



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ-ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ-ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ

ΜΑΡΘΑΣ Α. ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ

ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑ, ΓΕΩΧΗΜΕΙΑ ΚΑΙ ΠΕΤΡΟΓΕΝΕΣΗ ΤΩΝ ΔΟΛΕΡΙΤΩΝ ΤΟΥ ΑΝΑΤΟΛΙΚΟΥ ΒΑΡΝΟΥΝΤΑ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2011



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ-ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ-ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ

ΜΑΡΘΑΣ Α. ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ

ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑ, ΓΕΩΧΗΜΕΙΑ ΚΑΙ ΠΕΤΡΟΓΕΝΕΣΗ ΤΩΝ ΔΟΛΕΡΙΤΩΝ ΤΟΥ ΑΝΑΤΟΛΙΚΟΥ ΒΑΡΝΟΥΝΤΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

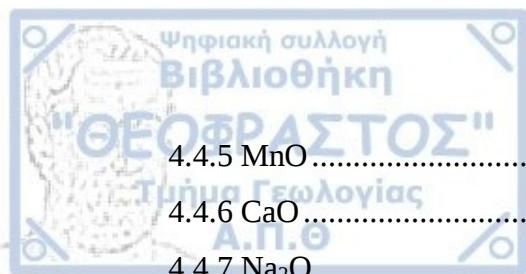
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2011



Πίνακας περιεχομένων

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
1. ΓΕΩΛΟΓΙΑ	9
1.1 Πελαγονική Ζώνη	9
1.2 Γεωλογία της περιοχής μελέτης.....	10
2. ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΑ	11
3. ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑ.....	15
3.1 Ολιβίνης.....	15
3.2 Πυρόξενοι.....	16
3.3 Πλαγιόκλαστα.....	16
3.4 Αμφίβολοι.....	20
3.5 Σπινέλλιοι	21
3.6 Επίδοτο	21
3.7 Τιτανίτης.....	22
3.8 Χλωρίτης	22
3.9 Ρουτίλιο	22
4. ΓΕΩΧΗΜΕΙΑ	25
4.1 Γενικά	25
4.2 Διαγράμματα μεταβολής των οξειδίων σε σχέση με το ποσοστό του SiO ₂	28
4.2.1 TiO ₂	28
4.2.2 Al ₂ O ₃	28
4.2.3 FeO	28
4.2.4 MnO	28
4.2.5 MgO.....	28
4.2.6 CaO	29
4.2.7 Na ₂ O	29
4.2.8 K ₂ O	29
4.2.9 Na ₂ O+K ₂ O	29
4.2.10 P ₂ O ₅	29
4.3 Διαγράμματα μεταβολής των ιχνοστοιχείων σε σχέση με το ποσοστό του SiO ₂	31
4.3.1 Ni _{XRF}	31
4.3.2 Zr _{XRF}	32

4.3.3 Pb.....	32
4.3.4 Ba.....	32
4.3.5 Cr.....	32
4.3.6 Sc.....	32
4.3.7 Co.....	32
4.3.8 Cs.....	32
4.3.9 Ga.....	32
4.3.10 Hf.....	33
4.3.11 Nb.....	33
4.3.12 Rb.....	33
4.3.13 Sr.....	33
4.3.14 Ta.....	33
4.3.15 Th.....	33
4.3.16 U.....	33
4.3.17 V.....	34
4.3.18 Zr.....	34
4.3.19 Y.....	34
4.3.20 La.....	34
4.3.21 Ce.....	34
4.3.22 Pr.....	34
4.3.23 Nd.....	34
4.3.24 Sm.....	35
4.3.25 Eu.....	35
4.3.26 Gd.....	35
4.3.27 Tb.....	35
4.3.28 Dy.....	35
4.3.29 Ho.....	36
4.3.30 Er.....	36
4.3.31 Tm.....	36
4.3.32 Yb.....	36
4.3.33 Lu.....	36
4.4 Διαγράμματα μεταβολής των οξειδίων σε σχέση με το ποσοστό του MgO41	
4.4.1 SiO ₂	41
4.4.2 TiO ₂	41
4.4.3 Al ₂ O ₃	41
4.4.4 FeO.....	42



4.4.5 MnO	42
4.4.6 CaO	42
4.4.7 Na ₂ O	42
4.4.8 K ₂ O	42
4.4.9 Na ₂ O+K ₂ O	42
4.4.10 P ₂ O ₅	42
4.5 Διαγράμματα μεταβολής των ιχνοστοιχείων σε σχέση με το ποσοστό του MgO.....	44
4.5.1 Ni _{XRF}	44
4.5.2 Zn _{XRF}	44
4.5.3 Pb.....	45
4.5.4 Ba.....	45
4.5.5 Cr	45
4.5.6 Sc	45
4.5.7 Co.....	45
4.5.8 Cs.....	45
4.5.9 Ga.....	45
4.5.10 Hf	45
4.5.11 Nb	46
4.5.12 Rb.....	46
4.5.13 Sr.....	46
4.5.14 Ta	46
4.5.15 Th.....	46
4.5.16 U	46
4.5.17 V	46
4.5.18 Zr	47
4.5.19 Y	47
4.5.20 La	47
4.5.21 Ce.....	47
4.5.22 Pr.....	47
4.5.23 Nd	47
4.5.24 Sm.....	47
4.5.25 Eu.....	48



4.5.26 Gd	48
4.5.27 Tb.....	48
4.5.28 Dy	48
4.5.29 Ho	48
4.5.30 Er	48
4.5.31 Tm.....	49
4.5.32 Yb	49
4.5.33 Lu.....	49
4.6 Διαγράμματα μεταβολής των ιχνοστοιχείων σε σχέση με το ποσοστό του Zr	54
4.6.1 Ni _{XRF}	54
4.6.2 Zn _{XRF}	54
4.6.3 Pb.....	54
4.6.4 Ba.....	54
4.6.5 Cr	55
4.6.6 Sc	55
4.6.7 Co.....	55
4.6.8 Cs.....	55
4.6.9 Ga.....	55
4.6.10 Hf	55
4.6.11 Nb	55
4.6.12 Rb.....	56
4.6.13 Sr.....	56
4.6.14 Ta	56
4.6.15 Th.....	56
4.6.16 U	56
4.6.17 V	56
4.6.18 Y	56
4.6.19 La	56
4.6.20 Ce.....	57
4.6.21 Pr.....	57
4.6.22 Nd	57
4.6.23 Sm.....	57



4.6.24 Eu.....	57
4.6.25 Gd.....	57
4.6.26 Tb.....	57
4.6.27 Dy	57
4.6.28 Ho	58
4.6.29 Er	58
4.6.30 Tm.....	58
4.6.31 Yb	58
4.6.32 Lu.....	58
4.7 REE.....	62
5. ΠΕΤΡΟΓΕΝΕΣΗ	66
5.1 Γεωτεκτονικό Περιβάλλον	66
5.2 Πηγή Του Μάγματος Και Εξέλιξη.....	67
5.3 Σύγκριση Με Βαρνούντα	70
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	71



Η Πελαγονική Ζώνη αποτέλεσε ήδη από το παρελθόν αντικείμενο έρευνας πολλών επιστημόνων με βασικό σκοπό την κατανόηση της γεωτεκτονικής εξέλιξης της περιοχής μέσα από ορυκτολογικές, πετρολογικές και γεωχημικές έρευνες.

Αρκετές έρευνες έχουν γίνει στη βόρεια περιοχή της ζώνης, όπου εμφανίζονται δύο μεγάλα πλουτωνικά συμπλέγματα, ο πλουτωνίτης της Καστοριάς και ο πλουτωνίτης του Βαρνούντα.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της ορυκτολογίας, πετρολογίας και γεωχημείας δολεριτών, που διεισδύουν τόσο μέσα στο πλουτωνικό σύμπλεγμα του Βαρνούντα όσο και στο μεταμορφωμένο υπόβαθρο αυτού.

Μελετήθηκαν συνολικά 9 δείγματα από το ανατολικό τμήμα του Βαρνούντα (ΚΙΛΙΑΣ 1980, ΚΟΡΩΝΑΙΟΣ 1991) και χρησιμοποιήθηκαν 7 ακόμη δείγματα που αντιστοιχούν στο τμήμα του Βαρνούντα που μελετήθηκε από τον ΚΑΤΕΡΙΝΟΠΟΥΛΟΣ (2008).

Ο αναπληρωτής καθηγητής Α. Κορωνάιος και ο καθηγητής Γ. Χριστοφίδης ήταν οι επιβλέποντες της διπλωματικής αυτής εργασίας, τους οποίους και ευχαριστώ θερμά για τα δείγματα των πετρωμάτων που μου παρείχαν καθώς και για την πολύτιμη βοήθεια και συμπαράστασή τους.

Οι χημικές αναλύσεις των ορυκτών έγιναν με μικροαναλυτή στο εργαστήριο ηλεκτρονικής μικροσκοπίας του Α.Π.Θ. και με τη βοήθεια της λέκτορος Λ. Παπαδοπούλου, την οποία και ευχαριστώ θερμά. Οι χημικές αναλύσεις των πετρωμάτων με τη μέθοδο ICP έγιναν στο τμήμα Γεωλογικών Επιστημών του Πανεπιστημίου της Περούτζια καθώς και στο εργαστήριο του ACME στον Καναδά. Σημειώνεται εδώ ότι χρησιμοποιούνται οι αναλύσεις ιχνοστοιχείων με ICP που έγιναν στο τμήμα Γεωλογικών Επιστημών του Πανεπιστημίου της Περούτζια αφού επιβεβαιώθηκαν από τις αναλύσεις που έγιναν στο ACME.

1. ΓΕΩΛΟΓΙΑ

1.1 Πελαγονική Ζώνη

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στην Πελαγονική ζώνη. Έχουν εκφραστεί διάφορες απόψεις από διάφορους ερευνητές για την γεωλογική εξέλιξη και τοποθέτηση της ζώνης αυτής. Η άποψη που κυριαρχεί σήμερα θεωρεί την Πελαγονική ζώνη ως ηπειρωτικό τέμαχος, τμήμα της Κιμμερικής ηπείρου, το οποίο αποσπάστηκε από την Gondwana και εκατέρωθεν του οποίου αναπτύχθηκαν οι ωκεάνιες περιοχές της Παλαιο- και Νέο-Τηθύος (ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ 1983).

Σήμερα, γίνεται γενικά αποδεκτό, ότι η Πελαγονική ζώνη αποτελεί τεκτονικό κάλυμμα, ηλικίας ανώτερου Ηωκαίνου, τοποθετημένο πάνω στην ενότητα του Ολύμπου, ηλικίας Τριαδικού-Ηωκαίνου (GODFRIAUX 1968). Η ζώνη αυτή αποτελείται από τους εξής ορίζοντες (ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ 2007):

Α) Ένα κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο, Παλαιοζωικής ή και Προκάμβριας ηλικίας, πρασινοσχιστολιθικής έως αμφιβολιτικής φάσης μεταμόρφωσης. Το υπόβαθρο αυτό αποτελείται κυρίως από γνεύσιους και αμφιβολίτες με εναλλαγές διμαρμαρυγιακών, αμφιβολιτικών και επιδοτιτικών σχιστολίθων.

Β) Γνευσιωμένους γρανίτες, ηλικίας Άνω Λιθανθρακοφόρου, που αποτελούν μαγματικές διεισδύσεις μέσα στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο και έχουν προκαλέσει φαινόμενα μεταμόρφωσης επαφής.

Γ) Μετακλαστικές ακολουθίες, αποτελούμενες από κλαστικά ιζήματα με παρεμβολές ηφαιστειακών υλικών, όξινων και βασικών λαβών καθώς και τόφφων, ηλικίας Περμίου έως Κάτω Τριαδικού.

Δ) Ανθρακικά καλύμματα, ηλικίας Τριαδικού-Ιουρασικού, τα οποία αντιπροσωπεύουν την ιζηματογένεση ενός υβώματος. Τα ανθρακικά αυτά καλύμματα δέχτηκαν κατά την περίοδο του Άνω Ιουρασικού-Κάτω Τριαδικού την επίδραση μιας χαμηλής πρασινοσχιστολιθικής φάσης μεταμόρφωσης.

Ε) Οφειόλιθους και συνοδά ιζήματα βαθιάς θάλασσας. Ο ορίζοντας αυτός εμφανίζει όλα τα πετρώματα της οφειολιθικής ακολουθίας (δουνίτες, χαρτσβουργίτες, γάββρους, νορίτες, pillow lavas) καθώς και κερατόλιθους, σχιστόλιθους, πελαγικούς ασβεστόλιθους και κλαστικά ιζήματα, που αποτελούν τα συνοδά ιζήματα.

ΣΤ) Επικλυσιγενή ιζήματα, ηλικίας Μέσου-Άνω Κρητιδικού, που αποτελούνται από κροκαλοπαγείς και λατυποπαγείς ασβεστόλιθους και φλύσχη, ηλικίας Άνω Μαιστριχτίου-αρχές Παλαιοκαίνου. Τα ιζήματα αυτά τοποθετούνται με ασυμφωνία πάνω στους προϋπάρχοντες ορίζοντες.

Όσον αφορά την τεκτονική εξέλιξη έχουν αναγνωρισθεί, με βάση τα πετρώματα του υποβάθρου, οι εξής ακόλουθες φάσεις (ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ 2007):

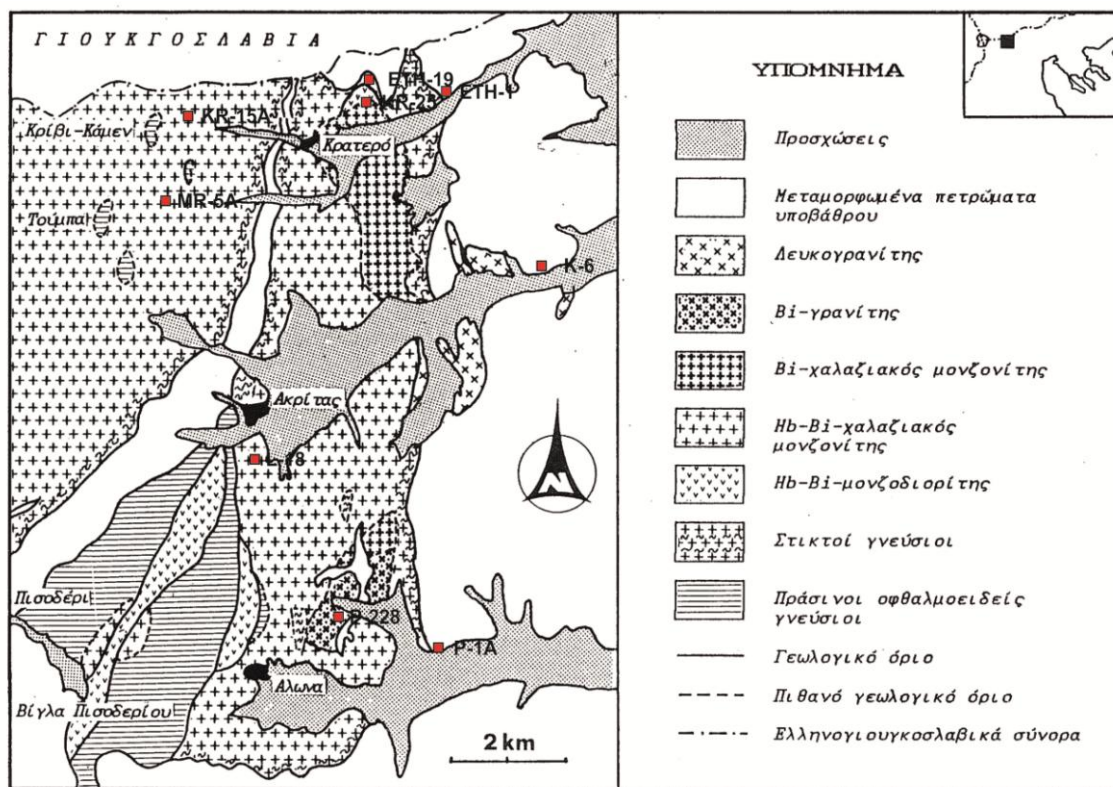
- Παραμορφωτική φάση, Ερκύνιας ηλικίας, συμμεταμορφική με τη μεταμόρφωση του κρυσταλλοσχιστώδους σε συνθήκες πρασινοσχιστολιθικής-αμφιβολιτικής φάσης. Σχημάτισε την πρώτη σχιστότητα S_1 στα πετρώματα του υποβάθρου.
- Κατά τη διάρκεια της ορογενετικής περιόδου Άνω Ιουρασικού-Κάτω Κρητιδικού λαμβάνουν χώρα δύο φάσεις πτυχώσεων. Η πρώτη (JE_1) είναι συμμεταμορφική με διεύθυνση αξόνων ΒΔ-ΝΑ, ηλικίας Άνω Ιουρασικού (VERGELY 1976). Την περίοδο αυτή σχηματίζεται και η δεύτερη σχιστότητα S_2 , που αποτελεί και την κυρίαρχη σχιστότητα των πετρωμάτων. Η δεύτερη (JE_2) έλαβε χώρα κατά το Κάτω Κρητιδικό και έχει διεύθυνση αξόνων ΒΒΑ-ΝΝΔ (MOUNTRAKIS 1977, ΚΙΛΙΑΣ 1980).
- Στο διάστημα από το τέλος Κρητιδικού μέχρι το Μέσο Ηώκαινο έλαβαν χώρα δύο φάσεις πτυχώσεων CT_1 και CT_2 , οι οποίες δημιούργησαν μεγάλες πτυχές. Τέλος, στην περίοδο Ολιγοκαίνου-Μειοκαίνου λαμβάνει χώρα η τελική παραμόρφωση των

σηματισμών CT₃, στην φάση του Πριαμπονίου, με διεύθυνση αξόνων ΒΔ-ΝΑ (ΚΙΛΙΑΣ 1980).

1.2 Γεωλογία της περιοχής μελέτης

Η περιοχή μελέτης αποτελεί το ανατολικό τμήμα του όρους Βαρνούντα, που προεκτείνεται προς Βορρά μέσα στη ΠΓΔΜ (FYROM) με το όρος Baba. Το τμήμα αυτό του όρους καταλαμβάνει το πλουτωνικό σύμπλεγμα, το οποίο αποτελείται κυρίως από χαλαζιακό μονζοδιорίτη και σε λιγότερο ποσοστό από γρανίτη, γρανοδιорίτη, μονζονίτη και χαλαζιακό μονζονίτη (KATERINOPOULOS 1987, ΚΟΡΩΝΑΙΟΣ 1991). Το όλο σύμπλεγμα έχει διεισδύσει μέσα στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο από ορθο- και παραγνεύσιους και σχιστόλιθους, της «Ενότητας Καστοριάς». Οι φλέβες που μελετήθηκαν διακόπτουν τόσο τα πετρώματα του πλουτωνικού συμπλέγματος όσο και το κρυσταλλοσχιστώδες μεταμορφωμένο υπόβαθρο.

Στο σχήμα 1.1 δίνεται ο χάρτης της ανατολικής περιοχής του Βαρνούντα, όπου έχουν σημειωθεί οι περιοχές από τις οποίες έχει γίνει η δειγματοληψία.

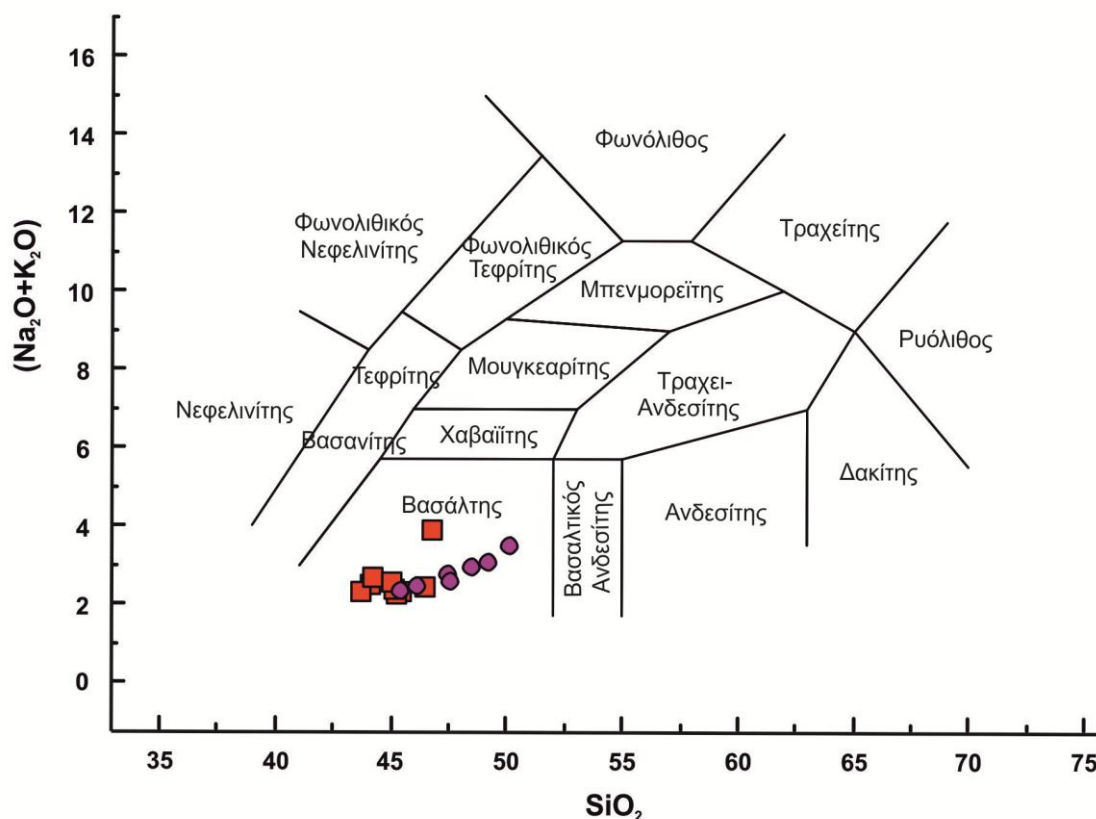


Σχήμα 1.1: Χάρτης του ανατολικού Βαρνούντα (KORONEOS 1995). Με κόκκινο τετράγωνο σημειώνονται οι θέσεις δειγματοληψίας.

2. ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΑ

Τα πετρώματα που εξετάστηκαν στην εργασία αυτή έχουν φλεβική μορφή. Το πάχος των φλεβών κυμαίνεται από 40cm έως 80cm. Μακροσκοπικά τα πετρώματα έχουν χρώμα μαύρο έως μαυροπράσινο (Πίν. 2.1). Είναι πολύ συχνά τεμαχισμένα (Πίν. 2.1, P-1A), πολύ σκληρά και αναλλοίωτα ή μόνο επιφανειακά αλλοιωμένα. Συχνά στην αλλοιωμένη επιφάνεια διακρίνεται ο οφειτικός ιστός (Πίν. 2.1, P-1A). Μικροσκοπικά τα πετρώματα παρουσιάζουν οφειτικό ιστό (Πίν. 2.2). Τα πλαγιόκλαστα, οι πυρόξενοι και ο ολιβίνης είναι τα κύρια πρωτογενή ορυκτά συστατικά των πετρωμάτων ενώ ως επουσιώδεις πρωτογενείς ορυκτό υπάρχει ο σπινέλλιος. Στα δευτερογενή ορυκτά περιλαμβάνονται οι αμφίβολοι, ο χλωρίτης, ο τιτανίτης, το ρουτίλιο και το επίδοτο. Στον πίνακα 2.2 παρατίθενται φωτογραφίες από τις λεπτές τομές των δειγμάτων που εξετάστηκαν.

Τα πετρώματα ταξινομούνται με βάση τη χημική τους σύσταση και τον ιστό τους που είναι οφειτικός. Στο σχήμα 2.1 δίνεται το διάγραμμα ταξινόμησης ηφαιστειακών πετρωμάτων κατά COX et al. (1979). Τα εξεταζόμενα δείγματα προβάλλονται στο πεδίο των βασαλτών. Με βάση λοιπόν αυτό και τον ιστό τους (οφειτικός) τα δείγματα ταξινομούνται ως δολερίτες.



Σχήμα 2.1: Διάγραμμα ταξινόμησης ηφαιστειακών πετρωμάτων (COX et al. 1979). Με κόκκινο τετράγωνο συμβολίζονται οι αναλύσεις από τα δείγματα του ανατολικού Βαρνούντα, ενώ με μωβ κύκλο συμβολίζονται τα δείγματα δολεριτών από KATERINOPOULOS (2008).

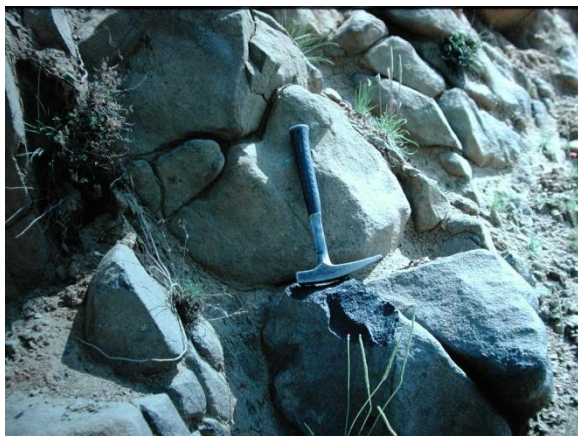
Πίνακας 2.1: Αντιπροσωπευτικές μακροσκοπικές φωτογραφίες των πετρωμάτων που εξετάστηκαν.



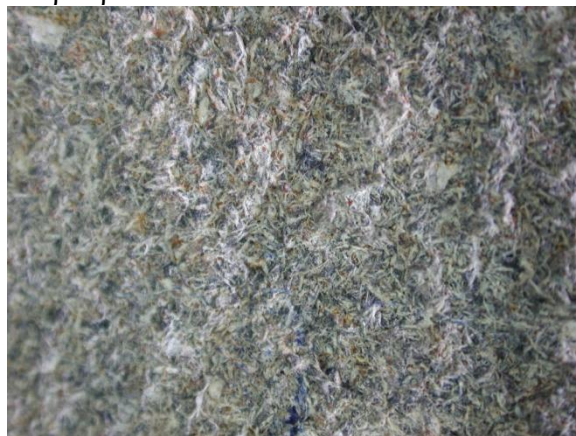
ETH-1: Μακροσκοπική εικόνα της φλέβας που διεισδύει πλουτωνικά πετρώματα



P-1A: Μακροσκοπική εικόνα της φλέβας που διεισδύει την επαφή πλουτωνικών πετρωμάτων με τα πετρώματα του υποβάθρου

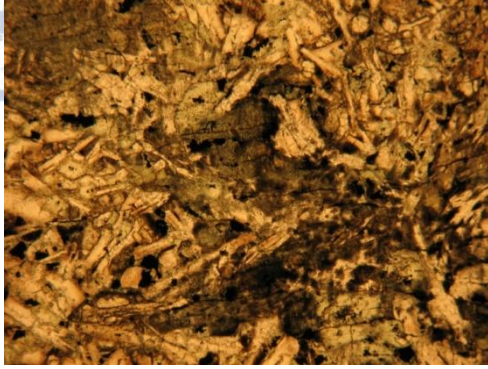


P-1A: Λεπτομέρεια της φλέβας



P-1A: Μακροσκοπική εικόνα της αλλοιωμένης επιφάνειας όπου διακρίνεται ο οφειτικός ιστός

Πίνακας 2.2: Φωτογραφίες από τις λεπτές τομές των δειγμάτων που εξετάστηκαν.



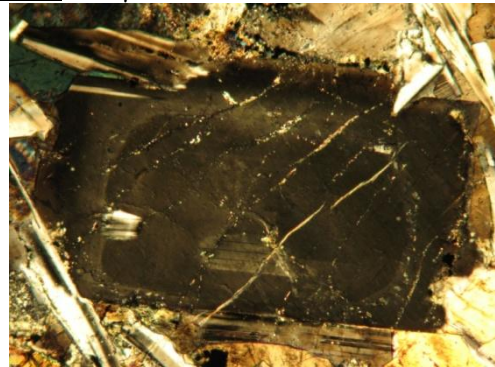
ETH-19: Πλαγιόκλαστα Nicols //



ETH-19: Πλαγιόκλαστα Nicols +



ETH-1: Κρύσταλλος πλαγιόκλαστου Nicols +



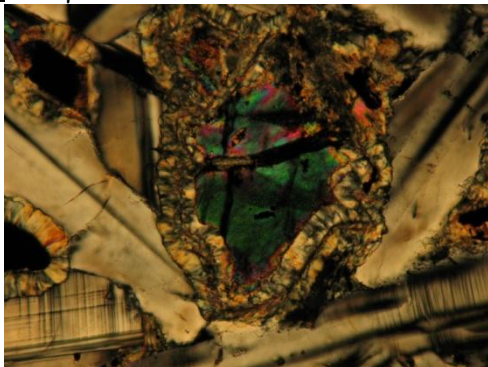
K-6: Κρύσταλλος πλαγιόκλαστου Nicols +



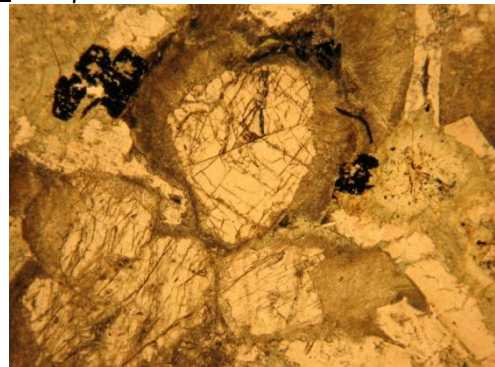
K-6: Πλαγιόκλαστα Nicols //



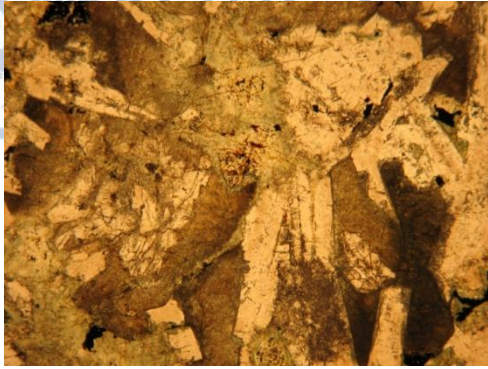
K-6: Πλαγιόκλαστα Nicols +



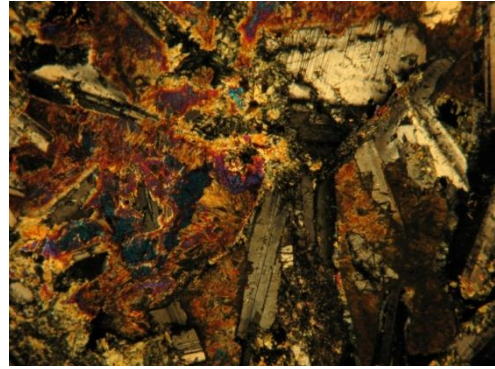
K-6: Πλαγιόκλαστα και ολιβίνης Nicols +



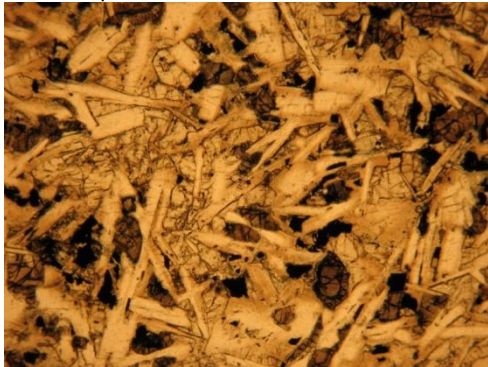
KR-25: Κρύσταλλος ολιβίνη Nicols //



KR-25: Πλαγιόκλαστα Nicols //



KR-25: Πλαγιόκλαστα Nicols +



P-1A: Πλαγιόκλαστα Nicols //

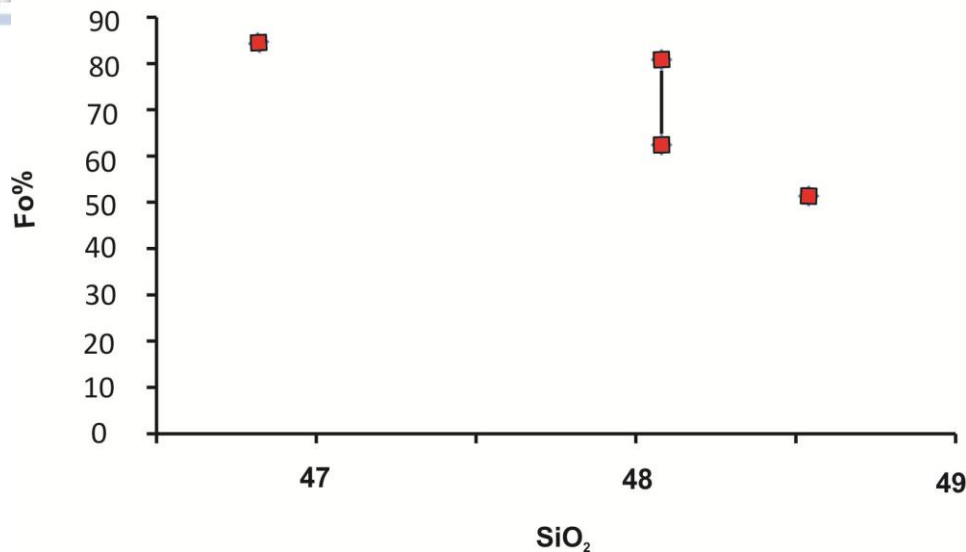


P-1A: Πλαγιόκλαστα Nicols +

Ο ολιβίνης παρουσιάζεται στο μικροσκόπιο ως άχρωμος έως ελαφρά καστανός, ενώ εμφανίζει χρώματα πόλωσης φωτεινά πορτοκαλί, ιώδη, πράσινα. Επίσης, παρουσιάζει κελυφυτίωση. Χημικές αναλύσεις ολιβινών από τα δείγματα του ανατολικού Βαρνούντα παρουσιάζονται στον πίνακα 3.1. Το δείγμα P-1A αντιπροσωπεύεται από δύο αναλύσεις. Η ανάλυση P-1A_c αντιπροσωπεύει το κέντρο του κρυστάλλου, ενώ η P-1A_r αντιπροσωπεύει την περιφέρεια. Από το κέντρο προς την περιφέρεια αυξάνεται ο Fe^{2+} από 0.28(a.p.f.u.) σε 0.75(a.p.f.u.) και ελαττώνεται αντίστοιχα το Mg από 1.62(a.p.f.u.) σε 1.26(a.p.f.u.). Η χημική σύσταση του ολιβίνη σε φορστερίτη κυμαίνεται από 51.35% έως 84.53%. Αντιπροσωπεύεται δηλαδή στα δείγματα που μελετήθηκαν είτε από χρυσοτίλη είτε από υαλοσιδερίτη. Στο σχήμα 3.1 φαίνεται ότι το ποσοστό του φορστερίτη (Fo) ελαττώνεται με το ποσοστό SiO_2 του πετρώματος.

