



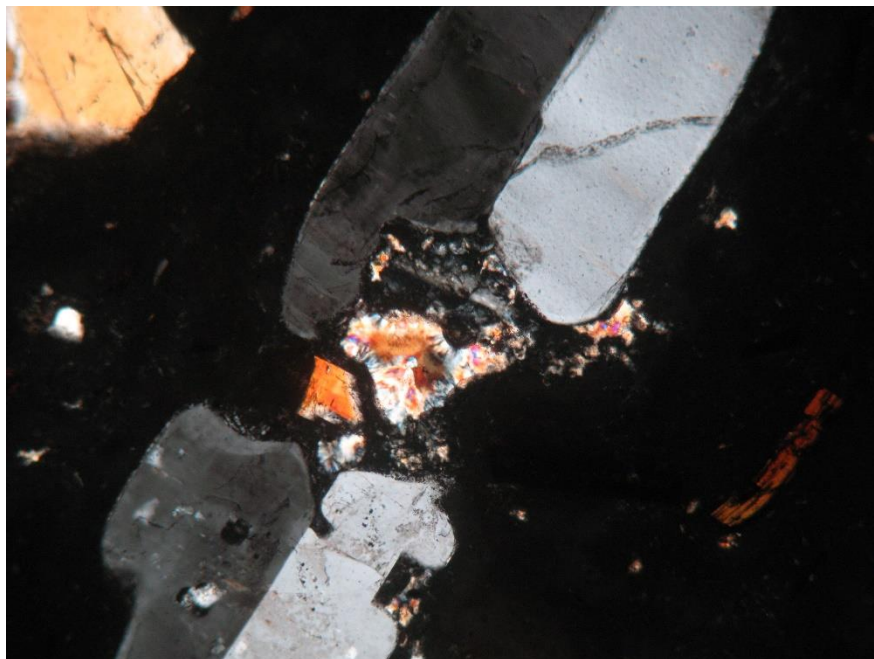
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ-ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ-ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΠΑΠΑΣΤΕΡΓΙΟΥ

**ΙΣΤΟΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ
ΖΕΟΛΙΘΟΦΟΡΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΘΡΑΚΗΣ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ
ΑΥΤΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2020-2021





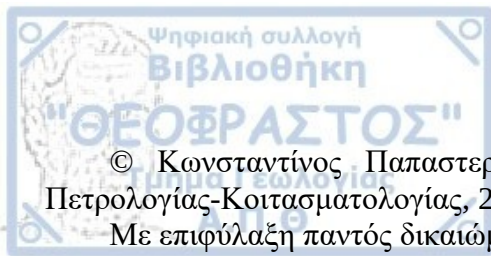
ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΠΑΠΑΣΤΕΡΓΙΟΥ
Φοιτητής Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5530

ΙΣΤΟΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΖΕΟΛΙΘΟΦΟΡΩΝ
ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΘΡΑΚΗΣ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΑΥΤΩΝ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέα Ορυκτολογίας, Πετρολογίας, Κοιτασματολογίας
Εργαστήριο Ορυκτολογίας-Πετρολογίας

Επιβλέπων

Καντηράνης Νικόλαος



© Κωνσταντίνος Παπαστεργίου, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας, 2020

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΙΣΤΟΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΖΕΟΛΙΘΟΦΟΡΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΘΡΑΚΗΣ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΑΥΤΩΝ– *Διπλωματική Εργασία*

© Konstantinos Papastergiou, School of Geology, Dept. of Mineralogy-Petrology-Economic Geology, 2020

All rights reserved.

TEXTURAL AND MINERALOGICAL CHARACTERISTICS OF ZEOLITE-BEARING ROCKS OF THRACE AND THEIR CLASSIFICATION– *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.

Εικόνα Εξωφύλλου: Μετατροπή σανιδίνου σε ζεόλιθο, πολωτικό μικροσκόπιο, N+, 5X





ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	6
ABSTRACT.....	7
<u>1.</u> ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
1.1 Στόχοι – Σκοπός.....	8
1.2 Γεωλογία περιοχής.....	8
1.3 Πετρολογία	9
1.3.1 Ζεόλιθοι	10
1.3.2 Γενετικοί τύποι ζεολίθων – Περιβάλλοντα σχηματισμού.....	10
1.3.3 Οι ζεόλιθοι της Θράκης	11
1.3.4 Ζεολιθοποίηση	12
<u>2.</u> ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	12
2.1 Περιοχή Ενδιαφέροντος.....	12
2.2 Ιστολογική – Ορυκτολογική Μελέτη.....	13
2.3 Μεθοδολογία ταξινόμησης των πετρωμάτων	17
<u>3.</u> ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ	21
3.1 Πετρωτά (MP2).....	21
3.2 Μεταξάδες (PL1)	25
3.3 Πεντάλοφος (KYT1).....	28
3.4 Φέρρες (FER2).....	31
3.5 Καβισσός (KAV2)	34
3.6 Σκάλωμα (SKA2).....	37
3.7 Δαρμένη (DAR2 / DAR3 / DAR4)	39
3.7.1 DAR2	39
3.7.2 DAR3	42
3.7.3 DAR4	45
3.8 Συγκεντρωτικά διαγράμματα ταξινόμησης και οι πετρογραφικοί τύποι	48
<u>4.</u> ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	51
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	54



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ιστολογικά και ορυκτολογικά χαρακτηριστικά των ζεολιθοφόρων πετρωμάτων της Θράκης και ταξινόμηση τους

Κωνσταντίνος Παπαστεργίου

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως σκοπό τον καθορισμό των ιστολογικών και ορυκτολογικών χαρακτηριστικών των εξεταζόμενων ζεολιθοφόρων πετρωμάτων της Θράκης. Οι σχηματισμοί αυτοί αποτελούν ηφαιστειοκλαστικά πετρώματα, τα οποία έχουν εξαλλοιωθεί, έτσι ώστε να παραχθούν ζεολιθικά ορυκτά. Εξετάστηκαν 9 δείγματα συνολικά με την μέθοδο του πολωτικού μικροσκοπίου διερχομένου φωτός και εν συνεχεία δίνονται πίνακες που παρουσιάζουν συγκεντρωτικά όλα τα χαρακτηριστικά τους. Παρουσιάζονται σε εικόνες ο ιστός των εξεταζόμενων δειγμάτων, τα ορυκτά και οι αλλοιώσεις που αναγνωρίστηκαν και δίνεται η ταξινόμησή τους σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία. Συμπερασματικά, επιβεβαιώνεται η δράση της εξαλλοίωσης προς ζεόλιθους σε όλα τα εξεταζόμενα δείγματα. Ειδικότερα, εκτιμήθηκε και το δείγμα της περιοχής, που έχει τους περισσότερους ζεόλιθους (Κύριες Τούμπες, Πενταλόφου), ενώ εντοπίστηκαν και κάποιοι πιθανοί τύποι ζεολίθων, όπως ο μορντενίτης που πιθανόν να υπάρχει στο δείγμα του Σκαλώματος.



ABSTRACT

Textural and mineralogical characteristics of zeolite-bearing rocks of Thrace and their classification

Konstantinos Papastergiou

The scope of this thesis is to determine the textural and mineralogical characteristics of the examined samples of zeolite-bearing rocks of Thrace. Those formations are volcanoclastic rocks, which have been altered, resulting to the production of zeolite minerals. In total, 9 samples are examined using the method of polarized light microscope exclusively and consequently, and tables concentrating their observed characteristics are given. Through pictures, the textures of the examined samples, the minerals and the recognized alterations are presented, and the classification according to the international bibliography is given. In conclusion, the alteration mechanism, that produces zeolites, is confirmed to all the samples. Specifically, the sample of the area, which is the most abundant in zeolites, is assessed (Kyries Toumpes, Pentalofos) and some zeolite species have been also recognized, like mordenite, that is probable to be found in the sample of Skaloma.



1.1 Στόχοι – Σκοπός

Τα ιστολογικά και τα ορυκτολογικά χαρακτηριστικά ενός πετρώματος προσφέρουν μια πληθώρα χρήσιμων πληροφοριών. Ιδιαίτερα στα ιζηματογενή πετρώματα τα δεδομένα αυτά μπορούν να βοηθήσουν στην εκτίμηση του τρόπου γένεσης, των μηχανισμών μεταφοράς, των συνθηκών απόθεσης και των διαγενετικών διεργασιών.

Στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία πραγματοποιείται μικροσκοπική εξέταση λεπτών τομών από τα ζεολιθοφόρα πετρώματα της Θράκης, ώστε να αξιολογηθούν τα ιστολογικά και τα ορυκτολογικά χαρακτηριστικά τους. Τα πετρώματα αυτά έχουν μελετηθεί από πολλούς ερευνητές (Tsirambides et al. 1989, Tsirambides et al. 1993, Koutles et al. 1995, Stamatakis et al. 1996, Kantiranis et al. 2006, Marantos et al. 2008, Τσιραμπίδης και Φιλιππίδης 2013, Filippidis et al. 2016), τόσο πετρολογικά, όσο και ως προς την δυνατότητα οικονομικής εκμετάλλευσής τους, όχι όμως τόσο λεπτομερώς ως προς τα ιστολογικά χαρακτηριστικά τους.

Τέλος, πραγματοποιείται, σύμφωνα με την διεθνή βιβλιογραφία, η κατάλληλη ταξινόμηση των αναλυθέντων δειγμάτων με σκοπό τον προσδιορισμό του πετρογραφικού τύπου των πετρωμάτων αυτών.

1.2 Γεωλογία περιοχής

Η Θράκη ανήκει κυρίως στην μάζα της Ροδόπης και λιγότερο στην Περιοδοπική γεωτεκτονική ζώνη του Ελληνικού χώρου. Με το κλείσιμο του ωκεανού της Τηθύος κατά το κάτω Κρητιδικό αιώνα και την έναρξη της σύγκρουσης μεταξύ των λιθοσφαιρικών πλακών Ευρασίας και Αφρικής κατά το Παλαιογενές, έλαβε χώρα ορογένεση στον Ελλαδικό χώρο. Η ορογένεση επηρέασε και τον χώρο της Ροδόπης. Με αποτέλεσμα, μάζες της περιοχής να ορθώνονται και άλλες μάζες να καταρρέουν, επηρεάζοντας την μορφολογία και δημιουργώντας τάφρους σε ένα ρηχό θαλάσσιο περιβάλλον (Aleksiev and Djourova 1975, Aleksiev et al. 1997). Κατά το τέλος του Ηωκαίνου και στις αρχές του Ολιγοκαίνου, έλαβε χώρα ηφαιστειακή δραστηριότητα επαναλαμβανόμενου χαρακτήρα με πολλαπλά επεισόδια στον ΒΑ χώρο της Ροδόπης. Ο μαγματισμός ήταν όξινης – ενδιάμεσης, ασβεσταλκαλικής σύστασης. Τα φαινόμενα αυτά έδωσαν πυριγενή και ηφαιστειοκλαστικά υλικά στην γενικότερη περιοχή, ενώ παράλληλα έχουν

επηρεάσει τα ήδη υπάρχοντα πετρώματα της Θράκης. Επομένως, παρατηρούνται φαινόμενα εξαλλοίωσης, μεταμόρφωσης επαφής και περιοχές με μεταλλοφορία.

1.3 Πετρολογία

Οι ζεολιθοφόροι σχηματισμοί της Θράκης αποτελούν όξινα ηφαιστειοκλαστικά πετρώματα, από τα οποία ίσως κάποια έχουν υποστεί υδροθερμική εξαλλοίωση, με την παρουσία μετεωρικού νερού (Tsirambides et al. 1993). Με τον όρο ηφαιστειοκλαστικά, αναφερόμαστε στον τρόπο δημιουργίας των πετρωμάτων. Τα ηφαιστειοκλαστικά πετρώματα δημιουργούνται από τα κλαστικά υλικά που εκτινάσσονται από τα ηφαίστεια και πέφτουν στο έδαφος ή σε υδάτινες λεκάνες (Τσιραμπίδης 2008). Στην πορεία, τα υλικά αυτά εκτεθειμένα στην επιφάνεια μεταφέρονται, αποτίθενται και συμπαγοποιούνται με την συνδρομή συγκολλητικού υλικού. Κατά την μεταφορά τους μπορεί να ανακατευθούν με άλλα συνηθισμένα κλαστικά ιζηματογενή υλικά. Μετά την απόθεσή τους μπορεί να υποστούν ορυκτοχημικές αλλαγές, κυρίως κατά την διάρκεια της διαγένεσης. Η μεταφορά των κλαστικών αυτών υλικών, η απόθεση τους σε μία λεκάνη και η διαγένεση τους προκειμένου να γίνουν πετρώματα θα καλούνται με μία ορολογία **ιζηματογένεση**.

Το περιβάλλον ιζηματογένεσης σε όλες τις επιμέρους περιοχές χαρακτηρίζεται ρηχό θαλάσσιο ή παράκτιο. Το ηφαιστειακό γυαλί και τα ηφαιστειακά πετρογενετικά ορυκτά όπως το σανίδινο, τα πλαγιόκλαστα και ο χαλαζίας πρέπει να κυριαρχούν στην πλειοψηφία των δειγμάτων, λόγω του τρόπου δημιουργίας τους. Παρόλα αυτά, το ηφαιστειακό γυαλί αντιδράει με το νερό που βρίσκεται στους πόρους του πετρώματος κατά το στάδιο της διαγένεσης και παράγονται ζεόλιθοι και αργιλικά ορυκτά (Tsirambides et al. 1989, Bedeleian et al. 2007, Marantos et al. 2008). Αυτή η διεργασία ονομάζεται **ζεολιθοποίηση** και είναι κοινό φαινόμενο, σε μικρό ή μεγάλο βαθμό, στα ηφαιστειακά πετρώματα της Θράκης.

Το φαινόμενο αυτό έφερε τα πετρώματα στο κέντρο του ενδιαφέροντος, αφού οι ζεόλιθοι, ανάλογα με τον επικρατούντα τύπο και τα υπόλοιπα ορυκτά συστατικά του πετρώματος, είναι οικονομικά εκμεταλλεύσιμοι (Filippidis et al. 2016), λόγω των πολλών χρήσεων που εμφανίζουν σε διάφορους τομείς. Πιο συγκεκριμένα, οι ζεόλιθοι της Θράκης, εκτιμήθηκαν πως έχουν χρήση ως συμπληρώματα διατροφής ζώων, βελτιωτικά αγροτικών καλλιεργειών, υποστρώματα θερμοκηπίων και ανθοκομικής, βελτιωτικά όξινων και αλκαλικών εδαφών, υλικά καθαρισμού λυμάτων και υγρών αποβλήτων, βελτιωτικά ποιότητας πόσιμου νερού, οξυγονικά υδάτινων οικοσυστημάτων, αποσμητικό υλικό, και, εφαρμογή για ιχθυοκαλλιέργειες, επεξεργασία

λυματολάσπης, εμπλουτισμό οξυγόνου, κλιματισμό του αέρα, καθαρισμό και αποξήρανση αερίων, τοπικά δομικά υλικά και στην τσιμεντοβιομηχανία (Stamatakis et al. 1996, Filippidis and Kassoli-Fournaraki 2000, Φιλίππιδης και Καντηράνης 2005, Φιλίππιδης και Τσιραμπίδης 2012, Filippidis et al. 2014, Φιλίππιδης 2015, Φιλίππιδης και Καντηράνης 2016, Filippidis et al. 2016, Filippidis 2016).

1.3.1 Ζεόλιθοι

Οι ζεόλιθοι αποτελούν μία ομάδα ένυδρων αργιλοπυριτικών ορυκτών με πολύπλοκη τεκτοπυριτική δομή (Iijima 1980). Το κύριο χαρακτηριστικό τους είναι ότι έχουν μια ανοιχτή κρυσταλλική δομή, που εμπεριέχει κανάλια γεμισμένα με μόρια νερού και κατιόντα. Οι ζεόλιθοι έχουν την ικανότητα να χάνουν ή να προσλαμβάνουν μόρια νερού με θέρμανση και ενυδάτωση αντίστοιχα, χωρίς να γίνουν σημαντικές αλλαγές στην κρυσταλλική δομή τους. Επίσης, οι ζεόλιθοι έχουν την ικανότητα ιοντοανταλλαγής, δηλαδή μπορούν να ανταλλάσουν τα ιόντα που έχουν δεσμεύσει, με χαλαρούς δεσμούς στην κρυσταλλική τους δομή, με άλλα. Μάλιστα, αυτό το φαινόμενο παρατηρείται και σε χαμηλές θερμοκρασίες (Iijima 1980).

1.3.2 Γενετικοί τύποι ζεολίθων – Περιβάλλοντα σχηματισμού

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι που μπορούν οι ζεόλιθοι, με φυσικό τρόπο, να σχηματιστούν. Σύμφωνα με τους Iijima (1980), Hay and Sheppard (2001), Marantos et al. (2012), Inglezakis and Zorpas (2012) παρατηρούνται οι εξής γενετικοί τύποι:

- **Μαγματικοί επουσιώδης ζεόλιθοι:** Στα πυριγενή πετρώματα, κατά την κρυστάλλωση ορυκτών από το μάγμα, μπορεί να σχηματιστεί ένα συγκεκριμένο ορυκτό της ομάδας των ζεολίθων. Το ορυκτό αυτό είναι το ανάλκιμο και μπορεί να σχηματιστεί τόσο στα πλουτωνικά, όσο και στα ηφαιστειακά πετρώματα.
- **Μεταμόρφωση επαφής:** Όταν το μάγμα διεισδύει σε ιζηματογενή πετρώματα κοντά στην επιφάνεια της Γης, παρατηρείται το φαινόμενο της θερμομεταμόρφωσης επαφής. Όταν συμβαίνει αυτό, τα γειτονικά πετρώματα της διείσδυσης, τα οποία δεν είναι σταθερά στις καινούργιες θερμοκρασίες, μεταμορφώνονται και κρυσταλλώνουν νέα ορυκτά στην μάζα τους. Παρατηρείται σχηματισμός ζεολίθων κατά την θερμομεταμόρφωση επαφής μίας μαγματικής διείσδυσης μέσα σε πορώδη πετρώματα γεμισμένα με νερό. Στην περίπτωση

αυτή είναι συχνό φαινόμενο να παρατηρείται ζώνωση διαφορετικών τύπων της ομάδας των ζεολίθων, γύρω από την επαφή.

- **Υδροθερμική εξαλλοίωση:** Παρατηρείται σχηματισμός ζεολίθων με την διείσδυση αλκαλικών - βασικών θερμών ρευστών σε ενεργά γεωθερμικές περιοχές. Στην περίπτωση που οι θερμοκρασίες είναι χαμηλές, συχνά δημιουργείται ζώνωση ορυκτών.
- **Θαπτική μεταμόρφωση:** Σε παχιές ιζηματογενείς ακολουθίες ηφαιστειοκλαστικών πετρωμάτων μπορούν να σχηματιστούν ζεόλιθοι, κυρίως λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας με το βάθος των πετρωμάτων.
- **Εξαλλοίωση σε ανοιχτό σύστημα τέφρας:** Μετεωρικό αλκαλικό νερό, το οποίο διυλίζεται μέσα σε ηφαιστειοκλαστικά υλικά, αντιδράει με το ηφαιστειακό γυαλί, συνήθως όξινης σύστασης και σχηματίζει ζεόλιθους και αργιλικά ορυκτά.
- **Σχηματισμός ζεολίθων κοντά στην επιφάνεια:** Παρατηρείται σχηματισμός ζεολίθων σε αλκαλικά λιμναία περιβάλλοντα ή σε αλκαλικά εδάφη μετά από φαινόμενα αποσάθρωσης και σε περιβάλλοντα με πορώδη πετρώματα, λόγω υπόγειας ροής νερού.
- **Θαλάσσια περιβάλλοντα:** Παρατηρείται η εξαλλοίωση ορισμένων ορυκτών σε θαλάσσια περιβάλλοντα προς ζεόλιθους. Το φαινόμενο παρατηρείται τόσο σε ρηχά, όσο και βαθιά νερά. Δεν παρατηρείται κάποιου είδους ζώνωση.
- **Κρατήρες σύγκρουσης μετεωριτών:** Σχηματισμός ζεολίθων σε ιζήματα, λόγω σύγκρουσης μετεωριτών.

1.3.3 Οι ζεόλιθοι της Θράκης

Οι ζεόλιθοι της Θράκης φαίνεται να έχουν σχηματιστεί με την απόθεση θερμών ηφαιστειοκλαστικών πετρωμάτων σε περιβάλλον με αλκαλικά ρηχά νερά. Ως επί των πλείστων, αυτό είχε ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη χαμηλής θερμοκρασίας υδροθερμικό σύστημα, με τα ηφαιστειοκλαστικά υλικά να αποτελούν την πηγή θέρμανσης (Marantos et al. 2008).

Σε γενικές γραμμές, οι ζεόλιθοι που μπορεί να συναντήσει κανείς στα πετρώματα της Θράκης είναι ο κλινοπτινόλιθος/ ευλανδίτης, ο μορντενίτης και το ανάλκιμο (Kantiranis et al. 2002). Δηλαδή, τυπικοί ζεόλιθοι που βρίσκονται σε θαλάσσια περιβάλλοντα (Marsaglia and Tazaki 1992)

Μετά την απόθεση των θερμών ηφαιστειοκλαστικών υλικών στην λεκάνη ιζηματογένεσης και κατά το στάδιο της διαγένεσης, το περιβάλλον και οι συνθήκες της ιζηματογένεσης καθορίζουν τις μεταβολές του πετρώματος.

Το πρώτο στάδιο εξαλλοίωσης θεωρείται η ενυδάτωση των θραυσμάτων γυαλιού, σε χαμηλές θερμοκρασίες (Gifkins et al. 2005). Η ενυδάτωση δεν παράγει απευθείας νέα ορυκτά, αλλά διευκολύνει την διαδικασία της εξαλλοίωσης σε μετέπειτα στάδια. Παρόλα αυτά, μπορούν να δημιουργηθούν ομοιόμορφα κατανεμημένες φυσαλίδες και περλιτικές ρωγμές (Lofgren 1971, Fisher and Schmincke 1984) ή γενικότερα **διαβρωσιγενή κενά**.

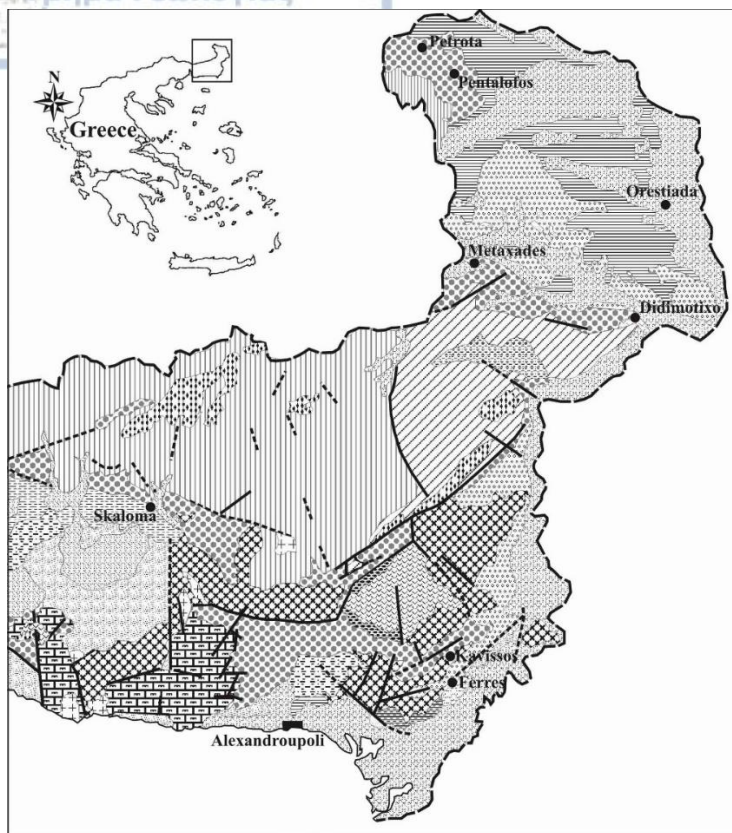
Η αντίδραση του ηφαιστειακού γυαλιού με το νερό, για τον σχηματισμό των ζεολίθων, μπορεί να είναι πολύπλοκη και με πολλά ενδιάμεσα στάδια. Σε γενικές γραμμές, το ηφαιστειακό γυαλί εξαλλοιώνεται αρχικά σε αργίλικα ορυκτά, τα οποία με την σειρά τους, κατά την εξέλιξη της διαγένεσης, μετατρέπονται σε ζεολιθικά ορυκτά ανάλογα με τα διαθέσιμα ανταλλάξιμα κατιόντα. Οι ζεόλιθοι που σχηματίζονται στα αρχικά στάδια, μπορεί να εξαλλοιωθούν προς άλλους ζεολίθους, λόγω αλλαγών στο περιβάλλον ιζηματογένεσης, ή λόγω αστάθειας των ήδη σχηματισμένων ζεολίθων (Hay and Sheppard 2001).

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ

2.1 Περιοχή Ενδιαφέροντος

Τα εξεταζόμενα δείγματα αποτελούν μέρος τεταμένης δειγματοληψίας, που είχε εκτελεσθεί κατά το παρελθόν, από μέλη του τομέα ορυκτολογίας – πετρολογίας και κοιτασματολογίας και ειδικότερα υπό την ευθύνη και καθοδήγηση των μελών του τομέα Α. Φιλιππίδη και Ν. Καντηράνη. Οι θέσεις της δειγματοληψίας παρουσιάζονται στο σκαρίφημα του σχήματος 1:

- Δαρμένη - Σκάλωμα
- Φέρρες - Καβισσός
- Παλιούρι, Μεταξάδες
- Κύριες Τούμπες, Πεντάλοφος
- Μαύρη Πέτρα, Πετρωτά



Σχήμα 1. Ο γεωλογικός χάρτης της Θράκης και οι περιοχές της δειγματοληψίας (Kantiranis et al. 2002).

