέτρα ψηλά
- Ένα φτυάρι για το σκάψιμο και την συλλογή των μαύρων άμμων
- Πλαστικές σακούλες για την αποθήκευση των δειγμάτων
- Ένας δέκτης GPS, για την ακριβή καταγραφή της κάθε θέσεως δειγματοληψίας
- Φωτογραφική μηχανή, για φωτογράφιση των θέσεων και των δειγμάτων για το αρχείο δειγματοληψίας
- Γραφική ύλη και τετράδιο για την συνεχή καταγραφή της διαδικασίας

Συνολικά τα δείγματα που συλλέχθηκαν ήταν 7 (Πιν. 2.1.1). Μετά τη δειγματοληψία, τα δείγματα μεταφέρθηκαν στα εργαστήρια του Τομέα Ορυκτολογίας - Πετρολογίας - Κοιτασματολογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης για επεξεργασία.

Πιν. 2.1.1 : Χαρακτηριστικά δειγμάτων.

ΔΕΙΓΜΑ	**ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ**				**ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ**
	WGS - 84		ΕΓΣΑ		
	ΠΛΑΤΟΣ	ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ	ΜΗΚΟΣ	
AGG-1	40,49915891	22,81752383	399651,596	4483546,633	Εικ. 2.1.1
AGG-2	40,49915891	22,81752383	399651,596	399651,596	Εικ. 2.1.2
AGG-3	40,49957000	22,81733600	399639,696	4483589,291	Εικ. 2.1.3
AGG-4	40,49974167	22,81721000	399625,870	4483611,681	Εικ. 2.1.4
	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ				
AGG-5	2 ηφαιστειακές και 2 γρανιτικές κροκάλες				
AGG-6	Άμμοι από παραλία, πολύ επιφανειακά. Η απόσταση τους από την θάλασσα ήταν 3m.				Εικ. 2.1.5
AGG-7					Εικ. 2.1.6

Τα δείγματα AGG-1 και AGG-2 απείχαν μεταξύ τους 2m και το ύψος τους από την επιφάνεια της θάλασσας ήταν 5m. Όσον αφορά το δείγμα AGG-3, αυτό απείχε 40m από το δείγμα AGG-2 και το ύψος του από την επιφάνεια της θάλασσας ήταν 6m. Τέλος, η απόσταση του δείγματος AGG-4 από το δείγμα AGG-2 ήταν 70m και το ύψος του από την επιφάνεια της θάλασσας ήταν 6m.

Τα δείγματα AGG-6 και AGG-7, αν και μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο, δεν επεξεργάστηκαν, ούτε χρησιμοποιήθηκαν για χημικές και ορυκτολογικές αναλύσεις. Θεωρήθηκε ότι δεν είναι αντιπροσωπευτικά, αφού αποτελούν αρκετά νεότερες αποθέσεις σε σχέση με τα δείγματα AGG-1, AGG-2, AGG-3 και AGG-4. Επιπλέον, διέφεραν ως προς τα τελευταία στο σχήμα και το μέγεθος των κόκκων.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

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

Το δείγμα AGG-5, που αποτελείται από 2 ηφαιστειακές και 2 γρανιτικές κροκάλες, χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή λεπτών τομών και την εξέταση αυτών στο πετρογραφικό μικροσκόπιο του εργαστηρίου.

Το βάρος των 4 δειγμάτων (AGG-1, AGG-2, AGG-3, AGG-4) που συλλέχθηκαν και επεξεργάστηκαν για χημικές και ορυκτολογικές αναλύσεις φαίνεται στον παρακάτω πίνακα (Πιν. 2.1.2).

Πιν. 2.1.2 : Βάρος δειγμάτων.

ΔΕΙΓΜΑ	AGG-1	AGG-2	AGG-3	AGG-4
ΒΑΡΟΣ (g)	6.291,0	5.750,5	6.410,6	4.232,0

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη

Εικ. 2.1.1 : Πρώτη θέση δειγματοληψίας του δείγματος AGG-1.

Εικ. 2.1.2 : Δεύτερη θέση δειγματοληψίας του δείγματος AGG-2.

Εικ. 2.1.3 : Τρίτη θέση δειγματοληψίας του δείγματος AGG-3.

Εικ. 2.1.4 : Τέταρτη θέση δειγματοληψίας του δείγματος AGG-4.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη

Εικ. 2.1.5 : Συλλογή δείγματος AGG-6 από άμμο παραλίας.

Εικ. 2.1.6 : Συλλογή δείγματος AGG-7 από άμμο παραλίας.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ
Τμήμα Γεωλογίας

2.2 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Τα δείγματα μετά την συλλογή και μεταφορά τους στο εργαστήριο, αφέθηκαν να στεγνώσουν σε θερμοκρασία δωματίου. Στη συνέχεια με χειροδιαλογή απομακρύνθηκαν οποιαδήποτε χονδροειδή ξένα σώματα (κελύφη, κομμάτια ξύλου, ρίζες κλπ.), ώστε τα δείγματα να είναι έτοιμα για τη διαδικασία του διαχωρισμού.

Για την επίτευξη του διαχωρισμού σε κλάσματα με τη μέθοδο του κοσκινίσματος χρησιμοποιήθηκαν για κάθε δείγμα κόσκινα διαμέτρου βροχίδων : 4mm, 2mm και 63μm. Το υλικό του πρώτου δείγματος (AGG-1) τοποθετείται μέσα στη σειρά από τα κόσκινα διαφορετικών διαμέτρων που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Το κόσκινο διαμέτρου 4mm τοποθετείται στην κορυφή, αμέσως από κάτω τοποθετείται το κόσκινο διαμέτρου 2mm, εν συνεχεία τοποθετείται το κόσκινο διαμέτρου 63μm, ακολουθεί ο δίσκος βάσης για την συγκράτηση των κόκκων με διάμετρο μικρότερη από 63 μm. Το δείγμα τοποθετείται μέσα στη στήλη των κοσκίνων και τέλος τοποθετείται το καπάκι.

Ολόκληρη η σειρά (στήλη) των κόσκινων μεταφέρεται στη συσκευή δόνησης που τίθεται σε λειτουργία για 15΄. Στη συνέχεια, ανοίγονται τα κόσκινα ένα-ένα από πάνω (μεγάλη διάμετρος) προς τα κάτω (μικρή διάμετρος), αδειάζεται το περιεχόμενο κάθε κόσκινου σε ένα καθαρό χαρτί και με ένα βουρτσάκι καθαρίζεται το πλέγμα τους, ώστε να απομακρυνθούν όλοι οι κόκκοι και το κόσκινο να καθαριστεί για να χρησιμοποιηθεί στο επόμενο δείγμα (Εικ. 2.2.1). Στην περίπτωση που κάποιοι κόκκοι παραμένουν στο κόσκινο χρησιμοποιείται σύστημα με αέρα υπό πίεση.

Το δείγμα με διάμετρο κόκκων μικρότερο από 2mm και μεγαλύτερο από 63μm υποβάλλεται ξανά σε κοσκίνισμα με την προσθήκη ενός ενδιάμεσου κόσκινου με διάμετρο βροχίδων 1mm. Το δείγμα με διάμετρο κόκκων 1mm-63μm αντιπροσωπεύει το τελευταίο κλάσμα της άμμου.

Μετά το κοσκίνισμα στη συσκευή δόνησης ο δίσκος βάσης περιλαμβάνει το λεπτόκοκκο υλικό με διάμετρο κόκκων <63μm, δηλαδή τα κλάσματα της ιλύος και της αργίλου τα οποία είναι αδύνατο να διαχωριστούν μεταξύ τους με τη μέθοδο του κοσκινίσματος. Για το λόγο αυτό το κλάσμα <63μm τοποθετείται σε μια χοάνη με διηθητικό χαρτί, περιβρέχεται με νερό από έναν υδροβολέα και αναδεύεται απαλά με μία γυάλινη ράβδο ώστε να διαχωριστούν μεταξύ τους τα κλάσματα της ιλύος και της αργίλου. Το κλάσμα της ιλύος παραμένει πάνω στο διηθητικό χαρτί, ενώ αντίθετα το κλάσμα της αργίλου μαζί με το νερό διαπερνάει το διηθητικό χαρτί και καταλήγει στο γυάλινο ογκομετρικό σκεύος που βρίσκεται τοποθετημένο κάτω από την χοάνη. Έπειτα, μόνο το κλάσμα της αργίλου, μαζί με το νερό στο οποίο περιέχεται, μεταφέρεται σε συσκευή υπερήχων για αποσυσσωμάτωση των κόκκων μεταξύ τους. Η διαδικασία αυτή κράτησε 5 λεπτά για κάθε δείγμα. Το δείγμα από το γυάλινο ογκομετρικό σκεύος (άργιλος) καθώς και το δείγμα από το διηθητικό χαρτί (ιλύς) μεταφέρονται σε πορσελάνινα σκεύη.

Στη συνέχεια τα δείγματα που βρίσκονται στα πορσελάνινα σκεύη τοποθετούνται σε ειδικό φούρνο στους 100ºC για μία ημέρα ώστε να απομακρυνθεί η υγρασία από το δείγμα. Εφόσον τα υλικά ξηραθούν, ζυγίζονται και τοποθετούνται σε πλαστικά σακουλάκια συνοδευόμενα από τα απαραίτητα στοιχεία (όνομα και αριθμός δείγματος).

Το υλικό από κάθε κόσκινο ζυγίζεται, σημειώνεται το βάρος του (Πιν. 2.2.1) και τοποθετείται σε πλαστικό σακουλάκι το οποίο αναγράφει τα απαραίτητα στοιχεία (όνομα και αριθμός δείγματος, διάμετρος κόσκινου), (Εικ. 2.2.2). Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται και για τα άλλα τρία δείγματα (AGG-2, AGG-3, AGG-4).

Στο κλάσμα 1mm - 63μm κάθε δείγματος, το οποίο θεωρήθηκε το πιο εμπλουτισμένο σε βαριά ορυκτά, πραγματοποιείται τεταρτημόρηση σε ειδική συσκευή για την καλύτερη ανάμιξη και τη συλλογή αντιπροσωπευτικού δείγματος. Μετά τη διαδικασία αυτή, λαμβάνονται περίπου 100 g από κάθε δείγμα (Πιν. 2.2.2) για τη διαδικασία του μαγνητικού

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη

διαχωρισμού που ακολουθεί.

Για τον μαγνητικό διαχωρισμό των δειγμάτων που προαναφέρθηκαν, περίπου 15 - 20g από κάθε δείγμα διαδοχικά, τοποθετούνται στη συσκευή του μαγνητικού διαχωρισμού (Εικ. 2.2.3), η οποία έχει ρυθμιστεί στην κατάλληλη ένταση (1,70 mA), ώστε να διαχωριστούν τα βαριά ορυκτά και το ζιρκόνιο (κλ. >1,70), στο οποίο επικεντρώνεται το ενδιαφέρον της συγκεκριμένης μελέτης, για την αυξημένη συγκέντρωση του σε REE σε σχέση με τα υπόλοιπα ορυκτά (κλ. <1,70). Η συσκευή τίθεται σε λειτουργία και το δείγμα διαχωρίζεται, καταλήγοντας ανάλογα με την ορυκτολογία του σε έναν από τους 2 κάδους που φέρει η συσκευή.

Μετά το πέρας της προαναφερθείσας διαδικασίας, το διαχωρισμένο πλέον δείγμα ζυγίζεται και τοποθετείται σε 2 πλαστικά σακουλάκια (κλ. >1,70 και κλ. <1,70) συνοδευόμενο με τα απαραίτητα στοιχεία (Πιν. 2.2.3). Η συσκευή καθαρίζεται και επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία και για τα τέσσερα δείγματα του Αγγελοχωρίου.

Πριν το μαγνητικό διαχωρισμό στο κλάσμα >1,70 πραγματοποιείται με έναν μαγνήτη χειρός η λήψη του μαγνητίτη από κάθε δείγμα (AGG-1, AGG-2, AGG-3, AGG-4). Ακολουθεί το ζύγισμα του μαγνητίτη και η τοποθέτηση του σε πλαστικό σακουλάκι με τα απαραίτητα στοιχεία κάθε δείγματος (Πιν. 2.2.3).

Πίν. 2.2.1 : Βάρος κάθε κλάσματος των δειγμάτων.

ΔΕΙΓΜΑ	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΒΑΡΟΣ (g)
AGG-1	κλ. >4mm	1.377,0
	4mm> κλ. >2mm	4.057,0
	2mm> κλ. >1mm	240,0
	1mm> κλ. >63μm	425,2
	κλ. <63μm	60,0
	Άργιλος	131,8
AGG-2	κλ. >4mm	1.081,0
	4mm> κλ. >2mm	2.814,0
	2mm> κλ. >1mm	1.602,0
	1mm> κλ. >63μm	130,728
	κλ. <63μm	52,0
	Άργιλος	70,8
AGG-3	κλ. >4mm	272,0
	4mm> κλ. >2mm	1.900,0
	2mm> κλ. >1mm	1.882,0
	1mm> κλ. >63μm	2.237,8
	κλ. <63μm	54,0
	Άργιλος	64,75
AGG-4	κλ. >4mm	346,0
	4mm> κλ. >2mm	2.023,0
	2mm> κλ. >1mm	877,0
	1mm> κλ. >63μm	912,85
	κλ. <63μm	32,5
	Άργιλος	40,6

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

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

Πίν. 2.2.2 : Βάρος των δειγμάτων από το κλάσμα 1mm-63μm μετά την τεταρτημόρηση.

ΔΕΙΓΜΑ	ΒΑΡΟΣ (g)
AGG-1	125,0
AGG-2	128,5
AGG-3	125,0
AGG-4	107,2

Πίν. 2.2.3 : Βάρος διαχωρισμένων δειγμάτων από το κλάσμα 1mm-63μm μετά το μαγνητικό διαχωρισμό.

ΔΕΙΓΜΑ	ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ	ΒΑΡΟΣ (g)
AGG-1	Μαγνητίτης	3,90
	κλ. >1,70	7,2
	κλ. <1,70	13,4
AGG-2	Μαγνητίτης	5,3
	κλ. >1,70	3,75
	κλ. <1,70	11,2
AGG-3	Μαγνητίτης	1,8
	κλ. >1,70	5,1
	κλ. <1,70	11,5
AGG-4	Μαγνητίτης	4,2
	κλ. >1,70	2,8
	κλ. <1,70	7,1

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡ
Τμήμα Γ
Α.Π

Εικ. 2.2.1 : Άδειασμα περιεχομένου και καθαρισμός των κόσκινων.

Εικ. 2.2.2 : Τοποθέτηση των διάφορων κλασμάτων σε πλαστικά σακουλάκια και αναγραφή των χαρακτηριστικών του καθενός.

