



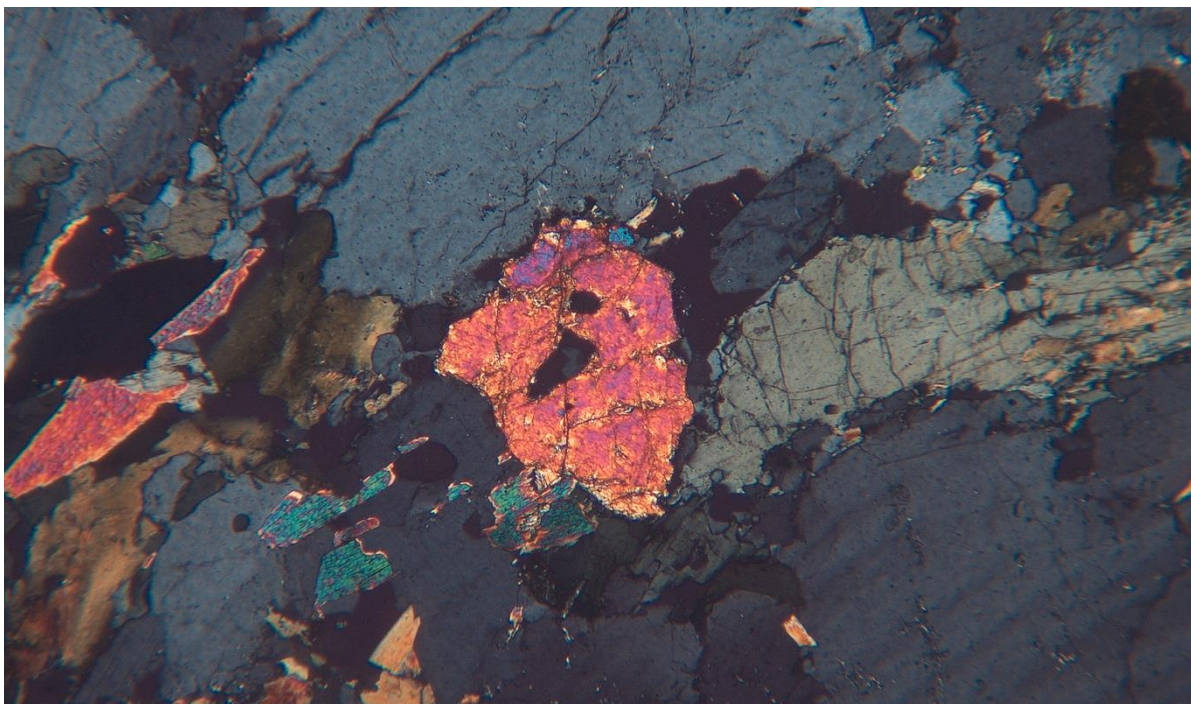
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ - ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ -
ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΤΣΙΡΗ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ • ΧΑΤΖΑΚΟΥ ΘΕΟΔΩΡΑ

**ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑ
ΤΟΥ ΠΛΟΥΤΩΝΙΤΗ ΤΟΥ ΚΕΝΤΑΥΡΟΥ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2024





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ,
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ, ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΣΙΡΗ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ

Φοιτήτρια Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ:6189

ΧΑΤΖΑΚΟΥ ΘΕΟΔΩΡΑ

Φοιτήτρια Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ:6121

ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΠΛΟΥΤΩΝΙΤΗ ΤΟΥ ΚΕΝΤΑΥΡΟΥ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέα Ορυκτολογίας -
Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας

Επιβλέπων: Κορωναίος Αντώνιος



© Τσίρη Αικατερίνη, Χατζάκου Θεοδώρα, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας
Ορυκτολογίας - Πετρολογίας - Κοιτασματολογίας, 2024

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΠΛΟΥΤΩΝΙΤΗ ΤΟΥ ΚΕΝΤΑΥΡΟΥ –
Διπλωματική Εργασία

© Tsiri Aikaterini, Chatzakou Theodora, School of Geology, Dept. of Mineralogy -
Petrology - Economic Geology, 2024

All rights reserved.

PETROLOGY AND MINERALOGY OF THE KENTAVROS PLUTONITE – *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: Κρύσταλλος επιδότου

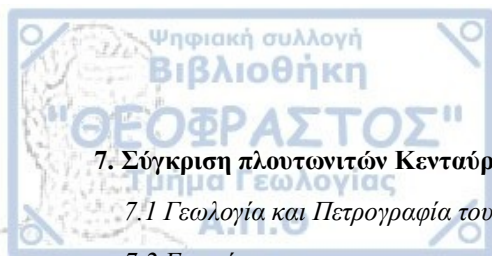


*Στις οικογένειες μας και στους
φίλους που μας στήριξαν...*





1. Εισαγωγή	4
2. Γεωλογία	6
2.1 Μάζα Ροδόπης.....	6
2.2 Μάζα Ροδόπης στον ελληνικό χώρο	7
2.3 Τεκτονική και μεταμόρφωση της Μάζας Ροδόπης.....	8
2.4 Γεωτεκτονική εξέλιξη Μάζας Ροδόπης.....	9
2.5 Ηωκαινικός, ολιγοκαινικός και μειοκαινικός μαγματισμός στη Μάζα Ροδόπης	10
2.6 Γεωλογία της περιοχής μελέτης	11
3. Μέθοδοι Έρευνας.....	12
4. Πετρογραφία.....	14
4.1 Σωρρειτικά πετρώματα (Cum)	17
4.1.1 Μακροσκοπική περιγραφή.....	17
4.1.2 Μικροσκοπική εξέταση	19
4.2 Γάββροι (Gb).....	22
4.2.1 Μακροσκοπική περιγραφή.....	22
4.2.2 Μικροσκοπική εξέταση	22
4.3 Διορίτες και Χαλαζιακοί μονζοδιορίτες (Dr, Q-MzDr).....	24
4.3.1 Μακροσκοπική παρατήρηση.....	24
4.3.2 Μικροσκοπική εξέταση	25
4.4 Τοναλίτες (Ton)	29
4.4.1 Μακροσκοπική περιγραφή.....	29
4.4.2 Μικροσκοπική εξέταση	29
4.5 Πηγματίτες (Pgm)	32
4.5.1 Μακροσκοπική περιγραφή.....	32
4.5.2 Μικροσκοπική εξέταση	32
5. Γεωχημεία.....	35
5.1 Γενικά	35
5.2 Κύρια στοιχεία	37
5.3 Ιχνοστοιχεία.....	42
6. Πετρογένεση.....	53
6.1 Γεωτεκτονικό περιβάλλον.....	53
6.2 Τύπος μάγματος	55



7. Σύγκριση πλουτωνιτών Κενταύρου και Ξάνθης	58
7.1 Γεωλογία και Πετρογραφία του πλουτωνίτη της Ξάνθης.....	58
7.2 Γενικά	60
7.3 Σύγκριση κύριων στοιχείων πλουτωνιτών.....	61
7.4 Σύγκριση ιχνοστοιχείων πλουτωνιτών	67
8. Συμπεράσματα-Συζήτηση.....	75
9. Περίληψη	77
10. Abstract.....	78
11. Βιβλιογραφία.....	79



Πρόλογος

Η Μάζας Ροδόπης έχει αποτελέσει θέμα έρευνας για πολλούς ερευνητές. Ο μαγματισμός της Μάζας της Ροδόπης, ηλικίας Ηωκαίνου έως Μειοκαίνου έχει τύχει ιδιαίτερης μελέτης. Ωστόσο, κοντά στο χωριό Κένταυρος, 26 km BBA της Ξάνθης, βρίσκεται ένας πλουτωνίτης, ο πλουτωνίτης του Κενταύρου, ο οποίος δεν έχει μελετηθεί ορυκτολογικά και πετρολογικά.

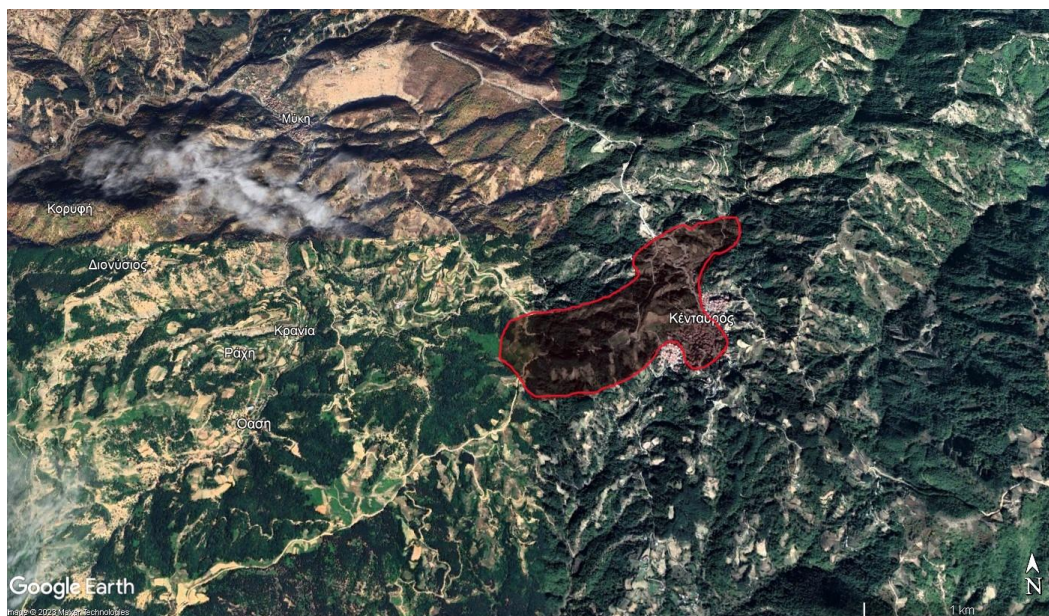
Στόχος της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι ο προσδιορισμός της ορυκτολογίας, της πετρογραφίας, της γεωχημείας και της πετρογένεσης του πλουτωνίτη του Κενταύρου. Επιπλέον, ένας ακόμη στόχος είναι η σύγκριση αυτού του πλουτωνίτη με τον αντίστοιχο της Ξάνθης, λόγω της κοντινής τους απόστασης και της παρόμοιας ηλικίας τους.

Στο σημείο αυτό επιθυμούμε να εκφράσουμε ευχαριστίες σε όλους όσους μας βοήθησαν. Αρχικά ευχαριστούμε τον καθηγητή κ. Α. Κορωναίο για την ανάθεση του θέματος και τη συνεχή του βοήθεια καθ' όλη την εκπόνηση της εργασίας. Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον κ. Α. Δρακούλη, ο οποίος μας ώθησε να συνεργαστούμε και μας βοήθησε σημαντικά τόσο κατά τη συγγραφή όσο και στο ύπαιθρο. Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε, επιπλέον και την κ. Ι. Γεροντίδου για την σημαντική βοήθειά της στο εργαστηριακό μέρος της πτυχιακής μας. Τέλος, οφείλουμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειες και τους φίλους μας για τη στήριξή τους στην πορεία αυτή.

1. Εισαγωγή

Η γεωλογία της Μάζας της Ροδόπης και ιδιαίτερα ο μαγματισμός της μάζας της Ροδόπης, ηωκαινικής έως και μειοκαινικής ηλικίας έχει μελετηθεί επιστάμενα τα τελευταία 50 χρόνια (Christofides et al. 1998, Christofides et al. 2001, Pipera et al. 2013 και αναφορές σε αυτή). Πλήθος μελετών έχουν αναφερθεί στην πηγή και στην εξέλιξη του μάγματος σε πλουτωνίτες όπως της Καβάλας (Neiva et al. 1996, Xydous et al. 2016 και αναφορές σε αυτή), της Ξάνθης (Koukouvelas et al. 1991, Christofides et al. 2012 και αναφορές σε αυτή), της Βροντούς (Soldatos et al. 1998, Magganas et al. 2004 και αναφορές σε αυτή), της Ελατιάς (Soldatos et al. 1986, Soldatos et al. 2001) και σε ηφαιστίτες όπως της Κοτάνης-Καλότυχου (Eleftheriadis 1989 και αναφορές σε αυτή) και του Έβρου (Christofides et al. 2001, Christofides et al. 2004 και αναφορές σε αυτή).

Σύμφωνα με το υπόμνημα του γεωλογικού χάρτη (Φύλλο Ξάνθη Ι.Γ.Μ.Ε. 1973), αναφορικά με τον πλουτωνίτη του Κενταύρου, πρόκειται για διεισδύσεις γρανοδιοριτικού έως διοριτικού τύπου. Εμφανίζει σύμφωνες καιγωνιώδεις επαφές με τα περιβάλλοντα μεταμορφωμένα πετρώματα και κατά θέσεις έχει σχιστότητα και γράμμωση. Επιπλέον υπάρχουν πηγματιτικές και απλιτικές διεισδύσεις τόσο στα μεταμορφωμένα πετρώματα του υποβάθρου, όσο και στον πλουτωνίτη, με τη μορφή φλεβών και φακών. Ο πλουτωνίτης έχει διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ και καλύπτει μια επιφάνεια 0.81 km². Ένα μέρος του πλουτωνίτη καλύπτεται από την κατοικημένη περιοχή (η νοτιοανατολική πλευρά του) ενώ ο υπόλοιπος εκτείνεται προς τα βόρεια και προς τα δυτικά του χωριού (Σχ. 1.1).



Σχήμα 1.1: Οριοθέτηση του πλουτωνίτη του Κενταύρου (κόκκινη γραμμή και σκιασμένη περιοχή). Τροποποιημένο σχήμα από Google Earth.

Στην ευρύτερη περιοχή παρατηρήθηκαν μεταμορφωμένα πετρώματα που αποτελούν το υπόβαθρο. Ο πλουτωνίτης διεισδύει στα μεταμορφωμένα πετρώματα της Μάζας Ροδόπης, τα οποία είναι κυρίως γνεύσιοι, μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι, μάρμαρα και αμφιβολίτες, δημιουργώντας τοπικά φαινόμενα επαφής. Σύμφωνα με το υπόμνημα του γεωλογικού χάρτη (Φύλλο Ξάνθη I.G.M.E. 1973), ο πλουτωνίτης του Κενταύρου είναι παλαιότερος από αυτόν της Ξάνθης, ο οποίος έχει ολιγοκαινική ηλικία. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τις ραδιομετρικές ηλικίες που δημοσιεύτηκαν αργότερα. Συγκεκριμένα, η Liati (1986 από Krohe & Mposkos 2002) χρονολόγησε κεροστίλβη από ένα μη παραμορφωμένο δείγμα του πλουτωνίτη του Κενταύρου με K-Ar, το οποίο έδωσε ηλικία 38 ± 1 Ma. , ενώ οι Christofides et al. (2012) δίνουν ηλικία για το γρανοδιορίτη της Ξάνθης 34.3 ± 0.5 Ma, με ισόχρονη Rb/Sr (MSWD=0.7) που κατασκευάστηκε από τα ορυκτά (πλαγιόκλαστο, κεροστίλβη, βιοτίτης) ενός δείγματος.

Σε αρκετά σημεία τα πετρώματα ήταν πολύ αποσθρωμένα, γεγονός που καθιστούσε τη δειγματοληψία δύσκολη. Γενικά, τα πετρώματα έχουν υποστεί σημαντική τεκτονική καταπόνηση, καθώς παρατηρήθηκαν πολλά συστήματα διακλάσεων και ρήγματα. Επιπλέον, τα σημεία στα οποία ήταν δυνατή η παρατήρηση των πετρωμάτων ήταν λίγα, λόγω της φυτοκάλυψης και της αποσάθρωσης. Παρόλα αυτά βρέθηκαν τομές για παρατήρηση, με πιο φρέσκα πετρώματα. Από τα σημεία αυτά λήφθηκαν και δείγματα.

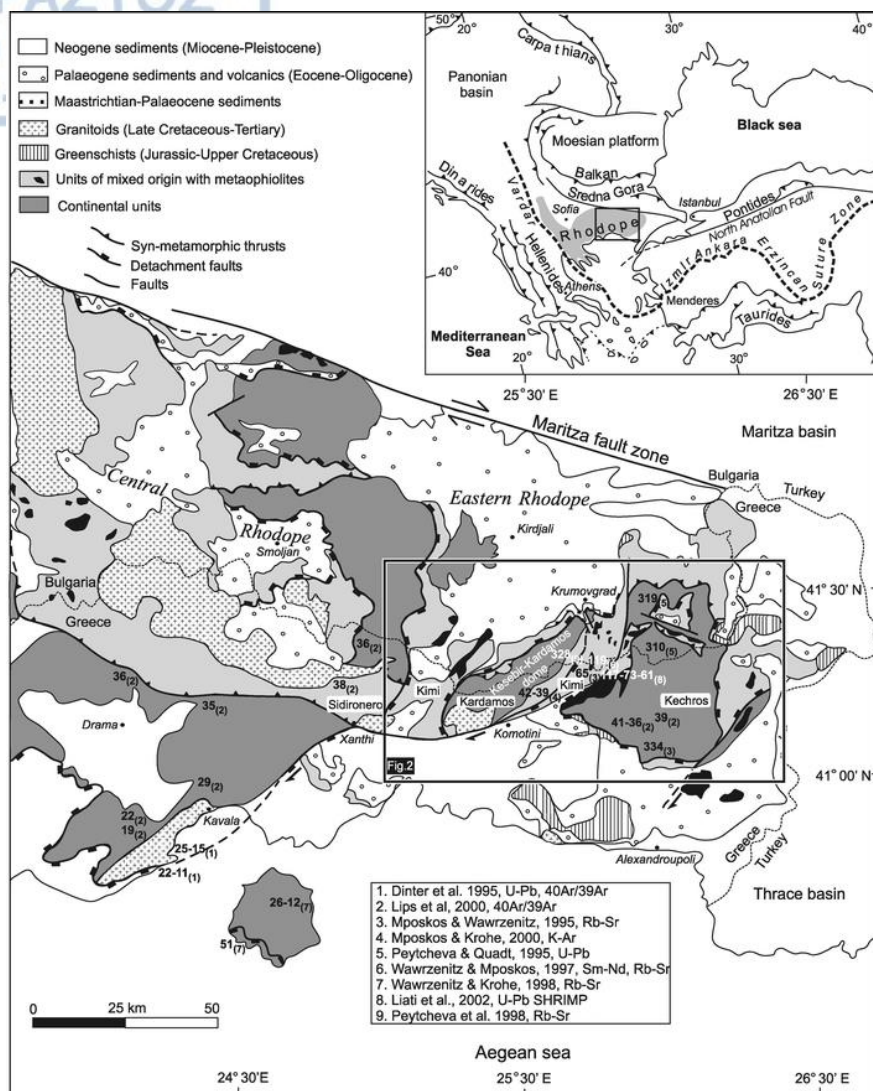
2. Γεωλογία

2.1 Μάζα Ροδόπης

Η Μάζα Ροδόπης αποτελεί παχύ ηπειρωτικό φλοιό, πάχους περίπου 10-20 km. Εκτείνεται από τη νότια Βουλγαρία μέχρι τη Θράκη, τη Θάσο και την ανατολική Μακεδονία (Σχ. 2.1). Θεωρείται ότι προέρχεται είτε από την Ευρασιατική πλάκα είτε αποτελεί παλιό ηπειρωτικό κομμάτι της Γκοτβάνα, το οποίο αποσπάστηκε και ενσωματώθηκε στην Ευρασία (Μουντράκης 2021). Το όριό της στα δυτικά είναι το ρήγμα του Στρυμώνα, όπου χωρίζεται από την Σερβομακεδονική μάζα, ενώ στα ανατολικά βρίσκεται σε επαφή με την Περιοδοπική ζώνη.

Με βάση μοντέλα που έχουν προταθεί, επικρατεί η θεωρία πως η Σερβομακεδονική μάζα και η Ροδόπη ήταν ενωμένες στο παρελθόν. Η τεκτονική και η μεταμόρφωση των πετρωμάτων δείχνουν πως ο διαχωρισμός των δύο μαζών οφείλεται σε νεότερη τεκτονική που επηρέασε την περιοχή κατά το Τριτογενές, την περίοδο δηλαδή που δημιουργήθηκε η λεκάνη του Στρυμώνα. Ο διαχωρισμός αυτός προτάθηκε πρώτη φορά από τους Kockel & Walther (1965), ενώ πριν από αυτό οι δύο μάζες λαμβάνονταν υπόψη ως μία.

Στα ανατολικά και νότιο-ανατολικά η Μάζα Ροδόπης επικαλύπτεται τεκτονικά από την Περιοδοπική ζώνη (Κατσιατσός 1992 από Δρακούλη 2019). Το φυσικό όριο των δύο αυτών ζωνών είναι ο ποταμός Λίσσος (Φιλιούρι).



Σχήμα 2.1: Οριοθέτηση της Μάζας Ροδόπης. Τροποποιημένο σχήμα από Bonev (2006).

2.2 Μάζα Ροδόπης στον ελληνικό χώρο

Η Μάζα Ροδόπης διαχωρίστηκε σε διάφορες ενότητες από ερευνητές. Η πρώτη διαίρεση έγινε από τον Osswald (1938, από Μουντράκης 2021) σε τέσσερις ορίζοντες με ηλικία Προκάμβιο - Κ. Παλαιοζωϊκό, οι οποίοι από τους κατώτερους προς τους ανώτερους είναι:

1. Σειρά Ε γνεύσιοι βάσης
2. Σειρά F μάρμαρα
3. Σειρά G μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι
4. Σειρά Η σχιστόλιθοι και μάρμαρα

Ο διαχωρισμός που κυριαρχεί σήμερα είναι αυτός των Papanikolaou & Panagopoulos (1981), οι οποίοι χώρισαν τη Μάζα Ροδόπης σε δύο ενότητες: την ανώτερη τεκτονική ενότητα του Σιδηρόνερου και την κατώτερη τεκτονική ενότητα του Παγγαίου, οι οποίες διαχωρίστηκαν εξαιτίας του σχηματισμού του ρήγματος του Νέστου, που ξεκινά

από τη Ξάνθη και καταλήγει μέχρι τα σύνορα της Βουλγαρίας. Το ρήγμα αυτό δραστηριοποιήθηκε κατά το Ολιγόκαινο-Μειόκαινο.

Τόσο η ενότητα Σιδηρόνερου, όσο και η ενότητα Παγγαίου αποτελούνται από μεταμορφωμένα πετρώματα. Η πρώτη περιέχει πετρώματα υψηλότερου βαθμού μεταμόρφωσης, όπως αμφιβολίτες, ορθογνεύσιους, μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους, μιγματίτες και λεπτούς ορίζοντες μαρμάρων (Mposkos et al. 1990). Η δεύτερη έχει υποστεί χαμηλότερου βαθμού μεταμόρφωση και αποτελείται από ορθογνεύσιους, σχιστόλιθους, αμφιβολίτες και μάρμαρα. Σήμερα η ενότητα Σιδηρόνερου υπέρκειται της ενότητας Παγγαίου εξαιτίας του ανάστροφου ρήγματος του Νέστου, που αποτελεί εφίπλευση φοράς ΒΔ-ΝΑ (Papanikolaou & Panagopoulos 1981, Zachos & Demades 1983, Kiliass & Mountrakis 1990).

2.3 Τεκτονική και μεταμόρφωση της Μάζας Ροδόπης

Η Μάζα Ροδόπης έχει δεχθεί πολλαπλές παραμορφώσεις και μεταμορφώσεις. Όσον αφορά την τεκτονική διακρίνονται τρεις κύριες συμπίεστικές φάσεις, οι οποίες προκάλεσαν την πτύχωση των σχηματισμών (Kokkinakis 1980 a&b από Μουντράκης 2021, Papanikolaou & Panagopoulos 1981, Κατσικάτσος 1992 από Δρακούλης 2019).

Η πρώτη φάση χρονολογείται στον Παλαιοζωικό και χαρακτηρίζεται από ισοκλινείς πτυχές με αξονική διεύθυνση Β-Ν. Έχει την ίδια ηλικία με την πρώτη κύρια μεταμόρφωση της μάζας, η οποία διαμόρφωσε το κρυσταλλοσχιτώδες υπόβαθρο, μετατρέποντας παλαιοζωικούς γρανίτες ή ιζήματα σε γνεύσιους, σχιστόλιθους και μάρμαρα. Πιθανολογείται πως η μεταμόρφωση αυτή ήταν αμφιβολιτικής φάσης.

Κατά το Κρητιδικό - Τριτογενές η περιοχή μεταμορφώθηκε ξανά εξαιτίας της Αλπικής ορογένεσης (Mposkos 1989 & 2002, Liati & Seidel 1996). Την περίοδο εκείνη δέχθηκε πολλαπλές μεταμορφώσεις με κάθε νέα φάση να αλλοιώνει τις προηγούμενες, καθιστώντας τον διαχωρισμό τους ιδιαίτερα δύσκολο. Υπολειμματικές παραγενέσεις δείχνουν πως η μάζα Ροδόπης υπέστη μεταμόρφωση εκλογιτικής φάσης στο Κρητιδικό, με συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης $T=700-750^{\circ}\text{C}$ και $P=15-25\text{ kbar}$.

Στη δεύτερη φάση πτύχωσης σχηματίστηκαν υποϊσικλινείς πτυχές με άξονες διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ έως ΑΒΑ-ΔΝΔ. Σχιστότητα ίδιας διεύθυνσης παρατηρείται στα πλουτωνικά πετρώματα της Μάζας Ροδόπης, τα οποία εμφανίζονται ως πυρήνες σε μεγααντίκλινα (Μουντράκης 2021).

Η τρίτη φάση έχει Ολιγοκαινική ηλικία, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ανοιχτών πτυχών διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ. Συνδέεται με την τοποθέτηση του Σιδηρόνερου επάνω στο Παγγαίο. Την ίδια περίοδο τα πετρώματα της Μάζας υπόκεινται σε ανάδρομη μεταμόρφωση πρασινοσχιτολιθικής φάσης, αφού η ανάδυση του ορογενούς τα τοποθετεί σε συνθήκες χαμηλότερης θερμοκρασίας και πίεσης (Μουντράκης 2021).

Συνολικά οι τρεις αυτές τεκτονικές φάσεις αποδεικνύουν τη συμμετοχή της Ροδόπης στην Αλπική ορογένεση. Τέλος, στο Τριτογενές σημειώθηκε εφελκυστική δραστηριότητα

με ρήγματα αποκόλλησης, τα οποία προκάλεσαν την κατάρρευση του ορογενούς και την ανάδυση της Ενότητας Παγγαίου (metamorphic ore complex) (Kilias et al. 1999).

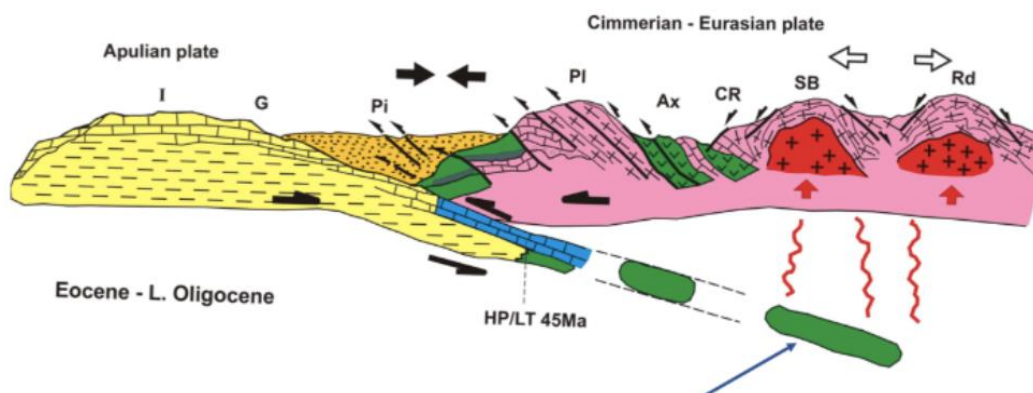
2.4 Γεωτεκτονική εξέλιξη Μάζας Ροδόπης

Η Μάζα Ροδόπης ανήκει στην Κιμμερική ορογενετική λωρίδα του Ελληνικού ορογενούς (Μουντράκης 2021). Αυτή η παραμορφωτική φάση διαμορφώθηκε πριν από το Α. Ιουρασικό, με την σύγκλιση της Κιμμερικής και Ευρασιατικής πλάκας. Κατά τη διαδικασία αυτή έκλεισε ο ωκεανός της Τηθύος και έγινε η συγκόλληση αυτών των πλακών σε μία ενιαία Κιμμερική-Ευρασιατική πλάκα. Έτσι, σχηματίστηκαν οι ζώνες: Πελαγονική, Μάζα Ροδόπης και Σερβοβακεδονική. Η Κιμμερική ορογενετική λωρίδα περιλαμβάνει κυρίως παλιές παραμορφώσεις, πριν το Α. Ιουρασικό.

Μετά την Κιμμερική, συναντάται η Αλπική ορογενετική λωρίδα, κατά την οποία έγινε η ανάδυση των γεωτεκτονικών ζωνών, εξαιτίας της υποβύθισης της Απούλιας πλάκας κάτω από την Κιμμερική-Ευρασιατική πλάκα την περίοδο Κρητιδικό-Παλαιογενές.

Κατά το Κρητιδικό έκλεισε ο ωκεανός της Νεοτηθύος. Στο κομμάτι μπροστά από την υποβύθιση πραγματοποιήθηκε η τοποθέτηση των οφειολίθων πάνω στην Πελαγονική κατά το Κ.Κρητιδικό, η τοποθέτηση των γεωτεκτονικών ζωνών από ανατολικά προς τα δυτικά με επωθήσεις και η τελική σύγκρουση των πλακών κατά το Ηώκαινο. Επίσης, στο Ηώκαινο σχηματίστηκε η πρώτη ζώνη υψηλής πίεσης/χαμηλής θερμοκρασίας (HP/LT), η οποία χαρακτηρίζεται από την εμφάνιση γλαυκοφανιτικών σχιστολίθων.

Πίσω από το ορογενές, υπήρχε οπισθοτόξιος εφελκσμός και θέρμανση του φλοιού. Λόγω του εφελκυσμού προκλήθηκε ο μαγματισμός τόσο στην Μάζα Ροδόπης, όσο και στην Σερβομακεδονική, αλλά και η εκταφή βαθύτερων μαζών. Τα μαγματικά σώματα και οι βαθύτεροι σχηματισμοί φαίνονται στην επιφάνεια, εξαιτίας της διάβρωσης και της κατάρρευσης του ορογενούς την περίοδο Μειοκαίνου-Ολιγοκαίνου. Η υποβύθιση μετατοπίστηκε σταδιακά νοτιότερα και σήμερα βρίσκεται νότια της Κρήτης.



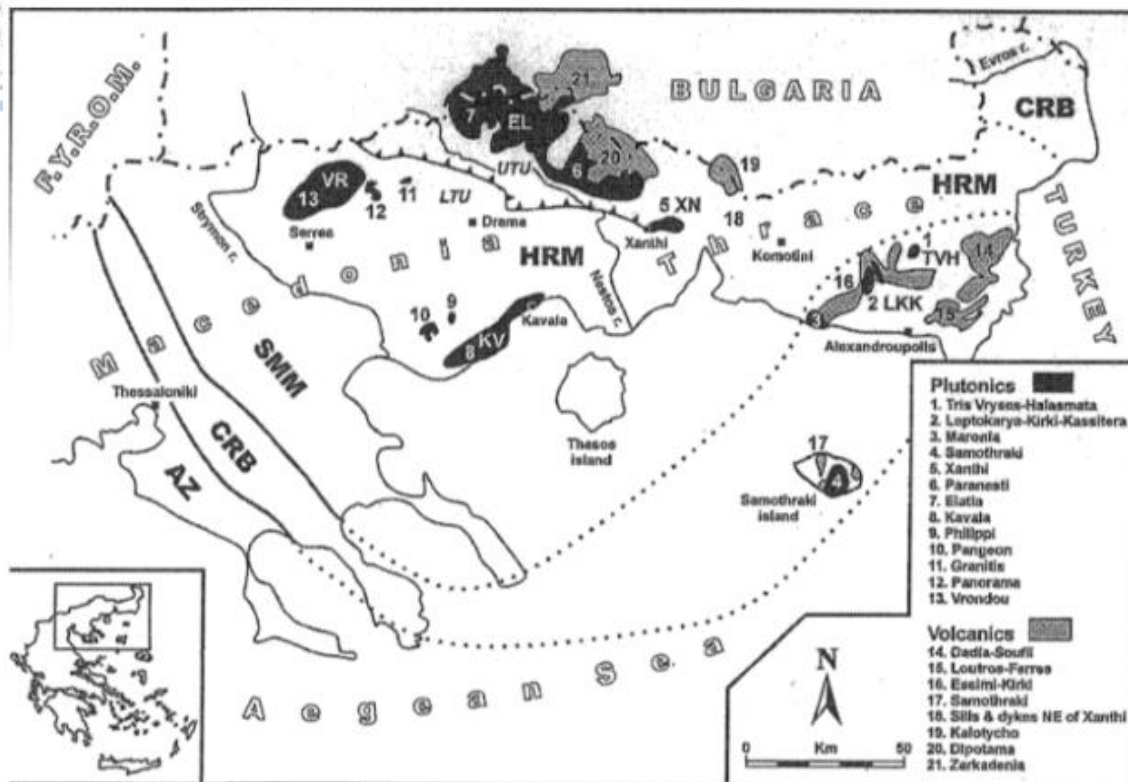
Σχήμα 2.2: Μαγματισμός Ενδοχώρας (Mountrakis et al. 2006).

2.5 Ηώκαινός, ολιγοκαινικός και μειοκαινικός μαγματισμός στη Μάζα Ροδόπης

Στην Μάζα Ροδόπης βρίσκονται τόσο πλουτωνικά, όσο και ηφαιστειακά πετρώματα ηώκαινης έως μειοκαινικής ηλικίας (Σχ. 2.2). Επίσης συχνά παρατηρούνται φαινόμενα μεταμόρφωσης επαφής, εξαιτίας της διείσδυσης των πλουτωνικών όγκων στα πετρώματα του υποβάθρου. Πρόκειται για μαγματισμό ενεργού ηπειρωτικού περιθωρίου με σύσταση γρανοδιοριτική έως διοριτική. Υπάρχουν, επίσης, και σωρρειτικά πετρώματα. Ο μαγματισμός αυτός οφείλεται στην υποβύθιση της Απούλιας πλάκας κάτω από την Ευρασιατική πλάκα (Christofides et al. 1998).

Κατά το Ηώκαινο-Μειόκαινο η εξέλιξη της Μάζας Ροδόπης ελέγχονταν από τεκτονικές λεκάνες, οι οποίες συνδέονταν με ηφαιστειοκλαστικές σειρές και υψηλού Κ ασβεσταλκαλικά και ασβεσταλκαλικά πετρώματα, τόσο ηφαιστειακά όσο και πλουτωνικά (Kilias et al. 2011).

Τα πλουτωνικά πετρώματα της περιοχής είναι κυρίως γρανίτες, γρανοδιορίτες, χαλαζιακοί μονζονίτες, μονζονίτες, τοναλίτες και διορίτες. Η ηλικία αυτών είναι από Ηώκαινη έως Μειοκαινή και συνδέονται με την εφελκυστική τεκτονική δραστηριότητα που έλαβε χώρα κατά την υποβύθιση της Απούλιας πλάκας κάτω από την ενιαία Κιμμερική-Ευρασιατική πλάκα. Οι κυριότεροι πλουτωνίτες της περιοχής είναι του Παγγαίου, του Συμβόλου-Καβάλας, της Βροντούς, του Παρανεστίου, της Ξάνθης, της Ελατιάς και του Πανοράματος.