Σε γενικές γραμμές, τυπικά προϊόντα από υδροθερμική εξαλλοίωση - ζεολιθοποίηση αποτελούν ο οπάλιος, ο χαλαζίας, ο τριδυμίτης, ο χριστοβαλίτης και οι Na- ζεόλιθοι σε όξινες ηφαιστειακές φάσεις (Sheppard et al. 1988). Ενώ, βασικές ηφαιστειακές φάσεις κρυσταλλώνουν κυρίως σμηκτίτη, φιλλιψίτη, οξειδία και χλωρίτη. Συνεπώς, είναι δυνατόν τα ηφαιστειοκλαστικά πετρώματα των παραπάνω περιοχών, εφόσον έχουν υποστεί υδροθερμική εξαλλοίωση – ζεολιθοποίηση, να δώσουν τα τυπικά προϊόντα που αντιστοιχούν κυρίως σε όξινες ηφαιστειακές φάσεις, καθώς είναι γνωστό ότι το μάγμα είναι όξινης – ενδιάμεσης ασβεσταλκαλικής σύστασης.

2.2 Ιστολογική – Ορυκτολογική Μελέτη

Η μελέτη των συγκεκριμένων πετρωμάτων έγινε σε πολωτικό μικροσκόπιο διερχομένου φωτός με τη χρήση λεπτών – στιλπνών τομών. Πιο συγκεκριμένα, μετά την κοπή του πετρώματος, ακολουθεί η συγκόλληση, η λείανση και η στίλβωσή του για την κατασκευή των λεπτών –

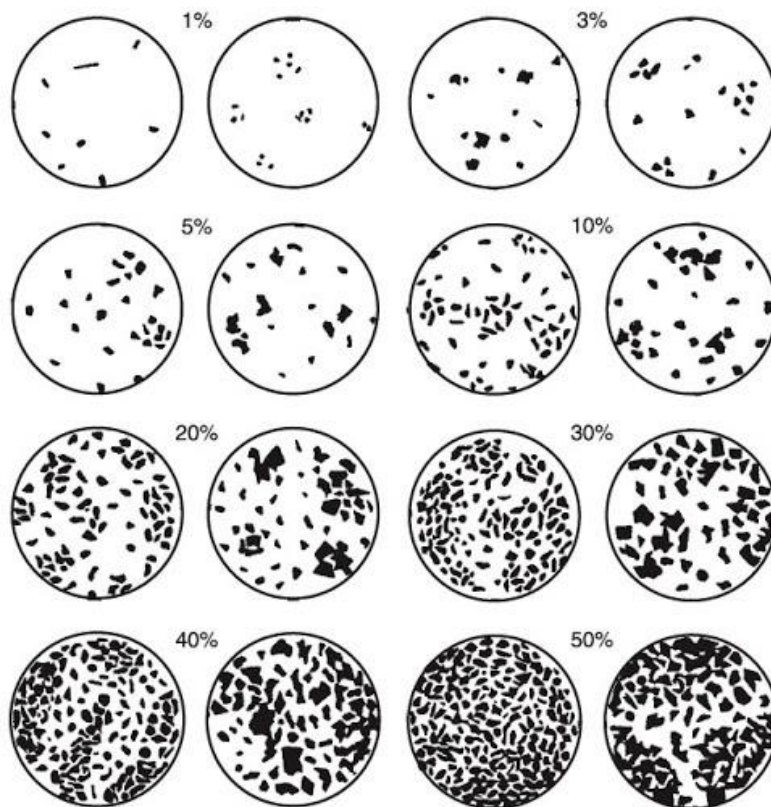
στιλπνών τομών. Αξιοσημείωτο είναι ότι στις λεπτές – στιλπνές τομές χρησιμοποιούνται ως συγκολλητικά υλικά ειδικές εποξειδικές ρητίνες, για να αποφευχθεί η δημιουργία ατμών κατά την στερεοποίηση του συγκολλητικού υλικού (Σκλαβουνός κ.ά. 2011). Αυτό γίνεται καθώς στις συγκεκριμένες τομές είναι δυνατή η μικροανάλυση, με την οποία δεν θα ασχοληθεί η παρούσα μελέτη. Παρόλα αυτά, το γεγονός αυτό θα μπορούσε να αποτελέσει και ένα στοιχείο για την μέθοδο της μελέτης. Με λίγα λόγια, θα είναι δύσκολο το ενδεχόμενο να παρατηρηθεί κενό αέρα στην μικροσκοπική ανάλυση, παρά μόνο όταν πρόκειται για ένα διαβρωσιγενές κενό του πετρώματος.

Η ερευνητική μέθοδος περιλαμβάνει τις παρακάτω εκτιμήσεις:

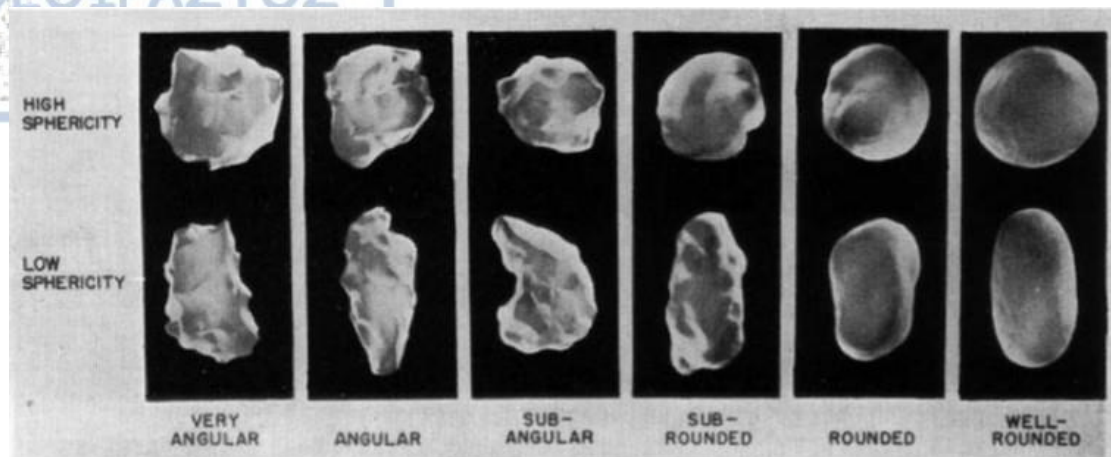
- Υπολογισμός ποσοστιαίας αναλογίας (Terry & Chilingar 1955) και χαρακτηρισμός των συστατικών του κλαστικού ιζηματογενούς πετρώματος: Κόκκοι, Υλικό πλήρωσης, συγκολλητικό υλικό και θραύσματα πετρωμάτων.
- Εκτίμηση μέσου όρου μεγέθους των κόκκων και μεγίστου κόκκου.
- Οπτική εκτίμηση του βαθμού ταξινόμησης των κόκκων.
- Οπτική εκτίμηση βαθμού στρογγυλότητας και σφαιρικότητας των κόκκων κατά Powers (1953).
- Εκτίμηση ιστολογικής και ορυκτολογικής ωριμότητας (Weller 1960):

1. Η ιστολογική ωριμότητα αναφέρεται στον βαθμό ανακατεργασίας και στην απόσταση μεταφοράς των κλαστικών υλικών (Τσιραμπίδης 2008). Έτσι, ένα ιστολογικά ανώριμο πέτρωμα θεωρούμε ότι έχει υποστεί μικρή ανακατεργασία και η απόσταση μεταφοράς, που έχουν διανύσει τα κλαστικά υλικά, είναι μικρή. Με άλλα λόγια, η ενέργεια που χρειάστηκαν τα κλαστικά υλικά για την ιζηματογένεση τους, είναι μικρή. Η ιστολογική ωριμότητα εξαρτάται (Σχήμα 4) από το ποσοστό των κόκκων μεγέθους αργίλου, το βαθμό ταξινόμησης των κλαστικών υλικών μέσα στην γενικότερη μάζα του πετρώματος και το βαθμό στρογγυλότητάς τους.
2. Η ορυκτολογική ωριμότητα αναφέρεται στην παραγένεση του πετρώματος, στις αλλοιώσεις των ορυκτών και στην απόσταση μεταφοράς των κλαστικών υλικών. Με τον προσδιορισμό των βαρέων ορυκτών, του χαλαζία, των αστρίων και των σιδηρομαγνησιούχων ορυκτών και λαμβάνοντας υπόψιν την ευκολία που χρειάζονται τα

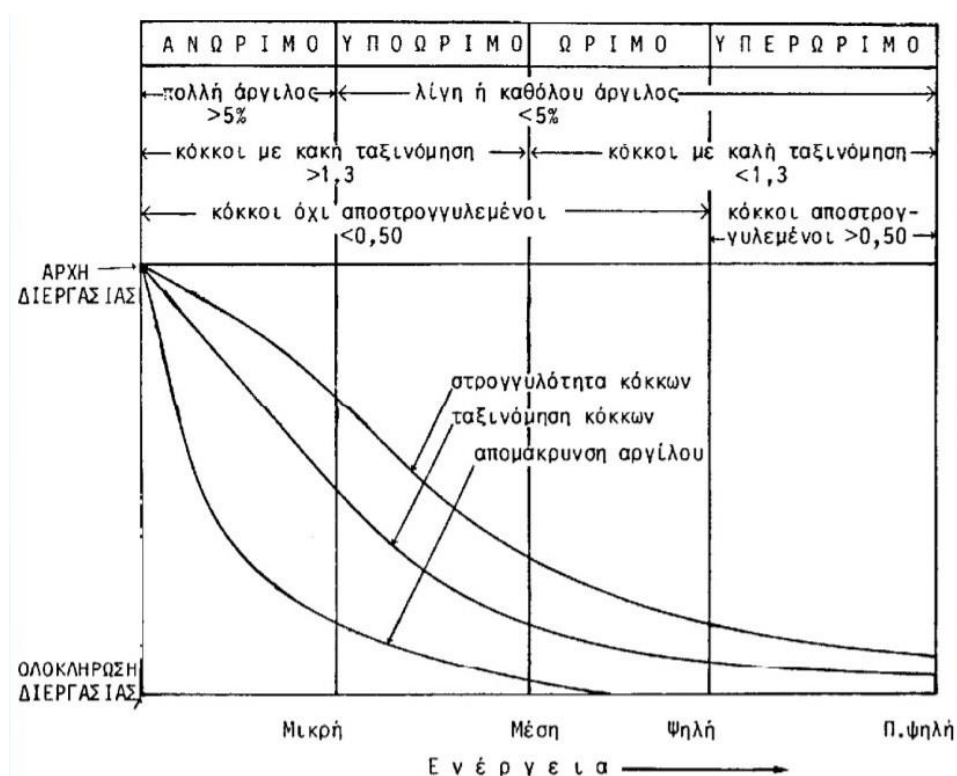
ορυκτά αυτά να εξαλλοιωθούν, βγαίνουν τα παραπάνω συμπεράσματα. Έτσι ένα ιστολογικά ανώριμο πέτρωμα θεωρούμε πως έχει πολλά σιδηρομαγνησιούχα ορυκτά και/ή ορυκτά της ομάδας των αστρίων, καθώς δεν έχουν προλάβει να εξαλλοιωθούν. Η απόσταση μεταφοράς πρέπει να ήταν μικρή και το περιβάλλον ίσως δεν βοήθησε στην εξαλλοίωση τους.



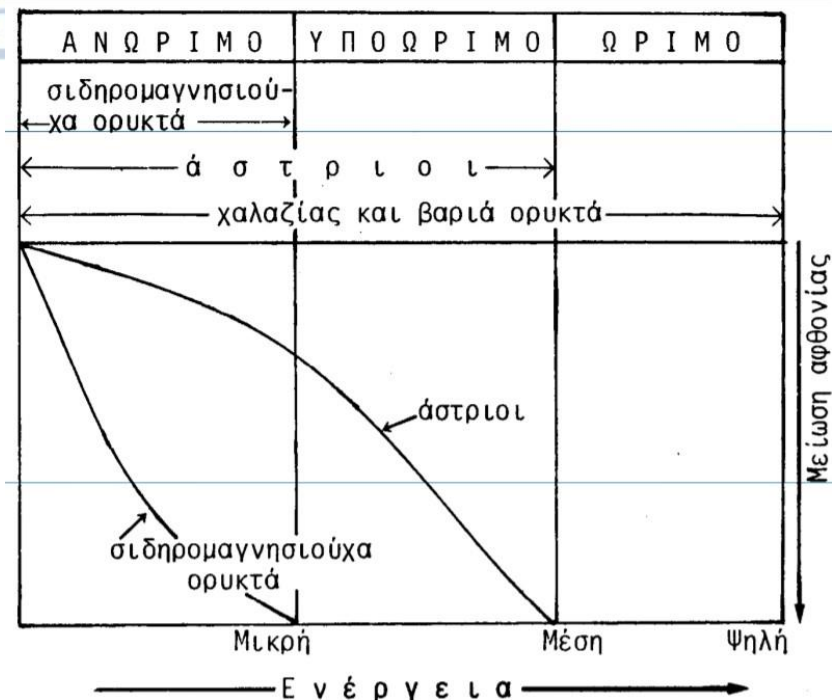
Σχήμα 2. Οπτική εκτίμηση ποσοστιαίας αναλογίας των κόκκων του ιζηματογενούς πετρώματος στο πολωτικό μικροσκόπιο διερχομένου φωτός (Terry & Chilingar 1955).



Σχήμα 3. Οπτική εκτίμηση της στρογγυλότητας και της σφαιρικότητας κατά Powers (1953)



Σχήμα 4. Εκτίμηση ιστολογικής ωριμότητας κατά Weller (1960)



Σχήμα 5. Εκτίμηση ορυκτολογικής ωριμότητας κατά Weller (1960)

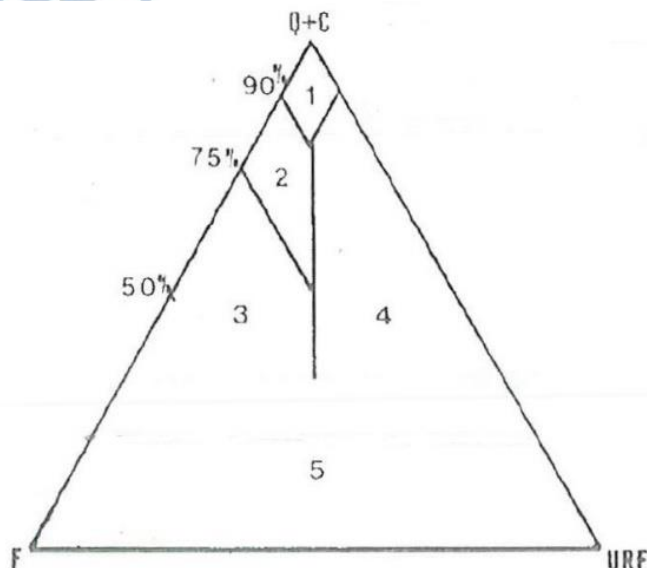
2.3 Μεθοδολογία ταξινόμησης των πετρωμάτων

Μετά την μικροσκοπική ανάλυση των τομών, γίνεται η ταξινόμησή τους με βάση την ορυκτολογική τους σύσταση, με σκοπό την εύρεση του πετρογραφικού τους τύπου. Η συγκεκριμένη μεθοδολογία ακολουθεί μία τυπική ταξινόμηση ψαμμιτών. Αυτό γίνεται εφικτό στην παρούσα εργασία, διότι ο μέσος όρος μεγέθους των κόκκων του κάθε πετρώματος έχει τιμή, τέτοια, ώστε το πέτρωμα να χαρακτηρίζεται ως ψαμμίτης. Η ταξινόμηση χρειάζεται αποκλειστικά τα ποσοστά περιεκτικότητας του χαλαζία, των αστρίων και των θραυσμάτων, που εμπεριέχονται σε κάθε τομή. Επειδή, όμως, η κάθε τομή έχει κι άλλα ορυκτά από τα παραπάνω, είναι λογικό το κάθε ποσοστό να αναχθεί σε ένα άλλο ποσοστό, έτσι ώστε το άθροισμα των τριών επιμέρους ποσοστών να ισούται με 100%. Έπειτα γίνεται η προβολή τους στα εξής τριγωνικά διαγράμματα και βρίσκεται ο πετρογραφικός τους τύπος:

- Ταξινόμηση ψαμμιτών **κατά Williams et al. (1954)**, όπως φαίνεται στο σχήμα 6. Το συγκεκριμένο διάγραμμα χωρίζεται σε 5 πεδία ανάλογα με την αναλογία των τριών αυτών ορυκτών. Στην συγκεκριμένη ταξινόμηση χρειάζεται να ληφθεί υπόψιν και το

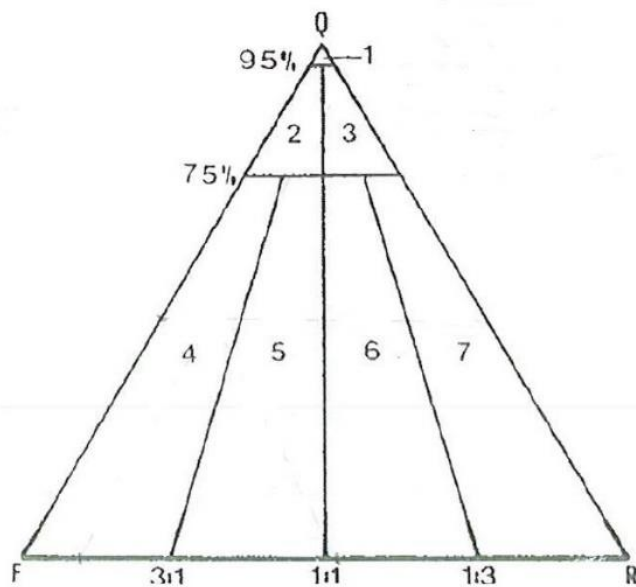
ποσοστό του υλικού πλήρωσης του πετρώματος. Εάν αυτό είναι $<15\%$ οι ψαμμίτες χαρακτηρίζονται ως αρενίτες, ενώ αν είναι $>15\%$ χαρακτηρίζονται ως βάκες (Τσιραμπίδης 2008). Έτσι, ένας αρκοζικός αρενίτης έχει αναλογικά περισσότερους κόκκους χαλαζία και αστρίων, λιγότερα θραύσματα πετρωμάτων και υλικό πλήρωσης $<15\%$, ενώ ένας ηφαιστειακός βάκης έχει λιγότερα ορυκτά χαλαζία και υλικό πλήρωσης $>15\%$.

- Ταξινόμηση ψαμμιτών **κατά Folk et al. (1970)**, όπως φαίνεται στο σχήμα 7. Αυτή η ταξινόμηση δεν λαμβάνει υπόψη της το ποσοστό του υλικού πλήρωσης. Ωστόσο, το διάγραμμα χωρίζεται σε 7 πεδία, κάνοντας ευκρινέστερη την αναλογία μεταξύ αστρίων και θραυσμάτων πετρωμάτων που υπάρχουν στον ψαμμίτη. Έτσι, ένας αστριοαρενίτης έχει πολλούς περισσότερους αναλογικά αστρίους, ένας λιθικός αστριοαρενίτης έχει ελαφρώς περισσότερους αστρίους, ένας αστριούχος λιθαρενίτης έχει ελαφρώς περισσότερα θραύσματα και ένας λιθαρενίτης έχει πολλά περισσότερα θραύσματα. Τα ποσοστά χαλαζία όμως, διαφοροποιούνται σε πεδία $<75\%$, $75-95\%$ και $>95\%$.
- Ταξινόμηση χερσαίων ψαμμιτών **κατά Pettijohn (1957)**, όπως φαίνεται στο σχήμα 8. Η συγκεκριμένη ταξινόμηση λαμβάνει υπόψη της εάν το υλικό πλήρωσης είναι $<15\%$ ή $>15\%$, εάν υπάρχουν περισσότεροι άστριοι ή περισσότερα θραύσματα πετρωμάτων στο πέτρωμα και τι ποσοστό χαλαζία υπάρχει στο πέτρωμα. Έτσι, ένας υπογραουβάκης έχει υλικό πλήρωσης $<15\%$, περισσότερα θραύσματα πετρωμάτων από αστρίους και χαλαζία σε ποσοστό $<75\%$.



Σχήμα 6. Ταξινόμηση αρενιτών / βασικών (Williams et al., 1954).

Q+C: χαλαζίας + κερατόλιθος, F: άστριοι, URF: θραύσματα πετρωμάτων, 1: χαλαζιακός αρενίτης ή βάκης, 2: αστριούχος αρενίτης ή βάκης, 3: αρκοζικός αρενίτης ή βάκης, 4: λιθικός αρενίτης ή βάκης, 5: ηφαιστειακός αρενίτης ή βάκης.



Σχήμα 7. Ταξινόμηση ψαμμιτών (Folk et al., 1970).

Q: χαλαζίας, F: άστριοι, R: θραύσματα πετρωμάτων, 1: χαλαζιαρενίτης, 2: υποαστριαρενίτης, 3: υπολιθαρενίτης, 4: αστριαρενίτης, 5: λιθικός αστριαρενίτης, 6: αστριούχος λιθαρενίτης, 7: λιθαρενίτης.

Πίνακας 19. Ταξινόμηση χερσαίων ψαμμιτών (Pettijohn 1957).				
Σύσταση κόκκων	Κλαστικό υλικό πλήρωσης >15% ¹ . Σχεδόν απουσία συγκολλητικού υλικού χημικής προέλευσης	Κλαστικό υλικό πλήρωσης <15%. Πόροι άδαιοι ή πληρωμένοι με συγκολλητικό υλικό χημικής προέλευσης		
Άστριοι > Θραύσματα πετρωμάτων	ΓΡΑΟΥΒΑΚΕΣ αστριούχοι	ΑΡΚΟΖΙΚΟΙ ΨΑΜΜΙΤΕΣ		ΟΡΘΟΧΑΛΑΖΙΤΕΣ
		αρκόζες	υποαρκόζες ή αστριούχοι ψαμμίτες	ελεύθεροι κερατόλιθου
Θραύσματα πετρωμάτων > Αστρίους	ΓΡΑΟΥΒΑΚΕΣ λιθικοί	ΛΙΘΙΚΟΙ ΨΑΜΜΙΤΕΣ		με κερατόλιθο
		υπογραουβάκες	πρωτοχαλαζίτες	
Χαλαζίας ²	<75%	<75%	75-95%	>95%

¹ στο σύνολο του πετρώματος, ² στο σύνολο των κόκκων.

Σχήμα 8. Ταξινόμηση χερσαίων ψαμμιτών κατά Pettijohn (1957).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1 Πετρωτά (MP2)

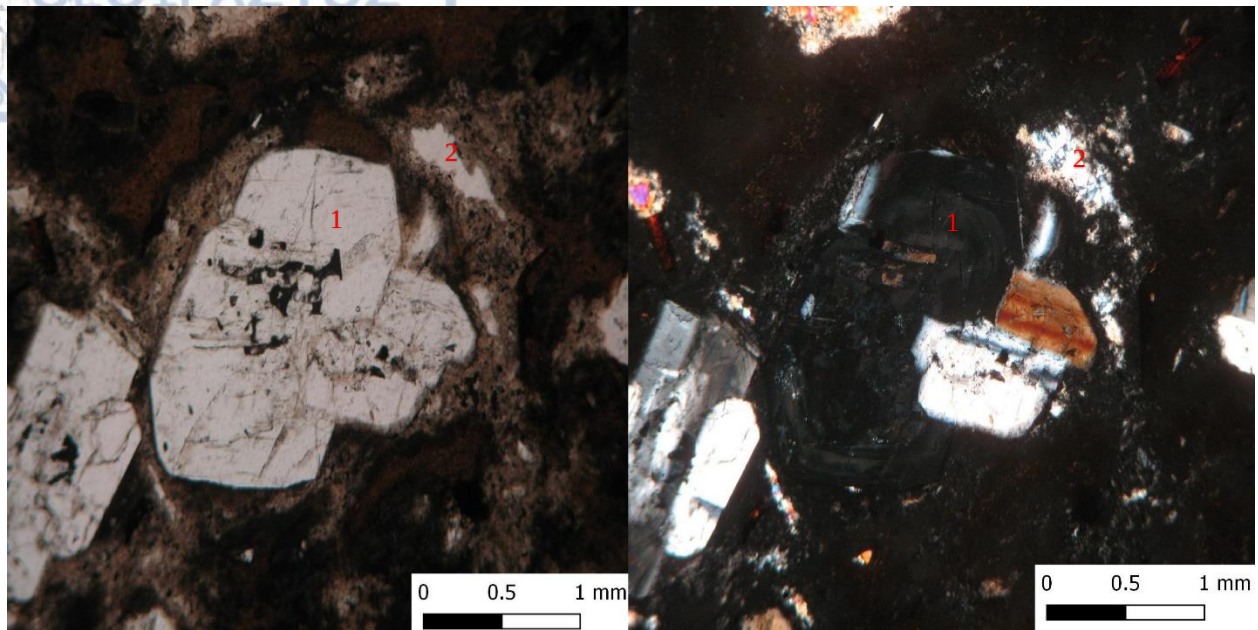
Στα Πετρωτά παρατηρούνται ηφαιστειοκλαστικά πετρώματα παλαιογενούς ηλικίας και ρυοδακτιτικής έως ανδεσιτικής χημικής σύστασης. Φαίνεται πως αποτέθηκαν σε ρηχό θαλάσσιο έως παράκτιο περιβάλλον (Marantos et al. 2006). Ο κλινοπτινόλιθος και ο μορντενίτης είναι τα πιο κοινά ορυκτά μέσα στην γενικότερη υαλώδη μάζα, αντικαθιστώντας το ηφαιστειακό γυαλί (Kiron et al. 1990). Σε γενικές γραμμές, το γυαλί και οι άστριοι εξαλλοιώθηκαν μερικώς προς κλινοπτινόλιθο, μορντενίτη και σμεκτίτη.