Εικ. 2.2.3 : Συσκευή μαγνητικού διαχωρισμού.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Α.Π.Θ

2.2.1 Προετοιμασία Για Ορυκτολογικές Αναλύσεις

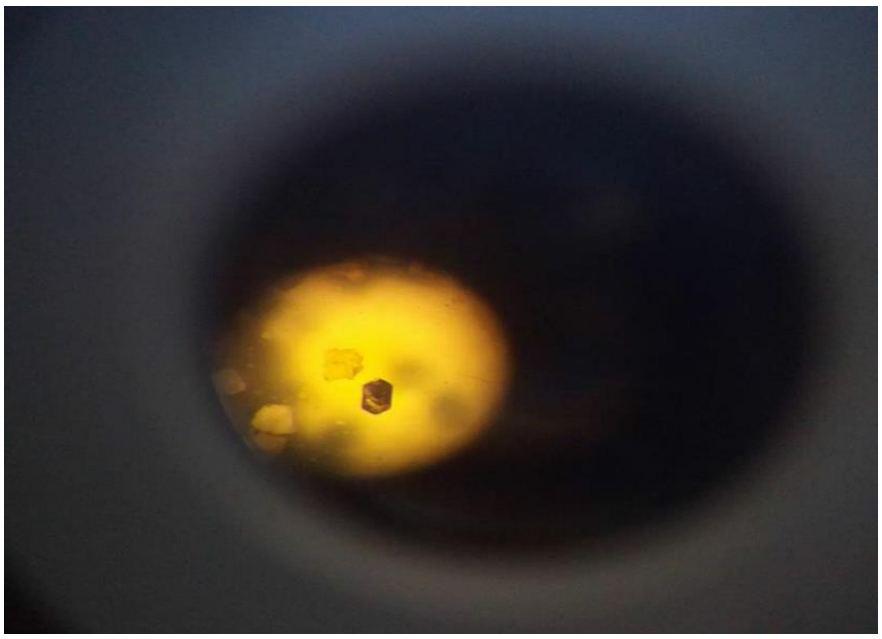
Ο μαγνητικός διαχωρισμός, όπως προαναφέρθηκε, έγινε για τον διαχωρισμό των βαριών ορυκτών, τα οποία μας ενδιαφέρουν, από τα υπόλοιπα ορυκτά των δειγμάτων. Μετέπειτα του μαγνητικού διαχωρισμού, πραγματοποιείται η μελέτη όλων των δειγμάτων από το κλ. >1,70 στο στερεοσκόπιο, ώστε να διαπιστωθεί αν τα ορυκτά διαχωρίστηκαν σωστά με τον μαγνητικό διαχωρισμό, καθώς και για την εύρεση κρυστάλλων ζιρκονίων και γενικά των ορυκτών που επικρατούν (Εικ. 2.2.1.1). Ακολουθεί η προετοιμασία των δειγμάτων για ορυκτολογικές αναλύσεις με ακτίνες – Χ (XRD), για να βρεθούν ακριβώς τα ορυκτά και τα ποσοστά αυτών, τα οποία τελικά περιλαμβάνουν τα δείγματα.

Για τον σκοπό αυτό, χρειάστηκε μισό γραμμάριο (0,5 g) από κάθε δείγμα. Τα δείγματα που προορίζονταν για αναλύσεις, ήταν όλα τα κλάσματα >1,70 από τα διαχωρισμένα κλάσματα 1mm – 63μm κάθε δείγματος. Έπειτα, το μισό γραμμάριο κάθε δείγματος, κονιοποιήθηκε σε γουδί χειρός από αχάτη έως ότου γίνει αναφής σκόνη. Το γεγονός ότι το γουδί ήταν από αχάτη δεν επηρεάζει καθόλου τις ορυκτολογικές αναλύσεις σε περίπτωση που φύγει κάποιο θραύσμα του, αφού τα δείγματα περιέχουν ούτως ή άλλως χαλαζία.

Στη συνέχεια, η αναφής πλέον σκόνη, τοποθετήθηκε σε ειδικά εξαρτήματα ορθογώνιου σχήματος και κοίλα στην μέση. Η τοποθέτηση έγινε πολύ προσεκτικά, καθώς έπρεπε να καλυφθεί ολόκληρη η κοίλη επιφάνεια χωρίς να αφεθούν κενά. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε ένα τετράγωνο μικρό γυαλί ώστε να γίνει λεία η επιφάνεια της σκόνης .

Τέλος, τα 4 δείγματα τοποθετήθηκαν στις ειδικές υποδοχές του μηχανήματος των XRD για να ξεκινήσει η διαδικασία της ανάλυσης. Από τα αποτελέσματα που θα προκύπταν, θα γινόταν η επιλογή ενός δείγματος από τα 4 για να ακολουθηθεί η γεωχημική ανάλυση.

Οι ορυκτολογικές αναλύσεις XRD έγιναν στα εργαστήρια του Τομέα Ορυκτολογίας - Πετρολογίας - Κοιτασματολογίας, του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.



Εικ. 2.2.1.1 : Κρύσταλλος ζιρκονίου στο στερεοσκόπιο από το δείγμα AGG-3.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

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

Όσον αφορά την μελέτη των ζιρκονίων στο στερεοσκόπιο, εκτός από την διαπίστωση ότι ο μαγνητικός διαχωρισμός επετεύχθη σωστά, αυτή βοήθησε και σε ένα δεύτερο σκοπό. Έπρεπε να βρεθεί εάν τα ζιρκόνια της περιοχής μελέτης μοιάζουν με τα ζιρκόνια του γρανίτη του Φανού ή με αυτά του γρανίτη του Μονοπήγαδου. Συγκρίνοντας τα, έγινε φανερό ότι τα ζιρκόνια αυτά είναι παρόμοια με τα ζιρκόνια του γρανίτη του Μονοπήγαδου.

2.2.2 Προετοιμασία Για Χημικές Αναλύσεις

Με βάση τα αποτελέσματα των ορυκτολογικών αναλύσεων που παρουσιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο, το δείγμα AGG-3 κρίθηκε το πιο ελπιδοφόρο για να γίνουν οι χημικές αναλύσεις. Όλα τα κλάσματα του δείγματος αυτού κονιοποιήθηκαν σε μύλο κονιοποίησης βολφραμίου. Για το λόγο αυτό οι τιμές του βολφραμίου είναι αυξημένες στα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων και δεν χρησιμοποιήθηκαν.

Η διαδικασία της κονιοποίησης ξεκίνησε με το χονδρόκοκκο κλάσμα (3 coarse). Το κλάσμα αυτό αδειάζεται σε ειδικό σκεύος βολφραμίου και εισέρχεται στην συσκευή για περίπου 5 λεπτά. Στη συνέχεια κονιοποιημένο δείγμα αδειάζετε σε πλαστικό σακουλάκι που αναγράφει τις απαραίτητες πληροφορίες. Το σκεύος βολφραμίου καθαρίζεται με αιθανόλη και απορροφητικό χαρτί και στη συνέχεια μικρή ποσότητα από το επόμενο κλάσμα (κλ. > 2mm) μπαίνει στο σκεύος βολφραμίου και στην συσκευή για λίγα λεπτά ώστε να καθαριστεί το σκεύος με το ίδιο δείγμα που θα κονιοποιηθεί στη συνέχεια. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλα τα κλάσματα της άμμου, στα κλάσματα που έχουν διαχωριστεί με μαγνητικό διαχωρισμό, καθώς και για το ολικό δείγμα. Τέλος τα δείγματα ζυγίζονται και είναι έτοιμα να σταλούν για χημικές αναλύσεις (Πιν. 2.2.2.1).

Πιν. 2.2.2.1 : Βάρος κάθε κλάσματος του δείγματος AGG-3 μετά την κονιοποίηση σε μύλο βολφραμίου.

ΚΛΑΣΜΑ	ΒΑΡΟΣ (g)
3 total	15,20
3 coarse	15,85
κλ. >2mm	15,84
2mm> κλ. >1mm	15,19
1mm> κλ. >63μm	15,31
κλ. >1,70	5,10
κλ. <1,70	6,61

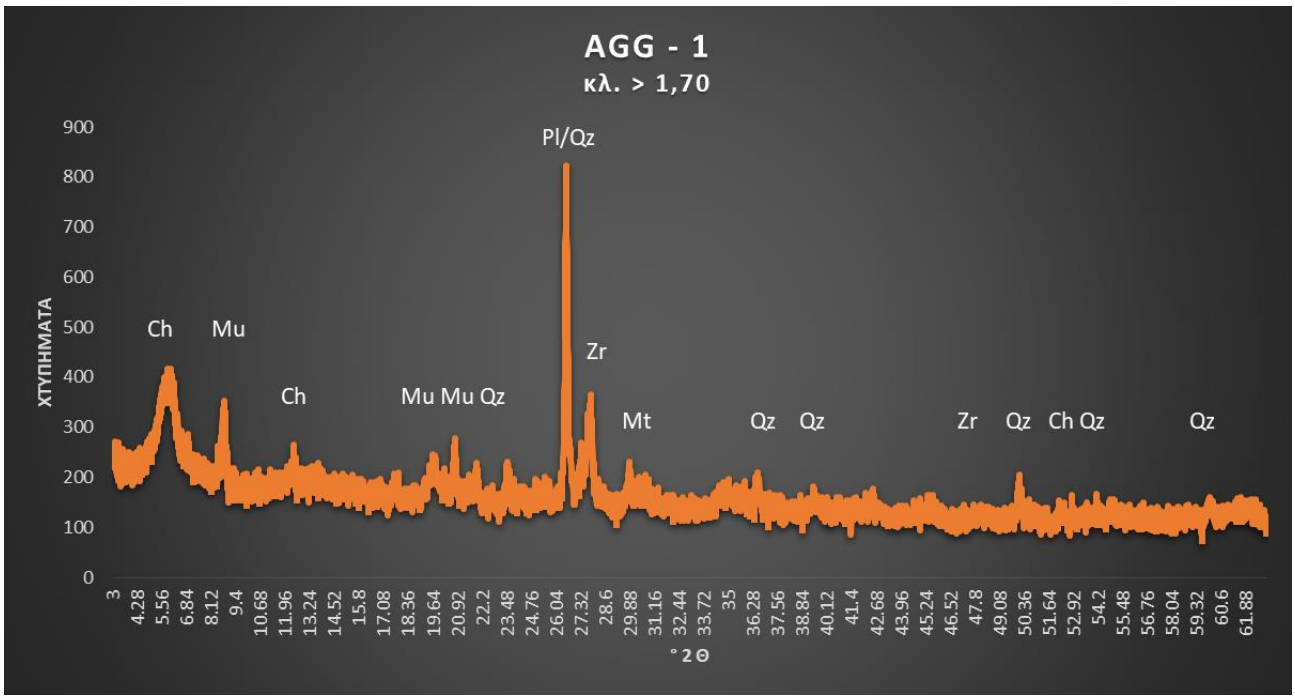
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

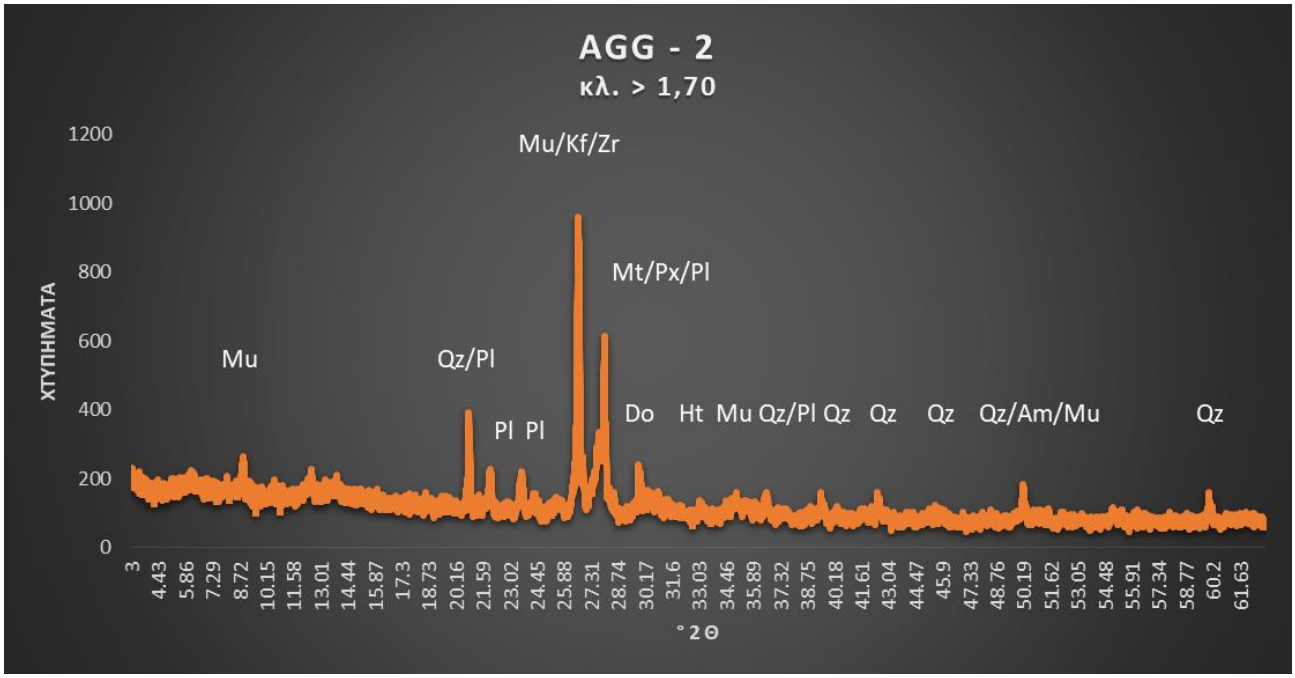
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
Τμήμα Γεωλογίας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

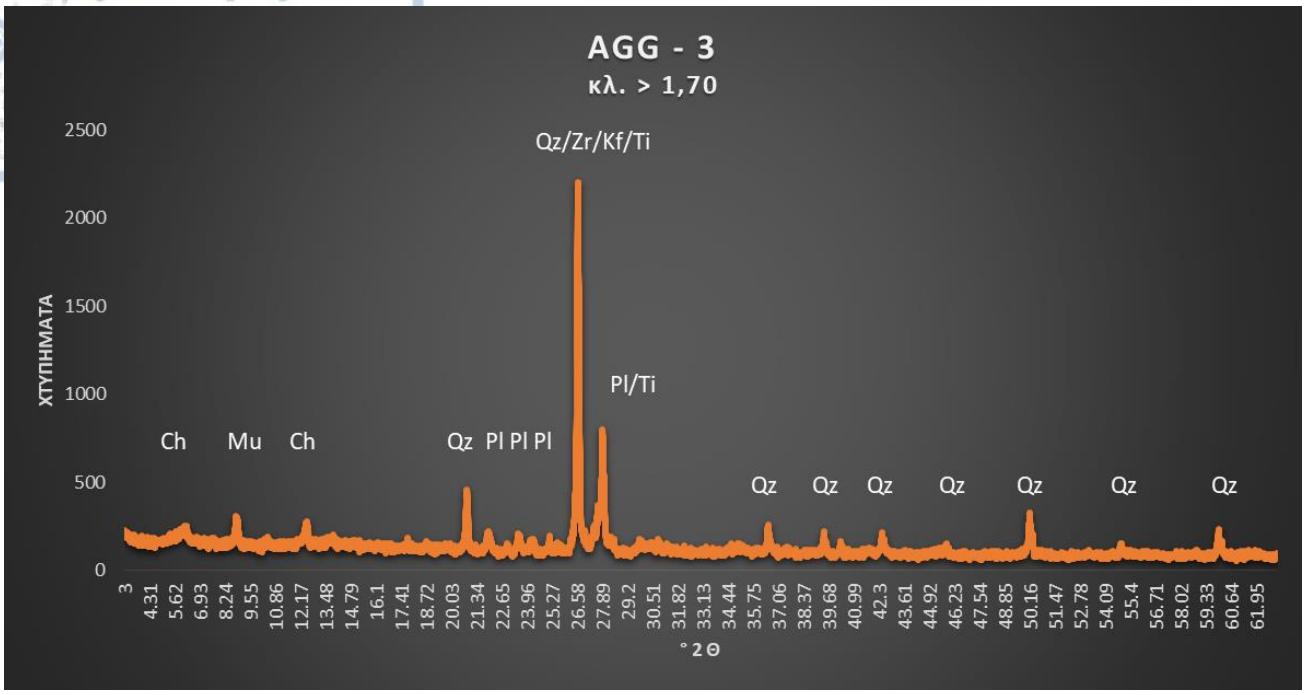
Από τη μέθοδο XRD που εφαρμόστηκε στα 4 δείγματα, προέκυψαν περιθλασιογράμματα και τιμές εντάσεων των χαρακτηριστικών ανακλάσεων των ορυκτών μετρούμενες σε γωνίες 2θ. Όλα αυτά αναλύθηκαν, με σκοπό να βρεθούν όλα τα ορυκτά που περιέχονται σε κάθε δείγμα, για να γίνει η επιλογή του καταλληλότερου δείγματος για γεωχημικές αναλύσεις. Τα διαγράμματα που προέκυψαν από τη μέθοδο XRD για κάθε δείγμα, είναι τα παρακάτω :