Πίνακας 3.1 Αναλύσεις ολιβινών από τις δολεριτικές φλέβες του ανατολικού Βαρνούντα.

Δείγμα Αρ.Αναλύσεων	P-228 5	P-1A_c 2	P-1A_r 4	K-6 6
SiO_2	39.48	38.98	35.99	34.22
TiO_2		0.00	0.09	
Al_2O_3		0.00	0.04	
FeO	14.63	18.00	33.01	40.94
MnO	0.15	0.00	0.11	
MgO	45.30	42.68	30.87	24.24
CaO		0.20	0.19	0.19
Na_2O	0.13			
K_2O		0.00	0.08	
Cr_2O_3		0.00	0.18	
NiO	0.19	0.00	0.24	
Σύνολο	99.75	99.86	100.79	99.58
Αριθμός ιόντων με βάση τα 4 O				
Si	0.99	0.99	0.98	0.98
Z	0.99	0.99	0.98	0.98
Ti		0.00	0.00	
Al		0.00	0.00	
Fe^{2+}	0.31	0.38	0.75	0.99
Mn	0.00	0.00	0.00	
Mg	1.70	1.62	1.26	1.04
Ca		0.01	0.01	0.01
Na	0.01			
K		0.00	0.00	
Cr		0.00	0.00	
Ni	0.00	0.00	0.01	
X	2.01	2.01	2.03	2.03
$100\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}^{2+})$	84.66	80.87	62.50	51.35
Fo	84.53	80.87	62.42	51.35
Fa	15.31	19.13	37.45	48.65
Tp	0.15	0.00	0.13	



Σχήμα 3.1 Μεταβολή του ποσοστού του φορστερίτη των δειγμάτων με το ποσοστό SiO₂ των πετρωμάτων του ανατολικού Βαρνούντα. Οι αναλύσεις P-1A_c και P-1A_r συνδέονται με γραμμή. Σύμβολα όπως στο σχήμα 2.1.

3.2 Πυρόξενοι

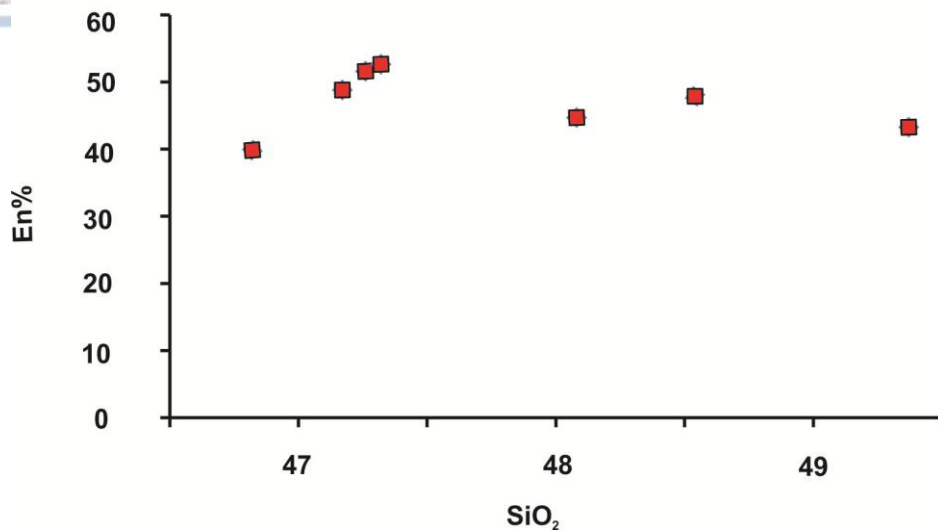
Οι πυρόξενοι των δειγμάτων που μελετήθηκαν είναι κλινοπυρόξενοι με βάση την μικροσκοπική εικόνα. Στον πίνακα 3.2 παρουσιάζονται οι χημικές αναλύσεις πυροξένων από τους δολερίτες του ανατολικού Βαρνούντα. Η σύστασή τους κυμαίνεται σε βολλαστονίτη (Wo) από 29.80% μέχρι 43.96% και άρα αντιπροσωπεύονται από τον αυγίτη. Το Si εμφανίζει μικρή μεταβολή από 1.80(a.p.f.u.) έως 1.56(a.p.f.u.). Μεγάλη μεταβολή εμφανίζει το συνολικό Al από 0.10(a.p.f.u.) έως 0.22(a.p.f.u.). Το Mg κυμαίνεται από 0.76(a.p.f.u.) έως 0.92(a.p.f.u.) και το Ca από 0.52(a.p.f.u.) έως 0.83(a.p.f.u.). Στο σχήμα 3.2 φαίνεται ότι το ποσοστό του ενστατίτη (En) των πυροξένων παραμένει σταθερό με την αύξηση της περιεκτικότητας του SiO₂ του πετρώματος. Στο σχήμα 3.3 δίνεται το διάγραμμα των μελών της ομάδας των πυροξένων (WILLIAMS et al. 1982) απ' όπου φαίνεται επίσης ότι οι πυρόξενοι του ανατολικού Βαρνούντα ανήκουν πράγματι στους αυγίτες. Εξαίρεση αποτελεί το δείγμα P-228 που προβάλλεται στο πεδίο του διοψίδιου.

3.3 Πλαγιόκλαστα

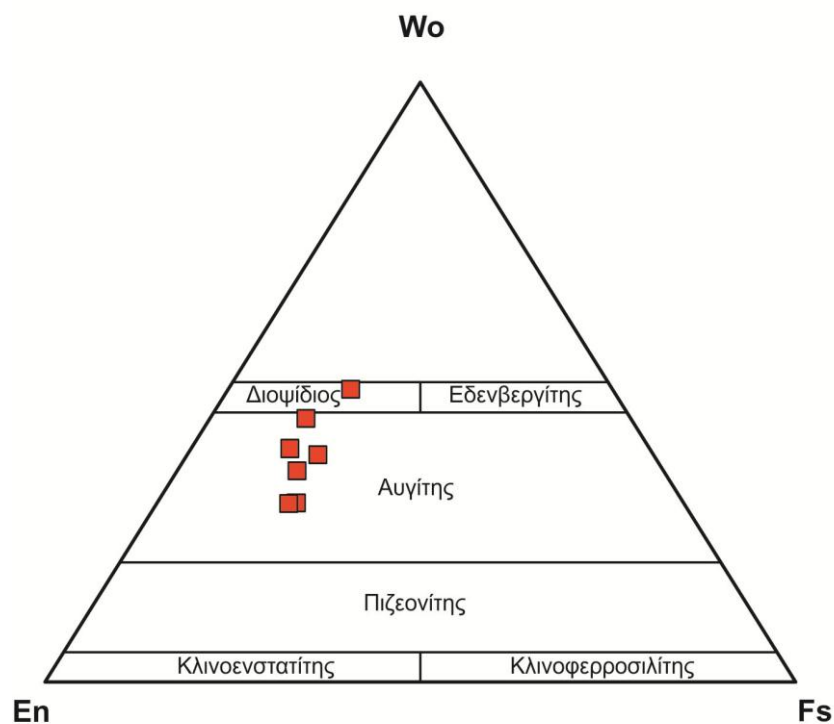
Η χημική σύσταση των πλαγιόκλαστων σε ανορθίτη (An) κυμαίνεται από 56.88% έως 68.10%. Με βάση τη χημική τους σύσταση ταξινομούνται στα βασικά πλαγιόκλαστα και συγκεκριμένα ως λαβραδόριο. Τα πλαγιόκλαστα εμφανίζουν την αλβιτική και την περικλινική πολυδυμία καθώς επίσης και ζώνωση. Ακόμα, σε κάποια σημεία εμφανίζουν σωσσυριτίωση. Στον πίνακα 3.3 δίνονται οι χημικές αναλύσεις πλαγιόκλαστων των δειγμάτων που μελετήθηκαν. Από το σχήμα 3.4 φαίνεται ότι ο ανορθίτης των πλαγιόκλαστων αυξάνεται με την περιεκτικότητα του πετρώματος σε SiO₂.

Πίνακας 3.2 Αναλύσεις πυροξένων από τις δολεριτικές φλέβες του ανατολικού Βαρνούνα.

Δείγμα Αρ. Αναλύσεων	P-228 14	KR-25 8	KR-15A 7	ETH-1 9	P-1A 2	K-6 6	ETH-19 6
SiO ₂	48.00	53.19	53.38	53.53	50.32	51.31	50.38
TiO ₂	1.98	0.64	0.90	0.63	0.37	0.68	0.93
Al ₂ O ₃	4.71	2.19	4.34	5.04	2.74	2.96	3.99
FeO	9.76	9.79	10.62	9.98	10.94	8.23	7.88
MnO	0.12						
MgO	13.54	16.81	16.57	16.80	15.80	16.78	14.98
CaO	20.72	16.89	13.33	13.23	18.65	19.00	21.17
Na ₂ O	0.40	0.10	0.33	0.13	0.35		
K ₂ O					0.20	0.13	
Σύνολο	99.23	99.60	99.47	99.34	99.34	99.09	99.33
Αριθμός ιόντων με βάση τα 6 O							
Si	1.80	1.96	1.95	1.95	1.87	1.91	1.88
Al	0.20	0.04	0.05	0.05	0.12	0.09	0.12
Fe ³⁺					0.01		
T	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Al	0.01	0.06	0.14	0.17		0.03	0.05
Fe ³⁺	0.10				0.14	0.03	0.02
Ti	0.06	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03
Mg	0.76	0.92	0.83	0.82	0.85	0.92	0.83
Fe ²⁺	0.07						0.07
M1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Mg			0.07	0.10	0.03	0.01	
Fe ²⁺	0.13	0.30	0.33	0.30	0.19	0.23	0.16
Ca	0.83	0.67	0.52	0.52	0.74	0.76	0.84
Na	0.03	0.01	0.02	0.52	0.02		
K					0.01	0.01	
M2	1.00	0.98	0.94	0.93	1.00	1.00	1.00
En	39.85	48.81	51.60	52.64	44.70	47.87	43.27
Fs	16.31	15.94	18.56	17.55	17.36	13.18	12.77
Wo	43.84	35.25	29.83	29.80	37.94	38.95	43.96
100Mg/ (Mg+Fe ²⁺ +Fe ³⁺ +Mn)	70.95	75.38	73.55	75.00	72.03	78.42	77.21
Fe ₂ O ₃	3.60				5.22	1.04	0.70
FeO	6.52	9.79	10.62	9.98	6.23	7.30	7.25

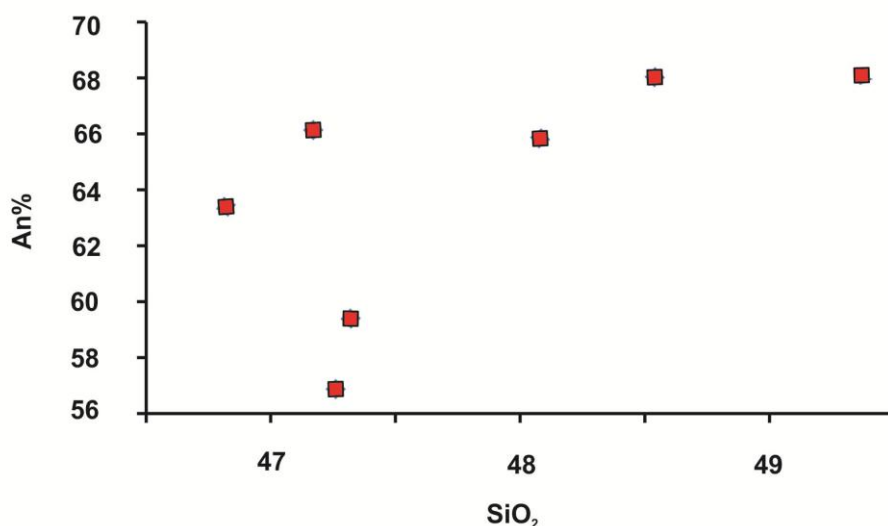


Σχήμα 3.2 Μεταβολή του ποσοστού του ενστατίτη των δειγμάτων προς το SiO₂ των πετρωμάτων του ανατολικού Βαρνούντα. Σύμβολα όπως στο σχήμα 2.1.



Πίνακας 3.3 Αναλύσεις πλαγιοκλάστων από τις δολεριτικές φλέβες του ανατολικού Βαρνούντα.

Δείγμα Αρ. Αναλύσεων	P-228 18	KR-25 6	KR-15A 6	ETH-1 3	P-1A 5	K-6 12	ETH-19 9
SiO ₂	50.85	50.30	52.81	52.54	50.38	50.08	50.00
Al ₂ O ₃	29.96	30.14	29.06	29.22	30.33	30.34	30.83
FeO	0.86	1.17	2.09	0.37	0.83	0.93	0.82
CaO	13.93	14.51	11.62	12.84	14.40	14.93	14.90
Na ₂ O	4.44	4.11	4.88	4.75	4.12	3.87	3.87
K ₂ O				0.15			
Σύνολο	99.60	100.04	99.41	99.86	99.55	99.44	99.78
Αριθμός ιόντων με βάση τα 8 O							
Si	2.33	2.30	2.41	2.39	2.31	2.30	2.29
Al	1.62	1.63	1.56	1.57	1.64	1.65	1.67
Fe ³⁺	0.02	0.04	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01
Z	3.97	3.97	4.01	3.98	3.97	3.96	3.97
Ca	0.68	0.71	0.57	0.63	0.71	0.74	0.73
Na	0.39	0.36	0.43	0.42	0.37	0.34	0.34
K				0.01			
X	1.08	1.08	1.08	1.05	1.08	1.08	1.08
Ab(Na)	36.60	33.86	43.12	39.80	34.16	31.97	31.90
An(Ca+Mn+Mg)	63.40	66.14	56.88	59.40	65.84	68.03	68.10



Σχήμα 3.4 Προβολή του ποσοστού του ανορθίτη των πλαγιοκλάστων προς το SiO₂ των πετρωμάτων του ανατολικού Βαρνούντα. Σύμβολα όπως στο σχήμα 2.1.

3.4 Αμφίβολοι

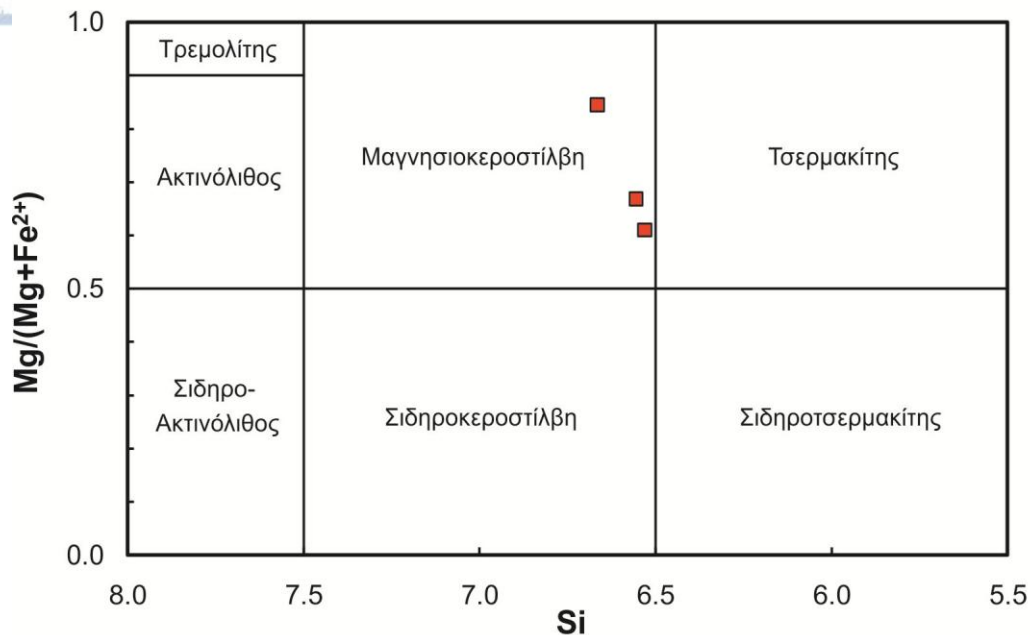
Οι αμφίβολοι στα δείγματα του ανατολικού Βαρνούντα εμφανίζονται ως αποτέλεσμα της αλλοίωσης του ολιβίνη στην περιοχή της κελυφτώσεως γύρω από αυτόν. Στον πίνακα 3.4 δίνονται χημικές αναλύσεις αμφιβόλων από τα δείγματα που μελετήθηκαν. Από την προβολή των αναλύσεων των αμφιβόλων στο σχήμα ταξινόμησης των LEAKE et al. (1997) (Σχ. 3.5) φαίνεται ότι αυτές ταξινομούνται ως μαγνησιοκεροσίλβες.

Πίνακας 3.4 Αναλύσεις αμφιβόλων από τις δολεριτικές φλέβες του ανατολικού Βαρνούντα.

Δείγμα Αρ.Αναλύσεων	P-228 3	KR-15A 4	ETH-1 7
SiO ₂	47.93	45.19	45.48
TiO ₂	0.13	0.15	0.16
Al ₂ O ₃	11.38	14.69	13.76
FeO	11.94	13.78	12.34
MnO	0.35		0.09
MgO	15.35	10.79	12.26
CaO	11.10	11.64	12.33
Na ₂ O	1.54	1.90	1.56
K ₂ O	0.17	0.24	0.19
Σύνολο	99.88	98.38	98.17
Αριθμός ιόντων με βάση τα 23 O			
Si	6.63	6.34	6.51
Al ^{IV}	1.37	1.66	1.49
T	8.00	8.00	8.00
Al ^{VI}	0.25	0.43	0.29
Ti	0.11	0.07	0.08
Fe ³⁺	0.42	0.61	0.50
Mg	2.33	2.09	2.23
Fe ²⁺	1.85	1.75	1.88
Mn	0.04	0.05	0.03
C	5.00	5.00	5.00
Mn	0.04	0.03	0.05
Ca	1.92	1.94	1.88
Na	0.04	0.03	0.06
B	2.00	2.00	2.00
Na	0.34	0.51	0.40
K	0.18		0.20
A	0.52	0.51	0.61

Ασβεστιούχοι Αμφίβολοι

C. Ca_B 1.50; $(Na+K)_A$ 0.50; $Ca_A < 0.50$



Σχήμα 3.5 Προβολή των αμφιβόλων των δολεριτών του ανατολικού Βαρνούντα στο διάγραμμα ταξινόμησης αμφιβόλων των LEAKE et al. (1997).

3.5 Σπινέλλιοι

Στον πίνακα 3.5 δίνονται οι χημικές αναλύσεις των σπινελίων από τα δολεριτικά πετρώματα του ανατολικού Βαρνούντα. Το δείγμα P-228 διαχωρίζεται σε 3 επιμέρους αναλύσεις, οι οποίες αντιπροσωπεύουν διαφορετικές θέσεις μέτρησης. Συγκεκριμένα, η πρώτη ανάλυση αναφέρεται στον πυρήνα (c) του κρυστάλλου, η δεύτερη στην περιφέρεια (r) και η τρίτη (m) σε άλλο κρύσταλλο που βρέθηκε στο δείγμα. Τα δείγματα με βάση τη χημική τους σύσταση είναι χρωμιούχος σπινέλλιος (P-228_r και P-228_c), μαγνητίτης (KR-15A), ουλβοσπινέλλιος (P-228_m και P-1A) και ιλμενίτες (K-6, ETH-19 και KR-25).

3.6 Επίδοτο

Το επίδοτο των δειγμάτων προέρχεται από τη σωσσυριτίωση των βασικών πλαγιокλάστων. Οι χημικές αναλύσεις του επιδότου των δειγμάτων του ανατολικού Βαρνούντα παρουσιάζονται στον πίνακα 3.6. Η παρουσία μεγάλων ποσοστών σιδήρου σε συνδυασμό με την μικροσκοπική εικόνα δείχνει ότι πρόκειται για επίδοτο και όχι κλινοζοϊσίτη.

3.7 Τιτανίτης

Ο τιτανίτης βρέθηκε σε ένα μόνο δείγμα. Εμφανίζεται αλλοτριόμορφος με υψηλά χρώματα πόλωσης, τα οποία καλύπτονται από τα χρώματα του ορυκτού. Στον πίνακα 3.7 δίνεται χημική ανάλυση τιτανίτη που βρέθηκε στο δείγμα KR-15A.

Πίνακας 3.5 Αναλύσεις σπινελίων από τις δολεριτικές φλέβες του ανατολικού Βαρνούντα.

Δείγμα	P-228 c	P-228 r	P-228 m	KR-25	KR-15A	P-1A	K-6	ETH-19
Αρ. Αναλύσεων	4	1	2	2	2	3	4	2
SiO ₂					4.59		0.55	0.82
TiO ₂		29.46	23.94	50.88		23.10	50.25	49.49
Al ₂ O ₃	42.10	5.93				1.40	0.36	
FeO	27.84	47.64	71.34	46.80	88.16	74.10	47.69	48.69
MnO		2.13	0.48	1.40			0.19	
MgO	10.05	1.66	1.07			0.69		
Cr ₂ O ₃	19.18	13.03						
CaO					0.22			
Na ₂ O						0.24		
V ₂ O ₅			2.22	0.55				
Σύνολο	99.17	99.85	99.04	99.62	92.97	99.53	99.04	99.00
Αριθμός ιόντων με βάση 3 κατίοντα								
Si					0.18		0.02	0.03
Al	1.44	0.25				0.06	0.02	
Cr	0.44	0.37						
Fe ³⁺	0.11		0.64		1.65	0.67		
Ti		0.80	0.68	1.46		0.64	1.44	1.42
A	2.00	1.42	1.32	1.46	1.82	1.36	1.48	1.45
Mg	0.44	0.09	0.06			0.04		
Fe ²⁺	0.56	1.43	1.60	1.49	1.18	1.60	1.52	1.55
Mn		0.06	0.02	0.05			0.01	
B	1.00	1.58	1.68	1.54	1.18	1.64	1.52	1.55
Fe ₂ O ₃	5.21		22.72		57.18	24.30		
FeO	23.16	47.64	50.89	46.80	36.71	52.24	47.69	48.69

3.8 Χλωρίτης

Παρουσιάζεται ως άχρωμος ή ανοιχτός πράσινος στις λεπτές τομές. Ο χλωρίτης των δειγμάτων αυτών προέκυψε από την αλλοίωση των πυροξένων. Χημική ανάλυση χλωρίτη που βρέθηκε στο δείγμα KR-15A δίνεται στον πίνακα 3.8. Με βάση την αναλογία Mg:Fe χαρακτηρίζεται ως Mg-Fe χλωρίτης.

3.9 Ρουτίλιο

Το ρουτίλιο αποτελείται σχεδόν μόνο από οξείδιο του τιτανίου. Στο δείγμα ETH-1 που βρέθηκε παρουσιάζεται και μια μικρή ποσότητα σιδήρου. Στο μικροσκόπιο παρουσιάζει χαμηλά ανοιχτά κίτρινα και κόκκινα χρώματα. Χημική ανάλυση του ρουτίλιου του δείγματος δίνεται στον πίνακα 3.9.

Πίνακας 3.6 Αναλύσεις επιδότων από τις δολεριτικές φλέβες του ανατολικού Βαρνούντα.

Δείγμα Αρ. Αναλύσεων	KR-15A 6	ETH-1 4
SiO ₂	37.39	37.49
TiO ₂	0.10	0.00
Al ₂ O ₃	23.99	26.99
FeO	11.44	8.19
MnO	0.13	0.00
MgO	0.61	0.00
CaO	23.90	24.83
Σύνολο	97.55	97.50
Αριθμός ιόντων με βάση 25 O		
Si	6.09	6.00
T	6.09	6.00
Al ^{IV}	4.60	5.09
Ti	0.01	0.00
M	4.62	5.09
Fe ²⁺	1.56	1.00
Mn	0.02	0.00
Mg	0.15	0.00
Ca	4.17	4.26
M	4.17	4.26

Πίνακας 3.7 Ανάλυση τιτανίτη από δολεριτική φλέβα του ανατολικού Βαρνούντα.

Δείγμα Αρ. Αναλύσεων	KR-15A 5
SiO ₂	29.53
TiO ₂	38.27
Al ₂ O ₃	1.83
FeO	1.55
MgO	0.52
CaO	27.68
Σύνολο	99.39
Αριθμός ιόντων με βάση 20 O	
Si	3.90
Ti	3.80
Al	0.29
Fe	0.17
Mg	0.10
Ca	3.91

Πίνακας 3.8 Ανάλυση χλωρίτη από δολεριτική φλέβα του ανατολικού Βαρνούντα.

Δείγμα	KR-15A
Αρ. Αναλύσεων	3
SiO ₂	28.86
Al ₂ O ₃	20.58
FeO	17.01
MgO	22.39
Σύνολο	71.84
Αριθμός Αναλύσεων με βάση 28 O	
Si	5.70
Al	2.30
Σύνολο	8.00
Al	2.50
Mg	6.60
Fe	2.81
Σύνολο	11.90

Πίνακας 3.9 Ανάλυση ρουτιλίου από δολεριτική φλέβα του ανατολικού Βαρνούντα.

Δείγμα	ETH-1
Αρ. Αναλύσεων	2
TiO ₂	98.78
FeO	0.54
Σύνολο	99.32
Αριθμός ιόντων με βάση 4 O	
Ti	1.99
Fe	0.01
Σύνολο	2.00

4. ΓΕΩΧΗΜΕΙΑ

4.1 Γενικά

Οι αναλύσεις των κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων (Ni και Zn) με τη μέθοδο XRF έγιναν στο πανεπιστήμιο του Μάντσεστερ, ενώ οι αναλύσεις των ιχνοστοιχείων με τη μέθοδο ICP-MS-LA έγιναν από τον Α. Κορωναίο στο τμήμα Γεωλογικών Επιστημών του πανεπιστημίου της Περούτζια. Οι αναλύσεις αυτές αφορούν τα δείγματα της ανατολικής περιοχής του όρους Βαρνούντα. Για λόγους σύγκρισης προβάλλονται στα διαγράμματα και τα δείγματα από τον KATERINOPOULOS (2008). Στον πίνακα 4.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων των κύριων στοιχείων των δειγμάτων, ενώ στον πίνακα 4.2 τα αποτελέσματα των ιχνοστοιχείων. Στον πίνακα 4.3 δίνονται τα αποτελέσματα από KATERINOPOULOS (2008).

Πίνακας 4.1 Πίνακας χημικών αναλύσεων κύριων στοιχείων των δολεριτών από τον ανατολικό Βαρνούντα.

	P-228	KR-25	KR-15A	ETH-1	MR-5A	P-1A	K-6	L-18	ETH-19
SiO ₂	46.82	47.17	47.26	47.32	47.45	48.03	48.54	49.26	49.37
TiO ₂	1.34	1.26	0.81	1.05	0.90	1.20	1.21	0.78	1.02
Al ₂ O ₃	15.2	15.57	16.76	16.9	16.1	16.24	16.16	15.56	16.26
Fe ₂ O ₃	9.95	9.43	8.38	8.69	9.16	10.08	9.84	9.27	9.03
MnO	0.16	0.18	0.14	0.14	0.15	0.18	0.16	0.15	0.15
MgO	11.31	11.38	9.48	8.89	9.29	9.29	8.59	7.60	8.4
CaO	9.55	11.49	10.94	11.27	10.99	11.45	11.36	10.02	11.07
Na ₂ O	2.18	2.16	1.58	2.18	1.57	2.66	2.57	2.05	2.35
K ₂ O	0.4	0.32	0.77	0.16	0.91	0.18	0.13	2.00	0.21
P ₂ O ₅	0.08	0.23	0.05	0.08	0.07	0.12	0.15	0.14	0.07
LOI	1.62	1.51	2.44	1.82	1.91	1.38	0.2	1.12	0.69

Πίνακας 4.2 Πίνακας χημικών αναλύσεων ιχνοστοιχείων των δολεριτών από τον ανατολικό Βαρνούντα.