Τα ηφαιστειοκλαστικά πετρώματα της περιοχής των Πετρωτών, υποδεικνύουν την ύπαρξη δύο διαφορετικών μητρικών μαγμάτων (Barbieri et al. 2001)

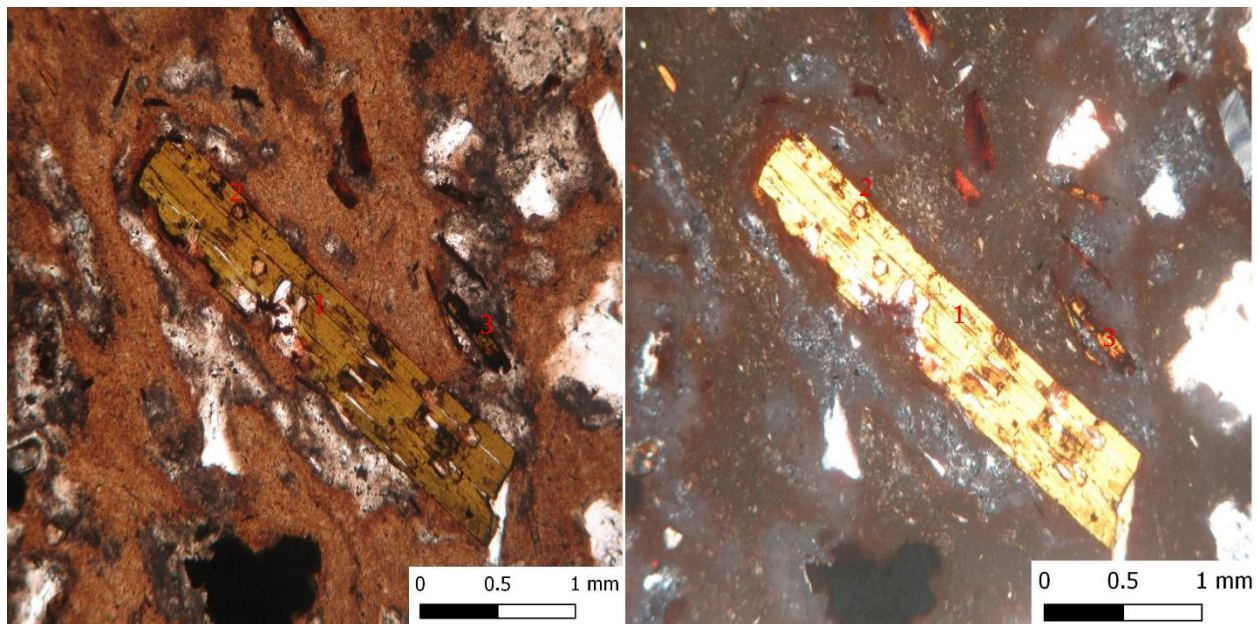
Στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία μελετάται δείγμα από την Μαύρη Πέτρα της περιοχής των Πετρωτών.

Πίνακας 1 Ιστολογικά και ορυκτολογικά χαρακτηριστικά του δείγματος MP2.

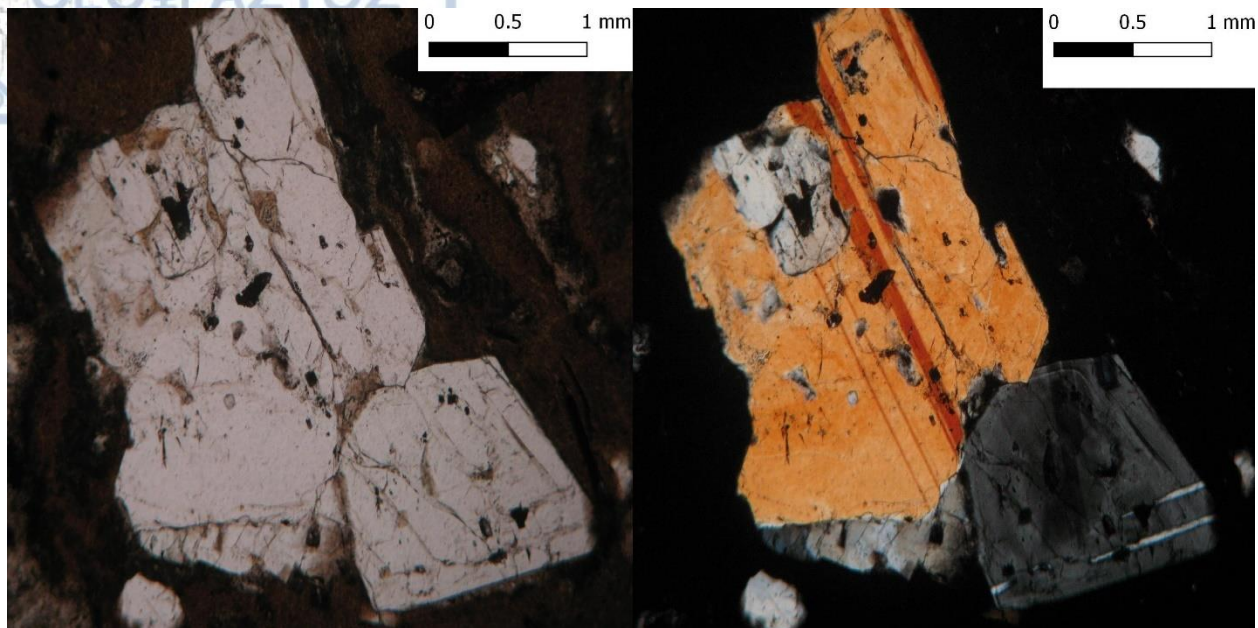
Προέλευση και κωδικός δείγματος	Μαύρη Πέτρα - Πετρωτά - MP2
Μέσος όρος μεγέθους κόκκων	1mm
Μέγιστο μέγεθος κόκκων	1.6mm
Βαθμός ταξινόμησης	Φτωχός
Βαθμός στρογγυλότητας	Γωνιώδης
Σύσταση	
Κόκκοι (%) του συνολικού πετρώματος	60%
Υλικό πλήρωσης (%) του συνολικού πετρώματος	40%
Ορυκτά (%) του πετρώματος	Χαλαζίας (10%), Κ-άστριοι (19%), Πλαγιόκλαστα (15%), Θραύσματα (1%), Βιοτίτης (4%), Ζεόλιθοι (7%), Αδιαφανή ορυκτά (4%)
Στάδιο ιστολογικής ωριμότητας	Υπόωριμο
Στάδιο ορυκτολογικής ωριμότητας	Ανώριμο
Ονομασία Πετρώματος	
Κατά Williams et al (1954)	Ηφαιστειακός βάκης
Κατά Pettijohn (1957)	Αστριούχος Γραουβάκης
Κατά Folk et al (1970)	Αστριοαρενίτης



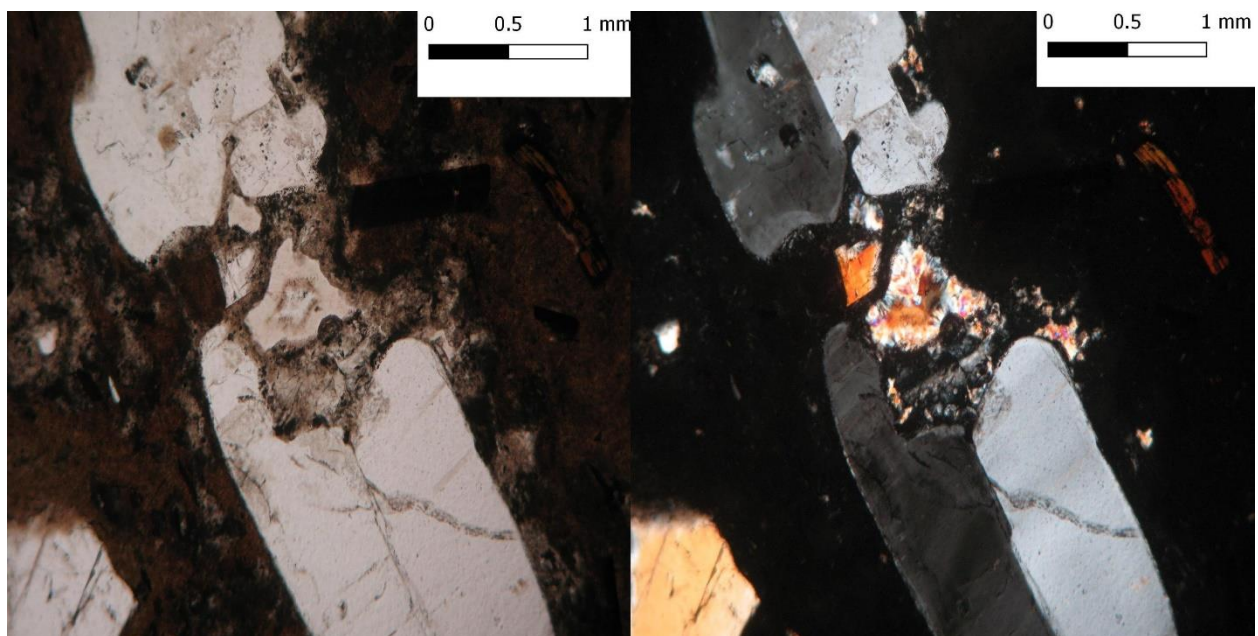
Σχήμα 9. Πλαγιόκλαστα με ζώνωση (1). Παρατηρούνται τα γωνιώδη ιδιόμορφα σχήματα των ορυκτών μέσα σε μία υαλώδη εξαλλοιωμένη μάζα. Μέσα στην εξαλλοιωμένη μάζα παρατηρείται ο σχηματισμός ορυκτών αργίλου και ξεολίθων (2). Επίσης, παρατηρούνται και οξείδια στην γενικότερη μάζα του δείγματος.



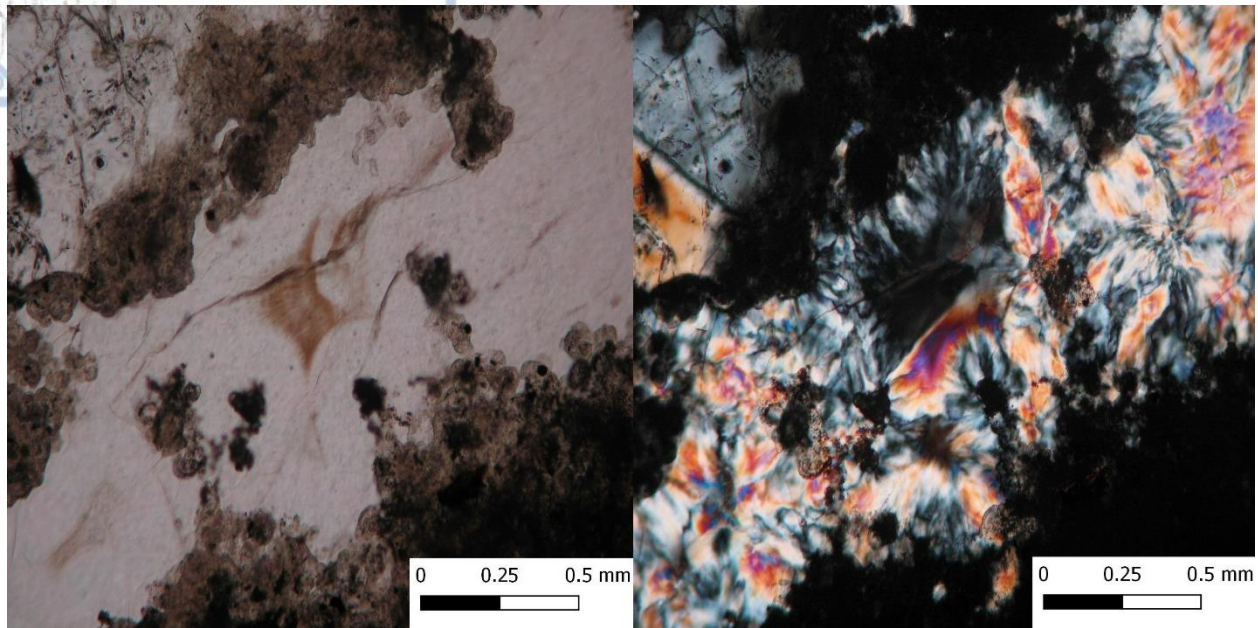
Σχήμα 10. Ένας μεγάλος ιδιόμορφος κρύσταλλος βιοτίτη (1). Αναπτύσσεται αλλοίωση από πλεοχρωική άλω ζirkονίου στην μάζα του κρυστάλλου αυτού (2). Υπάρχουν μικρότεροι κρύσταλλοι βιοτίτη από πάνω. Αυτοί εμφανίζονται σχεδόν σαν αδιαφανή ορυκτά με πιο σκούρο κόκκινο χρώμα (3). Πρόκειται για μία αλλοίωση που λέγεται οπακίτιωση, κατά την οποία κρύσταλλοι βιοτίτη μετατρέπονται σε μαγνητίτες και πυροξένους. Εύκολα συμπεραίνεται ο φτωχός βαθμός ταξινόμησης. Η γενικότερη μάζα αποτελείται από εξαλλοιωμένη ύαλο προς αργιλικά και ξεολιθικά ορυκτά. Επίσης φαίνονται και τα αδιαφανή ορυκτά που φανερώνουν την ορυκτολογική ανωριμότητα του πετρώματος.



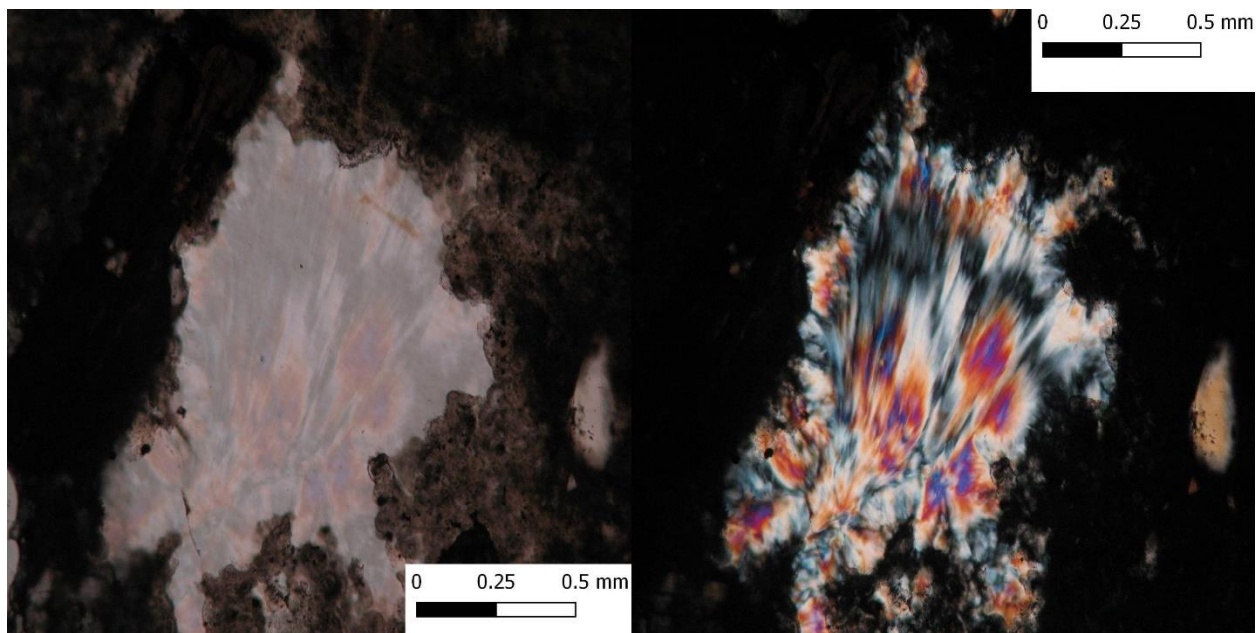
Σχήμα 11. Παρατηρούνται πλαγιόκλαστα που ξεχωρίζουν από την χαρακτηριστική τους πολυδυμία. Αξιοπεριέργα είναι τα χαμηλά πορτοκαλί χρώματα πόλωσης του μεγάλου πλαγιοκλάστου. Αυτά μπορεί να οφείλονται σε μεγάλες ποσότητες Ca που μπορεί να περιέχονται στον κρύσταλλο. Η γενικότερη μάζα αποτελείται από μερικώς εξαλλοιωμένη ύαλο και οξείδια.



Σχήμα 12. Μεγάλος ιδιόμορφος κρύσταλλος αλκαλιούχου αστρίου (Σανίδινο) με χαρακτηριστική πολυδυμία Carlsbad. Υπάρχει αλλοίωση του κρυστάλλου στο κέντρο προς ζεόλιθους, αργιλικά ορυκτά και σερικήτη.



Σχήμα 13. Κρύσταλλοι ζεολίθων. Χαρακτηρίζονται από τη λεπιδοειδής ανάπτυξη των κρυστάλλων, τα χαμηλά χρώματα πόλωσης, το χαμηλό ανάγλυφο και ως προϊόντα εξαλλοίωσης εμφανίζονται καθαροί. Η γενικότερη μάζα αποτελείται από ηφαιστειακό γυαλί, ενώ στα περιθώρια της μάζας των κρυστάλλων παρατηρείται εκτενής εξαλλοίωση της υάλου σε αργιλικά ορυκτά (πιθανώς σμεκτίτη).



Σχήμα 14. Χαρακτηριστική εικόνα ζεολίθων. Η γενικότερη μάζα είναι λίγο εξαλλοιωμένη σε αργιλικά ορυκτά και παρατηρούνται οξείδια του σιδήρου ως εμποτισμοί. Αξιοσημείωτο είναι το σχήμα των κρυστάλλων, το οποίο φαίνεται να είναι ακτινοειδές.

Σύμφωνα με τον Tsirambides et al. (1989) τα ολιγοκαινικά ηφαιστειοκλαστικά πετρώματα των Μεταξάδων εξαλλοιώθηκαν σε συνθήκες θαλάσσιου περιβάλλοντος. Ο κλινοπτινόλιθος βρίσκεται σε αφθονία σε κλάσματα μεγέθους 2 – 0.2 μm, ενώ δεν παρατηρείται κρυστάλλωση ευλανδίτη. Τα πετρώματα συνδέθηκαν με την όξινη ηφαιστειότητα Ηωκαίνου – Ολιγοκαίνου. Με άλλες μεθόδους ανάλυσης τα ορυκτά που εντοπίστηκαν είναι: χαλαζίας, καλιούχος άστριος, πλαγιόκλαστα, μοσχοβίτης, κλινοπτινόλιθος, χριστοβαλίτης, ιλλίτης, σμεκτίτης, αδιαφανή ορυκτά και ανθρακικές ενώσεις (Tsirambides et al. 1989, Tzamos et al. 2011, Τζάμος κ.ά. 2012).

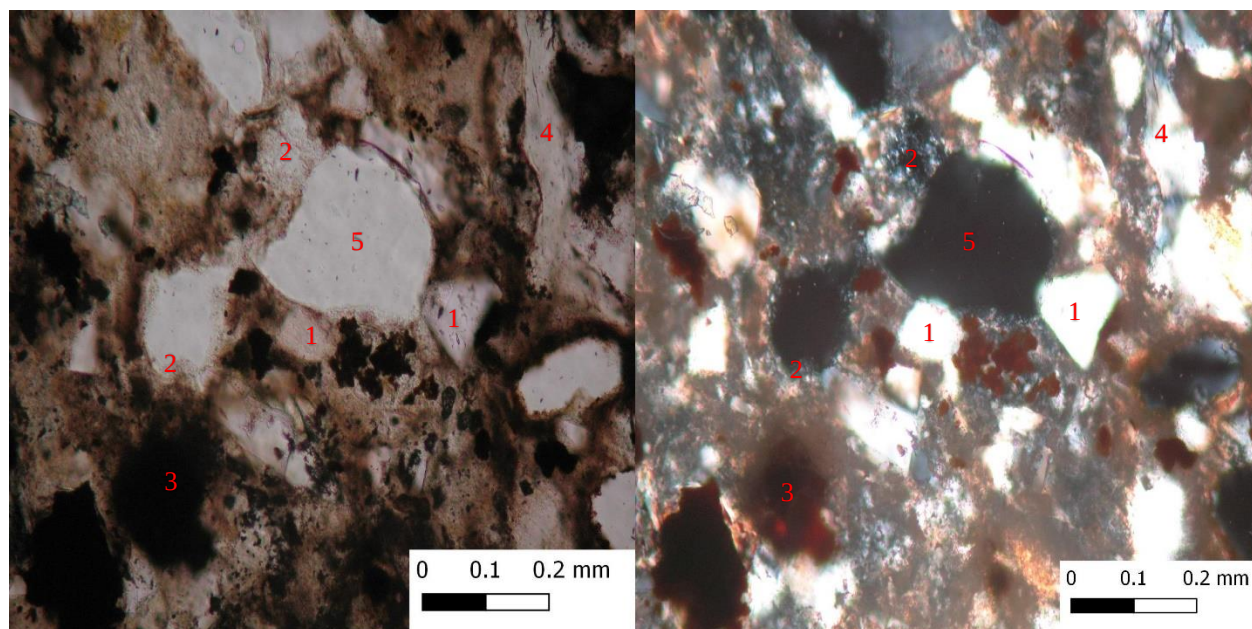
Αργότερα, εντοπίστηκε η παρουσία ευλανδίτη και μορντενίτη στα ζεολιθοφόρα πετρώματα των Μεταξάδων (Tsolis – Katagas and Katagas 1990). Παρόλα αυτά, σε μεταγενέστερες δημοσιεύσεις (Tsirambides et al. 1993), δεν επιβεβαιώθηκε η παρουσία του ευλανδίτη και του μορντενίτη στα πετρώματα αυτά. Παράλληλα, έχουν διατυπωθεί διαφορετικές απόψεις για το περιβάλλον ιζηματογένεσης των πετρωμάτων αυτών. Η επικρατέστερη φαίνεται να είναι η ιζηματογένεση κάτω από θαλάσσιο περιβάλλον και η εξαλλοίωση των πετρωμάτων να συνέβη με την κατείσδυση και υπόγεια ροή νερού με χημισμό χαμηλής αλμυρότητας σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες (Tsirambides et al. 1993). Φαίνεται πως απουσιάζει η δράση ενός υδροθερμικού ρευστού. Το σίγουρο είναι πως η σειρά των σχηματισμών των Μεταξάδων είναι εξαιρετικά ανομοιογενής (Koutles et al. 1995).

Στην παρούσα εργασία το δείγμα που μελετάται προέρχεται από το Παλιούρι των Μεταξάδων.

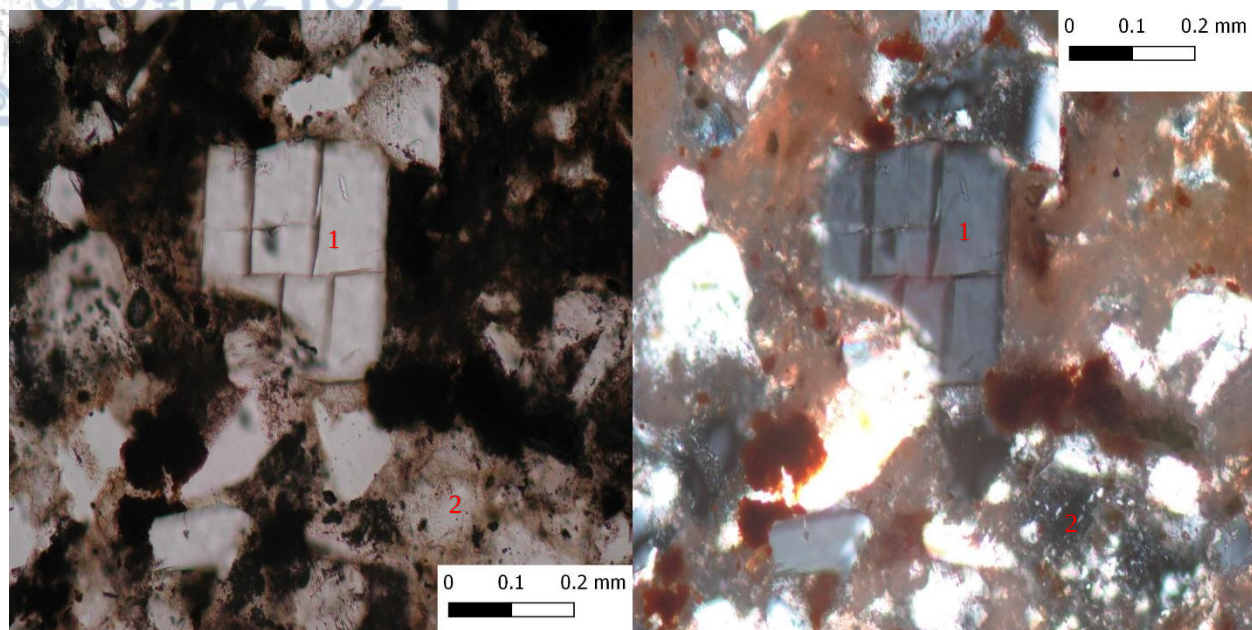
Πίνακας 2 Ιστολογικά και ορυκτολογικά χαρακτηριστικά του δείγματος PL1.