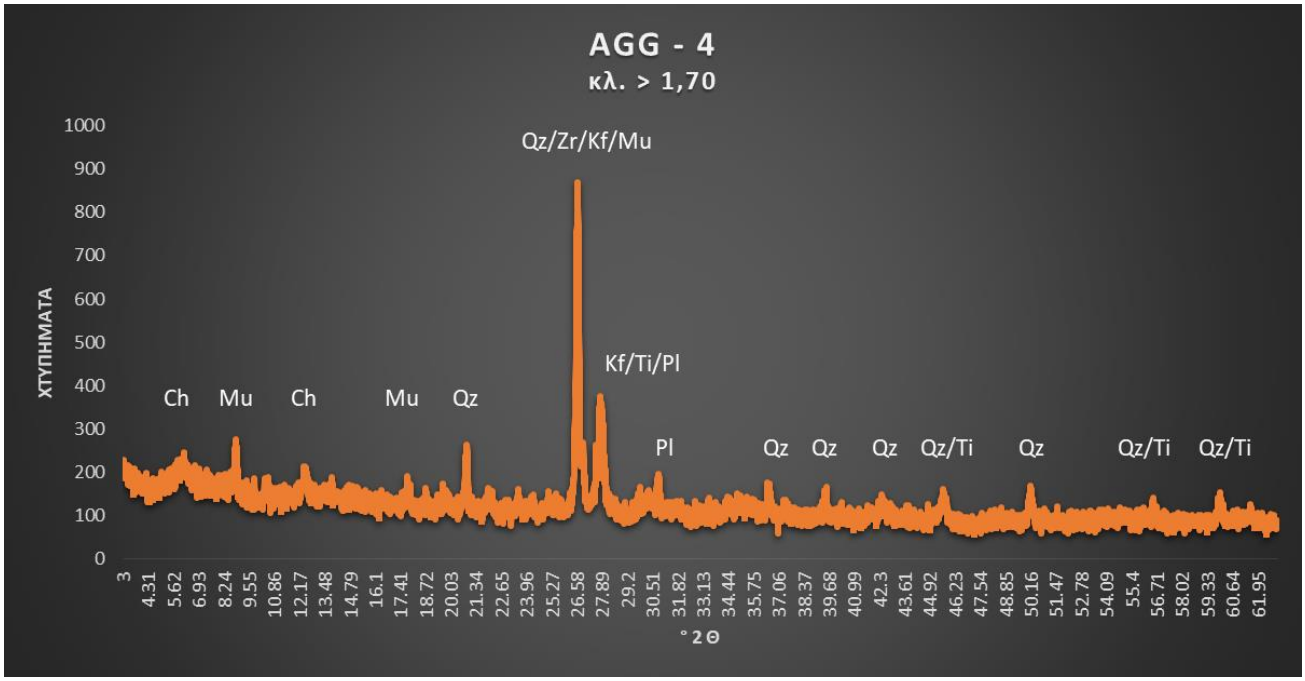




Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη





Οι συντομογραφίες των ορυκτών στις κορυφές των διαγραμμάτων είναι :

- Qz : χαλαζίας
- Pl : πλαγιόκλαστο
- Kf : καλιούχος άστριος
- Ch : χλωρίτης
- Mu : μοσχοβίτης
- Am : αμφίβολος
- Zr : ζιρκόνιο
- Ti : τιτανίτης
- Mt : μαγνητίτης
- Ht : αιματίτης
- Px : πυρόξενος
- Do : δολομίτης

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

Στα παραπάνω διαγράμματα απεικονίζονται μόνο τα ορυκτά που αντιστοιχούν στις μεγαλύτερες κορυφές. Περαιτέρω ανάλυση που έγινε σε όλες τις τιμές των γωνιών 2θ καθώς και στον αριθμό των χτυπημάτων σε κάθε ορυκτό, έδωσε το ακριβές ποσοστό του κάθε ορυκτού που συμμετέχει σε κάθε δείγμα (Πιν. 3.1.1).

Πιν. 3.1.1 : Ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.) των εξεταζόμενων δειγμάτων, όπου Ru = ρουτίλιο και Ilm = ιλμενίτης. Τα υπόλοιπα ορυκτά ορίζονται ως άνω.

ΟΡΥΚΤΟ	ΔΕΙΓΜΑ 1 % κ.β.	ΔΕΙΓΜΑ 2 % κ.β.	ΔΕΙΓΜΑ 3 % κ.β.	ΔΕΙΓΜΑ 4 % κ.β.
Qz	22	38	40	31
Pl	14	26	30	21
Mu	16	9	9	13
Ch	28	4	7	7
Mt	9	5	5	5
Kf	4	4	-	7
Ti	-	-	2	5
Zr	3	2	3	3
Px	-	4	1	2
Do	-	3	2	3
Ht	-	2	-	-
Ilm	-	2	-	-
Ru	4	-	-	-
Am	-	1	1	3

Όπως παρατηρείται στον παραπάνω πίνακα τα εξεταζόμενα δείγματα αποτελούνται κυρίως από χαλαζία, αστρίους και φυλλοπυριτικά ορυκτά. Σε μικρότερες ποσότητες βρέθηκαν: μαγνητίτης, τιτανίτης, ενώ σε πολύ χαμηλή περιεκτικότητα υπολογίστηκαν: πυρόξενοι, αμφίβολοι, δολομίτης και βαριά ορυκτά όπως το ζιρκόνιο, ο αιματίτης και ο ιλμενίτης.

Συγκεκριμένα ο χαλαζίας βρίσκεται σε ποσοστά 22% (δείγμα 1) – 40% (δείγμα 3), το πλαγιόκλαστο σε ποσοστά 14% (δείγμα 1) - 30% (δείγμα 3), ο μοσχοβίτης κυμαίνεται από 9% (δείγμα 2 και 3) έως 16% (δείγμα 4) και ο χλωρίτης υπάρχει σε ποσοστά 4% (δείγμα 2) - 28% (δείγμα 1). Ο μαγνητίτης υπάρχει σε ποσοστά 5% (δείγματα 2,3,4) - 9% (δείγμα 1), ο καλιούχος άστριος 4% (δείγματα 1,2) - 7% (δείγμα 4), ο τιτανίτης κυμαίνεται από 2% (δείγμα 3) έως 5% (δείγμα 4), το ζιρκόνιο από 2% (δείγμα 2) - 3% (δείγματα 1,3,4), ο πυρόξενος από 1% (δείγμα 3) - 4% (δείγμα 2). Τέλος ο δολομίτης περιέχεται σε ποσοστά 2% (δείγμα 3) - 3% (δείγματα 2,4), ο αιματίτης και ο ιλμενίτης υπάρχουν σε ποσοστό 2% (δείγμα 2), το ρουτίλιο 4% (δείγμα 1) και η αμφίβολος βρίσκεται μεταξύ 1% (δείγματα 2,3) και 3% (δείγμα 4).

Αφού βρέθηκαν τα ποσοστά των ορυκτών του κάθε δείγματος, αποφασίστηκε να γίνουν γεωχημικές αναλύσεις μόνο στα κλάσματα του τρίτου δείγματος. Αυτό συνέβη γιατί το δείγμα 3 περιέχει υψηλότερο ποσοστό ζιρκονίου από τα δείγματα 1 και 2. Ανάμεσα στα δείγματα 3 και 4, η επιλογή ήταν τυχαία αφού αυτά παρουσιάζουν παρόμοια ποσοστά ορυκτών και πιο συγκεκριμένα ίδιο ποσοστό ζιρκονίου.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Α.Π.Θ

3.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΙΖΗΜΑΤΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Εκτός από τις ορυκτολογικές αναλύσεις, έγινε ταυτόχρονα και ιζηματολογική ανάλυση με σκοπό την λιθολογική ταξινόμηση των δειγμάτων σύμφωνα με το βάρος τους και το ποσοστό συμμετοχής κάθε κλάσματος στο συνολικό βάρος αυτών (Πιν. 3.2.1).

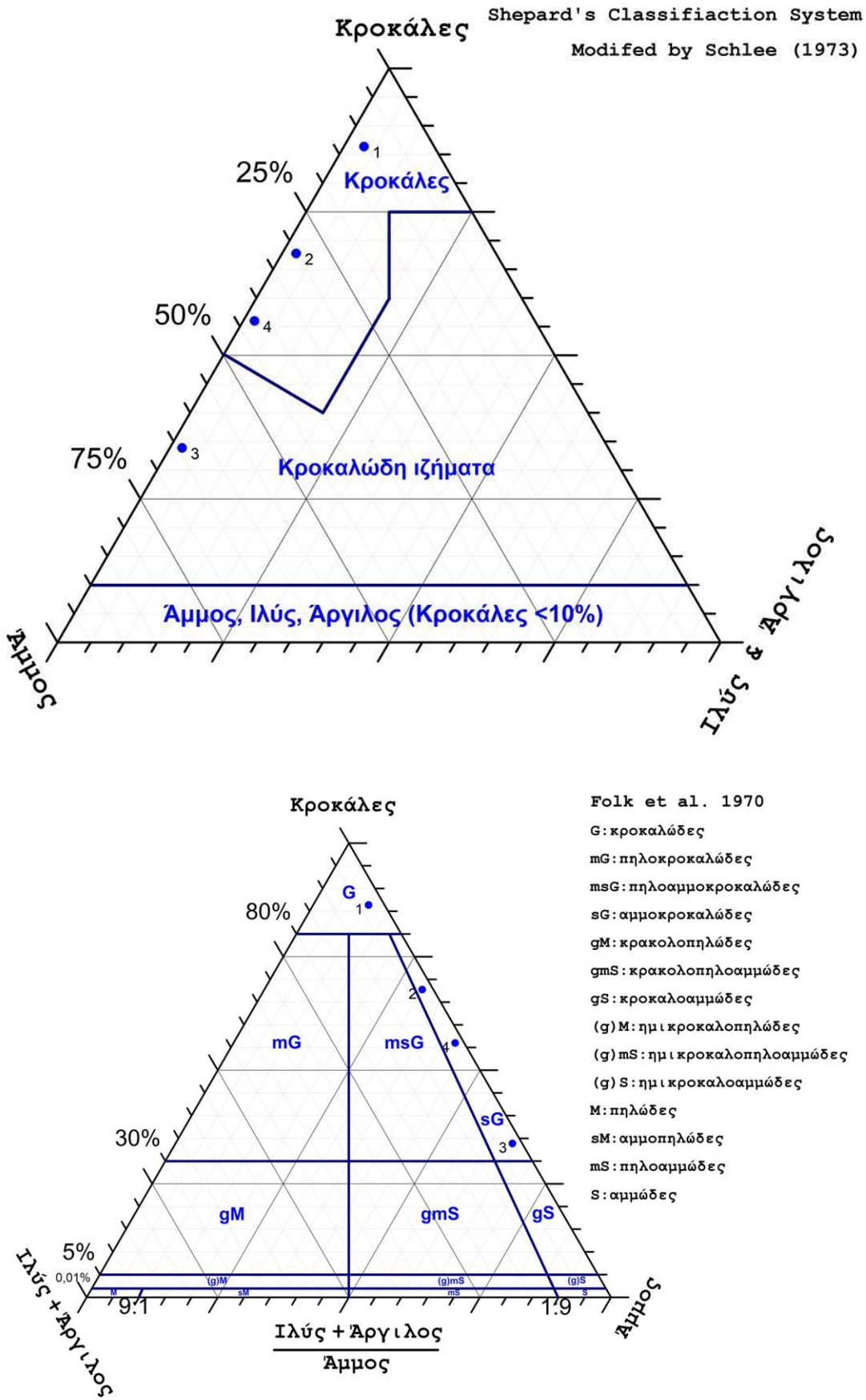
Πιν. 3.2.1 : Λιθολογικά κλάσματα (% κ.β.) των εξεταζόμενων δειγμάτων.

Δείγμα	**Κροκάλες (>2mm)**	**Άμμος (2-0,063mm)**	**Ιλύς + άργιλος (<0,063mm)**
AGG-1	86,38	10,57	3,05
AGG-2	67,73	30,13	2,14
AGG-3	33,88	64,27	1,85
AGG-4	55,98	42,29	1,73

Τα παραπάνω δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν στα ακόλουθα δύο διαγράμματα λιθολογικής ταξινόμησης κατά Shepard όπως τροποποιήθηκε από τον Schlee (1973) και κατά Folk et al. (1970) αντίστοιχα (Εικ. 3.2.1).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη



Εικ. 3.2.1 : Λιθολογική ταξινόμηση των εξεταζόμενων δειγμάτων AGG-1, AGG-2, AGG-3 και AGG-4 που συμβολίζονται με τους αριθμούς 1, 2, 3 και 4 αντίστοιχα.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

Εξετάζοντας τα παραπάνω διαγράμματα προκύπτει ότι κατά Schlee (1973) τα δείγματα 1, 2 και 4 είναι κροκάλες, ενώ το δείγμα 3 ανήκει στα κροκαλώδη ιζήματα. Σύμφωνα με τους Folk et al. (1970) το δείγμα 1 ταξινομείται λιθολογικά ως κροκαλώδες ίζημα, ενώ τα δείγματα 2, 3 και 4 ως αμμοκροκαλώδη. Μεταξύ των δύο ταξινομήσεων παρατηρείται καλή συμφωνία. Με βάση τις ταξινομήσεις αυτές μπορεί να αναφερθεί ότι τα εξεταζόμενα δείγματα είναι τυπικά δείγματα ποταμοχειμάρριας μεταφοράς και απόθεσης, δηλαδή δείχνουν συνθήκες σχετικά υψηλής δυναμικής ενέργειας μεταφοράς (Βενετικίδης, 2012).

3.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΕΩΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

Τα επτά κλάσματα του δείγματος AGG-3 (3 total, 3 coarse, κλ.>2mm, 2mm>κλ.>1mm, 1mm>κλ.>63μm, κλ.>1,70, κλ.<1,70) που κονιοποιήθηκαν σε μύλο βολφραμίου στάλθηκαν στο ινστιτούτο MS Analytical για γεωχημικές αναλύσεις. Οι αναλύσεις έγιναν με τη μέθοδο ICP-MS για τα χημικά στοιχεία με συγκεντρώσεις μερικών ppm και με τη μέθοδο XRF για τα οξείδια των κύριων στοιχείων σε συγκεντρώσεις επί τις εκατό. Τα αποτελέσματα δίνονται στον πίνακα 3.3.1.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Πιν. 3.3.1 : Γεωχημικές αναλύσεις, όπου τα οξείδια εκφράζονται σε τιμές επι τοις εκατό ενώ τα ιχνοστοιχεία σε ppm.