	P-228	KR-25	KR-15A	ETH-1	MR-5A	P-1A	K-6	L-18	ETH-19
Ni _{XRF}	332	185	186	126	166	11	132	101	123
Zn _{XRF}	62	87	57	61	60	131	66	60	60
Pb	2.02	3.48	2.87	2.33	1.90	1.96	1.32	7.31	1.70
Ba	122.24	72.38	94.78	41.11	75.15	53.72	49.42	182.18	175.17
Cr	556.19	353.06	389.65	331.69	387.20	234.87	326.03	274.49	299.62
Sc	34.58	32.05	27.10	34.02	29.92	33.86	33.00	35.80	33.17
Co	60.57	40.91	50.75	52.67	50.63	79.08	81.17	44.43	69.01
Cs	0.75	0.53	0.85	0.16	2.12	0.43	0.16	1.25	0.21
Ga	15.10	15.77	13.45	14.50	13.95	15.83	15.39	14.26	14.87
Hf	2.95	2.33	1.33	2.27	1.30	2.17	2.11	2.12	2.28
Nb	2.40	2.76	1.24	1.94	1.48	2.03	2.27	3.98	1.92
Rb	15.22	11.68	43.48	5.82	51.37	4.95	3.24	92.37	6.06
Sr	239.79	159.21	124.36	159.62	100.35	103.87	114.30	461.24	132.58
Ta	0.19	0.13	0.06	0.14	0.08	0.10	0.20	0.18	0.11
Th	0.86	0.32	0.34	0.24	0.25	0.50	0.41	1.59	0.55
U	0.18	0.11	0.28	0.16	0.08	0.20	0.12	0.81	0.14
V	194.68	205.30	172.73	186.36	210.42	208.91	225.82	264.36	200.02
Zr	133.57	90.81	46.30	79.99	41.07	70.18	71.92	86.06	75.45
Y	27.57	23.85	16.65	22.89	18.74	26.20	24.89	19.03	24.04
La	6.62	5.13	3.39	4.23	3.44	3.73	4.10	15.05	4.68
Ce	16.01	14.44	7.60	10.88	7.20	8.89	10.72	34.09	11.13
Pr	2.52	2.25	1.25	1.81	1.27	1.52	1.78	5.14	1.71
Nd	13.51	12.11	6.85	10.27	6.81	8.69	9.89	24.50	9.77
Sm	3.75	3.42	2.03	3.08	2.21	2.87	3.24	5.87	2.90
Eu	1.24	1.28	0.89	1.03	0.84	1.02	1.16	1.70	1.04
Gd	4.46	3.95	2.57	3.80	2.84	3.93	4.15	5.26	3.73
Tb	0.69	0.63	0.40	0.58	0.47	0.61	0.64	0.63	0.59
Dy	4.97	4.36	3.03	4.18	3.50	4.66	4.59	3.89	4.47
Ho	1.00	0.84	0.63	0.86	0.71	0.93	0.92	0.71	0.91
Er	2.92	2.59	1.81	2.49	2.02	2.74	2.69	1.94	2.63
Tm	0.39	0.34	0.25	0.33	0.28	0.36	0.36	0.28	0.35
Yb	2.76	2.48	1.76	2.35	2.06	2.66	2.71	1.95	2.60
Lu	0.40	0.33	0.24	0.34	0.28	0.35	0.34	0.27	0.36

Πίνακας 4.3 Πίνακας χημικών αναλύσεων δολεριτών από KATERINOPOULOS (2008).

	d-23	d-24	d-26	d-31	d-35	d-40	d-52
SiO ₂	43.90	49.11	47.21	47.94	46.46	45.17	46.37
TiO ₂	1.93	1.05	1.28	1.30	1.36	1.78	1.21
Al ₂ O ₃	14.42	16.01	16.38	16.07	15.87	15.41	16.14
Fe ₂ O ₃	3.00	2.46	1.86	2.13	2.51	2.81	2.48
FeO	12.01	7.65	9.04	8.54	10.05	11.24	9.91
MnO	0.25	0.13	0.14	0.15	0.17	0.19	0.15
MgO	7.41	7.07	7.16	7.15	7.28	7.39	7.30
CaO	11.25	10.75	11.06	10.87	11.17	11.2	11.14
Na ₂ O	1.98	2.76	2.33	2.55	2.30	2.06	2.17
K ₂ O	0.21	0.62	0.47	0.36	0.31	0.28	0.30
P ₂ O ₅	0.21	0.18	0.21	0.21	0.15	0.18	0.17
LOI	3.06	2.14	1.84	2.78	1.89	2.05	2.51
Ba _{XRF}	37	42	57	52	74	69	66
Cr _{XRF}	277	308	357	255	255	304	266
Nb _{XRF}	12	11	12	13	9	8	7
Ni _{XRF}	108	136	124	164	157	132	160
Rb _{XRF}	7	8	9	7	7	9	8
Sr _{XRF}	306	285	271	247	226	237	212
V _{XRF}	349	306	291	284	223	198	170
Y _{XRF}	28	25	22	25	24	21	21
Zn _{XRF}	131	106	97	75	65	62	48
Zr _{XRF}	131	144	126	127	85	75	52
Th	1	1	1	1	1	1	0
La	17	14	15	14	12	12	9
Ce	30	25	26	24	19	21	18
Pr	4.0		3.7			3.2	
Nd	21	24	20	15	16	17	12
Sm	5.8		5.3			4.8	
Eu	2.2		2.0			1.8	
Gd	7.8		7.0			6.2	
Dy	9.2		8.0			7.0	
Er	6.0		5.2			4.7	
Yb	6.2		5.4			4.6	
Lu	0.9		0.8			0.7	

4.2 Διαγράμματα μεταβολής των οξειδίων σε σχέση με το ποσοστό του SiO₂

Στα διαγράμματα μεταβολής των οξειδίων των κύριων στοιχείων χρησιμοποιήθηκε ως δείκτης διαφοροποίησης το SiO₂ (Σχ. 4.1). Στα διαγράμματα αυτά προβάλλονται για σύγκριση και τα δείγματα που μελετήθηκαν από τον KATERINOPOULOS (2008). Η συμπεριφορά των οξειδίων των κύριων στοιχείων σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού του SiO₂ αναφέρεται ακολούθως:

4.2.1 TiO₂

Η περιεκτικότητα του TiO₂ μειώνεται από 1.3% έως 0.7% με την αύξηση του ποσοστού του SiO₂. Φαίνεται να δημιουργούνται δύο ομάδες δειγμάτων, οι οποίες παρουσιάζουν διαφοροποίηση ως προς το TiO₂. Τα δείγματα KR-15A, MR-5A και L-18 παρουσιάζουν χαμηλή περιεκτικότητα σε TiO₂ (0.78%-0.90%) αρκετά χαμηλότερη σε σχέση με τα υπόλοιπα δείγματα (P-228, P-1A, ETH-1, ETH-19, K-6, KR-25) που έχουν περιεκτικότητες από 1.02% έως 1.34%. Έτσι λοιπόν τα δείγματα KR-15A, MR-5A και L-18 θα χαρακτηρίζονται ως ομάδα χαμηλού TiO₂ ενώ τα δείγματα P-228, P-1A, ETH-1, ETH-19, K-6, KR-25 θα χαρακτηρίζονται ως ομάδα υψηλού TiO₂. Αναφορικά με τα δείγματα του KATERINOPOULOS (2008) παρατηρείται επίσης μείωση της περιεκτικότητας του TiO₂ από 2% μέχρι 1% με την αύξηση του ποσοστού του SiO₂.

4.2.2 Al₂O₃

Το ποσοστό του Al₂O₃ αυξάνεται αρχικά από 15% έως 17% και στη συνέχεια μειώνεται από 17% μέχρι 15.5% καθώς αυξάνεται το ποσοστό του SiO₂. Σχετικά με τα δείγματα του KATERINOPOULOS (2008) παρατηρείται αύξηση του ποσοστού του Al₂O₃ από 14.5% μέχρι 16.5% με αύξηση του SiO₂.

4.2.3 FeO_{tot}

Η συνολική περιεκτικότητα σε FeO_{tot} αυξάνεται αρχικά από 7% έως 9% και κατόπιν ελαττώνεται από 9% έως 8% καθώς αυξάνεται το ποσοστό του SiO₂. Αντιθέτως στα δείγματα του KATERINOPOULOS (2008) η περιεκτικότητα του FeO_{tot} ελαττώνεται από 15% μέχρι 10% καθώς το ποσοστό του SiO₂ στο πέτρωμα αυξάνεται.

4.2.4 MnO

Το ποσοστό του MnO κυμαίνεται μεταξύ 0.14% και 0.18% και παρουσιάζει διασπορά στην κατανομή του. Στα δείγματα του KATERINOPOULOS (2008) παρουσιάζεται ελάττωση του ποσοστού του MnO από 0.25% μέχρι 0.13% καθώς αυξάνεται η περιεκτικότητα σε SiO₂.

4.2.5 MgO

Το ποσοστό του MgO ελαττώνεται από 11.5% έως 7.5% με αύξηση της περιεκτικότητας σε SiO₂. Το δείγμα L-18 της ομάδας χαμηλού TiO₂ παρουσιάζει μικρότερη περιεκτικότητα σε MgO από τα άλλα δύο δείγματα (KR-15A και MR-5A). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι είναι πιο εξελιγμένο. Στα δείγματα του KATERINOPOULOS (2008) το MgO παραμένει περίπου σταθερό μεταξύ 7% και 7.5%.

4.2.6 CaO

Η περιεκτικότητα του CaO ελαττώνεται από 11.5% έως 10% με την αύξηση του SiO₂. Σχετικά με τα δείγματα του KATERINOPOULOS (2008) παρατηρείται επίσης μείωση από 11.3% έως 10.7%.

4.2.7 Na₂O

Η περιεκτικότητα του Na₂O μεταβάλλεται μεταξύ 1.5% και 2.7% και παρουσιάζει διασπορά. Όσον αφορά την ομάδα χαμηλού TiO₂, παρατηρείται ότι το δείγμα L-18 διαφοροποιείται σε σχέση με τα άλλα δύο (KR-15A και MR-5A), αφού παρουσιάζει υψηλότερη περιεκτικότητα σε Na₂O. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το δείγμα L-18 είναι πιο εξελιγμένο από τα άλλα δύο. Σχετικά με τα δείγματα του KATERINOPOULOS (2008) παρατηρείται αύξηση της περιεκτικότητας από 2% έως 2.8% καθώς αυξάνεται το SiO₂.

4.2.8 K₂O

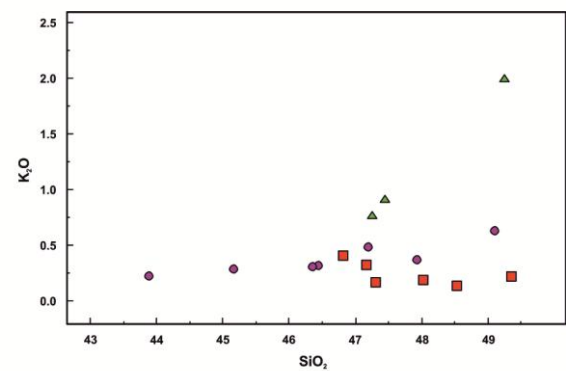
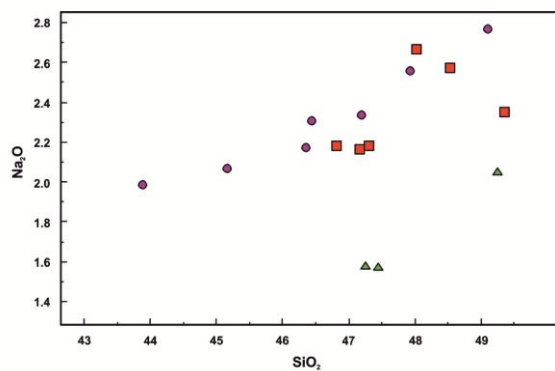
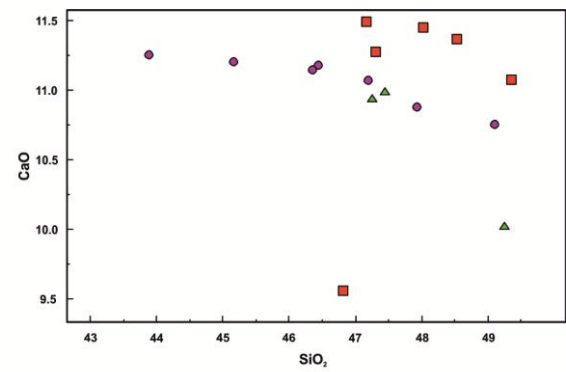
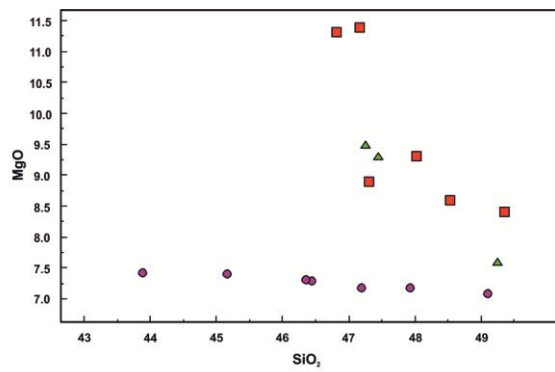
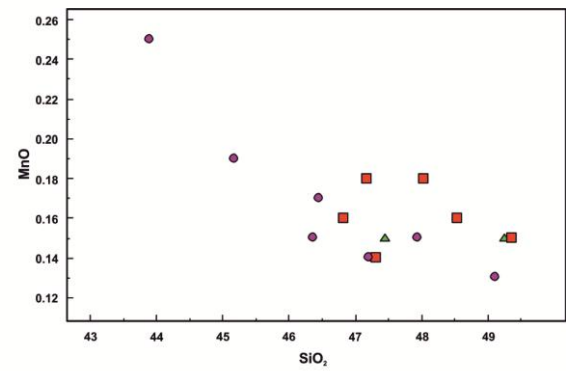
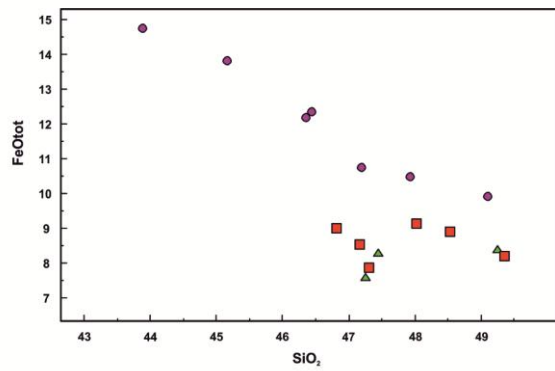
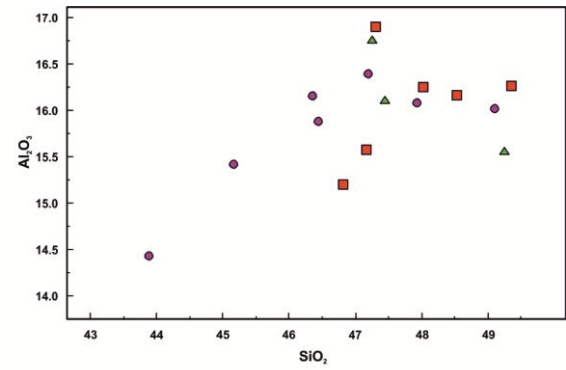
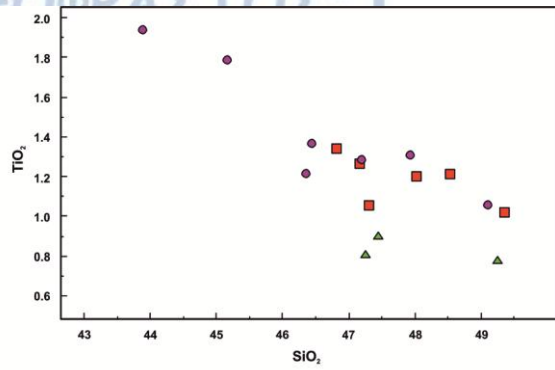
Αναφορικά με την συμπεριφορά του K₂O παρατηρούμε ότι τα δείγματα διαχωρίζονται σε δύο ομάδες. Στην πρώτη η περιεκτικότητα σε K₂O αυξάνεται από 0.7% έως 2% με την αύξηση του SiO₂, ενώ στη δεύτερη ελαττώνεται από 0.5% μέχρι 0.2%. Τα δείγματα KR-15A, MR-5A και L-18 που χαρακτηρίστηκαν ως ομάδα χαμηλού TiO₂, παρουσιάζουν υψηλή περιεκτικότητα σε K₂O (0.77% – 2.00%) ενώ αυτά που χαρακτηρίστηκαν ως υψηλού TiO₂ παρουσιάζουν αντίστοιχα χαμηλή περιεκτικότητα σε K₂O (0.13% – 0.32%). Σημειώνεται ότι στο διάγραμμα μεταβολής του K₂O το δείγμα L-18 παρουσιάζει υψηλότερη περιεκτικότητα σε σχέση με τα άλλα δύο δείγματα της ομάδας χαμηλού TiO₂ (KR-15A, MR-5A). Αυτό οφείλεται πιθανόν στο γεγονός ότι το L-18 είναι πιο εξελιγμένο. Αναφορικά με τα δείγματα του KATERINOPOULOS (2008) παρατηρείται αύξηση του ποσοστού του στοιχείου από 0.3% έως 0.7%.

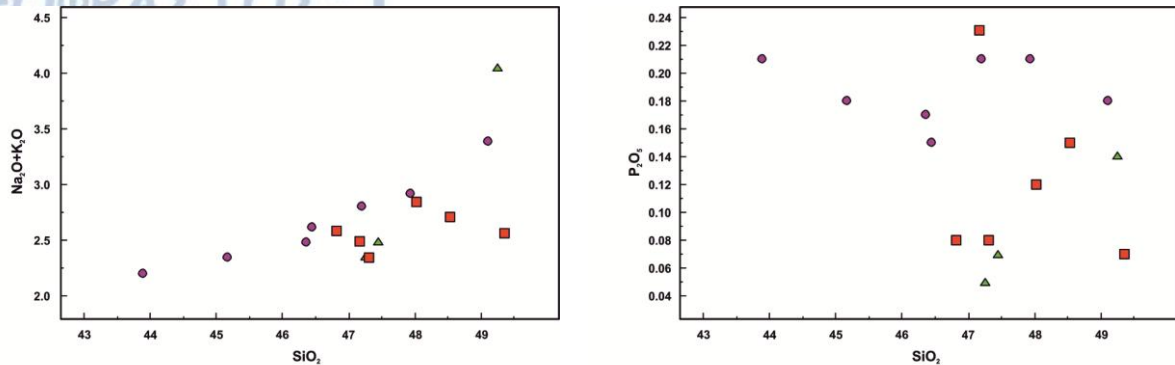
4.2.9 Na₂O+K₂O

Η περιεκτικότητα σε Na₂O+K₂O μεταβάλλεται από 2.3% έως 4% και παρουσιάζει διασπορά. Σχετικά με τα δείγματα του KATERINOPOULOS (2008) παρατηρείται αύξηση του ποσοστού του Na₂O+K₂O από 2.3% μέχρι 3.5%.

4.2.10 P₂O₅

Το ποσοστό του P₂O₅ παρουσιάζει αύξηση από 0.04% μέχρι 0.23% καθώς αυξάνεται η περιεκτικότητα σε SiO₂. Το δείγμα L-18 της ομάδας χαμηλού TiO₂ εμφανίζει, ως πιο εξελιγμένο, υψηλότερο ποσοστό σε P₂O₅. Αντίθετα, στα δείγματα του KATERINOPOULOS (2008) παρατηρείται μείωση του ποσοστού του P₂O₅ από 0.22% έως 0.14%.





Σχήμα 4.1 Προβολή των κύριων στοιχείων με τη μορφή οξειδίων με βάση την περιεκτικότητα σε SiO_2 , από τις δολεριτικές φλέβες του ανατολικού Βαρνούντα και της περιοχής μελέτης του KATERINOPOULOS (2008). Με κόκκινο τετράγωνο συμβολίζεται η ομάδα υψηλού TiO_2 - χαμηλού K_2O από τα δείγματα του ανατολικού Βαρνούντα, με πράσινο τρίγωνο η ομάδα χαμηλού TiO_2 - υψηλού K_2O επίσης από τα δείγματα του ανατολικού Βαρνούντα, ενώ με μωβ κύκλο συμβολίζονται τα δείγματα δολεριτών από KATERINOPOULOS (2008).

Με βάση τη συμπεριφορά των κύριων στοιχείων διαχωρίσαμε τα δείγματα σε δύο ομάδες: την ομάδα χαμηλού TiO_2 - υψηλού K_2O (LT-HK) (δείγματα KR-15A, MR-5A, L-18) και την ομάδα υψηλού TiO_2 - χαμηλού K_2O (HT-LK) (δείγματα P-228, P-1A, ETH-1, ETH-19, K-6, KR-25). Ο διαχωρισμός αυτός θα χρησιμοποιείται παρακάτω για την περιγραφή της γεωχημείας των δειγμάτων.

4.3 Διαγράμματα μεταβολής των ιχνοστοιχείων σε σχέση με το ποσοστό του SiO_2

Στα διαγράμματα μεταβολής των ιχνοστοιχείων ως δείκτης διαφοροποίησης χρησιμοποιήθηκε το SiO_2 (Σχ. 4.2). Για σύγκριση προβάλλονται και τα δείγματα που αναλύθηκαν από τον KATERINOPOULOS (2008). Εδώ, διαχωρίζονται και πάλι οι δύο ομάδες της περιοχής του ανατολικού Βαρνούντα καθώς η ομάδα LT-HK εμφανίζει υψηλή περιεκτικότητα στα στοιχεία Rb και Cs και χαμηλές τιμές σε Ga, Y, Dy, Ho, Er, Tm, Yb και Lu, σε αντίθεση με την ομάδα HT-LK. Η συμπεριφορά των ιχνοστοιχείων σε σχέση με την αύξηση του SiO_2 περιγράφεται αναλυτικά παρακάτω:

4.3.1 Ni_{XRF}

Το ποσοστό του Ni_{XRF} παρουσιάζει μείωση από 325ppm έως 10ppm με αύξηση της περιεκτικότητας του SiO_2 . Σχετικά με τα δείγματα από KATERINOPOULOS (2008) παρατηρείται αρχικά αύξηση του ποσοστού του στοιχείου από 110ppm έως 160ppm και στη συνέχεια μείωση αυτού από 160ppm μέχρι 135ppm.

4.3.2 Zn_{XRF}

Η περιεκτικότητα του Zn_{XRF} παρουσιάζει ελάττωση από 135ppm μέχρι 52ppm. Αναφορικά με τα δείγματα του KATERINOPOULOS (2008) παρουσιάζεται αντίθετα αύξηση του ποσοστού του Zn_{XRF} από 45ppm έως 135ppm.

4.3.3 Pb

Το ποσοστό του Pb παρουσιάζει μείωση από 7.5ppm μέχρι 1.3ppm καθώς αυξάνεται η περιεκτικότητα σε SiO₂. Το δείγμα L-18 της ομάδας LT-HK διαφοροποιείται σε σχέση με τα άλλα δύο δείγματα (KR-15A και MR-5A) και εμφανίζει υψηλότερη περιεκτικότητα σε Pb.

4.3.4 Ba

Το ποσοστό του Ba ελαττώνεται από 180ppm έως 40ppm καθώς αυξάνεται η περιεκτικότητα σε SiO₂. Και εδώ παρατηρείται η διαφοροποίηση του δείγματος L-18 της ομάδας LT-HK, που περιέχει μεγαλύτερο ποσοστό Ba σε σχέση με τα δείγματα KR-15A και MR-5A.

4.3.5 Cr

Η περιεκτικότητα του Cr παρουσιάζει ελάττωση από 560ppm μέχρι 230ppm με αύξηση της περιεκτικότητας του SiO₂. Παρατηρείται διαφοροποίηση της ομάδας LT-HK καθώς το δείγμα L-18 παρουσιάζει μικρότερο ποσοστό του στοιχείου από τα δείγματα KR-15A και MR-5A.

4.3.6 Sc

Το στοιχείο Sc παρουσιάζει ελάττωση από 35ppm μέχρι 27ppm. Παρατηρείται ότι τα δείγματα KR-15A και MR-5A της ομάδας LT-HK παρουσιάζουν χαμηλότερη περιεκτικότητα σε Sc από τα δείγματα της ομάδας HT-LK. Επίσης, το δείγμα L-18 διαφοροποιείται από τα άλλα δύο δείγματα της ομάδας LT-HK καθώς παρουσιάζει μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε Sc.

4.3.7 Co

Το Co παρουσιάζει σποραδική κατανομή της περιεκτικότητας του μεταξύ 40ppm και 82.5ppm.

4.3.8 Cs

Ελάττωση της περιεκτικότητας του από 2.25ppm μέχρι 0.1ppm με παράλληλη αύξηση του ποσοστού του SiO₂ παρουσιάζει το Cs. Διαχωρίζονται οι δυο ομάδες, όπου η ομάδα LT-HK παρουσιάζει υψηλή περιεκτικότητα σε Cs (0.75ppm-2.2ppm), σε αντίθεση με την ομάδα HT-LK, όπου το ποσοστό του στοιχείου είναι μικρότερο (0.2ppm-0.75ppm).

4.3.9 Ga

Η περιεκτικότητα του Ga εμφανίζει μείωση από 17.5ppm έως 13.4ppm. Διαφοροποιούνται οι δύο ομάδες δειγμάτων, καθώς η ομάδα LT-HK εμφανίζεται να περιέχει μικρότερο ποσοστό Ga (13.5ppm-14.3ppm) σε σχέση με την ομάδα HT-LK (14.5ppm-15.75ppm).

4.3.10 Hf

Η περιεκτικότητα του Hf ελαττώνεται από 3ppm έως 1.2ppm καθώς αυξάνεται το SiO₂. Τα δείγματα KR-15A και MR-5A της ομάδας LT-HK εμφανίζουν χαμηλότερο ποσοστό σε Hf από τα δείγματα της ομάδας HT-LK. Διαφοροποίηση παρατηρείται και μέσα στην ομάδα LT-HK, αφού το δείγμα L-18 ως πιο εξελιγμένο παρουσιάζει υψηλότερο ποσοστό σε Hf.

4.3.11 Nb

Η περιεκτικότητα του Nb αυξάνεται από 1ppm μέχρι 4ppm για αύξηση του ποσοστού του SiO₂. Τα δείγματα KR-15A και MR-5A της ομάδας LT-HK παρουσιάζουν μικρότερη περιεκτικότητα σε Nb σε σχέση με την ομάδα HT-LK και σε σχέση με το δείγμα L-18, το οποίο, ως πιο εξελιγμένο, παρουσιάζει υψηλή περιεκτικότητα σε Nb.

4.3.12 Rb

Διαχωρίζονται δύο ομάδες. Η ομάδα LT-HK εμφανίζει υψηλό ποσοστό σε Rb και η περιεκτικότητα της αυξάνεται από 40ppm μέχρι 90ppm με αύξηση του ποσοστού του SiO₂, ενώ η ομάδα HT-LK παρουσιάζει χαμηλότερο ποσοστό του στοιχείου και εμφανίζει ελάττωση από 20ppm έως 0.5ppm. Στην ομάδα LT-HK το δείγμα L-18 διαφοροποιείται από τα άλλα δύο και εμφανίζει υψηλότερο ποσοστό σε Rb.

4.3.13 Sr

Το ποσοστό του Sr ελαττώνεται αρχικά από 250ppm έως 100ppm και στη συνέχεια αυξάνεται από 100ppm μέχρι 150ppm καθώς αυξάνεται η περιεκτικότητα του SiO₂. Παρατηρείται και εδώ διαφοροποίηση μέσα στην ομάδα LT-HK, όπου το πιο εξελιγμένο δείγμα L-18 εμφανίζει υψηλότερη περιεκτικότητα σε Sr από τα άλλα δύο δείγματα της ομάδας (KR-15A, MR-5A).

4.3.14 Ta

Το στοιχείο Ta παρουσιάζει διασπορά της κατανομής του με εύρος από 0.06ppm μέχρι 0.20ppm. Τα δείγματα KR-15A και MR-5A της ομάδας LT-HK εμφανίζουν χαμηλότερη περιεκτικότητα στο στοιχείο Ta από ότι τα δείγματα της ομάδας HT-LK. Το δείγμα L-18 διαφοροποιείται σε σχέση με τα άλλα δύο της ομάδας LT-HK καθώς εμφανίζει υψηλότερη περιεκτικότητα σε Ta.

4.3.15 Th

Η περιεκτικότητα του Th αυξάνεται από 0.2ppm έως 1.6ppm καθώς αυξάνεται το ποσοστό του SiO₂. Το δείγμα L-18 της ομάδας LT-HK διαφοροποιείται από τα άλλα δύο και παρουσιάζει υψηλότερη περιεκτικότητα σε Th. Αντίθετα, στα δείγματα του KATERINOPOULOS (2008) παρατηρείται σταθερή περιεκτικότητα σε Th περίπου στο 1ppm.

4.3.16 U

Η περιεκτικότητα του U παρουσιάζει μείωση από 0.80ppm μέχρι 0.05ppm καθώς το SiO₂ αυξάνεται. Και σε αυτό το στοιχείο, το δείγμα L-18 της ομάδας LT-HK, λόγω του ότι είναι πιο εξελιγμένο, διαφοροποιείται από τα άλλα δύο δείγματα της ομάδας.

4.3.17 V

Το ποσοστό του V αυξάνεται από 170ppm έως 260ppm με αύξηση του ποσοστού του SiO_2 . Σχετικά με το δείγμα L-18 της ομάδας LT-HK, παρατηρείται ότι περιέχει υψηλότερο ποσοστό σε V από τα άλλα δείγματα της ομάδας αυτής, KR-15A και MR-5A.

4.3.18 Zr

Το στοιχείο Zr παρουσιάζει αρχικά ελάττωση του ποσοστού του από 140ppm μέχρι 40ppm ενώ στη συνέχεια εμφανίζει αύξηση από 40ppm έως 90ppm. Τα δείγματα KR-15A και MR-5A της ομάδας LT-HK εμφανίζουν χαμηλότερο ποσοστό σε Zr σε σχέση με τα δείγματα της ομάδας HT-LK. Το δείγμα L-18 παρουσιάζει επίσης υψηλότερη περιεκτικότητα στο στοιχείο αυτό από τα άλλα δύο δείγματα της ομάδας LT-HK.

4.3.19 Y

Στο στοιχείο Y διαχωρίζονται οι δύο ομάδες. Η ομάδα LT-HK εμφανίζει χαμηλό ποσοστό σε Y όπου παρατηρείται αύξηση από 16ppm μέχρι 19ppm καθώς αυξάνεται το ποσοστό του SiO_2 , ενώ η ομάδα HT-LK παρουσιάζει υψηλότερη περιεκτικότητα στο στοιχείο αυτό και μείωση από 28ppm έως 23ppm.

4.3.20 La

Η περιεκτικότητα του La μειώνεται αρχικά από 7ppm έως 3ppm και στη συνέχεια αυξάνεται από 3ppm μέχρι 15ppm. Αναφορικά με το δείγμα L-18 της ομάδας LT-HK παρατηρείται υψηλότερη περιεκτικότητα σε La σε σχέση με τα άλλα δύο στοιχεία της ομάδας αυτής. Σχετικά με τα δείγματα του KATERINOPOULOS (2008) παρατηρείται αρχικά ελάττωση από 17ppm μέχρι 9ppm και στη συνέχεια αύξηση από 23ppm έως 28ppm της περιεκτικότητας του στοιχείου.

4.3.21 Ce

Το Ce παρουσιάζει στην αρχή ελάττωση από 17.5ppm μέχρι 6ppm και στη συνέχεια αύξηση από 6ppm έως 35ppm της περιεκτικότητάς του. Το δείγμα L-18 της ομάδας LT-HK διαφοροποιείται από τα δείγματα KR-15A και MR-5A καθώς παρουσιάζει υψηλότερο ποσοστό του στοιχείου. Αναφορικά με τα δείγματα του KATERINOPOULOS (2008) παρατηρείται επίσης αρχικά ελάττωση από 30ppm έως 17.5ppm του ποσοστού του Ce και κατόπιν αύξηση από 17.5ppm μέχρι 26ppm καθώς αυξάνεται το ποσοστό του SiO_2 .

4.3.22 Pr

Στο ποσοστό του Pr παρατηρείται αρχικά μείωση από 2.5ppm έως 1.2ppm ενώ στη συνέχεια αυτό αυξάνεται από 1.2ppm μέχρι 5.2ppm. Αναφορικά με την ομάδα LT-HK παρατηρείται διαφοροποίηση του δείγματος L-18, το οποίο παρουσιάζει υψηλότερο ποσοστό σε σχέση με τα άλλα δύο δείγματα της ομάδας. Σχετικά με τα δείγματα από KATERINOPOULOS (2008) η περιεκτικότητα του στοιχείου εμφανίζει αρχικά μείωση από 4ppm μέχρι 3.25ppm και κατόπιν αύξηση από 3.25ppm έως 3.75ppm.

4.3.23 Nd

Το στοιχείο Nd παρουσιάζει δύο τάσεις. Η πρώτη εμφανίζει μείωση της περιεκτικότητας από 12.5ppm μέχρι 6ppm ενώ η δεύτερη παρουσιάζει αύξησή της από 6ppm έως 25ppm. Επίσης, παρατηρείται ότι τα δείγματα KR-15A και MR-5A της ομάδας LT-HK εμφανίζουν χαμηλότερη περιεκτικότητα στο στοιχείο αυτό σε σχέση με τα δείγματα της

ομάδας HT-LK. Το δείγμα L-18 της ομάδας LT-HK διαφοροποιείται και εδώ και εμφανίζει μεγαλύτερο ποσοστό σε Nd από τα άλλα δύο δείγματα. Αναφορικά με τα δείγματα της περιοχής μελέτης του KATERINOPOULOS (2008) παρατηρείται αντίστοιχα αρχικά μείωση της περιεκτικότητας του Nd από 21ppm μέχρι 12ppm και στη συνέχεια αύξηση από 12ppm έως 24ppm.

4.3.24 Sm

Η περιεκτικότητα του Sm εμφανίζει αρχικά ελάττωση από 4ppm έως 2ppm και στη συνέχεια αύξηση από 2ppm μέχρι 6ppm. Τα δείγματα KR-15A και MR-5A της ομάδας LT-HK διαχωρίζονται από την ομάδα HT-LK, αφού εμφανίζουν χαμηλότερη περιεκτικότητα σε Sm. Το δείγμα L-18 της ομάδας LT-HK διαφοροποιείται ως προς τα άλλα δύο αφού εμφανίζει υψηλή περιεκτικότητα στο στοιχείο αυτό. Αυτό οφείλεται πιθανόν στο γεγονός ότι το δείγμα αυτό είναι πιο εξελιγμένο. Σχετικά με τα δείγματα του KATERINOPOULOS (2008) η περιεκτικότητα σε Sm αρχικά μειώνεται από 6ppm έως 4.5ppm και κατόπιν αυξάνεται από 4.5ppm μέχρι 5.2ppm καθώς αυξάνεται η περιεκτικότητα του SiO₂.

4.3.25 Eu

Το στοιχείο Eu παρουσιάζει ελάττωση του ποσοστού του από 1.3ppm έως 0.8ppm. Το δείγμα L-18 της ομάδας LT-HK παρουσιάζει μεγάλη περιεκτικότητα Eu σε αντίθεση με τα άλλα δύο δείγματα. Σχετικά με τα δείγματα του KATERINOPOULOS (2008) η περιεκτικότητα του στοιχείου αρχικά μειώνεται από 2.2ppm έως 1.8ppm και στη συνέχεια αυξάνεται από 1.8ppm μέχρι 2.0ppm με την αύξηση του SiO₂.

4.3.26 Gd

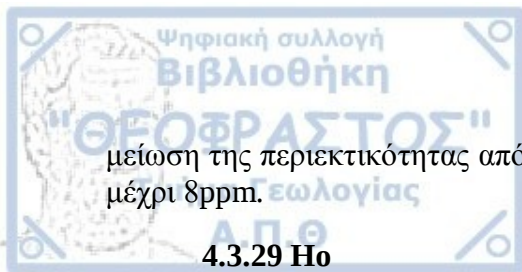
Σε σχέση με το Gd η ομάδα LT-HK εμφανίζει αύξηση του ποσοστού από 2.5ppm έως 5.5ppm καθώς αυξάνεται το ποσοστό του SiO₂ ενώ η ομάδα HT-LK παρουσιάζει ελάττωση της περιεκτικότητάς της από 5.5ppm έως 4.5ppm, χωρίς να παρατηρείται διαχωρισμός των δύο ομάδων. Και σε αυτό το στοιχείο το δείγμα L-18 διαφοροποιείται από τα δείγματα KR-15A και MR-5A της ομάδας LT-HK, αφού εμφανίζει υψηλότερη περιεκτικότητα σε Gd. Αναφορικά με τα δείγματα από την περιοχή μελέτης του KATERINOPOULOS (2008) παρατηρείται αρχικά ελάττωση από 8ppm μέχρι 6ppm και στη συνέχεια αύξηση από 6ppm μέχρι 7ppm της περιεκτικότητάς τους.