Προέλευση και κωδικός δείγματος	Παλιούρι - Μεταξάδες - PL1
Μέσος όρος μεγέθους κόκκων	0.2mm
Μέγιστο μέγεθος κόκκων	0.6mm
Βαθμός ταξινόμησης	Μέτρια
Βαθμός στρογγυλότητας	Ύπογωνιώδης
Σύσταση	
Κόκκοι (%) του συνολικού πετρώματος	60%
Υλικό πλήρωσης (%) του συνολικού πετρώματος	40%

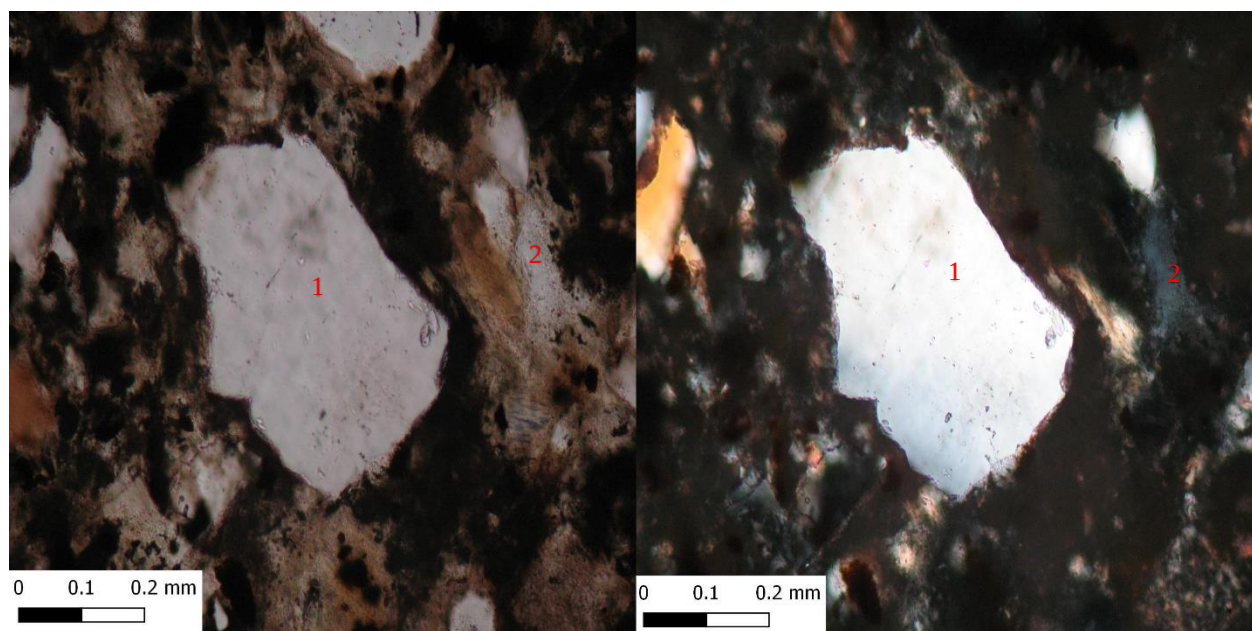
Ορυκτά (%) του πετρώματος	Χαλαζίας (20%), Κ-άστριοι (19%), Πλαγιόκλαστα (1%), Θραύσματα (5%), Ζεόλιθοι (10%), Αδιαφανή ορυκτά
Στάδιο ιστολογικής ωριμότητας	Υπόωριμο
Στάδιο ορυκτολογικής ωριμότητας	Υπόωριμο
Ονομασία Πετρώματος	
Κατά Williams et al (1954)	Αρκοζικός Βάκης
Κατά Pettijohn (1957)	Αστριούχος Γραουβάκης
Κατά Folk et al (1970)	Αστριοαρενίτης



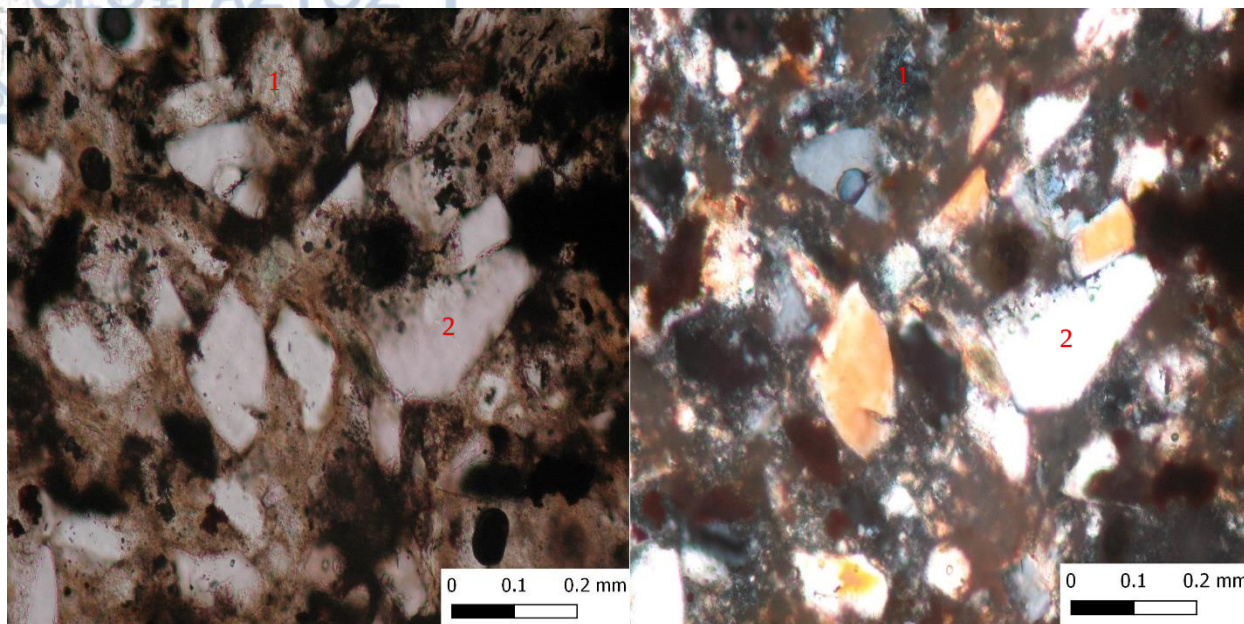
Σχήμα 15. Παρατηρούνται διάφοροι κρύσταλλοι χαλαζία (1), ζεολίθων (2), αδιαφανών ορυκτών (3) και ένας κρύσταλλος μοσχοβίτη (4). Η γενικότερη μάζα είναι πολύ εξαλλοιωμένη και αποτελείται από ζεολίθους, αργιλικά ορυκτά και οξείδια. Το μέγεθος των κόκκων γενικά είναι πολύ μικρό. Τα ισότροπα υλικά που εμφανίζονται μαύρα με πολωτή και αναλυτή είναι θραύσματα υάλου (5).



Σχήμα 16. Θραύσματα K-αστρίων (1). Φαίνεται πως ο κρύσταλλος αυτός έχει δεχθεί πίεση (λογικά προς μία κατεύθυνση) και ως αποτέλεσμα φέρει διακλάσεις. Υπάρχουν σημεία εκτενώς εξαλλοιωμένα προς ζεόλιθους (2), ενώ η γενικότερη μάζα αποτελείται από οξειδία και πολύ εξαλλοιωμένη ύαλο κυρίως σε αργιλικά ορυκτά.



Σχήμα 17. Χαλαζίας (1), ζεόλιθοι (2). Η εξαλλοίωση είναι εκτενής. Η γενικότερη μάζα αποτελείται από οξειδία, αργιλικά ορυκτά και ζεολίθους.



Σχήμα 18. Ζεόλιθοι (1). Ο κρύσταλλος 2 μπορεί να είναι άστριος, όπου η μάζα του είναι καολινιωμένη και τα περιθώριά του ζεολιθοποιημένα. **Καολινίωση είναι η αλλοίωση των αστρίων σε καολινίτη, δίνοντας μία θολή εικόνα στην μάζα του κρυστάλλου.** Η γενικότερη μάζα είναι πολύ εξαλλοιωμένη και αποτελείται από οξείδια, αργιλικά ορυκτά και ζεολίθους.

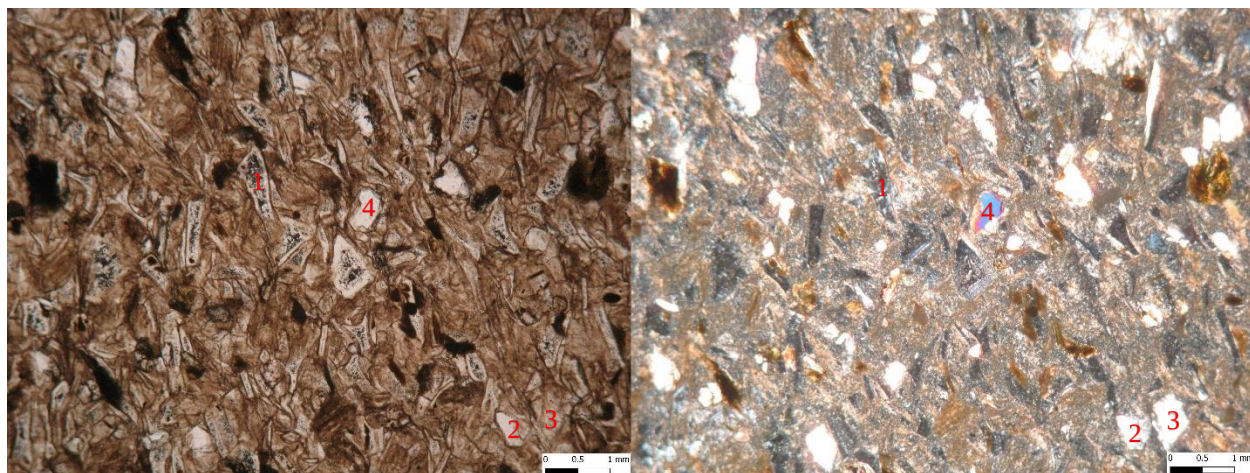
3.3 Πεντάλοφος (KYT1)

Τα ηφαιστειοκλαστικά πετρώματα του Πενταλόφου συνδέθηκαν επίσης με τον άνω Ηωκαίνου – κάτω Ολιγοκαίνου, όξινο – ενδιάμεσο, ασβεσταλκαλικό μαγματισμό της μάζας της Ροδόπης (Kassoli – Fournaraki et al. 2000). Σύμφωνα με τους Perraki and Orfanoudaki (2004) τα πετρώματα αυτά έχουν μεγάλες ποσότητες ζεολίθων (>90%) και αναφέρονται ως ζεολιθικοί τόφοι. Ο ζεόλιθος που αντιπροσωπεύει κυρίως τους ζεολιθικούς αυτούς τόφους είναι «ευλανδίτης τύπου II» (Perraki and Orfanoudaki 2004, Kantiranis et al. 2006). Τα υπόλοιπα ορυκτά που παρατηρήθηκαν είναι άστριοι, μοσχοβίτης, βιοτίτης, χαλαζίας και χριστοβαλίτης. Παρατηρήθηκαν και άλλα ορυκτά όπως επίδοτο, γρανάτες, και πολύ λίγα ίχνη σμεκτίτη (Kassoli – Fournaraki et al. 2000).

Το δείγμα που μελετάται προέρχεται από τις Κύριες Τούμπες κοντά στην περιοχή του Πενταλόφου.

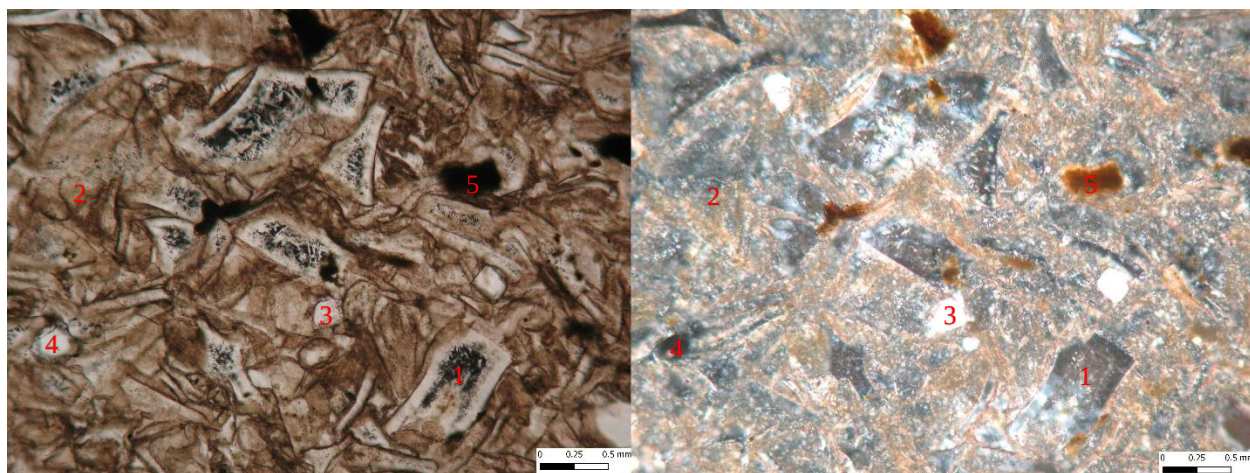
Πίνακας 3 Ιστολογικά και ορυκτολογικά χαρακτηριστικά του δείγματος KYT1.

Προέλευση και κωδικός δείγματος	Κύριες Τούμπες - Πεντάλοφος - KYT1
Μέσος όρος μεγέθους κόκκων	0.25mm
Μέγιστο μέγεθος κόκκων	0.9mm
Βαθμός ταξινόμησης	Μέτριος
Βαθμός στρογγυλότητας	Γωνιώδης
Σύσταση	
Κόκκοι (%) του συνολικού πετρώματος	75%
Υλικό πλήρωσης (%) του συνολικού πετρώματος	25%
Ορυκτά (%) του πετρώματος	Χαλαζίας (9%), Κ-άστριοι (5%), Πλαγιόκλαστα (5%), Θραύσματα (1%), Ζεόλιθοι (53%) , Μοσχοβίτης (1%), Βιοτίτης (1%), Αδιαφανή ορυκτά
Στάδιο ιστολογικής ωριμότητας	Υποώριμο
Στάδιο ορυκτολογικής ωριμότητας	Ανώριμο
Ονομασία Πετρώματος	
Κατά Williams et al (1954)	Αρκοζικός Βάκης
Κατά Pettijohn (1957)	Αστριούχος Γραουβάκης
Κατά Folk et al (1970)	Αστριοαρενίτης

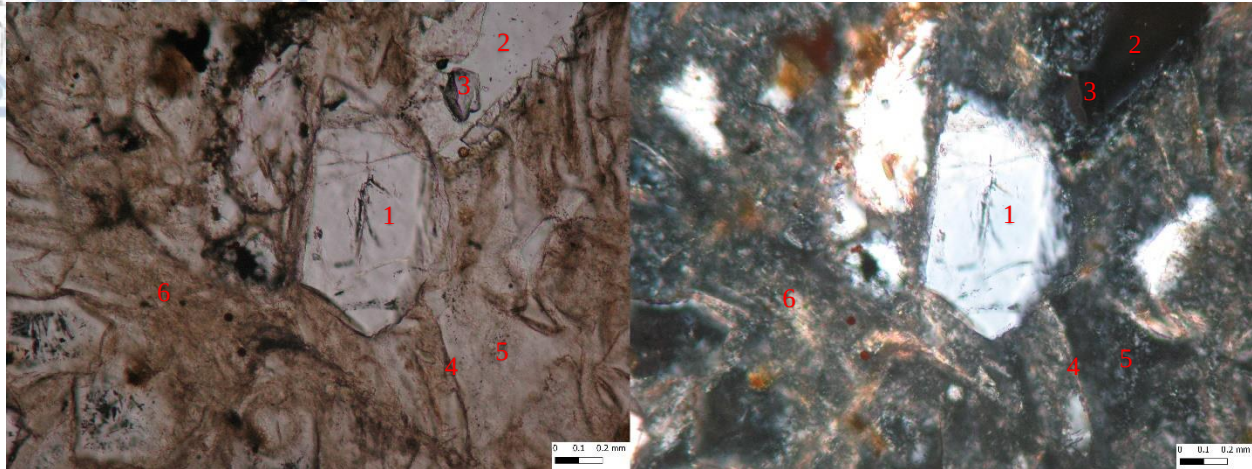


Σχήμα 19. Η εικόνα του δείγματος με μικρή μεγέθυνση, με σκοπό να φανούν τα ιστολογικά χαρακτηριστικά του πετρώματος. Το δείγμα φαίνεται να έχει συνολικά πολλούς κόκκους ορυκτών (~75%) και λιγότερο υλικό πλήρωσης (~25%). Η ταξινόμηση των κόκκων είναι γενικά καλή στην συγκεκριμένη μικροφωτογραφία. Τα ορυκτά εμφανίζονται γωνιώδη. Η γενικότερη μάζα μπορεί είναι αργιλικής – ζεολιθικής σύστασης. Χαρακτηριστική είναι η εικόνα των ζεολίθων (1), καθώς εμφανίζονται με ένα πινακοειδές,

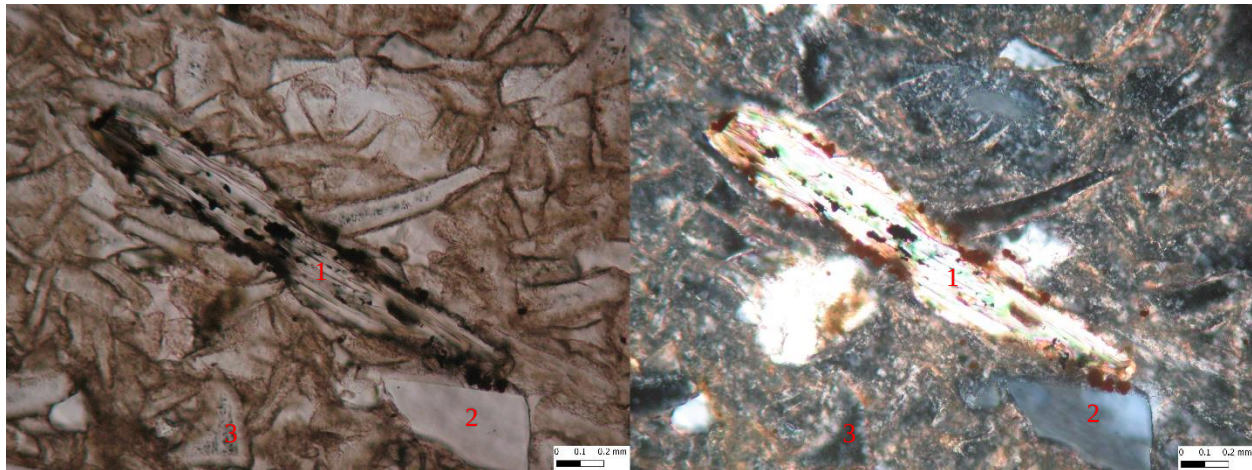
λεπιδοειδές σχήμα. Στο εσωτερικό τους φαίνονται κάποια μαύρα ακανόνιστα χρώματα που πιθανόν είναι κενά. Τα λευκά καθαρά ορυκτά με ευδιάκριτο ανάγλυφο είναι χαλαζίας (2). Τα λευκά ορυκτά που εμφανίζονται αλλοιωμένα και θολά στην μάζα τους (καολινίωση) με λιγότερο ευδιάκριτο ανάγλυφο είναι πιθανώς άστριοι (3). Υπάρχει ένα ορυκτό που ξεχωρίζει λόγω των έντονων χρωμάτων πόλωσης, ο μοςχοβίτης (4). Υπάρχουν διάφορα οξείδια και αδιαφανή ορυκτά σε μικρές ποσότητες στο δείγμα. Σε γενικές γραμμές, ενώ μπορούν να βρεθούν πληθώρα ορυκτών στο δείγμα, τα ορυκτά του πετρώματος που το καθορίζουν είναι οι ζεόλιθοι, ο χαλαζίας και οι άστριοι.



Σχήμα 20. Παραπάνω φαίνεται το δείγμα σε μεγαλύτερη μεγέθυνση. Η ταξινόμηση των κόκκων καθορίζεται πλέον ως μέτρια. Φαίνονται καλύτερα οι πλακώδεις, ισόμετροι, πεπλατυσμένοι ζεόλιθοι (1) που έχουν σχηματιστεί από την ενυδάτωση και εξαλλοίωση θραυσμάτων νάλου. Σε άλλα σημεία υπάρχουν πρώιμα ορυκτά που εξαλλοιώθηκαν πλήρως σε ζεολίθους ή και άλλα ορυκτά (2), ενώ έχουν κρατήσει μόνο το ίχνος του αναγλύφου τους, που είχαν πριν εξαλλοιωθούν. Η καολινίωση (η εμφάνιση που μοιάζει με «σκόνη» στις επιφάνειες των ορυκτών) είναι προχωρημένη σε μεγάλο βαθμό. Φαίνονται καλύτερα οι μικροί κρύσταλλοι χαλαζία (3) με το ευδιάκριτο ανάγλυφο τους. Παρατηρούνται και στρογγυλεμένα ορυκτά που φαίνονται λευκά χωρίς πολωτή, ενώ γίνονται μαύρα με πολωτή και αναλυτή, σαν να είναι ισότροπα (4). Μπορεί να είναι επίσης ζεόλιθοι. Παρατηρούνται τα οξείδια σε ορισμένα σημεία (5). Η γενικότερη μάζα αποτελείται από κρυστάλλους ζεολίθου και αργιλικών ορυκτών.



Σχήμα 21. Η εικόνα του δείγματος με μεγαλύτερη μεγέθυνση. Ο μεγάλος καθαρός κρύσταλλος με σπασίματα και γκρί χρώματα πόλωσης είναι χαλαζία (1). Παρατηρείται ένα θραύσμα γυαλιού (2), που έχει παραμείνει στο δείγμα, με διαβρωσιγενή κενά στην επιφάνεια του (3), λόγω ενυδάτωσης, που αποτελεί τυπικά το πρώτο στάδιο εξαλλοίωσης. Για τον ίδιο λόγο παρατηρούνται και περλιτικές ρωγμές (4), που πληρώθηκαν με κόκκους ορυκτών αργιλικής σύστασης. Οι ζεόλιθοι γεμίζουν την μάζα του δείγματος (5). Φαίνεται καλύτερα η εκτενής επίδραση της καολινίωσης στο δείγμα (6).



Σχήμα 22. Εδώ παρατηρείται ένας κρύσταλλος μοσχοβίτη (1) που φέρει το δείγμα. Ως φυλλοπυριτικό ορυκτό, διακρίνεται το φυλλόμορφο σχήμα που έχει, και χαρακτηρίζεται από τα υψηλά χρώματα πόλωσης που έχει. Με την περιστροφή της τράπεζας, μεταβάλλεται το ανάγλυφο του κρυστάλλου. Παρατηρούνται επίσης και ορυκτά χαλαζία (2) και ζεολίθων (3). Η γενικότερη μάζα φαίνεται πλέον ότι αποτελείται κυρίως από μικροκρυσταλλικούς ζεολίθους και λιγότερο από αργιλικά ορυκτά.

3.4 Φέρρες (FER2)

Τα ηφαιστειοκλαστικά πετρώματα και οι ρυόλιθοι των Φερρών έχουν επίσης εξαλλοιωθεί προς ζεολίθους και αργιλικά ορυκτά. Τα πετρώματα αυτά φαίνεται ότι έχουν υποστεί υδροθερμική

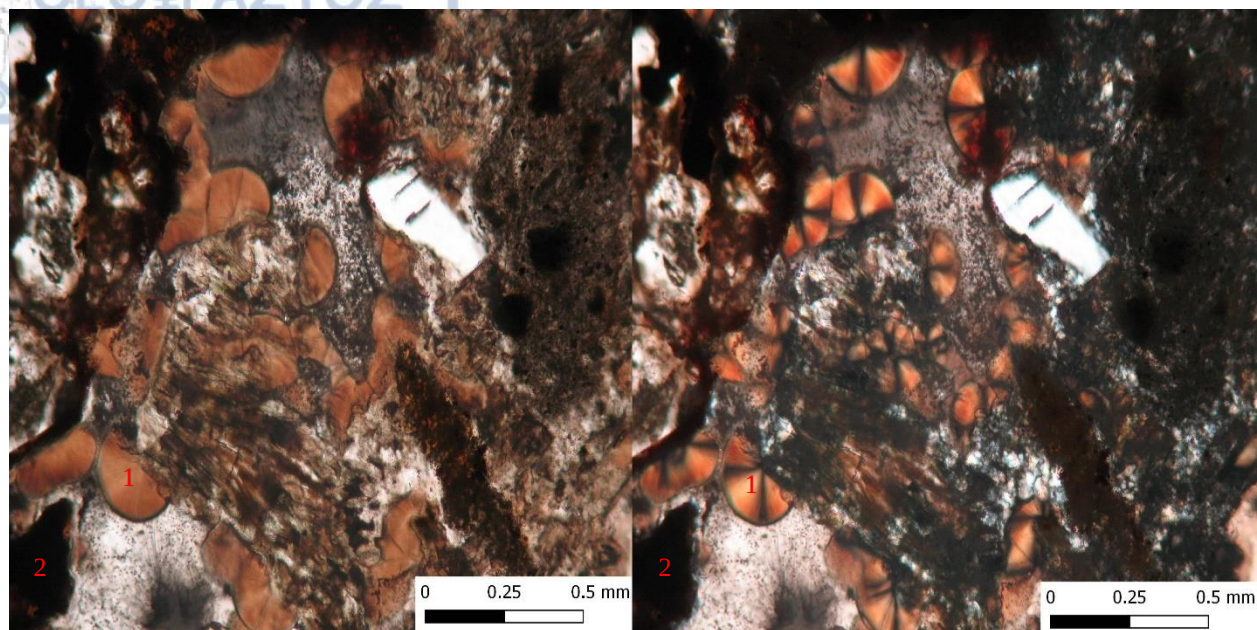
εξαλλοίωση σε ρηχό θαλάσσιο περιβάλλον (Marantos et al. 2008). Το χαρακτηριστικό των πετρωμάτων αυτών είναι πως “ορισμένα θραύσματα γιαλιού έχουν υποστεί αφυάλωση και κρυστάλλωση σε αέρια φάση, το οποίο είναι χαρακτηριστικό φουμαρολικής δραστηριότητας” (Marantos et al. 2008). Με άλλα λόγια, παρατηρείται η κρυστάλλωση θραυσμάτων υάλου σε συγκεκριμένα ορυκτά, γεγονός που δείχνει την επίδραση υδροθερμικής εξαλλοίωσης χαμηλής θερμοκρασίας σε ρηχό θαλάσσιο περιβάλλον.