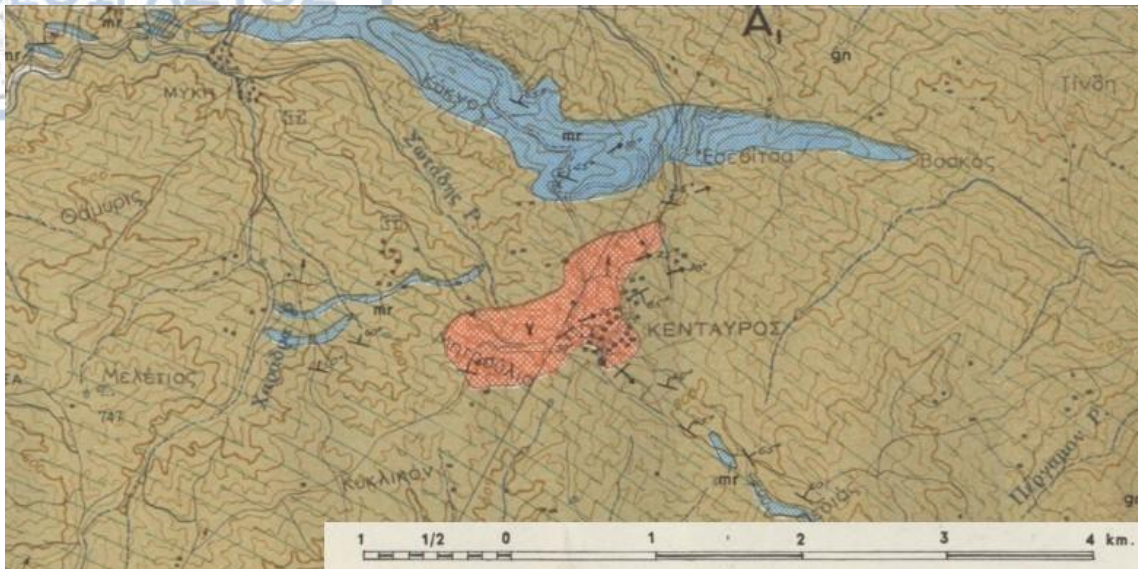


Σχήμα 2.3: Θέσεις των σημαντικότερων πλουτωνικών και ηφαιστειακών εμφανίσεων στην Μάζα Ροδόπης (Christofides et al. 1998).

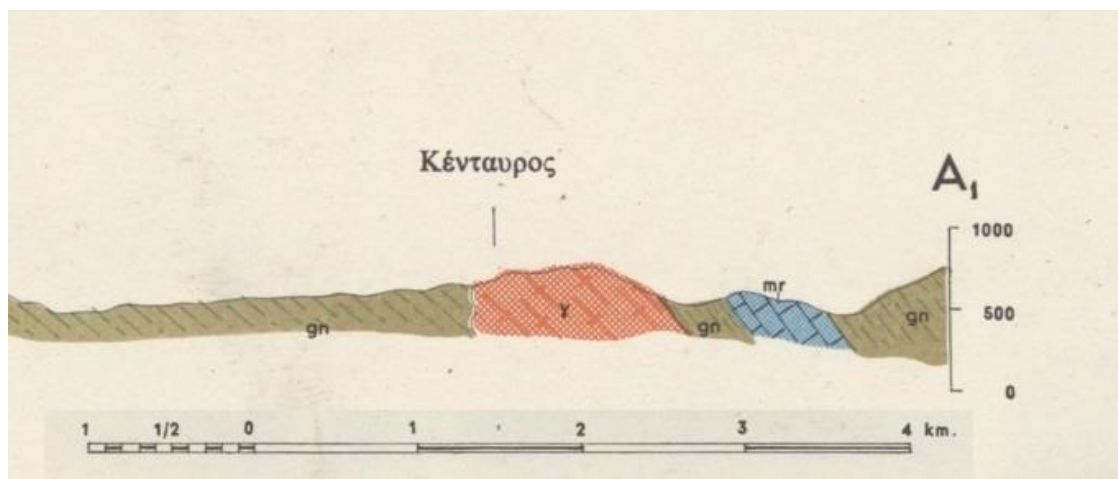
Τα ηφαιστειακά πετρώματα βρίσκονται στη νοτιοανατολική και κυρίως στην ανατολική πλευρά της Μάζας και διακρίνονται σε δύο επαρχίες (Eleftheriadis & Lippolt 1984, Innocenti et al. 1984, Eleftheriadis et al. 1989). Η πρώτη είναι βόρεια της Ξάνθης στην περιοχή Καλότυχο και η δεύτερη είναι στην ανατολική Αλεξανδρούπολη στις περιοχές Φέρες-Σουφλί-Δαδιά, Κίρκη και Μέστη-Πετρωτά (Σχ. 2.3). Τα ηφαιστειακά πετρώματα συνδέονται με ιζηματογενείς λεκάνες, οι οποίες σχηματίστηκαν το Τεταρτογενές. Πρόκειται για δραστηριότητα του Τεταρτογενούς και αποτελεί ένδειξη δραστηριοποίησης ενός ενεργού ηπειρωτικού περιθωρίου. Η σύστασή τους είναι ασβεσταλκαλική έως υψηλού K ασβεσταλκαλική, ενώ τοπικά μπορεί να είναι μέχρι και σωσσονιτική. Τα πετρώματα που συναντώνται είναι ρυόλιθοι έως ανδεσίτες και εμφανίζονται με τη μορφή ροών λάβας, δόμων, dykes, αλλά και ως πυροκλαστικά υλικά.

2.6 Γεωλογία της περιοχής μελέτης

Ο πλουτωνίτης του Κενταύρου βρίσκεται BBA της Ξάνθης. Διεισδύει στα μεταμορφωμένα πετρώματα της ενότητας Σιδηρόνερου, συγκεκριμένα μέσα στους γνεύσιους (Σχ. 2.4 και 2.5). Ωστόσο τοπικά έρχεται σε επαφή και με φακούς μαρμάρων της ενότητας σχηματίζοντας skarn.



Σχήμα 2.4: Η θέση του πλουτωνίτη του Κενταύρου στο γεωλογικό χάρτη (Φύλλο Ξάνθη I.G.M.E. 1973).



Σχήμα 2.5: Γεωλογική τομή όπου φαίνεται η θέση του πλουτωνίτη του Κενταύρου (Φύλλο Ξάνθη I.G.M.E. 1973).

Σύμφωνα με τη Liati (1986 από Krohe & Mposkos 2002), ο μαγματισμός στην περιοχή του Κενταύρου έχει ηλικία 38 ± 1 Ma (χρονολόγηση K-Ar σε κεροστίλβη) και οφείλεται στην υποβύθιση της Αφρικανικής πλάκας κάτω από την Ευρασιατική κατά το Ολιγόκαινο-Μειόκαινο (Krohe & Mposkos 2002).



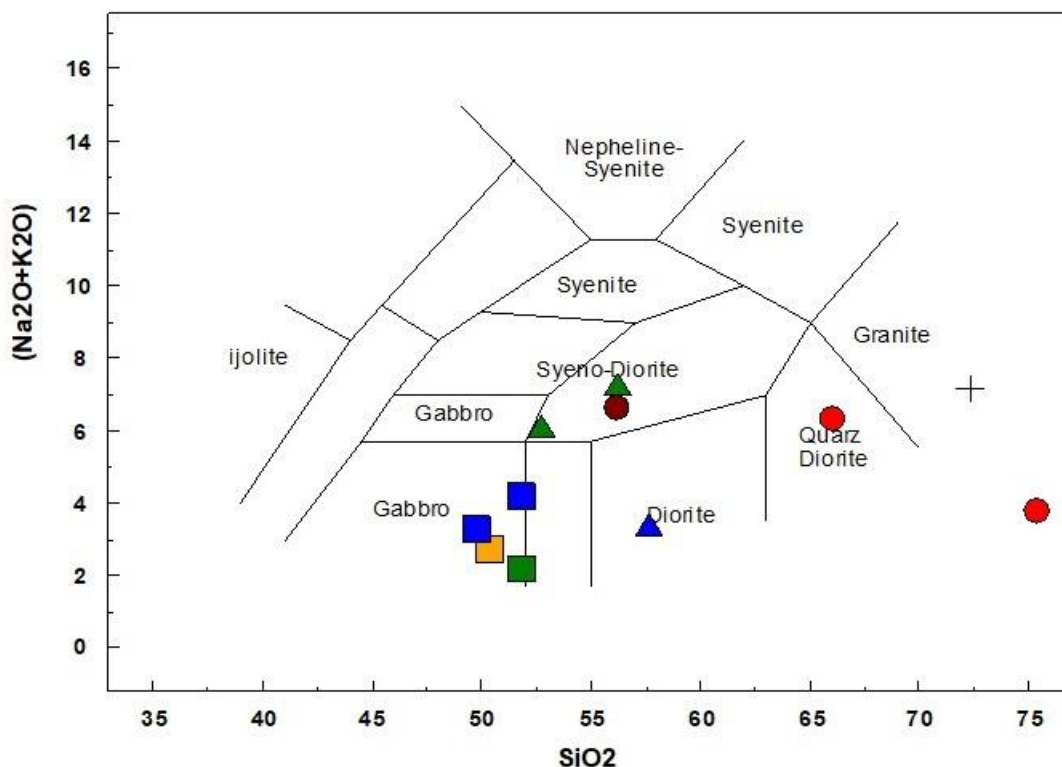
3. Μέθοδοι Έρευνας

Η εργαστηριακή έρευνα περιλαμβάνει τον προσδιορισμό της ορυκτολογικής και της χημικής σύστασης των πετρωμάτων. Όσον αφορά την ορυκτολογία, πραγματοποιήθηκε ποιοτική και ποσοτική ανάλυση. Για την ποιοτική ορυκτολογική ανάλυση κατασκευάστηκαν 11 λεπτές τομές οι οποίες παρατηρήθηκαν σε πολωτικό μικροσκόπιο. Για την ποσοτική ανάλυση πραγματοποιήθηκε εμβαδομέτρηση στις ίδιες τομές.

Όσον αφορά τη χημική ανάλυση, τα δείγματα κονιοποιήθηκαν μέχρι να μετατραπούν σε αναφή σκόνη. Έπειτα έγινε ανάμειξη της σκόνης κάθε δείγματος με συνδετικό (κυτταρίνη CEREOX®), σε αναλογία 4 δείγμα : 1 συνδετικό. Τα τελικά μίγματα τοποθετήθηκαν σε κυλινδρική μήτρα πίεσης και έπειτα ασκήθηκε σε αυτά πίεση 15 ton με υδραυλική πρέσα. Έτσι κατασκευάστηκαν 11 δοκίμια (pressed pellets) τα οποία αναλύθηκαν με σύστημα φασματομετρίας φθορισμού μήκους κύματος ακτίνων X (WDXRF). Οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν σε επιτραπέζιο όργανο XRF Supermini200 της εταιρίας RIGAKU. Το αποτέλεσμα ήταν ο προσδιορισμός της σχετικής συγκέντρωσης 10 κύριων στοιχείων και 15 ιχνοστοιχείων.

4. Πετρογραφία

Στην παρούσα μελέτη οι πετρογραφικοί τύποι προκύπτουν βάσει μακροσκοπικών και μικροσκοπικών παρατηρήσεων, ορυκτολογικής ταξινόμησης με τρίγωνο Q-A-P (Le Maitre 1989) και χημικής ταξινόμησης TAS (από Cox et al. 1979). Στο σχήμα 4.1 φαίνονται οι πετρογραφικοί τύποι σύμφωνα το διάγραμμα χημικής ταξινόμησης TAS. Στο σχήμα 4.2 φαίνονται οι πετρογραφικοί τύποι σύμφωνα με το διάγραμμα ορυκτολογικής ταξινόμησης Q-A-P.



Σχήμα 4.1: Χημική ταξινόμηση πετρογραφικών τύπων του πλουτωνίτη του Κενταύρου (TAS από Cox et al. 1979).

Βασικά Πετρώματα

■ Σωρρειτικό πέτρωμα με Px

■ Σωρρειτικό πέτρωμα με Hb

■ Γάββρος

Ενδιάμεσα Πετρώματα

▲ Hb Διορίτης

▲ Px-Hb Διορίτης

● Χαλαζιακός Μονζοδιορίτης

Όξινα Πετρώματα

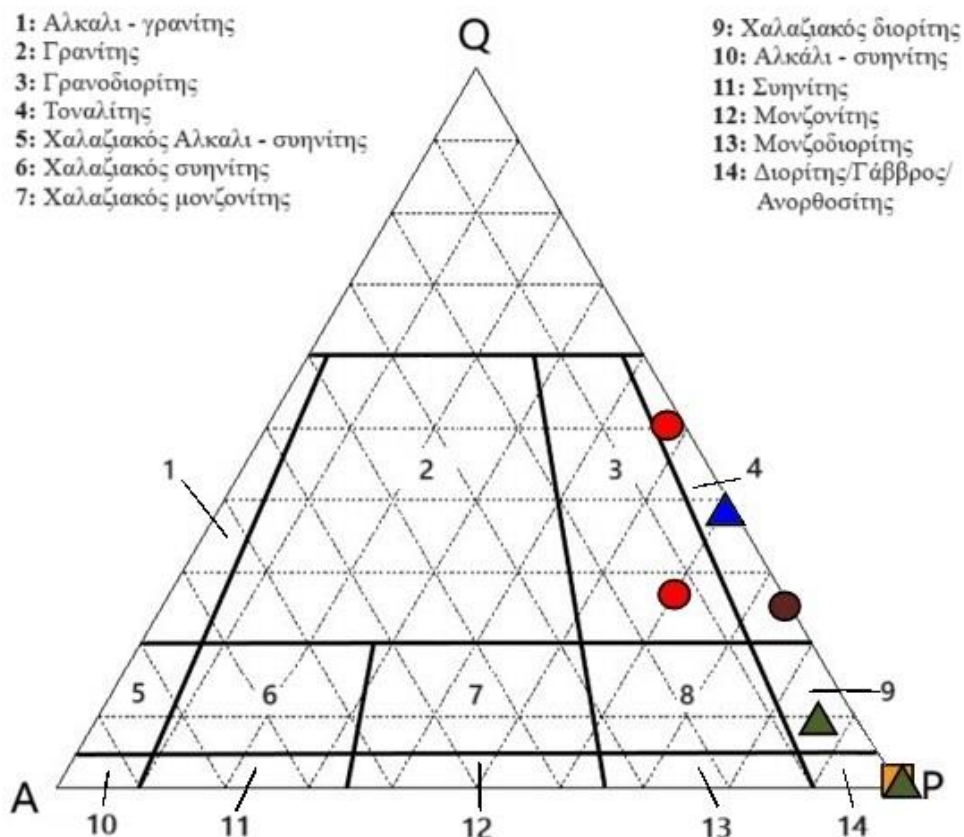
● Τοναλίτης

+ Πηγματίτης

Στον πίνακα 4.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εμβαδομέτρησης, από την οποία προκύπτει και η ορυκτολογική ταξινόμηση QAP (Σχ. 4.2).

Πίνακας 4.1: Αποτελέσματα εμβαδομέτρησης

Δείγμα	Qz	K-F	Pl	Hb	Px	Bt	Ti	Chl	Ap	Zr	Cc	Al	Αδιαφανή
ΚΕ-03	3.3	0.0	2.0	71.0	23.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ΚΕ-12	0.6	0.8	24.8	63.0	6.0	3.0	0.6	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ΚΕ-13	1.8	0.6	32.6	59.2	2.2	1.4	0.4	1.6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
ΚΕ-05	0.0	0.0	41.7	47.5	10.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ΚΕ-07	6.7	3.3	66.0	17.2	3.3	0.0	0.7	1.3	1.0	0.0	0.0	0.0	0.5
ΚΕ-08	0.0	0.0	64.4	20.5	2.2	2.9	1.2	6.8	0.2	0.3	0.0	0.5	0.9
ΚΕ-10	15.9	1.0	24.4	51.8	6.0	0.8	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
ΚΕ-14	16.1	1.1	49.7	10.5	0.0	21.5	0.2	0.6	0.0	0.0	0.3	0.2	0.0
ΚΕ-04	47.1	2.5	45.2	2.2	0.5	0.0	0.0	0.2	0.0	0.2	0.0	0.2	0.0
ΚΕ-11	21.2	10.6	51.3	14.5	0.0	1.3	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

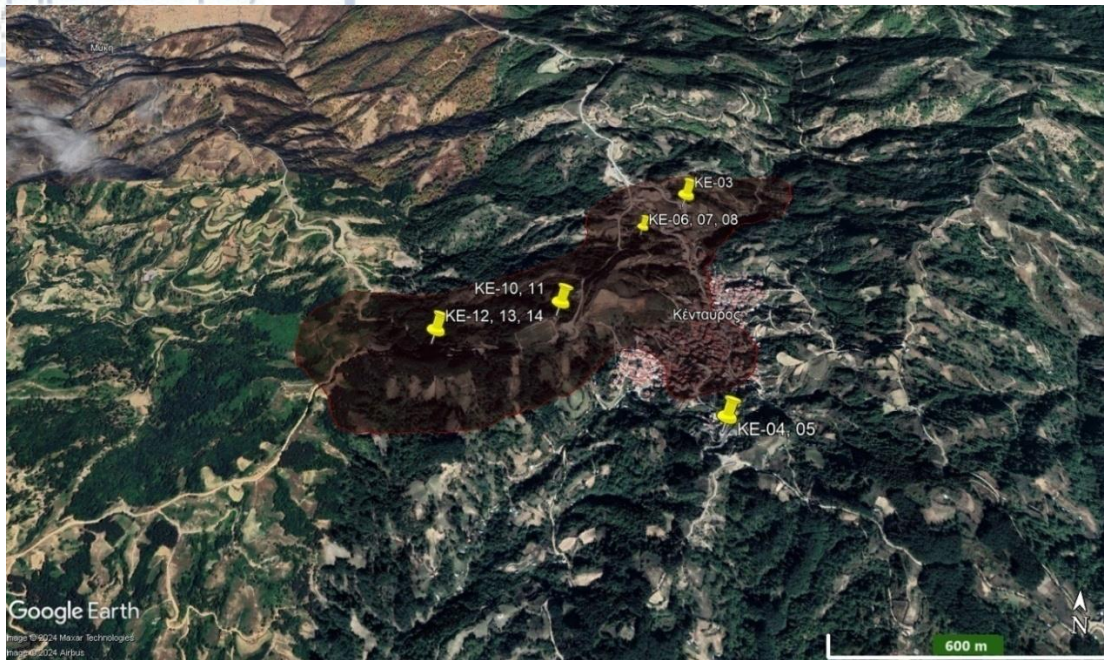


Σχήμα 4.2: Ορυκτολογική ταξινόμηση πετρογραφικών τύπων του πλουτωνίτη του Κενταύρου (Q-A-P από Le Maitre 1989).

Στον πίνακα 4.2 φαίνονται οι πετρογραφικοί τύποι που προκύπτουν από τις δύο ταξινομήσεις (TAS και QAP) και τις παρατηρήσεις. Επίσης, φαίνονται οι συντεταγμένες των δειγμάτων που λήφθηκαν. Η σχετική θέση των σημείων δειγματοληψίας φαίνεται και στο σχήμα 4.3.

Πίνακας 4.2: Πετρογραφικοί τύποι και συντεταγμένες των δειγμάτων

Δείγμα	Συντεταγμένες	TAS	QAP	Πετρογραφικός τύπος
KE-03	41° 13' 59'' B 24° 57' 5'' A	Γάββρος	-	Σωρρειτικό με Px
KE-12	41° 13' 39'' B 24° 56' 34'' A	Γάββρος	-	Σωρρειτικό με Hb
KE-13	41° 13' 39'' B 24° 56' 34'' A	Γάββρος	-	Σωρρειτικό με Hb
KE-05	41° 13' 30'' B 24° 57' 9'' A	Γάββρος	Γάββρος	Γάββρος
KE-07	41° 13' 54'' B 24° 56' 59'' A	Σηνο-διορίτης	Χαλαζιακός διορίτης	Hb Διορίτης
KE-08	41° 13' 54'' B 24° 56' 59'' A	Σηνο-διορίτης	Διορίτης	Hb Διορίτης
KE-10	41° 13' 43'' B 24° 56' 49'' A	Διορίτης	Τοναλίτης	Px-Hb Διορίτης
KE-14	41° 13' 39'' B 24° 56' 34'' A	Σηνο-διορίτης	Τοναλίτης	Qz Μονζο-διορίτης
KE-04	41° 13' 30'' B 24° 57' 9'' A	Χαλαζιακός διορίτης	Τοναλίτης	Τοναλίτης
KE-11	41° 13' 43'' B 24° 56' 49'' A	Χαλαζιακός διορίτης	Γρανοδιορίτης	Τοναλίτης
KE-06	41° 13' 30'' B 24° 57' 9'' A	-	-	Πηγματίτης



Σχήμα 4.3: Σημεία δειγματοληψίας στον πλουτωνίτη του Κενταύρου (κόκκινη περιοχή). Τροποποιημένο σχήμα από Google Earth.

Έτσι τελικά διακρίνονται οι εξής πετρογραφικοί τύποι:

- Σωρρειτικά πετρώματα (Cum)
- Γάββροι (Gb)
- Διορίτες (Dr)
- Χαλαζιακοί Μονζοδιορίτες (Qz-MzDr)
- Τοναλίτες (Ton)
- Πηγματίτες (Pgm)

4.1 Σωρρειτικά πετρώματα (Cum)

4.1.1 Μακροσκοπική περιγραφή

Η ομάδα των Cum αντιπροσωπεύεται από τα δείγματα KE-03 (Cum Px), KE-12 και KE-13 (Cum Hb). Είναι μεσόκοκκα και σκουρόχρωμα με γρανιτικό ιστό. Διακόπτονται από απλιτικές ή πηγματιτικές φλέβες (Εικ. 4.1α και β) και ενίοτε περιέχουν ξενόλιθους από πετρώματα του υποβάθρου. Τα ορυκτά που μπορούν να διακριθούν με μακροσκοπική παρατήρηση είναι η κεροστίλβη, η οποία σχηματίζει μεγάλους κρυστάλλους, ο πυρόξενος και τα πλαγιόκλαστα.



Εικόνα 4.1α: Μακροσκοπική εικόνα Cum Px.

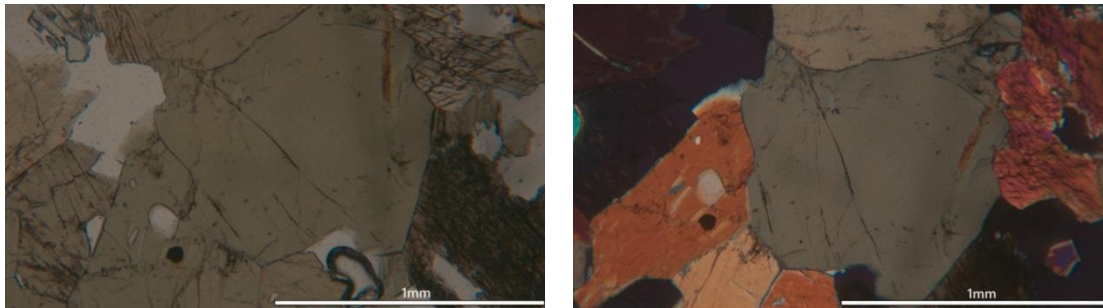


Εικόνα 4.1β: Μακροσκοπική εικόνα Cum Hb.

4.1.2 Μικροσκοπική εξέταση

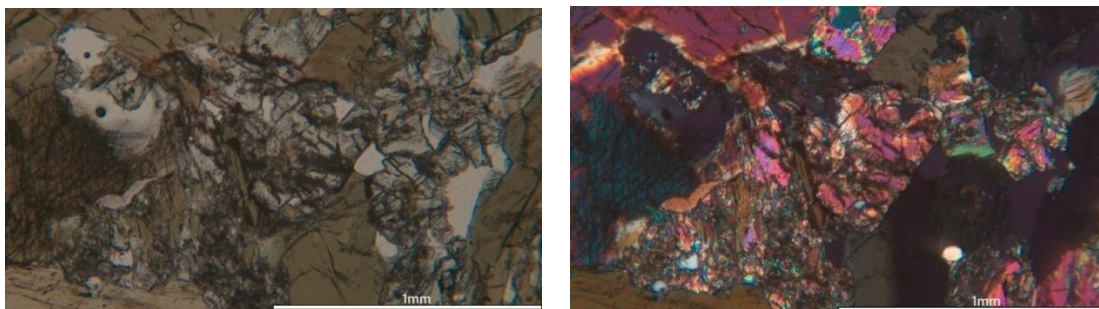
Τα πετρώματα της ομάδας, αν και σωρρειτικά, δεν εμφανίζουν πρωτογενή πυριγενή στρωμάτωση. Χαρακτηρίζονται ως σωρρειτικά επειδή έχουν πολύ μεγάλους κρυστάλλους, ειδικά κεροστίλβης. Τα κύρια ορυκτά που περιέχουν είναι κεροστίλβη (Hb), πυρόξενος (Px), πλαγιόκλαστο (Pl), ενίοτε χαλαζίας (Qz) και βιοτίτης (Bt), περίπου 2.2% σε ορισμένα δείγματα, ενώ ως επουσιώδη περιέχουν τιτανίτη (Tit), αλλανίτη (All), απατίτη (Ap) και ζirkόνιο (Zr).

Η Hb συμμετέχει με ποσοστά από 51% έως 71%. Έχει σκούρο πράσινο χρώμα με έντονο πλεοχροισμό. Σχηματίζει χαρακτηριστικά μεγάλους κρυστάλλους, υπιδιόμορφους έως ιδιόμορφους. Σε σημεία εμφανίζεται αλλοιωμένη σε χλωρίτη. Εμφανίζει διδυμία και ενίοτε εγκλείεται βιοτίτης μέσα της (Εικ. 4.2α και β).



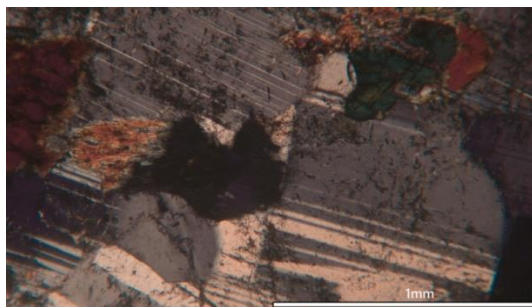
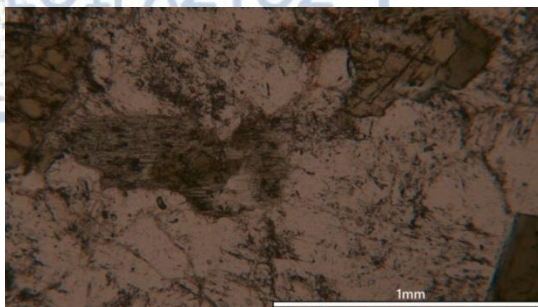
Εικόνες 4.2α και β: Κρύσταλλος Hb με N- (αριστερά) και N+ (δεξιά).

Ο Px συμμετέχει με ποσοστά από 6% έως 23.6%. Στην πλειοψηφία του εμφανίζεται ως ράκη και είναι άχρωμος. Σχηματίζει μικρούς κρυστάλλους, αλλοτριόμορφους ή αποστρογγυλεμένους. Μπορεί να εμφανιστεί και ουραλιτιωμένος. Τα ράκη Px δείχνουν γενικά πως το ορυκτό έχει ενυδατωθεί και αρχίζει να μετατρέπεται σε Hb (Εικ. 4.3α και β).



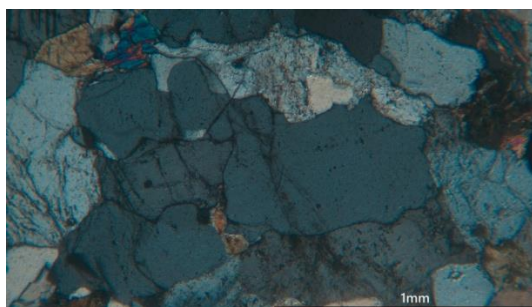
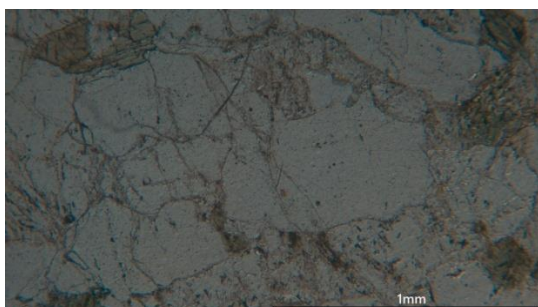
Εικόνες 4.3α και β: Ράκη και κρύσταλλοι Px με N- (αριστερά) και N+ (δεξιά).

Το Pl συμμετέχει με ποσοστά από 2 έως 32.6%. Γενικά, οι κρύσταλλοι είναι υπιδιόμορφοι, μικρού έως μεσαίου μεγέθους, με αλβιτική διδυμία και περικλινική πολυδυμία. Επίσης, οι κρύσταλλοι μπορεί να εμφανίζονται αλλοιωμένοι προς σερικίτη (Εικ. 4.4α και β).



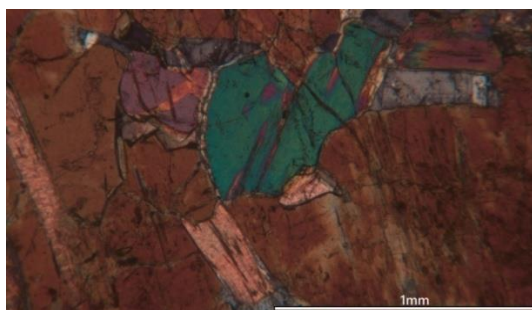
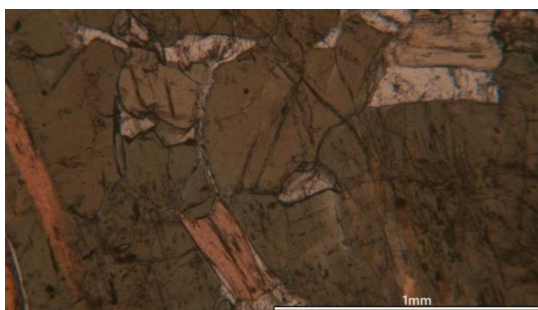
Εικόνες 4.4α και β: Κρύσταλλος Pl με N- (αριστερά) και N+ (δεξιά).

Ο Qz συμμετέχει με ποσοστά από 0.6 έως 1.8%. Άλλοτε σχηματίζει αλλοτριόμορφους κρυστάλλους και άλλοτε φλέβες ανάμεσα στα υπόλοιπα ορυκτά. Εμφανίζει κυματοειδή κατάσβεση (Εικ. 4.5α και β).



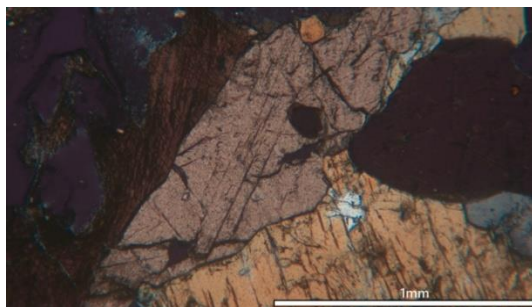
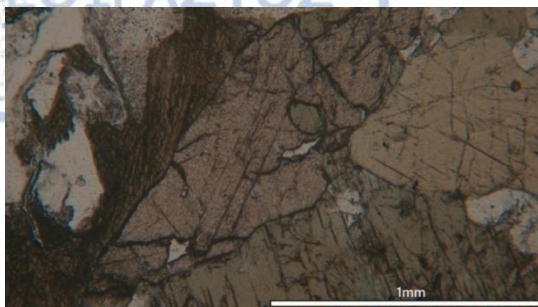
Εικόνες 4.5α και β: Κρύσταλλοι Qz με N- (αριστερά) και N+ (δεξιά).

Ο Bt είναι ελάχιστος στα σωρρειτικά πετρώματα και συμμετέχει με ποσοστά <1%. Σχηματίζει μικρούς υπιδιόμορφους κρυστάλλους με καστανό χρώμα και έντονο πλεοχροισμό. Στο δείγμα KE-13 εμφανίζεται με τη μορφή μικρών εγκλεισμάτων μέσα στην κεροστίλβη (Εικ. 4.6α και β).

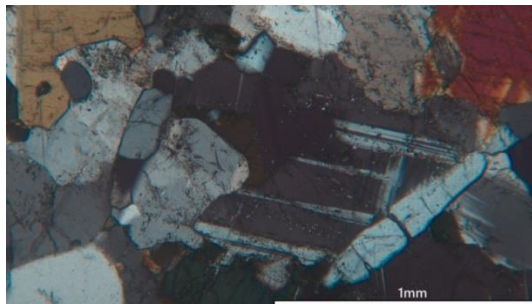
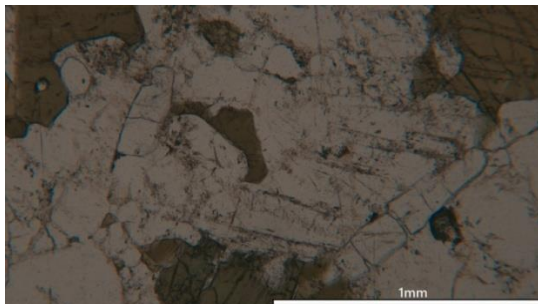


Εικόνες 4.6α και β: Κρύσταλλοι Bt με N- (αριστερά) και N+ (δεξιά).

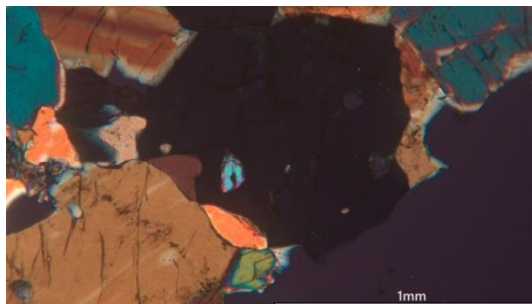
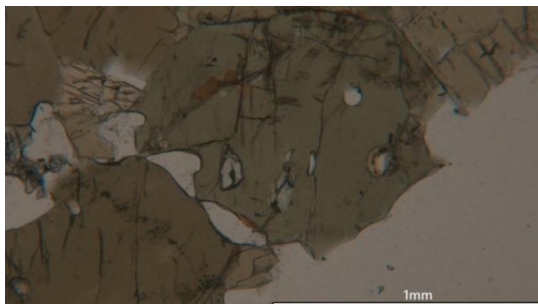
Τα επουσιώδη ορυκτά στα σωρρειτικά πετρώματα είναι Tit, All, Ar και Zr (Εικ. 4.7α και β, Εικ. 4.8α και β, Εικ. 4.9α και β). Ο Tit κυριαρχεί σε σχέση με τα υπόλοιπα, με ποσοστά που φτάνουν το 0.13%. Εμφανίζει ιδιόμορφους έως υπιδιόμορφους κρυστάλλους και έχει χαρακτηριστικό ρόδινο χρώμα (Εικ. 4.7α και β).



Εικόνες 4.7α και β: Κρύσταλλος Tit με N- (αριστερά) και N+ (δεξιά).



Εικόνες 4.8α και β: Κρύσταλλος Ar με N- (αριστερά) και N+ (δεξιά).



Εικόνες 4.9α και β: Κρύσταλλος Zr με N- (αριστερά) και N+ (δεξιά).

4.2 Γάββροι (Gb)

4.2.1 Μακροσκοπική περιγραφή

Η ομάδα των Gb αντιπροσωπεύεται από το δείγμα KE-05. Είναι σκουρόχρωμο, μεσόκοκκο και έχει γρανιτικό ιστό. Το συγκεκριμένο πέτρωμα διακόπτεται από πηγματιτικές φλέβες (Εικ. 4.10), που θα εξεταστούν σε επόμενη παράγραφο. Τα ορυκτά που αναγνωρίζονται μακροσκοπικά είναι η κεροστίλβη, η οποία σχηματίζει μεγάλους κρυστάλλους και τα πλαγιόκλαστα.