4.3.27 Tb

Το ποσοστό του Tb εμφανίζει δύο τάσεις. Η πρώτη παρουσιάζει ελάττωση της περιεκτικότητας του στοιχείου από 0.70ppm μέχρι 0.40ppm και η δεύτερη αύξηση από 0.57ppm έως 0.65ppm καθώς αυξάνεται η περιεκτικότητα σε SiO₂. Όσον αφορά το διαχωρισμό των ομάδων παρατηρείται ότι τα δείγματα KR-15A και MR-5A της ομάδας LT-HK περιέχουν μικρό ποσοστό του στοιχείου αυτού σε αντίθεση με τα δείγματα της ομάδας HT-LK. Σχετικά με το δείγμα L-18 της ομάδας LT-HK, αυτό διαφοροποιείται και πάλι από τα άλλα δύο παρουσιάζοντας υψηλό ποσοστό σε Tb.

4.3.28 Dy

Παρατηρείται διαχωρισμός των δύο ομάδων. Η ομάδα LT-HK εμφανίζει χαμηλό ποσοστό σε Dy και αύξηση από 3ppm μέχρι 4.5ppm σε αντίθεση με την ομάδα HT-L, η οποία παρουσιάζει υψηλότερη περιεκτικότητα στο στοιχείο και ελάττωση από 5ppm μέχρι 3ppm. Σχετικά με τα δείγματα από KATERINOPOULOS (2008) παρατηρείται αρχικά



μείωση της περιεκτικότητας από 8ppm μέχρι 7ppm και στη συνέχεια αύξησή της από 7ppm μέχρι 8ppm.

4.3.29 Ho

Διαχωρίζονται οι δύο ομάδες. Η ομάδα LT-HK εμφανίζει χαμηλή περιεκτικότητα σε Ho και αύξηση από 0.62ppm μέχρι 0.70ppm. Η ομάδα HT-LK παρουσιάζει υψηλή περιεκτικότητα στο στοιχείο αυτό ενώ παρατηρείται ελάττωση από 1ppm έως 0.82ppm.

4.3.30 Er

Διαχωρίζονται οι δύο ομάδες. Η ομάδα LT-HK εμφανίζει χαμηλή περιεκτικότητα σε Er και παρουσιάζει αύξηση από 1.5ppm έως 2ppm. Η ομάδα HT-LK αντίστοιχα εμφανίζει υψηλότερη περιεκτικότητα και ελάττωση του ποσοστού από 3ppm μέχρι 2.5ppm καθώς αυξάνεται το ποσοστό του SiO₂. Όσον αφορά τα δείγματα του KATERINOPOULOS (2008) παρατηρείται στην αρχή μείωση του ποσοστού του στοιχείου από 6ppm έως 4.5ppm και κατόπιν αύξηση από 4.5ppm μέχρι 5ppm.

4.3.31 Tm

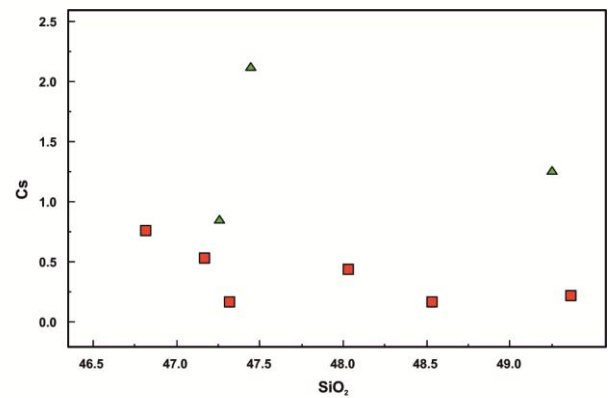
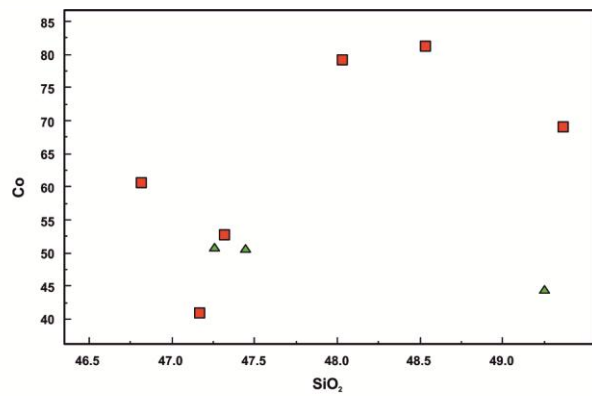
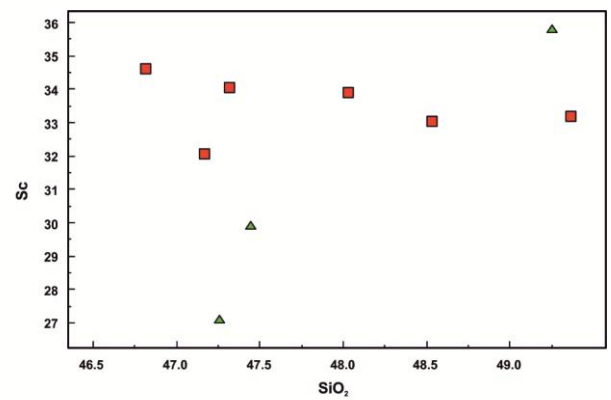
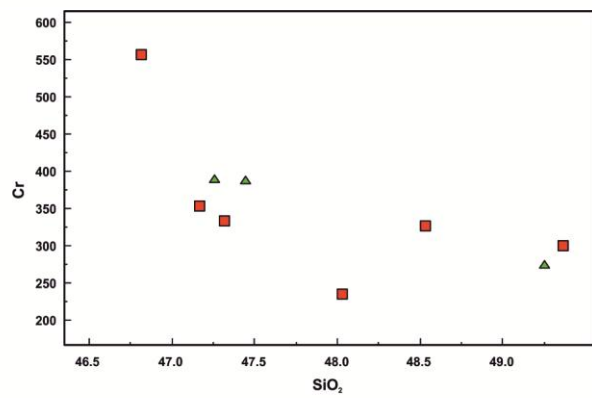
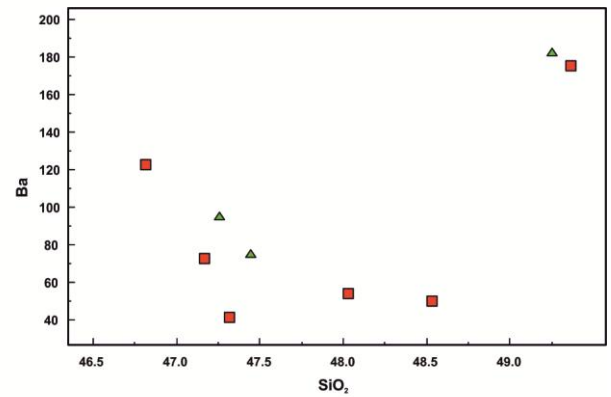
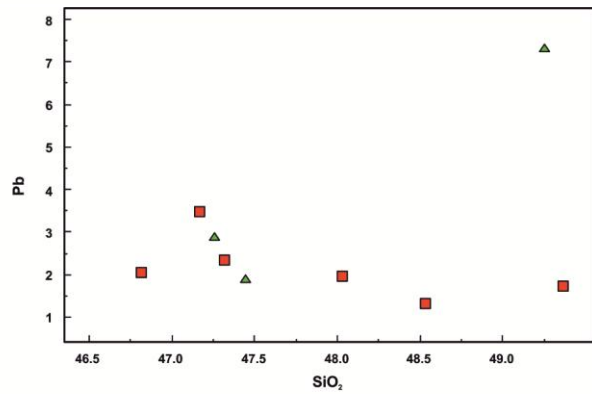
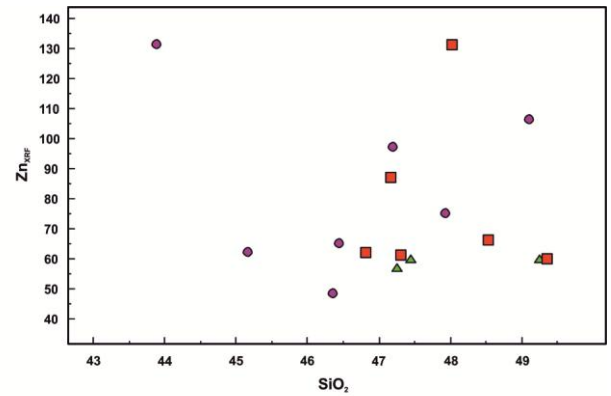
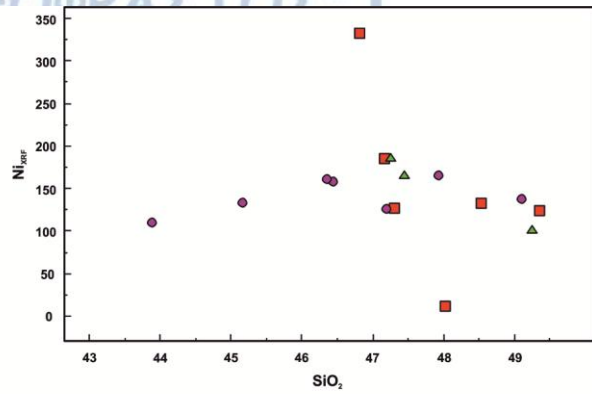
Στο στοιχείο Tm διαχωρίζονται οι δύο ομάδες. Η ομάδα LT-HK παρουσιάζει αύξηση από 0.25ppm μέχρι 0.28ppm και χαμηλότερο ποσοστό σε Tm, ενώ η ομάδα HT-LK εμφανίζει ελάττωση της περιεκτικότητάς της από 0.39ppm έως 0.32ppm σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού του SiO₂ και έχει μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε Tm.

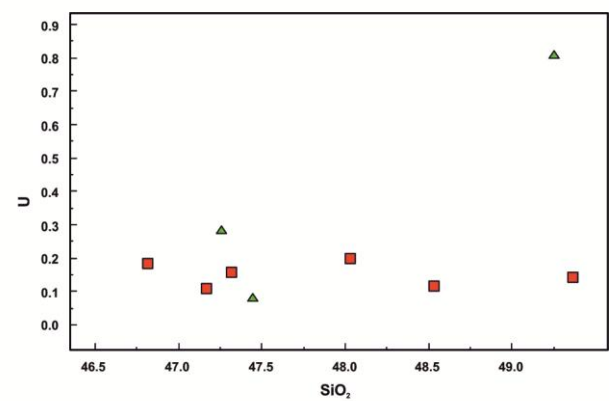
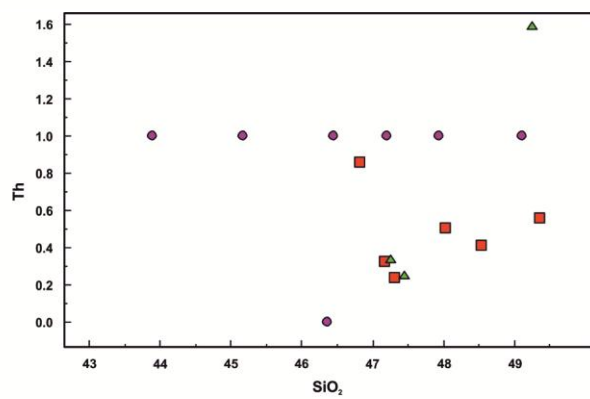
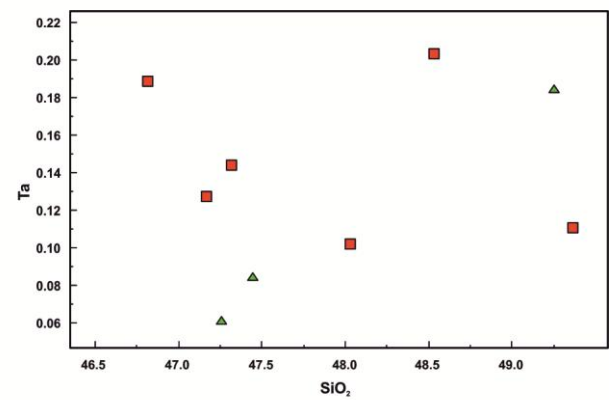
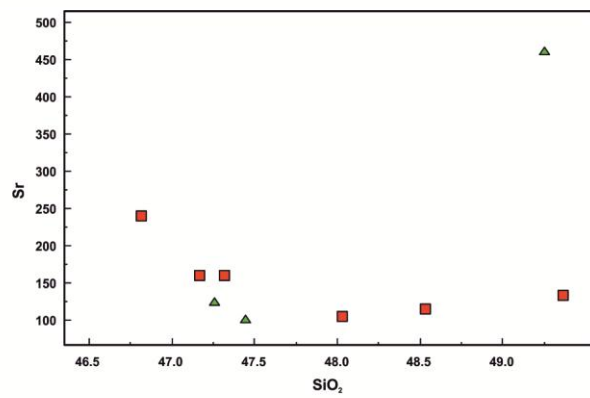
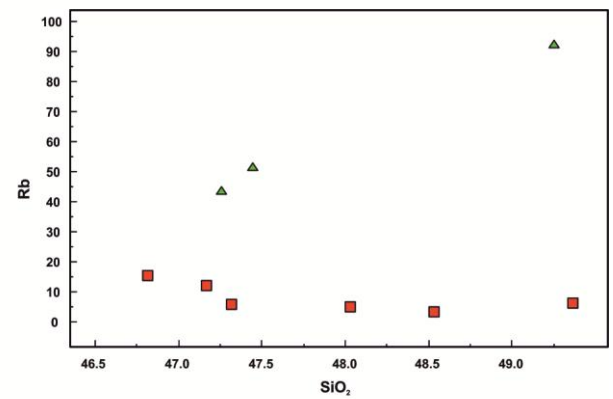
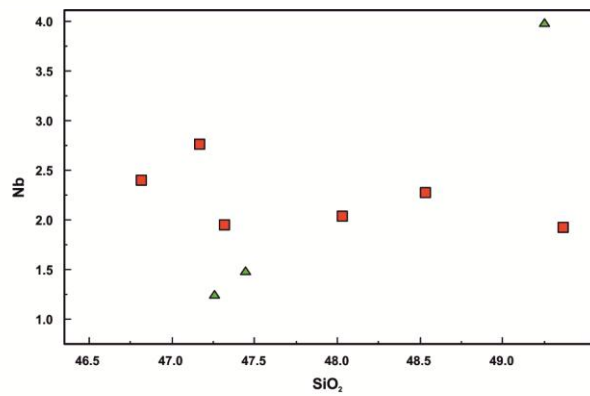
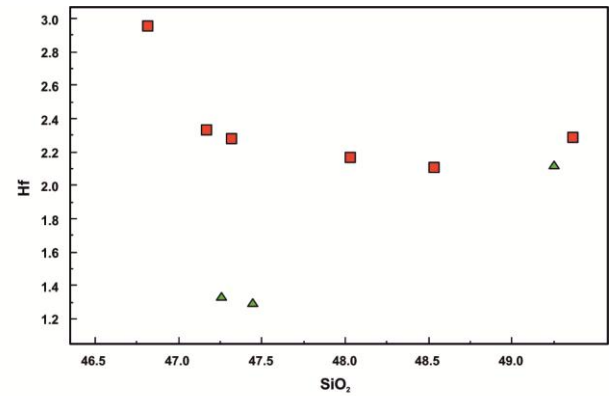
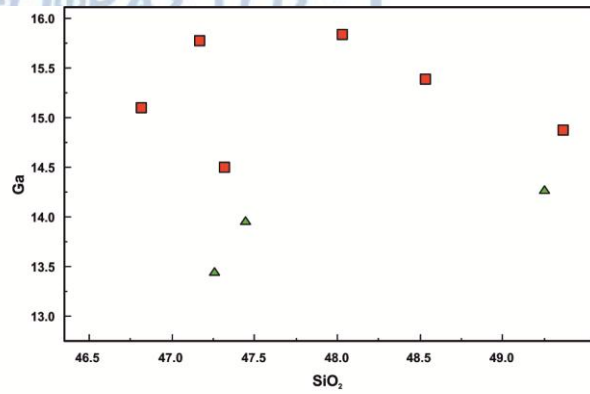
4.3.32 Yb

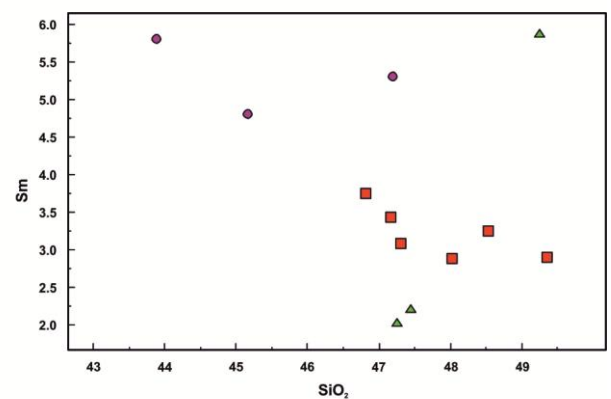
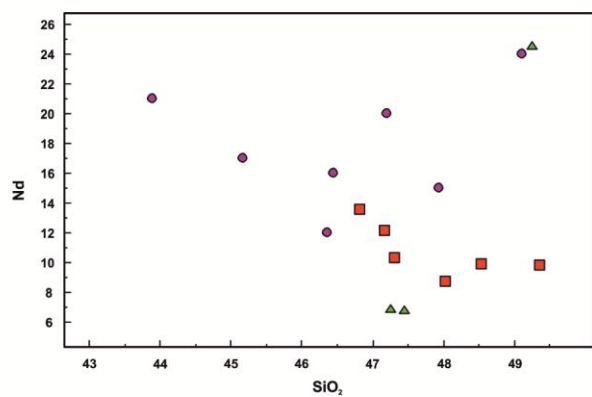
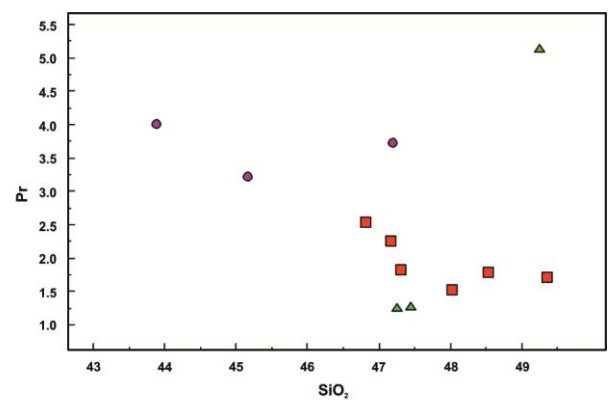
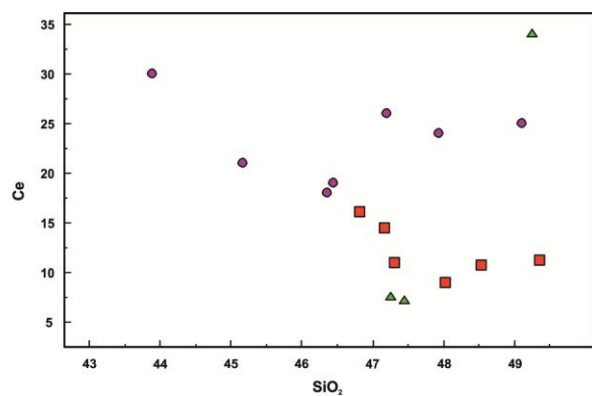
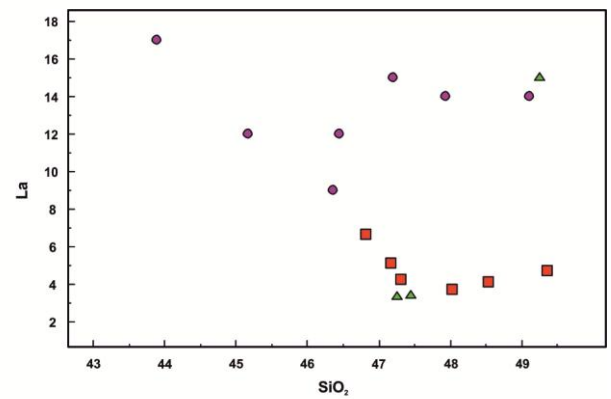
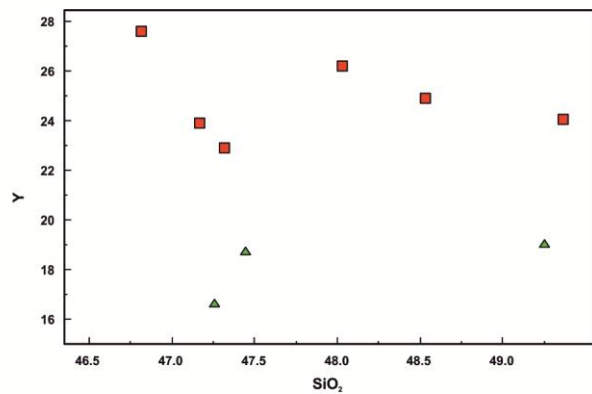
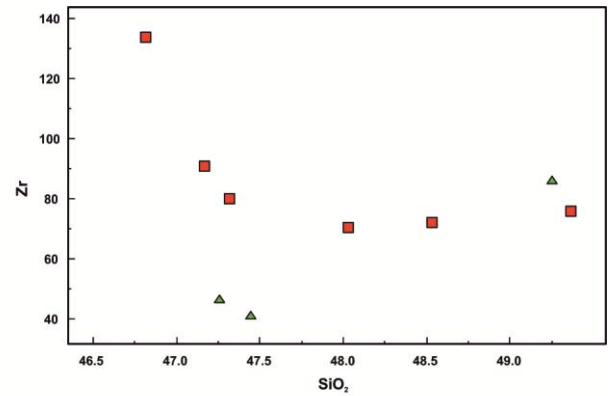
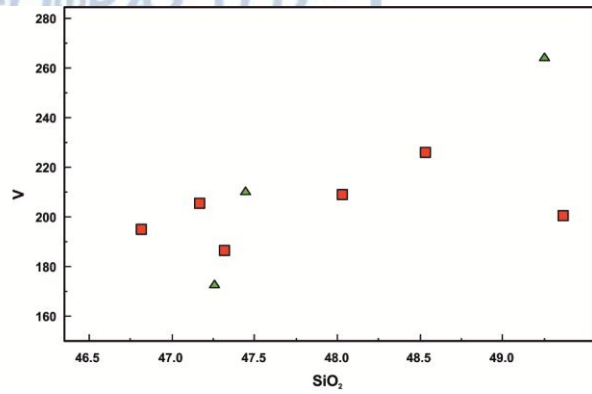
Διαχωρίζονται δύο ομάδες δειγμάτων. Η ομάδα LT-HK εμφανίζει χαμηλή περιεκτικότητα σε Yb παρουσιάζοντας αύξηση από 1.5ppm μέχρι 2ppm. Η ομάδα HT-LK εμφανίζει υψηλότερη περιεκτικότητα σε Yb ενώ παρουσιάζει ελάττωση του ποσοστού του στοιχείου από 2.8ppm μέχρι 2ppm. Όσον αφορά τα δείγματα της περιοχής μελέτης του KATERINOPOULOS (2008) παρατηρείται αρχικά μείωση της περιεκτικότητας από 6.3ppm έως 4.5ppm και στη συνέχεια αύξηση από 4.5ppm μέχρι 5.5ppm.

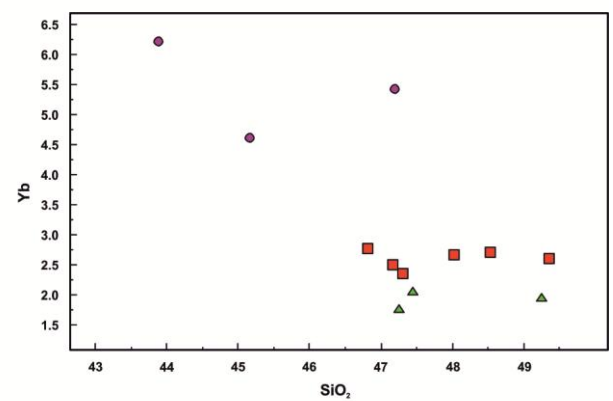
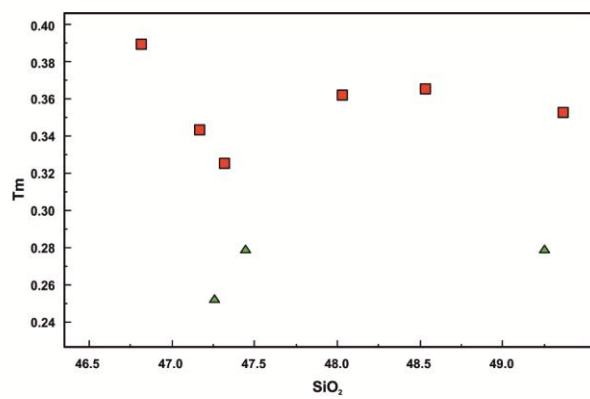
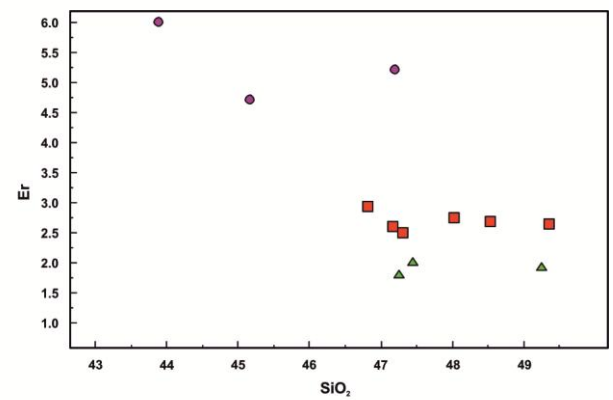
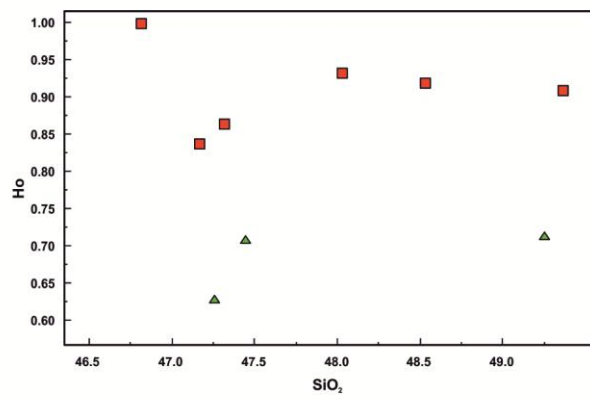
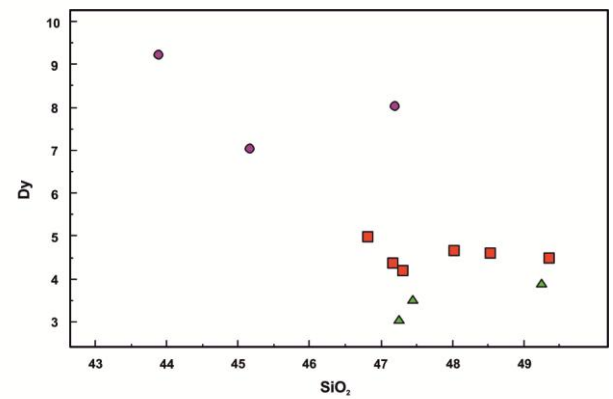
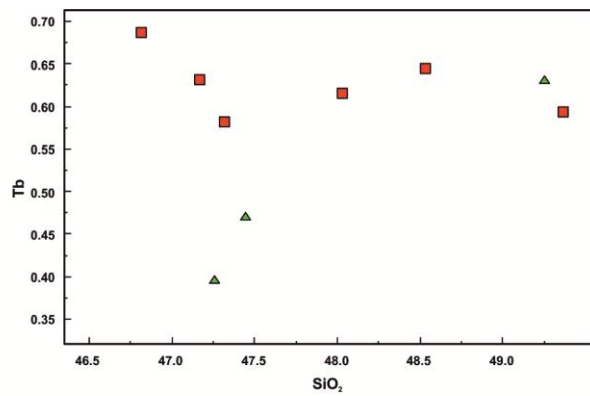
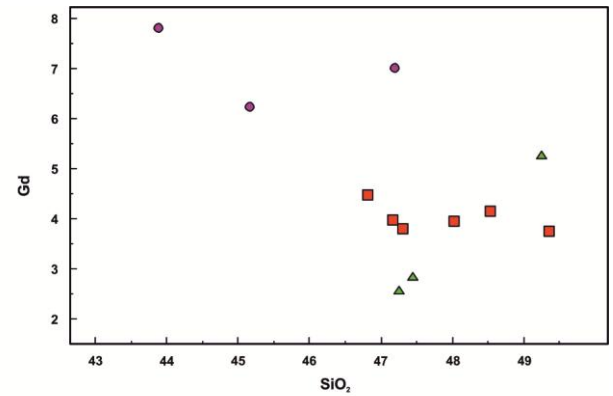
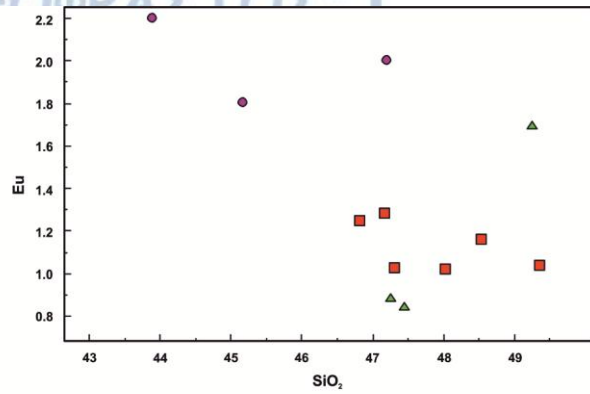
4.3.33 Lu

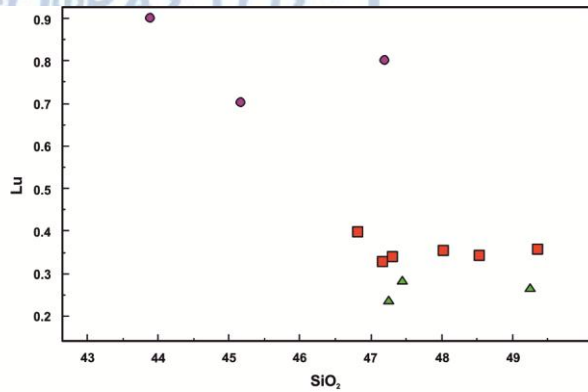
Στο στοιχείο Lu διαχωρίζονται οι δύο ομάδες. Η ομάδα LT-HK εμφανίζει χαμηλότερο ποσοστό σε Lu και αύξηση από 0.2ppm έως 0.25ppm σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού του SiO₂ ενώ η δεύτερη ομάδα παρουσιάζει υψηλότερο ποσοστό στο στοιχείο αυτό και ελάττωση από 0.4ppm μέχρι 0.3ppm. Σχετικά με τα δείγματα από τον KATERINOPOULOS (2008) παρατηρείται αρχικά μείωση από 0.9ppm έως 0.7ppm και κατόπιν αύξηση από 0.7ppm έως 0.8ppm.











Σχήμα 4.2 Προβολή των ιχνοστοιχείων με βάση την περιεκτικότητα σε SiO₂, από τις δολεριτικές φλέβες του ανατολικού Βαρνούντα και της περιοχής μελέτης του KATERINOPOULOS (2008). Σύμβολα όπως στο σχήμα 4.1.

Με βάση τα ιχνοστοιχεία, διαχωρίζονται και πάλι οι δύο ομάδες της περιοχής του ανατολικού Βαρνούντα καθώς η ομάδα LT-HK εμφανίζει υψηλή περιεκτικότητα στα στοιχεία Rb και Cs και χαμηλές τιμές σε Ga, Y, Dy, Ho, Er, Tm, Yb και Lu, σε αντίθεση με την ομάδα HT-LK.

4.4 Διαγράμματα μεταβολής των οξειδίων σε σχέση με το ποσοστό του MgO

Στα διαγράμματα μεταβολής των οξειδίων των κύριων στοιχείων χρησιμοποιήθηκε ως δείκτης διαφοροποίησης και το MgO (Σχ. 4.3). Αυτό συνέβη διότι είναι συχνό φαινόμενο στα βασικά πετρώματα να χρησιμοποιείται πολλές φορές ως δείκτης διαφοροποίησης το MgO αντί για το SiO₂. Για λόγους σύγκρισης προβάλλονται στα διαγράμματα και τα δείγματα που μελέτησε ο KATERINOPOULOS (2008). Η συμπεριφορά των οξειδίων των κύριων στοιχείων σε σχέση με τη μείωση του ποσοστού του MgO δίνεται παρακάτω:

4.4.1 SiO₂

Το ποσοστό του SiO₂ παρουσιάζει αύξηση από 46.5% έως 49.5% όσο μειώνεται η περιεκτικότητα σε MgO. Σχετικά με τα δείγματα από KATERINOPOULOS (2008) εμφανίζεται επίσης αύξηση του ποσοστού του στοιχείου από 44% μέχρι 49%.