Τα ορυκτά που συναντώνται στα πετρώματα αυτά είναι ζεόλιθοι (κλινοπτινόλιθος και μορντενίτης), αργιλικά ορυκτά (κυρίως σμεκτίτης), αλκαλιούχοι άστριοι, πλαγιόκλαστα, χαλαζίας, χριστοβαλίτης, βιοτίτης και σκαπόλιθος.

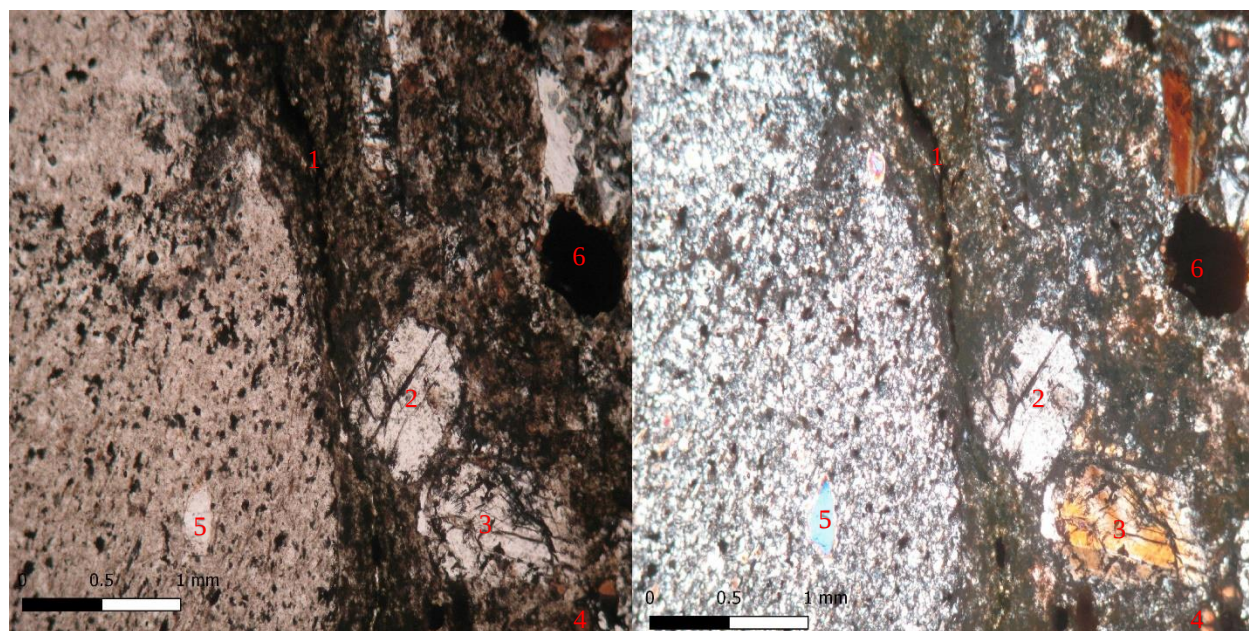
Από την γενικότερη περιοχή μελετώνται δύο δείγματα: ένα από την περιοχή των Φερρών και ένα από την Καβισσό.

Πίνακας 4 Ιστολογικά και ορυκτολογικά χαρακτηριστικά του δείγματος FER2.

Προέλευση και κωδικός δείγματος	Φέρρες - FER2
Μέσος όρος μεγέθους κόκκων	0.6mm
Μέγιστο μέγεθος κόκκων	1.4mm
Βαθμός ταξινόμησης	Φτωχός
Βαθμός στρογγυλότητας	Υπογωνιώδης
Σύσταση	
Κόκκοι (%) του συνολικού πετρώματος	70%
Υλικό πλήρωσης (%) του συνολικού πετρώματος	30%
Ορυκτά (%) του πετρώματος	Χαλαζίας (10%), Κ-άστριοι (20%), Θραύσματα (15%), Πλαγιόκλαστα (15%), Ζεόλιθοι (10%)
Στάδιο ιστολογικής ωριμότητας	Ανώριμο
Στάδιο ορυκτολογικής ωριμότητας	Υπόωριμο
Ονομασία Πετρώματος	
Κατά Williams et al (1954)	Ηφαιστειακός Βάκης
Κατά Pettijohn (1957)	Αστριούχος Γραουβάκης
Κατά Folk et al (1970)	Λιθικός Αστριοαρενίτης

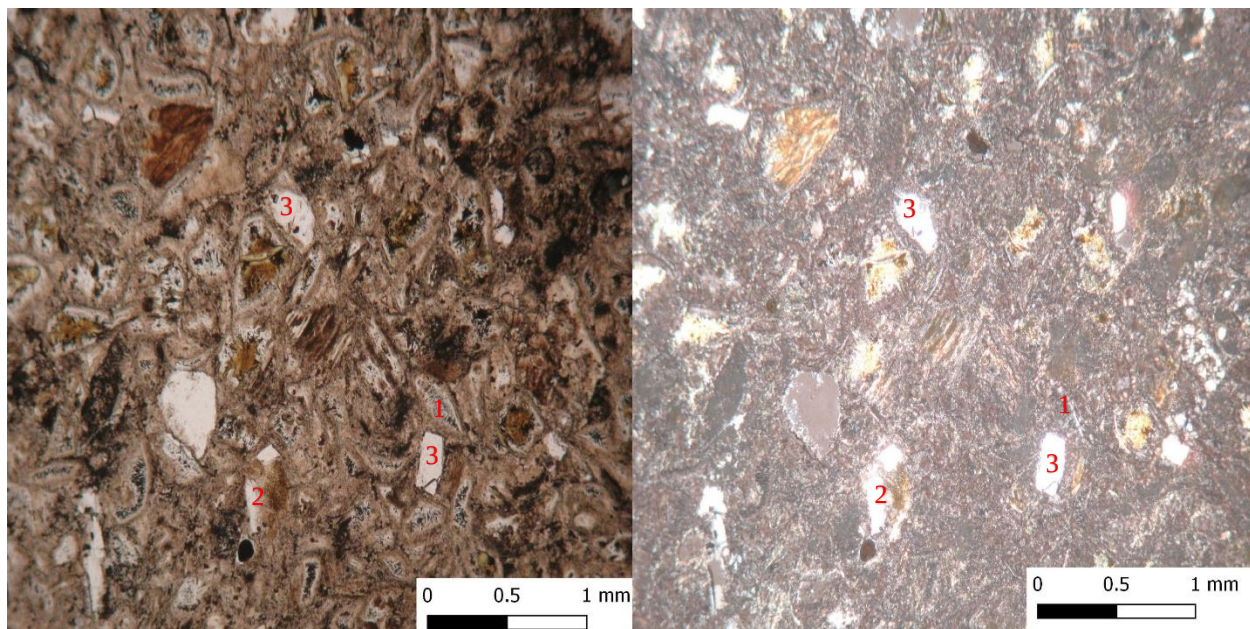


Σχήμα 23. Περλιτική υφή (1). Η περλιτική υφή στα ηφαιστειακά πετρώματα είναι ύαλος που έχει ψυχθεί γρήγορα. Η γενικότερη μάζα αποτελείται από εξαλλοιωμένη ύαλο σε αργιλικά πετρώματα, λιγότερο ζεολίθους και παρατηρούνται πολλά οξείδια με κοκκινωπό χρώμα διάσπαρτα στο δείγμα (2).



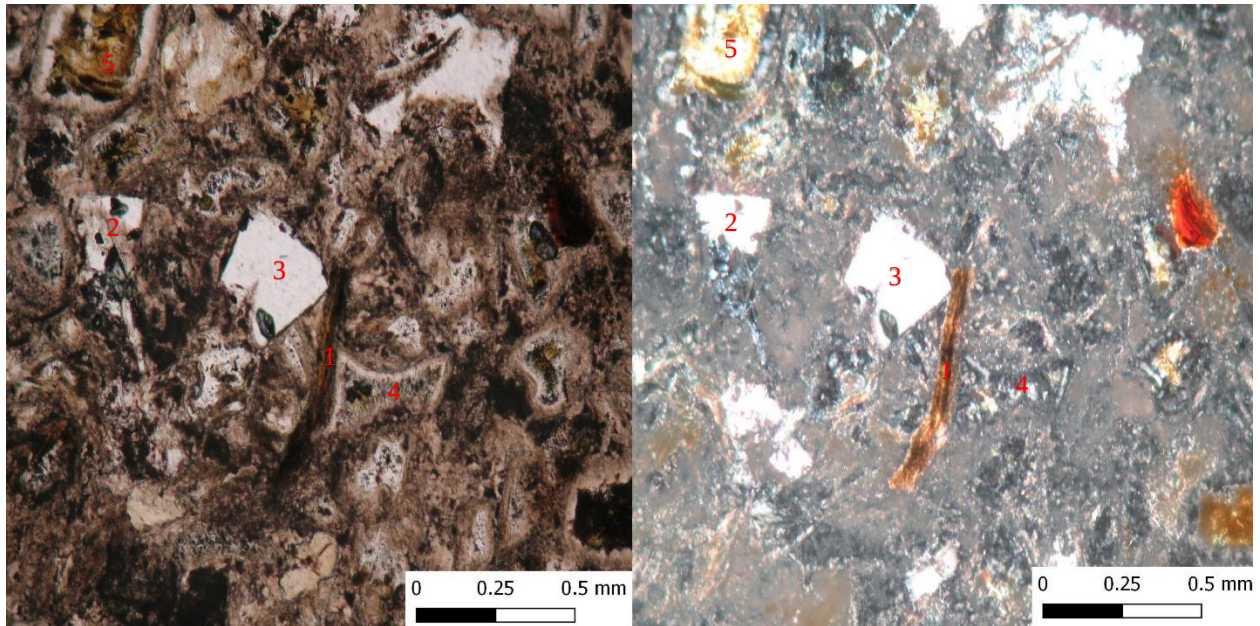
Σχήμα 24. Μικροφωτογραφία με μικρή μεγέθυνση για να φανούν τα ιστολογικά χαρακτηριστικά του πετρώματος. Φαίνεται πως η ταξινόμηση των κόκκων είναι φτωχή, καθώς έχουμε λεπτόκοκκα υλικά αριστερά και μεγάλους κόκκους δεξιά της εικόνας. Παρατηρούνται ορυκτά υπογωνιώδη και άλλα υποστρογγυλεμένα. Στην μέση διακρίνεται μία περλιτική ρωγμή (1) που οφείλεται στην διάβρωση της υάλου. Παρατηρούνται πολλά ορυκτά εκ των οποίων αλκαλιούχοι άστριοι με καολινίωση (2), αμφίβολος (3), ύαλος με περλιτική υφή (4) και χαλαζίας (5), . Η γενικότερη μάζα είναι εξαλλοιωμένη σε αργιλικά ορυκτά και ζεολίθους. Τέλος παρατηρείται πληθώρα αδιαφανών ορυκτών (6) και οξειδίων.

Προέλευση και κωδικός δείγματος	Καβισσός (Φέρρες) - KAV2
Μέσος όρος μεγέθους κόκκων	0.25mm
Μέγιστο μέγεθος κόκκων	0.5mm
Βαθμός ταξινόμησης	Καλός
Βαθμός στρογγυλότητας	Υπογωνιώδης
Σύσταση	
Κόκκοι (%) του συνολικού πετρώματος	45%
Υλικό πλήρωσης (%) του συνολικού πετρώματος	55%
Ορυκτά (%) του πετρώματος	Χαλαζίας (10%), Κ-άστριοι (5%), Πλαγιόκλαστα (5%), Θραύσματα (5%), Ζεόλιθοι (20%)
Στάδιο ιστολογικής ωριμότητας	Ανώριμο - Υπόωριμο
Στάδιο ορυκτολογικής ωριμότητας	Υπόωριμο
Ονομασία Πετρώματος	
Κατά Williams et al (1954)	Αρκοζικός Βάκης
Κατά Pettijohn (1957)	Αστριούχος Γραουβάκης
Κατά Folk et al (1970)	Λιθικός Αστριοαρενίτης

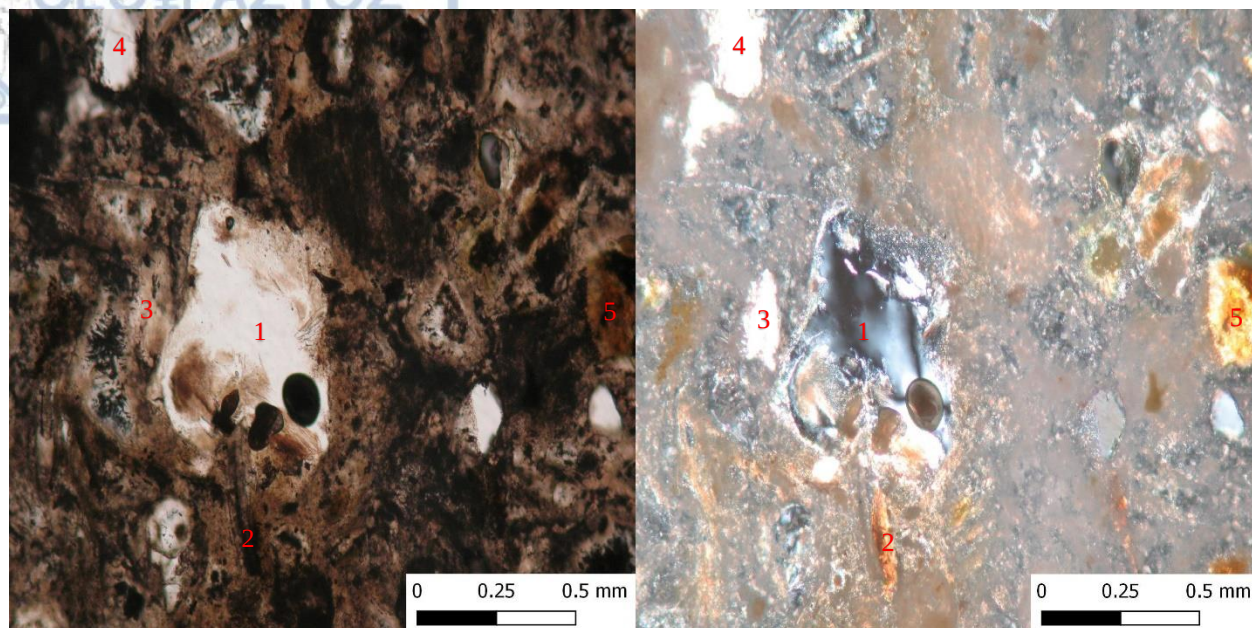


Σχήμα 25. Μικροφωτογραφία με μικρή μεγέθυνση για να φανούν τα ιστολογικά χαρακτηριστικά του πετρώματος. Ο βαθμός ταξινόμησης φαίνεται γενικά καλός, καθώς οι μεγαλύτεροι κόκκοι δεν ξεπερνούν τα 0.5mm. Οι περισσότεροι κόκκοι ορυκτών εμφανίζονται υπογωνιώδεις. Η γενικότερη μάζα είναι πολύ εξαλλοιωμένη και αποτελείται κυρίως από αργιλικά ορυκτά και λιγότερο ζεολίθους. Δεν παρατηρείται ο ίδιος

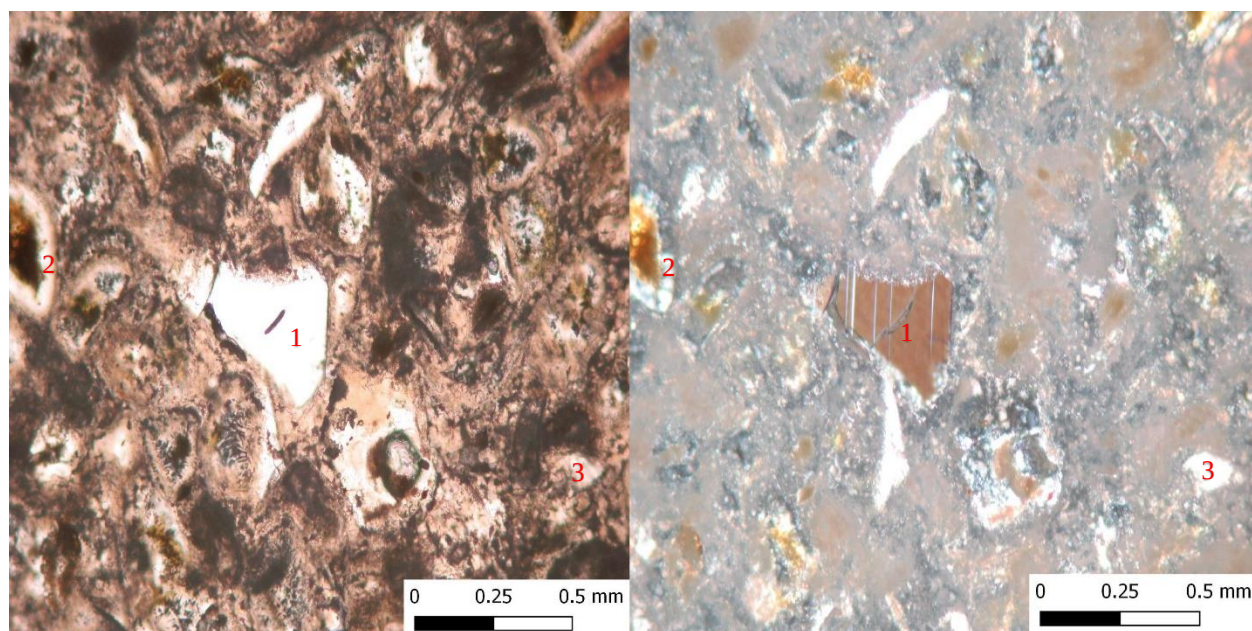
βαθμός εμφάνισης οξειδίων που υπήρχε στο δείγμα των Φερρών (FER2). Τα ορυκτά συστατικά δεν φαίνονται σε αυτήν την μεγέθυνση, αλλά παρατηρούνται ζεόλιθοι (1), αλκαλιούχοι άστριοι (2) και χαλαζίες (3).



Σχήμα 26. Μικροφωτογραφία του δείγματος με μεγαλύτερη μεγέθυνση. Παρατηρείται ένας εξαλλοιωμένος βιοτίτης (1), διάφοροι κρύσταλλοι ζεολίθων (4), αλκαλιούχοι καολινιωμένοι άστριοι (2), χαλαζίες (3) και πολλά αργιλικά ορυκτά. Η γενικότερη μάζα είναι πολύ εξαλλοιωμένη ύαλος που πλέον δεν φαίνεται ελάχιστα και αποτελείται από πολλά αργιλικά ορυκτά και λιγότερο ζεολίθους.



Σχήμα 27. Παρατηρούνται θραύσματα νάλου (1) πολύ εξαλλοιωμένα με διαβρωσιγενή κενά στην επιφάνειά τους, λόγω ενυδάτωσης. Μάλιστα υπάρχει περίπτωση μερικά διαβρωσιγενή κενά να πληρώνονται με άλλα ορυκτά. Παρατηρούνται επίσης πολύ εξαλλοιωμένοι κρύσταλλοι βιοτίτη (2) (οπακίτιωση), καολινιωμένοι αλκαλιούχοι άστριοι (3), χαλαζίες (4) και αργιλικά ορυκτά (5).



Σχήμα 28. Παρατηρείται ένα αλλοιωμένο ορυκτό πλαγιόκλαστου (1) με εμφάνιση πολυδυμίας. Στην συγκεκριμένη φωτογραφία φαίνονται πολλά ορυκτά ζεολίθου. Αξιοθαύμαστο είναι το σημείο (2), όπου υπάρχουν πολλά μικρά ζεολιθικά ορυκτά που διατάσσονται γύρω από αργιλικά ορυκτά, σχηματίζοντας το συγκεκριμένο αμυγδαλωτό σχήμα. Αυτή η μορφή παρατηρείται πολύ συχνά στο συγκεκριμένο πέτρωμα. Γενικά η μάζα είναι πολύ εξαλλοιωμένη και δύσκολα αναγνωρίζονται τα πρωτολιθικά ορυκτά συστατικά,

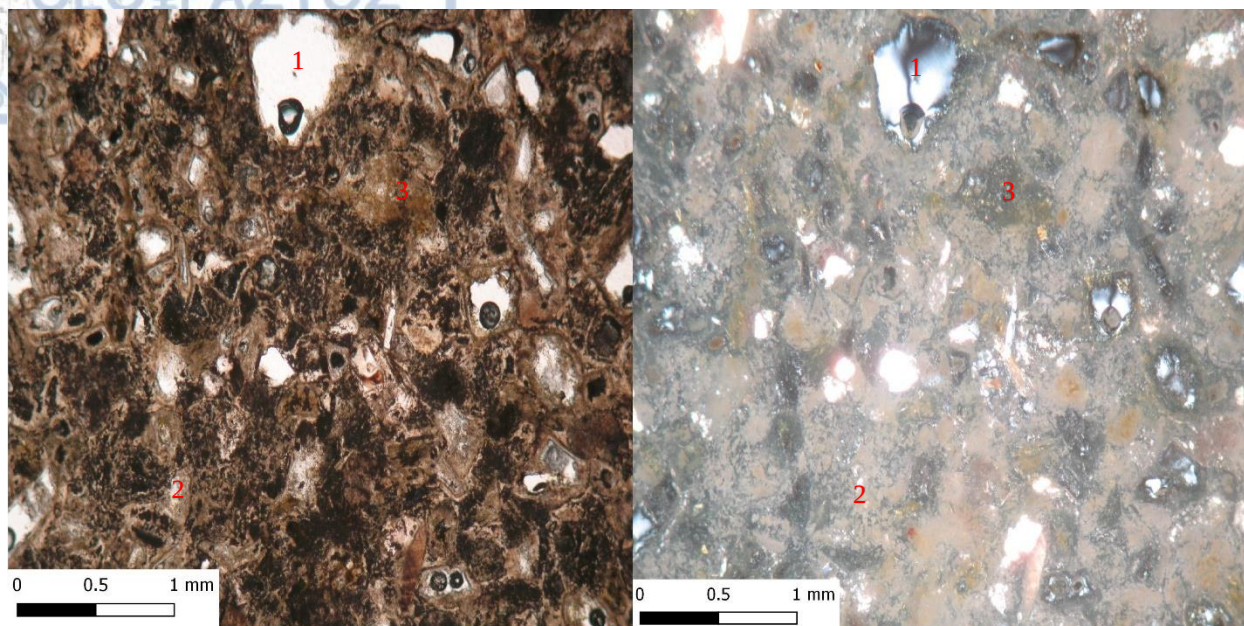
καθώς πλέον αποτελείται κυρίως από αργιλικά ορυκτά και ζεολίθους. Τέλος παρατηρούνται αλκαλιούχοι άστριοι, οι οποίοι είναι σε μεγάλο βαθμό καολινιωμένοι (3).