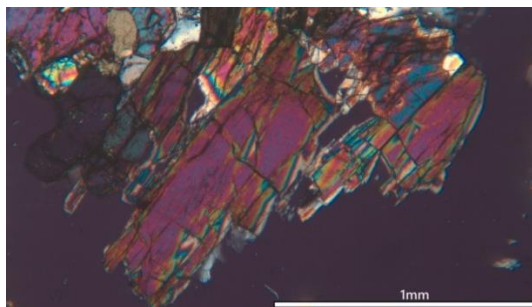
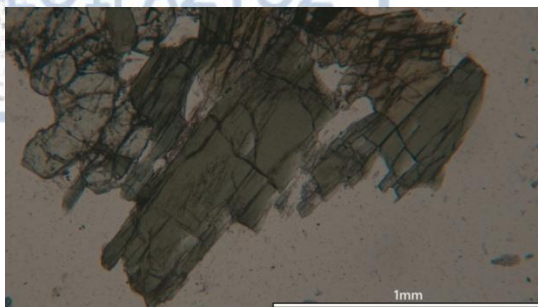


Εικόνα 4.10: Μακροσκοπική εικόνα γάββρου

4.2.2 Μικροσκοπική εξέταση

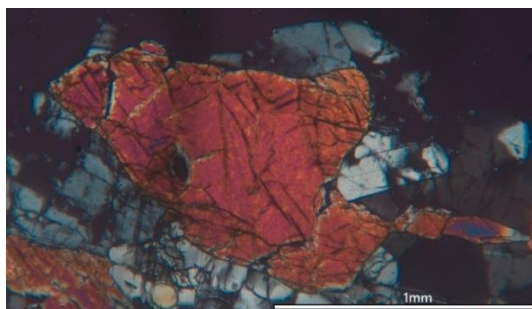
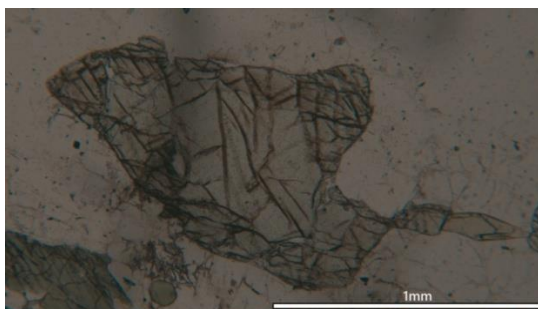
Ο ιστός των Gb είναι γρανιτικός. Τα κύρια ορυκτά που περιέχονται είναι κεροστίλβη (Hb), πυρόξενος (Px) και πλαγιόκλαστο (Pl). Δεν παρατηρήθηκαν επουσιώδη ορυκτά. Γενικά, τα ορυκτά του δείγματος εμφανίζουν προσανατολισμό, γεγονός που δείχνει την τεκτονική καταπόνηση που έχουν δεχτεί τα πετρώματα με την πάροδο του γεωλογικού χρόνου.

Η Hb κυριαρχεί στο δείγμα του Gb, με ποσοστό 47.5%. Συχνά εμφανίζεται αποχρωματισμένη, γεγονός που έρχεται σε αντίθεση με το σκούρο πράσινο χρώμα της Hb στην ομάδα των σωρρεϊτικών πετρωμάτων. Σχηματίζει μεγάλους ιδιόμορφους έως υπιδιόμορφους κρυστάλλους (Εικ. 4.11α και β).



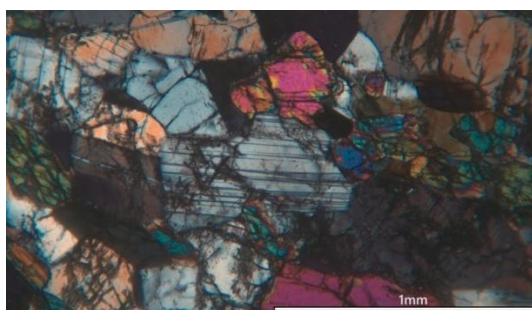
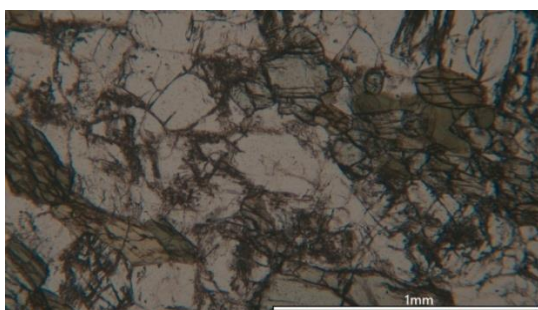
Εικόνες 4.11α και β: Κρύσταλλος Hb με N- (αριστερά) και N+ (δεξιά).

Ο Px συμμετέχει με ποσοστό 10.9%. Σχηματίζει μικρούς έως μεσαίου μεγέθους κρυστάλλους, οι οποίοι είναι αλλοτριόμορφοι ή αποστρογγυλεμένοι. Συχνά εμφανίζεται αποχρωματισμένος (Εικ. 4.12α και β).



Εικόνες 4.12α και β: Κρύσταλλος Px με N- (αριστερά) και N+ (δεξιά).

Το Pl συμμετέχει με ποσοστό 41.65%. Σχηματίζει μικρούς έως μεσαίου μεγέθους κρυστάλλους, οι οποίοι είναι υπιδιόμορφοι έως αλλοτριόμορφοι. Παρατηρείται αλβιτική πολυδυμία (Εικ. 4.13α και β).



Εικόνες 4.13α και β: Κρύσταλλοι Pl με N- (αριστερά) και N+ (δεξιά).

4.3 Διορίτες και Χαλαζιακοί μονζοδιορίτες (Dr, Q-MzDr)

4.3.1 Μακροσκοπική παρατήρηση

Η ομάδα των Dr και Qz-MzDr αντιπροσωπεύεται από τα δείγματα KE-07, KE-08 (Hb Dr), KE-10 (Px-Hb Dr) και KE-14 (Qz-MzDr). Μακροσκοπικά υπάρχουν διαφορές μεταξύ αυτών των δειγμάτων, με κύρια να είναι το χρώμα τους. Τα δείγματα KE-07, KE-08 και KE-10 έχουν σκούρο χρώμα, ενώ το δείγμα KE-14 είναι πιο ανοιχτόχρωμο. Μία άλλη διαφορά μεταξύ των δειγμάτων είναι το μέγεθος των κρυστάλλων. Τα δείγματα KE-07 και KE-08 συλλέχθηκαν από μικρή απόσταση μεταξύ τους, ωστόσο το KE-07 είναι αρκετά πιο αδρόκοκκο από το KE-08.

Επίσης, παρατηρήθηκε ζώνη μεταμόρφωσης επαφής στο δείγμα KE-08, το οποίο βρίσκεται σε επαφή με ανθρακικά πετρώματα (Εικ. 4.14). Πρόκειται για μία εξαιρετικά λεπτή ζώνη skarn (πάχος 10-20 cm), στην οποία έχουν σχηματιστεί ορυκτά μεταμόρφωσης επαφής, όπως επίδοτο και ασβεστίτης (Εικ. 4.15). Το γεγονός ότι η ζώνη αυτή είναι τόσο λεπτή δείχνει ότι όλη η διαδικασία έγινε σε μεγάλο βάθος.



Εικόνα 4.14: Μακροσκοπική εικόνα Dr πετρωμάτων.

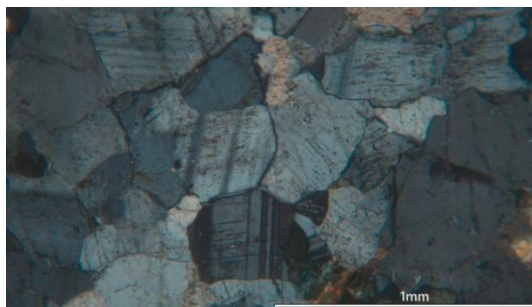
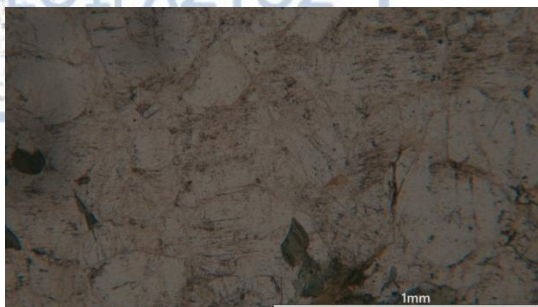


Εικόνα 4.15: Επαφή ανθρακικών πετρωμάτων με τον Dr. Παρατηρούνται ροζ και πράσινα χρώματα από τα ορυκτά του skarn (ασβεστίτης και επίδοτο).

4.3.2 Μικροσκοπική εξέταση

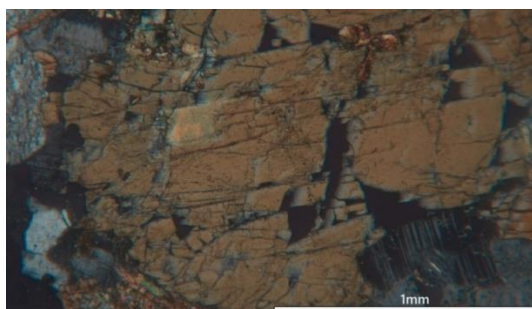
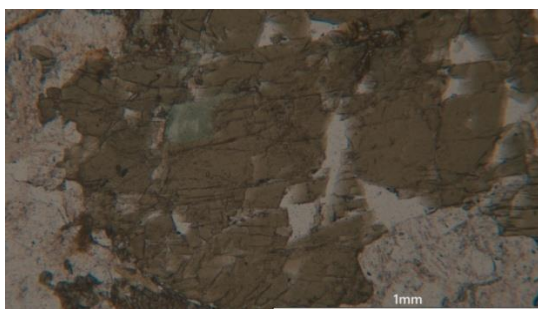
Ο ιστός των Dr και Q-MzDr είναι γρανιτικός. Τα κύρια ορυκτά που περιέχουν είναι πλαγιόκλαστο (Pl), κερυστίλβη (Hb), βιοτίτης (Bt), πυρόξενος (Px), χαλαζίας (Qz) και ορθόκλαστο (Or). Τα επουσιώδη ορυκτά που παρατηρήθηκαν είναι τιτανίτης (Tit), απατίτης (Ap), αλλανίτης (All), ζιρκόνιο (Zr), καθώς και μεταλλικά ορυκτά.

Το Pl συμμετέχει με ποσοστά από 24.4 έως 66%. Σχηματίζει μικρούς έως μεσαίους υπιδιόμορφους κρυστάλλους. Εμφανίζονται αρκετά καολινιωμένοι και έχουν αλβιτική πολυδυμία (Εικ. 4.16α και β). Στα δείγματα KE-07 και KE-08 επικρατεί, ενώ στο δείγμα KE-14 το βρίσκουμε μαζί με Or.



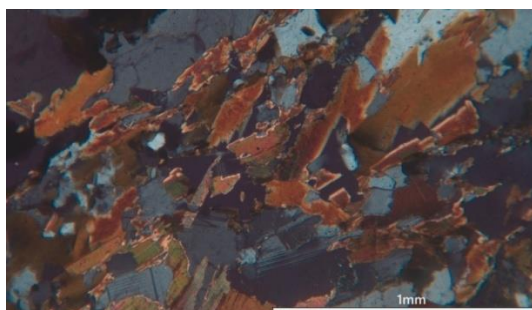
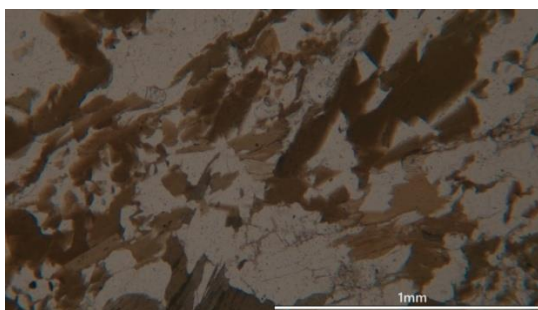
Εικόνες 4.16α και β: Κρύσταλλοι Pl με N- (αριστερά) και N+ (δεξιά).

Η Hb συμμετέχει με ποσοστά από 10.5 έως 51.8%. Εμφανίζεται με πράσινο χρώμα και έντονο πλεοχροϊσμό. Σχηματίζει μικρούς έως μεσαίους κρυστάλλους, οι οποίοι είναι υπιδιόμορφοι. Ενίοτε εμφανίζεται αλλοιωμένη σε χλωρίτη (Chl) (Εικ. 4.17α και β).



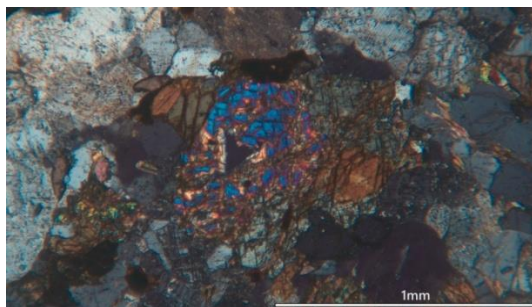
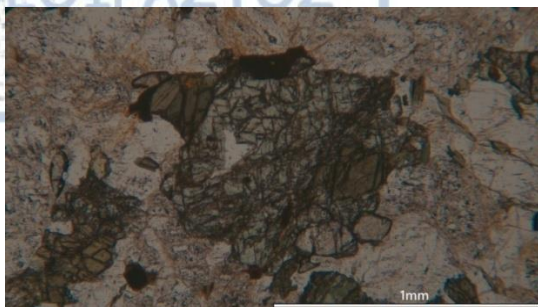
Εικόνες 4.17α και β: Κρύσταλλος Hb με N- (αριστερά) και N+ (δεξιά).

Ο Bt συμμετέχει με ποσοστά από 0 έως 21.5%. Έχει καστανό χρώμα με έντονο πλεοχροϊσμό και σχηματίζει φυλλώδεις ιδιόμορφους κρυστάλλους, μεσαίου έως μεγάλου μεγέθους. Στο δείγμα KE-14 εμφανίζεται κεκαμμένος (Εικ. 4.18α και β).



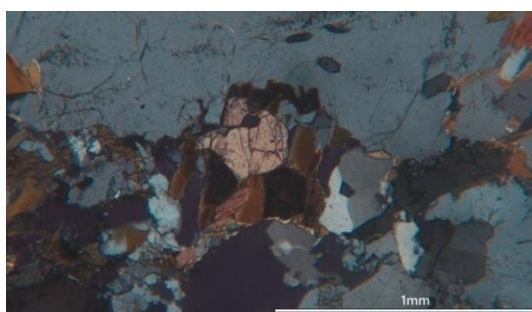
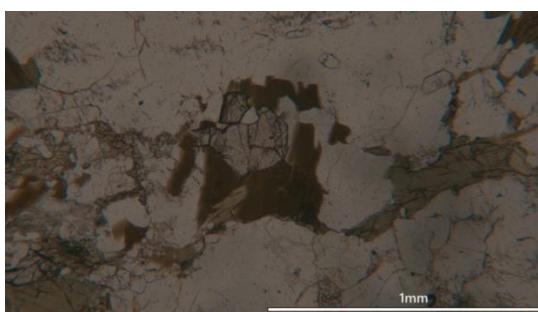
Εικόνες 4.18α και β: Κρύσταλλοι Bt με N- (αριστερά) και N+ (δεξιά).

Ο Px συμμετέχει με ποσοστά από 0 έως 6%. Εμφανίζεται άχρωμος με μικρούς έως μεσαίους κρυστάλλους, οι οποίοι είναι αλλοτριόμορφοι ή αποστρογγυλεμένοι (Εικ. 4.19α και β).



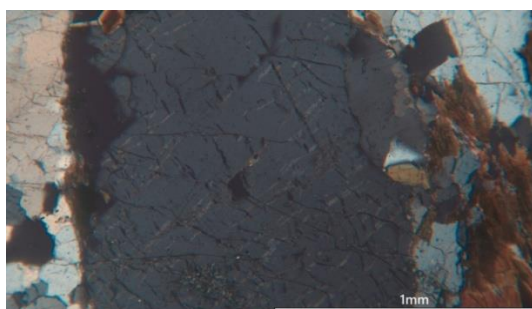
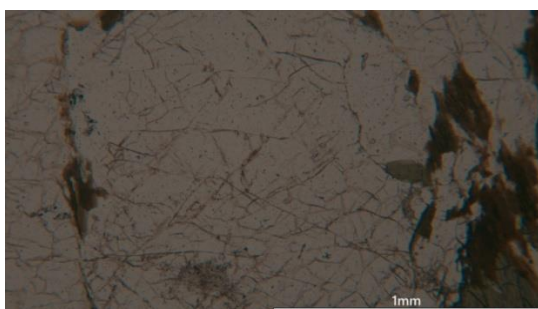
Εικόνες 4.19α και β: Κρύσταλλος Px με N- (αριστερά) και N+ (δεξιά).

Ο Qz συμμετέχει με ποσοστά από 6.7 έως 16.1%. Σχηματίζει μικρούς έως μεσαίους αλλοτριόμορφους κρυστάλλους και εμφανίζει κυματοειδή κατάσβεση (Εικ. 4.20α και β).



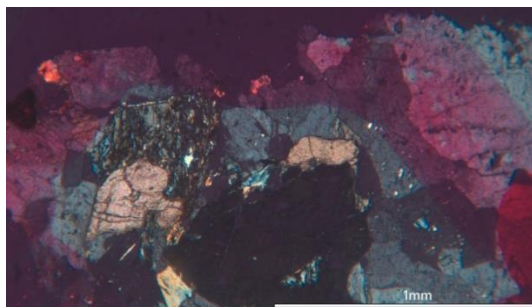
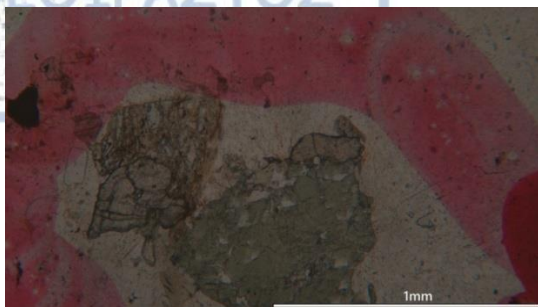
Εικόνες 4.20α και β: Κρύσταλλοι Qz με N- (αριστερά) και N+ (δεξιά).

Το Or συμμετέχει με ποσοστά από 1.1 έως 3.3%. Σχηματίζει μικρούς έως μεσαίους υπιδιόμορφους κρυστάλλους, οι οποίοι στην πλειοψηφία τους είναι σερικιτιωμένοι. Παρατηρήθηκε και διδυμία Carlsbad (Εικ. 4.21α και β).

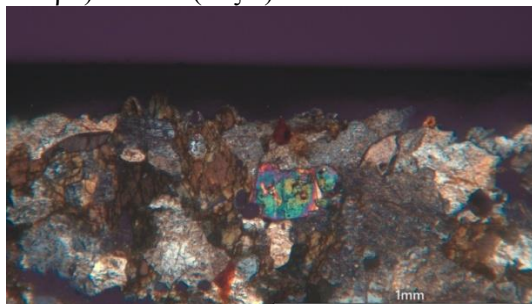
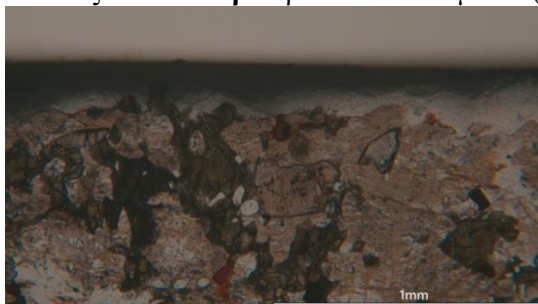


Εικόνες 4.21α και β: Κρύσταλλος Or με N- (αριστερά) και N+ (δεξιά).

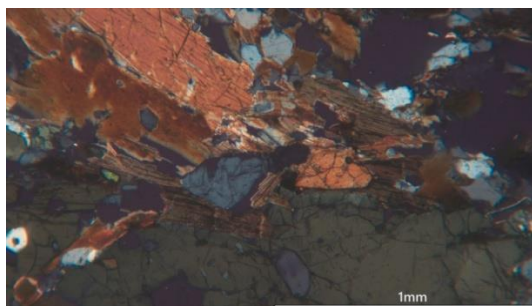
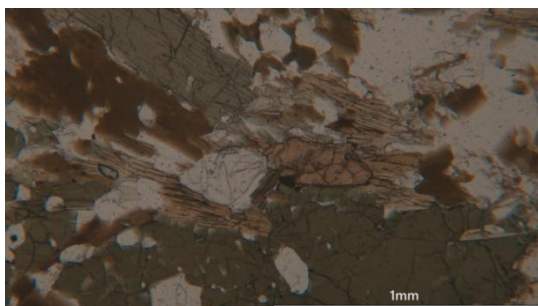
Τα επουσιώδη ορυκτά σε αυτή την ομάδα πετρωμάτων είναι Tit, All, Ap και Zr. Επίσης υπάρχουν και μεταλλικά ορυκτά με χαρακτηριστικό τετράγωνο σχήμα, οπότε είναι πιθανό να είναι σιδηροπυρίτης (Py) (Εικ. 4.22α και β, Εικ. 4.23α και β, Εικ. 4.24α και β, Εικ. 4.25α και β).



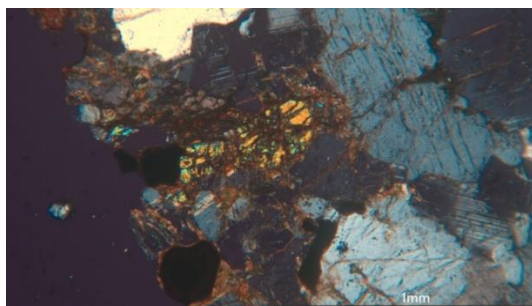
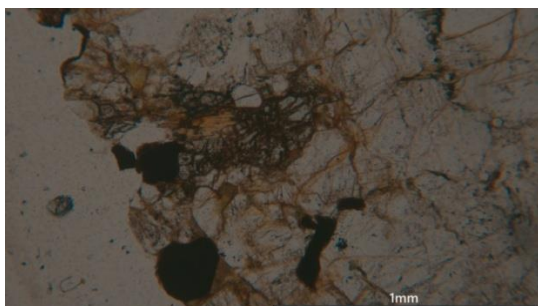
Εικόνες 4.22α και β: Κρύσταλλοι Tit με N- (αριστερά) και N+ (δεξιά).



Εικόνες 4.23α και β: Κρύσταλλος All με N- (αριστερά) και N+ (δεξιά).



Εικόνες 4.24α και β: Κρύσταλλος Ar με N- (αριστερά) και N+ (δεξιά).



Εικόνες 4.25α και β: Κρύσταλλοι μεταλλικών ορυκτών με N- (αριστερά) και N+ (δεξιά).

4.4 Τοναλίτες (Ton)

4.4.1 Μακροσκοπική περιγραφή

Η ομάδα Ton αντιπροσωπεύεται από τα δείγματα KE-04 και KE-11. Είναι ανοιχτόχρωμα πετρώματα με κρυστάλλους μεσαίου μεγέθους. Μακροσκοπικά τα ορυκτά που διακρίνονται είναι ο χαλαζίας, οι άστριοι και η κεροστίλβη. Το δείγμα KE-11 βρέθηκε ιδιαίτερα αποσαθρωμένο (Εικ. 4.26) και για την κατασκευή λεπτής τομής χρειάστηκε να γίνει εμποτισμός.

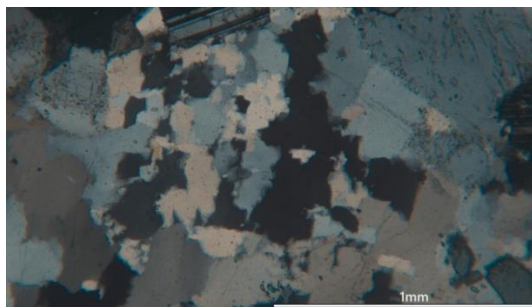
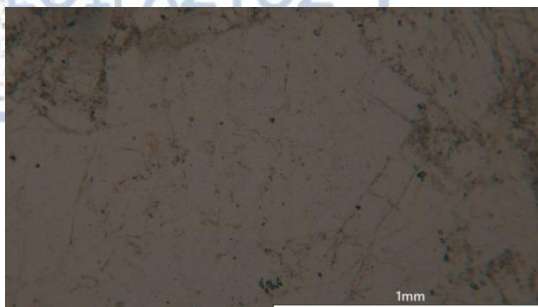


Εικόνα 4.26: Μακροσκοπική εικόνα Ton (δείγμα KE-11). Φαίνεται έντονα η αποσάθρωση του πετρώματος.

4.4.2 Μικροσκοπική εξέταση

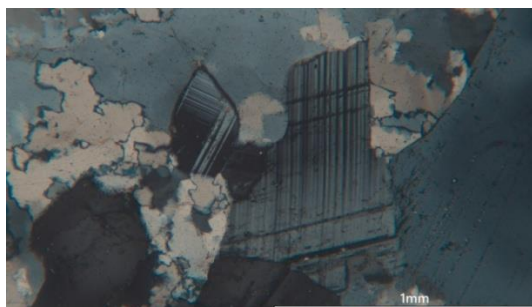
Ο ιστός στους Ton είναι γρανιτικός και οι κρύσταλλοι έχουν μεσαίο μέγεθος. Τα κύρια ορυκτά είναι ο χαλαζίας (Qz), το πλαγιόκλαστο (Pl), η κεροστίλβη (Hb), το ορθόκλαστο (Or) και σε μικρότερα ποσοστά βιοτίτης (Bt) και ελάχιστος πυρόξενος (Px), με ποσοστό 0.5%. Τα επουσιώδη που συμμετέχουν είναι απατίτης (Ap), ζirkόνιο (Zr), χλωρίτης (Chl) και αλλανίτης (All).

Ο Qz συμμετέχει με ποσοστά από 21.2 έως 47.1%. Σχηματίζει αλλοτριόμορφους κρυστάλλους μικρού έως μεσαίου μεγέθους και εμφανίζει κυματοειδή κατάσβεση (Εικ. 4.27α και β).



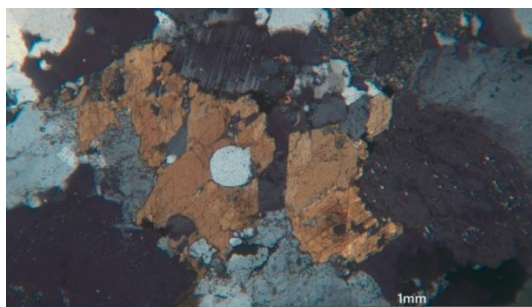
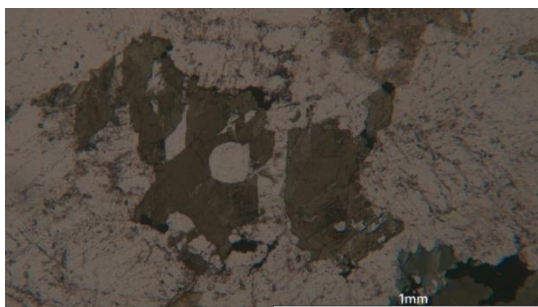
Εικόνες 4.27α και β: Κρύσταλλοι Qz με N- (αριστερά) και N+ (δεξιά).

Το Pl συμμετέχει με ποσοστά από 45.2 έως 51.3%. Σχηματίζει μεσαίους έως και μεγάλους κρυστάλλους υπιδιόμορφου σχήματος. Έχει αλβιτική και περικλινική διδυμία, ενώ ορισμένοι κρύσταλλοι εμφανίζουν και ζώνωση. Στο δείγμα KE-04 το πλαγιόκλαστο εμφανίζεται ελαφρώς καολινιωμένο και σερικιτιωμένο. Οι αντίστοιχες αλλοιώσεις στο δείγμα KE-11 είναι πιο εκτεταμένες (Εικ. 4.28α και β).



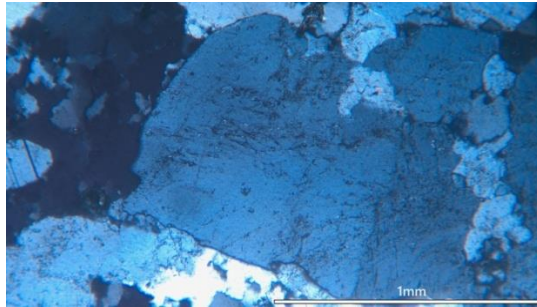
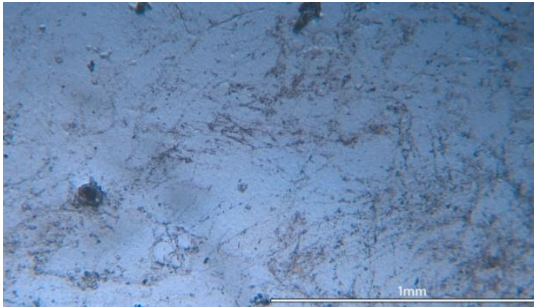
Εικόνες 4.28α και β: Κρύσταλλοι Pl με N- (αριστερά) και N+ (δεξιά).

Η Hb συμμετέχει με ποσοστά από 2.2 έως 14.5%. Σχηματίζει υπιδιόμορφους κρυστάλλους μεσαίου μεγέθους. Είναι πράσινη, αποχρωματισμένη σε σημεία, με πλεοχροϊσμό. Ο διπλός σχισμός είναι ορατός σε αρκετούς κρυστάλλους, ενώ ορισμένοι παρουσιάζουν και διδυμία. Συχνά εμφανίζεται αλλοιωμένη σε Chl (Εικ. 4.29α και β).



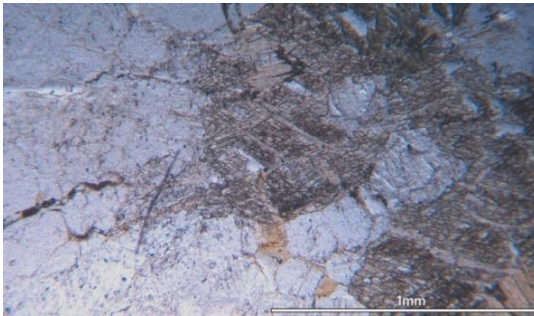
Εικόνες 4.29α και β: Κρύσταλλοι Hb με N- (αριστερά) και N+ (δεξιά).

Το Or συμμετέχει με ποσοστά από 2.51 έως 10.6%. Σχηματίζει υπιδιόμορφους κρυστάλλους μεσαίου μεγέθους, χωρίς κάποιο ιδιαίτερο χαρακτηριστικό ή διδυμία. Μερικές φορές εμφανίζονται ελαφρώς καολινιωμένοι (Εικ. 4.30α και β).



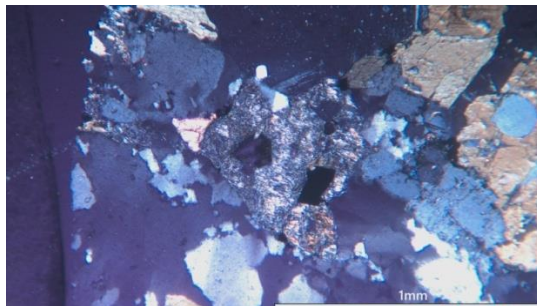
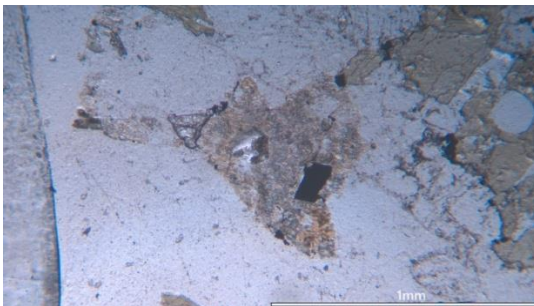
Εικόνες 4.30α και β: Κρύσταλλοι Or με N- (αριστερά) και N+ (δεξιά).

Ο Bt συμμετέχει μόνο στο δείγμα KE-11, με ποσοστό 1.3%. Σχηματίζει μικρούς υπιδιόμορφους κρυστάλλους με πρισματική μορφή. Είναι καστανός και παρουσιάζει έντονο πλεοχροϊσμό. Συναντάται αλλοιωμένος σε Chl και συχνά βρίσκεται μέσα σε κρυστάλλους Hb (Εικ. 4.31α και β).



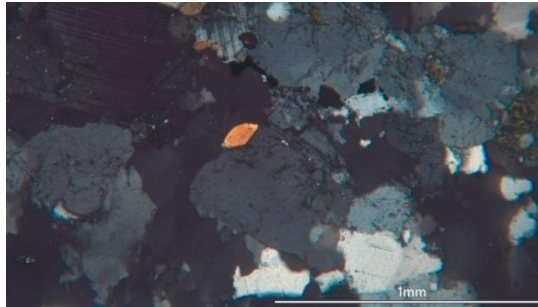
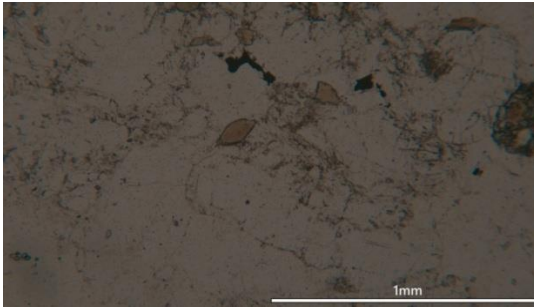
Εικόνες 4.31α και β: Κρύσταλλοι Bt μέσα σε Hb με N- (αριστερά) και N+ (δεξιά).

Ο Px συμμετέχει με ποσοστά από 0 έως 0.5%, ως ράκη. Οι κρύσταλλοι είναι μικροί και υπιδιόμορφοι έως αλλοτριόμορφοι (Εικ. 4.32α και β).

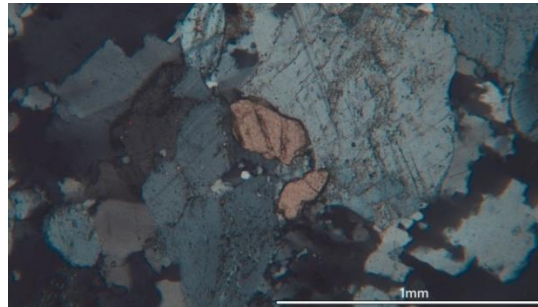
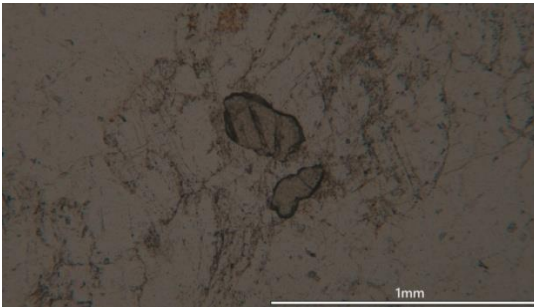


Εικόνες 4.32α και β: Ράκη Px N- (αριστερά) και N+ (δεξιά).

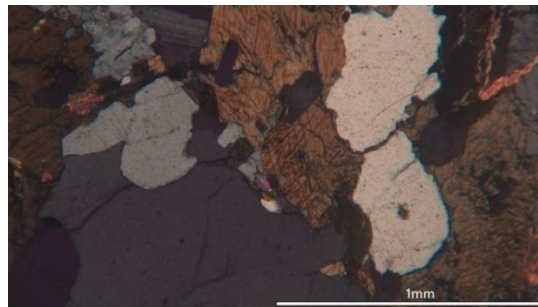
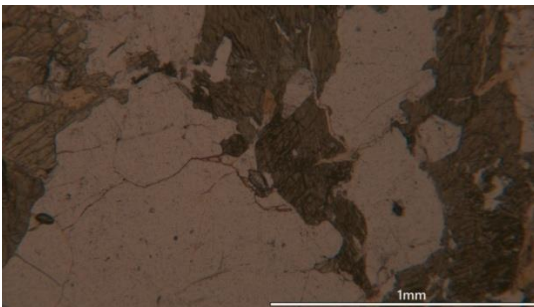
Στα επουσιώδη ορυκτα κυριαρχεί ο Chl, καθώς προκύπτει ως προϊόν αλλοίωσης τόσο της Hb όσο και του Bt. Επίσης υπάρχει αρκετός Ap. Τέλος ακολουθούν το Zr και ο All, οποίος εμφανίζεται και με ζώνωση (Εικ. 4.33α και β, Εικ. 4.34α και β, Εικ. 4.35α και β).



Εικόνες 4.33α και β: Κρύσταλλος All με N- (αριστερά) και N+ (δεξιά).



Εικόνες 4.34α και β: Κρύσταλλοι Tit με N- (αριστερά) και N+ (δεξιά).



Εικόνες 4.35α και β: Κρύσταλλος Zr με N- (αριστερά) και N+ (δεξιά).