	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	MnO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	CR_2O_3	SO_3	SrO	BaO	LOI	Total
3 total	81,66	0,18	7,19	1,85	0,39	0,46	0,68	1,91	2,07	0,05	<0,01	<0,01	0,02	0,1	1,89	98,49
3 coar -se	78,94	0,27	8,88	2,15	0,34	0,69	0,59	2,32	2,68	0,12	<0,01	<0,01	0,03	0,2	2,11	99,33
κλ. > 2mm	82,17	0,22	7,39	2,04	0,46	0,48	0,58	1,91	2,16	0,07	<0,01	<0,01	0,01	0,2	1,74	99,39
2mm >κλ.> 1mm	84,17	0,22	6,75	1,61	0,32	0,30	0,65	1,75	2,11	0,04	<0,01	<0,01	0,02	0,2	1,47	99,64
1mm >κλ.> 63μm	81,22	0,23	8,35	2,02	0,50	0,34	1,22	2,18	2,14	0,04	<0,01	<0,01	0,03	<0,1	1,61	99,86
κλ. > 1,70	61,24	0,79	13,55	6,62	3,01	0,74	4,47	2,02	2,20	0,11	0,01	<0,01	0,06	0,2	4,14	99,15
κλ. < 1,70	85,38	0,08	7,38	0,63	<0,01	0,20	0,51	2,22	2,33	0,02	<0,01	<0,01	0,02	<0,1	0,99	99,76

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Πιν. 3.3.1 : Συνέχεια.

	Rb	**Ba**	**Sr**	**Cs**	**Ga**	**Cr**	**V**	**Th**	**U**	**Sn**	**Ta**	**Nb**	**Zr**	**Y**	**Hf**
3 total	58,4	1148,6	201,5	1,91	7,9	30	52	6,90	1,48	<5	0,9	4,5	71	9,2	2,4
3 coar -se	86,1	1263,7	223,6	2,22	10,6	19	76	11,31	2,74	<5	1,0	6,8	94	14,5	2,9
κλ. > 2mm	61,5	973,5	156,7	1,78	8,4	27	57	7,12	1,84	<5	0,9	5,0	77	13,2	2,3
2mm >κλ.> 1mm	54,8	831,2	155,8	1,56	6,9	26	39	3,17	1,28	<5	0,8	3,2	69	8,3	2,1
1mm >κλ.> 63μm	61,5	1023,4	256,3	1,97	8,8	56	47	6,97	1,38	<5	0,9	5,8	67	9,6	1,9
κλ. > 1,70	93,3	1368,1	474,3	6,19	18,1	137	147	23,13	4,13	<5	1,4	16,7	123	29,4	3,9
κλ. < 1,70	53,9	807,8	207,2	1,04	6,6	<10	16	4,59	0,74	<5	0,6	2,9	53	5,0	1,6

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Πιν. 3.3.1 : Συνέχεια.

	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Total	REE_2O_3
3 total	15,7	31,2	3,40	13,8	2,76	0,64	2,30	0,32	2,05	0,40	1,10	0,17	1,14	0,16	75,14	0,009
3 coar - se	22,5	36,1	4,85	19,6	4,16	0,72	3,39	0,52	3,14	0,63	1,81	0,26	1,72	0,26	99,66	0,012
κλ. > 2mm	16,2	28,9	3,59	14,2	2,94	0,64	2,53	0,40	2,54	0,56	1,54	0,22	1,53	0,21	76,00	0,009
2mm >κλ.> 1mm	11,8	21,6	2,54	9,9	2,08	0,47	1,70	0,27	1,70	0,35	0,99	0,15	1,01	0,16	54,72	0,006
1mm >κλ.> 63μm	15,8	29,5	3,39	13,6	2,83	0,65	2,25	0,34	2,02	0,40	1,17	0,17	1,17	0,17	73,46	0,009
κλ. > 1,70	60,8	121,2	13,12	52,7	9,75	1,87	7,96	1,11	6,33	1,29	3,50	0,47	3,36	0,49	283, 95	0,033
κλ. < 1,70	8,8	16,3	1,78	7,2	1,48	0,38	1,20	0,17	0,97	0,20	0,59	0,09	0,62	0,10	39,88	0,005

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ

Από τις αναλύσεις του πίνακα 3.3.1, για κάθε δείγμα (3 total, 3 coarse, κλ.>2mm, 2mm>κλ.>1mm, 1mm>κλ.>63μm, κλ.>1,70, κλ.<1,70) υπολογίστηκε το ποσοστό των ορυκτών συστατικών του δείγματος (Πιν. 3.3.2). Η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι : κατασκευάστηκαν εξισώσεις για κάθε οξείδιο της μορφής

$(SiO_2)_{ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ}$ = Qz $(SiO_2)_{Qz}$ + Kf $(SiO_2)_{Kf}$ + Pl $(SiO_2)_{Pl}$ + Ti $(SiO_2)_{Ti}$ + Zr $(SiO_2)_{Zr}$ + Mu $(SiO_2)_{Mu}$ + Ch $(SiO_2)_{Ch}$ + Am $(SiO_2)_{Am}$ + Px $(SiO_2)_{Px}$ + Mt $(SiO_2)_{Mt}$ + Do $(SiO_2)_{Do}$ + Ap $(SiO_2)_{Ap}$

$(TiO_2)_{ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ}$ = Qz $(TiO_2)_{Qz}$ + Kf $(TiO_2)_{Kf}$ + Pl $(TiO_2)_{Pl}$ + Ti $(TiO_2)_{Ti}$ + Zr $(TiO_2)_{Zr}$ + Mu $(TiO_2)_{Mu}$ + Ch $(TiO_2)_{Ch}$ + Am $(TiO_2)_{Am}$ + Px $(TiO_2)_{Px}$ + Mt $(TiO_2)_{Mt}$ + Do $(TiO_2)_{Do}$ + Ap $(TiO_2)_{Ap}$

$(Al_2O_3)_{ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ}$ = Qz $(Al_2O_3)_{Qz}$ + Kf $(Al_2O_3)_{Kf}$ + Pl $(Al_2O_3)_{Pl}$ + Ti $(Al_2O_3)_{Ti}$ + Zr $(Al_2O_3)_{Zr}$ + Mu $(Al_2O_3)_{Mu}$ + Ch $(Al_2O_3)_{Ch}$ + Am $(Al_2O_3)_{Am}$ + Px $(Al_2O_3)_{Px}$ + Mt $(Al_2O_3)_{Mt}$ + Do $(Al_2O_3)_{Do}$ + Ap $(Al_2O_3)_{Ap}$

⋮

$(ZrO_2)_{ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ}$ = Qz $(ZrO_2)_{Qz}$ + Kf $(ZrO_2)_{Kf}$ + Pl $(ZrO_2)_{Pl}$ + Ti $(ZrO_2)_{Ti}$ + Zr $(ZrO_2)_{Zr}$ + Mu $(ZrO_2)_{Mu}$ + Ch $(ZrO_2)_{Ch}$ + Am $(ZrO_2)_{Am}$ + Px $(ZrO_2)_{Px}$ + Mt $(ZrO_2)_{Mt}$ + Do $(ZrO_2)_{Do}$ + Ap $(ZrO_2)_{Ap}$

Ως $(SiO_2)_{ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ}$, $(TiO_2)_{ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ}$, $(Al_2O_3)_{ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ}$ … $(ZrO_2)_{ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ}$ χρησιμοποιήθηκε η ανάλυση του δείγματος. Οι περιεκτικότητες των διάφορων ορυκτών σε (SiO_2), (TiO_2), (Al_2O_3) κλπ. λήφθηκαν από Deer et al. (1992). Η παραπάνω διαδικασία ακολουθήθηκε και για τα 7 δείγματα.

Πιν. 3.3.2 : Ποσοστό επι τοις εκατό των ορυκτών που περιέχει κάθε δείγμα, όπου Ap = απατίτης. Τα υπόλοιπα ορυκτά όπως έχουν οριστεί στο κεφάλαιο 3.1.

	Qz %	**Kf %**	**Pl %**	**Ti %**	**Zr %**	**Mu %**	**Ch %**	**Am %**	**Px %**	**Mt %**	**Do %**	**Ap %**
3 total	59,51	9,11	16,82	0,30	0,02	8,73	0,00	0,00	0,00	1,31	0,57	0,32
3 coarse	51,48	12,20	20,14	0,43	0,02	10,60	0,00	0,00	0,00	1,49	0,00	0,39
κλ. > 2mm	59,71	8,21	16,64	0,35	0,02	10,59	0,00	0,00	0,00	1,39	0,37	0,28
2mm >κλ.> 1mm	63,04	10,60	15,16	0,42	0,02	7,05	0,00	0,00	0,00	1,16	0,52	0,28
1mm >κλ.> 63μm	55,98	7,88	20,21	0,52	0,02	11,63	0,00	0,00	0,00	1,30	1,15	0,61
κλ. > 1,70	26,37	0,00	25,06	2,08	0,04	28,83	6,69	0,00	0,00	4,63	6,87	1,80
κλ. < 1,70	60,91	16,53	19,07	0,08	0,01	1,38	0,00	0,00	0,00	0,50	0,20	0,27

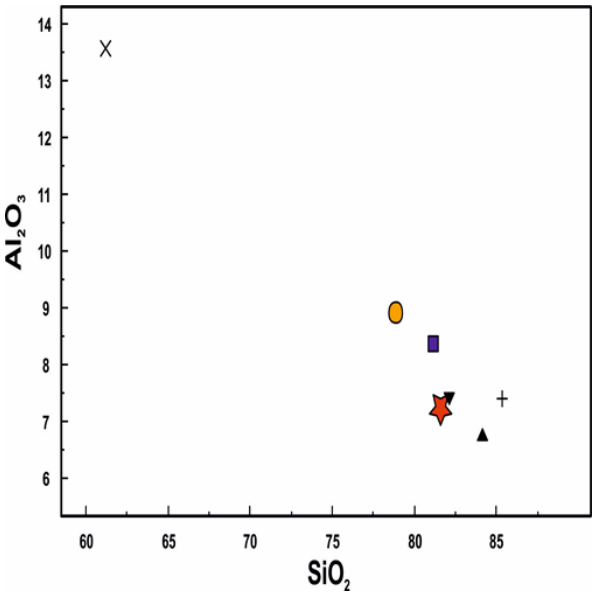
Για λόγους ευκολότερου υπολογισμού των αποτελεσμάτων από τις εξισώσεις, στα ορυκτά αμφίβολος και πυρόξενος δόθηκε μηδενική τιμή, αφού και στις ορυκτολογικές

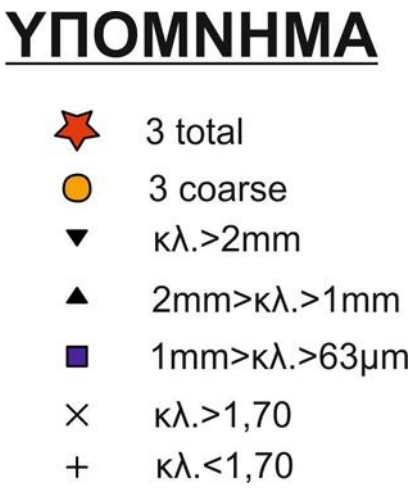
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

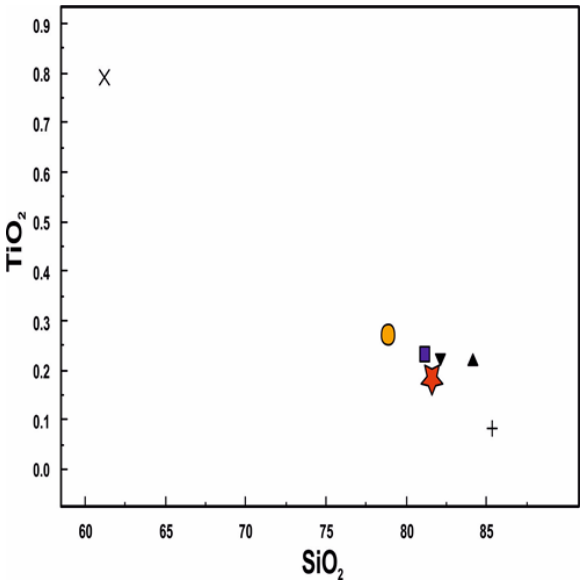
αναλύσεις συμμετείχαν σε πολύ μικρά ποσοστά, κάτι που σημαίνει ότι είναι αβέβαιη η ύπαρξη τους. Επίσης βρέθηκε η συνολική συγκέντρωση του συνόλου των REE σε οξείδια για κάθε δείγμα. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παραπάνω πίνακα (Πιν. 3.3.1). Για την εύρεση αυτής της συγκέντρωσης, κάθε τιμή των στοιχείων των REE που ήταν εκφρασμένη σε ppm, πολλαπλασιάστηκε με έναν συντελεστή μετατροπής (Διαδικτυακή πηγή Δ2). Αυτός ο συντελεστής είναι μοναδικός για κάθε στοιχείο. Έτσι κάθε στοιχείο εκφράστηκε σε οξείδια, σε ισοδύναμο ποσοστό επι τοις εκατό. Έπειτα όλα τα οξείδια των REE αθροίστηκαν μεταξύ τους για να βρεθεί ο συνολικός αριθμός τους για κάθε δείγμα.

Ακόμα τα αποτελέσματα των αναλύσεων χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή διαγραμμάτων με το πρόγραμμα Petrograph (Σχήματα 3.3.1 – 3.3.24). Η διαδικασία αυτή είχε στόχο την εύρεση των σχέσεων μεταξύ των κύριων στοιχείων, των ιχνοστοιχείων και των REE. Επίσης έγινε σύγκριση των δειγμάτων του Αγγελοχωρίου με ένα εύρος δειγμάτων από τον Φανό και το Μονοπήγαδο, ώστε να βρεθεί η συσχέτιση τους.





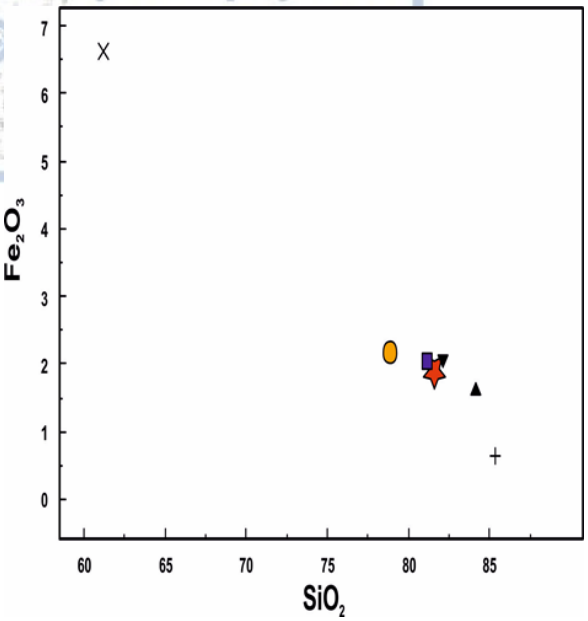
Σχήμα 3.3.1 : Διάγραμμα Al_2O_3 ως προς SiO_2 και υπόμνημα για τον συμβολισμό των δειγμάτων του Αγγελοχωρίου.