3.6 Σκάλωμα (SKA2)

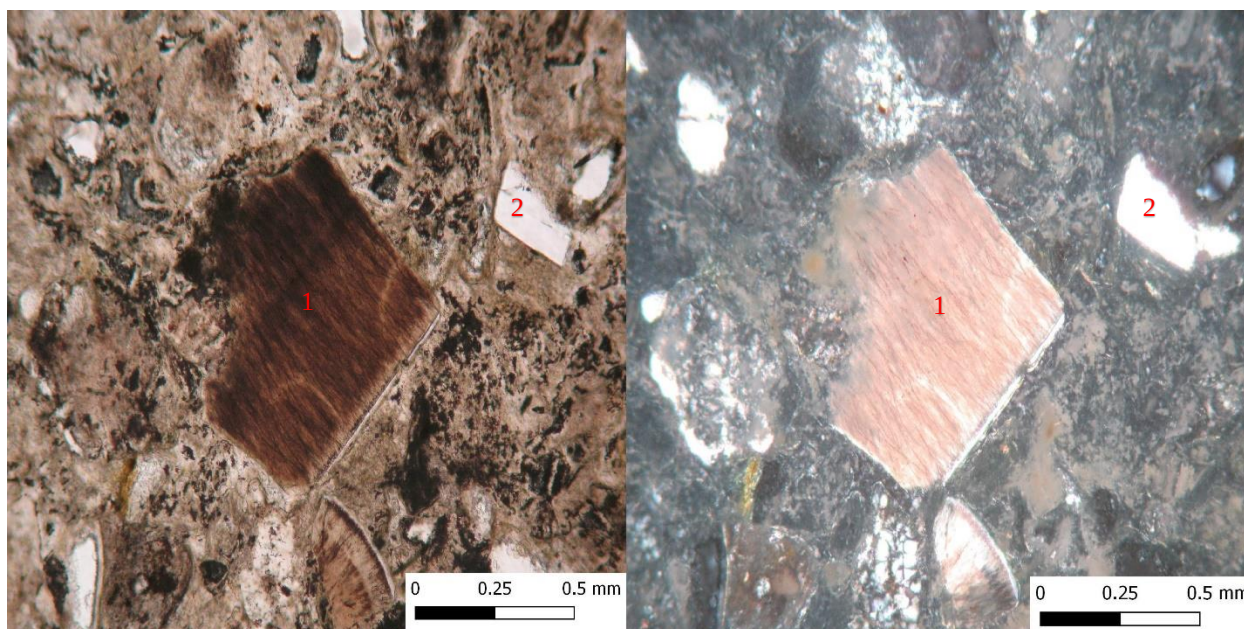
Το Σκάλωμα και η Δαρμένη παρουσιάζουν γενικά παρόμοιες εικόνες κάτω από το πολωτικό μικροσκόπιο, πράγμα λογικό γιατί βρίσκονται κοντά. Στις περιοχές αυτές παρατηρείτε μετρίως προχωρημένη εξαλλοίωση με πληθώρα διαβρωτικών κενών σε όλη τους την μάζα. Γενικά δεν υπάρχει μεγάλη ποσότητα ζεολίθων, όσο στα προηγούμενα δείγματα και οι ζεόλιθοι βρίσκονται διασκορπισμένοι στην μάζα των δειγμάτων.

Πίνακας 6 Ιστολογικά και ορυκτολογικά χαρακτηριστικά του δείγματος SKA2.

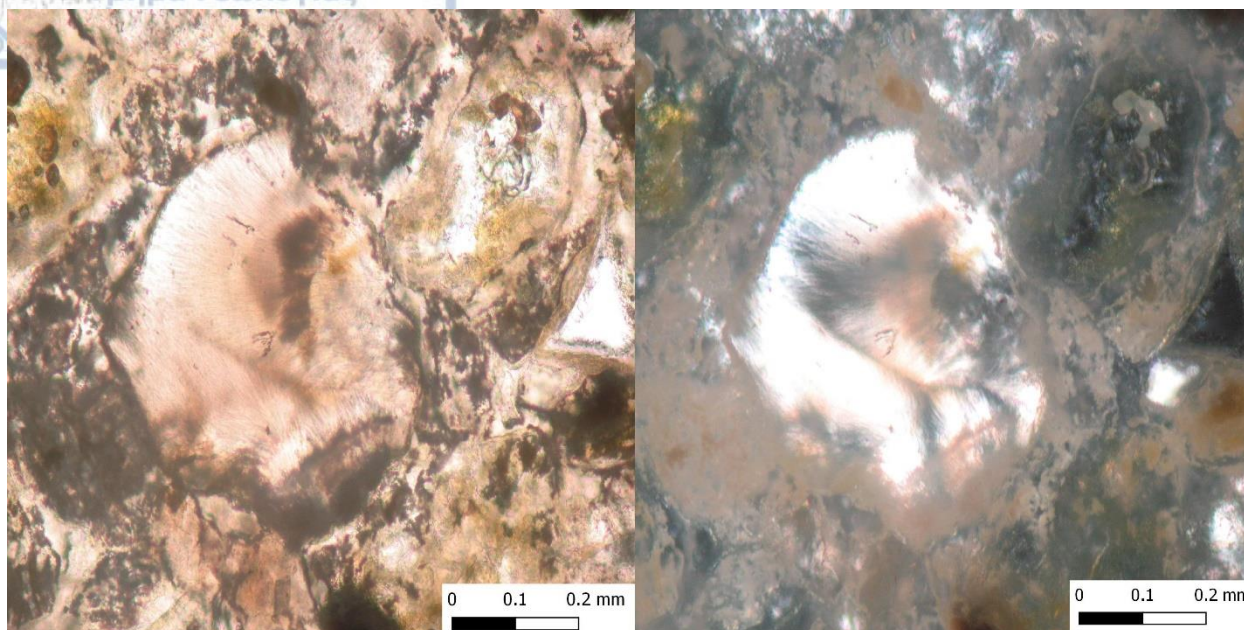
Προέλευση και κωδικός δείγματος	Σκάλωμα - SKA2
Μέσος όρος μεγέθους κόκκων	0.2mm
Μέγιστο μέγεθος κόκκων	0.4mm
Βαθμός ταξινόμησης	Μέτριος
Βαθμός στρογγυλότητας	Υπογωνιώδης
Σύσταση	
Κόκκοι (%) του συνολικού πετρώματος	60%
Υλικό πλήρωσης (%) του συνολικού πετρώματος	40%
Ορυκτά (%) του πετρώματος	Χαλαζίας (5%), Κ-άστριοι (10%), Θραύσματα (10%), Πλαγιόκλαστο (5%), Ζεόλιθοι (30%), Βιοτίτης
Στάδιο ιστολογικής ωριμότητας	Υπόωριμο
Στάδιο ορυκτολογικής ωριμότητας	Ανώριμο
Ονομασία Πετρώματος	
Κατά Williams et al (1954)	Ηφαιστειακός Βάκης
Κατά Pettijohn (1957)	Λιθικός ή Αστριούχος Γραουβάκης
Κατά Folk et al (1970)	Λιθικός Αστριοαρενίτης



Σχήμα 29. Εικόνα με μικρή μεγέθυνση για να αναδειχθούν τα ιστολογικά χαρακτηριστικά του δείγματος. Παρατηρούνται κρύσταλλοι χαλαζία (1) με τα χαρακτηριστικά διαβρωσιγενή κενά στην μάζα τους. Σε κάποια σημεία η ζεολιθοποίηση έχει προχωρήσει σε μεγάλο βαθμό, αλλά το σχήμα του μητρικού κρυστάλλου διατηρείται. Μάλιστα μπορούμε σε κάποιες περιπτώσεις να δούμε και τον κρύσταλλο (2: Καλιούχος άστριος – καολινιωμένος). Σε άλλα σημεία (3) η ζεολιθοποίηση έχει προχωρήσει τόσο πολύ, που το μόνο που φαίνεται είναι μία μάζα αργιλικών ορυκτών και ζεολίθου. Η γενικότερη μάζα αποτελείται κυρίως από αργιλικά ορυκτά και έπειτα ζεολίθους. Παρατηρούνται επίσης και τα υποστρογγυλεμένα (1) – υπογωνιώδη (2) σχήματα των κρυστάλλων.



Σχήμα 30. Σε μεγέθυνση παρατηρούνται ορυκτά όπως ο βιοτίτης (1). Χαλαζίας (2).



Σχήμα 31. Παρατηρείται το εξής ινώδες ορυκτό ζεολίθου, πιθανόν ο μορντενίτης.

3.7 Δαρμένη (DAR2 / DAR3 / DAR4)

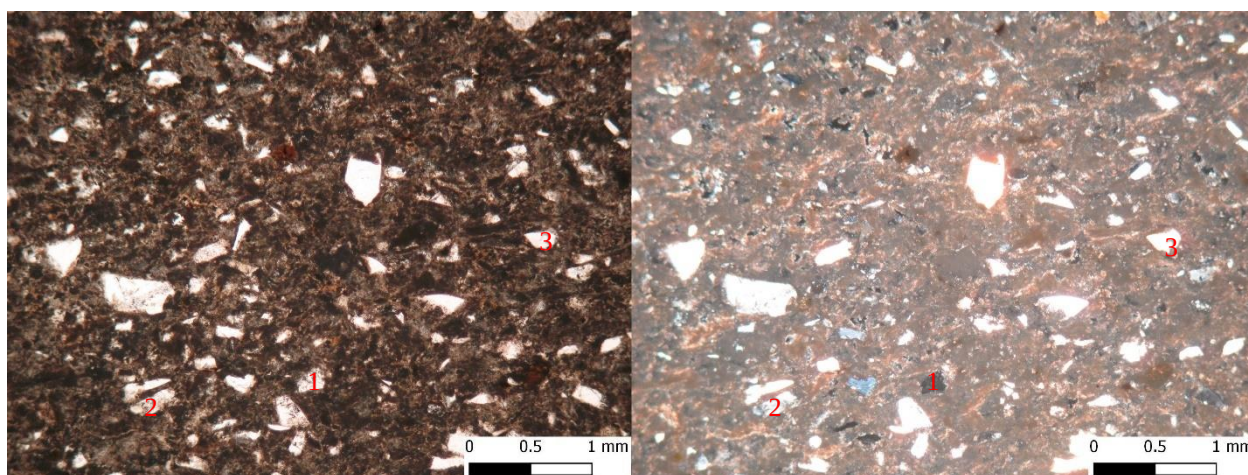
Από την περιοχή της Δαρμένης έχουν μελετηθεί τρία διαφορετικά δείγματα (DAR2 / DAR3 / DAR4).

3.7.1 DAR2

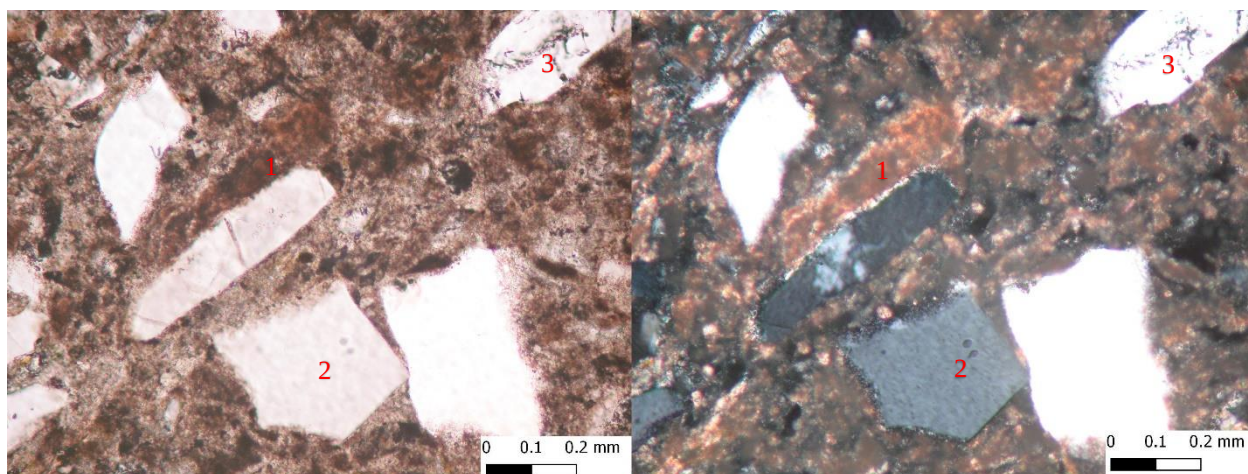
Πίνακας 7 Ιστολογικά και ορυκτολογικά χαρακτηριστικά του δείγματος DAR2.

Προέλευση και κωδικός δείγματος	Δαρμένη - DAR2
Μέσος όρος μεγέθους κόκκων	0.15mm
Μέγιστο μέγεθος κόκκων	0.3mm
Βαθμός ταξινόμησης	Κακός
Βαθμός στρογγυλότητας	Γωνιώδης
Σύσταση	
Κόκκοι (%) του συνολικού πετρώματος	65%
Υλικό πλήρωσης (%) του συνολικού πετρώματος	35%
Ορυκτά (%) του πετρώματος	Χαλαζίας (20%), Κ-άστριοι (20%), Πλαγιόκλαστα (15%), Θραύσματα (5%), Ζεόλιθοι (5%)

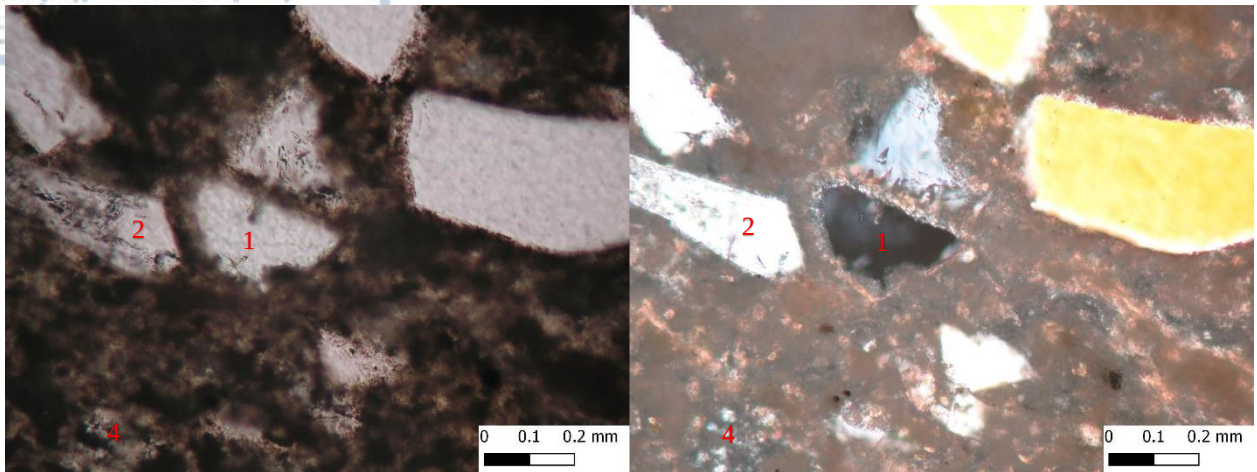
Στάδιο ιστολογικής ωριμότητας	Ανώριμο
Στάδιο ορυκτολογικής ωριμότητας	Υποώριμο
Ονομασία Πετρώματος	
Κατά Williams et al (1954)	Ηφαιστειακός Βάκης
Κατά Pettijohn (1957)	Αστριούχος Γραουβάκης
Κατά Folk et al (1970)	Αστριοαρενίτης



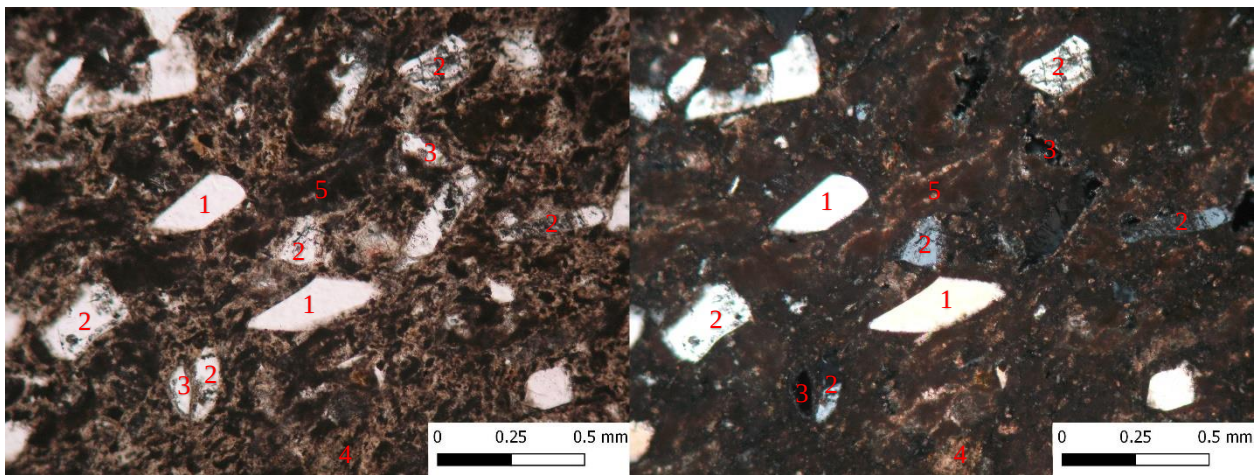
Σχήμα 32. Μικροφωτογραφία με μικρή μεγέθυνση για να φανούν τα ιστολογικά χαρακτηριστικά του πετρώματος. Οι κόκκοι των ορυκτών παρατηρούνται γωνιώδης. Η μάζα του πετρώματος αποτελείται από αργιλικά ορυκτά και λιγότερο ζεολίθους, ενώ ο βαθμός ταξινόμησης είναι κακός, αφού οι κόκκοι των ορυκτών έχουν διαφορές στο μέγεθός τους. (1) εξαλλοιωμένο θραύσμα υάλου προς ζεολίθους, (2) καολινιωμένος άστριος και (3) Χαλαζίας.



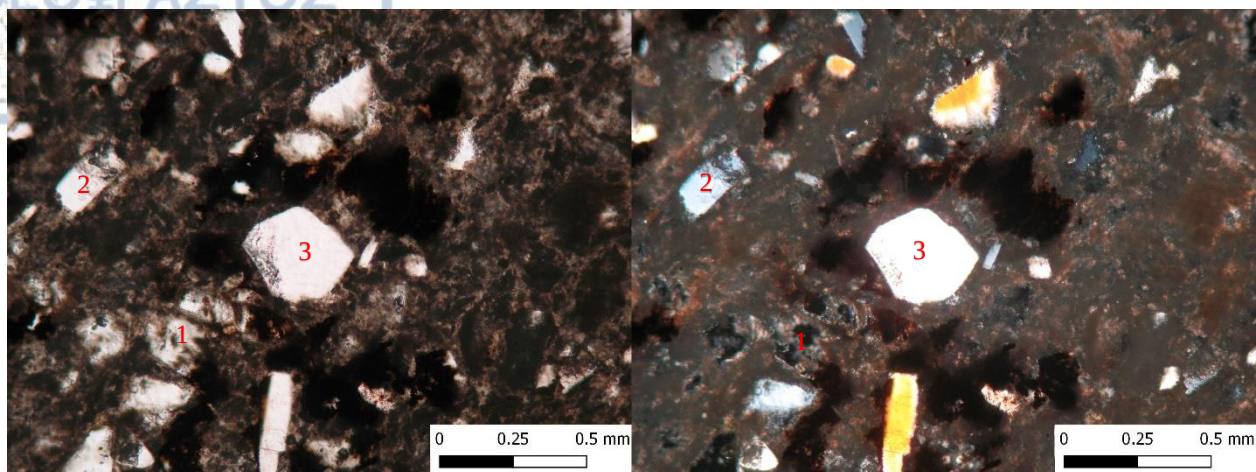
Σχήμα 33. Εικόνα με μεγαλύτερη μεγέθυνση για την ανάλυση των ορυκτολογικών χαρακτηριστικών του πετρώματος. Το ορυκτό 1 είναι ένα εξαλλοιωμένο πλαγιόκλαστο. Το ορυκτό 2 είναι ένας Χαλαζίας και εμφανίζεται γωνιώδης. Το ορυκτό 3 είναι ένας καολινιωμένος άστριος, στον οποίο εμπεριέχονται εγκλείσματα από αδιαφανή ορυκτά. Η γενικότερη μάζα αποτελείται από αργιλικά ορυκτά και λιγότερο ζεολίθους.



Σχήμα 34. Στο πέτρωμα DAR2 παρατηρείται πληθώρα ορυκτών. Το ορυκτό 1 είναι θραύσμα νάλου εξαλλοιωμένο περιμετρικά σε ζεολίθους και αργιλικά ορυκτά. Το ορυκτό 2 είναι ένας καολινιωμένος Άστριος που εμπεριέχει εγκλείσματα αδιαφανών ορυκτών. Στο σημείο 4 παρατηρούνται συγκεντρωμένη Ζεόλιθοι ως προϊόντα εξαλλοίωσης στην γενικότερη αργιλική – ζεολιθική μάζα.



Σχήμα 35. Γενικότερα στο πέτρωμα αυτό συναντάμε (1) Χαλαζίες, οι οποίοι εμφανίζονται καθαροί – μη καταπονημένοι, (2) Άστριοι, οι οποίοι στην πληθώρα των κρυστάλλων τους είναι εξαλλοιωμένη, (3) Μερικώς εξαλλοιωμένα θραύσματα Υάλου, (4) Συγκεντρώσεις αργιλικών ορυκτών στην γενικότερη μάζα, (5) Συγκεντρώσεις οξειδίων στην γενικότερη μάζα. Η υπόλοιπη μάζα αποτελείται από αργιλικά ορυκτά και ζεολίθους μαζί.

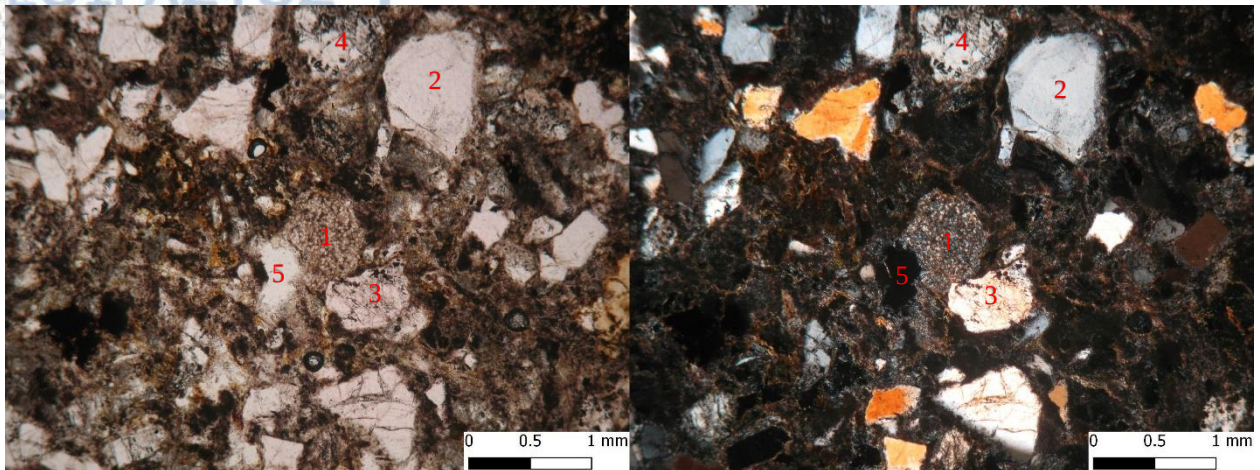


Σχήμα 36. Παρατηρούνται χαρακτηριστικά θραύσματα υάλου (1), τα οποία είναι ζεολιθοποιημένα. Επίσης παρατηρούνται ξανά και οι καολινιομένοι Αστριοι (2) που εμπεριέχουν εγκλείσματα. Τέλος παρατηρούνται σπανιότερα και κόκκοι χαλαζία (3), οι οποίοι μπορούν να περιέχουν επίσης εγκλείσματα.

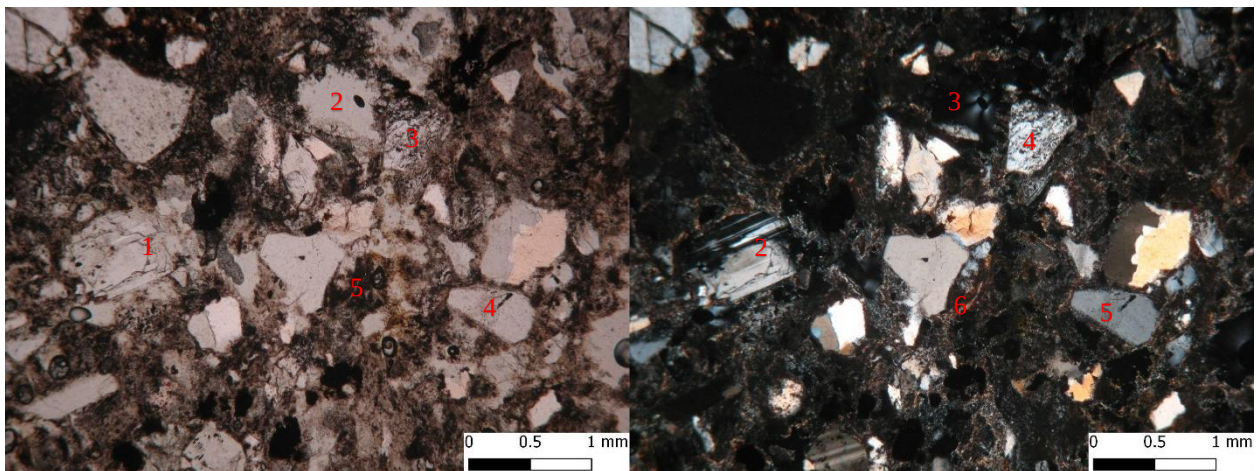
3.7.2 DAR3

Πίνακας 8 Ιστολογικά και ορυκτολογικά χαρακτηριστικά του δείγματος DAR3.