4.5 Πηγματίτες (Pgm)

4.5.1 Μακροσκοπική περιγραφή

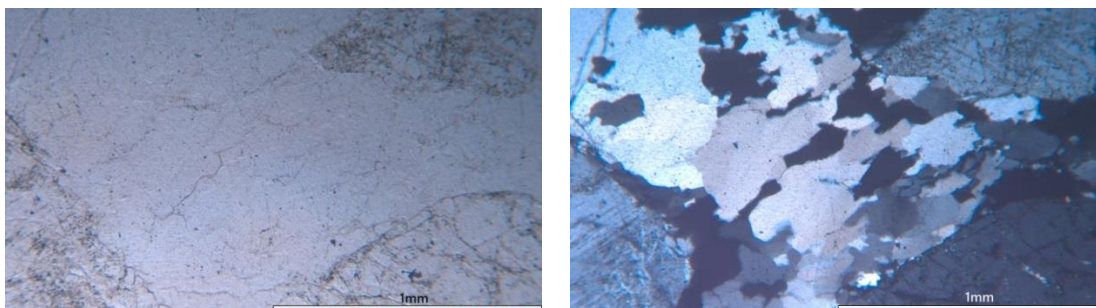
Οι Pgm αντιπροσωπεύονται από το δείγμα KE-06. Συναντώνται σε όλη την έκταση του πλουτωνίτη με τη μορφή ακανόνιστων φλεβών, ωστόσο είναι περισσότερες στα βόρεια και νότια του πλουτωνίτη (Εικ. 4.10 και 4.14). Τέμνουν τόσο τα πυριγενή πετρώματα, όσο και τα πετρώματα του υποβάθρου. Ο Pgm είναι μεσόκοκκος με λευκό χρώμα.

4.5.2 Μικροσκοπική εξέταση

Ο Pgm έχει πηγματιτικό ιστό. Τα κύρια ορυκτά που περιέχει είναι χαλαζίας (Qz), μικροκλινής (Mic), πλαγιόκλαστο (Pl) και ελάχιστος βιοτίτης (Bt). Τα επουσιώδη ορυκτά

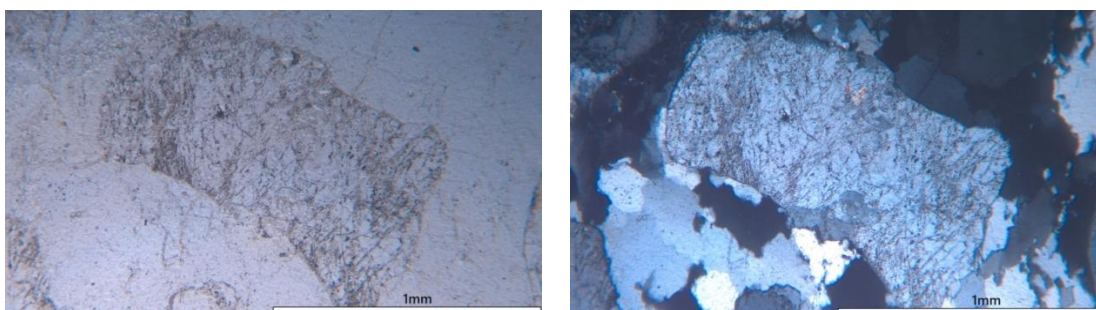
που συμμετέχουν είναι επίδοτο (Ep), κλινοζοϊσίτης (Czs), αλλανίτης (All), ασβεσίτης (Cc) και χλωρίτης (Chl). Η ύπαρξη των ασβεστούχων αυτών ορυκτών σχετίζεται με μικρές εμφανίσεις ανθρακικών πετρωμάτων στην περιοχή (Σχ 3.2).

Ο Qz βρίσκεται επικρατεί στο δείγμα. Σχηματίζει αλλοτριόμορφους κρυστάλλους μεσαίου μεγέθους. Εμφανίζει κυματοειδή κατάσβεση και λοβοειδή όρια (Εικ. 4.36α και β).



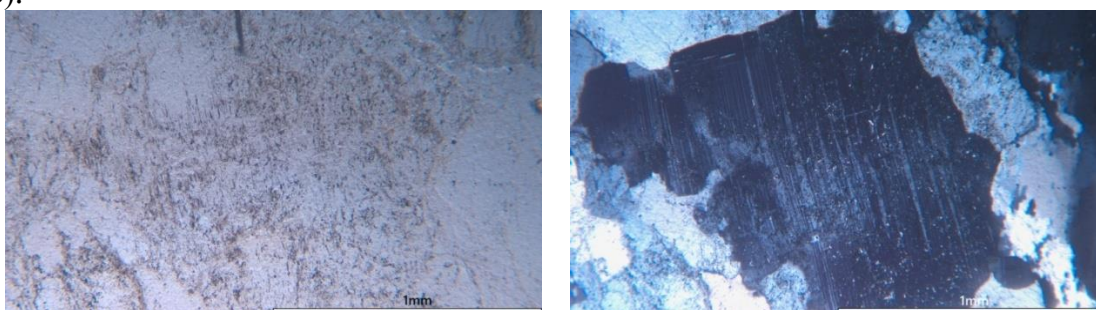
Εικόνες 4.36α και β: Κρύσταλλοι Qz με N- (αριστερά) και N+ (δεξιά).

Ο Mic σχηματίζει μεσαίους έως και μεγάλους υπιδιόμορφους κρυστάλλους. Παρατηρείται μικροκλινική πολυδυμία και συχνά εμφανίζεται καολινωμένος (Εικ. 4.37 α και β).



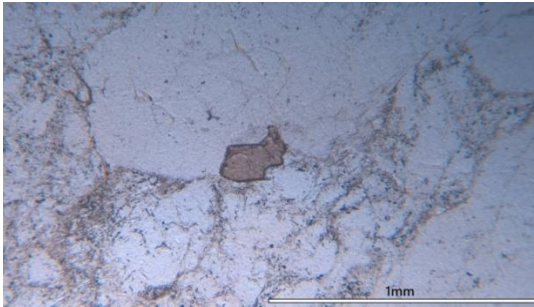
Εικόνες 4.37α και β: Κρύσταλλος Mic με N- (αριστερά) και N+ (δεξιά).

Το Pl σχηματίζει υπιδιόμορφους κρυστάλλους μεσαίου μεγέθους. Εμφανίζει αλβιτική και περικλινική διδυμία και αλλοιώνεται σε σερικήτη και καολίνη (Εικ. 4.38α και β).

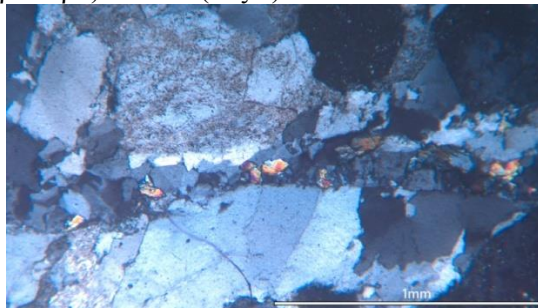
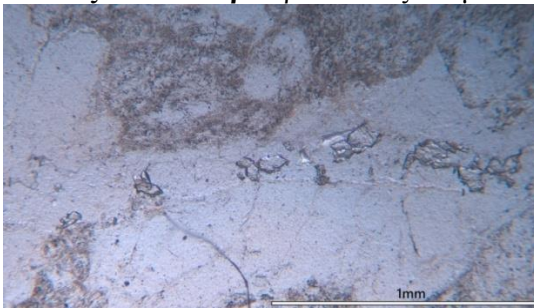


Εικόνες 4.38α και β: Κρύσταλλος Pl με N- (αριστερά) και N+ (δεξιά).

Από επουσιώδη ορυκτά διακρίνονται All, Ep και Czs. Τα δύο τελευταία φαίνεται να βρίσκονται σε μικρές φλέβες μέσα στο δείγμα (Εικ. 4.39α και β, Εικ. 4.40α και β).



Εικόνες 4.39α και β: Κρύσταλλος All με N- (αριστερά) και N+ (δεξιά).



Εικόνες 4.40α και β: Κρύσταλλοι Ep και Czs σε φλέβα με N- (αριστερά) και N+ (δεξιά).

5. Γεωχημεία

5.1 Γενικά

Για τη γεωχημική εξέταση του πλουτωνίτη του Κενταύρου χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα από 11 αναλύσεις (Πιν. 5.1). Πιο συγκεκριμένα αναλύθηκαν: 3 δείγματα σωρρεϊτικών πετρωμάτων, 3 δείγματα διοριτών, 2 δείγματα τοναλίτων, 1 δείγμα γάββρου, 1 δείγμα χαλαζιακού μονζοδιορίτη και 1 δείγμα πηγματίτη και προσδιορίστηκαν οι τιμές των κύριων στοιχείων και ορισμένων ιχνοστοιχείων.

Πίνακας 5.1: Χημικές αναλύσεις κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων στα δείγματα του πλουτωνίτη του Κενταύρου με τη μέθοδο XRF.

Δείγμα	KE-12	KE-13	KE-03	KE-05	KE-08	KE-07
Πετρογραφικός τύπος	Cum Hb	Cum Hb	Cum Px	Gb	Hb Dr	Hb Dr
SiO ₂	49.08	51.29	51.35	49.27	50.95	55.01
TiO ₂	1.43	1.10	1.01	0.33	0.86	0.42
Al ₂ O ₃	8.68	11.45	4.34	18.77	13.97	18.33
FeO	10.70	9.75	11.26	6.22	7.16	4.94
MnO	0.17	0.18	0.28	0.10	0.06	0.07
MgO	13.55	10.13	16.35	7.84	4.24	3.18
CaO	11.27	10.34	12.03	12.60	12.46	8.19
K ₂ O	0.99	1.07	0.80	0.53	2.18	0.98
Na ₂ O	2.21	3.04	1.36	2.13	3.73	6.12
P ₂ O ₅	0.39	0.65	0.19	0.01	0.96	0.61
LOI	1.299	0.796	0.866	2.089	3.102	1.947
Rb	7.46	4.01	4.58	10.57	50.39	0
Sr	646.33	751.44	168.57	210.43	1318.35	1307.98
Ba	234.32	141.35	28.79	18.39	867.88	375.28
Cr	581.95	305.79	576.27	297.21	40.37	37.86
Ni	165.40	102.99	227.98	98.77	17.97	8.39
Pb	0	0	0	0	19.30	8.93
Zr	127.70	93.25	80.19	36.43	411.45	100.53
Y	28.19	25.79	48.02	10.25	27.64	24.78
Nb	19.23	20.94	20.21	0	29.71	5.57
V	242.22	240.27	163.97	163.13	104.36	81.19
Co	44.49	38.19	48.23	23.51	24.75	16.04
Cu	66.80	105.87	2.94	7.21	50.53	38.03
Zn	76.08	101.75	171.98	47.88	112.44	73.71
Sc	20.89	26.54	34.28	39.22	29.62	19.57
Ga	16.23	14.09	10.31	20.51	19.89	23.87

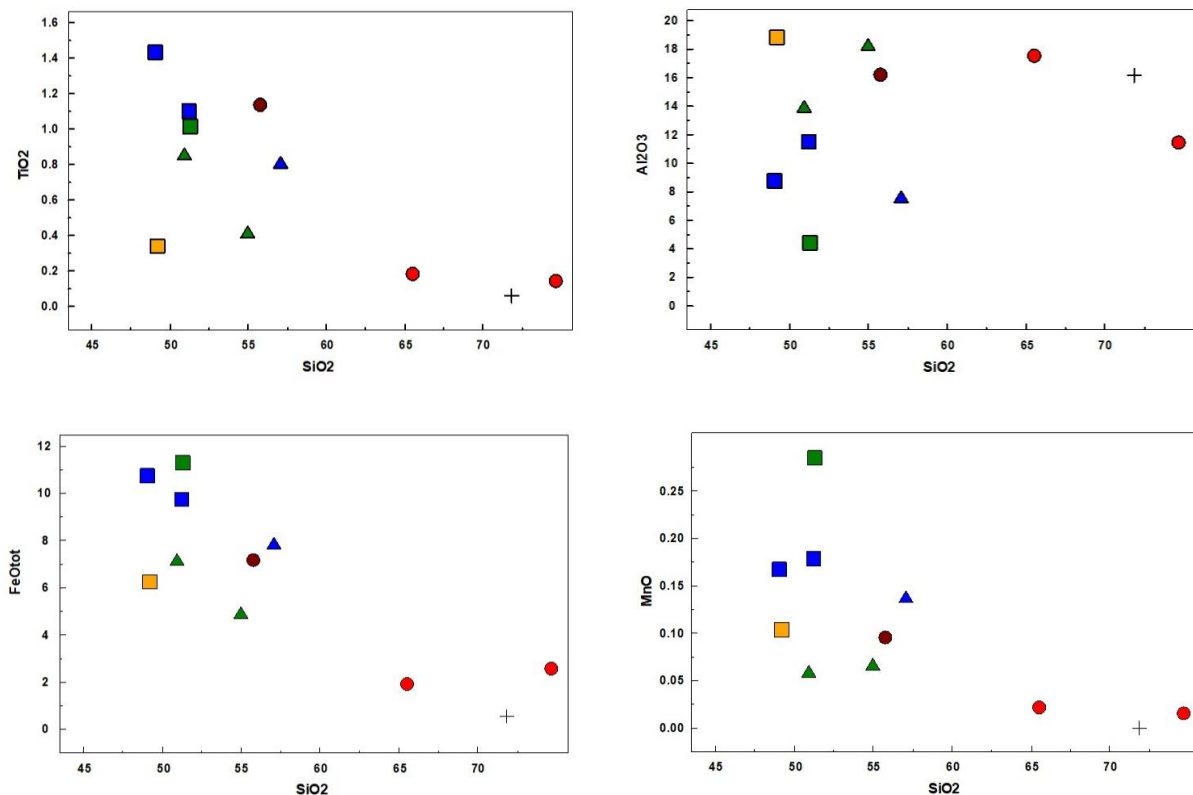
Πίνακας 5.1 συνέχεια

Δείγμα	KE-10	KE-14	KE-11	KE-04	KE-06
Πετρογραφικός τύπος	Px-Hb Dr	Qz-MzDr	Ton	Ton	Pgm
SiO ₂	57.11	55.80	65.60	74.77	71.92
TiO ₂	0.81	1.13	0.18	0.14	0.06
Al ₂ O ₃	7.59	16.09	17.46	11.41	16.14
FeO	7.87	7.13	1.88	2.53	0.51
MnO	0.14	0.10	0.02	0.01	0
MgO	11.00	5.57	1.25	0.88	0.20
CaO	10.93	6.07	6.38	5.67	3.41
K ₂ O	0.99	2.54	1.17	0.79	1.23
Na ₂ O	2.32	4.02	5.04	2.94	5.86
P ₂ O ₅	0.26	0.68	0.26	0	0.02
LOI	0.786	0.602	0.595	0.738	0.527
Rb	7.45	46.68	3.35	13.28	4.52
Sr	569.89	1139.24	1162.40	358.13	835.85
Ba	123.82	830.36	154.25	17.9	240.92
Cr	568.97	47.73	27.32	35.96	31.93
Ni	175.93	29.91	10.70	35.96	10.49
Pb	0	9.58	16.90	17.68	8.18
Zr	102.38	212.82	78.35	464.45	56.95
Y	27.52	19.69	12.17	97.61	3.19
Nb	12.56	11.58	3.10	5.44	0
V	187.02	130.67	26.92	8.41	0
Co	31.85	24.55	1.96	4.13	0
Cu	17.54	36.59	4.53	9.84	6.07
Zn	71.24	95.10	20.79	11.56	4.97
Sc	29.90	16.80	22.80	27.22	9.04
Ga	8.02	26.28	20.69	17.86	18.62

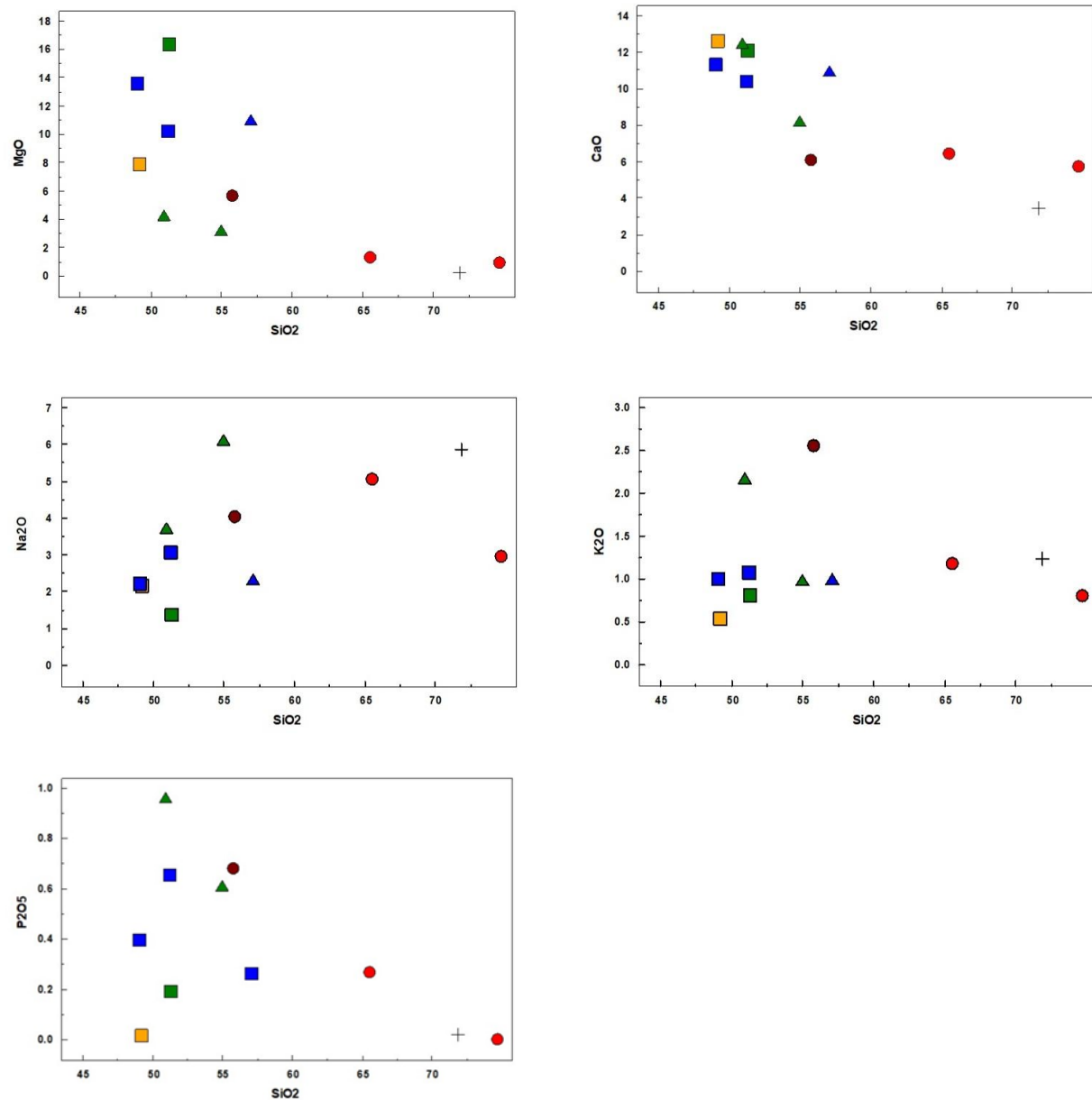
5.2 Κύρια στοιχεία

Για τη μελέτη της μεταβολής της χημικής σύστασης του πλουτωνίτη του Κενταύρου με βάση τα κύρια στοιχεία, χρησιμοποιούνται τα δεδομένα των αναλύσεων με XRF (Πιν. 5.1). Από αυτά κατασκευάζονται τα διαγράμματα μεταβολής. Η συμπεριφορά των οξειδίων αναλύεται με διαγράμματα μεταβολής ως προς το SiO_2 και το MgO . Ο λόγος που χρησιμοποιείται και το MgO ως δείκτης διαφοροποίησης είναι επειδή το εύρος του SiO_2 είναι μεγάλο και η πλειοψηφία των δειγμάτων είναι βασικά και ενδιάμεσα πετρώματα, τα οποία περιέχουν μεγάλο ποσοστό MgO .

Όσον αφορά τη μεταβολή των κύριων στοιχείων με δείκτη διαφοροποίησης το SiO_2 , διακρίνονται δύο ομάδες: μία είναι αυτή των βασικών και ενδιάμεσων πετρωμάτων (KE-03, KE-05, KE-07, KE-08, KE-10, KE-12, KE-13 και KE-14 με SiO_2 49.08-55.8%) και η άλλη είναι αυτή των όξινων πετρωμάτων (KE-04, KE-06 και KE-11 με SiO_2 65.6-74.77%) (Σχ. 4.1).



Σχήμα 5.1: Μεταβολή κύριων χημικών στοιχείων ως προς SiO_2 . Συμβολισμός όπως στο Σχ 4.1.



Σχήμα 5.1 συνέχεια.

Το TiO_2 για τα βασικά και ενδιάμεσα πετρώματα παρουσιάζει αρνητική τάση με τιμές από 1.43 έως 0.33%. Στην ομάδα των όξινων πετρωμάτων το TiO_2 δεν παρουσιάζει τάση και έχει τιμές από 0.06 έως 0.18%.

Το Al_2O_3 για τα βασικά και ενδιάμεσα πετρώματα παρουσιάζει θετική τάση με τιμές από 4.34 έως 18.77%. Στα όξινα πετρώματα το Al_2O_3 παρουσιάζει αρνητική τάση με τιμές από 17.46 έως 11.41%.

Ο FeO_{tot} για τα βασικά και ενδιάμεσα πετρώματα παρουσιάζει αρνητική τάση με τιμές από 11.26 έως 4.94%. Στα όξινα πετρώματα ο FeO_{tot} παρουσιάζει θετική τάση με τιμές από 1.88 έως 2.53%. Εξαίρεση αποτελεί το δείγμα KE-06, το οποίο έχει χαμηλότερη τιμή από τα δείγματα της ομάδας του (0.51%).

Το MnO για τα βασικά και ενδιάμεσα πετρώματα παρουσιάζει αρνητική τάση με τιμές 0.1 έως 0.06%. Εξαίρεση αποτελεί το δείγμα KE-03, το οποίο έχει μεγαλύτερη τιμή από τα δείγματα της ομάδας του (0.28%). Στα όξινα πετρώματα το MnO παρουσιάζει αρνητική τάση με τιμές από 0.02 έως 0.01%. Το δείγμα KE-06 έχει μηδενική τιμή MnO .

Το MgO για τα βασικά και ενδιάμεσα πετρώματα παρουσιάζει αρνητική τάση με τιμές από 16.35 έως 3.18%. Στα όξινα πετρώματα το MgO παρουσιάζει αρνητική τάση με τιμές από 1.25 έως 0.2%.

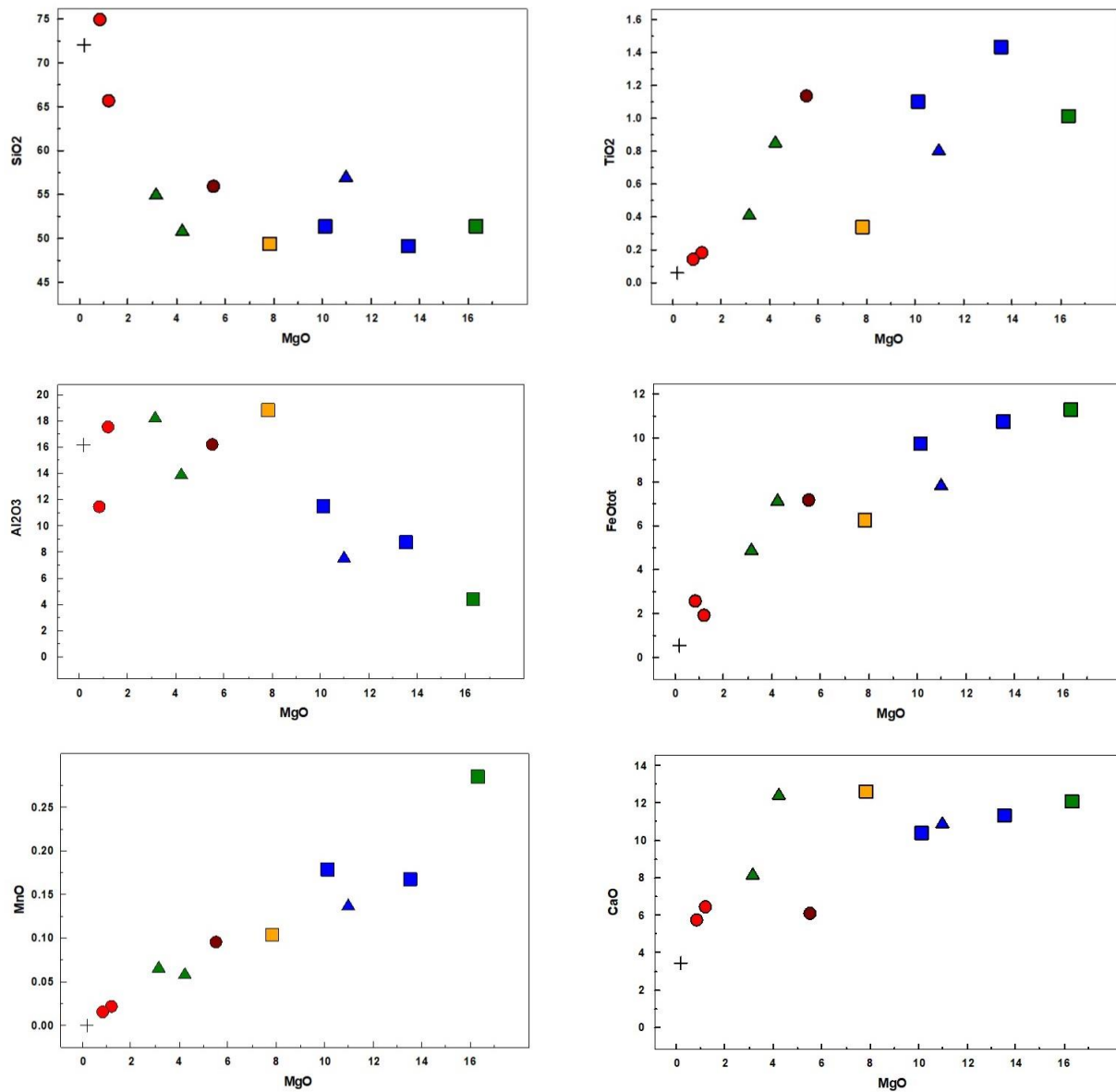
Το CaO για τα βασικά και ενδιάμεσα πετρώματα παρουσιάζει αρνητική τάση με τιμές από 12.6 έως 6.07%. Στα όξινα πετρώματα το CaO παρουσιάζει αρνητική τάση με τιμές από 6.38 έως 3.41%.

Το Na_2O στα βασικά και ενδιάμεσα πετρώματα παρουσιάζει θετική τάση με τιμές από 1.36 έως 4.02%. Εξαίρεση αποτελεί το δείγμα KE-07, το οποίο έχει μεγαλύτερη τιμή από τα δείγματα από της ομάδας του (6.12%). Στα όξινα πετρώματα το Na_2O παρουσιάζει αρνητική τάση με τιμές από 5.86% έως 2.94%.

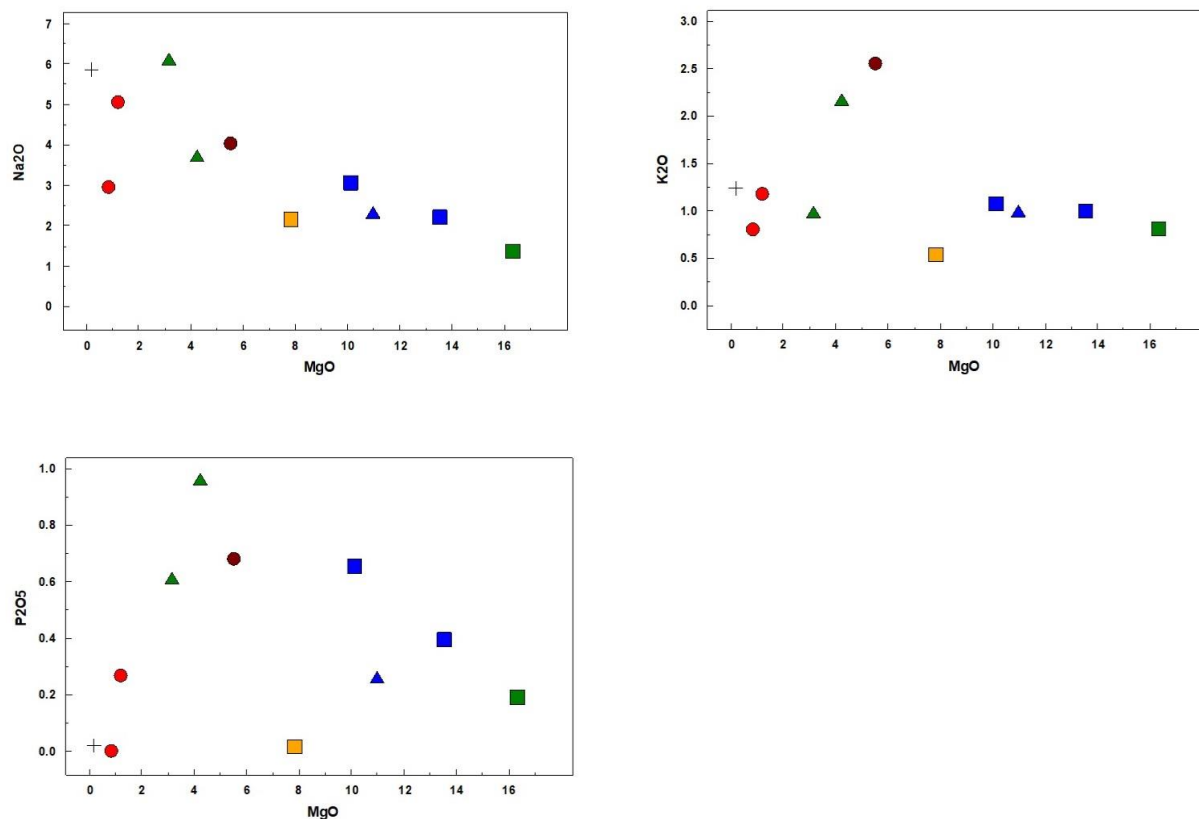
Το K_2O στα βασικά και ενδιάμεσα πετρώματα δεν παρουσιάζει τάση και έχει τιμές από 0.53 έως 1.07%. Εξαίρεση αποτελούν τα δείγματα KE-08 και KE-14, τα οποία έχουν μεγαλύτερη τιμή από τα δείγματα της ομάδας τους (2.18% και 2.54% αντίστοιχα). Στα όξινα πετρώματα το K_2O παρουσιάζει αρνητική τάση με τιμές από 1.17 έως 0.79%.

Ο P_2O_5 στα βασικά και ενδιάμεσα πετρώματα δεν παρουσιάζει τάση και έχει τιμές από 0.01 έως 0.96%. Στα όξινα πετρώματα το P_2O_5 παρουσιάζει αρνητική τάση με τιμές από 0.16 έως 0.02%. Το δείγμα KE-04 έχει μηδενική τιμή P_2O_5 .

Όσον αφορά την μεταβολή των οξειδίων με δείκτη διαφοροποίησης το MgO διακρίνονται πάλι δύο ομάδες, διαφορετικές από τις προηγούμενες (δείκτης διαφοροποίησης SiO_2). Εδώ τα ενδιάμεσα και τα όξινα πετρώματα ομαδοποιούνται, γιατί παρουσιάσουν κοινή τάση (KE-07, KE-08, KE-14, KE-11, KE-04, KE-06 με MgO 0.2-5.57%). Τα βασικά πετρώματα αποτελούν μία ξεχωριστή ομάδα με διαφορετική τάση (KE-12, KE-13, KE-03, KE-05 με MgO 16.35-7.84%). Ωστόσο, το δείγμα KE-10, το οποίο είναι ενδιάμεσο φαίνεται να ομαδοποιείται με τα βασικά δείγματα του πλουτωνίτη (MgO 11.0%).



Σχήμα 5.2: Μεταβολή κύριων χημικών στοιχείων ως προς MgO. Συμβολισμός όπως στο Σχ 4.1.



Σχήμα 5.2 συνέχεια.

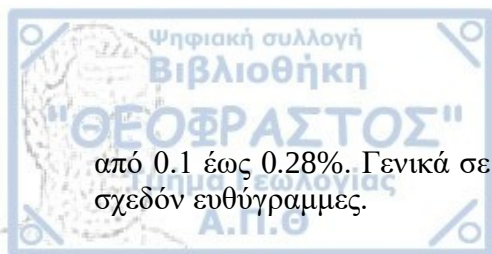
Το SiO_2 για τα ενδιάμεσα και όξινα πετρώματα παρουσιάζει αρνητική τάση με τιμές από 74.77 έως 50.95%. Στα βασικά πετρώματα το SiO_2 δεν παρουσιάζει τάση και έχει τιμές από 49.08 έως 51.35%. Εξαίρεση αποτελεί το δείγμα KE-10, το οποίο έχει μεγαλύτερη τιμή από τα δείγματα της ομάδας του (57.11%).

Το TiO_2 για τα ενδιάμεσα και όξινα πετρώματα παρουσιάζει θετική τάση με τιμές από 0.06 έως 1.13%. Στα βασικά πετρώματα το TiO_2 παρουσιάζει θετική τάση με τιμές από 0.33 μέχρι 1.43%.

Το Al_2O_3 για τα ενδιάμεσα και όξινα πετρώματα παρουσιάζει θετική τάση με τιμές από 11.41 έως 18.33%. Στα βασικά πετρώματα το Al_2O_3 παρουσιάζει αρνητική τάση με τιμές από 18.77 έως 4.34%.

Ο FeO_{tot} για τα ενδιάμεσα και όξινα πετρώματα παρουσιάζει θετική τάση με τιμές από 0.51 έως 7.16%. Στα βασικά πετρώματα ο FeO_{tot} παρουσιάζει θετική τάση με τιμές από 6.22 έως 11.26%.

Το MnO για τα ενδιάμεσα και τα όξινα πετρώματα παρουσιάζει θετική τάση με τιμές από 0.00 έως 0.07%. Στα βασικά πετρώματα το MnO παρουσιάζει θετική τάση με τιμές



από 0.1 έως 0.28%. Γενικά σε αυτό το διάγραμμα παρατηρείται πως οι δύο τάσεις είναι σχεδόν ευθύγραμμες.

Το **CaO** για τα ενδιάμεσα και όξινα πετρώματα παρουσιάζει θετική τάση με τιμές από 3.41 έως 12.46%. Στα βασικά πετρώματα το CaO έχει δεν παρουσιάζει τάση και έχει τιμές από 10.34 έως 12.6%.