4.4.2 TiO₂

Διαχωρίζονται οι δύο ομάδες. Η ομάδα LT-HK εμφανίζει χαμηλότερο ποσοστό σε TiO₂ και παρουσιάζει αύξηση της περιεκτικότητάς της από 0.7% έως 0.9% ενώ η ομάδα HT-LK εμφανίζει υψηλότερη περιεκτικότητα και αύξηση από 1% έως 1.4%. Αναφορικά με τα δείγματα της περιοχής μελέτης του KATERINOPOULOS (2008) παρουσιάζεται αύξηση του ποσοστού του στοιχείου από 1% μέχρι 1.9%.

4.4.3 Al_2O_3

Το ποσοστό του Al_2O_3 παρουσιάζει αρχικά αύξηση για μείωση του ποσοστού του MgO από 15.5% μέχρι 17% και στη συνέχεια μείωση από 17% έως 15.3%. Όσον αφορά τα δείγματα από KATERINOPOULOS (2008) παρατηρείται ελάττωση τα περιεκτικότητας από 16.5% έως 14.5%.

4.4.4 FeO_{tot}

Το ποσοστό του FeO_{tot} παραμένει περίπου σταθερό μεταξύ 7% και 9%. Σχετικά με τα δείγματα από KATERINOPOULOS (2008) παρατηρείται αύξηση του ποσοστού του στοιχείου από 10% έως 15%.

4.4.5 MnO

Το MnO παρουσιάζει αύξηση της περιεκτικότητάς του από 0.14% μέχρι 0.18%. Αναφορικά με τα δείγματα της περιοχής μελέτης του KATERINOPOULOS (2008) παρατηρείται επίσης αύξηση από 0.13% έως 0.25%.

4.4.6 CaO

Το ποσοστό του CaO εμφανίζει αρχικά αύξηση του ποσοστού του από 10% μέχρι 11.5% και κατόπιν μείωση από 11.5% έως 9.5%. Το δείγμα L-18 της ομάδας LT-HK διαφοροποιείται σε σχέση με τα δείγματα KR-15A και MR-5A καθώς εμφανίζει χαμηλότερη περιεκτικότητα σε CaO . Στα δείγματα του KATERINOPOULOS (2008) εμφανίζεται αύξηση της περιεκτικότητας του στοιχείου από 10.7% έως 11.3% με την ελάττωση της περιεκτικότητας του MgO .

4.4.7 Na_2O

Διαχωρίζονται οι δύο ομάδες. Η ομάδα LT-HK εμφανίζει μικρότερο ποσοστό σε Na_2O και παρουσιάζει ελάττωση από 2.1% έως 1.6%. Αντίθετα, η ομάδα HT-LK εμφανίζει μεγαλύτερο ποσοστό του στοιχείου παρουσιάζοντας επίσης ελάττωση από 2.7% μέχρι 2.1%. Σχετικά με τα δείγματα από KATERINOPOULOS (2008) παρατηρείται ελάττωση από 2.8% μέχρι 2% καθώς μειώνεται το ποσοστό του MgO .

4.4.8 K_2O

Διαχωρισμός των δύο ομάδων. Η ομάδα LT-HK παρουσιάζει υψηλή περιεκτικότητα στο στοιχείο αυτό και ελάττωση από 2% έως 0.7% καθώς μειώνεται το ποσοστό του MgO . Η ομάδα HT-LK εμφανίζει χαμηλή περιεκτικότητα σε K_2O και αύξηση από 0.1% μέχρι 0.4%. Αναφορικά με τα δείγματα από KATERINOPOULOS (2008) παρουσιάζεται μείωση του ποσοστού από 0.6% έως 0.2%.

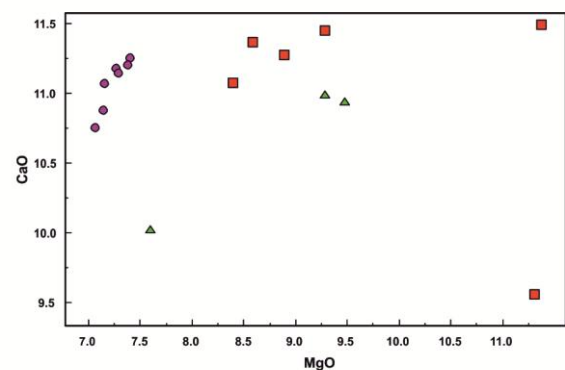
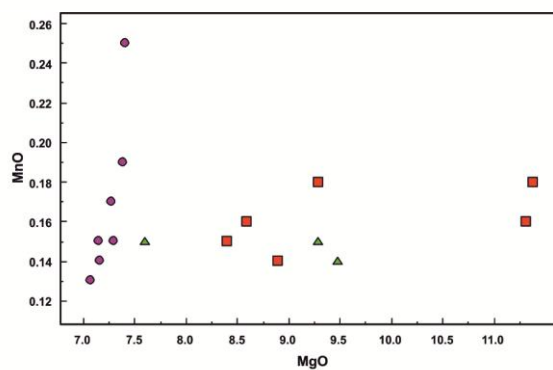
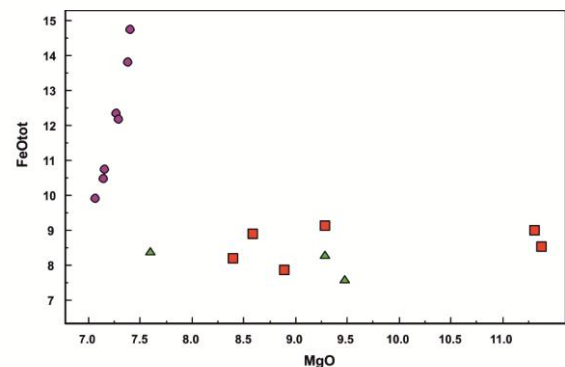
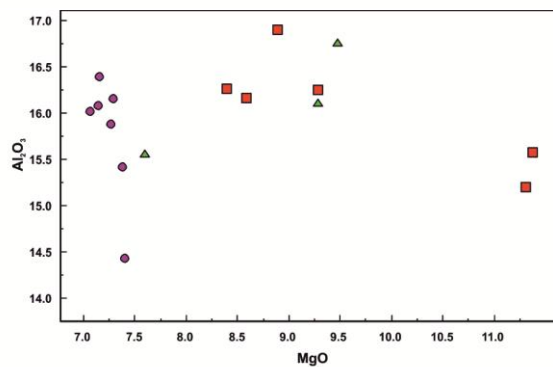
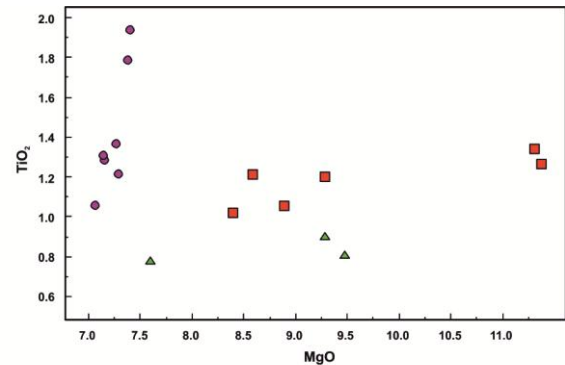
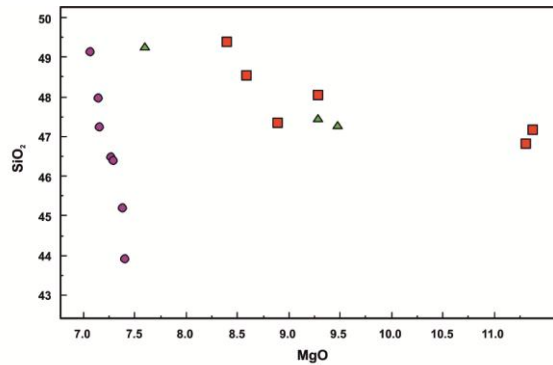
4.4.9 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$

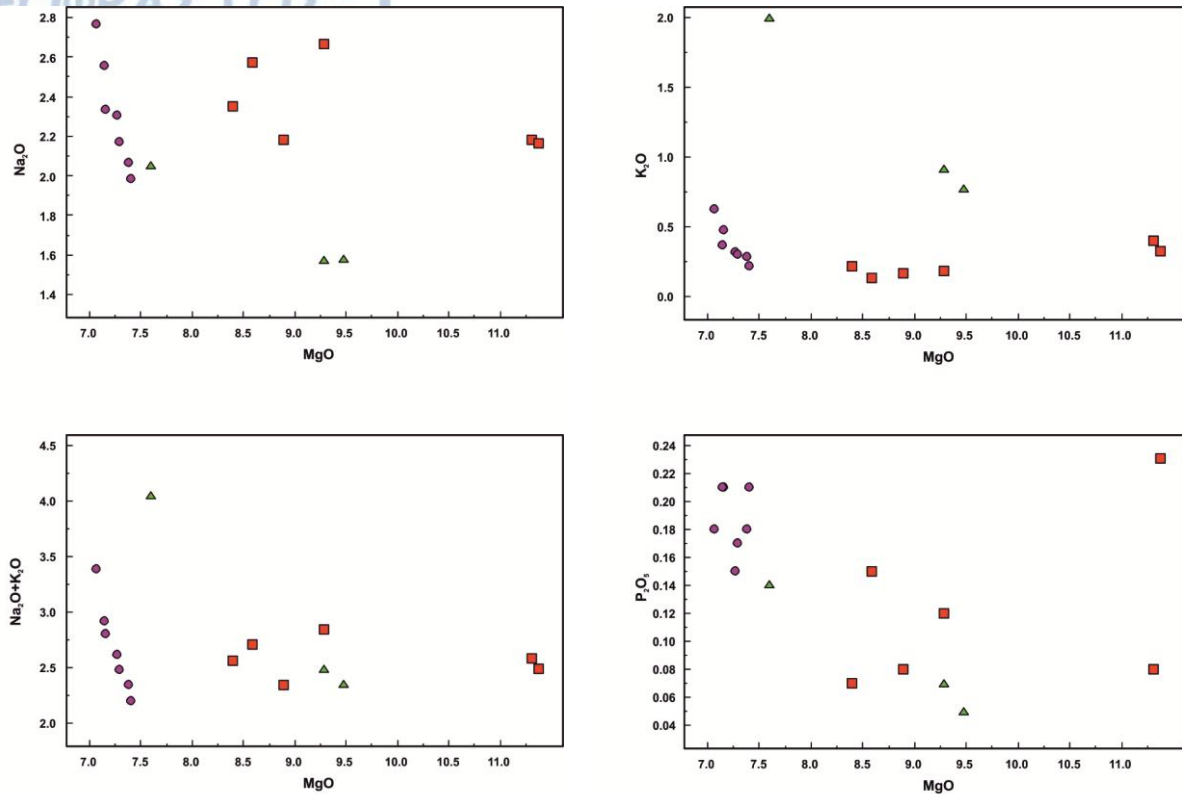
Η περιεκτικότητα σε $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ εμφανίζει ελάττωση από 4% μέχρι 2.3% καθώς το ποσοστό του MgO μειώνεται. Όσον αφορά τα δείγματα από KATERINOPOULOS (2008) παρατηρείται επίσης μείωση από 3.5% μέχρι 2.3%.

4.4.10 P_2O_5

Το ποσοστό του P_2O_5 ελαττώνεται από 0.23% έως 0.05%. Το δείγμα L-18 διαφοροποιείται σε σχέση με τα άλλα δύο δείγματα της ομάδας LT-HK παρουσιάζοντας

μεγαλύτερο ποσοστό σε P_2O_5 . Σχετικά με τα δείγματα της περιοχής μελέτης του ΚΑΤΕΡΙΝΟΠΟΥΛΟΣ (2008) παρατηρείται επίσης ελάττωση από 3.5% μέχρι 2.3%





Σχήμα 4.3 Προβολή των κύριων στοιχείων με βάση την περιεκτικότητα σε MgO από τις δολεριτικές φλέβες του ανατολικού Βαρνούντα και της περιοχής μελέτης του KATERINOPOULOS (2008). Σύμβολα όπως στο σχήμα 4.1.

4.5 Διαγράμματα μεταβολής των ιχνοστοιχείων σε σχέση με το ποσοστό του MgO

Αντίστοιχα, για τα διαγράμματα μεταβολής των ιχνοστοιχείων χρησιμοποιήθηκε ως δείκτης διαφοροποίησης και το MgO (Σχ. 4.4). Και στα διαγράμματα αυτά προβάλλονται για σύγκριση τα δείγματα από την περιοχή μελέτης του KATERINOPOULOS (2008). Η συμπεριφορά των ιχνοστοιχείων σε σχέση με τη μείωση του MgO περιγράφεται αναλυτικά παρακάτω:

4.5.1 Ni_{XRF}

Η περιεκτικότητα σε Ni_{XRF} παρουσιάζει αύξηση από 10ppm μέχρι 330ppm. Όσον αφορά τα δείγματα από KATERINOPOULOS (2008) παρατηρείται ελάττωση του ποσοστού του στοιχείου από 180ppm έως 100ppm.

4.5.2 Zn_{XRF}

Το ποσοστό του Zn_{XRF} παρουσιάζει αύξηση από 55ppm έως 130ppm καθώς το ποσοστό του MgO μειώνεται. Σχετικά με τα δείγματα από την περιοχή μελέτης του KATERINOPOULOS (2008) παρατηρείται αντίθετα ελάττωση της περιεκτικότητας από 130ppm μέχρι 45ppm.

4.5.3 Pb

Το ποσοστό του Pb παρουσιάζει αύξηση από 1ppm έως 3.5ppm. Το δείγμα L-18 της ομάδας LT-HK παρουσιάζει υψηλή περιεκτικότητα σε Pb και διαφοροποιείται από τα άλλα δύο δείγματα της ομάδας.

4.5.4 Ba

Η περιεκτικότητα σε Ba ελαττώνεται αρχικά από 180ppm έως 40ppm και στη συνέχεια αυξάνεται από 40ppm μέχρι 120ppm, καθώς το ποσοστό του MgO ελαττώνεται. Σχετικά με το δείγμα L-18 της ομάδας LT-HK παρατηρείται διαφοροποίηση από τα δείγματα KR-15A και MR-5A καθώς εμφανίζει υψηλό ποσοστό σε Ba.

4.5.5 Cr

Όσον αφορά το Cr παρατηρείται αύξηση από 270ppm έως 560ppm. Σχετικά με το δείγμα L-18 της ομάδας LT-HK, αυτό διαφοροποιείται από τα άλλα δύο δείγματα καθώς περιέχει χαμηλότερο ποσοστό σε Cr.

4.5.6 Sc

Τα δείγματα KR-15A και MR-5A της ομάδας LT-HK παρουσιάζουν ελάττωση από 30ppm έως 27ppm και χαμηλή περιεκτικότητα σε Sc σε αντίθεση με τα δείγματα της HT-LK ομάδας που παρουσιάζουν αύξηση από 33ppm μέχρι 34.5ppm καθώς αυξάνεται το MgO. Ακόμα, το δείγμα L-18 της LT-HK ομάδας διαφοροποιείται από τα άλλα δύο. Ως πιο εξελιγμένο παρουσιάζει υψηλή περιεκτικότητα σε Sc.

4.5.7 Co

Το ποσοστό του Co στα δείγματα παρουσιάζει διασπορά, μεταβαλλόμενο μεταξύ 40ppm και 80ppm, καθώς το ποσοστό του MgO μειώνεται.

4.5.8 Cs

Διαχωρίζονται οι δύο ομάδες. Η ομάδα LT-HK παρουσιάζει διασπορά στην κατανομή της περιεκτικότητάς της, που κυμαίνεται μεταξύ 0.8ppm και 2.2ppm και υψηλότερη περιεκτικότητα σε Cs. Η ομάδα HT-LK αντίθετα εμφανίζει χαμηλότερη περιεκτικότητα στο στοιχείο αυτό και αύξηση της περιεκτικότητάς της από 0.1ppm μέχρι 0.8ppm.

4.5.9 Ga

Διαχωρισμός των δύο ομάδων. Στη LT-HK ομάδα παρατηρείται ελάττωση της περιεκτικότητας σε Ga από 14.3ppm μέχρι 13.5ppm ενώ εμφανίζει χαμηλότερη περιεκτικότητα από την ομάδα HT-LK. Η ομάδα HT-LK αντίθετα παρουσιάζει υψηλό ποσοστό στο στοιχείο αυτό που αυξάνεται από 14.5ppm έως 15.7ppm.

4.5.10 Hf

Τα δείγματα KR-15A και MR-5A της ομάδας LT-HK παρουσιάζουν χαμηλότερο ποσοστό σε Hf (1.3ppm -1.4ppm) από τα δείγματα της HT-LK ομάδας (2ppm-2.7ppm), η περιεκτικότητα της οποίας αυξάνεται με τη μείωση του MgO. Το δείγμα L-18 της πρώτης ομάδας διαφοροποιείται από τα υπόλοιπα δύο δείγματα καθώς περιέχει υψηλότερη περιεκτικότητα του στοιχείου.

4.5.11 Nb

Σχετικά με το στοιχείο Nb παρατηρείται διαχωρισμός των δειγμάτων KR-15A και MR-5A της ομάδας LT-HK τόσο από το δείγμα L-18 όσο και από την ομάδα HT-LK. Τα πρώτα εμφανίζουν χαμηλή περιεκτικότητα σε Nd (1.3ppm-1.5ppm) σε αντίθεση με τα δεύτερα. Στην ομάδα HT-LK παρατηρείται αύξηση της περιεκτικότητας από 1.7ppm μέχρι 2.7ppm καθώς η περιεκτικότητα σε MgO μειώνεται.

4.5.12 Rb

Διαχωρισμός των ομάδων LT-HK και HT-LK. Η πρώτη παρουσιάζει υψηλότερη περιεκτικότητα σε Rb, η οποία ελαττώνεται από 95ppm μέχρι 45ppm ενώ αντίθετα η δεύτερη εμφανίζει χαμηλότερη περιεκτικότητα που αυξάνεται από 5ppm έως 15ppm.

4.5.13 Sr

Στο στοιχείο Sr παρατηρείται αύξηση της περιεκτικότητας από 100ppm έως 250ppm. Το δείγμα L-18 της ομάδας LT-HK διαφοροποιείται από τα δείγματα KR-15A και MR-5A της ίδιας ομάδας, εμφανίζοντας υψηλότερη περιεκτικότητα στο στοιχείο.

4.5.14 Ta

Τα δείγματα KR-15A και MR-5A της ομάδας LT-HK διαχωρίζονται από τα δείγματα της ομάδας HT-LK καθώς τα πρώτα εμφανίζουν χαμηλότερη περιεκτικότητα σε Ta (0.06ppm-0.08ppm) από τα δεύτερα (0.10ppm-0.19ppm). Διαχωρίζονται επίσης και από το δείγμα L-18 της ίδιας ομάδας μιας και αυτό εμφανίζει υψηλότερο ποσοστό του στοιχείου. Παρατηρείται διασπορά της κατανομής.

4.5.15 Th

Διαχωρίζονται εδώ τα δείγματα KR-15A και MR-5A από το δείγμα L-18 της ομάδας LT-HK αφού το τελευταίο εμφανίζει υψηλότερη περιεκτικότητα του στοιχείου από τα δύο πρώτα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι είναι πιο εξελιγμένο. Παρατηρείται αρχικά ελάττωση της περιεκτικότητας από 1.6ppm έως 0.2ppm και στη συνέχεια αύξηση από 0.2ppm μέχρι 0.9ppm. Σχετικά με τα δείγματα από KATERINOPOULOS (2008) η περιεκτικότητα σε Th παραμένει σταθερή στο 1ppm.

4.5.16 U

Διαχωρισμός μεταξύ των δειγμάτων της ομάδας LT-HK. Το δείγμα L-18 εμφανίζει υψηλότερο ποσοστό σε U από τα άλλα δύο δείγματα. Αρχικά παρατηρείται ελάττωση του ποσοστού του στοιχείου από 0.8ppm μέχρι 0.1ppm και κατόπιν αύξηση από 0.1ppm έως 0.3ppm.

4.5.17 V

Όσον αφορά το στοιχείο V παρατηρείται αρχικά ελάττωση της περιεκτικότητάς του από 270ppm μέχρι 170ppm και στη συνέχεια αύξησή της από 170ppm έως 210ppm. Το δείγμα L-18 της ομάδας LT-HK διαφοροποιείται σε σχέση με τα άλλα δύο δείγματα της ομάδας, ως πιο εξελιγμένο.

4.5.18 Zr

Τα δείγματα KR-15A και MR-5A της LT-HK ομάδας διαφοροποιούνται ως προς το δείγμα L-18 αλλά και ως προς την ομάδα HT-LK. Έτσι τα δείγματα αυτά εμφανίζουν χαμηλότερη περιεκτικότητα (40ppm -45ppm) από τα υπόλοιπα δείγματα. Τα υπόλοιπα δείγματα παρουσιάζουν αρχικά ελάττωση από 90ppm έως 70ppm και έπειτα αύξηση από 70ppm μέχρι 135ppm του ποσοστού του Zr.

4.5.19 Y

Διαχωρισμός των δύο ομάδων. Η ομάδα LT-HK εμφανίζει χαμηλή περιεκτικότητα σε Y και παρατηρείται ελάττωση του ποσοστού του στοιχείου από 19ppm έως 16ppm σε αντίθεση με την ομάδα HT-LK.. Αντίθετα, στην ομάδα HT-LK, όπου το ποσοστό αυξάνεται από 22ppm έως 27ppm καθώς το ποσοστό του MgO ελαττώνεται.

4.5.20 La

Παρατηρείται ελάττωση αρχικά από 15ppm μέχρι 3ppm και στη συνέχεια αύξηση από 3ppm έως 6ppm. Το δείγμα L-18 της ομάδας LT-HK διαχωρίζεται από τα υπόλοιπα δύο δείγματα καθώς εμφανίζει υψηλότερη περιεκτικότητα σε La. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι είναι πιο εξελιγμένο. Αναφορικά με τα δείγματα της περιοχής μελέτης του KATERINOPOULOS (2008) παρατηρείται ελάττωση από 17ppm μέχρι 9ppm.

4.5.21 Ce

Παρατηρείται αρχικά ελάττωση της περιεκτικότητας του στοιχείου από 34ppm έως 7ppm και στη συνέχεια αύξηση από 7ppm μέχρι 15ppm. Το δείγμα L-18 της ομάδας LT-HK διαχωρίζεται από τα υπόλοιπα δύο, παρουσιάζοντας υψηλότερη περιεκτικότητα σε Ce. Αυτό οφείλεται στο ότι είναι πιο εξελιγμένο. Όσον αφορά τα δείγματα από KATERINOPOULOS (2008) παρατηρείται ελάττωση από 31ppm μέχρι 17ppm.

4.5.22 Pr

Αύξηση παρατηρείται και στο ποσοστό του Pr από 1.3ppm έως 2.5ppm καθώς μειώνεται η περιεκτικότητα σε MgO. Το δείγμα L-18 διαχωρίζεται από τα δείγματα KR-15A και MR-5A της ομάδας LT-HK, αφού παρουσιάζει υψηλότερο ποσοστό του στοιχείου από τα άλλα δύο. Σχετικά με τα δείγματα από KATERINOPOULOS (2008) παρατηρείται μείωση από 4ppm έως 3ppm.

4.5.23 Nd

Τα δείγματα της ομάδας LT-HK διαφοροποιούνται τόσο ως προς τα δείγματα της ομάδας HT-LK όσο και ως προς το δείγμα L-18 της ίδιας ομάδας, καθώς παρουσιάζουν χαμηλότερη περιεκτικότητα σε Nd (7ppm). Γενικά παρατηρείται αύξηση του ποσοστού του στοιχείου από 9ppm μέχρι 13ppm. Αναφορικά με τα δείγματα από την περιοχή μελέτης του KATERINOPOULOS (2008) παρατηρείται ελάττωση από 25ppm έως 13ppm.

4.5.24 Sm

Διαχωρισμός των δειγμάτων KR-15A και MR-5A της LT-HK ομάδας από το δείγμα L-18 της ίδιας ομάδας και από τα δείγματα της ομάδας HT-LK. Τα δείγματα KR-15A και MR-5A παρουσιάζουν χαμηλότερη περιεκτικότητα σε Sm (2ppm). Στα δείγματα της ομάδας HT-LK παρατηρείται αύξηση από 2.7ppm έως 3.7ppm. Όσον αφορά το στοιχείο Sm στα

δείγματα της περιοχής μελέτης του KATERINOPOULOS (2008) παρατηρείται ελάττωση της περιεκτικότητάς του από 5.7ppm μέχρι 4.7ppm.

4.5.25 Eu

Παρατηρείται διαφοροποίηση μεταξύ των δειγμάτων της ομάδας LT-HK. Συγκεκριμένα το δείγμα L-18 εμφανίζει υψηλότερο ποσοστό σε Eu από τα δείγματα KR-15A και MR-5A. Η περιεκτικότητα του στοιχείου ελαττώνεται αρχικά από 1.7ppm έως 0.8ppm ενώ έπειτα παρουσιάζει αύξηση από 0.8ppm έως 1.3ppm. Αναφορικά με τα δείγματα από KATERINOPOULOS (2008) παρατηρείται μείωση από 2.2ppm μέχρι 1.8ppm.

4.5.26 Gd

Διαχωρισμός των δειγμάτων KR-15A και MR-5A της ομάδας LT-HK από το δείγμα L-18 της ίδιας ομάδας και από την ομάδα HT-LK. Τα δύο αυτά δείγματα παρουσιάζουν χαμηλότερη περιεκτικότητα σε Gd (2ppm -2.5ppm) από τα υπόλοιπα. Η μεταβολή του ποσοστού του στοιχείου παρουσιάζει αύξηση από 3.5ppm μέχρι 4.5ppm. Σχετικά με τα δείγματα από KATERINOPOULOS (2008) παρατηρείται ελάττωση από 8ppm έως 6ppm.

4.5.27 Tb

Διαχωρισμός των δειγμάτων KR-15A και MR-5A της LT-HK ομάδας από το δείγμα L-18 της ίδιας ομάδας καθώς και από την ομάδα HT-LK, αφού τα πρώτα παρουσιάζουν χαμηλότερο ποσοστό του στοιχείου (0.37ppm-0.45ppm). Παρατηρείται αύξηση της περιεκτικότητας από 0.57ppm έως 0.67ppm καθώς μειώνεται η περιεκτικότητα σε MgO.

4.5.28 Dy

Διαχωρισμός των δύο ομάδων. Η ομάδα LT-HK παρουσιάζει χαμηλότερη περιεκτικότητα σε Dy σε σχέση με την ομάδα HT-LK. Έτσι, για την πρώτη ομάδα παρατηρείται ελάττωση του ποσοστού του στοιχείου από 4ppm έως 3ppm ενώ η δεύτερη ομάδα εμφανίζει αύξηση της περιεκτικότητας του στοιχείου από 4ppm μέχρι 5ppm. Όσον αφορά τα δείγματα από KATERINOPOULOS (2008) εμφανίζεται μείωση από 9ppm μέχρι 7ppm.

4.5.29 Ho

Διαχωρισμός των δύο ομάδων. Η ομάδα HT-LK παρουσιάζει υψηλό ποσοστό σε Ho και αύξηση της περιεκτικότητας από 0.85ppm έως 1ppm. Αντίθετα, η ομάδα LT-HK εμφανίζει χαμηλή περιεκτικότητα του στοιχείου και μείωση της περιεκτικότητας από 0.7ppm έως 0.63ppm.

4.5.30 Er

Η ομάδα LT-HK εμφανίζει χαμηλότερο ποσοστό σε Er από την ομάδα HT-LK και διαχωρίζεται από αυτήν. Το ποσοστό του στοιχείου στην ομάδα LT-HK παραμένει περίπου σταθερό στα 2ppm καθώς ελαττώνεται το ποσοστό του MgO. Αντίστοιχα, η ομάδα HT-LK παρουσιάζει αύξηση από 2.5ppm έως 3ppm. Σχετικά με τα δείγματα από KATERINOPOULOS (2008) παρατηρείται ελάττωση της περιεκτικότητας από 6ppm μέχρι 4.5ppm.

4.5.31 Tm

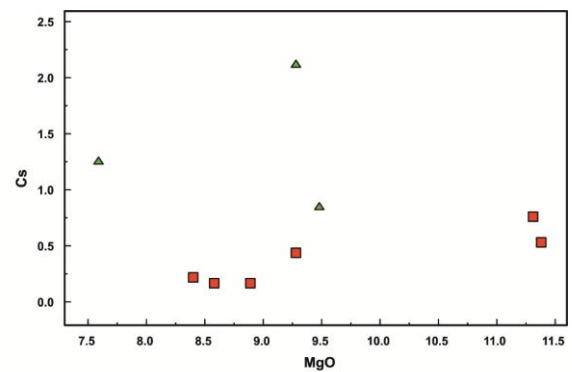
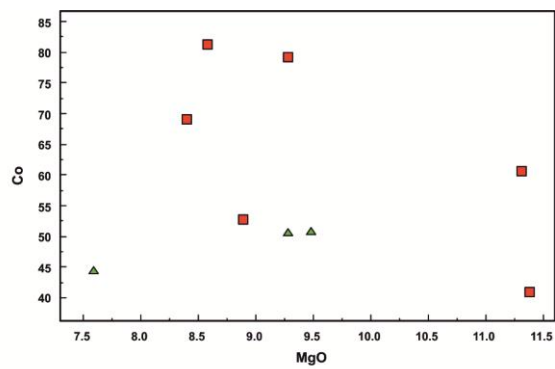
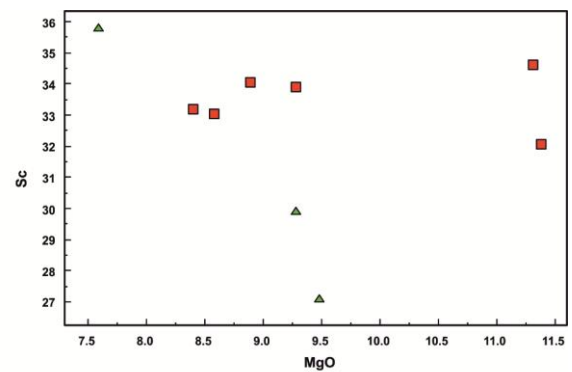
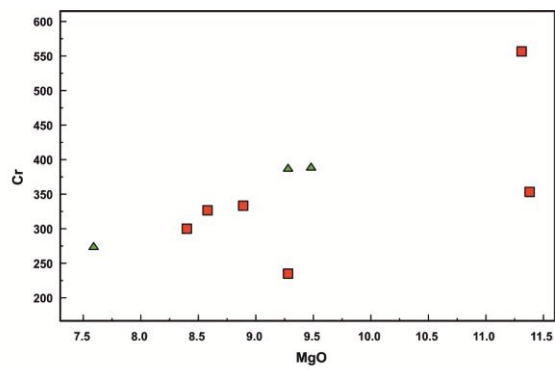
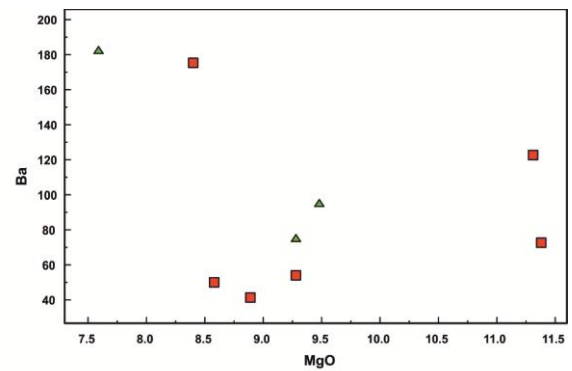
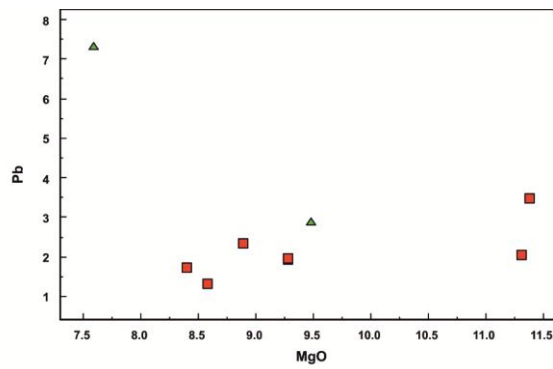
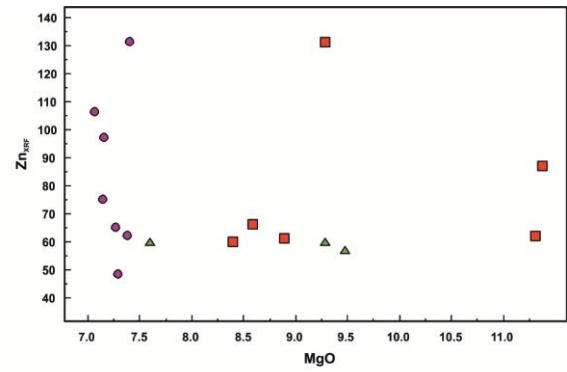
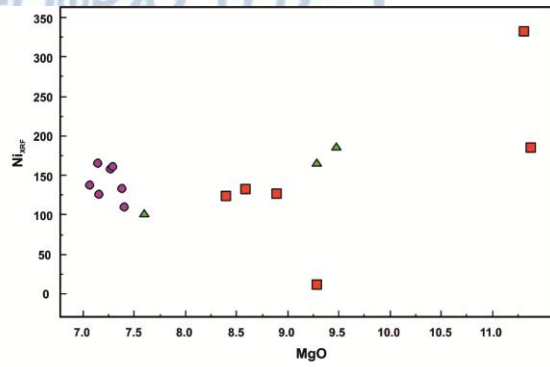
Διαχωρισμός των ομάδων LT-HK και HT-LK. Η LT-HK ομάδα εμφανίζει χαμηλή περιεκτικότητα στο στοιχείο αυτό και ελάττωση του ποσοστού του από 0.28ppm μέχρι 0.25ppm. Αντίθετα, η ομάδα HT-LK παρουσιάζει υψηλότερο ποσοστό σε Tm και αύξηση της περιεκτικότητας από 0.32ppm έως 0.39ppm καθώς μειώνεται το ποσοστό του MgO.