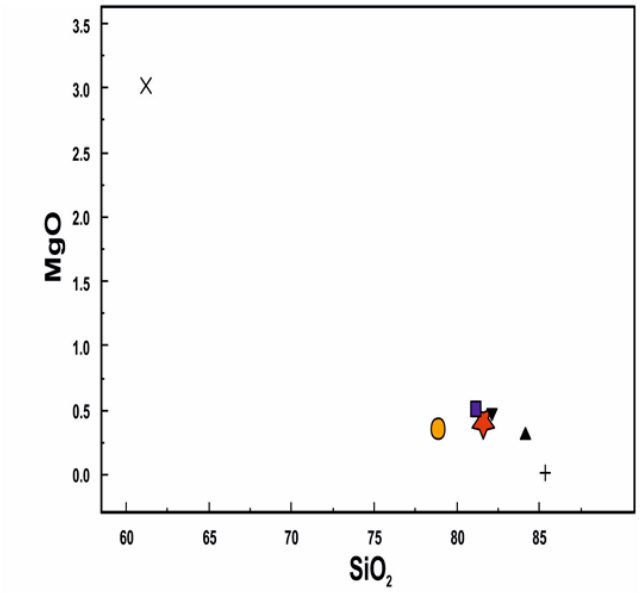
Σχήμα 3.3.2 : Διάγραμμα TiO_2 ως προς SiO_2 για τα δείγματα του Αγγελοχωρίου. Συμβολισμός όπως στο σχήμα 3.3.1.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

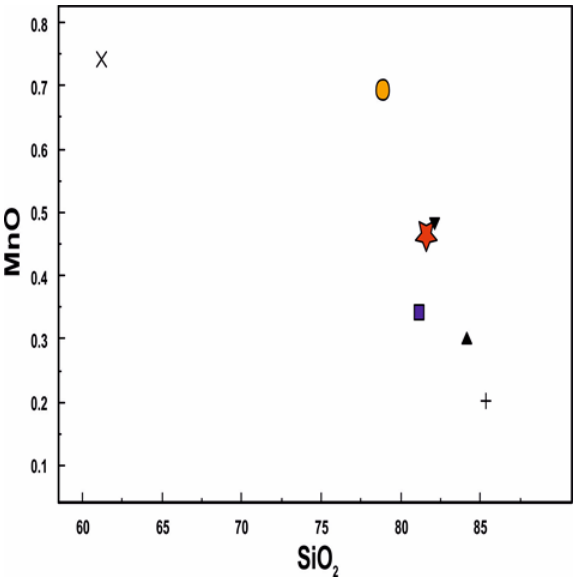
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη



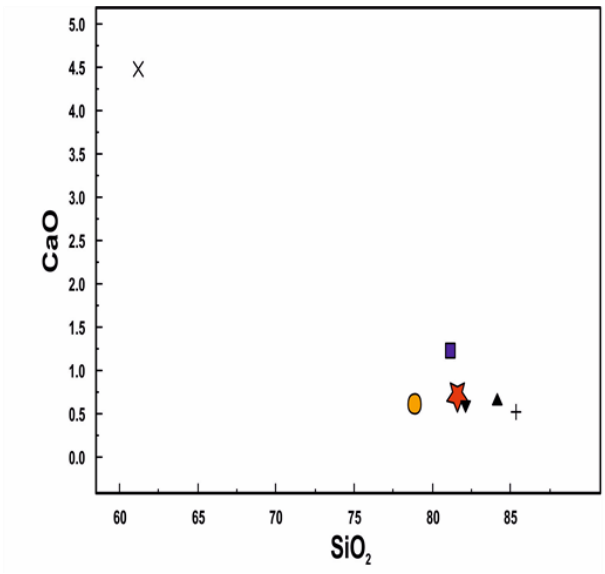
Σχήμα 3.3.3 : Διάγραμμα Fe_2O_3 ως προς SiO_2 για τα δείγματα του Αγγελοχωρίου. Συμβολισμός όπως στο σχήμα 3.3.1.



Σχήμα 3.3.4 : Διάγραμμα MgO ως προς SiO_2 για τα δείγματα του Αγγελοχωρίου. Συμβολισμός όπως στο σχήμα 3.3.1.



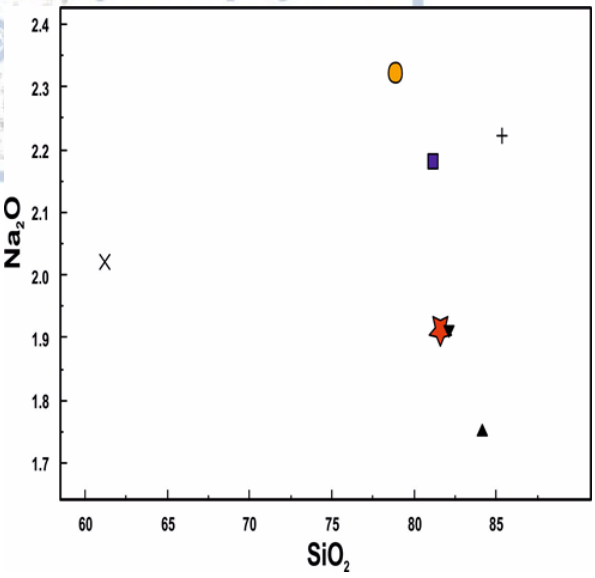
Σχήμα 3.3.5 : Διάγραμμα MnO ως προς SiO_2 για τα δείγματα του Αγγελοχωρίου. Συμβολισμός όπως στο σχήμα 3.3.1.



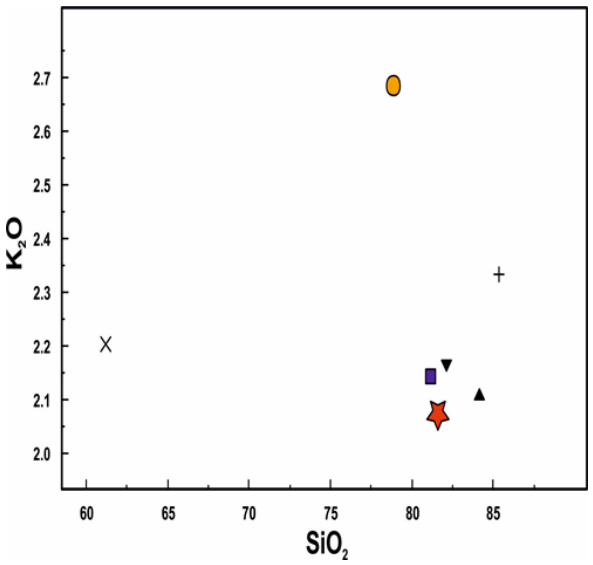
Σχήμα 3.3.6 : Διάγραμμα CaO ως προς SiO_2 για τα δείγματα του Αγγελοχωρίου. Συμβολισμός όπως στο σχήμα 3.3.1.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

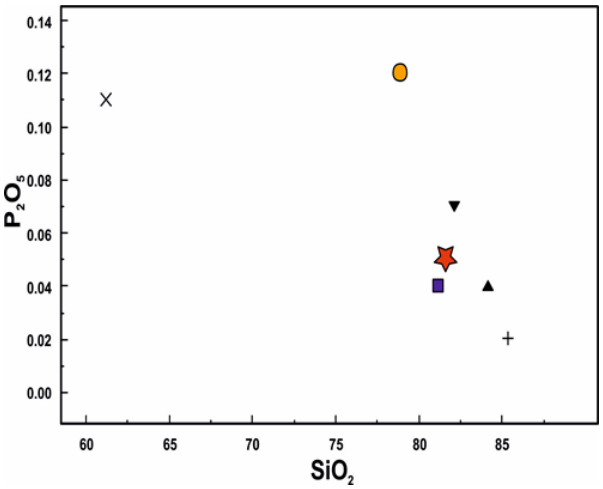
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη



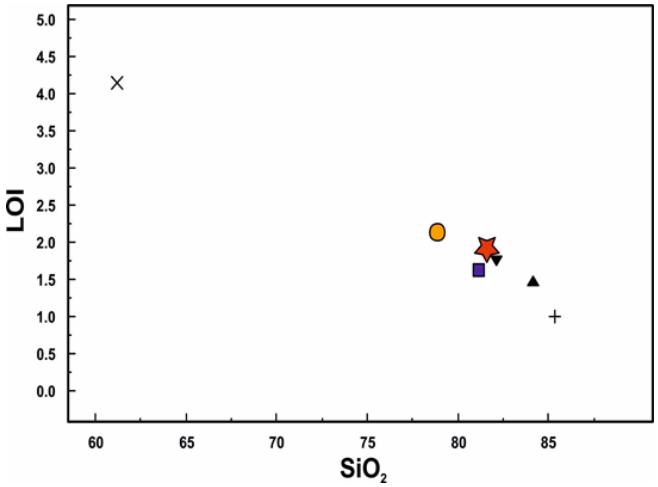
Σχήμα 3.3.7 : Διάγραμμα Na_2O ως προς SiO_2 για τα δείγματα του Αγγελοχωρίου. Συμβολισμός όπως στο σχήμα 3.3.1.



Σχήμα 3.3.8 : Διάγραμμα K_2O ως προς SiO_2 για τα δείγματα του Αγγελοχωρίου. Συμβολισμός όπως στο σχήμα 3.3.1.



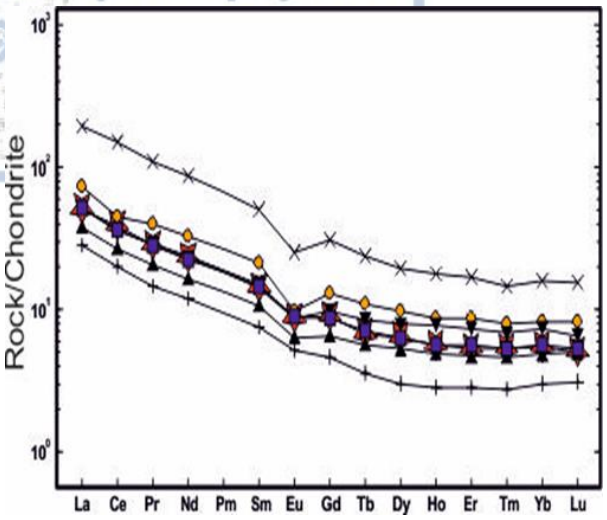
Σχήμα 3.3.9 : Διάγραμμα P_2O ως προς SiO_2 για τα δείγματα του Αγγελοχωρίου. Συμβολισμός όπως στο σχήμα 3.3.1.



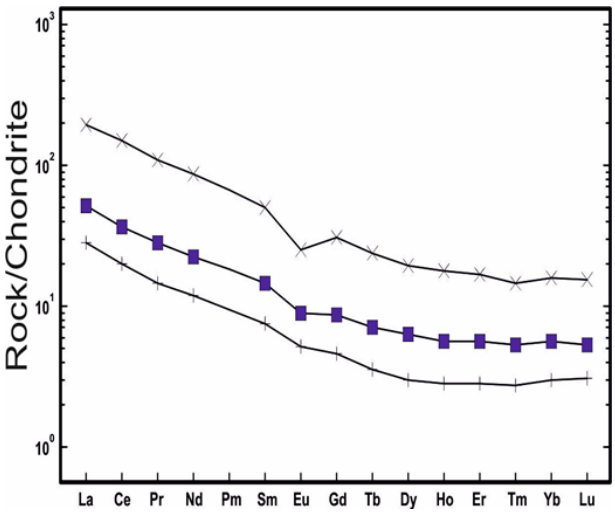
Σχήμα 3.3.10 : Διάγραμμα LOI ως προς SiO_2 για τα δείγματα του Αγγελοχωρίου. Συμβολισμός όπως στο σχήμα 3.3.1.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

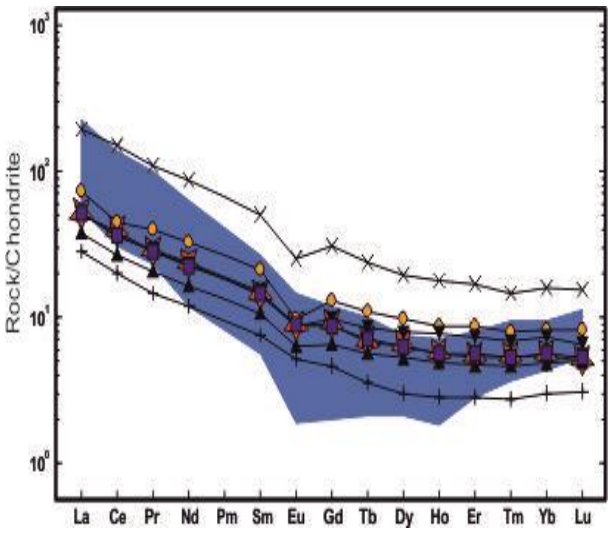
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη



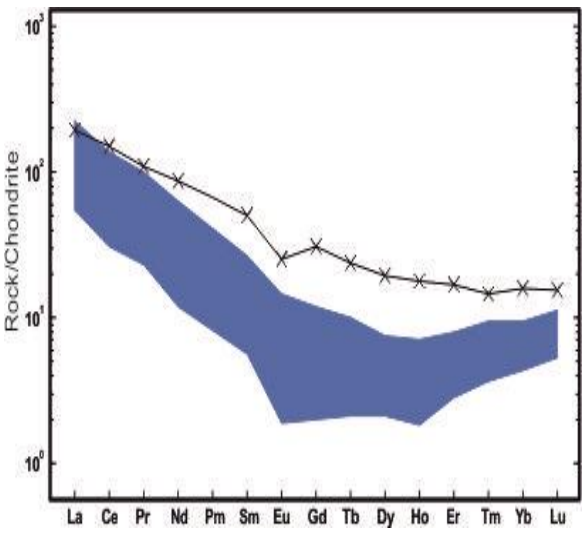
Σχήμα 3.3.11 : Κανονικοποιημένο διάγραμμα REE των δειγμάτων του Αγγελοχωρίου (κανονικοποίηση κατά Boynton 1984). Συμβολισμός όπως στο σχήμα 3.3.1.



Σχήμα 3.3.12 : Κανονικοποιημένο διάγραμμα REE των δειγμάτων 1mm>κλ.>63μm, κλ.>1,70 και κλ.<1,70 του Αγγελοχωρίου (κανονικοποίηση κατά Boynton 1984). Συμβολισμός όπως στο σχήμα 3.3.1.



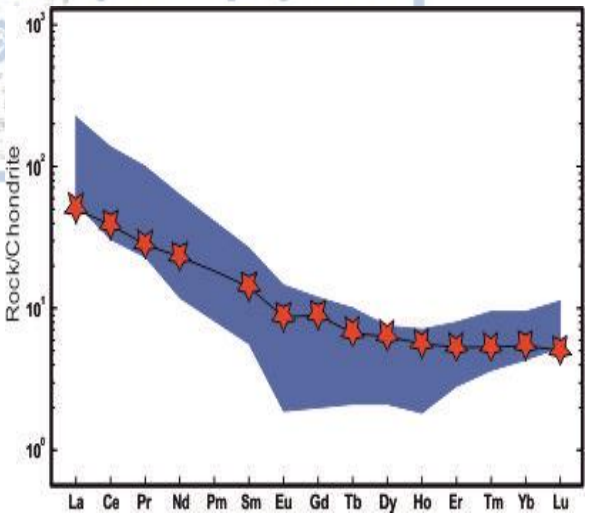
Σχήμα 3.3.13 : Κανονικοποιημένο διάγραμμα REE, σύγκρισης των αναλυμένων δειγμάτων του Αγγελοχωρίου με δείγματα του γρανίτη του Φανού (μπλε περιοχή). Κανονικοποίηση κατά Boynton (1984). Δείγματα Φανού από Christofides et al. (1990), Soldatos et al. (1993), Michail (2016), Anders (2005) και Saric et al. (2009). Συμβολισμός όπως στο σχήμα 3.3.1.