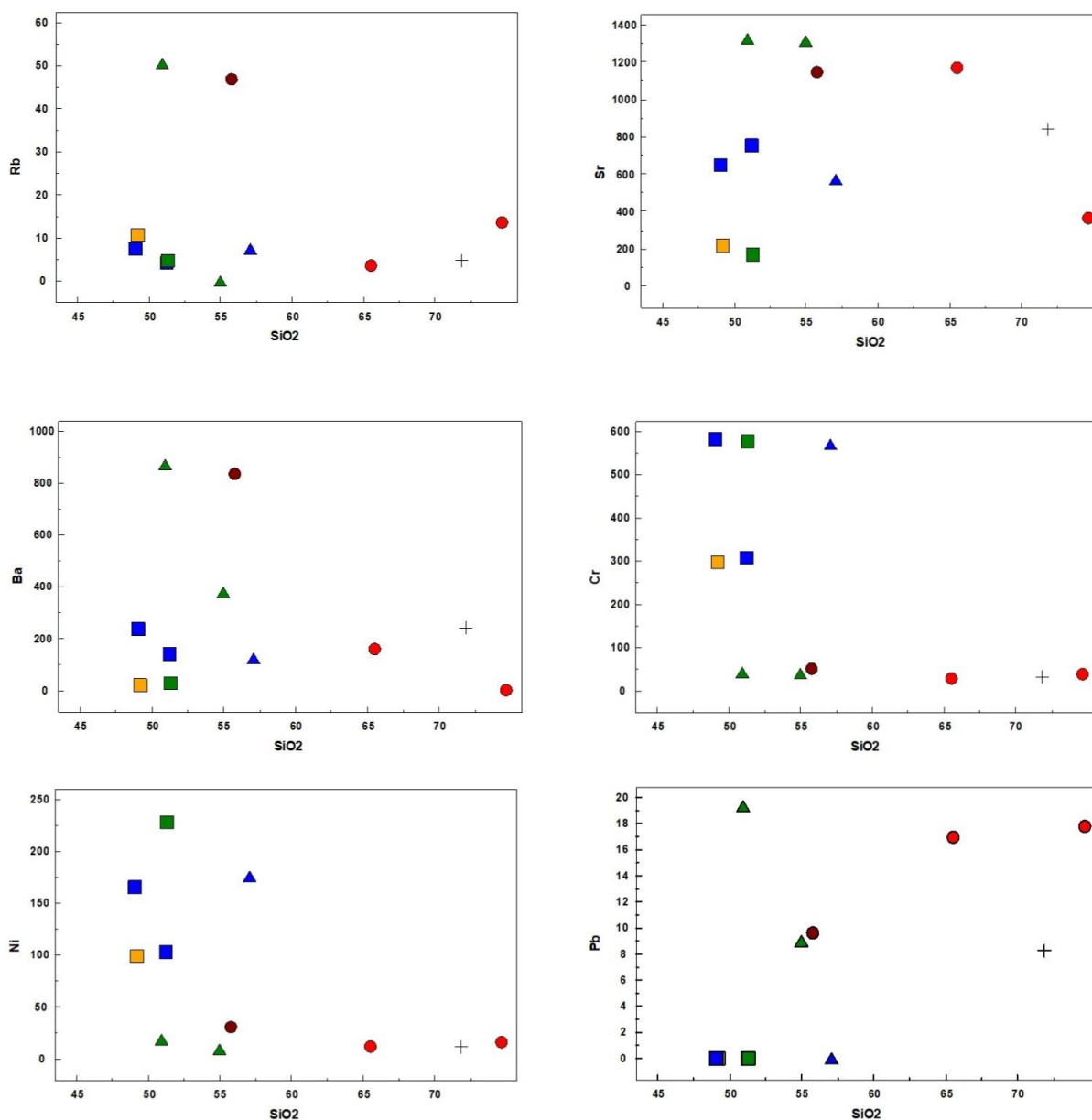
Το **Na₂O** για τα ενδιάμεσα και όξινα πετρώματα παρουσιάζει αρνητική τάση με τιμές από 6.12 έως 2.32%. Στα βασικά πετρώματα το Na₂O παρουσιάζει αρνητική τάση με τιμές από 3.04 έως 1.36%.

Το **K₂O** για τα ενδιάμεσα και όξινα πετρώματα παρουσιάζει θετική τάση με τιμές 0.79 έως 2.54%. Στα βασικά πετρώματα το K₂O παρουσιάζει αρνητική τάση με τιμές από 1.07 έως 0.8%. Εξαίρεση αποτελεί το δείγμα KE-05, το οποίο έχει χαμηλότερη τιμή από τα δείγματα την ομάδας του (0.53%).

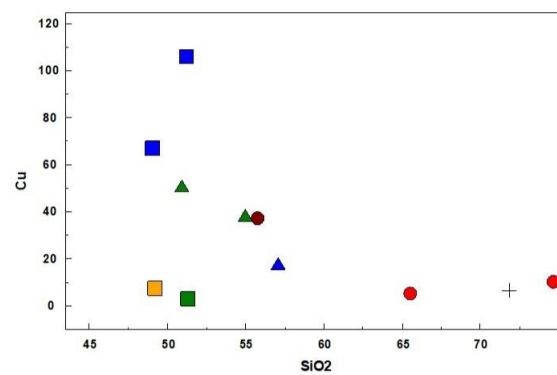
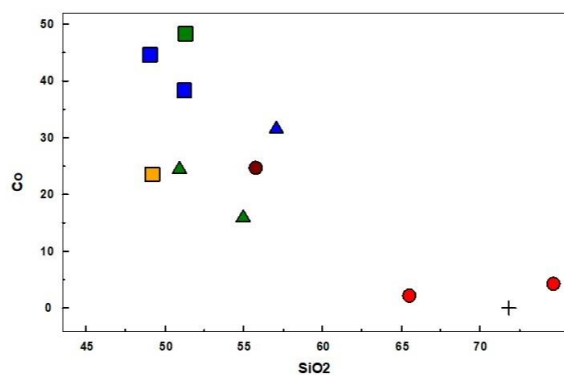
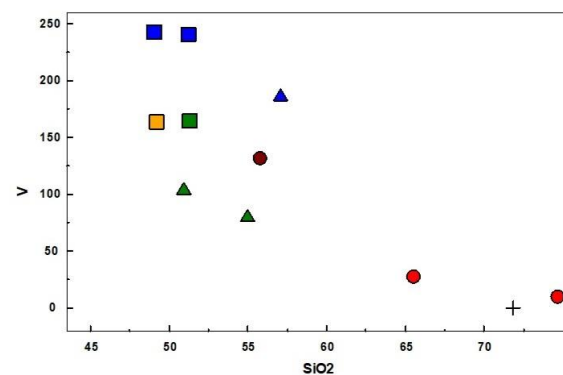
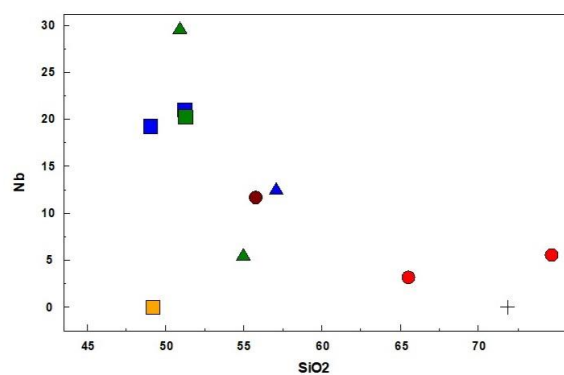
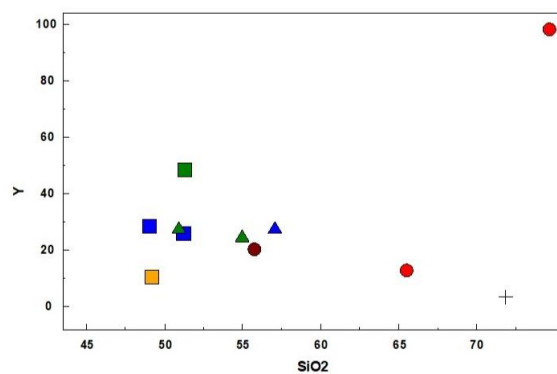
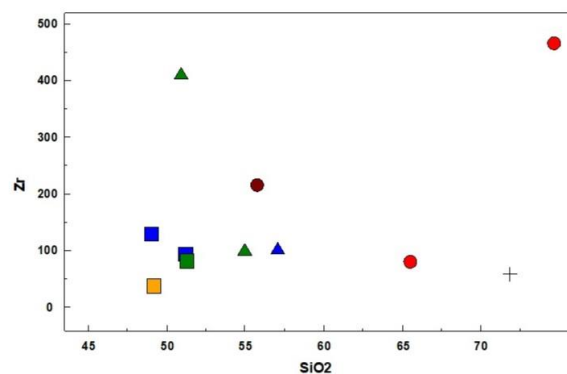
Ο **P₂O₅** για τα ενδιάμεσα και όξινα πετρώματα παρουσιάζει θετική τάση με τιμές από 0.00 έως 0.96%. Στα βασικά πετρώματα ο P₂O₅ παρουσιάζει αρνητική τάση με τιμές από 0.65 έως 0.19%. Εξαίρεση αποτελεί το δείγμα KE-05, τα οποία έχουν χαμηλότερη τιμή από τα δείγματα της ομάδας τους (0.01%).

5.3 Ιχνοστοιχεία

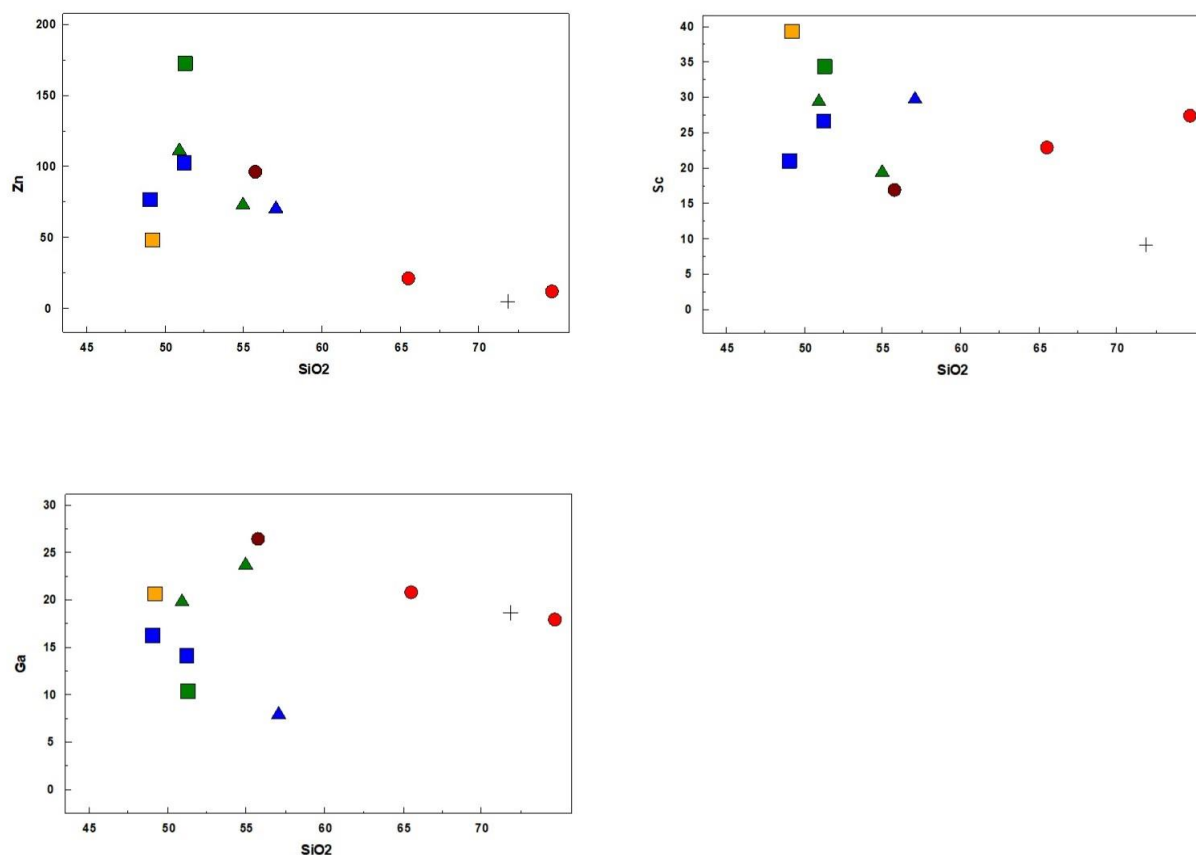
Για την μελέτη της μεταβολής των ιχνοστοιχείων στον πλουτωνίτη του Κενταύρου, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του πίνακα 4.1. Η συμπεριφορά των οξειδίων αναλύεται με βάση τα διαγράμματα μεταβολής με δείκτη διαφοροποίησης το SiO₂. Τα βασικά πετρώματα ομαδοποιούνται με τα ενδιάμεσα (KE-03, KE-05, KE-07, KE-08, KE-10, KE-12, KE-13 και KE-14 με SiO₂ 49.08-55.8%), ενώ τα όξινα αποτελούν ξεχωριστή ομάδα (KE-04, KE-06 και KE-11 με SiO₂ 65.6-74.77%) (Σχ. 4.1).



Σχήμα 5.3: Μεταβολή ιχνοστοιχείων ως προς SiO₂. Συμβολισμός όπως στο Σχ 4.1.



Σχήμα 5.3 συνέχεια.



Σχήμα 5.3 συνέχεια.

Το **Rb** για τα βασικά και ενδιάμεσα πετρώματα δεν παρουσιάζει τάση και έχει τιμές από 0.00 έως 10.57 ppm. Εξαίρεση αποτελούν τα δείγματα KE-08 και KE-14, τα οποία έχουν μεγαλύτερη τιμή από τα δείγματα της ομάδας τους (50.39 και 46.68 ppm αντίστοιχα). Στα όξινα πετρώματα το Rb παρουσιάζει θετική τάση με τιμές 3.35 έως 13.28 ppm.

Το **Sr** για τα βασικά και ενδιάμεσα πετρώματα παρουσιάζει θετική τάση με τιμές από 168.57 έως 1318.35 ppm. Στα όξινα πετρώματα το Sr παρουσιάζει αρνητική τάση με τιμές 1162.40 έως 358.13 ppm.

Το **Ba** για τα βασικά και ενδιάμεσα πετρώματα παρουσιάζει θετική τάση με τιμές από 18.39 έως 375.28 ppm. Εξαίρεση αποτελούν τα δείγματα KE-14 και KE-08 τα οποία έχουν υψηλότερη τιμή από τα δείγματα της ομάδας τους (830.36 και 867.88 ppm αντίστοιχα). Στα όξινα πετρώματα το Ba παρουσιάζει θετική τάση με τιμές 154.25 έως 240.92 ppm. Εξαίρεση αποτελεί το δείγμα KE-04, το οποίο έχει μηδενική τιμή Ba.

Το **Cr** για τα βασικά και ενδιάμεσα πετρώματα δημιουργεί τρεις υπο-ομάδες με σταθερή τιμή. Τα δείγματα KE-03, KE-10, KE-12 αποτελούν την ομάδα υψηλού Cr με

μέση τιμή 575.73 ppm. Τα δείγματα KE-05 και KE-13 αποτελούν την ομάδα ενδιάμεσου Cr με μέση τιμή 301.50 ppm. Τα δείγματα KE-07, KE-08 και KE-14 αποτελούν την ομάδα χαμηλού Cr με μέση τιμή 41.99 ppm. Στα όξινα πετρώματα το Cr δεν παρουσιάζει τάση και έχει τιμές από 27.32 έως 35.96 ppm.

Το **Ni** για τα βασικά και ενδιάμεσα πετρώματα παρουσιάζει αρνητική τάση με τιμές από 227.98 έως 8.39 ppm. Στα όξινα πετρώματα το Ni δεν παρουσιάζει τάση και έχει τιμές 10.49 έως 14.80 ppm.

Ο **Pb** δεν εμφανίζεται σε κανένα από τα βασικά πετρώματα, αλλά μόνο στα ενδιάμεσα. Ο Pb στα ενδιάμεσα πετρώματα παρουσιάζει αρνητική τάση με τιμές από 19.30 έως 8.93 ppm. Στα όξινα πετρώματα ο Pb παρουσιάζει θετική τάση 8.18 έως 17.68 ppm.

Το **Zr** για τα βασικά και ενδιάμεσα πετρώματα δεν παρουσιάζει τάση και έχει τιμές από 36.43 έως 212.82 ppm. Εξαίρεση αποτελεί το δείγμα KE-08, το οποίο έχει υψηλότερη τιμή από τα δείγματα της ομάδας του (411.45 ppm). Στα όξινα πετρώματα το Zr παρουσιάζει θετική τάση με τιμές από 56.95 έως 464.45 ppm.

Το **Y** για τα βασικά και ενδιάμεσα πετρώματα δεν παρουσιάζει τάση και έχει τιμές από 10.25 έως 28.19 ppm. Εξαίρεση αποτελεί το δείγμα KE-03, το οποίο έχει υψηλότερη τιμή από τα δείγματα της ομάδας του (48.02 ppm). Στα όξινα πετρώματα το Y παρουσιάζει θετική τάση με τιμές από 3.19 έως 97.61 ppm.

Το **Nb** για τα βασικά και ενδιάμεσα πετρώματα παρουσιάζει αρνητική τάση με τιμές από 29.71 έως 5.57 ppm. Εξαίρεση αποτελεί το δείγμα KE-05, το οποίο έχει την χαμηλότερη από τα δείγματα της ομάδας του (0.00 ppm). Στα όξινα πετρώματα το Nb παρουσιάζει θετική τάση από 0.00 έως 5.44 ppm.

Το **V** για τα βασικά και ενδιάμεσα πετρώματα παρουσιάζει αρνητική τάση με τιμές από 242.44 έως 81.19 ppm. Στα όξινα πετρώματα το V παρουσιάζει αρνητική τάση με τιμές 26.92 μέχρι 0.00 ppm.

Το **Co** για τα βασικά και ενδιάμεσα πετρώματα παρουσιάζει αρνητική τάση με τιμές από 48.23 έως 16.04 ppm. Στα όξινα πετρώματα το Co παρουσιάζει θετική τάση με τιμές 0.00 έως 4.13 ppm.

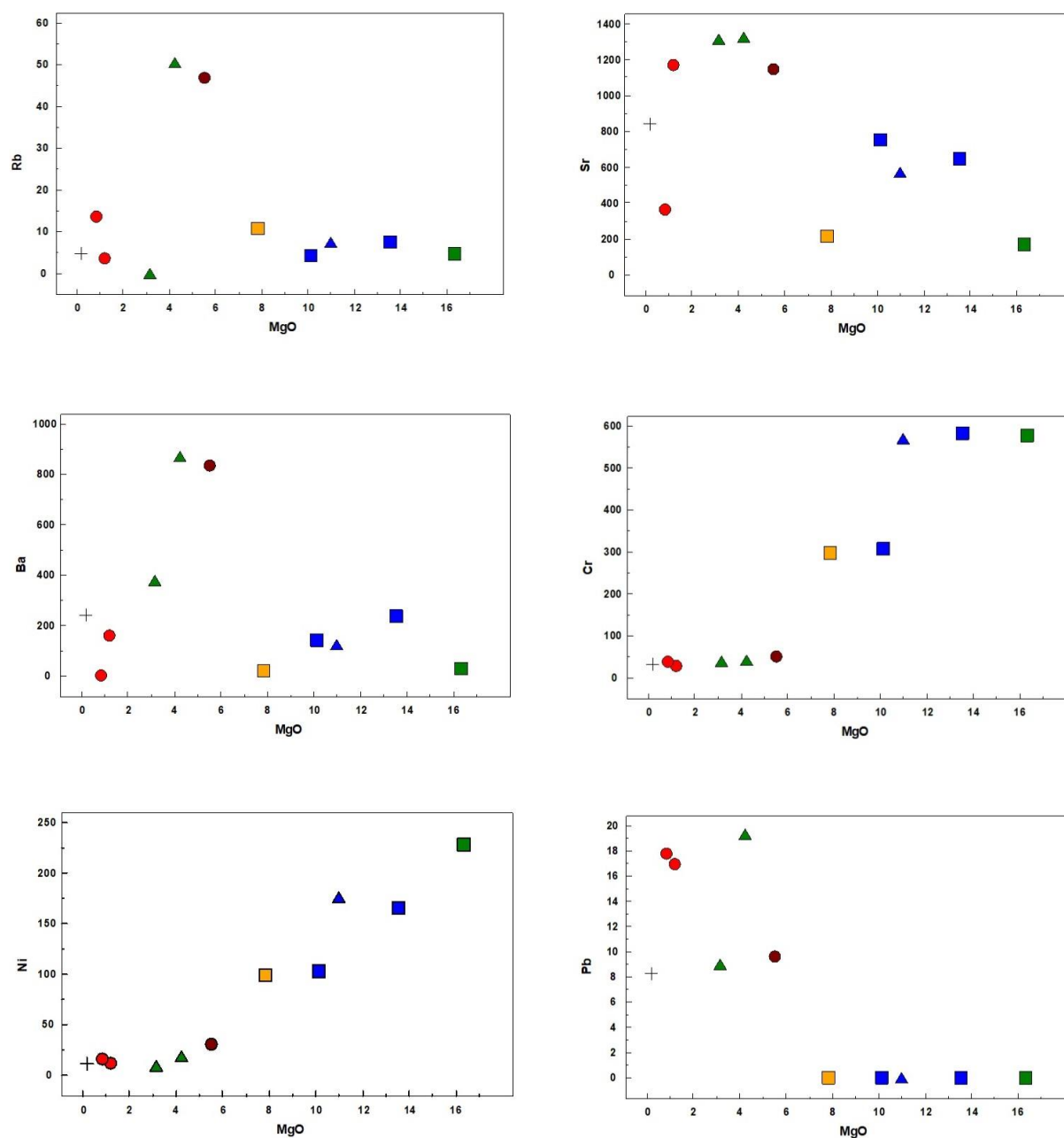
Ο **Cu** για τα βασικά και ενδιάμεσα πετρώματα παρουσιάζει αρνητική τάση με τιμές 66.80 έως 17.54 ppm. Εξαίρεση αποτελούν τα δείγματα KE-03 και KE-05, τα οποία έχουν χαμηλότερη τιμή (2.94 και 7.21 ppm αντίστοιχα) και το KE-13, το οποίο έχει υψηλότερη τιμή από τα δείγματα της ομάδας τους (105.87 ppm). Στα όξινα πετρώματα ο Cu παρουσιάζει θετική τάση με τιμές από 4.53 έως 9.84 ppm.

Ο **Zn** για τα βασικά και ενδιάμεσα πετρώματα παρουσιάζει αρνητική τάση με τιμές από 47.88 έως 112.44 ppm. Εξαίρεση αποτελεί το δείγμα KE-03, το οποίο έχει μεγαλύτερη τιμή από τα δείγματα της ομάδας του (171.98 ppm). Στα όξινα πετρώματα ο Zn παρουσιάζει αρνητική τάση με τιμές από 20.79 έως 4.97 ppm.

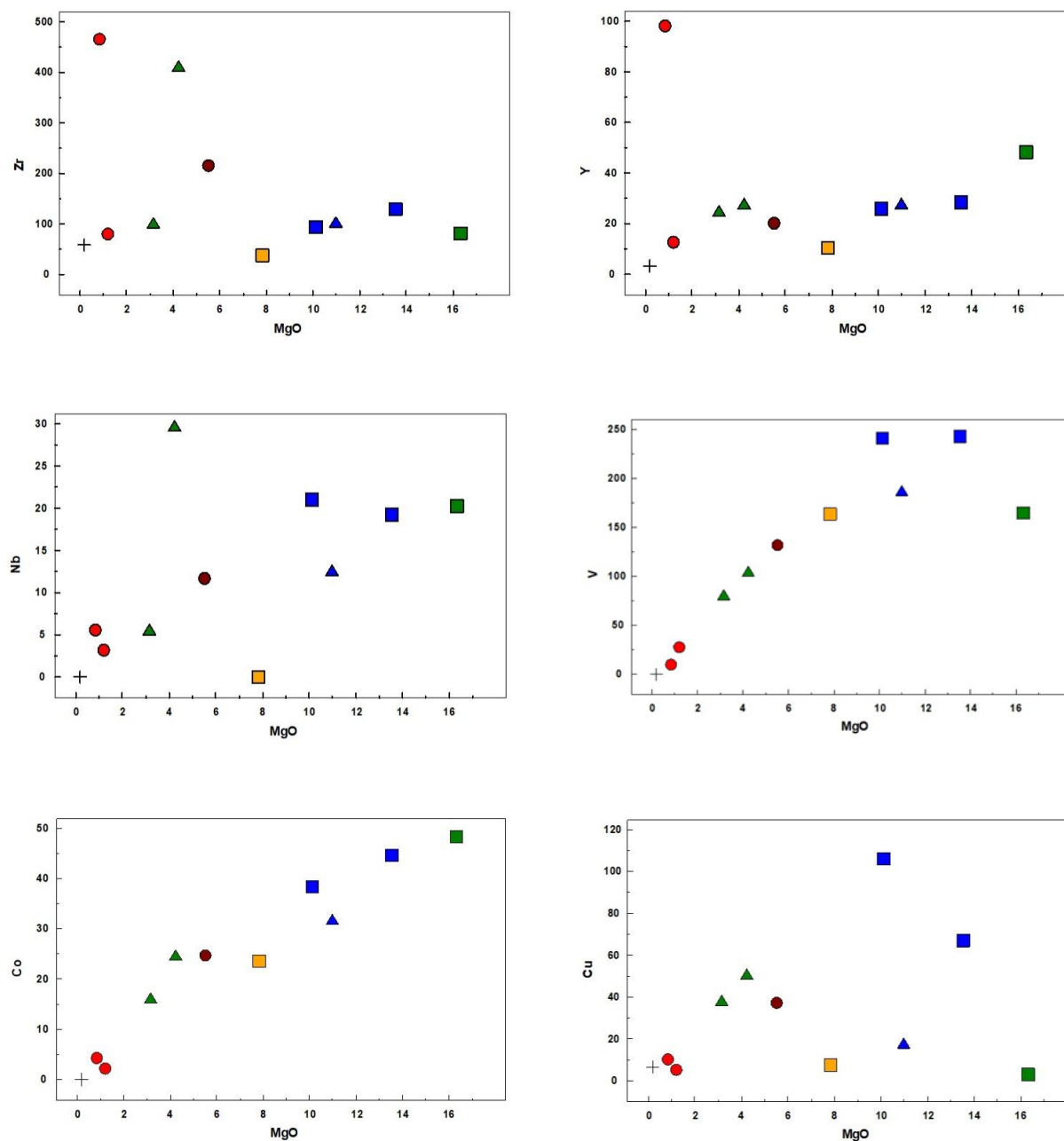
Το **Sc** για τα βασικά και ενδιάμεσα πετρώματα παρουσιάζει αρνητική τάση με τιμές από 39.22 έως 16.80 ppm. Στα όξινα πετρώματα το Sc παρουσιάζει θετική τάση με τιμές από 22.80 σε 27.22 ppm. Εξαίρεση αποτελεί το δείγμα KE-06, το οποίο παρουσιάζει χαμηλότερη τιμή από τα δείγματα της ομάδας του (9.04 ppm).

Το **Ga** για τα βασικά και ενδιάμεσα πετρώματα παρουσιάζει θετική τάση με τιμές από 10.31 ως 26.28 ppm. Εξαίρεση αποτελεί το δείγμα KE-10, το οποίο έχει χαμηλότερη τιμή από τα δείγματα της ομάδας του (8.02 ppm). Στα όξινα πετρώματα το Ga παρουσιάζει αρνητική τάση με τιμές από 20.69 έως 17.86 ppm.

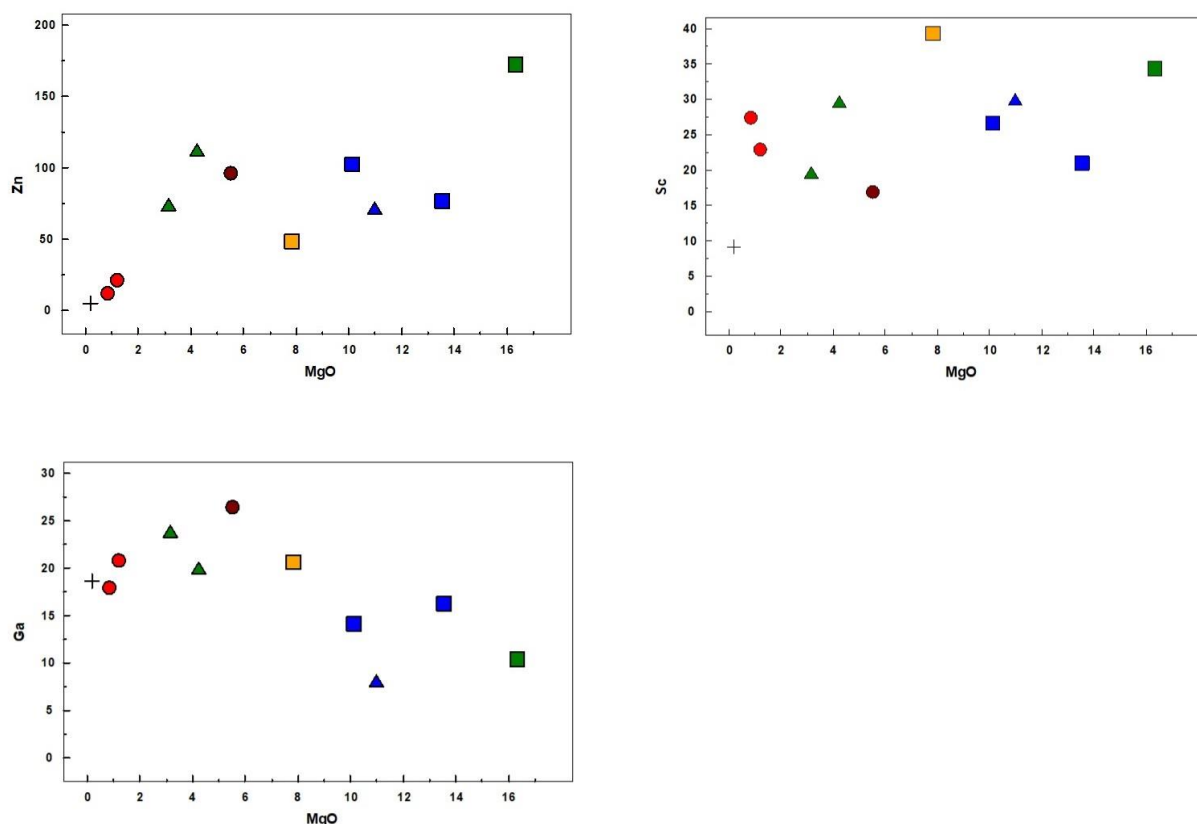
Όσον αφορά την μεταβολή των ιχνοστοιχείων με δείκτη διαφοροποίησης το MgO , διακρίνονται πάλι δύο ομάδες, διαφορετικές από τις προηγούμενες (δείκτης διαφοροποίησης SiO_2). Εδώ τα ενδιάμεσα και τα όξινα πετρώματα ομαδοποιούνται, ενώ τα βασικά πετρώματα αποτελούν μία ξεχωριστή ομάδα. Ωστόσο το δείγμα KE-10, το οποίο είναι ενδιάμεσο φαίνεται να ομαδοποιείται με τα βασικά δείγματα του πλουτωνίτη.



Σχήμα 5.4: Μεταβολή ιχνοστοιχείων ως προς MgO. Συμβολισμός όπως στο Σχ 4.1.



Σχήμα 5.4 συνέχεια.



Σχήμα 5.4 συνέχεια.

Το **Rb** για τα ενδιάμεσα και όξινα πετρώματα παρουσιάζει αρνητική τάση με τιμές έχει τιμές από 13.28 έως 0.00 ppm. Εξάιρεση αποτελούν τα δείγματα KE-08 και KE-14, τα οποία έχουν υψηλότερες τιμές από τα δείγματα της ομάδας τους (50.39 και 46.68 ppm αντίστοιχα). Στα βασικά πετρώματα το Rb παρουσιάζει αρνητική τάση με τιμές από 10.57 έως 4.01 ppm.

Το **Sr** για τα ενδιάμεσα και όξινα πετρώματα παρουσιάζει θετική τάση με τιμές από 835.85 έως 1318.35 ppm. Εξάιρεση αποτελεί το δείγμα KE-04, που έχει χαμηλότερη τιμή από την ομάδα του (358.13 ppm). Στα βασικά πετρώματα το Sr παρουσιάζει αρνητική τάση με τιμές από 751.44 έως 168.57 ppm.

Το **Ba** για τα ενδιάμεσα και όξινα πετρώματα παρουσιάζει θετική τάση με τιμές από 0.00 έως 867.88. Στα βασικά πετρώματα το Ba δεν παρουσιάζει τάση και έχει τιμές από 28.79 έως 234.32 ppm.

Το **Cr** για τα ενδιάμεσα και όξινα πετρώματα δεν παρουσιάζει τάση και έχει τιμές από 27.32 έως 47.73 ppm. Στα βασικά πετρώματα σχηματίζονται δύο υπο-ομάδες με σταθερή τιμή. Τα δείγματα KE-03, KE-10, KE-12 αποτελούν την ομάδα υψηλού Cr με μέση τιμή 575.73 ppm. Τα δείγματα KE-05 και KE-13 αποτελούν την ομάδα ενδιάμεσου Cr με μέση τιμή 301.50 ppm.

Το **Ni** για τα ενδιάμεσα και όξινα πετρώματα παρουσιάζει θετική τάση με τιμές από 8.39 έως 29.91 ppm. Στα βασικά πετρώματα το Ni παρουσιάζει θετική τάση με τιμές από 98.77 έως 227.98 ppm.

Ο **Pb** για τα ενδιάμεσα και όξινα πετρώματα παρουσιάζει αρνητική τάση με τιμές από 19.30 έως 8.18 ppm. Στα βασικά πετρώματα ο Pb έχει μηδενική τιμή.

Το **Zr** για τα ενδιάμεσα και όξινα πετρώματα δεν παρουσιάζει τάση και έχει τιμές από 56.95 έως 464.45 ppm. Στα βασικά πετρώματα παρουσιάζει θετική τάση με τιμές από 36.43 έως 127.70 ppm.

Το **Y** στα ενδιάμεσα και όξινα πετρώματα παρουσιάζει θετική τάση με τιμές από 3.19 έως 27.64 ppm. Εξαίρεση αποτελεί το δείγμα KE-04, το οποίο έχει υψηλότερη τιμή από τα δείγματα της ομάδας του (97.61 ppm). Στα βασικά πετρώματα το Y παρουσιάζει θετική τάση με τιμές από 10.25 έως 48.02 ppm.

Το **Nb** για τα ενδιάμεσα και όξινα πετρώματα παρουσιάζει θετική τάση με τιμές από 3.10 έως 11.58 ppm. Εξαίρεση αποτελεί το δείγμα KE-08, το οποίο έχει την υψηλότερη τιμή από τα δείγματα της ομάδας του (29.71 ppm). Στα βασικά πετρώματα το Nb παρουσιάζει θετική τάση με τιμές από 12.56 έως 20.94 ppm. Εξαίρεση αποτελεί το δείγμα KE-05, το οποίο έχει μηδενική τιμή Nb.

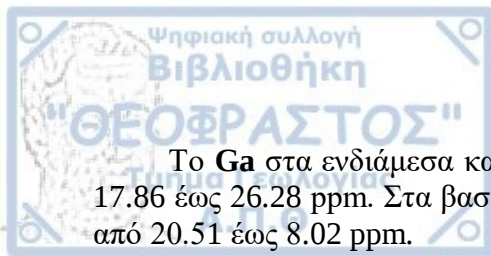
Το **V** για τα ενδιάμεσα και όξινα πετρώματα παρουσιάζει θετική τάση με τιμές από 0.00 έως 130.67 ppm. Στα βασικά πετρώματα το V παρουσιάζει θετική τάση με τιμές από 163.13 έως 242.44 ppm. Εξαίρεση αποτελεί το δείγμα KE-03, το οποίο δεν ακολουθεί την τάση της ομάδας και έχει τιμή 163.97 ppm.

Το **Co** για τα ενδιάμεσα και όξινα πετρώματα παρουσιάζει θετική τάση με τιμές από 0.00 έως 24.75 ppm. Στα βασικά πετρώματα το Co παρουσιάζει θετική τάση με τιμές από 23.51 έως 48.23 ppm.

Ο **Cu** για τα ενδιάμεσα και όξινα πετρώματα παρουσιάζει θετική τάση με τιμές από 4.53 έως 50.53 ppm. Στα βασικά πετρώματα ο Cu δεν παρουσιάζει τάση και έχει τιμές από 2.94 έως 105.87 ppm.