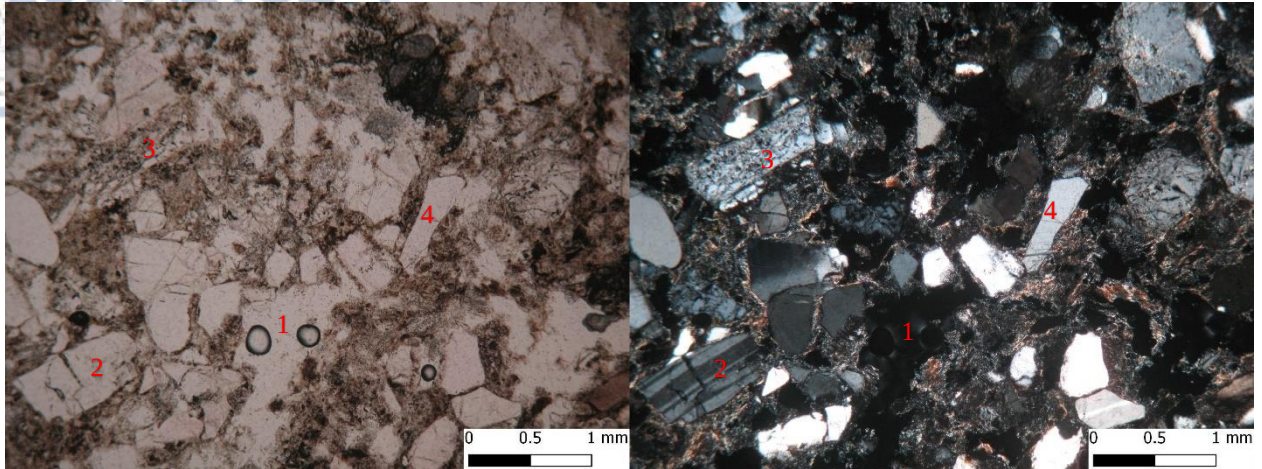
Προέλευση και κωδικός δείγματος	Δαρμένη - DAR3
Μέσος όρος μεγέθους κόκκων	0.5mm
Μέγιστο μέγεθος κόκκων	1 mm
Βαθμός ταξινόμησης	Κακός
Βαθμός στρογγυλότητας	Γωνιώδης
Σύσταση	
Κόκκοι (%) του συνολικού πετρώματος	70%
Υλικό πλήρωσης (%) του συνολικού πετρώματος	30%
Ορυκτά (%) του πετρώματος	Χαλαζίας (15%), Κ-άστριοι (20%), Πλαγιόκλαστα (15%), Θραύσματα (15%), Ζεόλιθοι (5%)
Στάδιο ιστολογικής ωριμότητας	Υποώριμο
Στάδιο ορυκτολογικής ωριμότητας	Υποώριμο
Ονομασία Πετρώματος	
Κατά Williams et al (1954)	Ηφαιστειακός Βάκης
Κατά Pettijohn (1957)	Αστριούχος Γραουβάκης
Κατά Folk et al (1970)	Λιθικός Αστριοαρενίτης



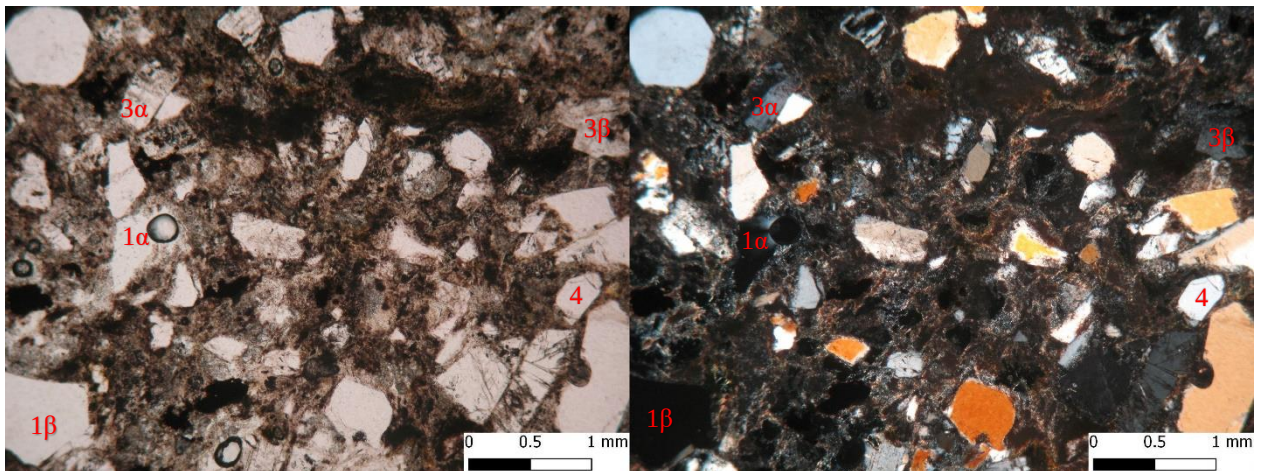
Σχήμα 37. Μικροφωτογραφία του δείγματος με μικρή μεγέθυνση. Παρατηρούνται σχετικά μεγάλοι κόκκοι ορυκτών, με έναν βαθμό ταξινόμησης που χαρακτηρίζεται κακός. Οι περισσότεροι κόκκοι χαρακτηρίζονται γωνιώδεις, ως προς τον βαθμό στρογγυλότητάς τους στην συγκεκριμένη μικροφωτογραφία. Από ορυκτολογικής άποψης, παρατηρούνται: (1) θραύσματα πετρωμάτων URF (αργιλικής – ζεολιθικής κυρίως σύστασης), (2) χαλαζίες, (3) καολινιωμένοι άστριοι, (4) εξαλλοιωμένα πλαγιόκλαστα, (5) ελαφρώς εξαλλοιωμένα θραύσματα υάλου. Γενικά το πέτρωμα βρίσκεται στα αρχικά στάδια εξαλλοίωσης, τέτοια ώστε να σχηματιστούν ζεόλιθοι. Αυτό γίνεται εύκολα κατανοητό από τον βαθμό εξαλλοίωσης των ορυκτών και από την ύπαρξη διαβρωσιγενών κενών στην μάζα του πετρώματος. Η μάζα του πετρώματος είναι κυρίως αργιλικής σύστασης.



Σχήμα 38. Οι κόκκοι των ορυκτών είναι σχετικά μεγάλοι. Από ορυκτολογικής άποψης παρατηρούνται (1) πλαγιόκλαστα με τις χαρακτηριστικές τους πολυδυμίες και ζωνώσεις, (2) θραύσματα υάλου με διαβρωσιγενή κενά στην μάζα τους, (3) καολινιωμένοι – εξαλλοιωμένοι άστριοι, (4) χαλαζίες, (5) συγκεντρώσεις αργιλικών ορυκτών. Η μάζα του πετρώματος είναι αργιλικής – ζεολιθικής σύστασης.



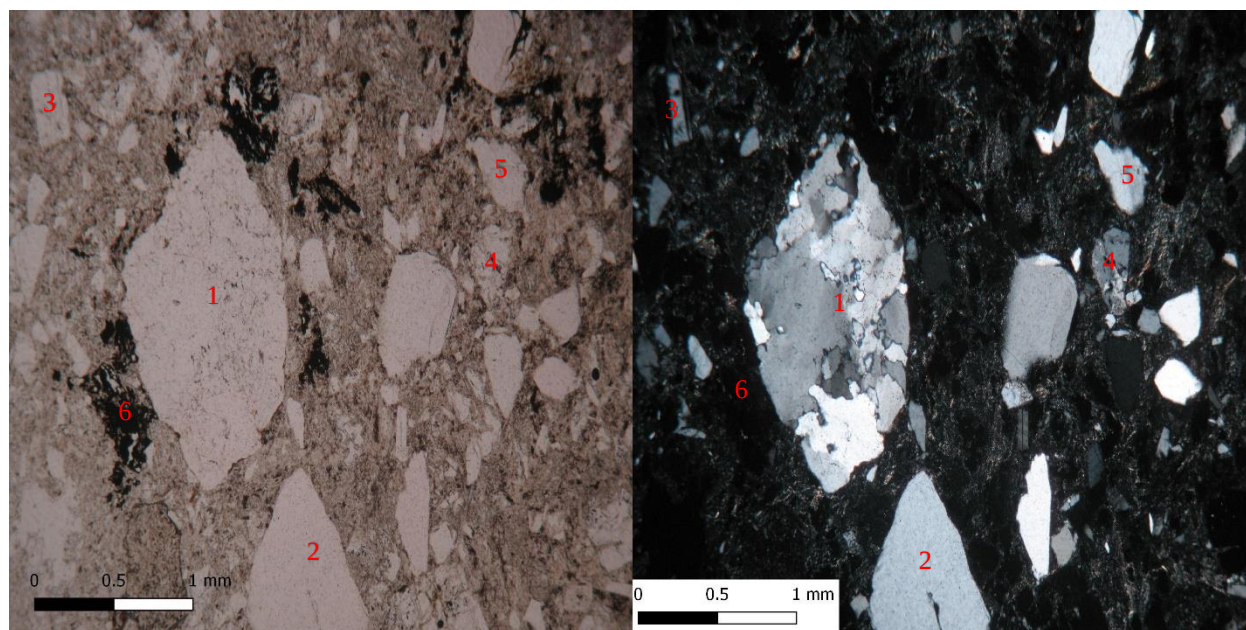
Σχήμα 39. Σε γενικές γραμμές στο πέτρωμα παρατηρούνται (1) θραύσματα υάλου με διαβρωσιγενή κενά, (2) πλαγιόκλαστα με πολυδυμίες, (3) καολινιωμένοι άστριοι και (4) χαλαζίες. Η μάζα του πετρώματος είναι αργιλικής – ζεολιθικής σύστασης. Επειδή το πέτρωμα βρίσκεται στα πρώτα στάδια εξαλλοίωσης, εύκολα συμπεραίνεται ότι οι ζεόλιθοι έχουν μικρή συνεισφορά στην σύσταση του πετρώματος.



Σχήμα 40. Πιο συγκεκριμένα τα ορυκτολογικά χαρακτηριστικά του πετρώματος αποτελούνται από: (1) θραύσματα υάλου με (α) ή χωρίς (β) διαβρωσιγενή κενά στην μάζα τους, (2) πλαγιόκλαστα με χαρακτηριστικές πολυδυμίες, (3) άστριοι καολινιωμένοι και με (α) ή χωρίς (β) διδυμίες, (4) Κόκκοι χαλαζία που εμφανίζονται καθαροί και μπορεί να συναντηθούν διατμημένοι.

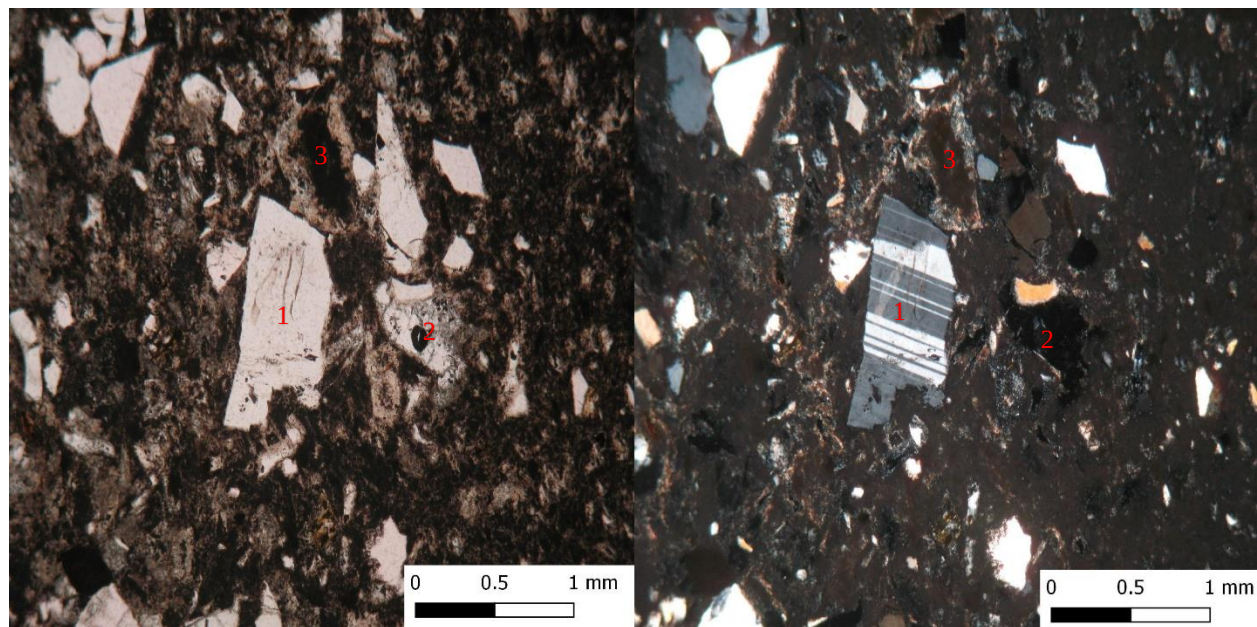
Πίνακας 9 Ιστολογικά και ορυκτολογικά χαρακτηριστικά του δείγματος DAR4.

Προέλευση και κωδικός δείγματος	Δαρμένη - DAR4
Μέσος όρος μεγέθους κόκκων	0.4mm
Μέγιστο μέγεθος κόκκων	1.2 mm
Βαθμός ταξινόμησης	Φτωχός
Βαθμός στρογγυλότητας	Υπογωνιώδης
Σύσταση	
Κόκκοι (%) του συνολικού πετρώματος	55%
Υλικό πλήρωσης (%) του συνολικού πετρώματος	45%
Ορυκτά (%) του πετρώματος	Χαλαζίας (10%), Κ-άστριοι (10%), Θραύσματα (20%), Πλαγιόκλαστο (10%), Ζεόλιθοι (5%)
Στάδιο ιστολογικής ωριμότητας	Ανώριμο
Στάδιο ορυκτολογικής ωριμότητας	Ανώριμο
Ονομασία Πετρώματος	
Κατά Williams et al (1954)	Ηφαιστειακός Βάκης
Κατά Pettijohn (1957)	Αστριούχος Γραουβάκης
Κατά Folk et al (1970)	Λιθικός Αστριοαρενίτης

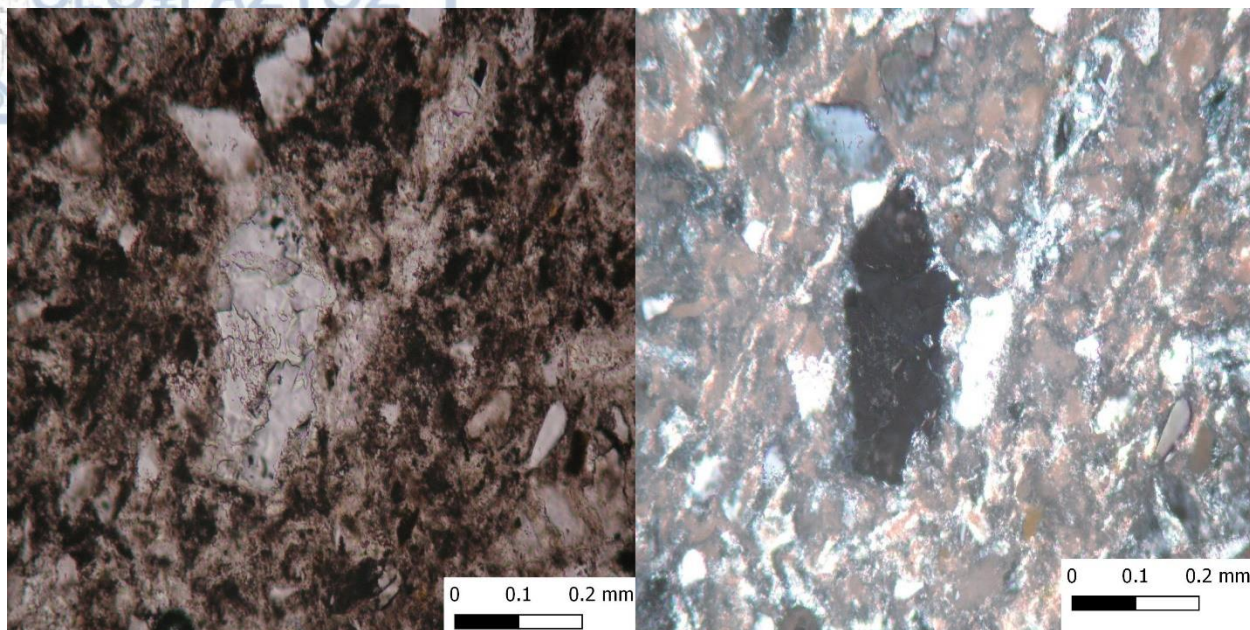


Σχήμα 41. Οι κόκκοι των ορυκτών είναι σε γενικές γραμμές υπογωνιώδης, παρατηρούνται όμως και ιδιόμορφα ορυκτά, κυρίως άστριοι (3). Αναφορικά με το μέγεθος των κόκκων των ορυκτών, παρατηρούνται μεγάλες διαφορές. Υπάρχει ποικιλία στο μέγεθος των κόκκων. Εύκολα συμπεραίνεται η ανώριμη ιστολογική ωριμότητα του πετρώματος. Η ύπαρξη αδιαφανών ορυκτών και οξειδίων στο πέτρωμα δίνει και την ανώριμη

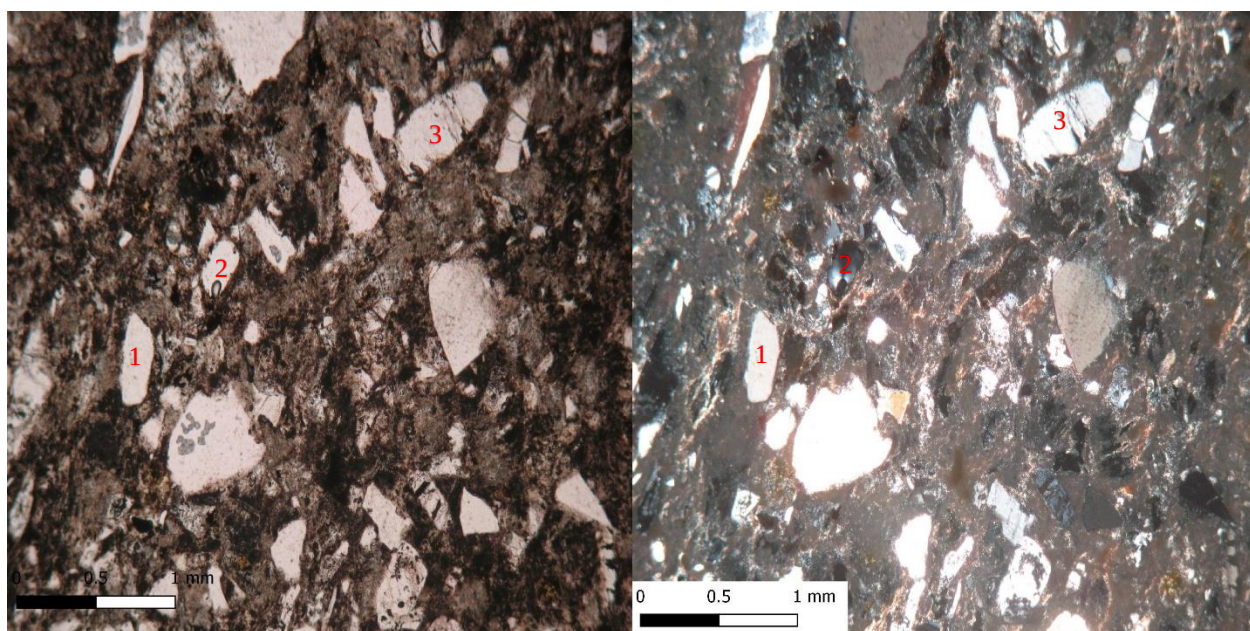
ορυκτολογική ωριμότητα του πετρώματος. Τα ορυκτά που παρατηρούνται στην συγκεκριμένη μικροφωτογραφία είναι (1) θραύσματα πετρωμάτων με σύσταση κυρίως χαλαζιακή, (2) χαλαζίας που εμφανίζεται καθαρός και αναλλοίωτος, (3) πλαγιόκλαστα με αναλλοίωτες τις έδρες του και με την χαρακτηριστική τους πολυδυμία, (4) ελαφρώς καολινιωμένοι άστριοι, (5) καθόλου καολινιωμένοι άστριοι με διδυμία, (6) αδιαφανή ορυκτά και οξείδια που εμφανίζονται διάσπαρτα στην γενικότερη μάζα του πετρώματος.



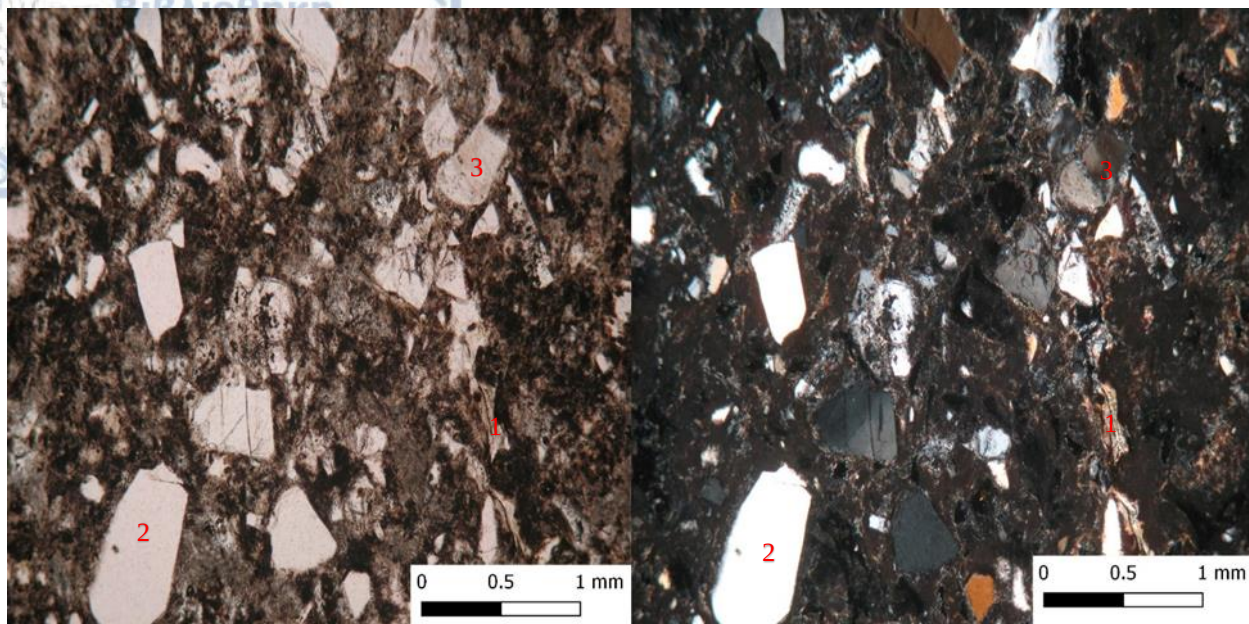
Σχήμα 42. Φαίνονται πολύ καθαρά οι πολυδυμίες των πλαγιόκλάστων στο πέτρωμα (1). Παρατηρούνται επίσης και θραύσματα υάλου που φέρουν διαβρωσιγενή κενά (2). Τα αργιλικά ορυκτά παρουσιάζονται επίσης είτε στην μάζα είτε σε μεγάλες συγκεντρώσεις στο πέτρωμα (3).



Σχήμα 43. Όσον αφορά την ζεολιθοποίηση του πετρώματος, αυτή βρίσκεται σε αρχικά στάδια. Στην συγκεκριμένη μικροφωτογραφία παρατηρείται ένα θραύσμα νάλου σε μεγάλη μεγέθυνση. Περιμετρικά του θραύσματος παρατηρείται ο αρχικός σχηματισμός των ζεολίθων σε μικρό βαθμό. Η γενικότερη μάζα είναι αργιλικής σύστασης.



Σχήμα 44. Τα ορυκτά παραμένουν τα ίδια. Συναντώνται (1) χαλαζίες, (2) θραύσματα νάλου, τα οποία μπορεί να φέρουν διαβρωσιγενή κενά και (3) καολινιωμένοι ή όχι άστριοι.

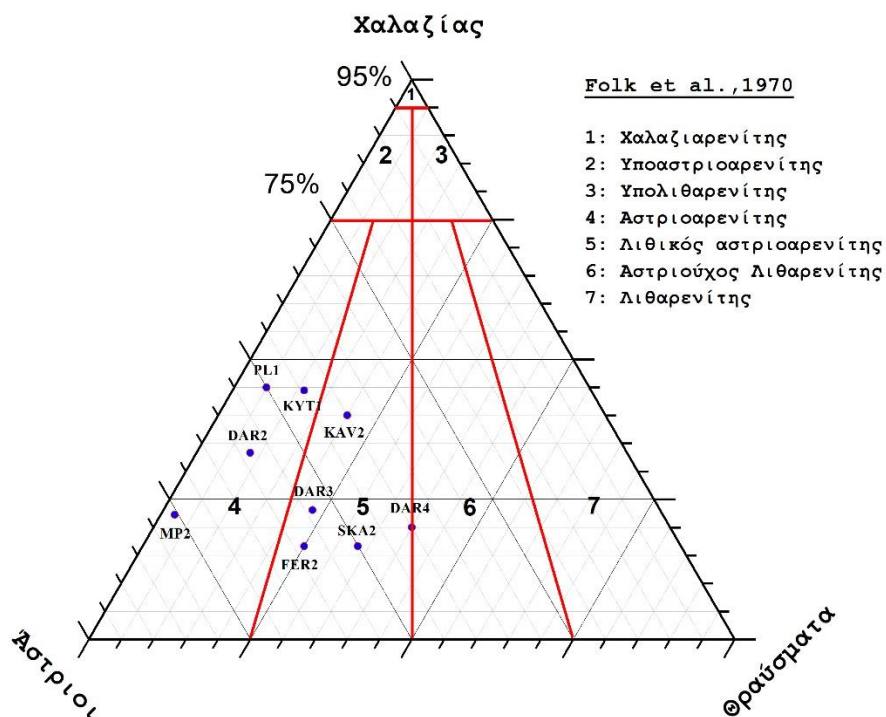


Σχήμα 45. Στην συγκεκριμένη μικροφωτογραφία παρατηρείται μοσχοβίτης (1) που παρουσιάζει μαρμαρυγία. Χαλαζίες (2) και καολινιωμένοι άστριοι (3). Η γενικότερη μάζα είναι αργιλικής σύστασης.