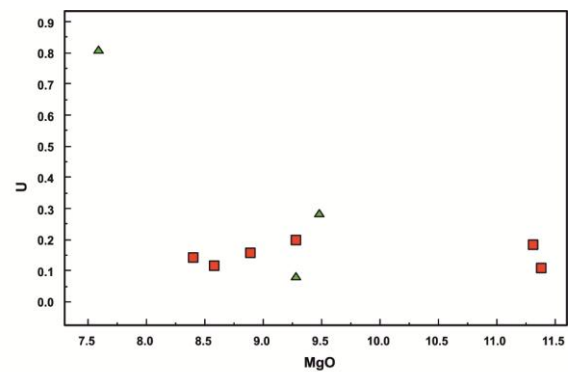
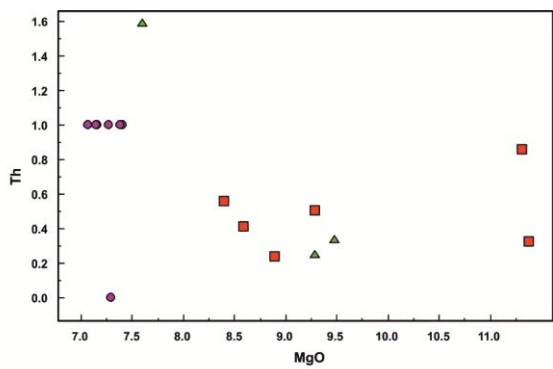
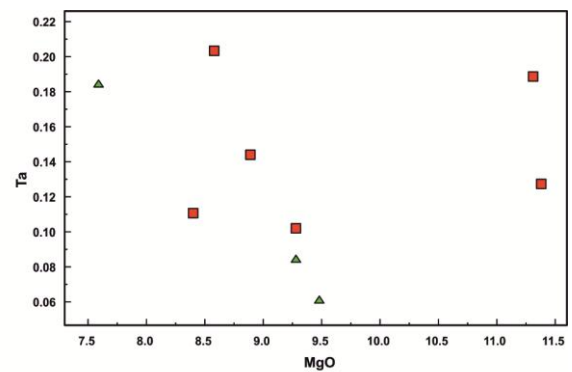
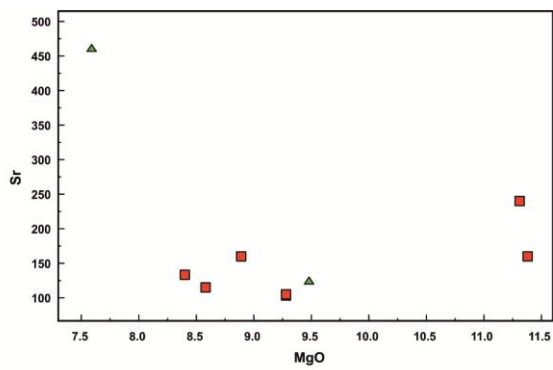
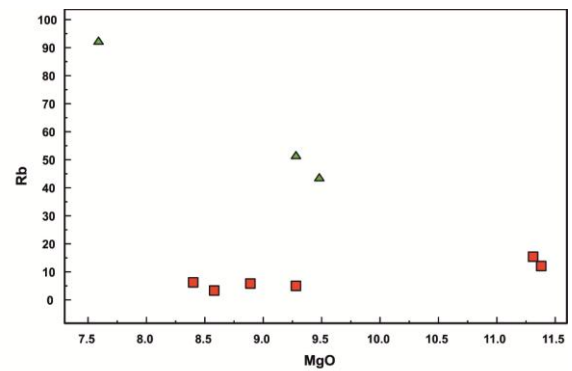
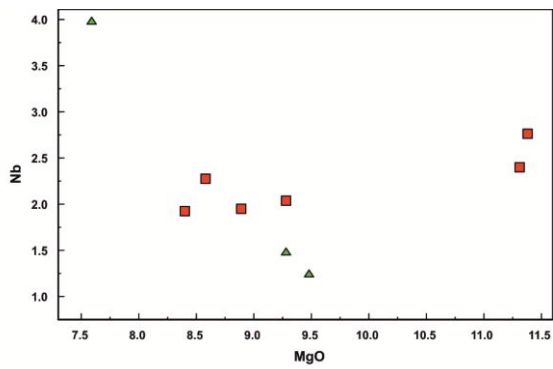
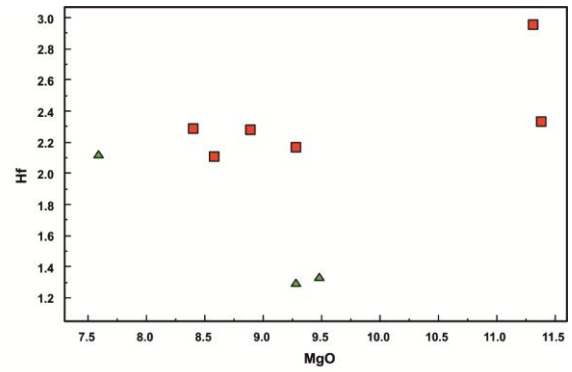
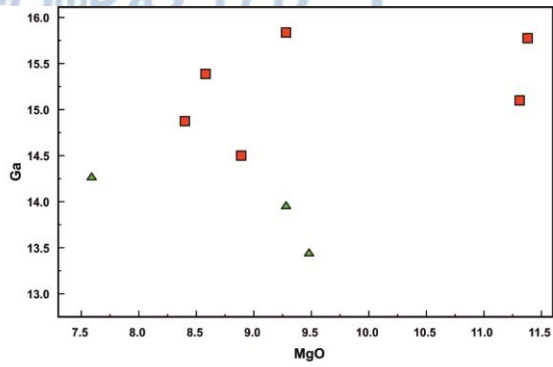
4.5.32 Yb

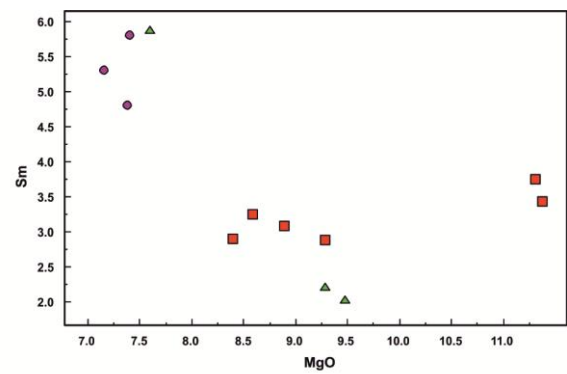
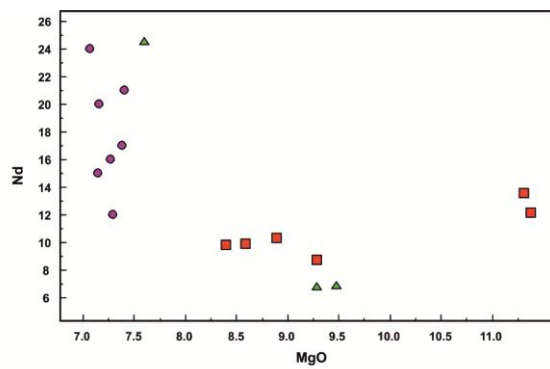
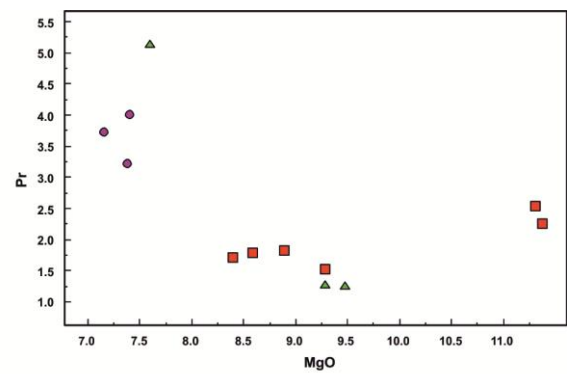
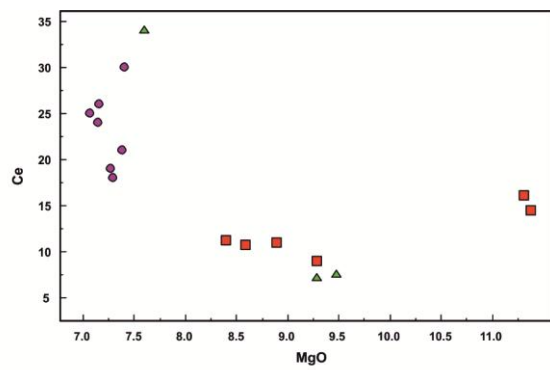
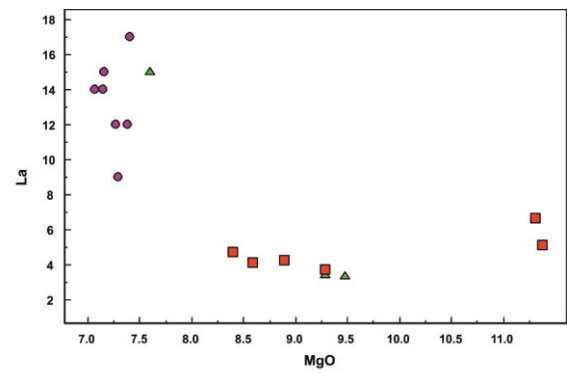
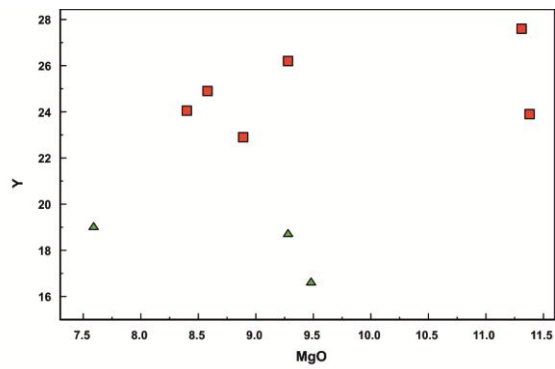
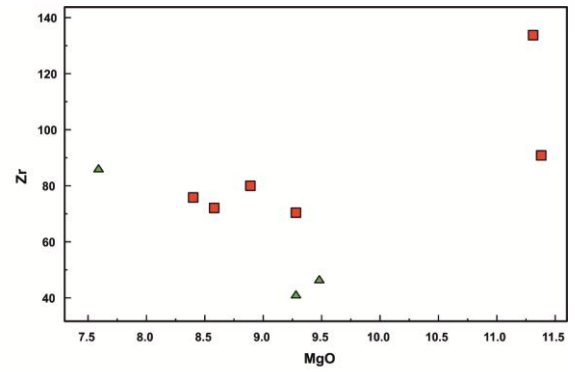
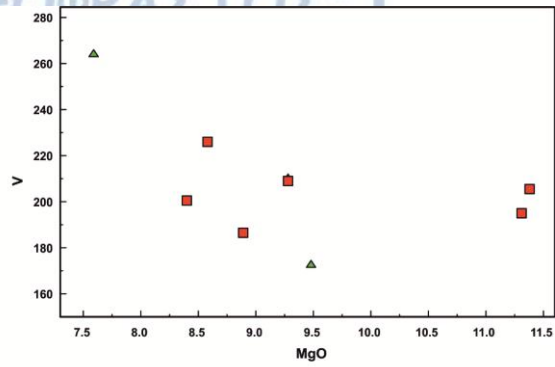
Διαχωρίζονται οι δύο ομάδες. Η ομάδα LT-HK παρουσιάζει χαμηλή περιεκτικότητα σε Yb που ελαττώνεται από 2ppm έως 1.7ppm με αύξηση του MgO. Αντίστοιχα, η ομάδα HT-LK εμφανίζει υψηλότερη περιεκτικότητα του στοιχείου αυτού και παρουσιάζει αύξηση της περιεκτικότητας από 2.3ppm μέχρι 2.7ppm. Σχετικά με τα δείγματα από KATERINOPOULOS (2008) παρατηρείται ελάττωση της τιμής του Yb από 6.3ppm μέχρι 4.5ppm καθώς μειώνεται το ποσοστό του MgO.

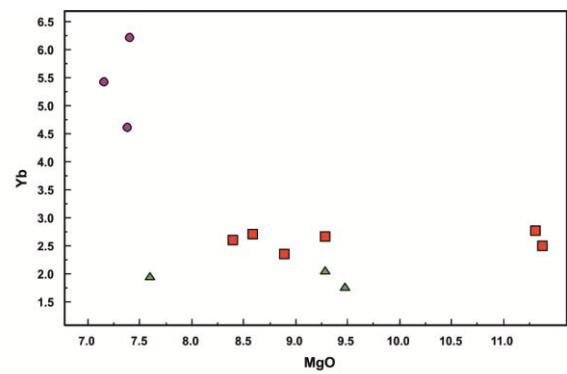
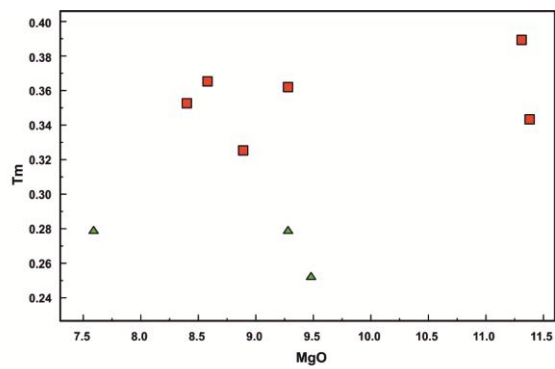
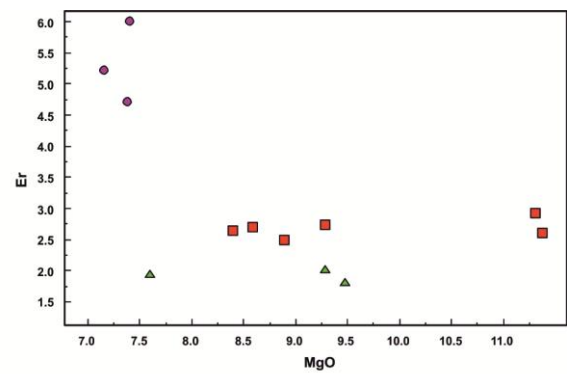
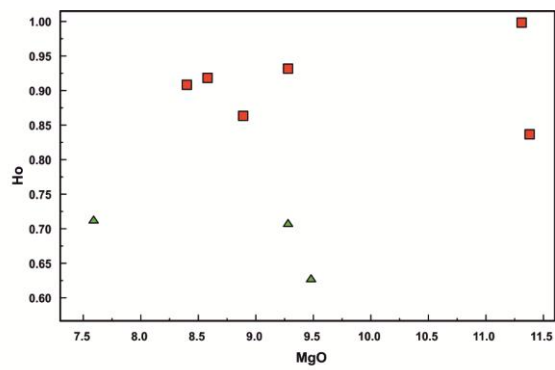
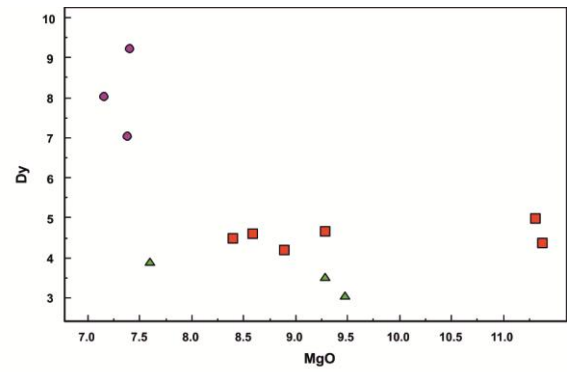
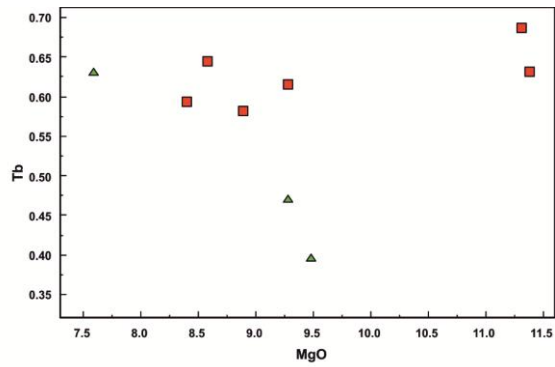
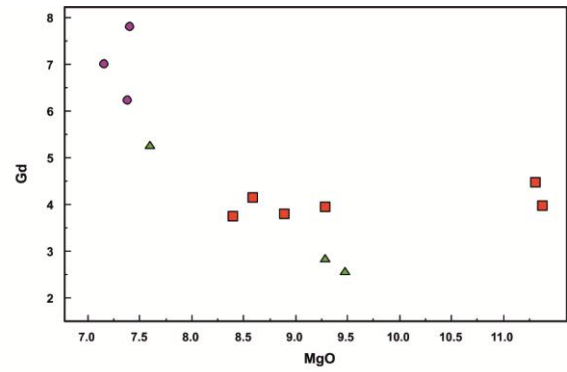
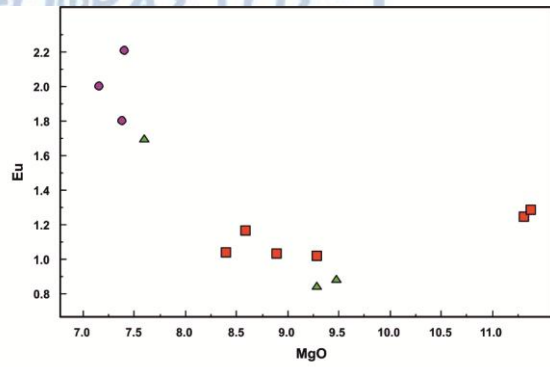
4.5.33 Lu

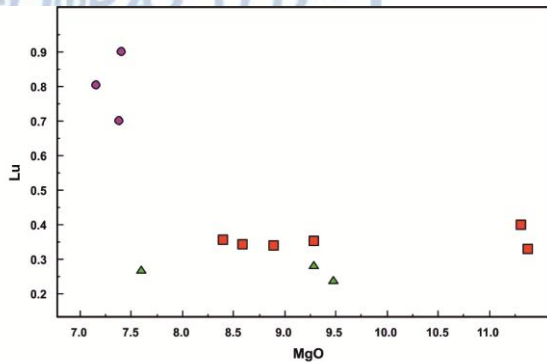
Διαχωρισμός των δύο ομάδων. Η ομάδα LT-HK παρουσιάζει χαμηλότερο ποσοστό σε Lu και παραμένει σχεδόν σταθερή (0.25ppm) σε αντίθεση με την ομάδα HT-LK, που παρουσιάζει υψηλότερο ποσοστό του στοιχείου και αύξηση της περιεκτικότητας από 0.35ppm έως 0.4ppm. Αναφορικά με τα δείγματα από KATERINOPOULOS (2008) παρατηρείται μείωση από 0.9ppm έως 0.7ppm καθώς ελαττώνεται η περιεκτικότητα σε MgO.











Σχήμα 4.4 Προβολή των ιχνοστοιχείων με βάση την περιεκτικότητα σε MgO από τις δολεριτικές φλέβες του ανατολικού Βαρνούντα και της περιοχής μελέτης του KATERINOPOULOS (2008). Σύμβολα όπως στο σχήμα 4.1.

4.6 Διαγράμματα μεταβολής των ιχνοστοιχείων σε σχέση με το ποσοστό του Zr

Στα διαγράμματα μεταβολής των ιχνοστοιχείων χρησιμοποιήθηκε ως δείκτης διαφοροποίησης και το Zr (Σχ. 4.6). Η συμπεριφορά των ιχνοστοιχείων στα δείγματα του ανατολικού Βαρνούντα καθώς αυξάνεται η περιεκτικότητα σε Zr περιγράφεται αναλυτικά παρακάτω:

4.6.1 Ni_{XRF}

Παρατηρείται ελάττωση της περιεκτικότητας σε Ni από 200ppm έως 100ppm.

4.6.2 Zn_{XRF}

Το ποσοστό σε Zn_{XRF} εμφανίζει δύο τάσεις καθώς αυξάνεται το ποσοστό του Zr. Η πρώτη παραμένει σταθερή (60ppm) ενώ η δεύτερη παρουσιάζει ελάττωση από 130ppm μέχρι 60ppm.

4.6.3 Pb

Το ποσοστό του Pb παρουσιάζει αύξηση από 1ppm έως 3.5ppm. Διαχωρίζεται το δείγμα L-18 της ομάδας LT-HK από τα άλλα δύο δείγματα καθώς παρουσιάζει υψηλότερο ποσοστό σε Pb. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το L-18 είναι πιο εξελιγμένο.

4.6.4 Ba

Το στοιχείο Ba παρουσιάζει διασπορά της κατανομής της περιεκτικότητάς του από 40ppm μέχρι 180ppm, καθώς αυξάνεται το ποσοστό του Zr. Το δείγμα L-18 της LT-HK ομάδας διαφοροποιείται από τα άλλα δύο δείγματα KR-15A και MR-5A καθώς, ως περισσότερο εξελιγμένο, παρουσιάζει υψηλότερο ποσοστό του στοιχείου αυτού.

4.6.5 Cr

Το στοιχείο Cr εμφανίζει αύξηση της περιεκτικότητάς του από 230ppm μέχρι 550ppm. Διαφοροποίηση παρατηρείται μεταξύ των δειγμάτων της ομάδας LT-HK. Τα δείγματα KR-15A και MR-5A περιέχουν υψηλότερο ποσοστό σε Cr σε σχέση με το δείγμα L-18.

4.6.6 Sc

Διαχωρίζονται τα δείγματα KR-15A και MR-5A της ομάδας LT-HK από το δείγμα της ίδιας ομάδας, L-18, καθώς και από τα δείγματα της ομάδας HT-LK. Έτσι, τα δύο πρώτα δείγματα παρουσιάζουν μικρότερη περιεκτικότητα στο στοιχείο αυτό και ελάττωση από 30ppm μέχρι 27ppm, καθώς αυξάνεται η περιεκτικότητα σε Zr. Αντίθετα, τα υπόλοιπα δείγματα εμφανίζουν υψηλότερα ποσοστά σε Sc και παρουσιάζουν αύξηση από 32ppm έως 36ppm.

4.6.7 Co

Το ποσοστό του Co ελαττώνεται από 83ppm μέχρι 40ppm για τα δείγματα της ομάδας HT-LK, καθώς αυξάνεται το ποσοστό του Zr. Αντίθετα τα δείγματα της ομάδας LT-HK παρουσιάζουν αύξηση από 50ppm έως 60ppm.

4.6.8 Cs

Διαχωρισμός των δύο ομάδων. Η ομάδα LT-HK παρουσιάζει υψηλή περιεκτικότητα σε Cs και εμφανίζει αρχικά ελάττωση από 2.2ppm έως 0.8ppm και τελικά αύξηση από 0.8ppm μέχρι 1.3ppm του ποσοστού του στοιχείου. Αντίθετα, η ομάδα HT-LK παρουσιάζει χαμηλή περιεκτικότητα σε Cs που αυξάνεται από 0.2ppm μέχρι 0.7ppm.

4.6.9 Ga

Διαχωρίζονται οι δύο ομάδες. Η ομάδα LT-HK παρουσιάζει μικρότερη περιεκτικότητα στο στοιχείο Ga, ενώ αυξάνεται το ποσοστό του στοιχείου από 13.5ppm έως 14.3ppm. Αντίθετα η ομάδα HT-LK περιέχει υψηλότερα ποσοστά σε Ga και εμφανίζει ελάττωση της περιεκτικότητάς της από 16ppm μέχρι 14.5ppm.

4.6.10 Hf

Διαφοροποίηση μεταξύ των δειγμάτων της ομάδας LT-HK καθώς και μεταξύ των δύο ομάδων. Συγκεκριμένα, το δείγμα L-18 της LT-HK ομάδας εμφανίζει υψηλότερο ποσοστό σε Hf σε σχέση με τα άλλα δύο δείγματα (1.3ppm). Αντίστοιχα, η ομάδα HT-LK εμφανίζει υψηλότερη περιεκτικότητα στο στοιχείο και αύξηση του ποσοστού του Hf από 2ppm έως 3ppm με ταυτόχρονη αύξηση του ποσοστού του Zr.

4.6.11 Nb

Τα δείγματα KR-15A και MR-5A της LT-HK ομάδας διαχωρίζονται τόσο ως προς το δείγμα L-18 όσο και ως προς την ομάδα HT-LK. Συγκεκριμένα παρουσιάζουν χαμηλότερο ποσοστό του στοιχείου που εμφανίζει ελάττωση από 1.5ppm μέχρι 1.3ppm. Η ομάδα HT-LK αντίστοιχα εμφανίζει υψηλότερη περιεκτικότητα σε Nb και αύξηση από 1.7ppm έως 2.7ppm με ταυτόχρονη αύξηση της τιμής του Zr.

4.6.12 Rb

Διαχωρισμός των δύο ομάδων. Η ομάδα LT-HK παρουσιάζει υψηλή περιεκτικότητα σε Rb που αυξάνεται από 40ppm έως 90ppm. Αναφορικά με την ομάδα HT-LK αυτή εμφανίζει επίσης αύξηση της περιεκτικότητας από 5ppm μέχρι 15ppm, μικρότερη όμως περιεκτικότητα στο στοιχείο.

4.6.13 Sr

Διαφοροποίηση μεταξύ των δειγμάτων της LT-HK ομάδας. Τα δείγματα KR-15A και MR-5A εμφανίζουν χαμηλότερο ποσοστό σε Sr σε σχέση με το δείγμα L-18 (460ppm) που είναι πιο εξελιγμένο. Γενικά παρατηρείται αύξηση του ποσοστού του Sr από 100ppm έως 240ppm.

4.6.14 Ta

Τα δείγματα KR-15A και MR-5A της ομάδας LT-HK διαχωρίζονται τόσο από το δείγμα L-18 της ίδιας ομάδας όσο και από τα δείγματα της HT-LK ομάδας. Συγκεκριμένα εμφανίζουν χαμηλότερο ποσοστό στο στοιχείο αυτό (0.06ppm-0.08ppm). Τα υπόλοιπα δείγματα εμφανίζουν υψηλότερη περιεκτικότητα σε Ta και αύξησή της από 0.1ppm έως 0.2ppm.

4.6.15 Th

Το δείγμα L-18 της ομάδας LT-HK εμφανίζει υψηλότερη περιεκτικότητα σε Th ως πιο εξελιγμένο, από τα άλλα δύο δείγματα της ομάδας. Παρατηρείται αύξηση του ποσοστού του στοιχείου από 0.2ppm μέχρι 0.8ppm.

4.6.16 U

Παρατηρείται ελάττωση της περιεκτικότητας σε U από 0.3ppm μέχρι 0.1ppm. Επίσης, παρουσιάζεται διαφοροποίηση μεταξύ των δειγμάτων της LT-HK ομάδας όπου το δείγμα L-18 εμφανίζει υψηλότερη περιεκτικότητα από τα άλλα δύο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι είναι πιο εξελιγμένο.

4.6.17 V

Το ποσοστό του V παρουσιάζει διασπορά στην κατανομή της περιεκτικότητάς του, που κυμαίνεται από 170ppm έως 260ppm. Διαφοροποίηση παρουσιάζει το δείγμα L-18 της ομάδας LT-HK σε σχέση με τα άλλα δύο, KR-15A και MR-5A, αφού εμφανίζει υψηλότερη περιεκτικότητα σε V.

4.6.18 Y

Διαχωρίζονται οι δύο ομάδες. Η ομάδα LT-HK παρουσιάζει χαμηλό ποσοστό σε Y και αύξηση του ποσοστού από 16ppm έως 19ppm, ενώ αντίθετα η ομάδα HT-LK εμφανίζει υψηλό ποσοστό του στοιχείου, αρχικά μείωση της περιεκτικότητας από 27ppm έως 23ppm και κατόπιν αύξησή της από 23ppm μέχρι 28ppm.

4.6.19 La

Η περιεκτικότητα σε La παρουσιάζει αύξηση από 3ppm έως 6ppm. Όσον αφορά την ομάδα LT-HK το δείγμα L-18 εμφανίζει υψηλότερη περιεκτικότητα του στοιχείου σε σχέση με τα άλλα δύο, καθώς πρόκειται για δείγμα πιο εξελιγμένο.

4.6.20 Ce

Το στοιχείο Ce παρουσιάζει αύξηση του ποσοστού του από 7ppm μέχρι 15ppm. Το δείγμα L-18 της LT-HK ομάδας παρουσιάζει υψηλότερο ποσοστό σε Ce σε σχέση με τα δείγματα KR-15A και MR-5A.

4.6.21 Pr

Η περιεκτικότητα σε Pr παρουσιάζει αύξηση από 1.3ppm έως 2.5ppm, καθώς αυξάνεται το Zr. Διαφοροποίηση παρατηρείται μεταξύ των δειγμάτων της ομάδας LT-HK, όπου τα δείγματα KR-15A και MR-5A παρουσιάζουν χαμηλότερο ποσοστό του στοιχείου σε σχέση με το δείγμα L-18 που είναι πιο εξελιγμένο.

4.6.22 Nd

Παρατηρείται διαχωρισμός μεταξύ των δειγμάτων KR-15A και MR-5A της ομάδας LT-HK τόσο με το δείγμα L-18 όσο και με την HT-LK ομάδα δειγμάτων. Τα δύο πρώτα δείγματα παρουσιάζουν χαμηλή περιεκτικότητα σε Nd (7ppm) σε σχέση με όλα τα υπόλοιπα δείγματα. Το δείγμα L-18 ως πιο εξελιγμένο παρουσιάζει πολύ υψηλή περιεκτικότητα στο στοιχείο (224ppm). Το ποσοστό του στοιχείου αυξάνεται από 6ppm μέχρι 13ppm.

4.6.23 Sm

Το στοιχείο Sm εμφανίζει αύξηση από 2ppm μέχρι 3.5ppm. Διαχωρίζονται τα δείγματα KR-15A και MR-5A της LT-HK ομάδας, που παρουσιάζουν χαμηλότερα ποσοστά σε Sm από τα υπόλοιπα δείγματα.

4.6.24 Eu

Διαχωρισμός των δύο δειγμάτων (KR-15A, MR-5A) της ομάδας LT-HK τόσο από το τρίτο δείγμα (L-18) όσο και από την ομάδα HT-LK. Τα πρώτα εμφανίζουν χαμηλότερη περιεκτικότητα στο στοιχείο (0.85ppm-0.9ppm). Γενικά παρατηρείται αύξηση του ποσοστού του Eu από 0.85ppm έως 1.25ppm με ταυτόχρονη αύξηση της περιεκτικότητας του Zr στα δείγματα.

4.6.25 Gd

Η περιεκτικότητα σε Gd αυξάνεται από 2.5ppm έως 5.3ppm. Τα δείγματα KR-15A και MR-5A της LT-HK ομάδας διαφοροποιούνται σε σχέση με το δείγμα L-18 της ίδιας ομάδας αλλά και σε σχέση με την HT-LK ομάδα, αφού τα πρώτα παρουσιάζουν χαμηλό ποσοστό του στοιχείου.

4.6.26 Tb

Αυξητική τάση παρουσιάζει το ποσοστό του Tb από 0.40ppm έως 0.67ppm. Η ομάδα HT-LK και το δείγμα L-18 της ομάδας LT-HK διαχωρίζονται από τα δείγματα KR-15A και MR-5A, παρουσιάζοντας υψηλότερη περιεκτικότητα στο στοιχείο αυτό.

4.6.27 Dy

Διαχωρίζονται οι δύο ομάδες. Η ομάδα LT-HK παρουσιάζει χαμηλό ποσοστό σε Dy, που αυξάνεται από 3ppm έως 3.7ppm, καθώς το ποσοστό του Zr μεταβάλλεται. Αντίστοιχα, η ομάδα HT-LK εμφανίζει υψηλότερο ποσοστό του στοιχείου, αρχικά μείωση του ποσοστού από 4.7ppm έως 4.3ppm και τελικά αύξησή του από 4.3ppm μέχρι 5ppm.