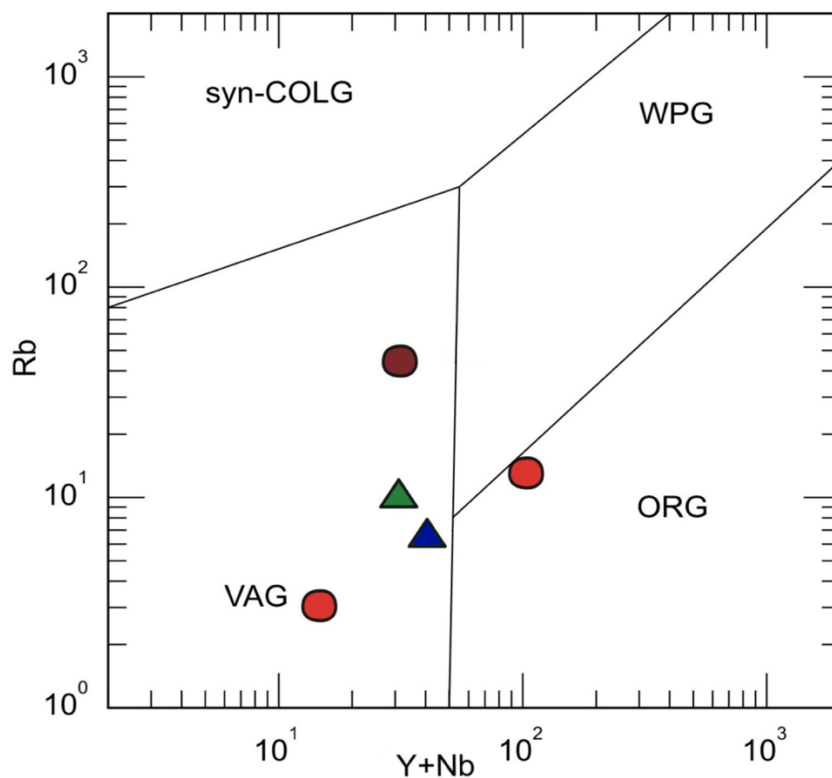
Ο **Zn** στα ενδιάμεσα και όξινα πετρώματα παρουσιάζει θετική τάση με τιμές από 4.97 έως 112.44 ppm. Στα βασικά πετρώματα ο Zn παρουσιάζει θετική τάση με τιμές από 47.88 έως 171.98 ppm.

Το **Sc** στα ενδιάμεσα και όξινα πετρώματα παρουσιάζει αρνητική τάση με τιμές από 27.22 έως 16.80 ppm. Εξαίρεση αποτελούν τα δείγματα KE-06 και KE-08. Το KE-06 έχει χαμηλότερη τιμή από τα δείγματα της ομάδας (9.04 ppm) και το KE-08 υψηλότερη (29.62 ppm). Στα βασικά πετρώματα το Sc παρουσιάζει αρνητική τάση με τιμές από 39.22 έως 20.89 ppm.

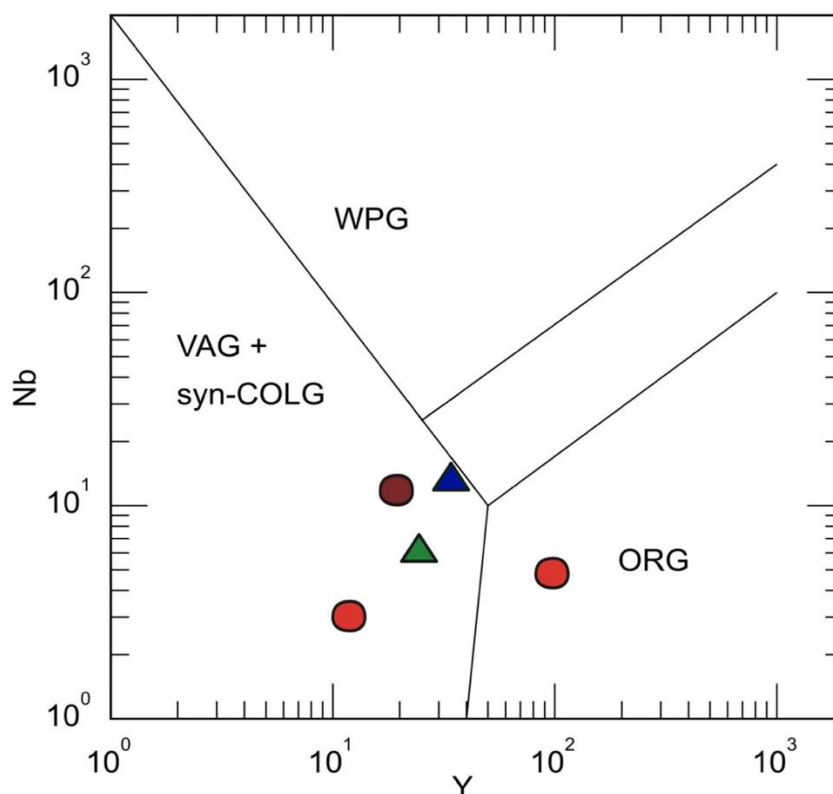


Το **Ga** στα ενδιάμεσα και όξινα πετρώματα παρουσιάζει θετική τάση με τιμές από 17.86 έως 26.28 ppm. Στα βασικά πετρώματα το Ga παρουσιάζει αρνητική τάση με τιμές από 20.51 έως 8.02 ppm.

Οι Pearce et al. (1984) διαχώρισαν τα πλουτωνικά πετρώματα με ποσοστό χαλαζία >5% σε τέσσερις κύριες ομάδες. Οι ομάδες αυτές προκύπτουν από τα ποσοστά συγκεκριμένων ιχνοστοιχείων, τα οποία είναι χαρακτηριστικά για τα διαφορετικά γεωτεκτονικά περιβάλλοντα. Πιο αποτελεσματικές για τη διάκριση είναι οι προβολές των ιχνοστοιχείων στα διαγράμματα Y-Nb, Yb-Ta, Rb-(Y+Nb) και Rb-(Yb+Ta). Στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιούνται τα διαγράμματα Rb-(Y+Nb) (Σχ. 6.1) και Y-Nb (Σχ. 6.2), καθώς δεν μπόρεσαν να πραγματοποιηθούν αναλύσεις Yb και Ta. Στα διαγράμματα αυτά προβάλλονται 5 από τα 11 δείγματα που αναλύθηκαν, καθώς μόνο αυτά περιέχουν χαλαζία >5%.



Σχήμα 6.1: Διάγραμμα γεωτεκτονικού περιβάλλοντος Rb-(Y+Nb) (Pearce et al. 1984). Συμβολισμός όπως στο Σχ 4.1.



Σχήμα 6.2: Διάγραμμα γεωτεκτονικού περιβάλλοντος Nb-Y (Pearce et al. 1984). Συμβολισμός όπως στο Σχ 4.1.

Στο σχήμα 6.1 φαίνεται πως τα περισσότερα δείγματα (KE-07, KE-10, KE-11, KE-14) προβάλλονται στο πεδίο VAG, χαρακτηρίζονται δηλαδή ως πετρώματα ενεργού ηπειρωτικού περιθωρίου. Το δείγμα KE-04 προβάλλεται στο πεδίο ORG, χαρακτηρίζεται δηλαδή ως πέτρωμα μεσοωκεάνιας ράχης. Ωστόσο, η απόστασή του από το πεδίο VAG και τα υπόλοιπα δείγματα είναι μικρή.

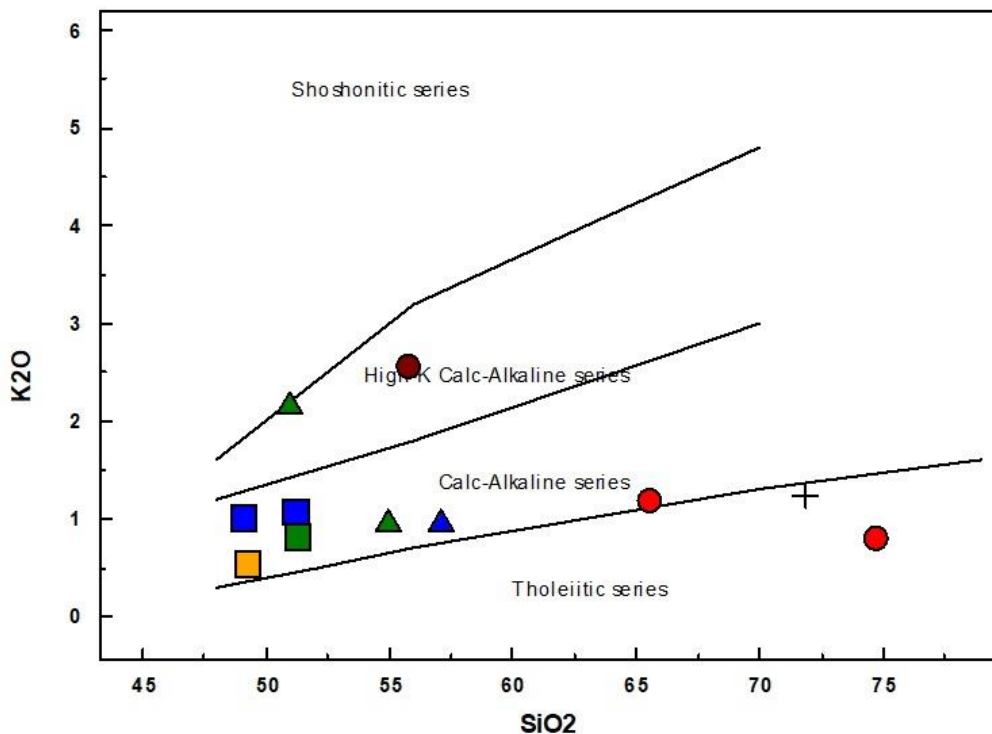
Στο σχήμα 6.2 τα περισσότερα δείγματα (KE-07, KE-10, KE-11, KE-14) προβάλλονται στο πεδίο VAG + syn-COLG. Το δείγμα KE-04 προβάλλεται στο πεδίο ORG, σε μικρή απόσταση από το πεδίο VAG. Επειδή τα δείγματα συνοδεύονται και από βασικότερους πετρογραφικούς τύπους, η συσχέτισή τους με σύγκρουση ηπειρωτικών πλακών (syn-COLG) είναι σχεδόν απίθανη. Άρα τα δείγματα KE-07, KE-11 και KE-14 χαρακτηρίζονται πάλι ως πετρώματα ενεργού ηπειρωτικού περιθωρίου και το δείγμα KE-04 χαρακτηρίζεται ως πέτρωμα μεσοωκεάνιας ράχης.

Είναι σαφές πως τα διαγράμματα Rb vs. (Y+Nb) και Y vs. Nb είναι σύμφωνα μεταξύ τους. Η πλειονότητα των δειγμάτων προβάλλεται στα μάγματα που σχετίζονται με ενεργό ηπειρωτικό περιθώριο.

6.2 Τύπος μάγματος

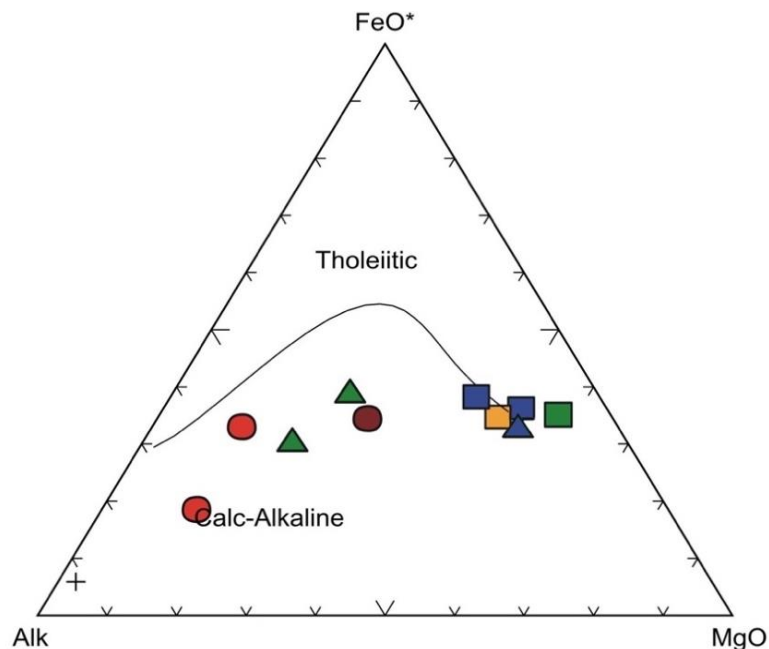
Με τα διαγράμματα ταξινομήσεων είναι δυνατός ο χαρακτηρισμός του μάγματος, γεγονός που δείχνει και τις διεργασίες που έχει υποστεί. Τα διαγράμματα που θα χρησιμοποιηθούν για την εύρεση του τύπου μάγματος είναι το διάγραμμα K_2O-SiO_2 των Peccerillo & Taylor (1976), το διάγραμμα AFM και το διάγραμμα A/NK-A/CNK.

Σύμφωνα με το διάγραμμα K_2O-SiO_2 των Peccerillo & Taylor (1976) τα δείγματα του Κενταύρου ταξινομούνται στην υψηλού Κ ασβεσταλκαλική σειρά και στην ασβεσταλκαλική σειρά (Σχ. 6.3). Πιο συγκεκριμένα, τα δείγματα KE-08 και KE-14 προβάλλονται στην υψηλού Κ ασβεσταλκαλική σειρά. Όλα τα υπόλοιπα δείγματα προβάλλονται στην ασβεσταλκαλική σειρά, με εξαίρεση τα δείγματα KE-06 και KE-04, τα οποία ανήκουν στη θολειτική σειρά.



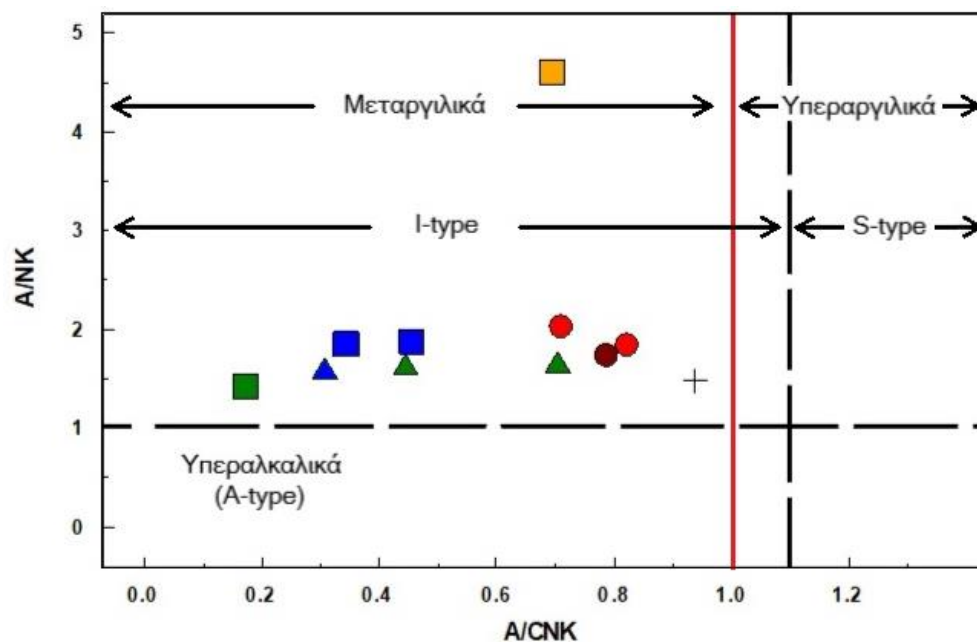
Σχήμα 6.3: Διάγραμμα Peccerillo & Taylor (1976). Συμβολισμός όπως στο Σχ. 4.1.

Στο διάγραμμα AFM (Σχ. 6.4) φαίνεται ότι τα δείγματα του πλουτωνίτη του Κενταύρου ανήκουν στην ασβεσταλκαλική σειρά, αν και τα δείγματα KE-03 και KE-12 προσεγγίζουν τη θολειτική σειρά. Για υψηλές τιμές αλκαλίων (Alk) ο FeO είναι χαμηλότερος, ενώ για υψηλές τιμές MgO είναι υψηλότερος.



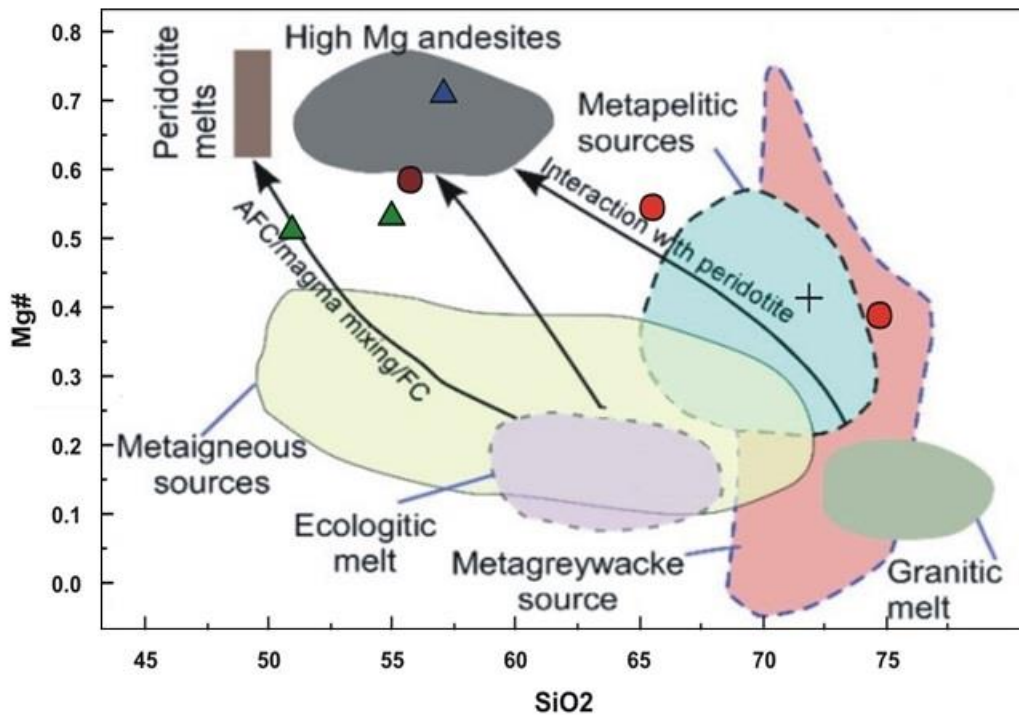
Σχήμα 6.4: Διάγραμμα AFM. Συμβολισμός όπως στο Σχ 4.1.

Σύμφωνα με το διάγραμμα $A/NK-A/CNK$, τα δείγματα του πλουτωνίτη του Κενταύρου ανήκουν στην κατηγορία των μεταργλικών πετρωμάτων και χαρακτηρίζονται ως I-τύπου (Σχ. 6.5).



Σχήμα 6.5: Διάγραμμα $A/NK-A/CNK$. Συμβολισμός όπως στο Σχ 4.1.

Στο σχήμα 6.6 τα πεδία αναφοράς αντιπροσωπεύουν δεδομένα αφυδάτωσης και τήξης διαφορετικών πηγών, τα οποία προκύπτουν πειραματικά (Sami et al. 2023 και οι αναφορές σε αυτή). Προβάλλοντας τα δείγματα του πλουτωνίτη του Κενταύρου στο διάγραμμα Mg#-SiO₂, βρέθηκε ότι τα όξινα δείγματα (KE-04 και KE-06) σχετίζονται με τήγμα μεταγραουβάκη (σχ. 6.6, ροζ περιοχή). Όσον αφορά τα ενδιάμεσα δείγματα (KE-07, KE-08, KE-10 και KE-14), έχουν σύσταση παρόμοια με ανδεσιτικό τήγμα υψηλού Mg (σχ. 6.6, γκρι περιοχή). Το τήγμα αυτό πιθανότατα προκύπτει από την αντίδραση του γρανιτικού τήγματος (μεταγραουβάκη) με τήγματα περιδοτίτη. Το όξινο δείγμα KE-11 προβάλλεται ανάμεσα στα όξινα και στα ενδιάμεσα δείγματα, επομένως σχετίζεται με την παραπάνω διαδικασία.

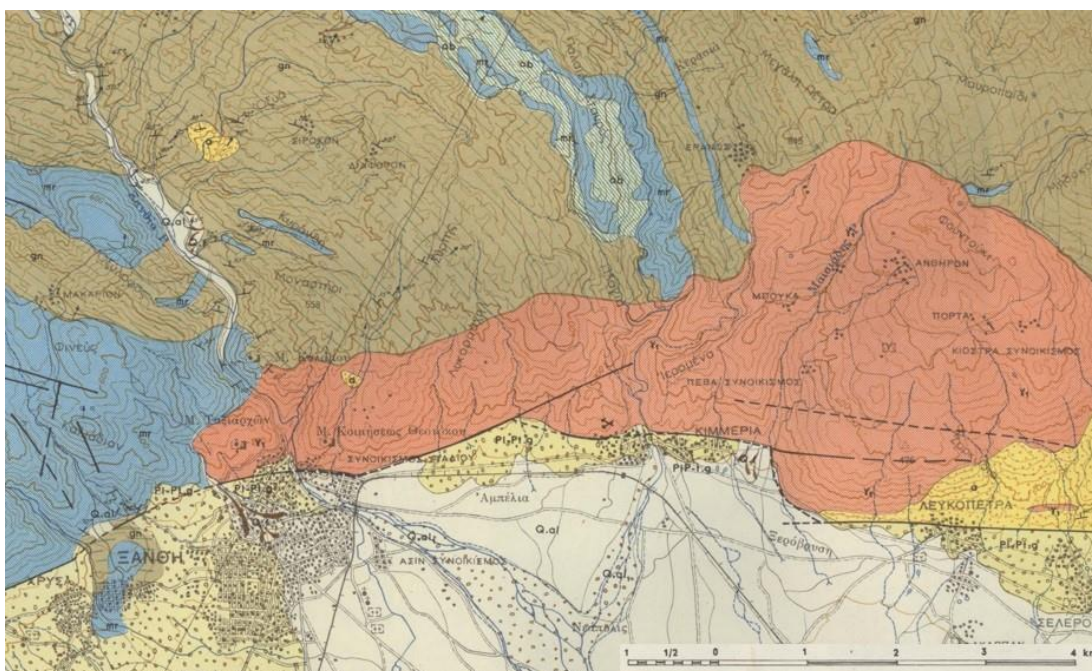


Σχήμα 6.6: Διάγραμμα Mg#-SiO₂ (Sami et al. 2023 και οι αναφορές σε αυτή.)

7. Σύγκριση πλουτωνιτών Κενταύρου και Ξάνθης

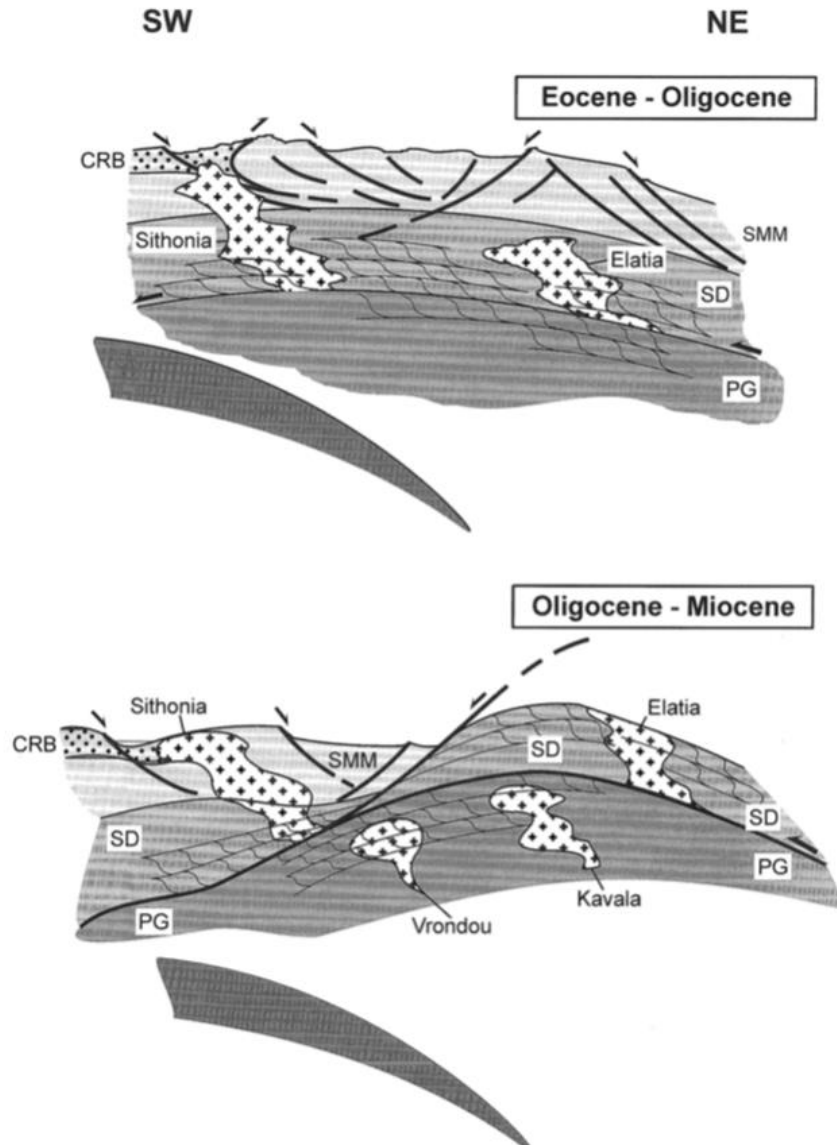
7.1 Γεωλογία και Πετρογραφία του πλουτωνίτη της Ξάνθης

Ο πλουτωνίτης της Ξάνθης ανήκει στην Μάζα Ροδόπης και πιο συγκεκριμένα στην ενότητα Σιδηρόνερου (Σχ. 7.1). Ο λόγος που γίνεται η σύγκριση του πλουτωνίτη του Κενταύρου με τον πλουτωνίτη της Ξάνθης είναι επειδή έχουν παρόμοια ηλικία, ίδια σύσταση (ασβεσταλκαλική έως υψηλού Κ ασβεσταλκαλική) και έχουν όμοιους πετρογραφικούς τύπους (Christofides et al. 1998).



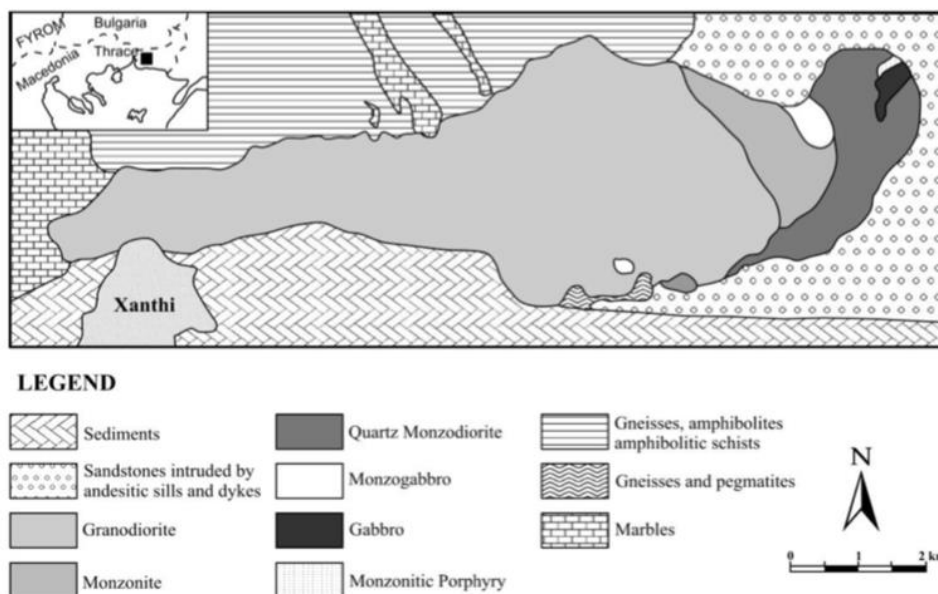
Σχήμα 7.1: Πλουτωνίτης της Ξάνθης (φύλλο Ξάνθης Ι.Γ.Μ.Ε 1973).

Ο πλουτωνίτης της Ξάνθης βρίσκεται στο κέντρο της Μάζας Ροδόπης, ενώ ο πλουτωνίτης του Κενταύρου αποτελεί μία μικρή εμφάνιση ΒΑ αυτού. Κατά το Ηώκαινο στην περιοχή της Ξάνθης επικρατούν συνθήκες εφελκυσμού, με αποτέλεσμα τον σχηματισμό της λεκάνης της Ξάνθης, η οποία οριοθετείται από κανονικά ρήγματα. Την περίοδο εκείνη δημιουργείται και το ρήγμα Καβάλας-Ξάνθης-Κομοτηνής, το οποίο όμως, είναι ρήγμα οριζόντιας μετατόπισης. Μέσα σε αυτό διειδύει ο πλουτωνίτης της Ξάνθης (Koukouvelas & Pe-Piper 1991, Moundrakis et al. 2006).



Σχήμα 7.2: Γεωτεκτονική εξέλιξη και μαγματισμός στην Σερβομακεδονική και στην Μάζα Ροδόπης (Christofides et al. 2001).

Ο πλουτωνίτης διείσδυσε μέσα στα μεταμορφωμένα πετρώματα της ενότητας Σιδηρόνερου (Χριστοφίδης 1977). Σύμφωνα με γεωφυσικά δεδομένα (Tsokas et al. 1996), ο πλουτωνίτης της Ξάνθης αποτελεί ένα λακκόλιθο, ο οποίος έχει έκταση πολλών χιλιομέτρων προς τα βορειοανατολικά (Χριστοφίδης et al. 2010). Ο πλουτωνίτης βρίσκεται σε επαφή με γνευσίους, μάρμαρα, μαρμαργιακούς σχιστόλιθους, αμφιβολίτες, ασβεστοπυριτικά πετρώματα και Ηωκαινικά-Ολιγοκαινικά ιζηματογενή πετρώματα της Μάζας Ροδόπης. Στο βόρειο κομμάτι, ο πλουτωνίτης βρίσκεται σε επαφή τεκτονικά με Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα (Χριστοφίδης 1977, Christofides et al. 1998). Παρατηρήθηκαν, επίσης, ζώνες άλω μεταμόρφωσης και skarn (Liati 1986 από Krohe & Mposkos 2002).



Σχήμα 7.3: Πετρογραφικοί τύποι του πλουτωνίτη της Ξάνθης (Χριστοφίδης et al. 2010)

Στον πλουτωνίτη της Ξάνθης βρέθηκαν δύο ομάδες πετρωμάτων. Η πρώτη είναι η ομάδα των όξινων πετρωμάτων, η οποία αποτελείται από γρανοδιορίτες έως μονζογρανίτες. Οι γρανοδιορίτες καλύπτουν το μεγαλύτερο τμήμα του πλουτωνίτη. Αποτελούνται από πλαγιόκλαστα, καλιούχους αστρίους, βιοτίτη, κεροστίλβη και οξείδια Fe-Ti. Η δεύτερη ομάδα είναι αυτή των όξινων πετρωμάτων, η οποία εμφανίζεται στο ανατολικό μέρος του πλουτωνίτη. Αποτελείται από μονζονίτες, χαλαζιακούς μονζονίτες, μονζοδιορίτες και μονζογάββρους (Σχ 7.3). Η ορυκτολογική τους σύσταση είναι κυρίως πλαγιόκλαστο, καλιούχοι άστριοι, βιοτίτη, κλινοπυρόξενο, ορθοπυρόξενο, οξείδια Fe-Ti και λίγη κεροστίλβη. Στα βορειοανατολικά υπάρχει μία εμφάνιση πυροξενικού-ολιβινικού γάββρου, ενώ ανατολικά-βορειοανατολικά παρατηρούνται μικρές εμφανίσεις χαλαζιακού γάββρου, χαλαζιακού διορίτη και μονζονιτικός πορφύρης (Christofides et al. 1989).

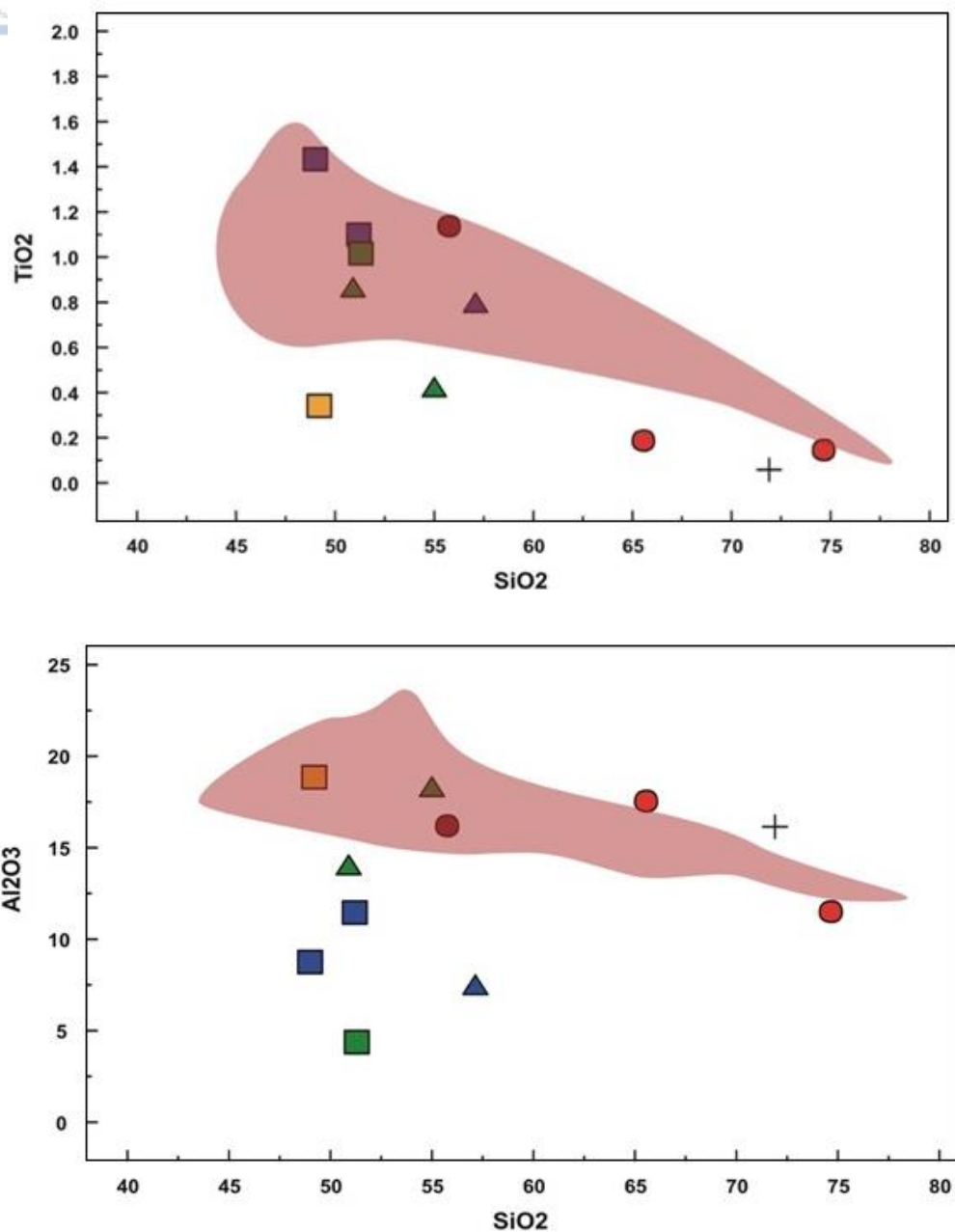
Γενικά, το διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) του πλουτωνίτη της Ξάνθης κυμαίνεται στο 44-78%. Επιπλέον έχει Ολιγοκαινική ηλικία (34 ± 0.5 Ma).