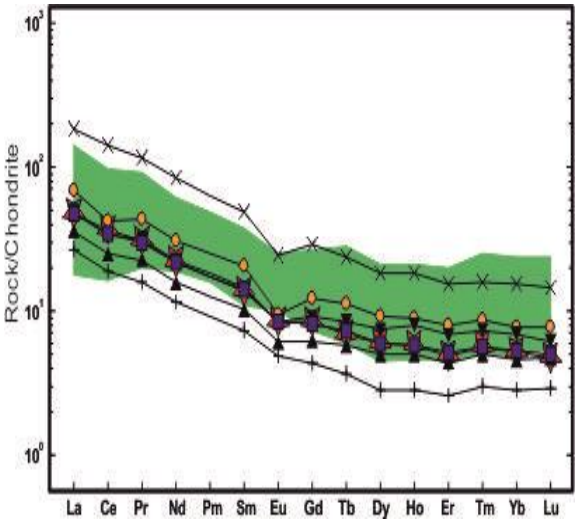
Σχήμα 3.3.14 : Κανονικοποιημένο διάγραμμα REE, σύγκρισης του δείγματος κλ.>1,70 του Αγγελοχωρίου με δείγματα του γρανίτη του Φανού (μπλε περιοχή).). Κανονικοποίηση κατά Boynton (1984). Δείγματα Φανού από Christofides et al. (1990), Soldatos et al. (1993), Michail (2016), Anders (2005) και Saric et al. (2009). Συμβολισμός όπως στο σχήμα 3.3.1.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

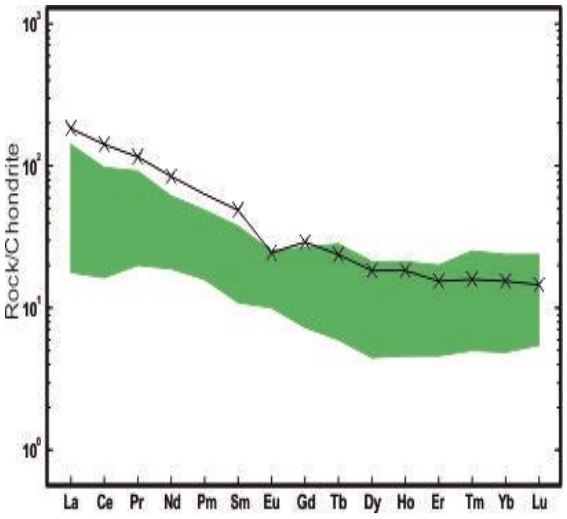
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη



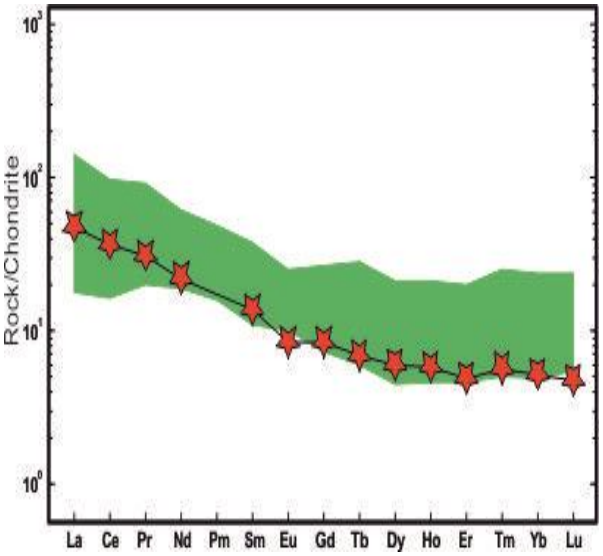
Σχήμα 3.3.15 : Κανονικοποιημένο διάγραμμα REE, σύγκρισης του δείγματος 3 total του Αγγελοχωρίου με δείγματα του γρανίτη του Φανού (μπλε περιοχή).). Κανονικοποίηση κατά Boynton (1984). Δείγματα Φανού από Christofides et al. (1990), Soldatos et al. (1993), Michail (2016), Anders (2005) και Saric et al. (2009). Συμβολισμός όπως στο σχήμα 3.3.1.



Σχήμα 3.3.16 : Κανονικοποιημένο διάγραμμα REE των αναλυμένων δειγμάτων του Αγγελοχωρίου με δείγματα του γρανίτη του Μονοπήγαδου (πράσινη περιοχή). Κανονικοποίηση κατά Boynton (1984). Δείγματα Μονοπήγαδου από Koroneos (2009). Συμβολισμός όπως στο σχήμα 3.3.1.



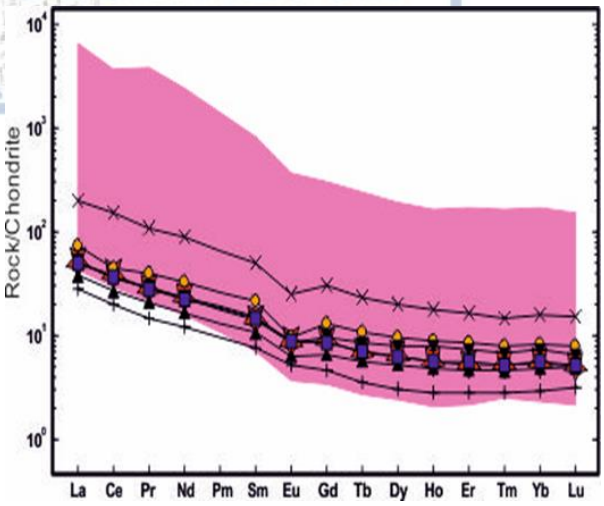
Σχήμα 3.3.17 : Κανονικοποιημένο διάγραμμα REE, σύγκρισης του δείγματος κλ.>1,70 του Αγγελοχωρίου με δείγματα του γρανίτη του Μονοπήγαδου (πράσινη περιοχή). Κανονικοποίηση κατά Boynton (1984). Δείγματα Μονοπήγαδου από Koroneos (2009). Συμβολισμός όπως σχήμα 3.3.1.



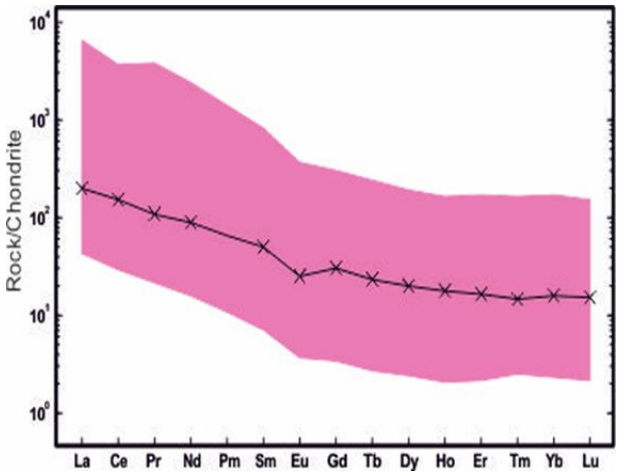
Σχήμα 3.3.18 : Κανονικοποιημένο διάγραμμα REE, σύγκρισης του δείγματος 3 total του Αγγελοχωρίου με δείγματα του γρανίτη του Μονοπήγαδου (πράσινη περιοχή). Κανονικοποίηση κατά Boynton (1984). Δείγματα Μονοπήγαδου από Koroneos (2009). Συμβολισμός όπως στο σχήμα 3.3.1.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

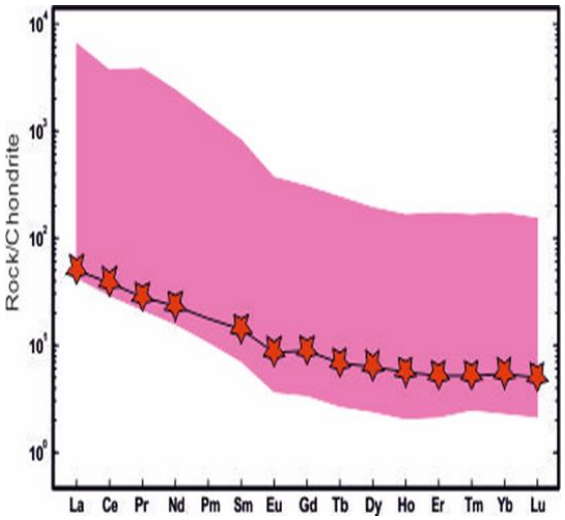
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



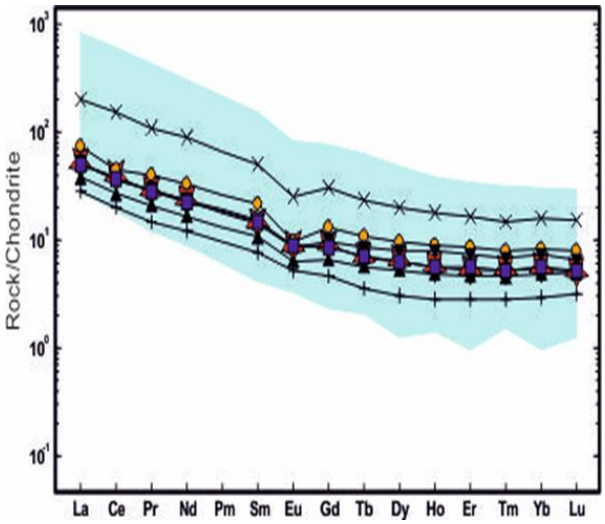
Σχήμα 3.3.19 : Κανονικοποιημένο διάγραμμα REE, σύγκρισης των αναλυμένων δειγμάτων του Αγγελοχωρίου με δείγματα της Καβάλας (ροζ περιοχή). Κανονικοποίηση κατά Boynton (1984). Δείγματα Καβάλας από Papadopoulos et al. (2016). Συμβολισμός όπως στο σχήμα 3.3.1.



Σχήμα 3.3.20 : Κανονικοποιημένο διάγραμμα REE, σύγκρισης του δείγματος κλ.>1,70 του Αγγελοχωρίου με δείγματα της Καβάλας (ροζ περιοχή).). Κανονικοποίηση κατά Boynton (1984). Δείγματα Καβάλας από Papadopoulos et al. (2016). Συμβολισμός όπως στο σχήμα 3.3.1.



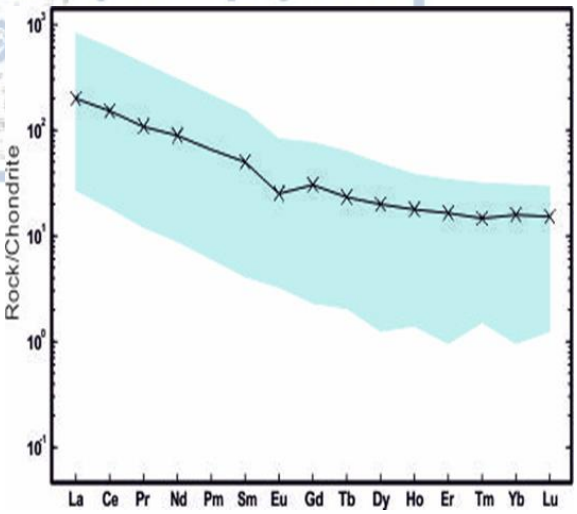
Σχήμα 3.3.21 : Κανονικοποιημένο διάγραμμα REE, σύγκρισης του δείγματος 3 total του Αγγελοχωρίου με δείγματα της Καβάλας (ροζ περιοχή).). Κανονικοποίηση κατά Boynton (1984). Δείγματα Καβάλας από Papadopoulos et al. (2016). Συμβολισμός όπως στο σχήμα 3.3.1.



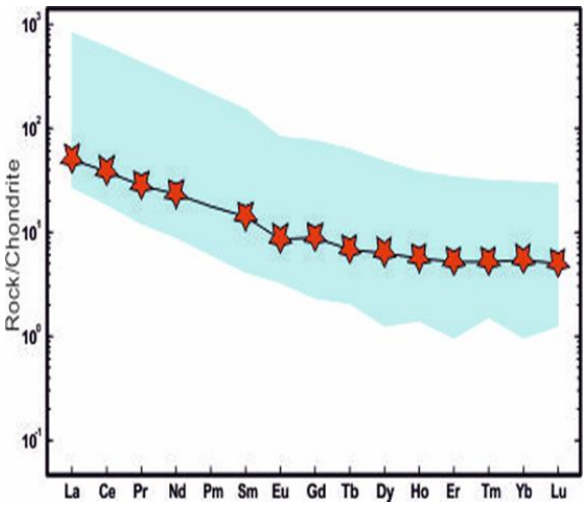
Σχήμα 3.3.22 : Κανονικοποιημένο διάγραμμα REE, σύγκρισης των αναλυμένων δειγμάτων του Αγγελοχωρίου με δείγματα της Σιθωνίας (γαλάζια περιοχή).). Κανονικοποίηση κατά Boynton (1984). Δείγματα Σιθωνίας από Papadopoulos et al. (2014). Συμβολισμός όπως στο σχήμα 3.3.1.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη



Σχήμα 3.3.23 : Κανονικοποιημένο διάγραμμα REE, σύγκρισης του δείγματος κλ.>1,70 του Αγγελοχωρίου με δείγματα της Σιθωνίας (γαλάζια περιοχή). Κανονικοποίηση κατά Boynton (1984). Δείγματα Σιθωνίας από Papadopoulos et al. (2014). Συμβολισμός όπως στο σχήμα 3.3.1.



Σχήμα 3.3.24 : Κανονικοποιημένο διάγραμμα REE, σύγκρισης του δείγματος 3 total του Αγγελοχωρίου με δείγματα της Σιθωνίας (γαλάζια περιοχή). Κανονικοποίηση κατά Boynton (1984). Δείγματα Σιθωνίας από Papadopoulos et al. (2014). Συμβολισμός όπως στο σχήμα 3.3.1.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

Από τα παραπάνω διαγράμματα είναι φανερό ότι το SiO_2 κυμαίνεται σε ποσοστά από 62% (κλ.>1,70) μέχρι 86% (κλ.<1,70), το οποίο αποδίδεται στην διαδικασία του μαγνητικού διαχωρισμού όπου το δείγμα κλ.<1,70 συγκεντρώνει τα μη μαγνητικά κλάσματα επομένως είναι εμπλουτισμένο σε ορυκτά με μεγάλες ποσότητες SiO_2 όπως ο χαλαζίας και οι άστριοι. Τα υπόλοιπα δείγματα εμφανίζουν ενδιάμεσες τιμές SiO_2.

Το Al_2O_3 σε σχέση με το SiO_2 (Σχήμα 3.3.1) εμφανίζει τη μεγαλύτερη τιμή στο δείγμα κλ.>1,70 με ποσοστό Al_2O_3 περίπου 13,5% και την μικρότερη στο δείγμα 2mm>κλ.>1mm με ποσοστό περίπου 7%. Τα υπόλοιπα δείγματα εμφανίζουν ενδιάμεσες τιμές.