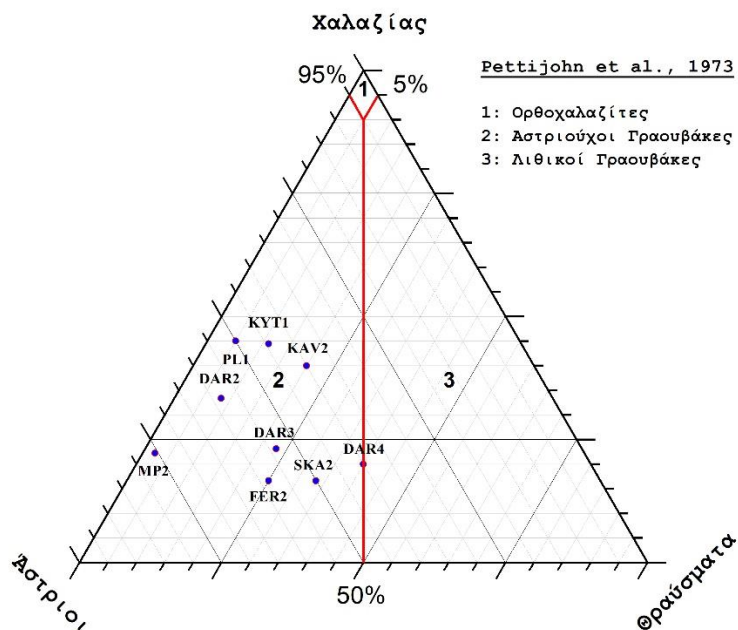
3.8 Συγκεντρωτικά διαγράμματα ταξινόμησης και οι πετρογραφικοί τύποι

Στο σχήμα 46 παρατηρείται συγκεντρωτικά η ταξινόμηση όλων των εξεταζόμενων δειγμάτων κατά Folk et al. (1970). Παρατηρείται μία συγκέντρωση των σημείων στα πεδία 4 και 5 του διαγράμματος. Επίσης, στο σχήμα 47 παρατηρείται η ταξινόμηση όλων των εξεταζόμενων δειγμάτων κατά Pettijohn et al. (1973). Το συγκεκριμένο διάγραμμα αναφέρεται μόνο στους βάκες της μεθόδου ταξινόμησης, διότι όλα τα εξεταζόμενα δείγματα έχουν >15% υλικό πλήρωσης. Σε αυτήν την περίπτωση, παρατηρείται πως όλα τα σημεία προβάλλονται στο πεδίο 2 του διαγράμματος.

Τέλος παρουσιάζεται ο πίνακας 10, ο οποίος περιέχει συγκεντρωτικά όλους τους τυπογραφικούς τύπους των εξεταζόμενων δειγμάτων, για κάθε μέθοδο ταξινόμησης: Williams et al. (1954), Pettijohn et al. (1973) και Folk et al. (1970).



Σχήμα 46. Συγκεντρωτική ταξινόμηση όλων των εξεταζόμενων δειγμάτων κατά Folk et al. (1970), χρησιμοποιώντας το στατιστικό πρόγραμμα Origin, ενώ το πρότυπο διάγραμμα έχει δοθεί από τον επιβλέπων καθηγητή Ν. Καντηράνη.



Σχήμα 46. Συγκεντρωτική ταξινόμηση όλων των εξεταζόμενων δειγμάτων κατά Pettijohn et al. (1973), χρησιμοποιώντας το στατιστικό πρόγραμμα Origin, ενώ το πρότυπο διάγραμμα έχει δοθεί από τον επιβλέπων καθηγητή Ν. Καντηράνη.

Πίνακας 10. Συγκεντρωτικά οι πετρογραφικοί τύποι όλων των εξεταζόμενων δειγμάτων για κάθε μέθοδο ταξινόμησης: Williams et al. (1954), Pettijohn (1957), Folk et al. (1970).

Δείγμα\Ταξινόμηση	Williams et al. (1954)	Pettijohn et al. (1957)	Folk et al. (1970)
Πετρωτά (MP2)	Ηφαιστειακός Βάκης	Αστριούχος Γραουβάκης	Αστριοαρενίτης
Μεταξάδες (PL1)	Αρκοζικός Βάκης	Αστριούχος Γραουβάκης	Αστριοαρενίτης
Πεντάλοφος (KYT1)	Αρκοζικός Βάκης	Αστριούχος Γραουβάκης	Αστριοαρενίτης
Φέρρες (FER2)	Ηφαιστειακός Βάκης	Αστριούχος Γραουβάκης	Λιθικός Αστριοαρενίτης
Καβισσός (KAV2)	Αρκοζικός Βάκης	Αστριούχος Γραουβάκης	Λιθικός Αστριοαρενίτης
Σκάλωμα (SKA2)	Ηφαιστειακός Βάκης	Λιθικός ή Αστριούχος Γραουβάκης	Λιθικός Αστριοαρενίτης
Δαρμένη (DAR2)	Ηφαιστειακός Βάκης	Αστριούχος Γραουβάκης	Αστριοαρενίτης
Δαρμένη (DAR3)	Ηφαιστειακός Βάκης	Αστριούχος Γραουβάκης	Λιθικός Αστριοαρενίτης
Δαρμένη (DAR4)	Ηφαιστειακός Βάκης	Αστριούχος Γραουβάκης	Λιθικός Αστριοαρενίτης

Στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία μελετώνται τα ιστολογικά χαρακτηριστικά και τα ορυκτολογικά συστατικά των ζεολιθοφόρων πετρωμάτων της Θράκης. Είναι αξιοσημείωτο, ότι τα ιστολογικά χαρακτηριστικά των συγκεκριμένων πετρωμάτων δεν έχουν μελετηθεί λεπτομερώς. Επίσης, παρουσιάζονται σε εικόνες ο ιστός των εξεταζόμενων δειγμάτων, τα ορυκτά και οι αλλοιώσεις που αναγνωρίστηκαν και δίνεται η ταξινόμησή τους σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία. Παράλληλα, δίνονται σε πίνακες συγκεντρωτικά όλα τα ορυκτολογικά και ιστολογικά χαρακτηριστικά, τα οποία έχουν εκτιμηθεί.

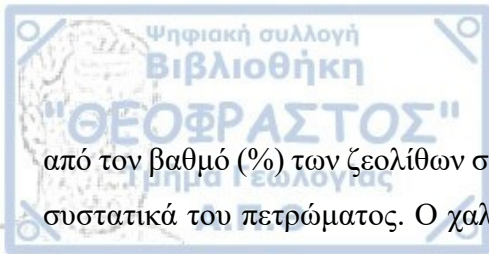
Η μέθοδος έρευνας γίνεται αποκλειστικά με την χρήση πολωτικού μικροσκοπίου διερχομένου φωτός. Μελετήθηκαν 9 δείγματα συνολικά, με τη μορφή λεπτών στιλπνών τομών, από συγκεκριμένες περιοχές της Θράκης: Πετρωτά, Μεταξάδες, Πεντάλοφος, Φέρρες, Καβισσός, Σκάλωμα και Δαρμένη. Τα εξεταζόμενα δείγματα αποτελούν μέρος τεταμένης δειγματοληψίας, που είχε εκτελεσθεί κατά το παρελθόν, από μέλη του τομέα ορυκτολογίας – πετρολογίας και κοιτασματολογίας και ειδικότερα υπό την ευθύνη και καθοδήγηση των μελών του τομέα Α. Φιλλιπίδη και Ν. Καντηράνη. Η ιστολογική και ορυκτολογική μελέτη περιλαμβάνει: τη ποσοστιαία αναλογία των κόκκων και του υλικού πλήρωσης, το μέσο όρο μεγέθους των κόκκων, το μέγεθος του μεγίστου κόκκου, το βαθμό ταξινόμησης και στρογγυλότητας των κόκκων, τη σύσταση των κόκκων, την ιστολογική ωριμότητα και την ορυκτολογική ωριμότητα των πετρωμάτων. Επίσης, προκειμένου να βρεθεί ο πετρογραφικός τύπος των πετρωμάτων χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι ταξινόμησης: Williams et al. (1954), Pettijohn et al. (1957) και Folk et al. (1970).

Τα πετρώματα που μελετώνται είναι ιζηματογενή όξινα ηφαιστειοκλαστικά πετρώματα, τα οποία έχουν υποστεί ζεολιθοποίηση (Tsirambides et al. 1993). Πιο συγκεκριμένα, τα πετρώματα αποτέθηκαν σε περιβάλλον ρηχού αλκαλικού νερού (Marantos et al. 2008). Αυτό είχε ως αποτέλεσμα, την αντίδραση του μετεωρικού νερού με τα θραύσματα υάλου των πετρωμάτων, στο στάδιο της διαγένεσης και τον σχηματισμό ζεολίθων και αργιλικών ορυκτών (Tsirambides et al. 1989, Bedeleian et al. 2007, Marantos et al. 2008). Τα δείγματα των πετρωμάτων επιβεβαιώνουν τη δράση της ζεολιθοποίησης σε όλες τις παραπάνω περιοχές. Παρόλα αυτά, φαίνεται πως το ποσοστό των ζεολίθων, το οποίο υπάρχει στα πετρώματα είναι διαφορετικό ανά περίπτωση. Βρέθηκε πως το δείγμα με το μεγαλύτερο ποσοστό ζεολίθων είναι αυτό στις Κύριες Τούμπες, Πενταλόφου (53%), ενώ σε όλα τα υπόλοιπα, τα ποσοστά των ζεολίθων κυμαίνονται μεταξύ 5%

και 30%. Τα πετρώματα με το μικρότερο ποσοστό ζεολίθων είναι αυτά της Δαρμένης, όπου όλα τα δείγματα των πετρωμάτων της περιοχής (DAR2, DAR3, DAR4) είχαν το ελάχιστο ποσοστό ζεολίθων που εκτιμήθηκε στο σύνολο των δειγμάτων (5%). Οι ζεόλιθοι που έχουν βρεθεί, παρατηρήθηκαν σε διάφορες μορφές μέσα στα δείγματα. Χαρακτηρίζονται από τα χαμηλά χρώματα πόλωσης, το χαμηλό ανάγλυφο και ως προϊόντα εξαλλοίωσης εμφανίζονται καθαροί ή με κενά στην μάζα του κρυστάλλου. Οι μορφές στις οποίες βρέθηκαν οι ζεόλιθοι χαρακτηρίζονται ως λεπιδοειδής, πινακοειδής ή ινώδης. Επίσης, μπορεί να βρεθούν τόσο ως κόκκοι, όσο και στο υλικό πλήρωσης των πετρωμάτων. Η ινώδης μορφή είναι πιθανόν να είναι μορντενίτης, ενώ η πινακοειδής είναι πιθανόν να είναι κλινοπτινόλιθος – ευλανδίτης. Για τον ασφαλή καθορισμό του τύπου των ζεολίθων χρειάζεται διαφορετική μέθοδος έρευνας (XRD), που έχει πραγματοποιηθεί από διάφορους ερευνητές (Kantiranis et al. 2006, Φιλίππιδης κ.ά. 2007, Filippidis et al. 2016).

Συμπερασματικά με την ταξινόμηση των πετρωμάτων, βρέθηκε πως τα σημεία που έχουν προβληθεί στα διαγράμματα ταξινόμησης είναι σχετικά κοντά, με αποτέλεσμα να υπάρχουν το πολύ δύο διαφορετικοί πετρογραφικοί τύποι, για κάθε ταξινόμηση. Πιο συγκεκριμένα, η ταξινόμηση κατά Williams et al. (1954) έδειξε, πως ο τυπογραφικός τύπος των δειγμάτων από τα Πετρωτά, τις Φέρρες, το Σκάλωμα και τη Δαρμένη χαρακτηρίζεται ως ηφαιστειακός βάκης, ενώ τα δείγματα από τις Μεταξάδες, το Πεντάλοφο και τη Καβισσό χαρακτηρίζονται ως αρκοζικοί βάκες. Η ταξινόμηση κατά Pettijohn et al. (1957) έδειξε, πως όλα τα δείγματα χαρακτηρίζονται ως αστριούχοι γραουβάκες, γιατί όλα τα δείγματα έχουν υλικό πλήρωσης >15% και σε όλα υπερτερούν οι άστριοι από τα θραύσματα. Η ταξινόμηση κατά Folk et al. (1970) έδειξε πως ένα δείγμα της Δαρμένης (DAR2) και τα δείγματα από τα Πετρωτά, τις Μεταξάδες και το Πεντάλοφο χαρακτηρίζονται ως αστριοαρενίτες, ενώ τα υπόλοιπα δείγματα της Δαρμένης (DAR3, DAR4) και τα δείγματα από τις Φέρρες, τη Καβισσό και το Σκάλωμα χαρακτηρίζονται ως λιθικοί αστριοαρενίτες.

Όσον αφορά τυχόν οικονομική εκμετάλλευση των ζεολιθοφόρων πετρωμάτων της Θράκης πρέπει να ληφθούν υπόψιν κάποιες παράμετροι γύρω από την ορυκτολογική σύσταση των πετρωμάτων αυτών. Όπως έχει προαναφερθεί, σύμφωνα με τον Filippidis et al. (2016) είναι σημαντική η γνώση τόσο της κρυσταλλικής δομής των ζεολίθων, όσο και των υπόλοιπων ορυκτών συστατικών του πετρώματος. Καλός ποιοτικά ζεόλιθος θεωρείται ο κλινοπτινόλιθος / ευλανδίτης, ενώ στο άλλο άκρο, κακός ποιοτικά ζεόλιθος είναι ο ινώδης ζεόλιθος. Οι ινώδεις ζεόλιθοι (μορντενίτης) θεωρούνται καρκινογόνοι, λόγω της κρυσταλλικής τους δομής. Παρόλα αυτά, εκτός



από τον βαθμό (%) των ζεολίθων σε ένα πέτρωμα, ύψιστη σημασία έχουν και τα υπόλοιπα ορυκτά συστατικά του πετρώματος. Ο χαλαζίας για παράδειγμα είναι ένα ορυκτό με κογχώδη θραυσμό και μεγάλη σκληρότητα. Επομένως, ένα ζεολιθοφόρο πέτρωμα ή ένας ζεολιθικός τόφος, ο οποίος εμπεριέχει μεγάλο ποσοστό ορυκτών χαλαζία, είναι κάτι που πρέπει να ληφθεί υπόψιν. Τέλος, η προοριζόμενη χρήση των ζεολίθων έχει επίσης σημασία για την οικονομική εκμετάλλευση αυτών των πετρωμάτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΕΛΛΗΝΙΚΗ

- Σκλαβουνός Σ., Καντηράνης Ν., Παπαδοπούλου Λ. (2011). Εργαστηριακές Μέθοδοι Έρευνας Ορυκτών. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Τζάμος, Ε., Φιλίππιδης, Α. Α., Τσιραμπίδης, Α., Παπαδόπουλος, Α., Αποστολίδης, Ν., Βούτα, Σ., ... & Παραγός, Ι. (2012). Ορυκτολογία, χημεία και ικανότητα ανταλλαγής ιόντων ζεολιθικών τοφών Αβδέλλας-Μεταξάδων (Έβρος, Ελλάδα)= Mineralogy, chemistry and ion exchange capacity of the Avdella-Metaxades (Evros, Greece) zeolithic tuffs. *Επιστημονική Επετηρίδα του Τμήματος Γεωλογίας (ΑΠΘ)*, 101, 119.
- Τσιραμπίδης, Α. (2008). Ιζηματογενή Πετρώματα. εκδ. Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη.
- Τσιραμπίδης, Α., & Φιλίππιδης, Α. (2013). Ορυκτοί Πόροι Ελλάδος: Αποθέματα και Αξία. *Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης*, σ, 46.
- Φιλίππιδης, Α., & Καντηράνης, Ν. (2005). Βιομηχανικές, αγροτικές, κτηνοτροφικές και περιβαλλοντικές χρήσεις των φυσικών ζεόλιθων της Θράκης= Industrial, agricultural and environmental uses of the natural zeolites of Thrace. *Δελτίον της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας*, 37, 90-101.
- Φιλίππιδης, Α., & Καντηράνης, Ν. (2016). Προδιαγραφές για τις διάφορες χρήσεις των ζεολιθικών τόφων. *Επιστ. Επετηρίδα Τμήματος Γεωλογίας*, 89-95.
- Φιλίππιδης, Α. (2015). Ποιοτικά χαρακτηριστικά και πολυάριθμες εφαρμογές των πολύ υψηλής ποιότητας ζεολιθικών τόφων τύπου-HUE. *Επιστημονική επετηρίδα, Τμήμα Γεωλογίας (ΑΠΘ)*, 103.
- Φιλίππιδης, Α. Α., Κατρινάρης, Ν., Σταματάκης, Μ. Γ., Δρακούλης, Α., & Τζάμος, Ε. (2007). The cation exchange capacity of the Greek zeolitic rocks. *Δελτίον της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας*, 40(2), 723-735.
- Φιλίππιδης, Α. Α., & Τσιραμπίδης, Α. (2012). Ποιοτικά χαρακτηριστικά των ελληνικών ζεόλιθων, περιβαλλοντικές, βιομηχανικές, αγροτικές και υδατικές χρήσεις του Ελληνικού φυσικού ζεόλιθου: ανασκόπηση= Quality characteristics of the greek zeolites, environmental,

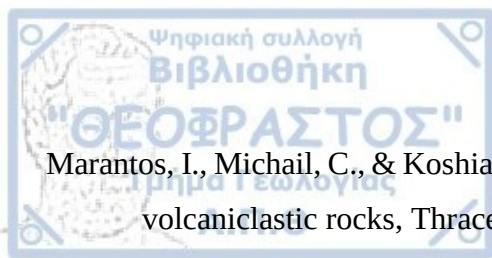


industrial, agricultural and aquacultural uses of Hellenic natural zeolite: a review. *Επιστημονική Επετηρίδα του Τμήματος Γεωλογίας (ΑΠΘ)*, 101, 125.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

- Aleksiev, B., Djourova, E., Milakovska-Vergilova, Z., Kirov, G., Filizova, L., & Petrov, O. (1997). Geology of the Oligocene zeolitic rocks in NE Rhodopes, Bulgaria: a review and new data. *Natural Zeolites-Sofia'95*, 249-262.
- Aleksiev, B., & EG, D. (1975). ON THE ORIGIN OF ZEOLITE ROCKS.
- Barbieri, Mario & Castorina, Francesca & Masi, Umberto & Garbarino, Carlo & Nicoletti, Marcela & Kassoli-Fournaraki, A & Filippidis, Anestis & Mignardi, Silvano. (2001). Geochemical and isotopic evidence for the origin of rhyolites from Petrota (Northern Thrace, Greece) and geodynamic significance. *Chemie der Erde - Geochemistry*. 61. 13-29.
- Bedelean, H., Codrea, V., & Barbu, O. (2007). Geological and mineralogical characterization of some zeolitic tuffs from NWrn Transylvania, Romania. *Δελτίον της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας*, 40(2), 666-675.
- Filippidis, A. (2016). Applications of the Hellenic Natural Zeolite (HENZA) and specifications of zeolitic tuffs. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 50(4), 1809-1819.
- Filippidis, A., Kantiranis, N., & Tsirambides, A. (2016). The mineralogical composition of Thrace zeolitic rocks and their potential use as feed additives and nutrition supplements. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 50(4), 1820-1828.
- Filippidis, A., Kantiranis, N., Tziritis, E., Filippidis, S., Vogiatzis, D., & Tzamos, E. (2014). The use of Hellenic Natural Zeolite (HENZA) in the purification of Thessaloniki industrial area wastewaters. In *10th International Hydrogeological Congress of Greece* (No. IKEECONF-2015-760, pp. 187-193). Aristotle University of Thessaloniki.
- Filippidis, A., & Kassoli-Fournaraki, A. (2000). Environmental uses of natural zeolites from Evros district, Thrace, Greece. In *Proc. 5th Int. Conf. on Environ. Pollution* (pp. 149-155).
- Fisher, R. V., & Schmincke, H. U. (1984). Alteration of volcanic glass. In *Pyroclastic Rocks* (pp. 312-345). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Folk, R. L., Andrews, P. B., & Lewis, D. W. (1970). Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zealand. *New Zealand journal of geology and geophysics*, 13(4), 937-968.

- Gifkins, C. C., Herrmann, W., & Large, R. R. (2005). *Altered volcanic rocks: A guide to description and interpretation*. Centre for Ore Deposit Research, University of Tasmania.
- Hay, R. L., & Sheppard, R. A. (2001). Occurrence of zeolites in sedimentary rocks: An overview. *Reviews in mineralogy and geochemistry*, 45(1), 217-234.
- Iijima, A. (1980). Geology of natural zeolites and zeolitic rocks. *Pure and Applied Chemistry*, 52(9), 2115-2130.
- Inglezakis, V. J., & Zorpas, A. A. (Eds.). (2012). *Handbook of natural zeolites*. Bentham Science Publishers.
- Kantiranis, N., Chrissafis, C., Filippidis, A., & Paraskevopoulos, K. M. (2006). Thermal distinction of HEU-type mineral phases contained in Greek zeolite-rich volcanoclastic tuffs. *European Journal of Mineralogy*, 18(4), 509-516.
- Kantiranis, N., Filippidis, A., Mouhtaridis, T., Charistos, D., Kassoli-Fournaraki, A., & Tsirambides, A. (2002). The uptake ability of the Greek natural zeolites. In *ZEOLITE'02, 6th int. conf. on the occurrence, properties and utilization of natural zeolites*, Thessaloniki (June, 3–7 2002) (pp. 155-156).
- Kassoli-Fournaraki, A., Stamatakis, M., Hall, A., Filippidis, A., Michailidis, K., Tsirambides, A., & Koutles, T. (2000). The Ca-rich clinoptilolite deposit of Pentalofos, Thrace, Greece. *Natural Zeolites for the Third Millennium*, Napoli, De Frede Editore, 193-202.
- Kirov, G. N., Filippidis, A., Tsirambides, A., Tzvetanov, R. G., & Kassoli-Fournaraki, A. (1990). Zeolite-bearing rocks in Petrota area (Eastern Rhodope massif, Greece). *Geologica Rhodopica*, 2, 500-511.
- Koutles, T., Kassoli-Fournaraki, A., Filippidis, A., & Tsirambides, A. (1995). Geology and geochemistry of the Eocene zeolite bearing volcanoclastic sediments of Metaxades, Thrace, Greece. *Estudios Geologicos*, 51(1-2), 19-27.
- Lofgren, G. (1971). Experimentally produced devitrification textures in natural rhyolitic glass. *Geological Society of America Bulletin*, 82(1), 111-124.
- Marantos, I., Christidis, G. E., & Ulmanu, M. (2012). Zeolite formation and deposits. *Handbook of natural zeolites*, 28-51.
- Marantos, I., Markopoulos, T., Christidis, G. E., & Perdikatsis, V. (2008). Geochemical characteristics of the alteration of volcanic and volcanoclastic rocks in the Feres Basin, Thrace, NE Greece. *Clay Minerals*, 43(4), 575-595.



Marantos, I., Michail, C., & Koshiaris, G. (2006). Study of the zeolitic alteration in Petrota Tertiary volcaniclastic rocks, Thrace area, NE Greece. *Geoscience*, 124, 126.

Marsaglia, K. M., & Tazaki, K. (1992). Diagenetic trends in Leg 126 sandstones. In *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results (Vol. 126, pp. 125-138)*. College Station (TX: Ocean Drilling Program).

Perraki, T., & Orfanoudaki, A. (2004). Mineralogical study of zeolites from Pentalofos area, Thrace, Greece. *Applied Clay Science*, 25(1-2), 9-16.

Pettijohn, F. J. (1957). *Sedimentary rocks*: Harper Brothers. New York.

Powers, M. C. (1953). A new roundness scale for sedimentary particles. *Journal of Sedimentary Research*, 23(2), 117-119.

Sheppard, R. A., Gude, A. J., & Fitzpatrick, J. J. (1988). Distribution, characterization, and genesis of mordenite in Miocene silicic tuffs at Yucca Mountain, Nye County, Nevada (No. 1777). US Government Printing Office.

Stamatakis, M. G., Hall, A., & Hein, J. R. (1996). The zeolite deposits of Greece. *Mineralium Deposita*, 31(6), 473-481.

Terry, R. D., & Chilingar, G. V. (1955). Summary of "Concerning some additional aids in studying sedimentary formations," by MS Shvetsov. *Journal of Sedimentary Research*, 25(3), 229-234.

Tsirambides, A., Filippidis, A., & Kassoli-Fournaraki, A. (1993). Zeolitic alteration of Eocene volcaniclastic sediments at Metaxades, Thrace, Greece. *Applied Clay Science*, 7(6), 509-526.

Tsirambides, A., Kassoli-Fournaraki, A., Filippidis, A., & Soldatos, K. (1989). Preliminary results on clinoptilolite-containing volcaniclastic sediments from Metaxades, NE Greece.

Tsolis-Katagas, P., & Katagas, C. (1990). Zeolitic diagenesis of Oligocene pyroclastic rocks of the Metaxades area, Thrace, Greece. *Mineralogical Magazine*, 54(374), 95-103.

Tzamos, E., Kantiranis, N., Papastergios, G., Vogiatzis, D., Filippidis, A., & Sikalidis, C. (2011). Ammonium exchange capacity of the Xerovouni zeolitic tuffs, Avdella area, Evros Prefecture, Greece. *Clay Minerals*, 46(2), 179-187.

Weller, J. M. (1960). *Stratigraphic principles and practice*. Harper.

Williams, H., Turner, F. J., & Gilbert, C. M. (1954). *Petrology: an introduction to the study of rocks in thin sections*. WH Freeman.