7.2 Γενικά

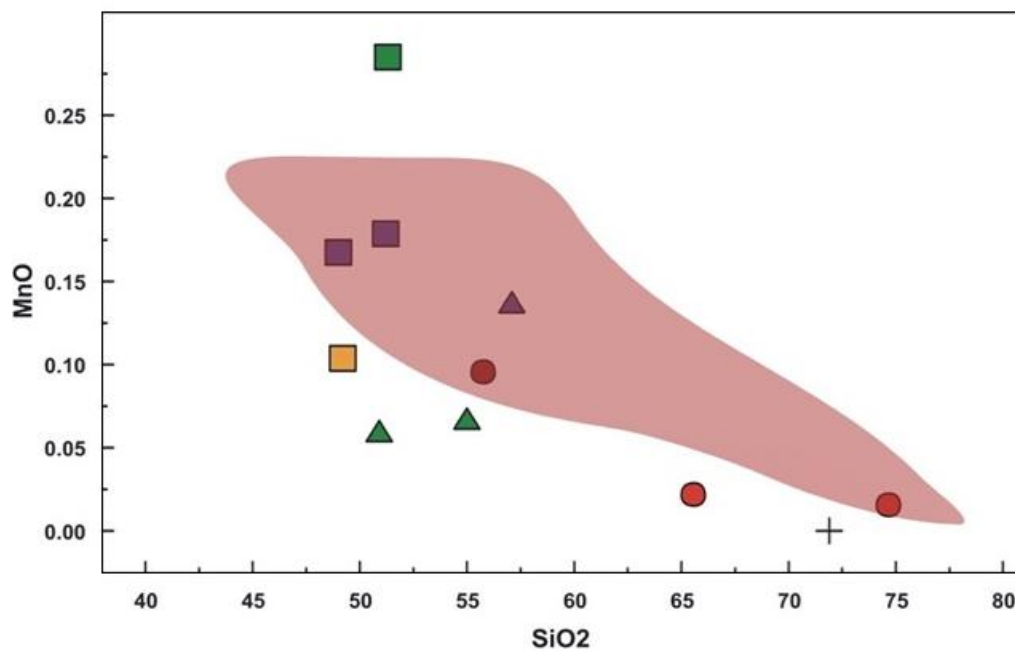
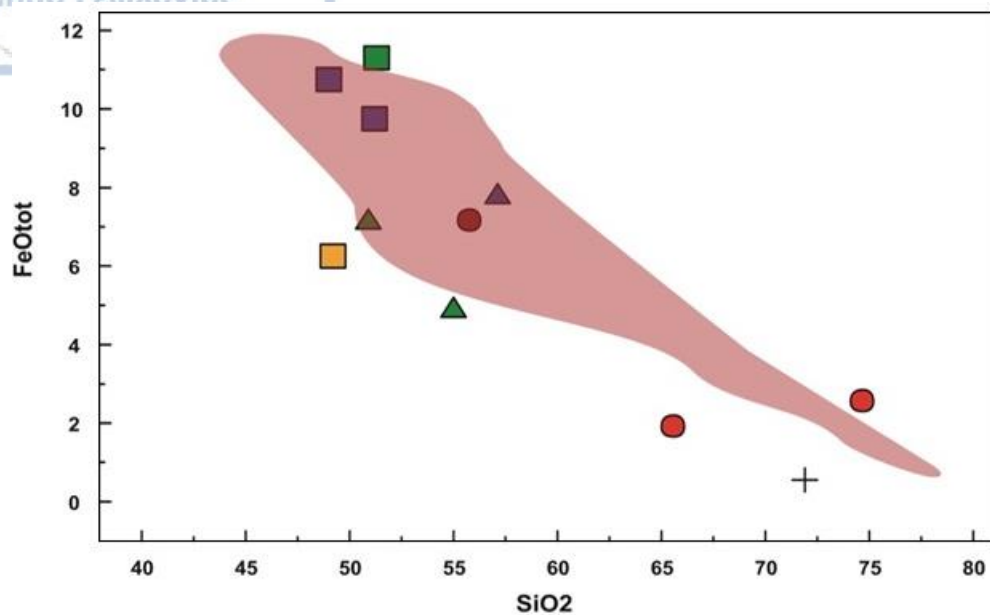
Για την σύγκριση των δύο πλουτωνιτών χρησιμοποιήθηκαν 11 δείγματα από τον πλουτωνίτη του Κενταύρου και 90 δείγματα από τον πλουτωνίτη της Ξάνθης. Η σύγκριση αυτών των δύο θα γίνει με τη βοήθεια διαγραμμάτων Harker κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων

Για τον συμβολισμό των δειγμάτων του πλουτωνίτη του Κενταύρου θα χρησιμοποιηθεί το Σχ. 4.1. Ο πλουτωνίτης της Ξάνθης αναπαρίσταται από την κόκκινη σκιασμένη περιοχή. Οι τιμές από τα δείγματα των κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων για τον πλουτωνίτη του Κενταύρου που θα αναφερθούν βρίσκονται στους Πίνακες 5.1α και β.

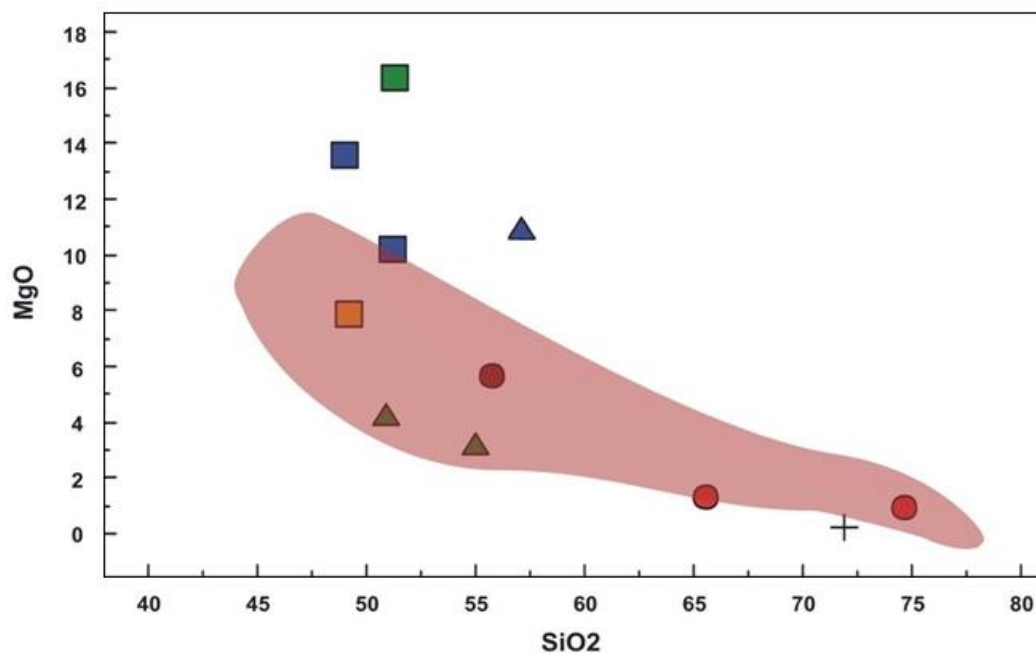
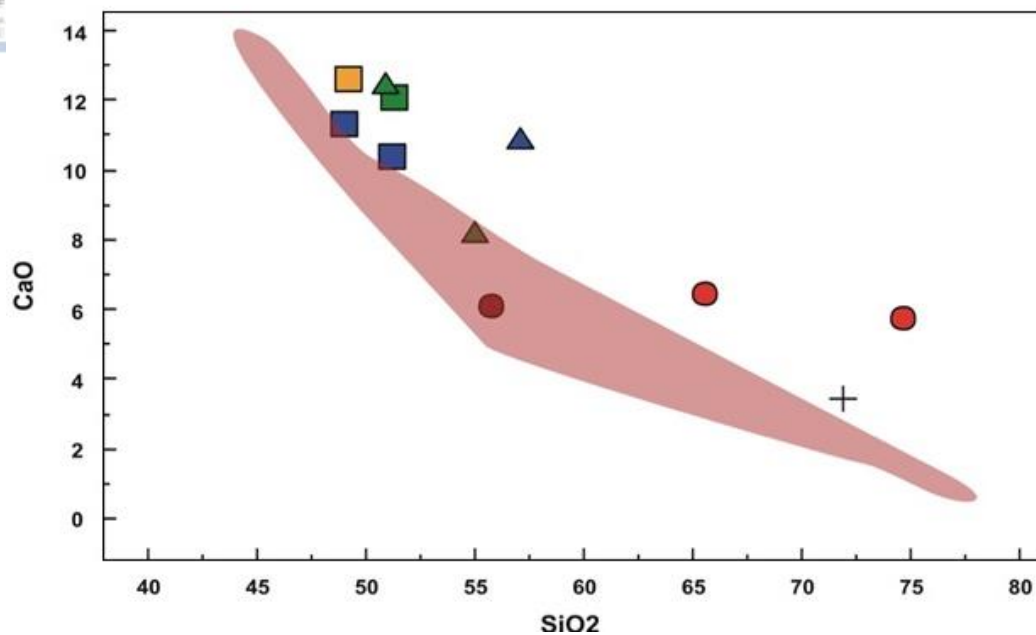
7.3 Σύγκριση κύριων στοιχείων πλουτωνιτών



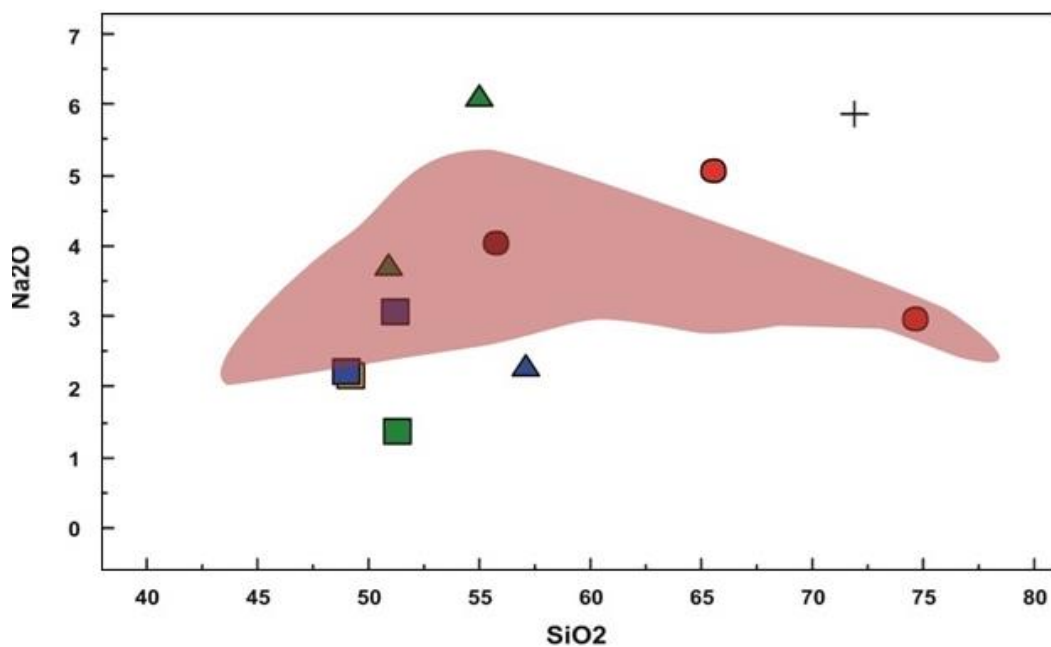
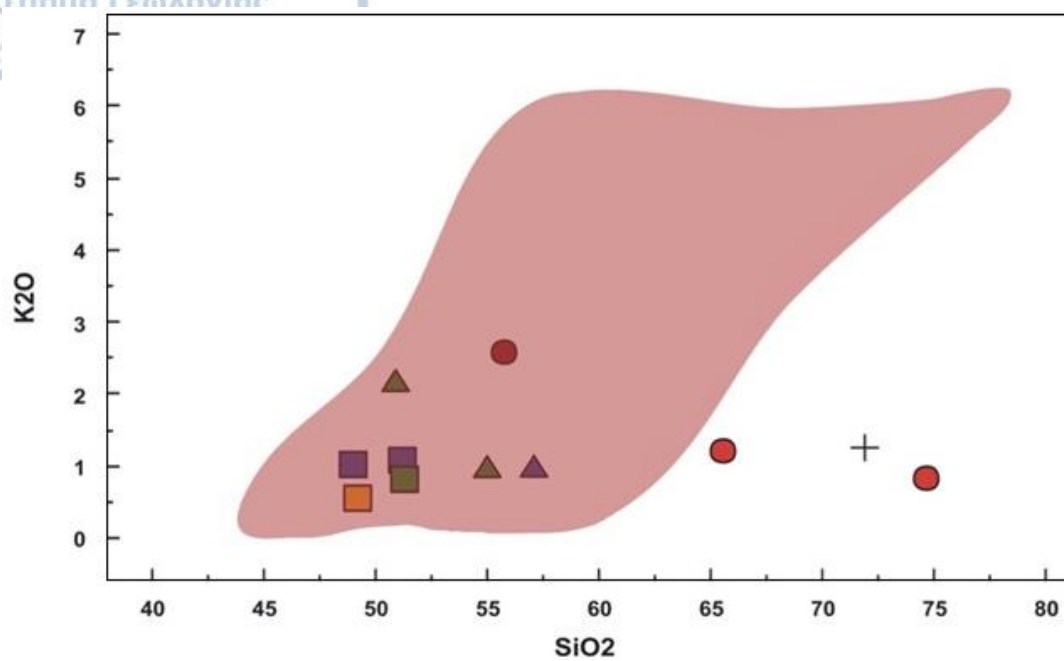
Σχήμα 7.4: Διαγράμματα Harker. Συμβολισμός όπως στο Σχ. 4.1, ρόδινη περιοχή: πλουτωνίτης Ξάνθης.



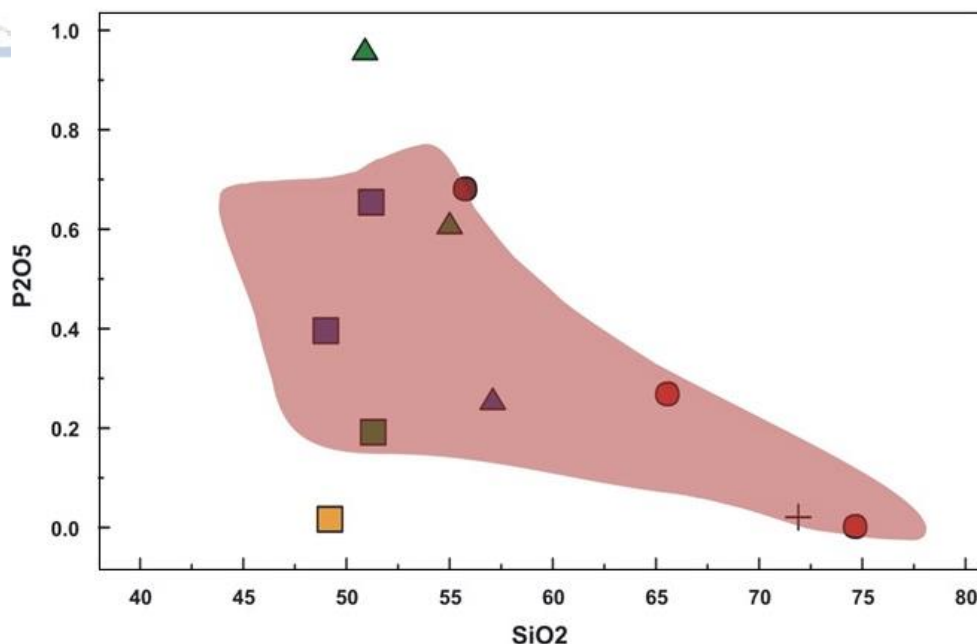
Σχήμα 7.4 συνέχεια.



Σχήμα 7.4 συνέχεια.



Σχήμα 7.4 συνέχεια.



Σχήμα 7.4 συνέχεια.

Το TiO_2 για τον πλουτωνίτη της Ξάνθης κυμαίνεται από 1.83 έως 0.1% και παρουσιάζει αρνητική τάση. Τα δείγματα του Κενταύρου φαίνεται γενικά να ακολουθούν αυτή την τάση. Εξαιρέση αποτελούν τα δείγματα KE-05, KE-07, KE-11 και KE-06, τα οποία παρουσιάζουν χαμηλότερες τιμές από τα δείγματα του πλουτωνίτη της Ξάνθης.

Το Al_2O_3 για τον πλουτωνίτη της Ξάνθης κυμαίνεται από 23.11 έως 12.31% και παρουσιάζει αρνητική τάση. Τα όξινα και κάποια ενδιάμεσα δείγματα του Κενταύρου (KE-05, KE-08 και KE-014) φαίνεται να ακολουθούν αυτή την τάση. Εξαιρέση αποτελούν τα δείγματα των σφωρειτικών πετρωμάτων (KE-03, KE-10, KE-12, KE-13) και τα δείγματα KE-10 και KE-07, τα οποία έχουν θετική τάση και παρουσιάζουν χαμηλότερες τιμές.

Ο FeO_{tot} για τον πλουτωνίτη της Ξάνθης κυμαίνεται από 10.99 έως 0.36% και παρουσιάζει αρνητική τάση. Τα δείγματα του Κενταύρου φαίνεται να ακολουθούν αυτή την τάση.

Το MnO για τον πλουτωνίτη της Ξάνθης κυμαίνεται από 0.21 έως 0.01% και παρουσιάζει αρνητική τάση. Τα δείγματα του Κενταύρου φαίνεται να ακολουθούν αυτή την τάση. Εξαιρέση το δείγμα KE-03, το οποίο παρουσιάζει μεγαλύτερη τιμή από τα δείγματα του πλουτωνίτη της Ξάνθης.



Το CaO για τον πλουτωνίτη της Ξάνθης κυμαίνεται από 0.63 έως 13.82% και παρουσιάζει αρνητική τάση. Τα δείγματα του πλουτωνίτη του Κενταύρου φαίνεται να ακολουθούν αυτή την τάση, με υψηλότερες τιμές.

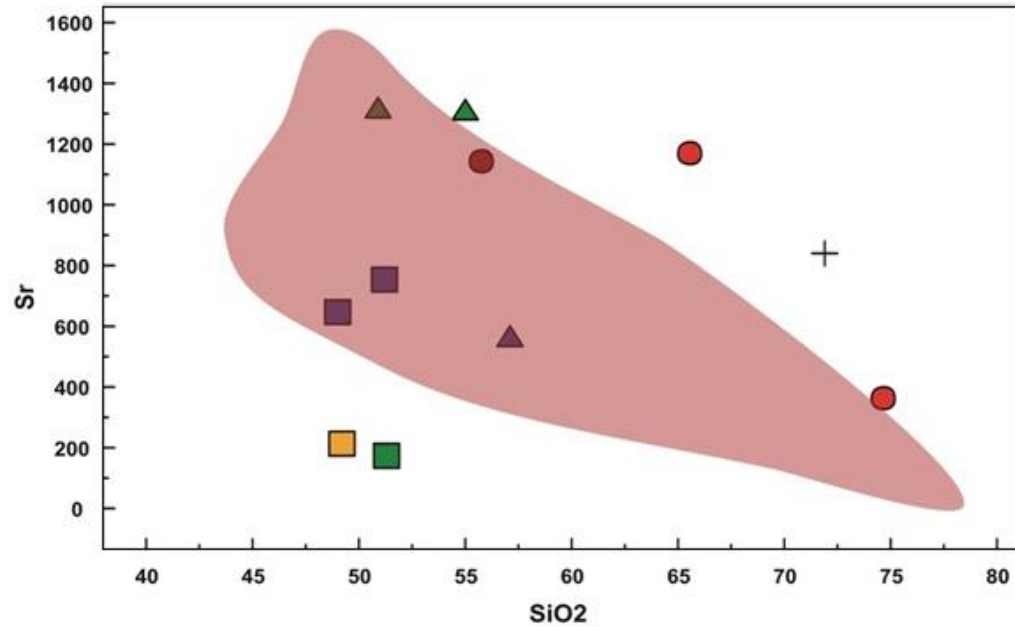
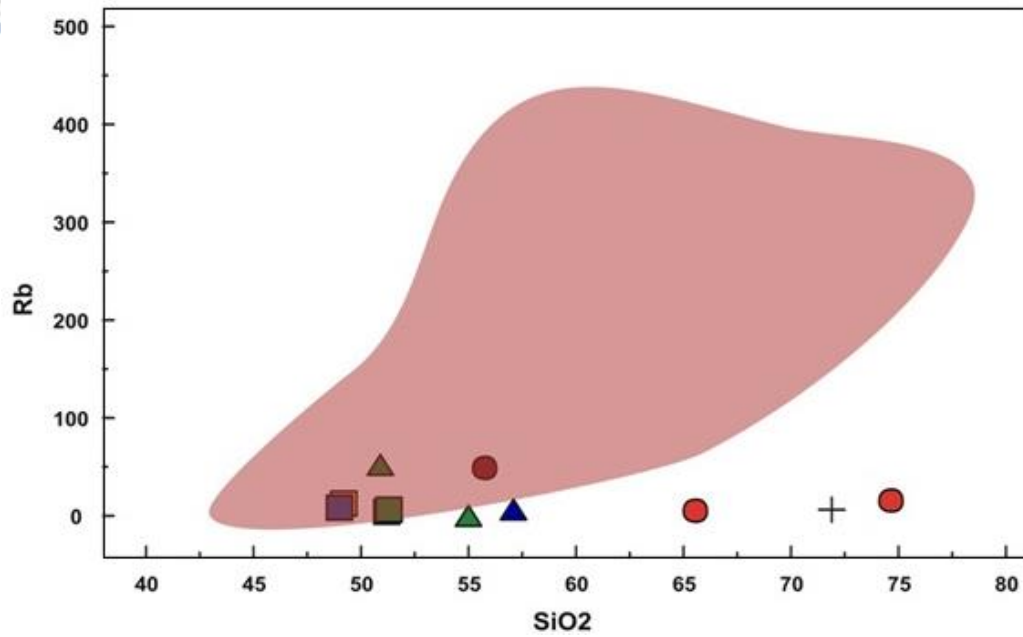
Το MgO για τον πλουτωνίτη της Ξάνθης κυμαίνεται από 10.74 έως 0.07% και παρουσιάζει αρνητική τάση. Τα δείγματα του Κενταύρου φαίνεται να ακολουθούν αυτή την τάση. Εξαίρεση αποτελούν τα δείγματα των σφωρειτικών πετρωμάτων και το δείγμα ΚΕ-10, τα οποία έχουν υψηλότερες τιμές από τα δείγματα του πλουτωνίτη της Ξάνθης και παρατηρείται διασπορά.

Το K_2O για τον πλουτωνίτη της Ξάνθης κυμαίνεται από 0.23 έως 6.05% και παρουσιάζει θετική τάση. Τα δείγματα του Κενταύρου δεν ακολουθούν αυτή την τάση, καθώς το K_2O στα βασικά και ενδιάμεσα στα ενδιάμεσα πετρώματα δεν παρουσιάζει τάση, ενώ στα όξινα πετρώματα η τάση του είναι αρνητική.

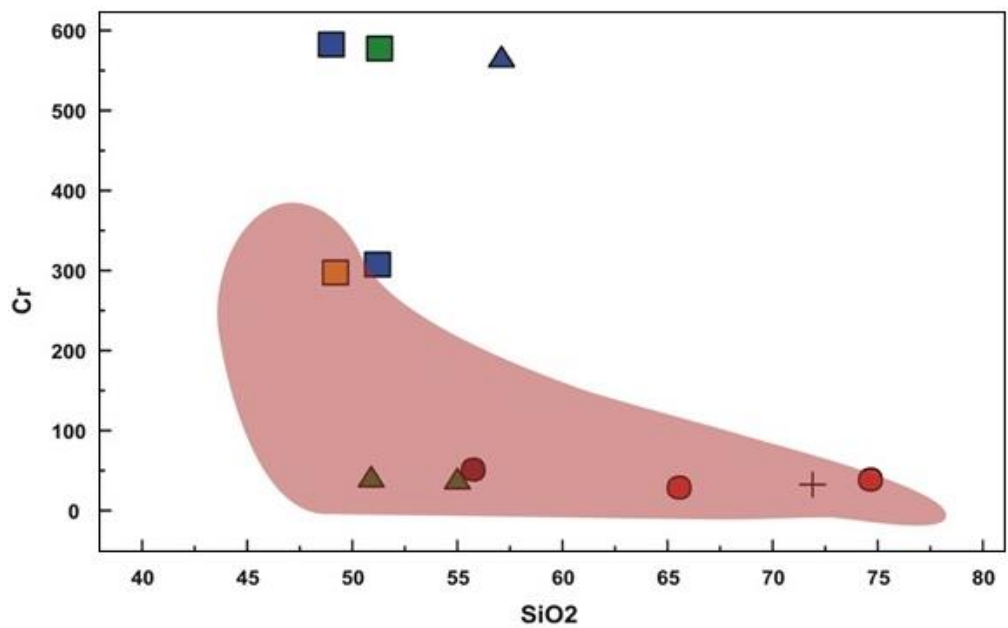
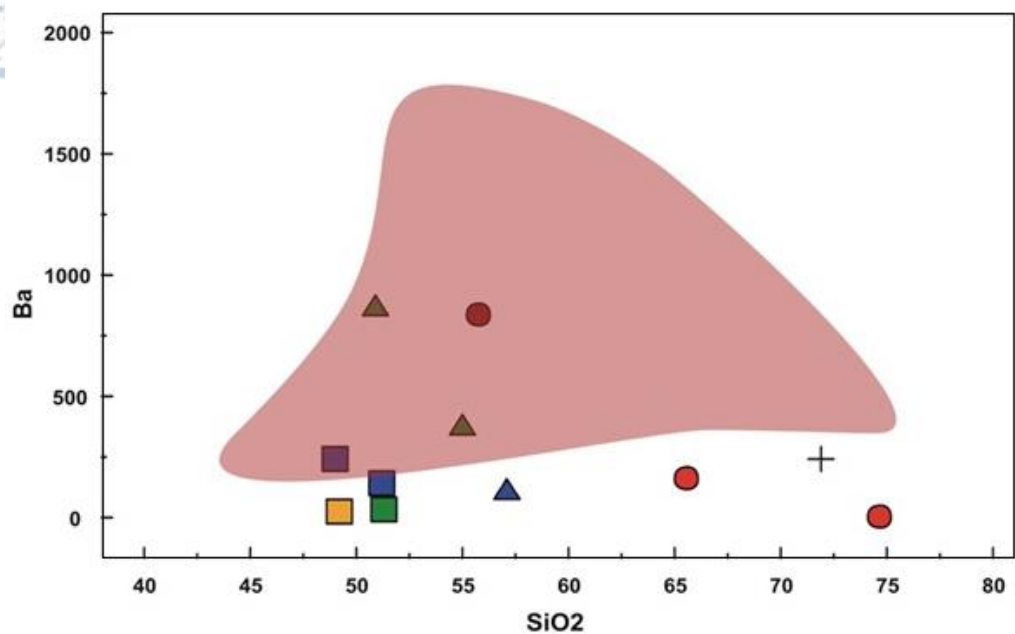
Το Na_2O για τον πλουτωνίτη της Ξάνθης κυμαίνεται από 2.25 έως 4.98% και παρουσιάζει αρχικά θετική τάση και μετά αρνητική. Τα δείγματα του Κενταύρου δεν φαίνεται να ακολουθούν αυτή την τάση.

Ο P_2O_5 για τον πλουτωνίτη της Ξάνθης κυμαίνεται από 0.0 έως 0.74% και παρουσιάζει αρνητική τάση. Τα όξινα δείγματα του Κενταύρου ακολουθούν αυτή την τάση, ενώ τα βασικά και ενδιάμεσα όχι, καθώς παρουσιάζουν μεγάλη διασπορά και όχι κάποια τάση. Τα δείγματα ΚΕ-05 και ΚΕ-8 παρουσιάζουν χαμηλότερη και υψηλότερη τιμή αντίστοιχα από τα δείγματα του Κενταύρου.

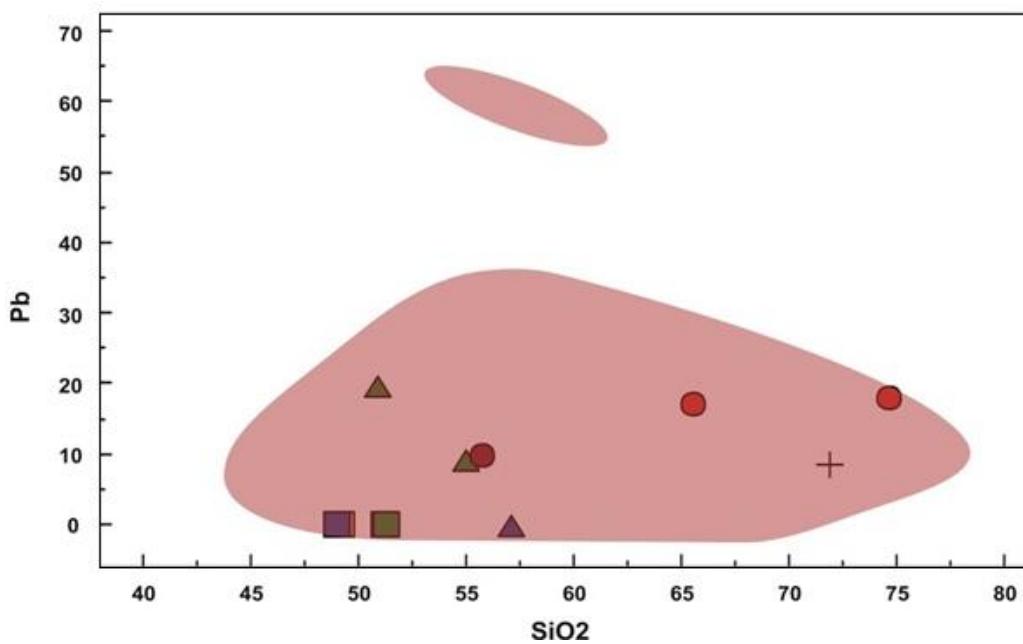
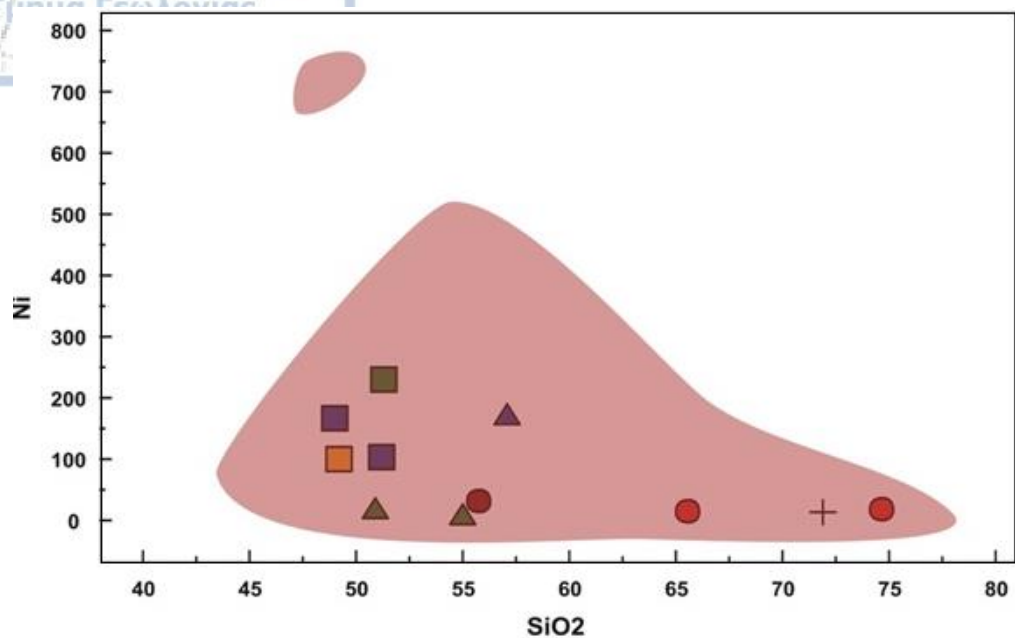
7.4 Σύγκριση ιχνοστοιχείων πλουτωνιτών



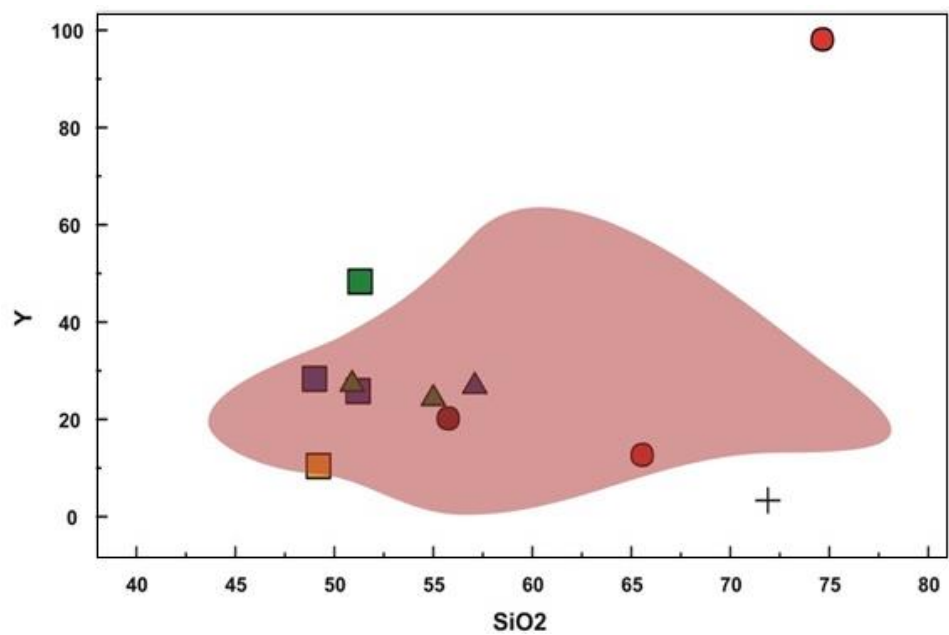
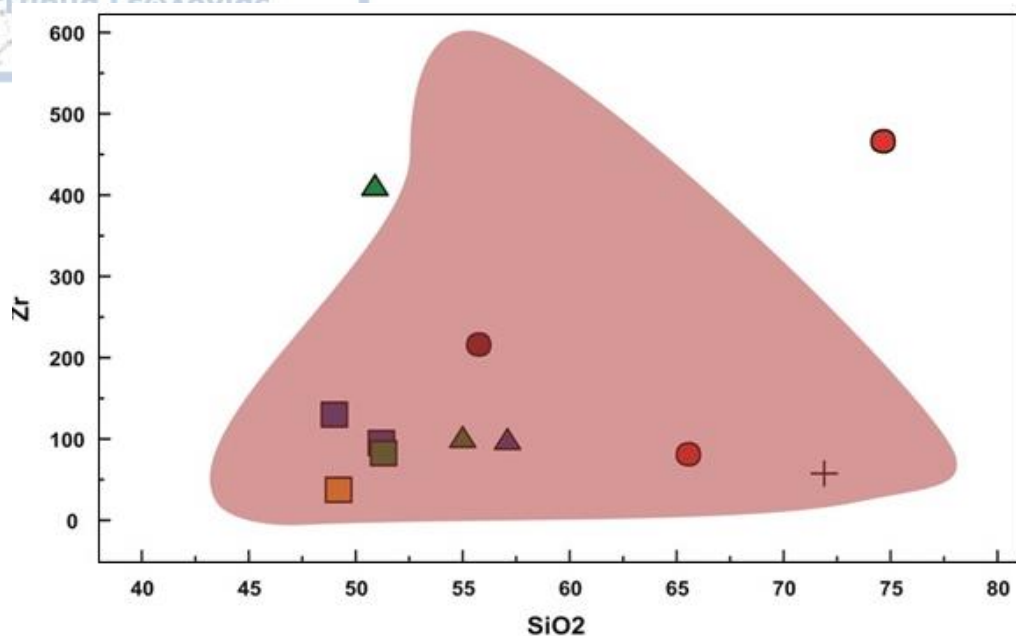
Σχήμα 7.5: Διαγράμματα Harker. Συμβολισμός όπως Σχ 7.4



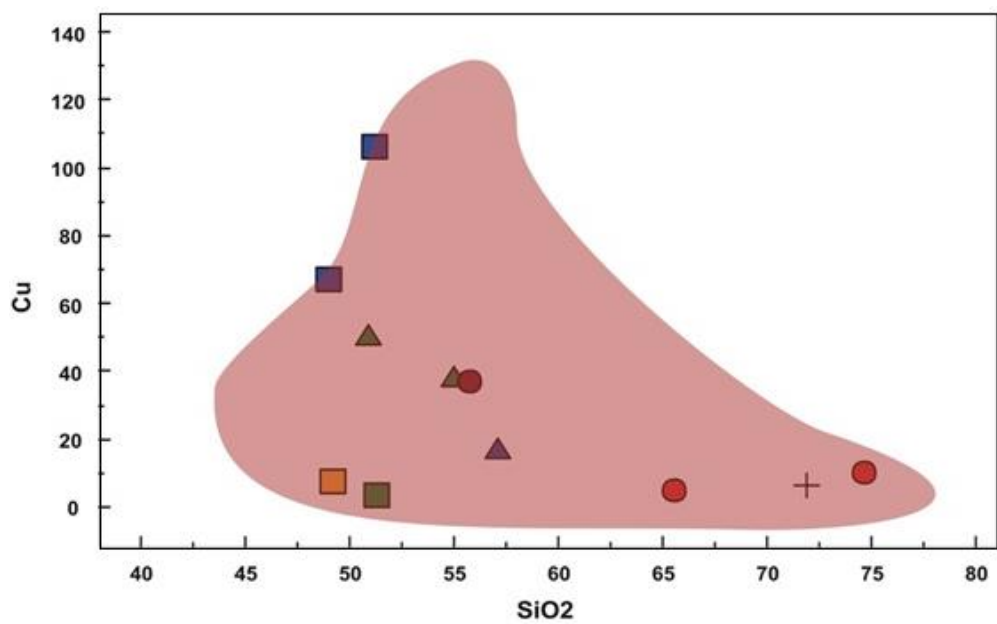
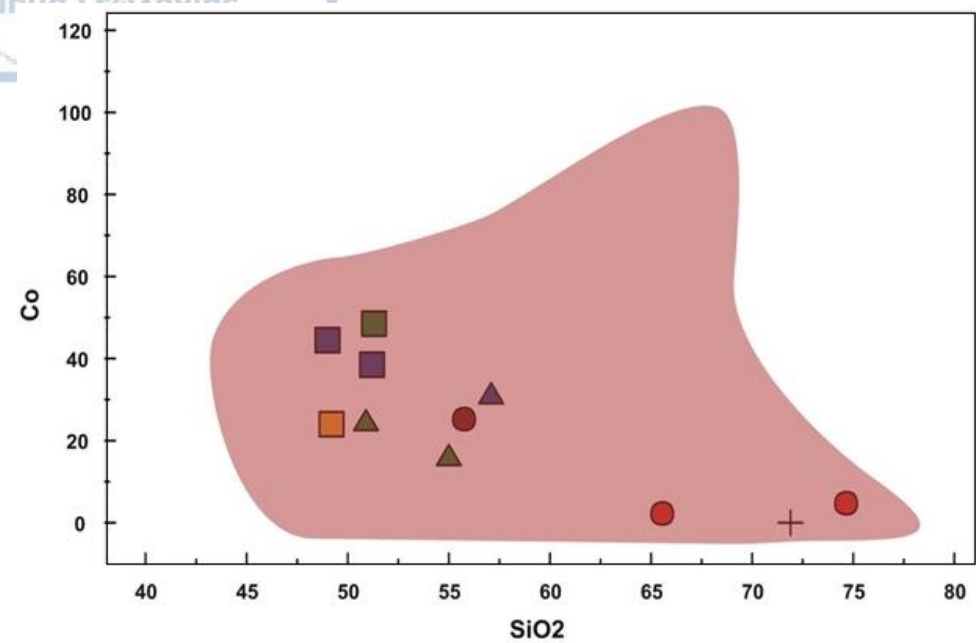
Σχήμα 7.5 συνέχεια.



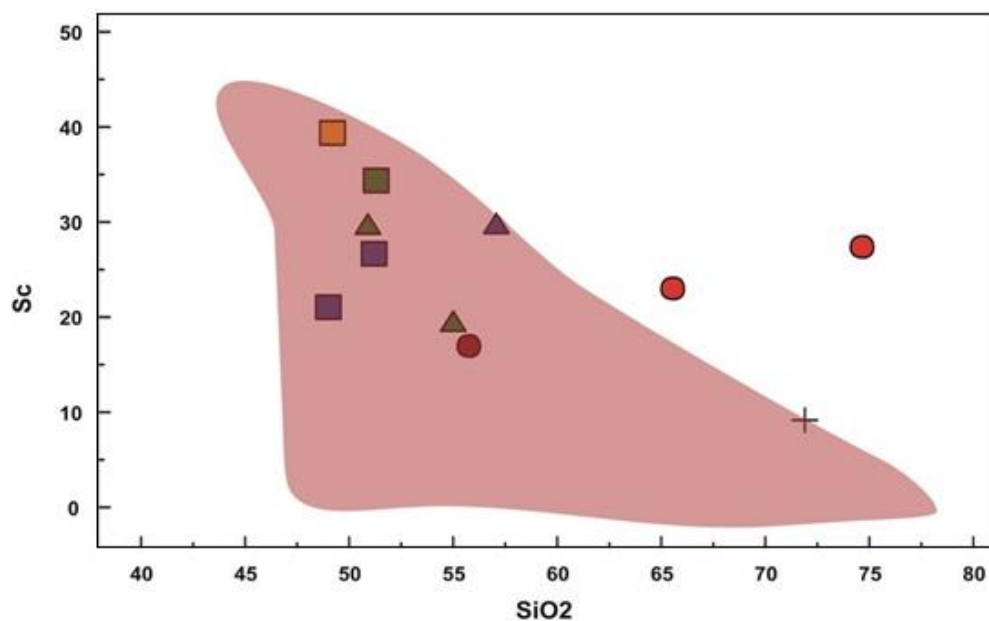
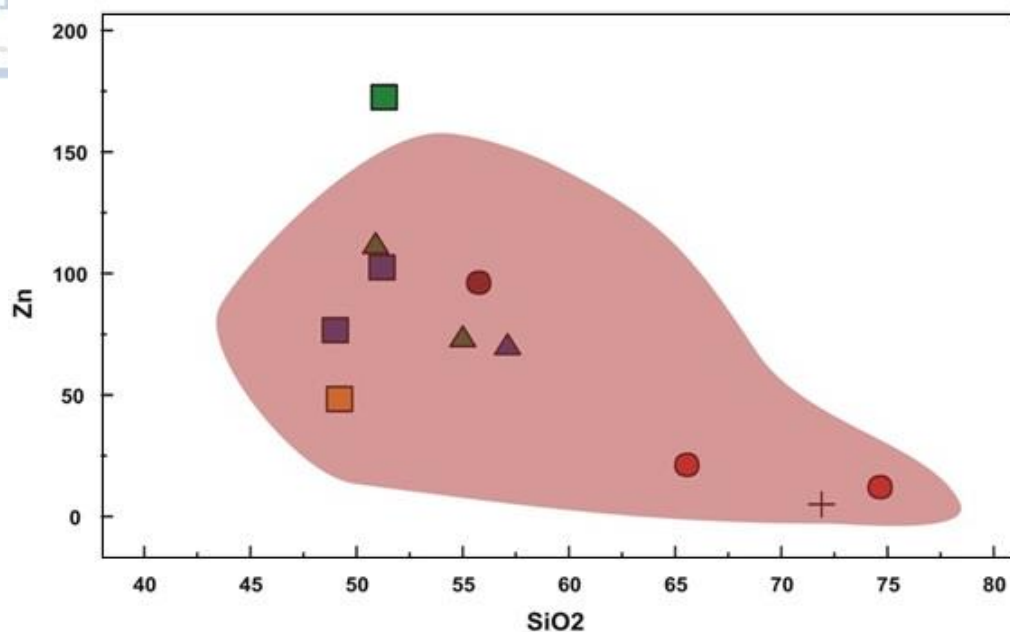
Σχήμα 7.5 συνέχεια.



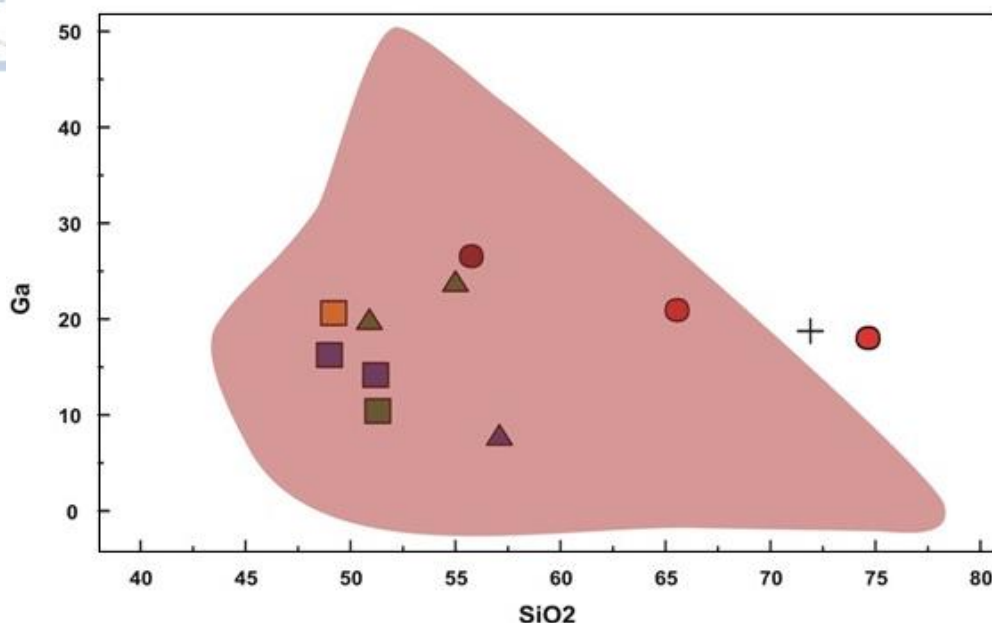
Σχήμα 7.5 συνέχεια.



Σχήμα 7.5 συνέχεια.



Σχήμα 7.5 συνέχεια.



Σχήμα 7.5 συνέχεια.

Το **Rb** για τον πλουτωνίτη της Ξάνθης κυμαίνεται από 4.1 έως 415.0 ppm και παρουσιάζει θετική τάση. Τα δείγματα του Κενταύρου δεν ακολουθούν αυτή την τάση, καθώς οι τιμές του Rb είναι πολύ χαμηλότερες.

Το **Sr** για τον πλουτωνίτη της Ξάνθης κυμαίνεται από 1503.0 έως 41.29 ppm και παρουσιάζει αρνητική τάση. Τα όξινα δείγματα του Κενταύρου ακολουθούν αυτή την τάση, όμως με μεγαλύτερες τιμές Sr, ενώ τα βασικά δείγματα δεν την ακολουθούν, καθώς παρουσιάζουν θετική τάση.

Το **Ba** για τον πλουτωνίτη της Ξάνθης κυμαίνεται από 45.32 έως 1740.0 ppm και δεν παρουσιάζει τάση. Τα δείγματα του Κενταύρου δεν ακολουθούν αυτή την τάση, καθώς τα βασικά και ενδιάμεσα δείγματα έχουν θετική τάση με χαμηλότερες τιμές Ba. Τα όξινα δείγματα του Κενταύρου παρουσιάζουν αρνητική τάση με χαμηλότερες τιμές Ba.

Το **Cr** για τον πλουτωνίτη της Ξάνθης κυμαίνεται από 0.0 έως 368.0 ppm και παρουσιάζει αρνητική τάση. Τα δείγματα του Κενταύρου δεν ακολουθούν αυτή την τάση.

Το **Ni** για τον πλουτωνίτη της Ξάνθης κυμαίνεται από 0.0 έως 740.87 ppm και δεν παρουσιάζει τάση. Τα δείγματα του Κενταύρου φαίνεται να ακολουθούν αυτή την τάση.

Ο **Pb** για τον πλουτωνίτη της Ξάνθης κυμαίνεται από 0.0 έως 63.0 ppm και δεν παρουσιάζει τάση. Τα δείγματα του Κενταύρου φαίνεται να ακολουθούν αυτή την τάση.

Το **Zr** για τον πλουτωνίτη της Ξάνθης κυμαίνεται από 3.71 έως 595.0 ppm και δεν παρουσιάζει τάση. Τα δείγματα του Κενταύρου φαίνεται να ακολουθούν αυτή την τάση.



Εξαίρεση αποτελούν τα δείγματα KE-08 και KE-04, τα οποία δεν ακολουθούν αυτή την τάση.

Το **Y** για τον πλουτωνίτη της Ξάνθης κυμαίνεται από 4.0 έως 841.09 ppm και δεν παρουσιάζει τάση. Τα βασικά δείγματα του Κενταύρου φαίνεται να ακολουθούν αυτή την τάση. Εξαίρεση αποτελούν τα όξινα πετρώματα, τα οποία δεν ακολουθούν αυτή την τάση.

Το **Nb** για τον πλουτωνίτη της Ξάνθης κυμαίνεται από 0.98 έως 56.08 ppm και δεν παρουσιάζει τάση. Τα δείγματα του Κενταύρου δεν ακολουθούν αυτή την τάση, καθώς για τα βασικά και ενδιάμεσα δείγματα η τάση μειώνεται, ενώ για τα όξινα αυξάνεται.

Το **V** για τον πλουτωνίτη της Ξάνθης κυμαίνεται από 2.0 έως 1842.44 ppm και δεν παρουσιάζει τάση. Παρουσιάζει δύο ομάδες τιμών V: ομάδα υψηλού V (1842.44 ppm) και ομάδα χαμηλού V (337.68 έως 2.0 ppm). Τα δείγματα του Κενταύρου φαίνεται να ακολουθούν την τάση της ομάδας χαμηλού V.

Το **Co** για τον πλουτωνίτη της Ξάνθης κυμαίνεται από 6.7 έως 119.1 ppm και δεν παρουσιάζει τάση. Τα δείγματα του Κενταύρου δεν ακολουθούν αυτή την τάση, καθώς στα βασικά και ενδιάμεσα πετρώματα η τάση μειώνεται, ενώ στα όξινα αυξάνεται.

Ο **Cu** για τον πλουτωνίτη της Ξάνθης κυμαίνεται από 0.0 έως 127.1 ppm και δεν παρουσιάζει τάση. Τα δείγματα του Κενταύρου δεν ακολουθούν αυτή την τάση, καθώς στα βασικά και ενδιάμεσα πετρώματα η τάση μειώνεται, ενώ στα όξινα αυξάνεται.

Ο **Zn** για τον πλουτωνίτη της Ξάνθης κυμαίνεται από 153.0 έως 5.03 ppm και παρουσιάζει αρνητική τάση. Τα δείγματα του Κενταύρου φαίνεται να ακολουθούν αυτή την τάση. Εξαίρεση αποτελεί το δείγμα KE-03, το οποίο παρουσιάζει υψηλότερη τιμή (172.0 ppm).

Το **Sc** για τον πλουτωνίτη της Ξάνθης κυμαίνεται από 42.84 έως 0.0 ppm και παρουσιάζει αρνητική τάση. Τα βασικά και ενδιάμεσα δείγματα του Κενταύρου ακολουθούν αυτή την τάση, ενώ τα όξινα όχι καθώς παρουσιάζουν θετική τάση. Εξαίρεση αποτελεί το δείγμα KE-06, το οποίο έχει χαμηλότερη τιμή από τα δείγματα της ομάδας του (9.0 ppm).

Το **Ga** για τον πλουτωνίτη της Ξάνθης κυμαίνεται από 16.3 έως 48.82 ppm και δεν παρουσιάζει τάση. Τα δείγματα του Κενταύρου δεν ακολουθούν αυτή την τάση, καθώς τα βασικά πετρώματα παρουσιάζουν θετική τάση και τα όξινα αρνητική.

8. Συμπεράσματα-Συζήτηση

Στην παρούσα εργασία μελετάται ο πλουτωνίτης του Κενταύρου, ο οποίος γεωτεκτονικά ανήκει στη Μάζα Ροδοπης και έχει ηλικία 38 ± 1 Ma (Liati 1986 από Krohe & Mposkos 2002).

Με βάση μακροσκοπικές και μικροσκοπικές παρατηρήσεις, καθώς και ορυκτολογική (QAP Le Maitre 1989) και χημική ταξινόμηση (TAS από Cox et al. 1979) διακρίνονται έξι πετρογραφικοί τύποι: Σωρρειτικά πετρώματα (Cum Px, Cum Hb), Γάββροι (Gb), Διορίτες (Hb Dr, Px-Hb Dr), Χαλαζιακοί Μονζοδιορίτες (Qz MzDr), Τοναλίτες (Ton) και Πηγματίτες (Pgm).

Τα Cum Hb και Cum Px αποτελούν μεσόκοκκα έως αδρόκοκκα πετρώματα σκούρου χρώματος, με μεγάλους κρυστάλλους Hb. Τα κύρια ορυκτά συστατικά είναι Pl, Hb, Px, Bt, Or και Qz. Ως επουσιώδη ορυκτά περιέχουν Tit, Chl και Ap.

Ο Gb αποτελεί μεσόκοκκο πέτρωμα σκούρου χρώματος. Τα κύρια ορυκτά συστατικά είναι Pl, Hb και Px. Δεν περιέχει επουσιώδη ορυκτά.

Οι Hb Dr και Px-Hb Dr αποτελούν μεσόκοκκα έως αδρόκοκκα πετρώματα σκούρου χρώματος, με εξαίρεση το δείγμα KE-14 το οποίο είναι ανοιχτόχρωμο. Βρίσκονται σε επαφή με ανθρακικά πετρώματα και δημιουργούν λεπτή ζώνη skarn. Τα κύρια ορυκτά συστατικά είναι Qz, Or, Pl, Hb, Bt, Px. Ως επουσιώδη ορυκτά περιέχουν Tit, Ap, All, Zr και μεταλλικά ορυκτά (πιθανότατα Py).

Οι Ton αποτελούν μεσόκοκκα πετρώματα ανοιχτού χρώματος, τα οποία εμφανίζονται έντονα αποσαθρωμένα. Τα κύρια ορυκτά συστατικά είναι Qz, Or, Pl, Hb, Bt και Px. Ως επουσιώδη ορυκτά περιέχουν Chl, All και Zr.

Ο Pgm αποτελεί μεσόκοκκο πέτρωμα λευκού χρώματος. Τα κύρια ορυκτά συστατικά είναι Qz, Or και Pl. Ως επουσιώδη ορυκτά περιέχουν Ep, Czs και All.

Όσον αφορά τη γεωχημεία τα κύρια στοιχεία, τα οποία μειώνονται με την αύξηση του SiO₂ είναι τα TiO₂, FeO_{tot}, MnO, MgO, CaO και P₂O₅. Τα κύρια στοιχεία τα οποία αυξάνονται με την αύξηση του SiO₂ είναι τα Al₂O₃, K₂O και Na₂O.

Τα ιχνοστοιχεία, τα οποία μειώνονται με την αύξηση του SiO₂ είναι τα Sr, Ba, Cr, Ni, Zr, Y, Nb, V, Co, Cu, και Zn. Τα ιχνοστοιχεία, τα οποία αυξάνονται με την αύξηση του SiO₂ είναι τα Rb, Pb, Sc και Ga.

Τα κύρια στοιχεία, τα οποία μειώνονται με την αύξηση του MgO είναι τα SiO₂, Al₂O₃, Na₂O, K₂O και P₂O₅. Τα κύρια στοιχεία, τα οποία αυξάνονται με την αύξηση του MgO είναι τα TiO₂, FeO_{tot}, MnO και CaO.

Τα ιχνοστοιχεία, τα οποία μειώνονται με την αύξηση του MgO είναι τα Rb, Sr, Ba, Pb, Zr, Cu και Ga. Τα ιχνοστοιχεία, τα οποία αυξάνονται με την αύξηση του MgO είναι τα Cr, Ni, Y, Nb, V, Co, Zn και Sc.

Με βάση διαγράμματα γεωτεκτονικού περιβάλλοντος (Pearce et al. 1984) τα πετρώματα σχετίζονται με μαγματισμό ενεργού ηπειρωτικού περιθωρίου (VAG).

Ο τύπος μάγματος σύμφωνα με το διάγραμμα Peccerillo & Taylor (1976) είναι ασβεσταλκαλικός έως υψηλού K ασβεσταλκαλικός και με βάση το διάγραμμα A/NK-A/CNK ο μαγματισμός είναι I-τύπου μεταργιλικός.

Όσον αφορά την προέλευση των τηγμάτων, τα όξινα δείγματα (KE-04 και KE-06) σχετίζονται με τήγμα μεταγραουβάκη. Τα ενδιάμεσα δείγματα (KE-07, KE-08, KE-10 και KE-14) έχουν παρόμοια σύσταση με ανδεσιτικό τήγμα υψηλού Mg. Το όξινο δείγμα KE-11 προβάλλεται ανάμεσα στα ενδιάμεσα και στα όξινα, επομένως σχετίζεται με τη διαδικασία μίξης γρανιτικού τήγματος (μεταγραουβάκη) με περιδοτιτικό τήγμα.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η σύγκριση του πλουτωνίτη του Κενταύρου με αυτόν της Ξάνθης. Αρχικά, οι δύο πλουτωνίτες, βρίσκονται σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους και έχουν παρόμοια ηλικία. Εμφανίζουν κοινούς πετρογραφικούς τύπους, καθώς και οι δύο περιέχουν χαλαζιακούς μονζοδιορίτες, διορίτες και γάββρους. Αποκλίνουν στα όξινα πετρώματα, καθώς ο πλουτωνίτης του Κενταύρου περιέχει τοναλίτες, ενώ ο αντίστοιχος της Ξάνθης γρανοδιορίτες και μονζογρανίτες. Από γεωχημική σκοπιά, τα κύρια στοιχεία στα οποία μοιάζουν ο πλουτωνίτης του Κενταύρου με τον πλουτωνίτη της Ξάνθης είναι τα: TiO_2 , Al_2O_3 και P_2O_5 όξινα δείγματα, Fe_{tot} , MnO , MgO στα όξινα και ενδιάμεσα δείγματα. Τα ιχνοστοιχεία στα οποία μοιάζουν ο πλουτωνίτης του Κενταύρου με τον πλουτωνίτη της Ξάνθης είναι τα: Sr στα όξινα δείγματα, Ni, Pb, Zr, Y στα βασικά δείγματα, V στην ομάδα χαμηλού V, Zn και Sc στα βασικά δείγματα. Οι δύο πλουτωνίτες έχουν το ίδιο γεωτεκτονικό περιβάλλον (VAG) και τύπο μάγματος, ο οποίος είναι ασβεσταλκαλικός έως υψηλού K ασβεσταλκαλικός.

9. Περίληψη

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται την πετρογραφία, τη γεωχημεία και την πετρογένεση του πλουτωνίτη του Κενταύρου, καθώς και τη σύγκρισή του με τον αντίστοιχο της Ξάνθης. Η ηλικία του πλουτωνίτη υπολογίζεται με τη μέθοδο K/Ar σε Hb στα 38 ± 1 Ma. Οι πετρογραφικοί τύποι του πλουτωνίτη είναι οι εξής: Σωρρειτικά πετρώματα (Cum), Γάββροι (Gb), Διορίτες και Χαλαζιακοί μονζοδιορίτες (Dr, Qz-MzDr), Τοναλίτες (Ton) και Πηγματίτες (Pgm). Η μικροσκοπική παρατήρηση έδειξε ότι η ορυκτολογική σύσταση του πλουτωνίτη περιλαμβάνει: χαλαζία, πλαγιόκλαστο, ορθόκλαστο, μικροκλινή, κεροστίλβη, πυρόξενο, βιοτίτη, τιτανίτη, χλωρίτη, αλλανίτη, επίδοτο, ζirkόνιο, κλινοζοϊσίτη και μεταλλικά ορυκτά. Η γεωχημική ανάλυση έδειξε ότι ο πλουτωνίτης ανήκει στην ασβεσταλκαλική έως την υψηλού K ασβεσταλκαλική σειρά και χαρακτηρίζεται ως μεταργίλικός I-τύπου. Το γεωτεκτονικό περιβάλλον με το οποίο συνδέεται είναι ενεργό ηπειρωτικό περιθώριο (VAG). Ο πλουτωνίτης του Κενταύρου συγκρίνεται με τον αντίστοιχο της Ξάνθης, διότι παρουσιάζουν ομοιότητες. Τα κοινά τους χαρακτηριστικά είναι η ηλικία, ορισμένοι πετρογραφικοί τύποι, οι τιμές κάποιων χημικών στοιχείων, το γεωτεκτονικό περιβάλλον και ο τύπος μάγματος.

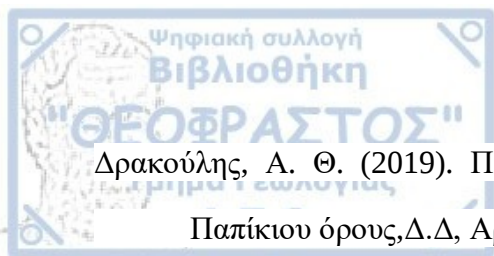


10. Abstract

This thesis deals with the petrography, geochemistry and petrogenesis of the Kentavros plutonite, as well as its comparison with Xanthi's plutonite. The age of the plutonite is estimated by K/Ar method in Hb at 38 ± 1 Ma. The petrographic types of the plutonite are: Cumulate rocks (Cum), Gabbros (Gb), Diorites and Quartz Monzodiorites (Dr, Qz-MzDr), Tonalites (Ton) and Pegmatites (Pgm). The mineralogical composition of the plutonite includes: quartz, plagioclase, orthoclast, microcline, hornblende, pyroxene, biotite, titanite, chlorite, allanite, epidote, zircon, clinozoisite and opaques. Geochemical analysis showed that the plutonite belongs to the calc-alkaline to high-K calc-alkaline series and is characterized as metaluminous I-type. The associated geotectonic setting is an active continental margin (VAG). The plutonite of Kentavros is compared to the plutonite of Xanthi, because they show similarities. Their common characteristics are age, certain petrographic types, values of some chemical elements, geotectonic setting and magma type.

11. Βιβλιογραφία

- Bonev, N., Burg, J. P., & Ivanov, Z. (2006). Mesozoic–Tertiary structural evolution of an extensional gneiss dome—the Kesebir–Kardamos dome, eastern Rhodope (Bulgaria–Greece). *International Journal of Earth Sciences*, 95, 318-340.
- Christofides, G., Soldatos, T., Eleftheriadis, G., & Koroneos, A. (1998). Chemical and isotopic evidence for source contamination and crustal assimilation in the Hellenic Rhodope plutonic rocks. *Acta Vulcanologica*, 10, 305-318.
- Christofides, G., Koroneos, A., Kiliass, A., Eleftheriadis, G., & Soldatos, T. (2001). Eocene magmatism (Sithonia and Elatia plutons) in the Internal Hellenides and implications for Eocene-Miocene geological evolution of the Rhodope Massif (Northern Greece). *Acta vulcanologica: Journal of the National Volcanic Group of Italy*: 13, 1/2, 2001, 1000-1017.
- Christofides, G., Pecskey, Z., Eleftheriadis, G., Soldatos, T., & Koroneos, A. (2001). Petrology and K/Ar geochronology of the Tertiary Evros volcanic rocks, Thrace, northeastern Greece. PANCARDI 2001. *Proc. II Abstracts*, DP6-7.
- Christodifis, G., Pécskay, Z., Eleftheriadis, G. E., Soldatos, T. Y., & Koroneos, A. (2004). The Tertiary Evros volcanic rocks (Thrace, northeastern Greece): petrology and K/Ar geochronology. *Geologica Carpathica*, 55(5).
- Christofides, G., Pipera, K., Koroneos, A., & Papadopoulos, A. (2012). New geochronological data from the Xanthi pluton: Constraints on the Nestos thrust dating, The School of Prof. Zhivko Ivanov. In *International Conference: Exhumation of High-grade Metamorphic Rocks (MCC), Magmatic Arc Systems and Strrike-slip Zones* (pp. 49-52).
- Cox, K. G., Bell, J. D., & Pankhurst, R. J. (1979). Compositional variation in magmas. In *The interpretation of igneous rocks* (pp. 12-41). Dordrecht: Springer Netherlands.



Δρακούλης, Α. Θ. (2019). Πετρολογική και γεωχημική μελέτη του πλουτωνίτη του Πατίκιου όρους, Δ.Δ., Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σελ. 308.

Eleftheriadis, G., & Lippolt, H. J. (1984). Altersbestimmung zum oligozänen Vulkanismus der Süd-Rhodopen/Nord-Griechenland. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie. Monatshefte*, (3), 179-191.

Eleftheriadis, G. (1989). Pyroxenes from the Kotani-Kalotycho and Dipotama-Kotyli Tertiary volcanics north of Xanthi, Central Rhodope (North Greece). *Chemie der Erde*, 49(3), 219-227.

Eleftheriadis, G., Christofides, G., Mavroudchiev, B., Nedyalkov, R., Andreev, A., & Hristov, L. (1989). Tertiary volcanics from the East Rhodopes in Greece and Bulgaria. *Geologica Rhodopica*, 1, 202-217.

Innocenti, F., Kolios, N., Manetti, P., Mazzuoli, R., Rita, F. and Villari, L., 1984. Evolution and geodynamic significance of the Tertiary orogenic volcanism in northeastern Greece. *Bull. Volcanol.*, 47, 25-37.

Kilias A, Mountrakis D (1990) Kinematics of the crystalline sequences in the western Rhodope massif. *Geol Rhodop* 2 : 100–116

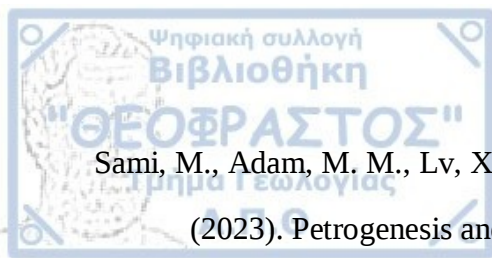
Kilias, A., Falalakis, G., & Mountrakis, D. (1999). Cretaceous–Tertiary structures and kinematics of the Serbomacedonian metamorphic rocks and their relation to the exhumation of the Hellenic hinterland (Macedonia, Greece). *International Journal of Earth Sciences*, 88, 513-531.

Kilias, A., Fallakis, G., Sfeikos, A., Papadimitriou, E., Vamvaka, A., Gkarlaounni Ch. (2011). Architecture of Kinematics and Deformation History of the Tertiary Supradetachment Thrace basin: Rhodope Province (NE Greece): in *New Frontiers in Tectonic Research – At the Midst of Plate Convergence*, (ed) U. Schattner, InTech, open access Publisher, Chapter 9, 241 -268.



- Kockel, F., & Walther, H. W. (1965). Die Strimonlinie als Grenze zwischen Serbo-Mazedonischem und Rila-Rhodope-Massiv in Ost-Mazedonien. *Geologisches Jahrbuch*, 83, 575-602.
- Koukouvelas, I., & Pe-Piper, G. (1991). The Oligocene Xanthi pluton, northern Greece: a granodiorite emplaced during regional extension. *Journal of the Geological Society*, 148(4), 749-758.
- Krohe, A., & Mposkos, E. (2002). Multiple generations of extensional detachments in the Rhodope Mountains (northern Greece): evidence of episodic exhumation of high-pressure rocks. *Geological Society, London, Special Publications*, 204(1), 151-178.
- Laurent, O., Martin, H., Moyen, J. F., & Doucelance, R. (2014). The diversity and evolution of late-Archean granitoids: Evidence for the onset of “modern-style” plate tectonics between 3.0 and 2.5 Ga. *Lithos*, 205, 208-235.
- Liati, A., & Seidel, E. (1996). Metamorphic evolution and geochemistry of kyanite eclogites in central Rhodope, northern Greece. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 123, 293-307.
- Maitre, L. E. (1989). A classification of igneous rocks and glossary of terms. Recommendations of the international union of geological sciences subcommission on the systematics of igneous rocks, 193.
- Magganas, A., Bigazzi, G., Kyriakopoulos, K., & Balestrieri, M. L. (2004, April). Low-T thermochronological evolution of the Vrontou composite pluton (northern Greece) using apatite fission track analyses. In *5th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology Thessaloniki, Greece* (pp. 14-20).
- Mountrakis, D., Tranos, M., Papazachos, C., Thomaidou, E., Karagianni, E., & Vamvakaris, D. (2006). Neotectonic and seismological data concerning major

- active faults, and the stress regimes of Northern Greece. *Geological Society, London, Special Publications*, 260(1), 649-670.
- Μουντράκης Δ. (2021). Γεωλογία και Γεωτεκτονική Εξέλιξη της Ελλάδος. Θεσσαλονίκη: University Studio Press, σελ. 33-43.
- Mposkos, E. (1989). High-pressure metamorphism in gneisses and pelitic schists in the East Rhodope Zone (N. Greece). *Mineralogy and Petrology*, 41(1), 25-39.
- Mposkos, E., Liati, A., & Katagas Ch, A. N. (1990). Petrology of the metamorphic rocks of Western Rhodope, Drama area, N Greece. *Geol Rhodopica*, 2, 127-142.
- Mposkos, E. (2002). Petrology of the ultra-high pressure metamorphic Kimi complex in Rhodope (NE Greece). A new insight into the Alpine geodynamic evolution of Rhodope. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 34(6), 2169-2188.
- Neiva, A. M. R., Christofides, G., Eleftheriadis, G., & Soldatos, T. (1996). Geochemistry, of Granitic Rocks and Their Minerals from the Kavala Pluton, Northern Greece. *Chemie der Erde*, 56, 117-142.
- Papanikolaou, D., & Panagopoulos, A. (1981). On the structural style of Southern Rhodope, Greece
- Peccerillo, A., & Taylor, S. R. (1976). Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. Contributions to mineralogy and petrology, 58, 63-81.
- Pearce, J. A., Harris, N. B., & Tindle, A. G. (1984). Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of petrology*, 25(4), 956-983.
- Pipera, K., Koroneos, A., Soldatos, T., Poli, G., & Christofides, G. (2013). Origin of the High-K Tertiary magmatism in Northern Greece: Implications for mantle geochemistry and geotectonic setting. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 47(1), 416-426.



Sami, M., Adam, M. M., Lv, X., Lasheen, E. S. R., Ene, A., Zakaly, H. M., ... & Ali, S.

(2023). Petrogenesis and tectonic implications of the cryogenian I-type

granodiorites from Gabgaba Terrane (NE Sudan). *Minerals*, 13(3), 331.

Soldatos, T., & Christofides, G. (1986). Rb-Sr geochronology and origin of the Elatia

Pluton, central Rhodope, north Greece. *Geologica Balcanica*, 16(1), 15-23.

Soldatos, T., Poli, G., Christofides, G., Eleftheriadis, G., Koroneos, A., & Tommasini, S.

(1998). Petrology and evolution of transitional alkaline-subalkaline granitoids from Vrontdou (NE Greece): evidence for fractional crystallization and magma mixing. *Acta Vulcanologica*, 10, 319-330.

Soldatos, T., Koroneos, A., Del Moro, A., & Christofides, G. (2001). Evolution of the

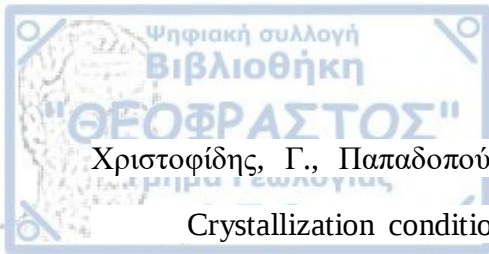
Elatia plutonite (Hellenic Rhodope Massif, N. Greece). *Chemie der Erde*, 61(2), 92-116.

Tsokas, G. N., Christofides, G. C., & Papakonstantinou, C. (1996). A geophysical study of the granites and the sedimentary basins of the Xanthi area (N. Greece). *pure and applied geophysics*, 146, 365-392.]

Xydous, S., Magganas, A., Pomonis, P., & Kokkinakis, A. (2016). Tourmalinite veins and breccias from the Symvolon-Kavala pluton, northern Greece: Petrogenetic preliminary results. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 50(4), 2079-2087.

Zachos, S., & Dimadis, E. (1983). The geotectonic position of the Skaloti-Echinos granite and its relationship to the metamorphic formations of Greek Western and Central Rhodope. *Geologica Balcanica*, 13(5), 17-24.

Χριστοφίδης, Γ.Θ., 1977. Συμβολή εις την μελέτη των πλουτωνίων πετρωμάτων της περιοχής Ξάνθης. Διδακτορική διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σελ. 249.



Χριστοφίδης, Γ., Παπαδοπούλου, Λ., Σολδάτος, Τ., & Κορωναίος, Α. Α. (2010).

Crystallization conditions of the xanthi plutonic complex (Rhodope massif, N. Greece): geothermometry and geobarometry. *Επιστημονική Επετηρίδα του Τμήματος Γεωλογίας (ΑΠΘ)*, 99, 199-208.