Το TiO_2 σε σχέση με το SiO_2 (Σχήμα 3.3.2) εμφανίζει τη μεγαλύτερη τιμή στο δείγμα κλ.>1,70 με ποσοστό TiO_2 περίπου 0,8% και την μικρότερη στο δείγμα κλ.<1,70 με ποσοστό 0,05%. Τα υπόλοιπα δείγματα έχουν ενδιάμεσες τιμές TiO_2.

Από το σχήμα 3.3.3 φαίνεται ότι το Fe_2O_3 σε σχέση με το SiO_2 παρουσιάζει τη μεγαλύτερη τιμή στο δείγμα κλ.>1,70 και τη μικρότερη στο δείγμα κλ.<1,70 με ποσοστά περίπου 6,3% και 0,5% αντίστοιχα. Ενδιάμεσες τιμές εμφανίζουν τα υπόλοιπα δείγματα.

Το MgO και το MnO σε σχέση με το SiO_2 (Σχήματα 3.3.4 και 3.3.5) εμφανίζουν το μεγαλύτερο ποσοστό στο δείγμα κλ.>1,70 και το μικρότερο στο δείγμα κλ.<1,70. Το MgO βρέθηκε σε ποσοστό περίπου 3% στο δείγμα κλ.>1,70 και σε ποσοστό 0,01% στο δείγμα κλ.<1,70. Το MnO βρέθηκε σε ποσοστό περίπου 0,75% στο δείγμα κλ.>1,70 και σε ποσοστό 0,2% στο δείγμα κλ.<1,70. Τα υπόλοιπα δείγματα παρουσιάζουν ενδιάμεσα ποσοστά.

Το CaO εμφανίζει το μεγαλύτερο ποσοστό στο δείγμα κλ.>1,70 (4,5%), ακολουθεί το δείγμα 1mm>κλ.>63μm με ποσοστό 1,25%, ενώ όλα τα υπόλοιπα δείγματα εμφανίζουν πολύ χαμηλά ποσοστά από 0,6% έως 0,9%.

Τα οξείδια Na_2O και K_2O εμφανίζουν αυξημένες τιμές στο δείγμα 3 coarse με ποσοστό 2,35% και 2,7% αντίστοιχα. Οι χαμηλότερες τιμές Na_2O εμφανίζονται στο δείγμα 2mm>κλ.>1mm με ποσοστό 1,75% ενώ οι χαμηλότερες τιμές K_2O εμφανίζονται στο δείγμα 3 total σε ποσοστό 2,05% (Σχήματα 3.3.7 και 3.3.8).

Το P_2O_5 εμφανίζει το μεγαλύτερο ποσοστό 0,125% στο δείγμα 3 coarse, υψηλό ποσοστό (0,11%) εμφανίζει επίσης και το κλ.>1,70 , ενώ το πιο χαμηλό ποσοστό (0,022%) βρίσκεται στο κλ.<1,70 (Σχήμα 3.3.9).

Τέλος το LOI σε σχέση με το SiO_2 (Σχήμα 3.3.10) εμφανίζει τη μεγαλύτερη τιμή 4,25% στο κλ.>1,70 και την μικρότερη 1,2% στο κλ.<1,70.

Στο σχήμα 3.3.11 οι LREE είναι εμπλουτισμένες σε σχέση με τις HREE και αυτό εκφράζεται από τη σχέση $(La)_{CN}/(Lu)_{CN}$ η οποία κυμαίνεται από 7,7 στο δείγμα 2mm>κλ.>1mm έως 12,9 στο δείγμα κλ.>1,70. Τέλος, όλα τα δείγματα εμφανίζουν αρνητική ανωμαλία Eu (Eu/Eu*). Η μεγαλύτερη εμφανίζεται στο δείγμα κλ.<1,70 με τιμή 0,85 και η μικρότερη στο δείγμα 3 coarse με τιμή 0,57.

Στο σχήμα 3.3.12 το δείγμα κλ.>1,70 εμφανίζει πάλι τις μεγαλύτερες τιμές REE, ενώ το δείγμα κλ.<1,70 τις μικρότερες. Το δείγμα 1mm>κλ.>63μm εμφανίζει τις ενδιάμεσες τιμές, κάτι το οποίο είναι λογικό καθώς αποτελεί το αρχικό προϊόν των δύο προαναφερθέντων δειγμάτων πριν τον μαγνητικό διαχωρισμό.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω έγινε σύγκριση των δειγμάτων του Αγγελοχωρίου με δείγματα από τον γρανίτη του Φανού (Christofides et al. 1990, Soldatos et al. 1993, Michail 2016, Anders 2005 και Saric et al. 2009) και του Μονοπήγαδου (Koroneos 2009).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

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

Στα σχήματα 3.3.13 έως 3.3.15 υπάρχει η σύγκριση των δειγμάτων του Αγγελοχωρίου με δείγματα του Φανού ενώ στα σχήματα 3.3.16 έως 3.3.18 φαίνεται η σύγκριση με τα δείγματα του Μονοπήγαδου.

Όσον αφορά τη σύγκριση με τον γρανίτη του Φανού, είναι φανερό από το σχήμα 3.3.13 ότι τα δείγματα του Αγγελοχωρίου έχουν παρόμοια περιεκτικότητα σε LREE σε σχέση με τα δείγματα του Φανού και η περιεκτικότητα τους σε HREE είναι μέσα στο εύρος περιεκτικοτήτων του Φανού και σε μερικά δείγματα υψηλότερη. Αυτό που αλλάζει και τα κάνει να διαφέρουν μεταξύ τους είναι η αλλαγή της κλίσης. Το χαρακτηριστικό των δειγμάτων του γρανίτη του Φανού είναι η κλίση των διαγραμμάτων τους, η οποία παρουσιάζει μια καμπυλότητα, κάτι που δεν ισχύει στην κλίση των διαγραμμάτων των δειγμάτων του Αγγελοχωρίου. Το δείγμα κλ.>1,70 (Σχήμα 3.3.14) έχει αρκετά υψηλότερη περιεκτικότητα σε REE από τα δείγματα του Φανού. Αυτό είναι αναμενόμενο αφού με τον διαχωρισμό εμπλουτίστηκε σε βαριά ορυκτά και ειδικά σε Zr (123 ppm) και έτσι ξεπέρασε τα περισσότερα δείγματα του Φανού σε ppm Zr, τα οποία κυμαίνονται από 57 έως 152 ppm και μόνο δύο δείγματα έχουν 260 και 290 ppm. Τέλος το δείγμα 3 total σε σύγκριση με τα δείγματα του Φανού (Σχήμα 3.3.15) παρουσιάζει χαμηλές περιεκτικότητες σε LREE και μέσες έως υψηλές στις HREE, πάντα όμως βρίσκεται μέσα στο εύρος περιεκτικοτήτων των δειγμάτων του Φανού.

Για την σύγκριση που έγινε με τον γρανίτη του Μονοπήγαδου, η συνολική εικόνα των δειγμάτων (Σχήμα 3.3.16) παρουσιάζει χαμηλές έως μέσες περιεκτικότητες σε REE. Σε μερικά δείγματα η περιεκτικότητες σε REE είναι αρκετά χαμηλότερες από το εύρος των περιεκτικοτήτων των δειγμάτων του Μονοπήγαδου. Το δείγμα κλ.>1,70 (Σχήμα 3.3.17) έχει αρκετά υψηλότερες περιεκτικότητες σε LREE αφού ξεπερνάει το εύρος των δειγμάτων του Μονοπήγαδου, αλλά οι περιεκτικότητες σε HREE βρίσκονται στις υψηλότερες τιμές του εύρους χωρίς όμως να το ξεπερνάνε. Αυτό συμβαίνει επειδή μετά τον μαγνητικό διαχωρισμό τα 123 ppm Zr του δείγματος κλ.>1,70 δεν ήταν αρκετά να ξεπεράσουν τα ppm Zr των δειγμάτων του Μονοπήγαδου τα οποία κυμαίνονται στην πλειοψηφία τους από 145 – 292 ppm και μόνο 3 δείγματα έχουν περιεκτικότητα από 1 έως 120 ppm. Τέλος, η σύγκριση του 3 total με τα δείγματα του Μονοπήγαδου παρουσιάζει μέσες τιμές περιεκτικότητας σε LREE οι οποίες μειώνονται προς τις HREE, χωρίς όμως να ξεφεύγουν από το εύρος των τιμών των δειγμάτων του Μονοπήγαδου. Άξιο παρατήρησης είναι το γεγονός ότι η κλίση των δειγμάτων του Αγγελοχωρίου με αυτά του γρανίτη του Μονοπήγαδου είναι παρόμοια. Αυτό δίνει την υποψία ότι οι μαύρες άμμοι του Αγγελοχωρίου προέρχονται σε έναν βαθμό, αν όχι εξ' ολοκλήρου, από τον γρανίτη του Μονοπήγαδου.

Επίσης έγινε σύγκριση των τιμών των δειγμάτων του Αγγελοχωρίου με αναλύσεις από γρανιτικές άμμους της περιοχής της Καβάλας (Papadopoulos et al. 2016) και της Σιθωνίας (Papadopoulos et al. 2014). Αυτή η διαδικασία έγινε για να συγκριθούν όμοια υλικά μεταξύ τους, αφού και οι άμμοι της Καβάλας και αυτές της Σιθωνίας έχουν υποστεί τις διαδικασίες της διάβρωσης, της μεταφοράς και της απόθεσης. Επομένως τα ορυκτά από τα οποία αποτελούνται είναι πιο κοντά στην σύσταση των ορυκτών που αποτελούν τις μαύρες άμμους του Αγγελοχωρίου.

Σε σύγκριση με τα δείγματα των γρανιτικών άμμων της Καβάλας, τα δείγματα του Αγγελοχωρίου έχουν παρόμοιες περιεκτικότητες και παρόμοια κανονικοποιημένα σχήματα κατανομής (pattern) με τα πιο φτωχά δείγματα της Καβάλας (Σχήμα 3.3.19). Αυτό είναι αναμενόμενο αφού τα δείγματα του Αγγελοχωρίου περιέχουν Zr από 2 έως 123 ppm, ενώ της

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

Καβάλας από 52 έως 1950 ppm. Όσον αφορά το δείγμα κλ.>1,70 (Σχήμα 3.3.20), αυτό βρίσκεται μέσα στο εύρος περιεκτικοτήτων των δειγμάτων της Καβάλας και μάλιστα βρίσκεται στο χαμηλό έως μέσο όριο (από τις LREE προς τις HREE). Τέλος το δείγμα 3 total (Σχήμα 3.3.21) βρίσκεται στο κατώτερο όριο περιεκτικοτήτων των δειγμάτων της Καβάλας, αλλά πάντα μέσα στο εύρος και ακολουθώντας παρόμοια κανονικοποίηση.

Για τα δείγματα της Σιθωνίας πρέπει να τονιστεί ότι από την εργασία των Papadopoulos et al. (2014) δεν χρησιμοποιήθηκαν τα δείγματα 49Ep, 50Ep και 54Ep επειδή αυτά αποτελούν μια ξεχωριστή μικρή θέση η οποία συγκεντρώνει πολύ αυξημένες τιμές σε REE. Όλα τα δείγματα του Αγγελοχωρίου βρίσκονται μέσα στο εύρος περιεκτικοτήτων των δειγμάτων της Σιθωνίας και μάλιστα στο κατώτερο έως το μέσο όριο του (Σχήμα 3.3.22). Διαφέρουν όμως ως προς την κανονικοποίηση τους. Το δείγμα κλ.>1,70 βρίσκεται στο ανώτερο όριο του εύρους των δειγμάτων της Σιθωνίας όμως με διαφορετική κανονικοποίηση (Σχήμα 3.3.23), ενώ το δείγμα 3 total βρίσκεται από το κατώτερο έως το μέσο όριο του εύρους (από τις LREE προς τις HREE), πάλι με διαφορετική κανονικοποίηση (Σχήμα 3.3.24). Όλα τα παραπάνω έγκεινται στο γεγονός ότι τα δείγματα της Σιθωνίας παρουσιάζουν μικρή περιεκτικότητα σε Zr και συγκεκριμένα από 53 έως 123 ppm και μόνο τρία δείγματα έχουν περιεκτικότητες 267, 289 και 504 ppm.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
Τμήμα Γεωλογίας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην περιοχή του Αγγελοχωρίου, στα Νεογενή – Τεταρτογενή ποταμοχειμάρρια και λιμναία ιζήματα, υπάρχει ένας ορίζοντας μαύρων άμμων. Ο σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν να απαντήσει σε 4 βασικά ερωτήματα σχετικά με αυτές τις μαύρες άμμους. Το πρώτο ερώτημα που ήταν *«Τι είναι αυτές οι μαύρες άμμοι ;»* απαντήθηκε με τις ορυκτολογικές αναλύσεις που έγιναν για να βρεθεί η σύσταση τους. Σύμφωνα με αυτές, οι μαύρες άμμοι της περιοχής βρέθηκε ότι αποτελούνται από χαλαζία, αστρίους (πλαγιόκλαστα και καλιούχοι), φυλλοπυριτικά ορυκτά (μοσχοβίτης, χλωρίτης), μαγνητίτη, τιτανίτη, πυρόξενους, αμφιβόλους, δολομίτη, ζιρκόνιο, αιματίτη, ιλμενίτη και ρουτίλιο.

Το δεύτερο ερώτημα ήταν *«Υπάρχουν REE σε αυτές τις μαύρες άμμους και αν ναι που οφείλονται ;»*. Είναι ευρέως γνωστό ότι στις μαύρες άμμους, λόγω αυξημένης συγκέντρωσης βαριών ορυκτών (π.χ. ζιρκόνιο), παρουσιάζεται και υψηλή περιεκτικότητα σε REE. Στην περιοχή μελέτης, υπάρχουν στις μαύρες άμμους ορυκτά που μπορούν να συγκεντρώσουν στη δομή τους REE. Αυτά είναι το ζιρκόνιο, ο τιτανίτης και ο απατίτης Επίσης, το Sc μπορεί να αντικαταστήσει τον Fe^{2+} στους πυρόξενους και τις αμφιβόλους και το Y μπορεί να αντικαταστήσει το Ca στις αμφιβόλους και τον απατίτη. Για να απαντηθεί το ερώτημα αυτό, επιλέχθηκε ένα από τα τέσσερα δείγματα που πάρθηκαν από το Αγγελοχώρι και αφού έγινε η κατάλληλη επεξεργασία, στάλθηκε για γεωχημικές αναλύσεις στην MS Analytical. Έτσι βρέθηκε ότι περιέχονται REE στις εξεταζόμενες μαύρες άμμους.