4.6.28 Ho

Παρατηρείται διαχωρισμός των δύο ομάδων. Η ομάδα LT-HK παρουσιάζει αρχικά μείωση από 0.7ppm έως 0.63ppm και τελικά αύξηση από 0.63ppm έως 0.7ppm του ποσοστού της και χαμηλότερη περιεκτικότητα σε Ho σε σχέση με την ομάδα HT-LK που εμφανίζει υψηλότερη περιεκτικότητα στο στοιχείο αλλά ελάττωση από 1ppm μέχρι 0.83ppm.

4.6.29 Er

Διαχωρισμός των δύο ομάδων. Η LT-HK ομάδα παρουσιάζει ελάττωση αρχικά από 2ppm έως 1.8ppm και κατόπιν αύξηση από 1.8ppm μέχρι 1.9ppm και χαμηλότερο ποσοστό σε Er. Αντίθετα, η HT-LK ομάδα εμφανίζει υψηλή περιεκτικότητα στο στοιχείο ενώ αρχικά ελαττώνεται η περιεκτικότητά της από 2.8ppm μέχρι 2.4ppm και τελικά αυξάνεται από 2.4ppm έως 2.9ppm.

4.6.30 Tm

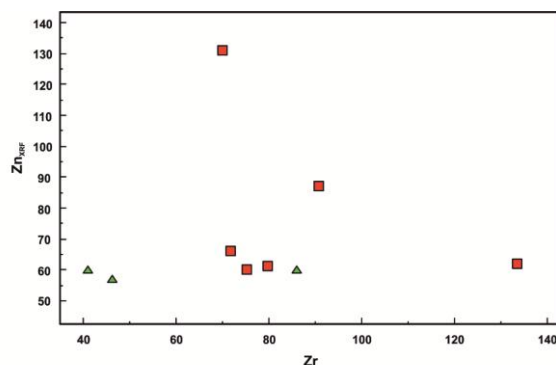
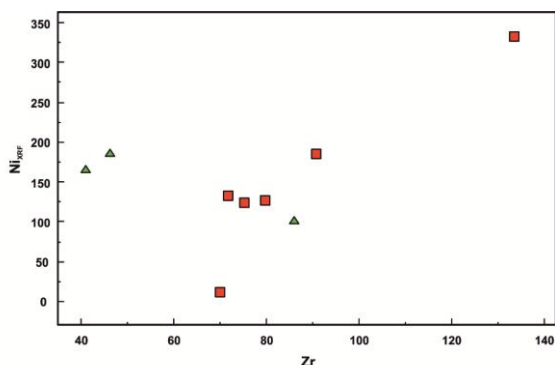
Οι ομάδες LT-HK και HT-LK διαφοροποιούνται. Η μεν πρώτη εμφανίζει χαμηλά ποσοστά σε Tm και αύξηση του ποσοστού από 0.25ppm έως 0.27ppm, η δε δεύτερη παρουσιάζει υψηλότερη περιεκτικότητα, ελάττωσή της αρχικά από 0.37ppm έως 0.33ppm και τελικά αύξηση από 0.33ppm έως 0.4ppm.

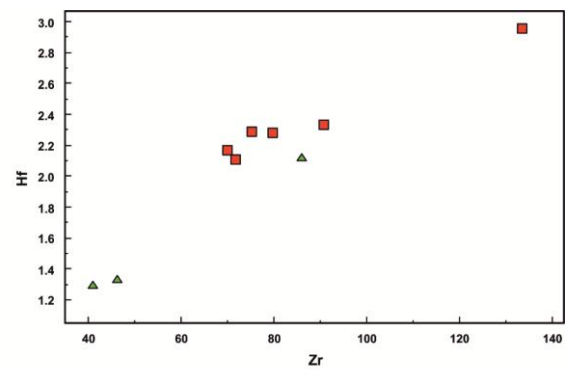
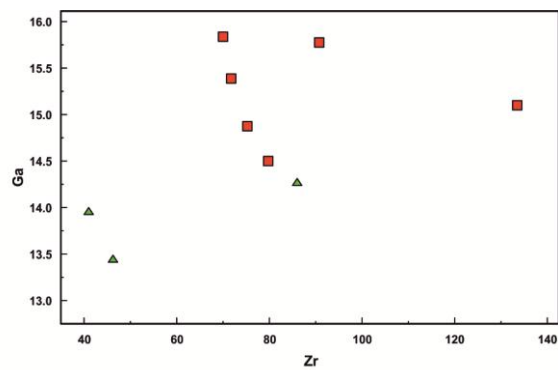
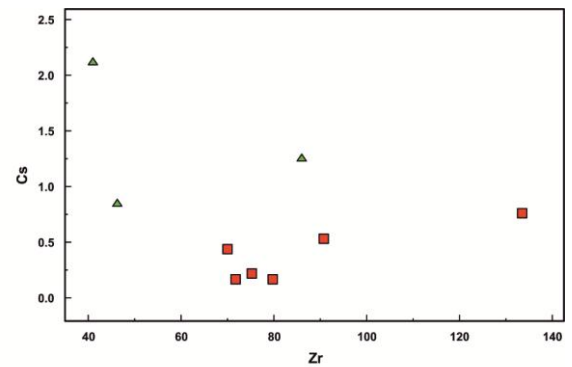
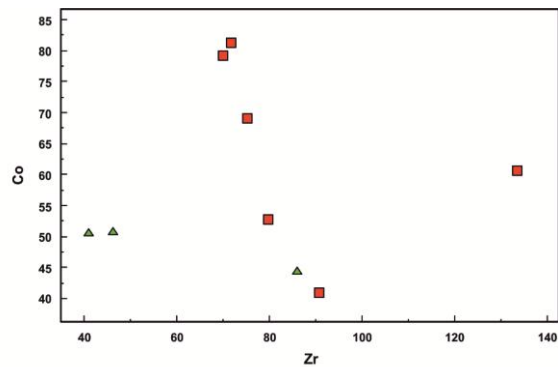
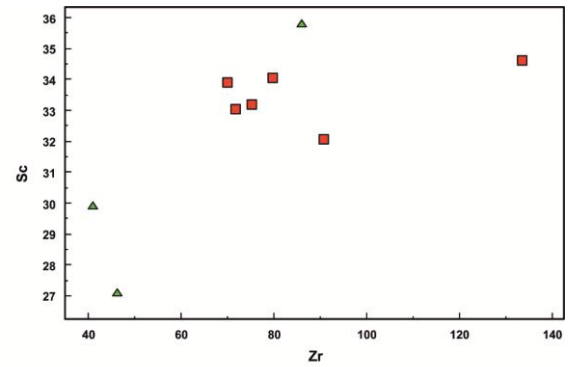
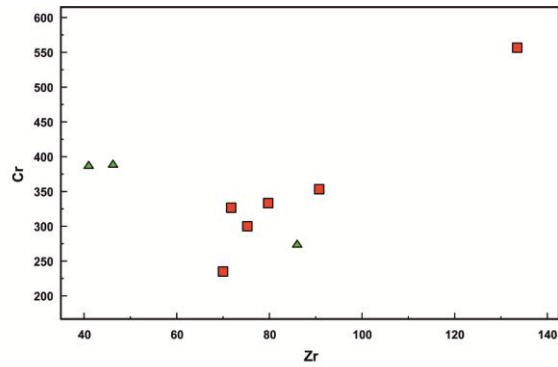
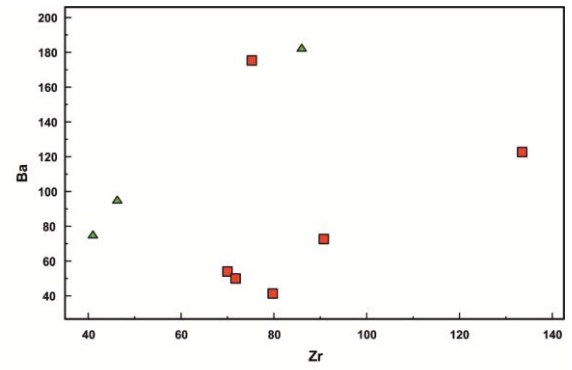
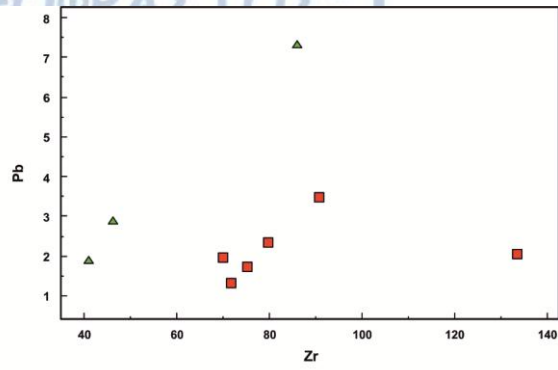
4.6.31 Yb

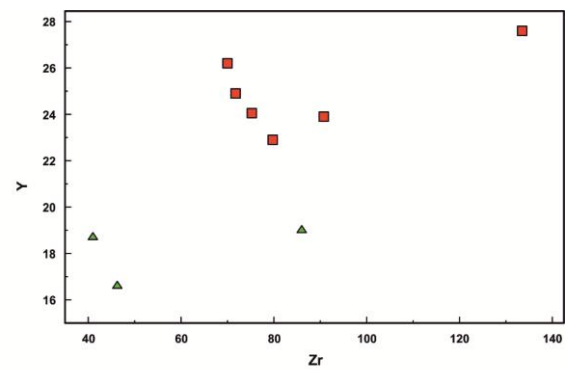
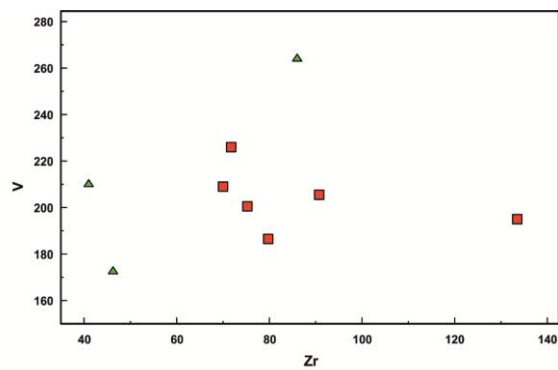
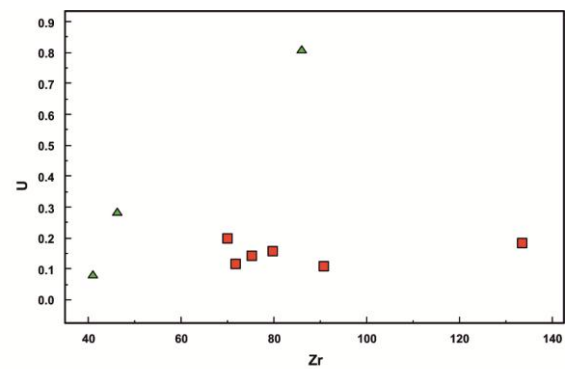
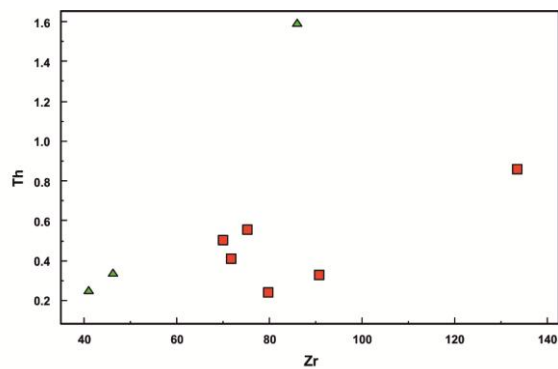
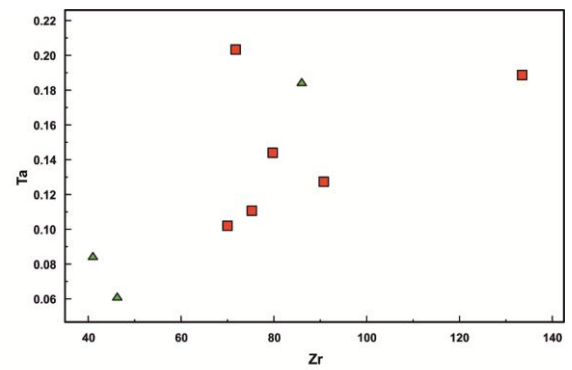
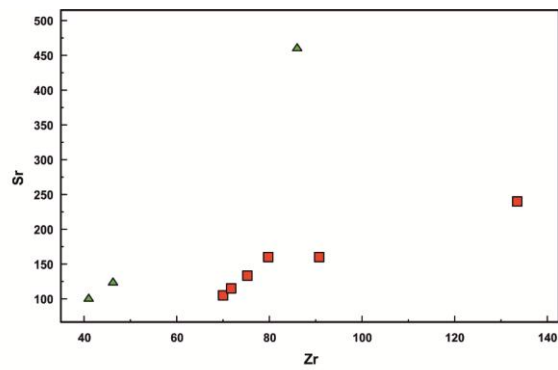
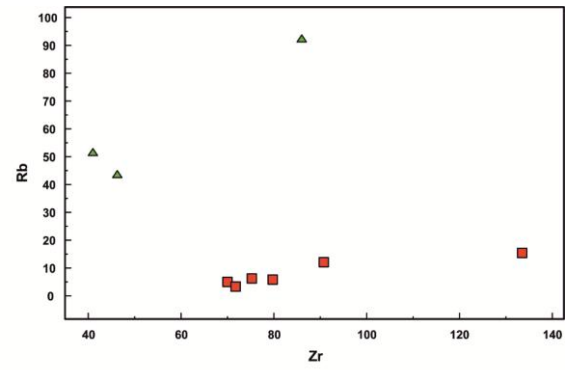
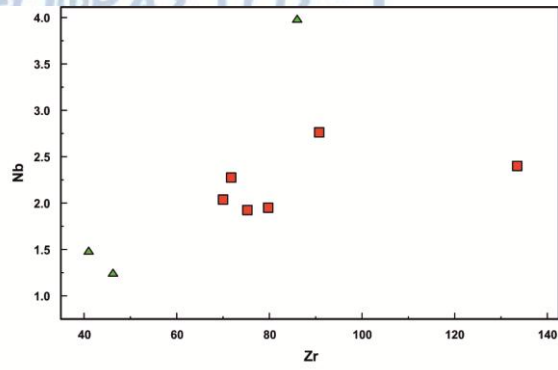
Παρατηρείται διαχωρισμός των δύο ομάδων. Η ομάδα LT-HK παρουσιάζει χαμηλότερα ποσοστά του στοιχείου και αύξηση της περιεκτικότητας από 1.7ppm έως 2.1ppm. Αντίθετα, η ομάδα HT-LK εμφανίζει υψηλή περιεκτικότητα σε Yb, μείωση του ποσοστού της αρχικά από 2.7ppm μέχρι 2.3ppm και κατόπιν αύξησή του από 2.3ppm έως 2.8ppm.

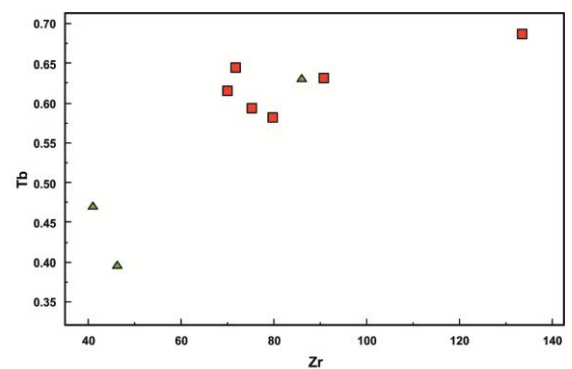
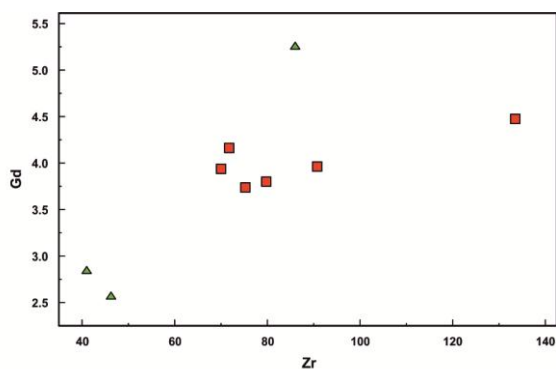
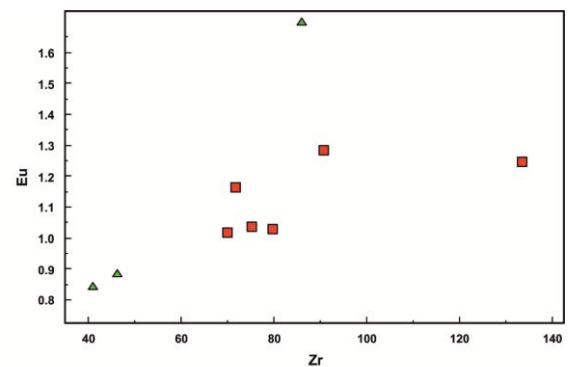
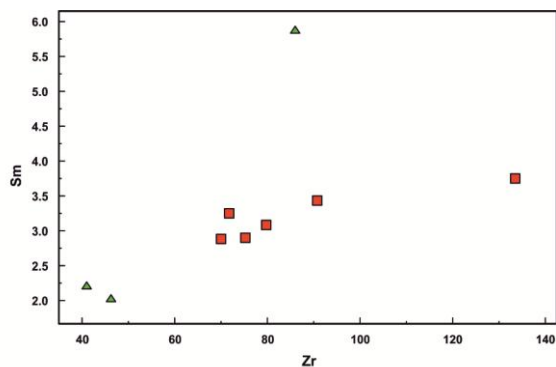
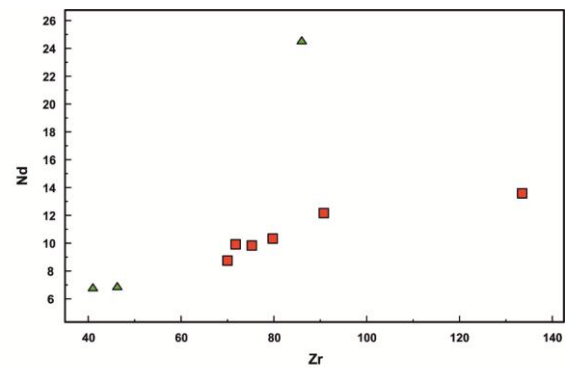
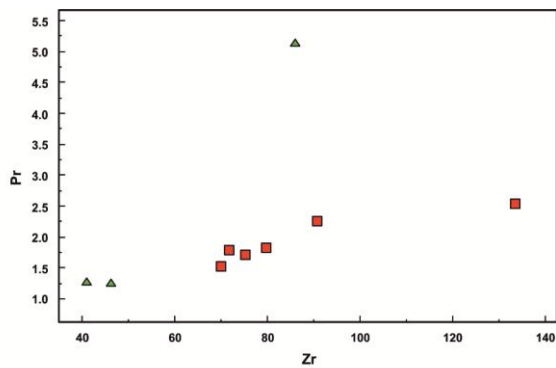
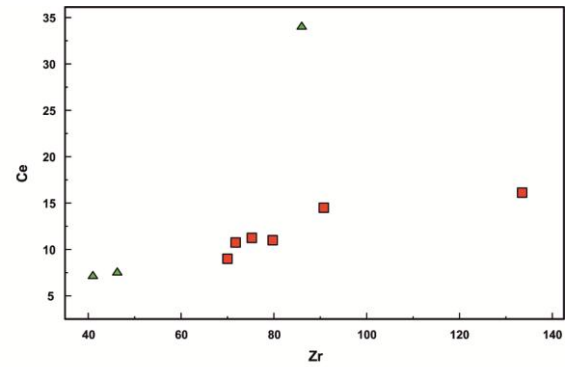
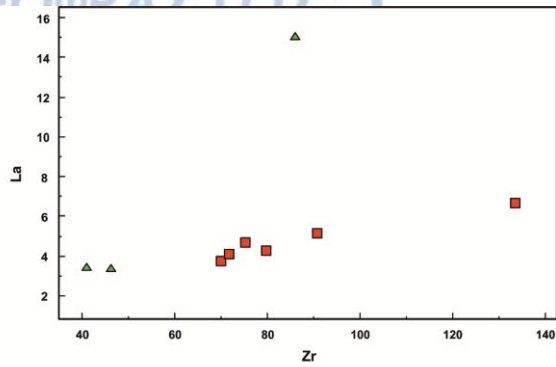
4.6.32 Lu

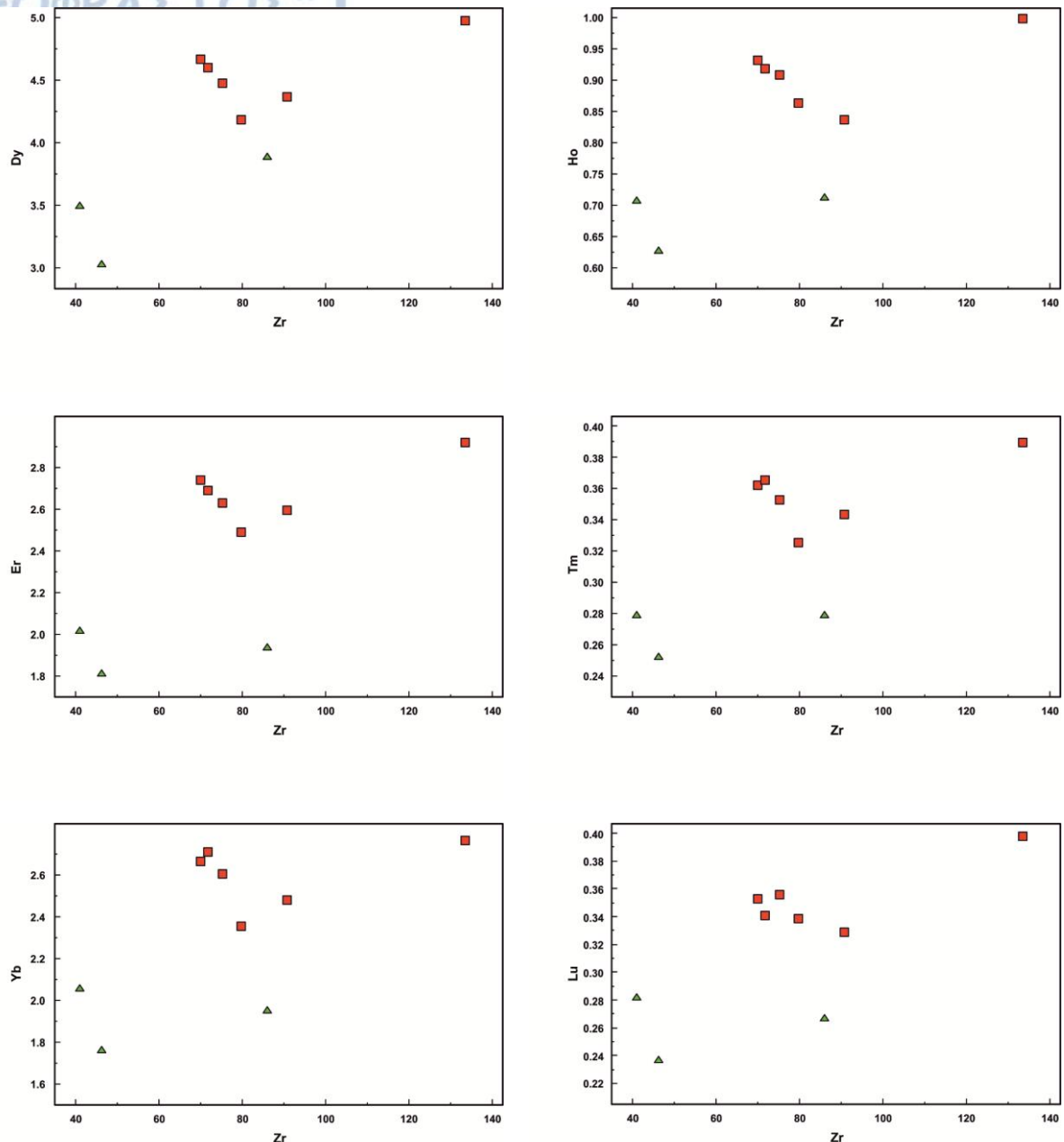
Διαχωρισμός των δύο ομάδων. Η ομάδα LT-HK παρουσιάζει ελάττωση της περιεκτικότητας από 0.28ppm μέχρι 0.23ppm και χαμηλό ποσοστό του στοιχείου. Αντίστοιχα, η ομάδα HT-LK εμφανίζει υψηλή περιεκτικότητα σε Lu και μείωση του ποσοστού από 0.4ppm μέχρι 0.33ppm καθώς αυξάνεται η περιεκτικότητα σε Zr.









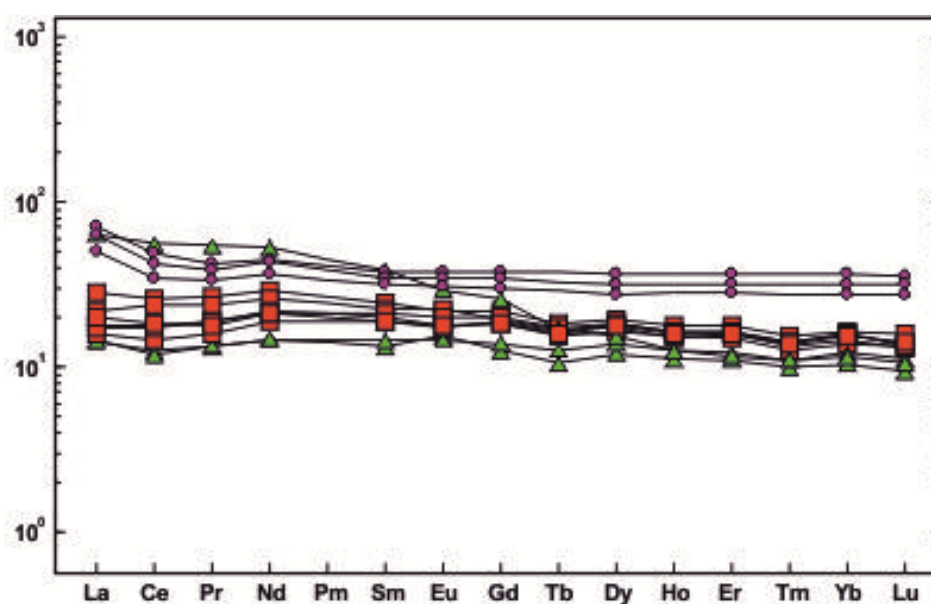


Σχήμα 4.6 Προβολή των ιχνοστοιχείων με βάση την περιεκτικότητα σε Zr, από τις δολεριτικές φλέβες του ανατολικού Βαρνούνα. Σύμβολα όπως στο σχήμα 4.1.

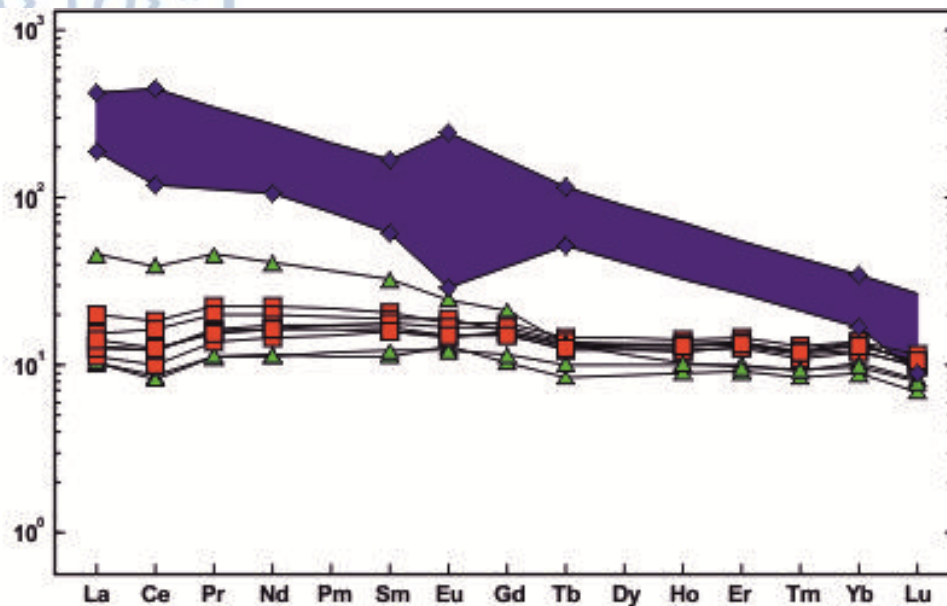
4.7 REE

Στο σχήμα 4.7 παρουσιάζεται η κατανομή των REE από τα δείγματα του ανατολικού Βαρνούνα ενώ χρησιμοποιούνται και για σύγκριση τα δείγματα από KATERINOPOULOS (2008). Αντίστοιχα, στο σχήμα 4.8 παρουσιάζεται για σύγκριση η κατανομή των REE τόσο από τα δείγματα δολεριτών του ανατολικού Βαρνούνα όσο και από δύο από τα βασικότερα δείγματα του πλουτωνίτη του ανατολικού Βαρνούνα (ΚΟΡΩΝΑΙΟΣ 1991) (δες παράγραφο 5.3). Στον πίνακα 4.3 δίνονται το άθροισμά των REE καθώς και χαρακτηριστικοί λόγοι τους. Η κλίση των REE που εκφράζεται από το λόγο $(La/Lu)_{CN}$ κυμαίνεται από 1.14 έως 5.97 (Πιν.

4.3). Παρατηρείται ότι το δείγμα L-18 της ομάδας LT-HK παρουσιάζει απόκλιση σε σχέση με τα υπόλοιπα δείγματα και χαρακτηρίζεται από υψηλότερο λόγο $(La/Lu)_{CN}$ (5.97) σε σχέση με όλα τα υπόλοιπα δείγματα (1.14-1.77). Ο εμπλουτισμός των LREE όπως εκφράζεται από την τιμή La_{CN} κυμαίνεται από 14.30 έως 27.93 για όλα τα δείγματα εκτός του δείγματος L-18 της ομάδας LT-HK, η τιμή του οποίου είναι 63.50. Η ανωμαλία Eu κυμαίνεται από 0.92 έως 1.19. Το ΣREE κυμαίνεται από 32.70 μέχρι 101.28. Και εδώ παρατηρείται διαχωρισμός των δύο ομάδων. Συγκεκριμένα, τα δείγματα KR-15A και MR-5A της ομάδας LT-HK έχουν ΣREE 32.70 και 33.93 αντίστοιχα ενώ τα δείγματα της ομάδας HT-LK παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές που κυμαίνονται από 42.96 έως 61.24. Το δείγμα L-18 της LT-HK ομάδας διαχωρίζεται από όλα τα υπόλοιπα με πολύ υψηλή τιμή 101.28.



Σχήμα 4.7 Κανονικοποιημένο διάγραμμα κατανομής REE (κανονικοποίηση κατά SUN & McDONOUGH 1989). Σύμβολα όπως στο σχήμα 4.1.

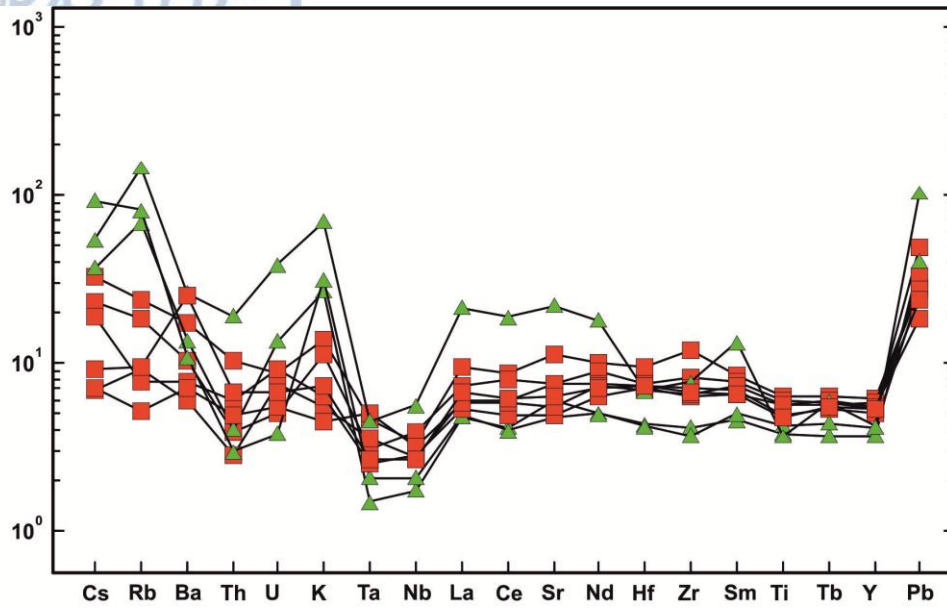


Σχήμα 4.8 Κανονικοποιημένο διάγραμμα κατανομής REE (κανονικοποίηση κατά SUN & McDONOUGH 1989). Σύμβολα όπως στο σχήμα 4.1. Με μπλε ρόμβους συμβολίζονται τα δείγματα των βασικών πετρωμάτων του Βαρνούντα.

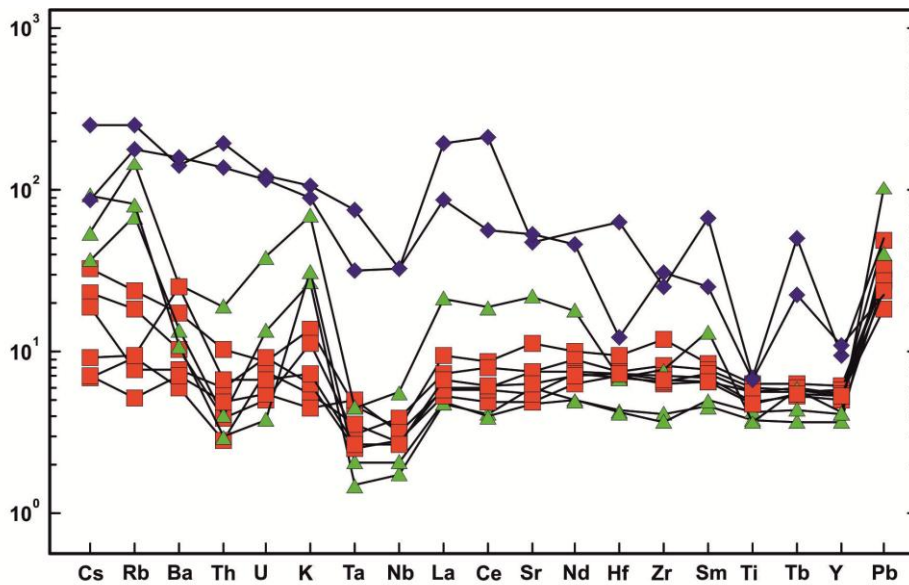
Πίνακας 4.3 Συνολική συγκέντρωση, κανονικοποιημένες τιμές σπανίων γαιών (REE) και ανωμαλία Eu από τα δείγματα του ανατολικού Βαρνούντα.

	P-228	KR-25	KR-15A	ETH-1	MR-5A	P-1A	K-6	L-18	ETH-19
ΣREE	61.24	54.15	32.70	46.23	33.93	42.96	47.29	101.28	46.87
La _{CN}	27.93	21.65	14.30	17.85	14.51	15.74	17.30	63.50	19.75
Lu _{CN}	15.75	12.99	9.45	13.39	11.02	13.78	13.39	10.63	14.17
La _{CN} /Lu _{CN}	1.77	1.67	1.51	1.33	1.32	1.14	1.29	5.97	1.39
Eu/Eu*	0.93	1.06	1.19	0.92	1.02	0.93	0.97	0.92	0.97

Στο σχήμα 4.9 παρουσιάζονται τα αραχνογράμματα των δολεριτών του ανατολικού Βαρνούντα κανονικοποιημένα με τη σύσταση του πρωταρχικού μανδύα (McDONOUGH et al. 1992). Στο σχήμα 4.10 συγκρίνονται τα αραχνογράμματα των δολεριτών του ανατολικού Βαρνούντα με δύο δείγματα βασικών πλουτωνικών πετρωμάτων της περιοχής Βαρνούντα (ΚΟΡΩΝΑΙΟΣ 1991) (δες παράγραφο 5.3).



Σχήμα 4.9 Αραχνόγραμμα κανονικοποιημένο με τη σύσταση του πρωταρχικού μανδύα κατά McDONOUGH et al. (1992). Σύμβολα όπως στο σχήμα 4.1.



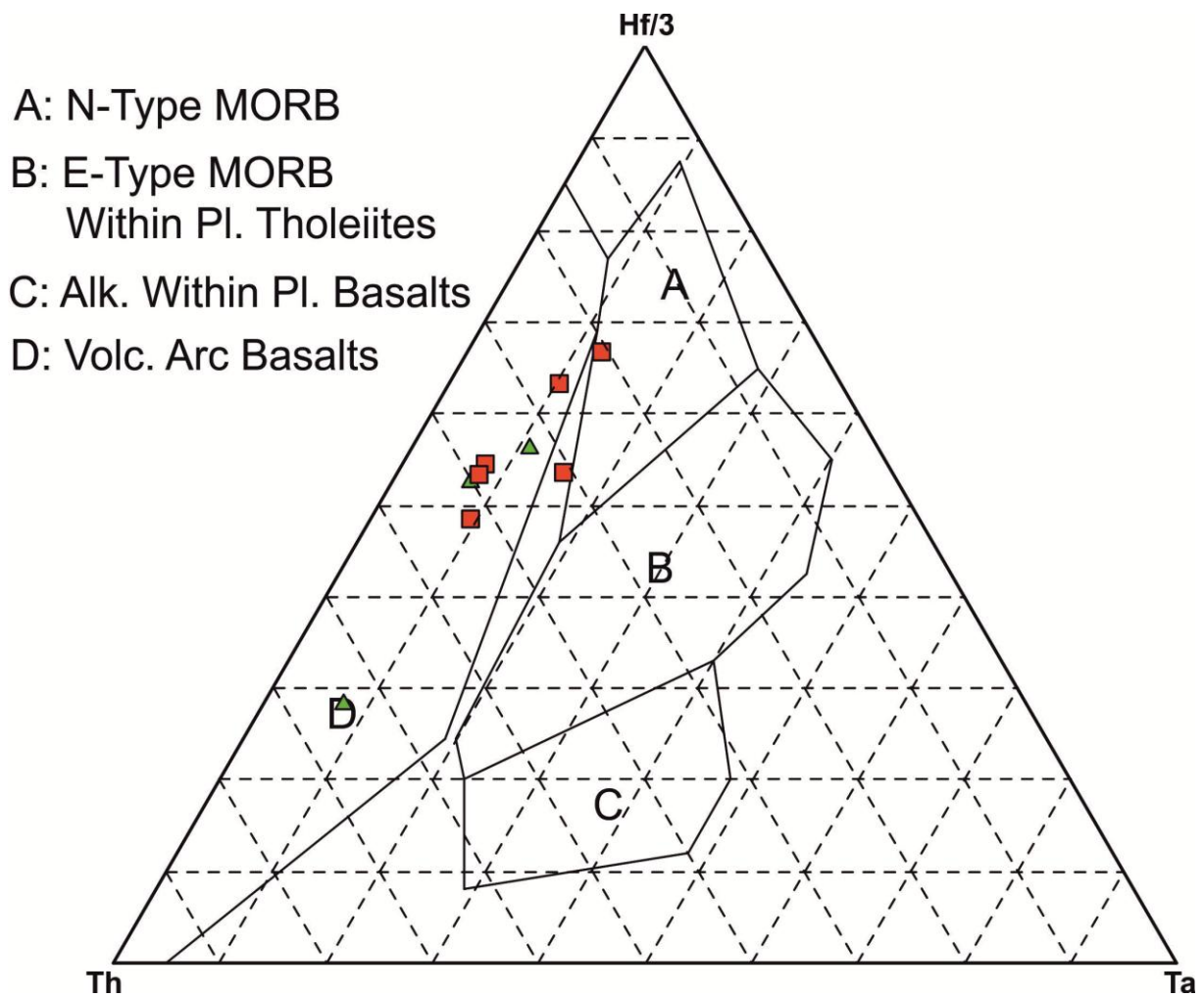
Σχήμα 4.10 Αραχνόγραμμα κανονικοποιημένο με τις τιμές του πρωταρχικού μανδύα κατά McDONOUGH et al. (1992). Σύμβολα όπως στο σχήμα 4.8.

5. ΠΕΤΡΟΓΕΝΕΣΗ

5.1 Γεωτεκτονικό Περιβάλλον

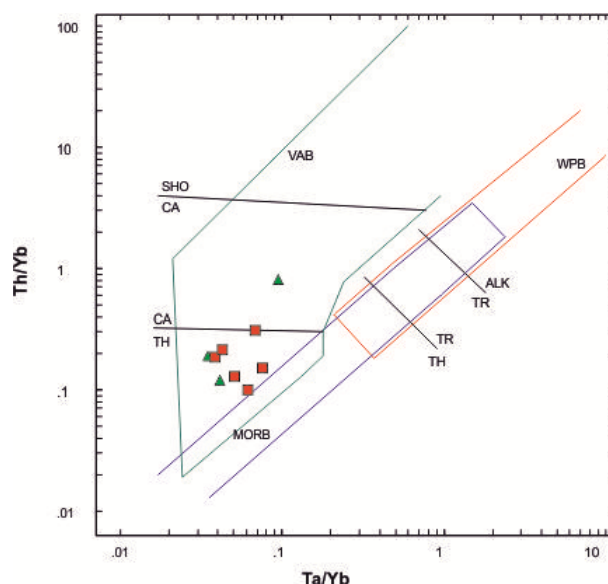
Σύμφωνα με τις απόψεις που διατυπώθηκαν για την περιοχή της Πελαγονικής (ΚΟΡΩΝΑΙΟΣ 1991, ΚΑΤΕΡΙΝΟΠΟΥΛΟΣ et al. 1992) αυτή αποτελούσε κατά το Λιθανθρακοφόρο μέρος ενός ηφαιστειακού τόξου που έδωσε τα πλουτωνικά πετρώματα που διεισδύουν στην Πελαγονική.

Στο σχήμα 5.1 δίνεται το διάγραμμα του WOOD (1980), όπου φαίνεται ξεκάθαρα η προβολή των δειγμάτων του ανατολικού Βαρνούντα στο πεδίο του ηφαιστειακού τόξου.



Σχήμα 5.1 Διάγραμμα ταξινόμησης με βάση το περιβάλλον σχηματισμού κατά WOOD (1980). Σύμβολα όπως στο σχήμα 4.1.

Το διάγραμμα Th/Ta προς Ta/Yb (Σχ. 5.2) χρησιμοποιείται για να δείξει τη διαφορά μεταξύ των βασαλτών που συνδέονται με διαδικασίες υποβύθισης και των ωκεάνιων βασαλτών προερχόμενων από πεπτωχευμένες πηγές (MORB) και εμπλουτισμένες πηγές (OIB). Ενδοηπειρωτικοί βασάλτες δίχως ρύπανση θα πρέπει να βρίσκονται στην περιοχή της εμπλουτισμένης μανδυακής πηγής. Στο διάγραμμα παρατηρούμε ότι τα δείγματα των δολεριτών από τον ανατολικό Βαρνούντα προβάλλονται στην περιοχή των θολεϊτικών βασαλτών ηφαιστειακού τόξου.



Σχήμα 5.2 Διάγραμμα Th/Yb προς Ta/Yb (PEARCE 1982). Σύμβολα όπως στο σχήμα 4.1.

5.2 Πηγή του Μάγματος και Εξέλιξη

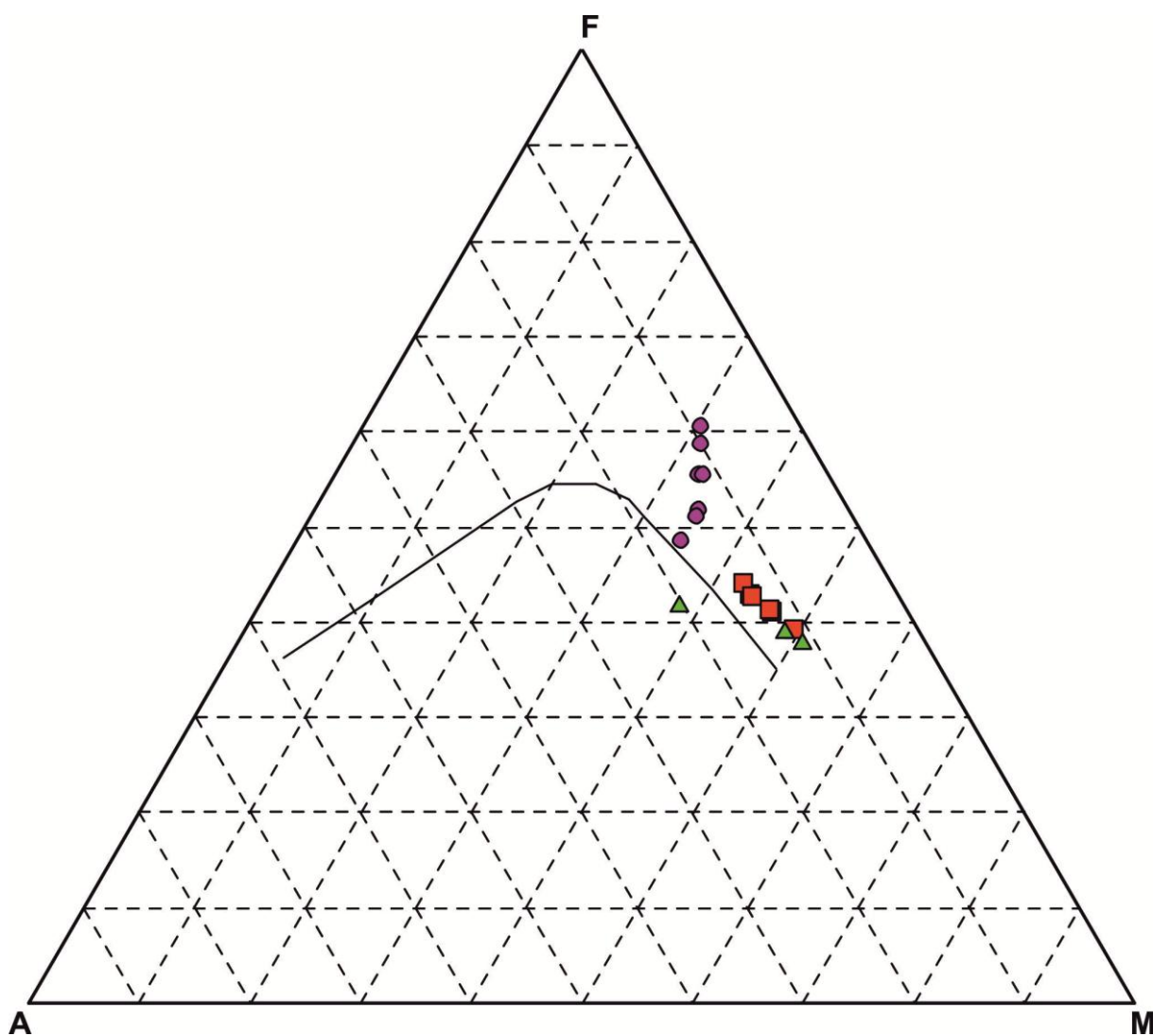
Ο KATERINOPOULOS (2008) κατατάσσει τους δολερίτες της περιοχής μελέτης του στην περιοχή του Βαρνούντα ως θολεϊτικούς με βάση το διάγραμμα $\text{FeO}t\text{-Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O-MgO}$. Με βάση το διάγραμμα AFM (IRVINE & BARAGAR 1971) (Σχ. 5.3) διαπιστώνεται ότι και οι δολερίτες του ανατολικού Βαρνούντα ανήκουν στην θολεϊτική σειρά.

Στο διάγραμμα $\text{K}_2\text{O-SiO}_2$ των PECCERILLO & TAYLOR (1976) (Σχ. 5.4) τα δείγματα από την περιοχή μελέτης του KATERINOPOULOS (2008) τοποθετούνται στην ασβεσταλκαλική σειρά, ενώ τα δείγματα του ανατολικού Βαρνούντα βρίσκονται κυρίως στη θολεϊτική και στην ασβεσταλκαλική σειρά. Το δείγμα L-18 διαχωρίζεται επειδή εμφανίζει υψηλότερη περιεκτικότητα σε K_2O και τοποθετείται στην περιοχή της σωσσονιτικής σειράς πετρωμάτων. Η υψηλότερη περιεκτικότητα σε K_2O συνδέεται με την υψηλότερη περιεκτικότητα του δείγματος σε SiO_2 και άρα με την πιθανότητα αυτό να είναι πιο εξελιγμένο από τα υπόλοιπα δείγματα.

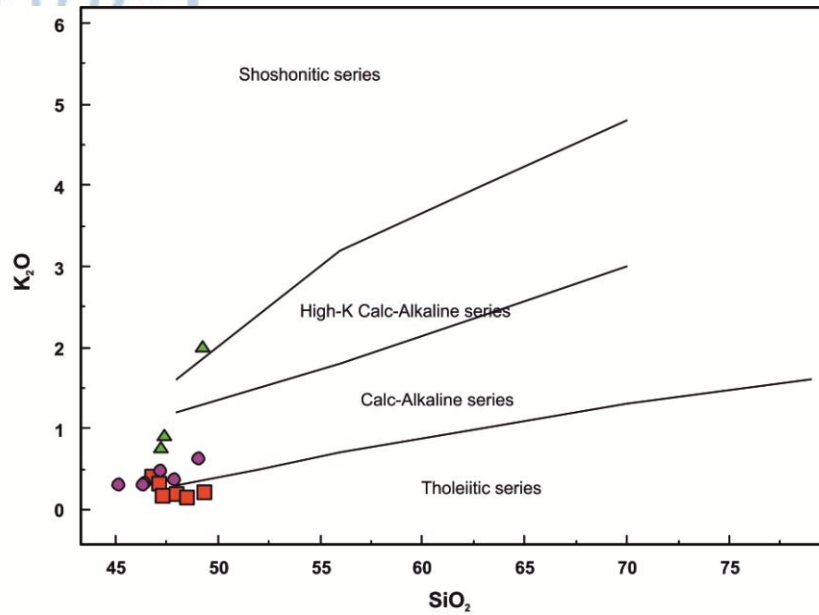
Ο εμπλουτισμός των REE, ο χαμηλός λόγος LREE/HREE $[(\text{La/Lu})_{\text{CN}}]$ και τα αραχνογράμματα των σχημάτων 4.9 και 4.10 δείχνουν ότι οι δολερίτες προέρχονται από τήξη ενός γόνιμου σπινελιούχου λερζόλιθου. Ισχυρή ένδειξη για το γεγονός ότι ο μανδύας είναι

σπινελλιούχος και όχι γρανατούχος αποτελούν τα διαγράμματα των REE, όπου εμφανίζεται χαμηλός λόγος LREE/HREE [(La/Lu)_{CN}].

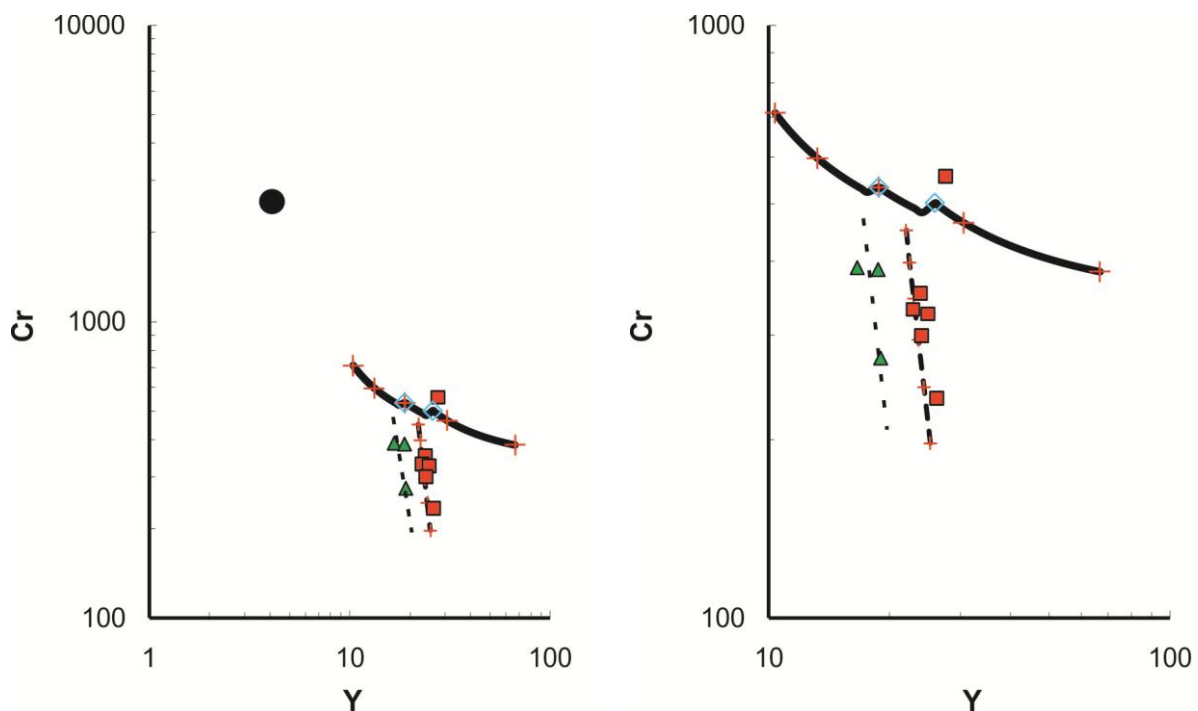
Από το διάγραμμα Cr-Y (Σχ. 5.5) διαπιστώνεται ότι τα δείγματα της LT-HK αποτελούν μια ομάδα που εξελίσσεται με κλασματική κρυστάλλωση ενώ τα δείγματα της HT-LK αποτελούν μια άλλη ομάδα που επίσης εξελίσσεται με κλασματική κρυστάλλωση. Το διάγραμμα δείχνει ότι η μια ομάδα δεν αποτελεί εξέλιξη της άλλης αλλά η κάθε μία προέρχεται από διαφορετικό βαθμό τήξης του σπινελλιούχου μανδύα. Προεκτείνοντας τις γραμμές κλασματικής κρυστάλλωσης βρίσκουμε ότι η ομάδα HT-LK προέρχεται από τήξη 17% του σπινελλιούχου λερζόλιθου ενώ η ομάδα LT-HK από τήξη 23%. Η διαδικασία αυτή εξηγεί και τις διαφοροποιήσεις μεταξύ των δυο ομάδων στα διαγράμματα μεταβολής.



Σχήμα 5.3 Διάγραμμα AFM κατά IRVINE & BARAGAR (1971). Σύμβολα όπως στο σχήμα 4.1.



Σχήμα 5.4 Διάγραμμα K_2O-SiO_2 κατά PECCERILLO & TAYLOR (1976). Σύμβολα όπως στο σχήμα 4.1.



Σχήμα 5.5 Διάγραμμα Cr-Y (Το διάγραμμα δεξιά αποτελεί λεπτομέρεια του διαγράμματος αριστερά). Γεμάτος μαύρος κύκλος: σπινελλιούχος λερζόλιθος. Συνεχής γραμμή: μερική τήξη του σπινελλιούχου λερζόλιθου, διακεκομμένες γραμμές: γραμμές κλασματικής κρυστάλλωσης. Οι σταυροί αντιστοιχούν σε ποσοστό τήξης ή κρυστάλλωσης αντίστοιχα 10%. Υπόλοιπα σύμβολα όπως στο σχήμα 4.1.

5.3 Σύγκριση με τα πλουτωνικά πετρώματα του Βαρνούντα

Στην περιοχή μελέτης όπως προαναφέρθηκε υπάρχει έντονος μαγματισμός, κατά την περίοδο του Λιθανθρακοφόρου, με τον οποίο συνδέονται τα πλουτωνικά πετρώματα της περιοχής. Η γένεση του μαγματισμού συνδέεται με τήξη εμπλουτισμένου μανδύα (KORONAIOS 1991). Ειδικότερα, γεωχρονολογήσεις των πλουτωνικών πετρωμάτων του ανατολικού Βαρνούντα με Rb/Sr σε ολικό πέτρωμα (KORONEOS et al. 1993) έδωσαν ηλικίες 297 ± 25 Ma, δηλαδή στα όρια μεταξύ ανώτερου Λιθανθρακοφόρου και κατώτατου Περμίου. Δηλαδή η περιοχή μελέτης αντιπροσωπεύει μαγματισμό που δημιουργήθηκε κατά την υποβύθιση της Παλαιο-Τηθύος κάτω από το Πελαγονικό ηπειρωτικό τέμαχος, το οποίο αποτελούσε περιθώριο είτε της Ευρασίας είτε της Gondwana.

Στην περιοχή εμφανίζονται και οι δολερίτες που μελετώνται στην παρούσα εργασία και οι οποίοι σύμφωνα με τις χρονολογήσεις έχουν την ίδια ηλικία με τα πλουτωνικά πετρώματα. Συγκεκριμένα, από γεωχρονολογήσεις που έγιναν σε κρυστάλλους ζirkονίου με U/Pb προσδιορίστηκε ως ηλικία κρυστάλλωσης των δολεριτών του Βαρνούντα τα 292.0 ± 4.1 Ma (KATERINOPOULOS 2008). Από τις χρονολογήσεις, φαίνεται λοιπόν ότι οι δολερίτες έχουν την ίδια ηλικία με τα πλουτωνικά πετρώματα τα οποία διεισδύουν και τα οποία συνδέονται με περιβάλλον ηφαιστειακού τόξου.

Τα βασικότερα μέλη του πλουτωνίτη του Βαρνούντα είναι εγκλείσματα και μονζοδιορίτες. Τα δείγματα των δολεριτών συγκρίνονται με τα δύο βασικότερα δείγματα των μονζοδιοριτών του Βαρνούντα που έχουν παρόμοια περιεκτικότητα πυριτίου με τα πρώτα (Σχ. 4.8). Παρατηρούμε από το διάγραμμα των REE και τον πίνακα 4.3 ότι οι χημικές διαφορές τους είναι μεγάλες. Συγκεκριμένα ο εμπλουτισμός των LREE ((La/CN)) για τα πλουτωνικά πετρώματα κυμαίνεται από 260 έως 580 ενώ για τα δολεριτικά πετρώματα είναι πολύ μικρότερος και κυμαίνεται από 14.30 έως 27.93 για όλα τα δείγματα εκτός του δείγματος L-18 της ομάδας LT-HK, η τιμή του οποίου είναι 63.50.

Η κλίση των REE που εκφράζεται από το λόγο $(La/Lu)_{CN}$ για τα πλουτωνικά πετρώματα κυμαίνεται από 18 έως 22 ενώ για τα δολεριτικά πετρώματα είναι πολύ μικρότερη και κυμαίνεται από 1.14 έως 1.77, εκτός του δείγματος L-18 της ομάδας LT-HK που χαρακτηρίζεται από υψηλότερο λόγο $(La/Lu)_{CN}$ (5.97). Μεγάλες χημικές διαφορές προκύπτουν και από τη σύγκριση των αραχνογραμμάτων (με βάση τις κανονικοποιημένες τιμές του πρωταρχικού μανδύα) των δειγμάτων που προαναφέρθηκαν (Σχ. 4.9 και 4.10).

Επομένως, γίνεται φανερό ότι παρά το γεγονός ότι οι δολερίτες έχουν την ίδια ηλικία με τα πλουτωνικά πετρώματα του Βαρνούντα έχουν μεγάλες χημικές διαφορές. Η πηγή του μάγματος για τους δολερίτες βρέθηκε ότι είναι γόνιμος σπινελλιούχος λερζόλιθος ενώ η πηγή του βασικού μάγματος που έδωσε τα πλουτωνικά πετρώματα του Βαρνούντα είναι μανδύας εμπλουτισμένος από ρευστά της καταδυόμενης πλάκας. Φαίνεται λοιπόν ότι στην ίδια περιοχή την ίδια εποχή υπάρχουν δυο διαφορετικοί τύποι μανδύα (γόνιμος σπινελλιούχος λερζόλιθος και μανδύας εμπλουτισμένος από ρευστά της καταδυόμενης πλάκας) που τήκονται και δίνουν τις δυο ομάδες πετρωμάτων.

Μια πιθανή εξήγηση αυτής της αντίθεσης είναι ότι οι δυο αυτές ομάδες πετρωμάτων (δολερίτες - πλουτωνικά) δεν έχουν ίδια ηλικία αλλά διαφορετική, με τους δολερίτες αρκετά νεώτερους. Τούτο, υποστηρίζεται και από το γεγονός ότι οι δολερίτες είναι σχετικά अपαρμόρφωτοι αντίθετα με τα πλουτωνικά πετρώματα που έχουν φύλλωση. Η διαφορά στην ηλικία εξηγεί και την διαφορετική πηγή προέλευσης.

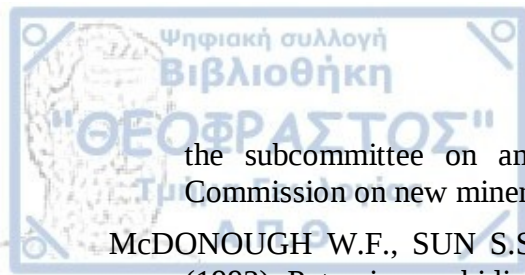
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ΚΙΛΙΑΣ Α. (1980): Γεωλογική και τεκτονική μελέτη της περιοχής του ανατολικού Βαρνούντα (ΒΔ Μακεδονία). Διδακτορική διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Επιστημονική επετηρίδα της Φυσικομαθηματικής σχολής, παράρτημα αριθμός 16 του 19^{ου} τόμου 271σ.
- ΚΟΡΩΝΑΙΟΣ Α. (1991): Ορυκτολογία, πετρολογία και γεωχημεία του πλουτωνίτη του ανατ. Βαρνούντα (ΒΔ. Μακεδονία). Διδακτορική διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Επιστημονική επετηρίδα του τμήματος γεωλογίας της σχολής θετικών επιστημών, παράρτημα αριθμ. 13, 451σ.
- ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ Δ. (1983): Η γεωλογική δομή της Βόρειας Πελαγονικής ζώνης και η γεωτεκτονική εξέλιξη των Εσωτερικών Ελληνίδων. Πραγματεία για Υψηγεσία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 289σ.
- ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ Μ. Δ. (2007): Γεωλογία της Ελλάδας. University Studio Press, Θεσσαλονίκη, 207σ.

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- COX K.G., BELL J.D. & PANKHURST R.J. (1979): The interpretation of igneous rocks. London, Allen and Unwin, 450p.
- GODFRIAUX I. (1968): Etude geologique de la region de l'Olympe (Grece). Ann. Geol. Pays Hellen., **19**, 1-280.
- IRVINE T.N. & BARAGAR W.R.A. (1971): A guide to the chemical classification of the common rocks. Can. J. Earth Sci. **8**, 523-48.
- KATERINOPOULOS A. (1987): Magmatism in the Kastoria Unit; The Varnountas plutonic complex. Sassi and Bourrouilh ed. IGCP No.5 Newsletter 7, 181-189.
- KATERINOPOULOS A., KYRIAKOPOULOS K., DEL MORO A., MITROPOULOS P. & GIANNOTTI U. (1992): Comparative study of Hercynian granitoids from N.W. Greece and S. Yugoslavia. Chem. Erde **52**, 261-276.
- KATERINOPOULOS A. (2008): Variscan basic dykes in the Pelagonian (Northern Greece and south FYROM): Geodynamic significance based on petrological, geochemical and geochronological studies. Chemie der Erde **68**, 93-103.
- KORONEOS A., CHRISTOFIDES G., DEL MORO A. & KILIAS A. (1993): Rb-Sr geochronology and geochemical aspects of the Eastern Varnountas plutonite (NW Macedonia, Greece). N. Jb. Miner. Abh. **165**, 297-315.
- KORONEOS A. (1995): Comparative mineralogical-petrological and geochemical study of the plutonic and gneissic rocks of eastern Varnountas (NW Macedonia). Annales Geologiques des Payes Helleniques **36**, 119-141.
- LEAKE B.E., WOOLEY A.R., ARPS C.E.S., BIRCH W.D., GILBERT M.C., GRICE J.D., HAWTHORNE F.C., KATO A., KISCH H.J., KRIVOVICHEV V.G., LINTHOUT K., LAIRD J., MANDARINO J.A., MARESCH W.V., NICKEL E.H., ROCK N.M.S., SCHUMACHER J.C., SMITH D.C., STEPHENSON N.C.N., UNGARETTI L., WHITTAKER E.J.W. & YOUSHI G. (1997): Nomenclature of amphiboles: report of



- the subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association. Commission on new minerals and mineral names, *Am. Mineral.* **82**, 1019-1037.
- McDONOUGH W.F., SUN S.S., RINGWOOD A.E., JAGOUTZ E. & HOFMANN A.W. (1992): Potassium, rubidium and cesium in the Earth and Moon and the evolution of the mantle of the Earth. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **56**, 1.001-1.012.
- MOUNTRAKIS D. (1977): Observations on the shear fractures of the marbles of the North – Pelagonian zone. *Sci. Ann. Fac. Phys. Mathem. Univ. Thessaloniki* **17**, 335-345.
- PEARCE J.A. (1982): Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In: Thrope R (ed) *Andesites: orogenic andesites and related rocks*. Wiley, Chichester, 525-548p.
- PECCERILLO A. & TAYLOR S.R. (1976): Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. *Contrib. Miner. Petrol.* **58**, 63-81.
- SUN S.S. & McDONOUGH W.F. (1989): Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders A.D. & Norry M.J. (eds), *Magmatism in ocean basins*. Geological Society London Special Publications **42**, 313-345.
- VERGELY P. (1976): Chevauchement vers l'Ouest et retrocharriage vers l'Est des ophiolites: deux phases tectoniques au cours du Jurassique superieur – Eocretace dans les Hellenides internes. *Bull. Soc. Geol. France* **18**, 231-244.
- WILLIAMS L.A.J. (1982): Physical aspects of magmatism in continental rifts. In: *Continental and oceanic rifts*. G. Palmason (ed.), Washington DC: Am. Geophys. Union, 193-222p.
- WOOD D.A. (1980): The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crust contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province. *Earth Planet Sci. Lett.* **50**, 11-30.