Το τρίτο ερώτημα ήταν εάν αυτή η περιεκτικότητα που βρέθηκε είναι χαμηλή η υψηλή. Για τον σκοπό αυτό έγινε η σύγκριση της περιεκτικότητάς σε REE των μαύρων άμμων του Αγγελοχωρίου με περιεκτικότητες REE σε γρανιτικές άμμους από άλλες περιοχές όπως της Καβάλας και της Σιθωνίας. Βρέθηκε ότι οι περιεκτικότητες σε REE του Αγγελοχωρίου είναι αρκετά φτωχές σε σχέση με αυτές της Καβάλας και τις Σιθωνίας. Αυτό συμβαίνει επειδή στις τελευταίες υπάρχουν διαφορετικά ορυκτά που ελέγχουν τις συγκεντρώσεις των REE. Στις άμμους της Καβάλας ο μοναζίτης, ο τιτανίτης, ο αλλανίτης και το επίδοτο είναι τα ορυκτά που επηρεάζουν τις συγκεντρώσεις REE στο ολικό εξεταζόμενο δείγμα (Papadopoulos et al. 2015). Ο μοναζίτης και ο αλλανίτης συγκεντρώνουν τις LREE και το ζιρκόνιο τις HREE. Για τον λόγο αυτό, στην σύγκριση που έγινε ανάμεσα στα δείγματα του Αγγελοχωρίου και Καβάλας φαίνεται ότι τα δείγματα της Καβάλας έχουν αρκετά υψηλότερες συγκεντρώσεις REE και μάλιστα είναι πιο εμπλουτισμένα σε LREE από ότι σε HREE. Όσον αφορά τα δείγματα της Σιθωνίας, αυτά αποτελούνται σε μεγάλο ποσοστό από μοναζίτη και αλλανίτη. Τα δύο αυτά ορυκτά είναι οι σημαντικότερες πηγές REE της Σιθωνίας (Papadopoulos et al. 2014). Ακριβώς για το ίδιο λόγο, σε σύγκριση με τα δείγματα του Αγγελοχωρίου, αυτά τις Σιθωνίας έχουν μεγαλύτερη συγκέντρωση σε REE και είναι πιο εμπλουτισμένα σε LREE από ότι σε HREE. Επειδή από τα δείγματα του Αγγελοχωρίου απουσιάζουν αυτά τα τρία πολύ σημαντικά ορυκτά, τα οποία είναι ο μοναζίτης, ο αλλανίτης και το επίδοτο, που είναι ικανά να φέρουν αρκετά υψηλές περιεκτικότητες σε REE, έγινε σύγκριση ανάμεσα στα πλουσιότερα δείγματα σε ppm ζιρκονίου των τριών περιοχών. Έτσι το πλουσιότερο δείγμα του Αγγελοχωρίου παρουσιάζει 123 ppm ζιρκονίου, της Καβάλας 1950

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

ppm ζιρκονίου και της Σιθωνίας 504 ppm ζιρκονίου. Είναι φανερό ότι οι γρανιτικές άμμοι της Καβάλας έχουν έως και 16 φορές μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε ζιρκόνιο από το Αγγελοχώρι ενώ της Σιθωνίας έχουν έως και 5 φορές υχηλότερη περιεκτικότητα σε ζιρκόνιο. Για όλους τους παραπάνω λόγους, οι μαύρες άμμοι του Αγγελοχωρίου έχουν αρκετά χαμηλή περιεκτικότητα σε REE σε σχέση με τις γρανιτικές άμμους της Καβάλας και της Σιθωνίας.

Τέλος, το τέταρτο και τελευταίο ερώτημα ήταν *«Από πού προέρχονται αυτές οι μαύροι άμμοι ;».* Τα δείγματα του Αγγελοχωρίου, μεταξύ άλλων αποτελούνται στην ορυκτολογική σύσταση τους και από χαλαζία και ζιρκόνια. Τα δύο αυτά ορυκτά είναι πολύ πιθανόν να προέρχονται από γρανίτες. Γνωστά γρανιτικά πετρώματα της κοντινής περιοχής είναι αυτά του Φανού και του Μονοπήγαδου. Έτσι έγινε κανονικοποίηση της περιεκτικότητας των REE ως προς χονδρίτη και σύγκριση των δειγμάτων του Αγγελοχωρίου με δείγματα από τον γρανίτη του Φανού και του Μονοπήγαδου. Από τα διαγράμματα που προέκυψαν φαίνεται ότι το δείγμα 3 total του Αγγελοχωρίου δεν έχει ίδια ορυκτολογική σύσταση με τον γρανίτη του Φανού. Επίσης διαφέρουν ως προς την κανονικοποίηση τους. Σε σύγκριση με τον γρανίτη του Μονοπήγαδου, φαίνεται ότι η περιεκτικότητα των μαύρων άμμων σε REE είναι μέσα στο εύρος των περιεκτικοτήτων του γρανίτη αυτού και παρουσιάζουν παρόμοια κανονικοποίηση . Επίσης, ο κρύσταλλος ζιρκονίου της εικόνας 2.2.1.1 είναι ίδιος με τα ζιρκόνια του γρανίτη του Μονοπήγαδου. Όλα αυτά αποτελούν ισχυρή ένδειξη ότι οι μαύρες άμμοι του Αγγελοχωρίου προέρχονται σε μεγάλο ποσοστό από τον γρανίτη του Μονοπήγαδου.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
Τμήμα Γεωλογίας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1 ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία μελετώνται μαύρες άμμοι από την περιοχή του Αγγελοχωρίου Θεσσαλονίκης και ιδιαίτερα η χημική τους σύσταση όσον αφορά τις συγκεντρώσεις REE. Οι άμμοι αυτές είναι ποταμοχειμάρριας προέλευσης και το χρώμα τους οφείλεται στην παρουσία βαριών ορυκτών, τα οποία είναι αυτά που περιέχουν στην δομή τους REE. Έπειτα από κατάλληλη επεξεργασία 4 δειγμάτων των άμμων αυτών, όπως πλύσιμο, κοσκίνισμα, ξήρανση και μαγνητικό διαχωρισμό, τα δείγματα αναλύθηκαν για την ορυκτολογική και τη χημική σύστασή τους. Από την ορυκτολογική ανάλυση, που έγινε με XRD, βρέθηκαν τα ορυκτά συστατικά και η ποσοστιαία αναλογία τους. Με βάση την τελευταία επελέγει ένα από τα 4 δείγματα, το δείγμα 3, που περιέχει 40% χαλαζία, 30% πλαγιόκλαστο, 9% μοσχοβίτη, 7% χλωρίτη, 5% μαγνητίτη, 2% τιτανίτη, 3% ζιρκόνιο, 1% πυρόξενο, 2% δολομίτη και 1% αμφίβολο, για γεωχημικές αναλύσεις. Έτσι τα 7 κλάσματα του δείγματος 3, αναλύθηκαν με ICP-MS στα εργαστήρια MS Analytical και προσδιορίστηκαν οι συγκεντρώσεις των κυρίων στοιχείων και των ιχνοστοιχείων. Το συνολικό δείγμα 3, χαρακτηρίζεται από υψηλή περιεκτικότητα SiO_2 (81,7%), ακολουθεί το Al_2O_3 (7,2%) ενώ όλα τα άλλα στοιχεία έχουν περιεκτικότητες κάτω από 2%. Από τα ιχνοστοιχεία, αυξημένη είναι η περιεκτικότητα Ba και Sr, 1149 και 202 ppm αντίστοιχα, ενώ το Zr εμφανίζει συγκέντρωση 71 ppm. Συγκρίνοντας τη σύσταση με αυτές των γρανιτικών άμμων από τις περιοχές της Καβάλας και της Σιθωνίας, διαπιστώθηκε ότι τα συγκεκριμένα δείγματα (συνολικό και κλάσματα) έχουν φτωχή περιεκτικότητα σε REE (75 ppm στο συνολικό δείγμα). Με βάση την ορυκτολογική τους σύσταση, οι άμμοι αυτές φαίνεται να είναι προϊόν διάβρωσης κάποιου γρανιτικού πετρώματος. Για αυτό τον λόγο συγκρίθηκαν με τα 2 γνωστά κοντινά γρανιτικά πετρώματα της περιοχής τα οποία είναι ο γρανίτης του Φανού και ο γρανίτης του Μονοπήγαδου. Από τη σύγκριση αυτή, προέκυψε ότι αυτές οι μαύρες άμμοι προέρχονται πιθανότατα από τον γρανίτη του Μονοπήγαδου.

5.2 ABSTRACT

Black sands of Aggelochori area, located close to Thessaloniki, are studied. Their chemical composition and especially the REE concentration are investigated. These sands were derived from fierce rivers and their color is a result of heavy minerals. These heavy minerals contain REE in their structure. After a suitable processing, like washing, sieving, drying and magnetic separation, of 4 samples representative of these sands, they were analyzed for their mineral and chemical composition. The mineral components and percentages were estimated by XRD. The ratio percentage of the minerals helped in the selection of one of the 4 samples, (sample 3) for geochemical analysis. Sample 3 contains 40% quartz, 30% plagioclase, 9% muscovite, 7% chlorite, 5% magnetite, 2% titanite, 3% zircon, 1% pyroxene, 2% dolomite and 1% amphibole. So, the seven fractions of sample 3,

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ

were analyzed with ICP-MS at MS Analytical laboratories, for major and trace elements. The whole sample 3, shows high SiO_2 (81,7%) content is followed by Al_2O_3 (7,2%), while all the rest major elements have concentrations lower than 2%. Concerning the trace elements of sample 3, Ba and Sr show high concentrations with 1149 and 202 ppm respectively, while Zr shows 71 ppm. The major and trace element composition of sample 3 was compared with other compositions of granitic sands from Kavala and Sithonia. From the comparison it was found that these specific samples (whole 3 and fractions) have low REE content (75 ppm in the whole sample). Based on their mineral composition, it was concluded that these sands are products of a granitic rock's erosion. For this reason they compared with 2 known granitic rocks existing in the broader area. These are the granite of Fanos and the granite of Monopigado. As a result of this comparison, it is very probably that these black sands come from Monopigado granite.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

Βενετικίδης Δ. Α., (2012). Ιζηματολογική και πετρολογική μελέτη των Τεταρτογενών κλαστικών ιζημάτων της Μυγδονίας Λεκάνης στη θέση Πλατανόρεμα, Λαγκαδίκιων, Β. Ελλάδα. Διατριβή ειδίκευσης. Θεσσαλονίκη, σ. 92.

Μουντράκης Μ. Δ., (2010). Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας. University Studio Press, Θεσσαλονίκη, σ. 375.

Ψιλοβίκος Α. & Αλμπανάκης Κ., (1981). Ιζηματολογική μελέτη για τη συγκέντρωση μαύρης μαγνητικής άμμου στην ακτή του ακρωτηρίου Τούζλα Θεσσαλονίκης. *Θαλασσογραφικά,* **4,** 103-125.

ΞΕΝΗ

Anders B., Reischmann T., Poller U. & Kostopoulos D., (2005). Age and origin of granitic rocks of the eastern Vardar Zone, Greece: new constraints on the evolution of the Internal Hellenides. *Journal of the Geological Society*, London **162,** 857-870.

Boynton W. V., (1984). Geochemistry of rare earth elements: meteorites studies. *In: «Rare earth element geochemistry», P. Henderson (Ed). Elsevier*, Amsterdam, 63-114.

Christofides G., Soldatos T. & Koroneos A., (1990). Geochemistry and Evolution of the Fanos Granite, N. Greece. *Mineralogy and Petrology,* **43,** 49-63.

Deer W. A., Howie R. A. & Zussman J., (1992). An introduction to the Rock – Forming Minerals, second edition. John Wiley & Sons, New York, p. 696.

Eisenbud M., (1987). Environmental Radioactivity from Natural, Industrial and Military Sources. Academic Press, San Diego, p. 475.

Faure G., (1992). Principles and Applications of Inorganic Geochemistry. Macmillan, New York, p. 626.

Filippidis A., Misaelides P., Clouvas A., Godelitsas A., Barbayiannis N. & Anousis I., (1997). Mineral, chemical and radiological investigation of a black sand at Touzla Cape, near Thessaloniki, Greece. *Environmental Geochemistry and Health,* **19,** 83-88.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

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

Folk R.L., Andrews P.B. & Lewis D.W., (1970). Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in N. Zealand. *N.Z.J. Geol. Geophys.,* **13,** 937-968.

Jolivet L., Faccena C., Huet B., Labrousse L., Le Pourhiet L., Lacombe O., Lecomte E., Burov E., Denèle Y., Brun J.-P., Philippon M., Paul A., Salaün G., Karabulut H., Piromallo C., Monié P., Gueydan F., Okay A. I., Oberhänsli R., Pourteau A., Augier R., Gadenne L. & Driussi O., (2012). Aegean tectonics: Strain localisation, slab tearing and trench retreat. *Tectonophysics,* DOI 10.1016/j.tecto.2012.06.011.

Koroneos A., (2009). Petrogenesis of the Upper Jurassic Monopigadon pluton related to the Vardar/Axios ophiolites (Macedonia, northern Greece) and its geotectonic significance. *Chemie der Erde,* **70,** 221-241.

Koufos G. & de Bonis L., (2006). New material of Ouranopithecus macedoniensis from Late Miocene of Macedonia (Greece) and study of its dental attrition. *Geobios,* **39,** 223-243.

Koufos G. & Pavlides S., (1988). Correlation between the continental deposits of the Lower Axios Valley and Ptolemais Basin. *Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Ετ.,* **20,** 9-19.

Michail M., Pipera K., Koroneos A., Kilias A. & Ntaflos T., (2016). New perspectives on the origin and emplacement of the Late Jurassic Fanos granite, associated with an intra-oceanic subduction within the Neotethyan Axios-Vardar Ocean. *International Journal of Earth Sciences,* DOI 10.1007/s00531-016-1321-4.

Papadopoulos A., Christofides G., Koroneos A. & Hauzenberger C., (2015). U, Th and REE content of heavy minerals from beach sand samples of Sithonia Peninsula (northern Greece). *Neues Jahrbuch für Mineralogie – Abhandlungen (Journal of Mineralogy and Geochemistry),* **192/2,** 107/116.

Papadopoulos A., Christofides G., Pe-Piper G., Koroneos A. & Papadopoulou L., (2014). Geochemistry of beach sands from Sithonia Peninsula (Chalkidiki, Northern Greece). *Mineralogy and Petrology,* DOI 10.1007/s00710-014-0351-5.

Papadopoulos A., Koroneos A., Christofides G. & Papadopoulou L., (2016). Geochemistry of beach sands from Kavala, Northern Greece. *Italian Journal of Geosciences,* DOI 10.3301/IJG.2016.01.

Papadopoulos A., Koroneos A., Christofides G. & Stoulos S., (2015). Natural radioactivity distribution and gamma radiation exposure of beach sands close to Kavala pluton, Greece. *DE GRUYTER – Open Geosciences,* **1,** 407-422.

Šaric K., Cvetkovic V., Romer R., Christofides G. & Koroneos A., (2009). Granitoids associated with East Vardar ophiolites (Serbia, F.Y.R. Of Macedonia and Northern Greece): origin, evolution and geodynamic significance inferred from major and trace element data and Sr–Nd–Pb isotopes. *Lithos,* **108,** 131-150.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

Schlee J., (1973). Atlantic continental shelf and slope of the United States: sediment texture of the northeastern part. *U.S. Geol. Surv., Prof. Pap.,* 529-L, p. 64

Sinn C. & Schlemmer M., (2014). Aegeis – deep structure & slab rollback in the Mediterranean. *RWTH Aachen University, Teaching and Research Area Geology – GED.*

Soldatos T., Koroneos A. & Christofides G., (1993). Origin and evolution of the Fanos granite (Macedonia, northern Greece): trace and REE modelling constraints. *Τιμητική έκδοση για τον Καθηγητή Α.Γ. Πανάγο, έκδοση Ε.Μ.Π.,* Αθήνα, Β, 789-812.

ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

Δ1. https://en.wikipedia.org/wiki/Rare-earth_element

Δ2. https://www.jcu.edu.au/advanced-analytical-centre/services-and-resources/resources-and extras/element-to-stoichiometric-oxide-conversion-factors

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης