



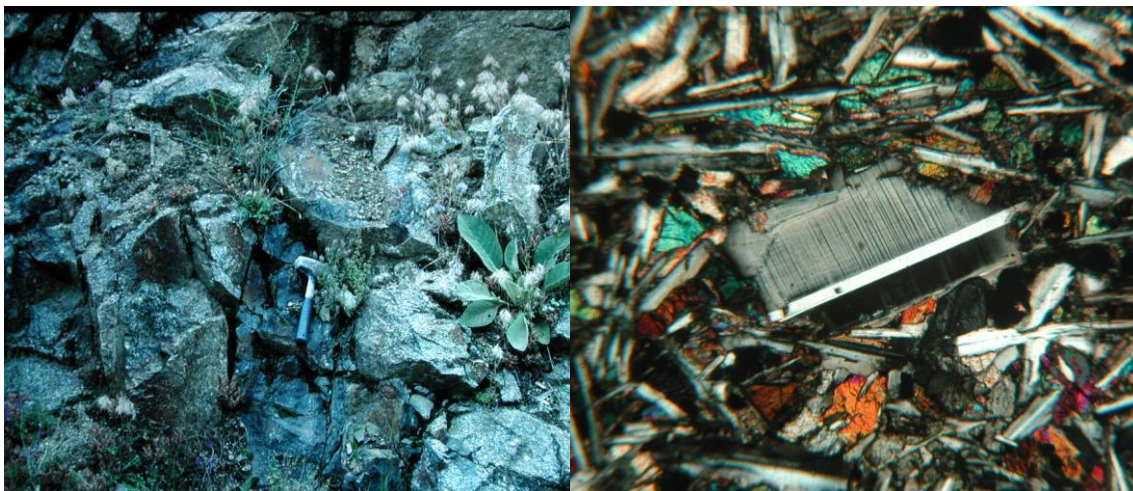
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ-ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ-ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΓΕΩΡΓΙΟΣ Η. ΒΟΓΔΟΠΟΥΛΟΣ

**ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΒΑΣΙΚΩΝ ΔΙΕΙΣΔΥΣΕΩΝ
ΣΤΗ ΒΟΡΕΙΑ ΠΕΛΑΓΟΝΙΚΗ ΖΩΝΗ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2018





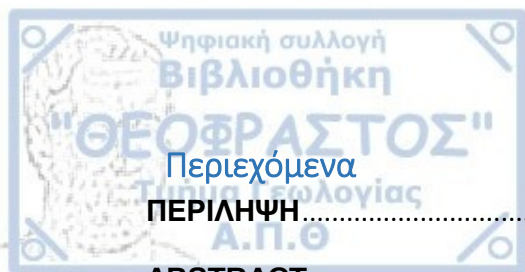
ΓΕΩΡΓΙΟΣ Η. ΒΟΓΔΟΠΟΥΛΟΣ
Φοιτητής Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5319

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΒΑΣΙΚΩΝ ΔΙΕΙΣΔΥΣΕΩΝ ΣΤΗ
ΒΟΡΕΙΑ ΠΕΛΑΓΟΝΙΚΗ ΖΩΝΗ

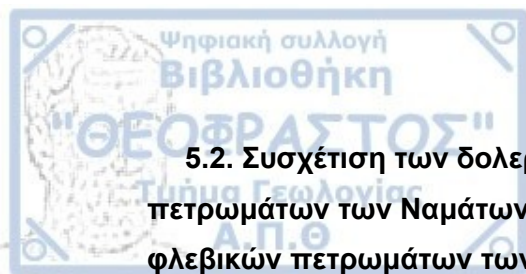
Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας,
Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας

Επιβλέπων

Καθηγητής Κορωναίος Αντώνιος



ΠΕΡΙΛΗΨΗ	6
ABSTRACT	7
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	8
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
1. ΓΕΩΛΟΓΙΑ	10
1.1. Γεωλογία της Πελαγονικής	10
1.2. Γεωλογία των περιοχής μελέτης	12
1.2.1. Νάματα – Άρδασσα (ARD)	12
1.2.2. Όρος Βαρνούντας (VAR)	14
1.2.3. Ολυμπιάδα (OLY)	14
1.2.4. Βερδικούσα (VER)	15
1.2.5. Πιέρια - Καταφύγιο (KAT)	16
2. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ	17
2.1. Φλεβικά πετρώματα	17
2.1.1. Βασαλτικής σύστασης (Do Bas)	17
2.1.2. Τραχυανδεσιτικής σύστασης (Do Tr)	17
2.2. Μέταδιοριτικά και Αμφιβολιτικά πετρώματα (M Di)	17
2.3. Μονζοδιοριτικά πετρώματα (MzD)	18
3. ΓΕΩΧΗΜΕΙΑ	20
3.1. Γεωχημεία κύριων στοιχείων	20
3.2. Γεωχημεία ιχνοστοιχείων	26
4. ΠΟΛΥΣΤΟΙΧΕΙΑΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ	33
5. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΧΗΜΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	36
5.1. Συσχέτιση πλουτωνικών πετρωμάτων Βαρνούντα (VAR) με τους διορίτες της Ολυμπιάδας	36



5.2. Συσχέτιση των δολεριτικών πετρωμάτων του Βαρνούντα, δολεριτικών πετρωμάτων των Ναμάτων, διοριτικών πετρωμάτων της Βερδικούσας, φλεβικών πετρωμάτων των Πιερίων και των αμφιβολιτικών πετρωμάτων των Πιερίων	36
5.3. Δολεριτικά πετρώματα Ολυμπιάδας (τραχυανδεσιτικής σύστασης)	37
5.4. Συσχέτιση πλουτωνικών πετρωμάτων Βαρνούντα (VAR) και διοριτικών πετρωμάτων της Ολυμπιάδας με τα δολεριτικά πετρώματα του Βαρνούντα και των Ναμάτων, τα διοριτικά πετρώματα της Βερδικούσας και τα φλεβικά και αμφιβολιτικά πετρώματα των Πιερίων	37
6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	38
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	42



Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται τη σύγκριση βασικών φλεβικών διεισδύσεων ως προς τις ομοιότητες και διαφορές τους καθώς και τη σύγκριση αυτών των φλεβών με βασικής έως ενδιάμεσης σύστασης πλουτωνικά πετρώματα. Περιλαμβάνει δείγματα από διάφορες περιοχές της βόρειας Πελαγονικής ζώνης, φλεβικά καθώς και πλουτωνικά πετρώματα για τη μεταξύ τους σύγκριση, όπως επίσης και τη γεωλογία της κάθε περιοχής ξεχωριστά. Παρουσιάζεται η ταξινόμηση των πετρωμάτων σύμφωνα με τα αλκάλια και το διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) που τα χωρίζει σε 4 ομάδες, κάθε μια από τις οποίες αποτελείται από άλλες υποομάδες. Περιλαμβάνει τη γεωχημεία κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων, καθώς επίσης και πολυστοιχειακά διαγράμματα, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την περεταίρω σύγκριση των υποομάδων. Τέλος, γίνονται ποικίλες συγκρίσεις μεταξύ των υποομάδων για να καταλήξουμε στο ότι διακρίνονται σε δύο κύριες ομάδες πετρωμάτων. Μία ομάδα παλαιότερης ηλικίας (Λιθανθρακοφόρου) που περιλαμβάνει υψηλού Κ-ασβεσταλκαλικά έως σωσσονιτικά πετρώματα (πλουτωνικά πετρώματα του Βαρνούντα και διορίτες της Ολυμπιάδας) και μια νεώτερης, πιθανώς Περμοτριάδικης ηλικίας, που περιλαμβάνει θολεϊτικά έως ασβεσταλκαλικά πετρώματα (δολεριτικά πετρώματα του Βαρνούντα, των Ναμάτων και της Ολυμπιάδας, καθώς και διορίτες της Βερδικούσας, μεταδιορίτες των Πιερίων και «αμφιβολιτικές» φλέβες των Πιερίων), οι οποίες έχουν σαφείς διαφορές και ομοιότητες μεταξύ τους και διαφορές με την ομάδα πετρωμάτων παλαιότερης ηλικίας. Η σχέση που συνδέει τα θολεϊτικά έως ασβεσταλκαλικά πετρώματα με τα υψηλού Κ-ασβεσταλκαλικά έως σωσσονιτικά πετρώματα είναι ότι τα πρώτα διεισδύουν στα τελευταία. Η γεωχημική συγγένεια μεταξύ των δολεριτών των Βαρνούντα, Ναμάτων και Ολυμπιάδας, διοριτών Βερδικούσας, μεταδιοριτών Πιερίων και «αμφιβολιτικών» φλεβών των Πιερίων υπονοούν την κοινή τους γένεση και μπορούμε να θεωρήσουμε ότι έχουν κοινή ηλικία, Περμοτριάδική ή/και νεώτερη.



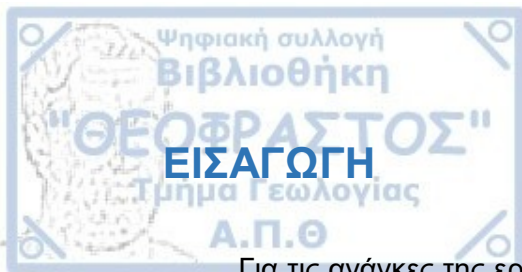
This diploma thesis deals with the comparison of basic vein intrusions with respect to their similarities and differences, as well as the comparison of these veins with plutonic rocks of basic to intermediate composition. It includes samples from various areas of the North Pelagian zone, sub-volcanic and plutonic rocks for comparison between them, as well as the geology of each region separately. The classification of the rocks in regard to alkali and silicon dioxide (SiO_2) is presented, dividing them into 4 groups, each of which consists of other subgroups. It includes the geochemistry of the main elements and trace elements, as well as multi-element diagrams, which were used for the further comparison of the sub-groups. Finally, there are several comparisons among the subgroups so as to conclude that two major groups of rocks are distinguished. An older age group (Carboniferous) including High-K calc-alkaline to shoshonitic rocks (the plutonic rocks of Varnoudas and the diorites of Olympiada) and a younger one, possibly of Permian-Triassic age, including tholeiitic to calc-alkaline rocks (dolerites of Varnoudas, Namata and Olympiada, as well as diorites of Verdikousa, metadiorites of Pieria and amphibolite "veins" of Pieria), which have distinct differences and similarities between them and differences from the group of older group rocks. The relationship between the tholeiitic to calc-alkaline rocks and the High-K calc-alkaline to shoshonitic rocks is that the former intrude the latter. The geochemical affinities among the dolerites of Varnoudas, Namata and Olympiada, diorites of Verdikousa, metadiorites of Pieria and amphibolite "veins" of Pieria imply their common genesis as well as their common age that is Permian-Triassic age and/or younger one.



Η μελέτη βασικών και ενδιάμεσων πυριγενών πετρωμάτων, καθώς αυτά προέρχονται από την τήξη μανδουακού υλικού, μπορεί να δώσει πληροφορίες τόσο για το γεωτεκτονικό περιβάλλον όσο και για τη σύσταση του ίδιου του μανδύα σε μια συγκεκριμένη γεωλογική περίοδο.

Στην περιοχή της βόρειας Πελαγονικής ζώνης απαντώνται πολλές πλουτωνικές διεισδύσεις, π.χ. πλουτωνίτης Baba, Βαρνούντα (VAR), Καστοριάς, Πιερίων (Καταφυγίου: KAT), Ναμάτων (Άρδασσας: ARD), Καστανιάς, Δεσκάτης, Ολυμπιάδας, Βερδικούσας (VER) (ΚΟΡΩΝΑΙΟΣ κ.α. 2000). Τα πετρώματα αυτά θεωρούνται γενικώς λιθανθρακοφόρου ηλικίας. Σε μερικά από τα παραπάνω πλουτωνικά πετρώματα εμφανίζονται ενδιάμεσης σύστασης πετρογραφικοί τύποι. Στα πλουτωνικά πετρώματα αλλά και στα περιβάλλοντα διεισδύουν φλέβες βασικών και όξινων πετρωμάτων προ-ιουρασικής ηλικίας. Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη και σύγκριση αυτών των βασικών προ-ιουρασικών πυριγενών πετρωμάτων. Τα πετρώματα αυτά όμως συγκρίνονται και με τους βασικότερους πετρογραφικούς τύπους (όπου αυτοί υπάρχουν) των προαναφερθέντων πλουτωνιτών.

Ο καθηγητής Α. Κορωναίος ήταν ο επιβλέπων της διπλωματικής αυτής εργασίας, τον οποίο και ευχαριστώ θερμά για τα δείγματα των πετρωμάτων που μου παρείχε, καθώς και για την πολύτιμη βοήθεια και συμπαράστασή του.



Για τις ανάγκες της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 47 δείγματα, από τα οποία, τα 7 είναι δολερίτες από τον δυτικό Βαρνούντα (KATERINOPOULOS 2008), τα 9 είναι δολερίτες από τον ανατολικό Βαρνούντα (ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ 2011), το 1 είναι διορίτης από τη Βερδικούσα (PE-PIPER et al. 1993a). Ακόμη χρησιμοποιήθηκαν 4 πετρώματα (2 διορίτες και 2 δολερίτες) από την Ολυμπιάδα (PE-PIPER et al. 1993b), 3 μεταδιορίτες (φλεβικά) και 3 αμφιβολίτες από τα Πιέρια (ΚΟΤΟΡΟΥΛΙ et al. 2000) και 11 δολερίτες από τα Νάματα (ΣΠΥΡΟΠΟΥΛΟΣ 1992). Για σύγκριση χρησιμοποιήθηκαν ενδιάμεσης σύστασης πλουτωνικά πετρώματα (9 δείγματα) που θεωρούνται οι βασικότεροι τύποι (μονζοδιορίτες) από τον πλουτωνίτη που καλύπτει τον Βαρνούντα (VAR), ανατολικό (ΚΟΡΩΝΑΙΟΣ 1991) και δυτικό (KATERINOPOULOS 2008). Τα χημικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν δίνονται με τη μορφή .xls αρχείου στο CD-ROM που επισυνάπτεται.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να βρεθούν οι ομοιότητες και διαφορές μεταξύ των βασικών φλεβικών διεισδύσεων καθώς και να συγκριθούν με τα βασικότερα μέλη (όπου αυτά υπάρχουν) των πλουτωνικών πετρωμάτων.

Η περιοχή που εξετάστηκε, βρίσκεται στην Πελαγονική ζώνη, που κατά καιρούς έχει απασχολήσει πολλούς ερευνητές. Υπάρχουν διαφορετικές απόψεις από αρκετούς ερευνητές για την γεωτεκτονική εξέλιξη και τοποθέτησή της.

Η Πελαγονική ζώνη βρίσκεται ανάμεσα σε αυτές του Αξιού και της Υποπελαγονικής. Ειδικότερα, θεωρείται πως είναι ένα ύβωμα που βρίσκεται ανάμεσα στην αύλακα της Αλμωπίας (Ανατολικά) και αυτή της Πίνδου (Δυτικά). Νεώτερες απόψεις θεωρούν την Πελαγονική ως ένα μεγάλο ηπειρωτικό τέμαχος, τμήμα της Κιμμερικής ηπείρου που αποσπάστηκε από τη Gondwana. Εκατέρωθεν αυτού αναπτύχθηκαν δύο ωκεάνιες περιοχές της Τηθύος (ζώνης Αξιού και Υποπελαγονικής-Πίνδου) από τις οποίες επωθήθηκαν οι οφειόλιθοι (ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ 1983).

Σήμερα, γίνεται γενικά αποδεκτό, ότι η Πελαγονική ζώνη αποτελεί ένα τεκτονικό κάλυμμα ανώ-ηωκαινικής ηλικίας, τοποθετημένο πάνω στην ενότητα του Ολύμπου, ηλικίας Τριαδικού-Ηωκαίνου (GODFRIAUX 1968).

Συνίσταται κυρίως από μεταμορφωμένα πετρώματα τα οποία υπόκεινται Μεσοζωικών ιζημάτων. Κατά τη διάρκεια του Μεσοζωικού, η ιζηματογένεση στην Πελαγονική ήταν ανθρακική, καθαρά νηριτική, με εξαίρεση τις δύο ωκεάνιες περιοχές εκατέρωθεν την Πελαγονικής ζώνης όπου εμφανίζονται πελαγικά ιζήματα μαζί με οφειολιθικές μάζες. Πάνω από τα πελαγικά αυτά ιζήματα βρίσκονται Άνω Κρητιδικά επικλυσιογενή ιζήματα.

Παρακάτω δίνεται η στρωματογραφική στήλη της Πελαγονικής ζώνης σύμφωνα με τον ΜΟΥΝΤΡΑΚΗ (1983).

1) Το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο εμφανίζεται σε περιοχές όπως το Λιβάδι Πιερίων και στα Υψηλά Πιέρια, το οποίο αποτελείται από αμφιβολιτικούς, βιοτιτικούς και επιδοτιτικούς σχιστόλιθους καθώς και οφθαλμογενεύσιους Παλαιοζωικής ή και Προκάμβριας ηλικίας. Στα πετρώματα αυτά έχουν διεισδύσει γρανίτες (π.χ. γρανίτης Φλώρινας, Βαρνούντα και Πιερίων) και έχουν προκαλέσει φαινόμενα μεταμόρφωσης επαφής στα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα πρασινοσχιστολιθικής έως αμφιβολιτικής φάσης. Η ηλικία τους καθορίστηκε με ραδιοχρονολογήσεις περίπου στα 300 εκ. χρ. (Άνω Λιθανθρακοφόρο).

2) Πάνω στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο και τους γρανιτικούς όγκους του Άνω Λιθανθρακοφόρου επικάθεται μία μετα-κλαστική σειρά μέσα στην οποία παρεμβάλλονται ορισμένα ηφαιστειακά υλικά, όξινης και βασικής λάβες και τόφφοι

ηλικίας Περμίου έως Κάτω Τριαδικού. Μπορούμε επίσης να την ονομάσουμε μετα-ηφαιστειοϊζηματογενή σειρά λόγω της σύστασής της.

3) Πάνω στα προηγούμενα επικάθονται ανθρακικά καλύμματα, ηλικίας Τριαδικού-Ιουρασικού, τα οποία αντιπροσωπεύουν την ιζηματογένεση ενός υβώματος. Αυτά τα ανθρακικά ιζήματα έχουν δεχτεί την επίδραση μιας μεταμόρφωσης χαμηλής πρασινοσχιστολιθικής φάσης κατά το Άνω Ιουρασικό-Κάτω Τριαδικό.

4) Ακόμη πιο πάνω στρωματογραφικά, βρίσκονται οφειόλιθοι και συνοδά ιζήματα βαθιάς θάλασσας. Το οφειολιθικό σύμπλεγμα αποτελείται από δουνίτες, χαρτσβουργίτες, γάββρους, νορίτες και pillow lavas. Ενώ, τα συνοδά ιζήματα είναι κερατόλιθοι, σχιστόλιθοι, πελαγικοί ασβεστόλιθοι και κλαστικά ιζήματα.

5) Τέλος, υπάρχουν επικλυσιογενή ιζήματα, ηλικίας Μέσου-Άνω Κρητιδικού. Αυτά αποτελούνται από φλύσχη, κροκαλοπαγείς και λατυποπαγείς ασβεστόλιθους. Η ηλικία τους χρονολογείται στο Άνω Μαιστρίχτιο-αρχές Παλαιοκαίνου. Τα ιζήματα αυτά βρίσκονται με ασυμφωνία πάνω στους προηγούμενους ορίζοντες. Μαζί με τους γρανίτες ηλικίας 300 εκ. χρ. φαίνεται να υπάρχουν και άλλες γρανιτικές δεισδύσεις που η μια διαπερνά την άλλη. Φαίνεται λοιπόν ότι υπάρχουν, πιθανόν, μέσα στις γρανιτικές αυτές μάζες και νεώτερες μαγματικές δεισδύσεις οι οποίες όμως δεν έχουν χρονολογηθεί ή δεν έχουν βρεθεί οι ηλικίες τους με σαφήνεια.

Σε ότι αφορά την τεκτονική της περιοχής, έχουν αναγνωριστεί τρεις παραμορφωτικές τάσεις μετά από μακροχρόνιες τεκτονικές έρευνες: (ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ 1983, MOUNTRAKIS 1977, 1982, 1984, ΚΙΛΙΑΣ 1980, KILIAS & MOUNTRAKIS 1989, DOOTSOS 1984, VERGELY 1984):

1. Παραμορφωτική φάση Ερκύνιας ηλικίας. Συμμεταμορφική φάση με την πρώτη μεταμόρφωση του κρυσταλλοσχιστώδους σε συνθήκες αμφιβολιτικής φάσης. Η φάση αυτή σχημάτισε την κύρια φύλλωση S1 στα πετρώματα του κρυσταλλοσχιστώδους.

2. Παραμορφωτική φάση Άνω Ιουρασικού (VERGELY 1976), κατά την οποία επωθούνται οι οφειόλιθοι με τα συνοδεύοντά αυτούς ιζήματα βαθιάς θάλασσας πάνω στα ηπειρωτικά περιθώρια της Πελαγονικής. Η επώθηση αυτή συνοδεύονταν από μία φάση πτυχώσεων (JE1) με υποϊσοκλινείς πτυχές αξονικής διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ. Παράλληλα σχηματίζεται και η δεύτερη σχιστότητα S2, η οποία είναι και η κυρίαρχη σήμερα σχιστότητα των πετρωμάτων. Η δεύτερη φάση (JE2) έλαβε χώρα στο Κάτω Κρητιδικό και συνοδεύονταν από μια φάση πτυχώσεων με πτυχές ανοιχτές και κλειστές. Η διεύθυνση των αξόνων τους είναι ΒΒΑ-ΝΝΔ (MOUNTRAKIS 1977, ΚΙΛΙΑΣ 1980).

3. Στο Τριτογενές αναπτύσσονται δύο ομάδες πτυχώσεων, μια (CT1) με ανοιχτές αξονικής διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ και μια (CT2) με πτυχές κλειστές-ανοιχτές αξονικής διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ. Τέλος στο Άνω Ηώκαινο-Κάτω Ολιγόκαινο λαμβάνει χώρα η τελική παραμόρφωση (CT3) με πολύ ανοιχτές πτυχές τύπου Knick αξονικής διεύθυνσης Β-Ν.

1.2. Γεωλογία των περιοχής μελέτης

Οι περιοχές οι οποίες μελετήθηκαν είναι: τα Νάματα Κοζάνης (Άσκιο, Δυτ. Μακεδονία), το Όρος Βαρνούντας (Δυτ. Μακεδονία), η Ολυμπιάδα, η Βερδικούσα και τα Πιέρια όρη (Θεσσαλία) (Σχ. 1.1.).

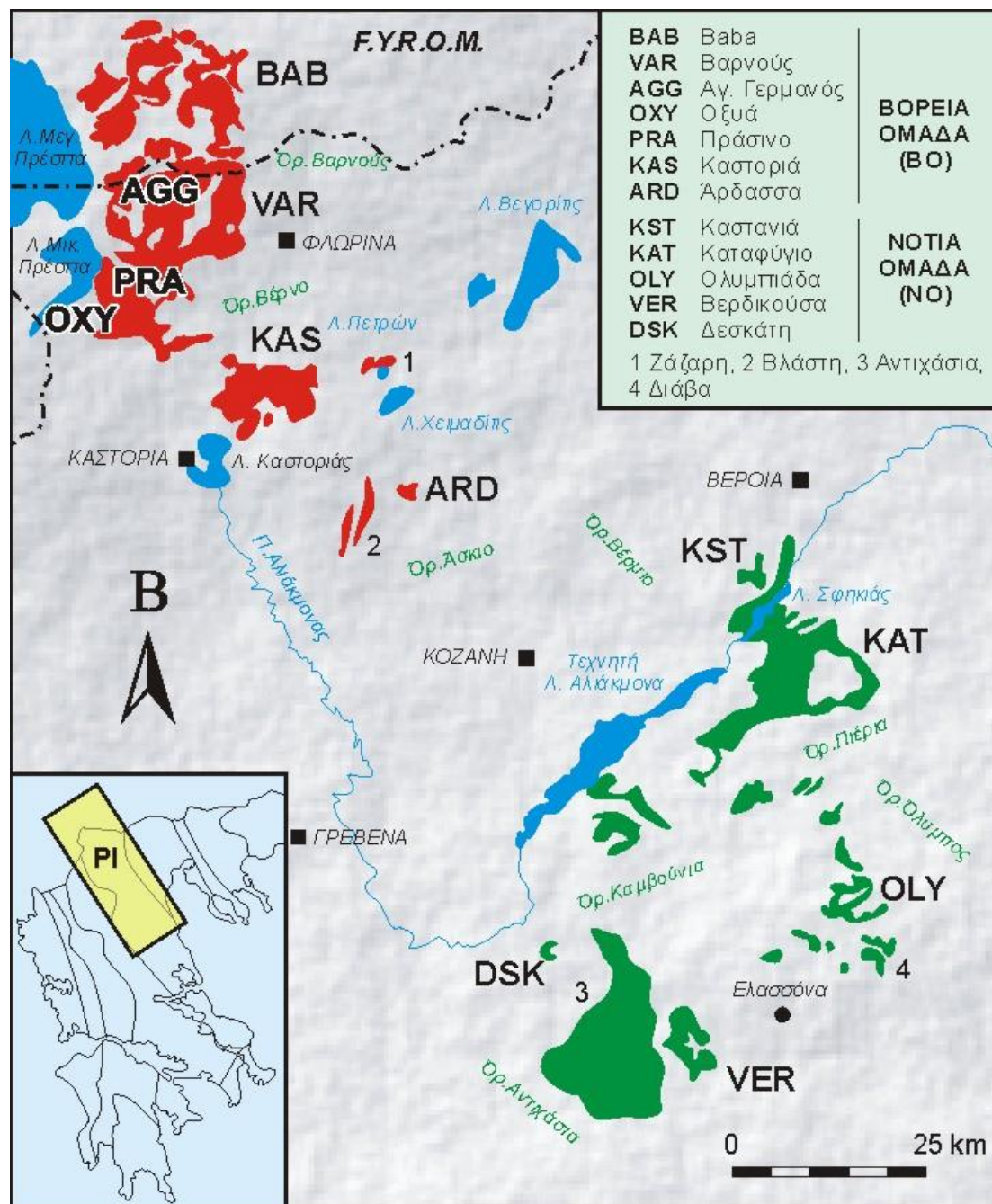
1.2.1. Νάματα – Άρδασσα (ARD)

Τα χωριά Νάματα και η Άρδασσα βρίσκονται στην οροσειρά του Άσκιου στη Δυτική Μακεδονία. Είναι μια επιμήκης οροσειρά με παράλληλη ανάπτυξη κορυφογραμμών, τμήμα του μεγάλου ορεογραφικού άξονα Βαρνούντα-Βέρνου-Άσκιου-Βούρινου που εκτείνεται από τα Ελληνο-Γιουγκοσλαβικά σύνορα μέχρι τη Θεσσαλία με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ. Ο ορεινός όγκος του Άσκιου αρχίζει κοντά στο χωριό Κλεισούρα όπου το Άσκιο συνδέεται με την οροσειρά του Βέρνου (ΣΠΥΡΟΠΟΥΛΟΣ 1992).

Στο χωριό Νάματα της Κοζάνης, το οποίο βρίσκεται στις παρυφές του βουνού Σινιάτσικο της οροσειράς του Άσκιου, ο BRUNN (1956) ξεχώρισε μια σειρά ιζημάτων τα οποία υπέρκεινται ασύμφωνα του κρυσταλλοσχιστώδους υποβάθρου. Στα ιζήματα αυτά παρεμβάλλονται ηφαιστειακοί τόφφοι. Τη σειρά αυτή κατατάσσει στο Λιθανθρακοπέρμιο βασιζόμενος σε συσχετισμό των λιθολογικών αυτών φάσεων με γειτονικές.

Ο ΣΠΥΡΟΠΟΥΛΟΣ (1992) αναφέρει ότι η ακολουθία των Ναμάτων αποτελείται από ελαφρά μεταμορφωμένα ιζήματα στα οποία παρατηρούνται πολυάριθμες παρεμβολές όξινων και βασικών ηφαιστειακών πετρωμάτων. Αυτά βρίσκονται σε μεγάλες εκτάσεις μέσα στην Περμοτριάδική μετακλαστική ενότητα της περιοχής, συνιστώντας έτσι μια τυπική ηφαιστειοϊζηματογενή ακολουθία. Η ακολουθία αυτή αποτελείται από μεταπηλίτες με εναλλαγές μετατοφικών πετρωμάτων, μεταρκόζες, γραφιτικούς φυλλίτες, έγχρωμους ασβεστολιθικούς φακούς, λεπτοστρωματώδεις ασβεστοψαμμίτες, μετακροκαλοπαγή και τέλος εκτεταμένες εμφανίσεις από όξινους και βασικούς μεταηφαιστίτες, οι οποίοι

αντιπροσωπεύουν διαδοχικές εκχύσεις βασικού και όξινου μαγματικού υλικού. Τα πετρώματα αυτά διεισδύουν επίσης στο Πελαγονικό κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο. Οι τελευταίες εμφανίσεις αυτές χαρακτηρίζονται από οφειτικό ιστό και ορυκτολογία δολεριτών και είναι ένα από τα αντικείμενα της παρούσας εργασίας.



Σχήμα 1.1. Χάρτης της βόρειας Πελαγονικής ζώνης, όπου εμφανίζονται τα πυριγενή σώματα που μελετώνται (ΚΟΡΩΝΑΙΟΣ κ.α. 2000).

1.2.2. Όρος Βαρνούντας (VAR)

Το Όρος Βαρνούντας προεκτείνεται προς Βορρά μέσα στη Π.Γ.Δ.Μ. ως όρος Baba. Το τμήμα του όρους στην Ελλάδα καταλαμβάνεται από το πλουτωνικό σύμπλεγμα του Βαρνούντα, ηλικίας 297.0 ± 25.0 εκ. χρ. (ΚΟΡΩΝΑΙΟΣ 1991), το οποίο αποτελείται κυρίως από χαλαζιακό μονζοδιορίτη και σε λιγότερο ποσοστό από γρανίτη, γρανοδιορίτη, χαλαζιακό μονζονίτη, μονζονίτη και μονζοδιορίτη (ΚΑΤΕΡΙΝΟΠΟΥΛΟΣ 1987, ΚΟΡΩΝΑΙΟΣ 1991). Όλο το σύμπλεγμα αυτό διεισδύει μέσα στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο το οποίο αποτελείται από ορθο- και παραγενέσιους και σχιστόλιθους της ενότητας Καστοριάς. Υπάρχουν επίσης κάποιες βασικές ηφαιστειακές φλέβες που διακόπτουν τόσο τα πετρώματα του πλουτωνικού συμπλέγματος όσο και το κρυσταλλοσχιστώδες μεταμορφωμένο υπόβαθρο και είναι επίσης ένα από τα αντικείμενα της παρούσας εργασίας. Οι βασικές φλέβες αυτές χρονολογήθηκαν με U/Pb σε ζirkόνια και έδωσαν ηλικία 292.0 ± 4.1 εκ. χρ. (ΚΑΤΕΡΙΝΟΠΟΥΛΟΣ 2008). Για σύγκριση χρησιμοποιήθηκαν και τα βασικότερα πλουτωνικά πετρώματα που είναι οι μονζοδιορίτες.

1.2.3. Ολυμπιάδα (OLY)

Παλαιοζωικά κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα της Πελαγονικής και ηφαιστειοϊζηματογενή πετρώματα Μεσοζωικής ηλικίας, τα οποία υπέρκεινται Μεσοζωικών ανθρακικών πετρωμάτων, βρίσκονται στην περιοχή του Ολύμπου, βόρεια της Θεσσαλίας. Στα χωριά Ολυμπιάδα και Φλάμπουρο βρίσκονται επίσης γρανοδιοριτικά πετρώματα (PE-PIPER et al. 1993b). Οι SCHERMER et al. (1989) με ραδιοχρονολόγηση Ar-Ar σε πλουτωνικό πέτρωμα δέκα χιλιόμετρα ανατολικά της Ολυμπιάδας, κατέληξαν σε παρόμοια ηλικία 290.0-295.0 εκ. χρ.

Στην Ολυμπιάδα, η ενότητα Αμπελάκια υπόκειται ενός γρανοδιορίτη ο οποίος μετατρέπεται σε ορθογενέσιο και σε μερικά σημεία εμφανίζει γλαυκοφανιτική μεταμόρφωση. Ο γρανοδιορίτης κόβεται από απλιτικές φλέβες και τοπικά από φλέβες τραχυανδεσιτικής σύστασης, που αποτελούν αντικείμενο της παρούσας εργασίας. Υπάρχει επίσης και ένας διορίτης, ο οποίος διακόπτεται από φλέβες γρανοδιορίτη, συνεπώς πρέπει να είναι παλαιότερος του γρανοδιορίτη (PE-PIPER et al. 1993b) και χρησιμοποιείται για σύγκριση.

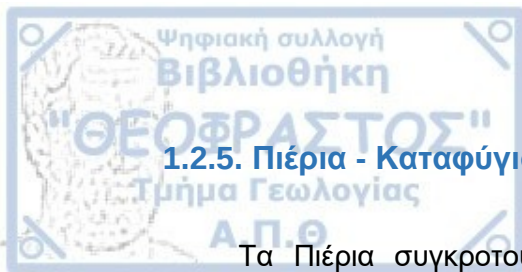
Στο πλουτωνικό σύμπλεγμα της Ολυμπιάδας που αποτελείται από γρανοδιορίτες και τοναλίτες, τα πετρώματα έχουν χημικά χαρακτηριστικά γρανιτών

από ζώνες υποβύθισης και περιέχουν διοριτικά εγκλείσματα με χημικά χαρακτηριστικά continental flood basalts (PE-PIPER et al. 1993b).

1.2.4. Βερδικούσα (VER)

Τα πλουτωνικά πετρώματα της Βερδικούσας αποτελούν ένα ακόμη παράδειγμα μαγματισμού Ερκύνιας ηλικίας του υποβάθρου της Πελαγονικής. Αποτελούνται κυρίως από γρανοδιορίτη, γρανίτη σε μερικές περιοχές και διορίτη στα περιθώρια. Ο πλουτωνίτης βρίσκεται σε τεκτονική επαφή με ένα υπερκείμενο ορθογενέσιο, πιθανώς με πρωτόλιθο κάποιο γρανιτικό πέτρωμα Ερκύνιας ηλικίας (KILIAS and MOUNTRAKIS 1987). Το πλουτωνικό σύμπλεγμα της Βερδικούσας χρονολογήθηκε με K/Ar σε βιοτίτη, στα 288.0 ± 7.0 εκ. χρ. (PE-PIPER et al. 1993a). Αυτό αποτελείται από γρανοδιορίτη που διακόπτεται από διορίτη. Η μόνη διείσδυση που παρατηρείται είναι εκεί που γρανοδιορίτες διαπερνούν παλαιότερους διορίτες. Παλαιότερες πηγματιτικές και νεώτερες απλιτικές φλέβες με παράλληλο προσανατολισμό διαπερνούν τα γρανιτικά πετρώματα. Επίσης, μερικά παλαιότερα σώματα διορίτη μέσα στο γρανοδιορίτη κόβονται από απλιτικές φλέβες.

Οι PE-PIPER et al. (1993a) διακρίνουν δύο μαγματικές ενότητες: μία με γρανοδιορίτες, τοναλίτες και διορίτες με φαινοκρυστάλλους και μια άλλη με γρανοδιορίτη χωρίς φαινοκρυστάλλους. Διακρίνει επίσης τα πλουτωνικά πετρώματα σε τρεις κύριες ομάδες. Σκουρόχρωμες διεισδύσεις πιθανώς διορίτη μέσα στον γρανοδιορίτη, οι οποίες μερικές φορές κόβονται από απλιτικές φλέβες. Έναν νεώτερο Διορίτη που διαπερνά τον γρανοδιορίτη και τέλος ένα γάββρο που η σχέση του με τον γρανοδιορίτη δεν έχει αποσαφηνιστεί. Το μοναδικό δείγμα που χρησιμοποιήθηκε από τη Βερδικούσα είναι από τον νεώτερο διορίτη που διαπερνά τον γρανοδιορίτη.



1.2.5. Πιέρια - Καταφύγιο (ΚΑΤ)

Τα Πιέρια συγκροτούνται από παραγνεύσιους και αμφιβολίτες, τα οποία κόβονται από φλέβες πλουτωνικών σωμάτων ηλικίας Άνω Λιθανθρακοφόρου, όπως και στη Βερδικούσα, Ολυμπιάδα και Βαρνούντα. Ένα τέτοιο πλουτωνικό σώμα είναι και αυτό των Πιερίων, πάνω στο οποίο επικάθονται με ασυμφωνία τα ηφαιστειοϊζηματογενή πετρώματα, ηλικίας πιθανώς Πέρμιου-Μέσου Τριαδικού, της Πελαγονικής (ΚΟΤΟΡΟΥΛΙ et al. 2000).

Το πλουτωνικό σύμπλεγμα των Πιερίων - Καταφυγίου αποτελείται από μεσοκρατικά έως λευκοκρατικά γρανοδιοριτικά και γρανιτικά πετρώματα (ΚΟΤΟΡΟΥΛΙ et al. 2000). Τα πλουτωνικά πετρώματα διακόπτονται από απλιτικές και πηγματιτικές φλέβες καθώς και από σκουρόχρωμα φλεβικά πετρώματα (PE-PIPER and PIPER 2002). Οι ίδιες αυτές φλέβες επίσης, διαπερνούν και την ηφαιστειοϊζηματογενή σειρά (NANCE 1977, PLASTIRAS 1979) συνεπώς οι φλέβες είναι νεώτερες της προαναφρεθείσας ηλικίας. Οι φλέβες αυτές αποτελούν ένα από τα αντικείμενα της παρούσας εργασίας. Στην περιοχή Λιβάδι, τα πλουτωνικά και τα Περμοτριάδικα ηφαιστειοϊζηματογενή πετρώματα διακόπτονται από απλιτικές και «αμφιβολιτικές» φλέβες (ΚΟΤΟΡΟΥΛΙ et al. 2000). Οι αμφιβολίτες αυτοί χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία για σύγκριση.

Τα πλουτωνικά πετρώματα των Πιερίων έχουν ηλικία που προσδιορίστηκε με U/Pb στα 300 εκ. χρ. περίπου (YARWOOD and AFTALION 1976).

2. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ

Τα διαγράμματα αλκαλίων-διοξειδίου του πυριτίου για ηφαιστειακά (Σχ. 2.1. LE BAS et al. 1986) και για πλουτωνικά (Σχ. 2.2. MIDDLEMOST 1994) πετρώματα, χρησιμοποιήθηκαν για την ταξινόμηση των πετρωμάτων της παρούσας μελέτης. Με βάση αυτά διακρίνουμε 4 ομάδες στις οποίες ανήκουν τα πετρώματα. Πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι αν και πρόκειται για πλουτωνικά, υποηφαιστειακά και μεταμορφωμένα πετρώματα, αυτά προβάλλονται και στα δυο διαγράμματα για καθαρά συγκριτικούς λόγους.

1. Φλεβικά πετρώματα βασαλτικής σύστασης (Do Bas)
2. Φλεβικά πετρώματα τραχυανδεσιτικής σύστασης (Do Tr)
3. Μεταδιוריτικά και αμφιβολιτικά πετρώματα (M Di)
4. Μονζοδιוריτικά πετρώματα (MzD)

2.1. Φλεβικά πετρώματα

2.1.1. Βασαλτικής σύστασης (Do Bas)

Στην ομάδα αυτή ανήκουν οι δολερίτες του ανατολικού και δυτικού Βαρνούντα και οι δολερίτες των Ναμάτων. Το ποσοστό του SiO_2 στη σύστασή τους κυμαίνεται από 44,0 ως 50,0%. Σημειώνεται εδώ ότι τα φλεβικά πετρώματα του ανατολικού Βαρνούντα μελετήθηκαν από την ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ (2011), η οποία με βάση το TiO_2 διέκρινε δύο ομάδες. Μια ομάδα χαμηλού TiO_2 (Low Ti) και την ομάδα υψηλού TiO_2 (High Ti), διάκριση που θα ακολουθείται και στην παρούσα εργασία.

2.1.2. Τραχυανδεσιτικής σύστασης (Do Tr)

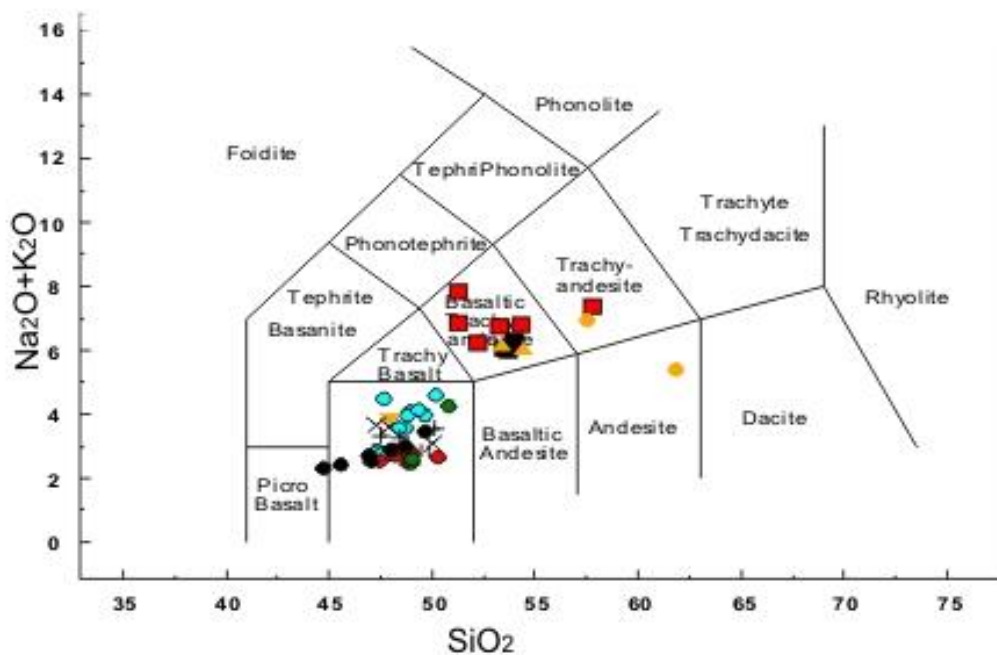
Σε αυτή την ομάδα ανήκουν τα φλεβικά πετρώματα από την περιοχή της Ολυμπιάδας, τραχυανδεσιτικής σύστασης, το ποσοστό του SiO_2 των οποίων κυμαίνεται μεταξύ 56,0 και 60,0%.

2.2. Μέταδιוריτικά και Αμφιβολιτικά πετρώματα (M Di)

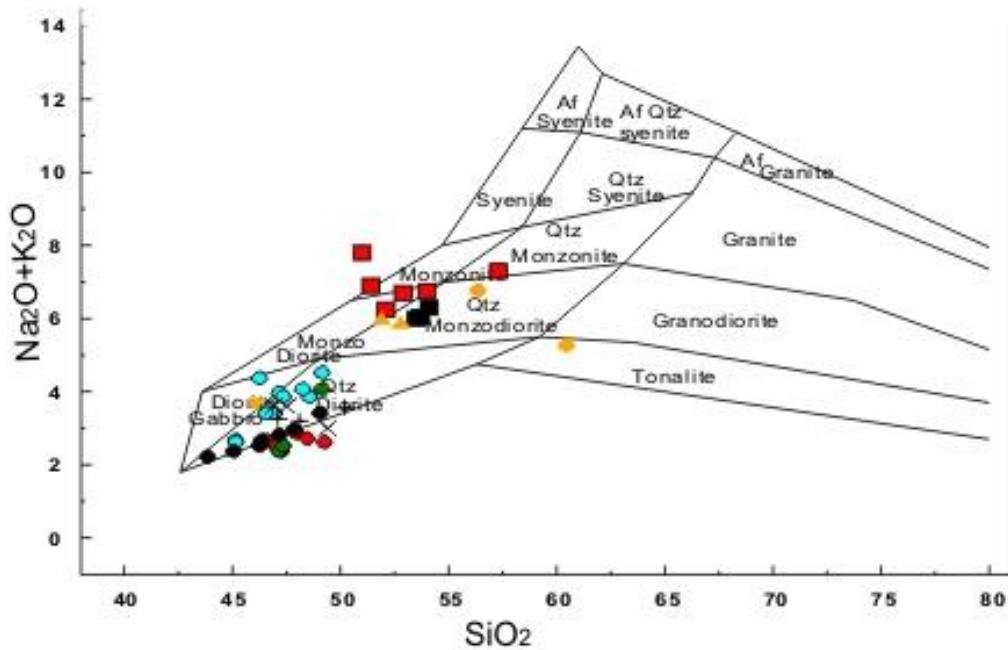
Εδώ ανήκουν δείγματα που προέρχονται από τις περιοχές των Πιερίων και Βερδικούσας. Συγκεκριμένα, ανήκουν οι μέταδιוריτές των Πιερίων, ο διορίτης της Βερδικούσας και οι αμφιβολίτες των Πιερίων. Το ποσοστό του SiO_2 σε αυτή την ομάδα κυμαίνεται από 46,0 ως 51,0%, όπως περίπου και στην ομάδα (Do Bas).

2.3. Μονζοδιοριτικά πετρώματα (MzD)

Στην ομάδα αυτή, τα δείγματα προέρχονται από τις περιοχές του Βαρνούντα και της Ολυμπιάδας. Συγκεκριμένα, την ομάδα αποτελούν οι μονζοδιορίτες του ανατολικού και δυτικού Βαρνούντα και οι διορίτες της Ολυμπιάδας. Το ποσοστό του SiO_2 κυμαίνεται μεταξύ 50,0 και 58,0%.



Σχήμα 2.1. Προβολή όλων των δειγμάτων στο διάγραμμα $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ (LE BAS et al. 1986). Μπλε κύκλοι: διαβάσεις Ναμάτων, κόκκινοι κύκλοι: διαβάσεις ανατολικού Βαρνούντα (High Ti), πράσινοι κύκλοι: διαβάσεις ανατολικού Βαρνούντα (Low Ti), μαύροι κύκλοι: διαβάσεις δυτικού Βαρνούντα, κίτρινοι κύκλοι: φλέβες Ολυμπιάδας, κόκκινα τετράγωνα: μονζοδιορίτες ανατολικού Βαρνούντα, μαύρα τετράγωνα: μονζοδιορίτες δυτικού Βαρνούντα, κίτρινα τρίγωνα: διορίτες Ολυμπιάδας, κίτρινο ανάποδο τρίγωνο: διορίτης Βερδικούσας, σταυροί: μεταδιορίτες Πιερίων και Χ: αμφιβολίτες Πιερίων.



Σχήμα 2.2. Προβολή όλων των δειγμάτων στο διάγραμμα $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ (MIDDLEMOST 1994). Συμβολισμός όπως στο σχήμα 2.1.

3.1. Γεωχημεία κύριων στοιχείων

SiO₂

Τα δείγματα που μελετώνται, μπορούν να ταξινομηθούν κατά μειούμενη περιεκτικότητα SiO₂ ως εξής: τα πλουσιότερα σε SiO₂ είναι τα φλεβικά πετρώματα τραχυανδεσιτικής σύστασης της Ολυμπιάδας, έπειτα τα μονζοδιοριτικά πετρώματα του Βαρνούντα (δυτικού και ανατολικού) ακολουθούν τα φλεβικά βασαλτικής σύστασης από τις περιοχές του ανατολικού και δυτικού Βαρνούντα και την περιοχή των Ναμάτων μαζί με τα διοριτικά και αμφιβολιτικά πετρώματα των Πιερίων.

Με βάση λοιπόν το SiO₂ (Σχ. 3.1.) φαίνεται ότι υπάρχει ένας σαφής διαχωρισμός των ομάδων. Συγκεκριμένα το SiO₂ στα φλεβικά πετρώματα βασαλτικής σύστασης (Do Bas, δολερίτες ανατολικού και δυτικού Βαρνούντα και δολερίτες Ναμάτων) και στα μεταδιοριτικά και αμφιβολιτικά πετρώματα (M Di, μεταδιορίτες Πιερίων, διορίτης Βερδικούσας, αμφιβολίτες Πιερίων) κυμαίνεται από 43,9 έως 50,3% ενώ στα μονζοδιοριτικά πετρώματα (MzD, μονζοδιορίτες ανατολικού και δυτικού Βαρνούντα και διορίτες Ολυμπιάδας) κυμαίνεται από 51,1 έως 57,4%. Στα φλεβικά πετρώματα τραχυανδεσιτικής σύστασης (Do Tr) της Ολυμπιάδας κυμαίνεται από 56,4 έως 60,6%.

Al₂O₃

Το Al₂O₃ γενικά κυμαίνεται από 14,0 ως 19,0%. Πιο συγκεκριμένα στους Do Bas παρατηρείται αύξηση του Al₂O₃ σε σχέση με το SiO₂ με τιμές που ξεκινούν από 14,0% και φτάνουν ως το 17,0%. Στους Do Tr παρουσιάζεται το χαμηλότερο ποσοστό από κάθε άλλη ομάδα (14,0%). Στους M Di κυμαίνεται από 14,5 ως 17,0%, ενώ αξιοσημείωτο είναι ότι ένα δείγμα ξεχωρίζει φτάνοντας στο 18,5% (F28, αμφιβολίτης Πιερίων). Τέλος στους MzD παρουσιάζεται μείωση σε σχέση με το SiO₂ ξεκινώντας από το 18,0% και φτάνοντας στο 16,0%.

K₂O

Το K₂O συμμετέχει με μικρό ποσοστό στη σύσταση των πετρωμάτων 0,1 ως 3,5%. Στους Do Bas κυμαίνεται από 0,1 ως 1,0%, ενώ δύο δείγματα ξεχωρίζουν με 2,15% και 2,0%. Αυτά είναι τα N18 και L-18 E (διαβάσης Ναμάτων και διαβάσης ανατολικού Βαρνούντα αντίστοιχα). Γενικά οι Do Bas είναι αυτοί που εμφανίζουν τη χαμηλότερη περιεκτικότητα σε K₂O. Οι Do Tr (αν και υπάρχουν μόνο δύο δείγματα) έχουν περιεκτικότητα 3,0% το ένα και 1,5% το άλλο. Στους M Di το K₂O κυμαίνεται

από 0,5 ως 1,0% χωρίς να εμφανίζουν κάποια τάση. Τέλος στους MzD παρατηρείται μείωση όσο αυξάνεται το SiO_2 με το ποσοστό τους να κυμαίνεται από 2,5 – 3,5%.

Με βάση το διάγραμμα $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ (PECCERILLO & TAYLOR 1976) διακρίνονται δυο ομάδες πετρωμάτων: μία ομάδα που περιλαμβάνει υψηλού Κ-ασβεσταλκαλικά έως σωσσονιτικά πετρώματα (πλουτωνικά πετρώματα του Βαρνούντα και διορίτες της Ολυμπιάδας) και μια που περιλαμβάνει θολειίτικα έως ασβεσταλκαλικά πετρώματα (δολερίτικα πετρώματα του Βαρνούντα, των Ναμάτων και της Ολυμπιάδας, καθώς και διορίτες της Βερδικούσας, μεταδιορίτες των Πιερίων και «αμφιβολιτικές» φλέβες των Πιερίων).

Na₂O

Το Na_2O γενικά φαίνεται να αυξάνεται όσο αυξάνει το SiO_2 και αυτό φαίνεται σε όλες τις ομάδες. Ειδικότερα, στην ομάδα των Do Bas ξεκινάει από 1,5% και φτάνει ως το 4,0% με την υποομάδα του δυτικού Βαρνούντα (μαύρος κύκλος) να εμφανίζει αύξηση με το SiO_2 . Τα δείγματα των Do Tr περιέχουν περίπου 4,0% Na_2O . Αυτά των M Di κυμαίνονται από 2,25 ως 3,0%, ενώ οι MzD βρίσκονται μεταξύ 3,5 και 5,0%.

Με βάση το άθροισμα των αλκαλίων (Σχ. 2.1. και 2.2.) φαίνεται ότι υπάρχει ένας σαφής διαχωρισμός των ομάδων. Συγκεκριμένα το άθροισμα $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ στα φλεβικά πετρώματα βασαλτικής σύστασης (Do Bas, δολερίτες ανατολικού και δυτικού Βαρνούντα και δολερίτες Ναμάτων) και στα μεταδιοριτικά και αμφιβολιτικά πετρώματα (M Di, μεταδιορίτες Πιερίων, διορίτης Βερδικούσας, αμφιβολίτες Πιερίων) κυμαίνεται από 2,2 έως 4,5% ενώ στα μονζοδιοριτικά πετρώματα (MzD, μονζοδιορίτες ανατολικού και δυτικού Βαρνούντα και διορίτες Ολυμπιάδας) κυμαίνεται από 5,9 έως 7,8%. Στα φλεβικά πετρώματα τραχυανδεσιτικής σύστασης (Do Tr) της Ολυμπιάδας κυμαίνεται από 5,2 έως 6,8%.

MgO

Το MgO φαίνεται γενικά να έχει μια φθίνουσα τάση. Με βάση το SiO_2 φαίνεται ότι υπάρχει ένας σαφής διαχωρισμός των ομάδων όπως συμβαίνει και με το άθροισμα $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$. Συγκεκριμένα στα φλεβικά πετρώματα βασαλτικής σύστασης (Do Bas, δολερίτες ανατολικού και δυτικού Βαρνούντα και δολερίτες Ναμάτων) και στα μεταδιοριτικά και αμφιβολιτικά πετρώματα (M Di, μεταδιορίτες Πιερίων, διορίτης Βερδικούσας, αμφιβολίτες Πιερίων) μειώνεται από 12,8 έως 5,8% ενώ στα μονζοδιοριτικά πετρώματα (MzD, μονζοδιορίτες ανατολικού και δυτικού Βαρνούντα και διορίτες Ολυμπιάδας) κυμαίνεται από 5,8 έως 4,0%. Στα φλεβικά πετρώματα τραχυανδεσιτικής σύστασης (Do Tr) της Ολυμπιάδας κυμαίνεται από 3,0 έως 3,3%.

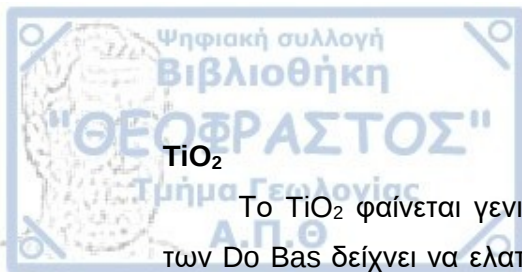
Το CaO δείχνει γενικά μείωση σε σχέση με το SiO₂. Και με βάση το CaO φαίνεται ότι υπάρχει ένας σαφής διαχωρισμός των ομάδων όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως. Συγκεκριμένα στα φλεβικά πετρώματα βασαλτικής σύστασης (Do Bas, δολερίτες ανατολικού και δυτικού Βαρνούντα και δολερίτες Ναμάτων) και στα μεταδιοριτικά και αμφιβολιτικά πετρώματα (M Di, μεταδιορίτες Πιερίων, διορίτης Βερδικούσας, αμφιβολίτες Πιερίων) μειώνεται από 12,0 έως 8,7% ενώ στα μονζοδιοριτικά πετρώματα (MzD, μονζοδιορίτες ανατολικού και δυτικού Βαρνούντα και διορίτες Ολυμπιάδας) είναι χαμηλότερο και κυμαίνεται από 7,4 έως 5,4%. Στα φλεβικά πετρώματα τραχυανδεσιτικής σύστασης (Do Tr) της Ολυμπιάδας είναι ακόμη χαμηλότερο και κυμαίνεται από 3,6 έως 4,0%. Στο σχήμα 3.2. φαίνεται η διάκριση με βάση τα οξείδια MgO και CaO.

Fe₂O₃

Το Fe₂O₃ δείχνει να είναι αρκετά διαφοροποιημένο. Από την ομάδα των Do Bas στα δείγματα του δυτικού Βαρνούντα μειώνεται με το SiO₂ με τιμές από 10,5% έως 16,5 %, ενώ τα άλλα δείγματα αυτής της ομάδας δε φαίνεται να εμφανίζουν κάποια τάση. Οι τιμές τους κυμαίνονται από 8,0 έως 12,0%. Στην ομάδα των Do Tr τα δείγματα έχουν υψηλότερο ποσοστό από πολλά δείγματα της πρώτης ομάδας με ποσοστά 10,6 και 9,6%. Στην ομάδα των M Di τα ποσοστά κυμαίνονται από 8,0 έως 11,0% με ένα δείγμα να ξεχωρίζει και να φτάνει στο 13,3% (KF6, μεταδιορίτης Πιερίων). Τέλος στην ομάδα των MzD βλέπουμε και εδώ μια μείωση με το SiO₂ με τις δύο υποομάδες να ξεχωρίζουν. Οι μεν μονζοδιορίτες του ανατολικού Βαρνούντα και οι διορίτες της Ολυμπιάδας έχουν χαμηλότερο ποσοστό Fe₂O₃ με τιμές από 7,0 έως 9,0%, ενώ οι μονζοδιορίτες του δυτικού Βαρνούντα έχουν ποσοστά 9,0 έως 10,0%.

MnO

Το MnO συμμετέχει με πολύ μικρό ποσοστό στη σύσταση κάθε δείγματος. Στα πετρώματα Do Bas κυμαίνεται από 0,13 ως 0,19% ενώ ένα δείγμα ξεχωρίζει και φτάνει στο 0,25% (d-23). Στην ομάδα των Do Tr τα δείγματα εμφανίζουν μια αξιοσημείωτη διαφορά μεταξύ τους, το ένα βρίσκεται στο 0,12% και το άλλο στο 0,16%. Η ομάδα των M Di βρίσκεται και αυτή μεταξύ 0,13% και 0,19% με ένα δείγμα της που έχει υψηλότερο SiO₂ να έχει και υψηλότερο MnO, 0,21% (KF6, μεταδιορίτης Πιερίων). Τέλος στους MzD κυμαίνεται από 0,14 ως 0,17%.

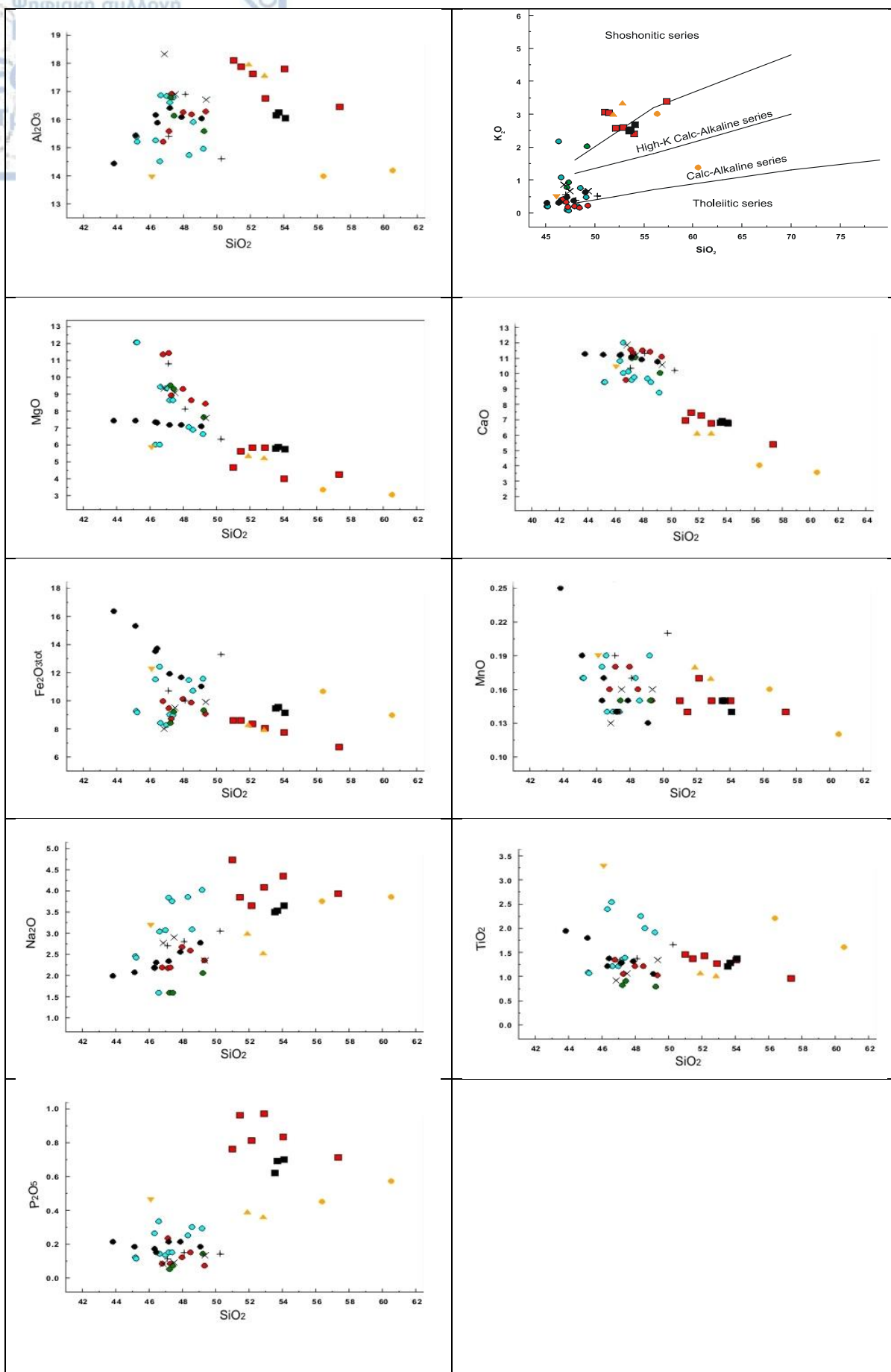


TiO₂

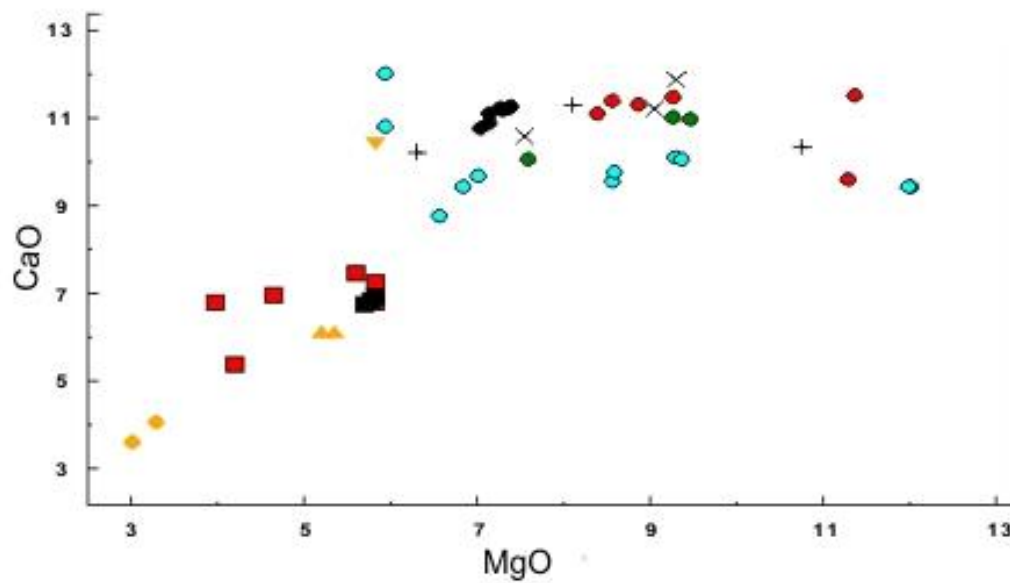
Το TiO₂ φαίνεται γενικά να μειώνεται με την αύξηση του SiO₂. Στα δείγματα των Do Bas δείχνει να ελαττώνεται με ποσοστά από 2,75 ως 0,75%, ενώ αυτά των Do Tr περιέχουν περισσότερο ποσοστό TiO₂ στη σύστασή τους με 2,19% και 1,66%. Στην ομάδα των M Di έχουμε ποσοστά που κυμαίνονται από 1,0 ως 1,75% ενώ ξεχωρίζει το δείγμα από τον διορίτη της Βερδικούσας (T51) με ποσοστό 3,28%. Τέλος οι MzD βρίσκονται μεταξύ 1,0% και 1,5%.

P₂O₅

Το P₂O₅ βρίσκεται σε πολύ μικρό ποσοστό στη σύσταση των πετρωμάτων. Στα δείγματα των Do Bas κυμαίνεται από 0,05 ως 0,3% σε αντίθεση με αυτά των Do Tr που έχουν υψηλότερα ποσοστά, 0,45% και 0,57%. Εκείνα των M Di ακολουθούν περίπου τα ποσοστά της πρώτης ομάδας 0,1-0,2%, ενώ ο διορίτης της Βερδικούσας ξεχωρίζει με ποσοστό 0,46%. Τέλος, στα MzD πετρώματα η σύσταση κυμαίνεται από 0,6-1,0%.



Σχήμα 3.1. Διαγράμματα Harker μεταβολής των κύριων στοιχείων σε σχέση με το SiO_2 . K_2O - SiO_2 (Peccherillo and Taylor 1976). Σύμβολα όπως στο σχήμα 2.1.



Σχήμα 3.2. Διάγραμμα Harker μεταβολής του CaO σε σχέση με το MgO. Σύμβολα όπως στο σχήμα 2.1.

3.2. Γεωχημεία ιχνοστοιχείων

Αυτό που παρατηρούμε στο Ba είναι ότι σχηματίζονται δύο κύριες ομάδες όπου συγκεντρώνονται τα δείγματα (Σχ. 3.3.). Οι ομάδες των Do Bas, M Di έχουν συγκεντρώσεις Ba από 40,0 ως 176,0 ppm ενώ αν ληφθούν υπόψη και τα δύο δείγματα από την περιοχή των Ναμάτων (μπλε κύκλοι), N18 (299,0 ppm) και N6 (324,0 ppm), οι συγκεντρώσεις φτάνουν ως τα 324,0 ppm. Η ομάδα των Do Tr περιέχει αρκετά υψηλό ποσοστό Ba, από 710,0 έως 866,0 ppm. Τέλος τα MzD πετρώματα διακρίνονται διότι έχουν τις υψηλότερες τιμές, μεταξύ 939,0 και 1205,0 ppm, ενώ ένα δείγμα (L-5) φτάνει τα 1445,0 ppm.

Rb

Το Rb φαίνεται να έχει μικρή συμμετοχή στη σύσταση των βασικών πετρωμάτων και μεγαλύτερη στα πιο όξινα. Στα Do Bas πετρώματα συμμετέχει με ποσοστό από 1,0 ως 20,0 ppm με τρία δείγματα να ξεχωρίζουν αφού το N18 αγγίζει τα 48,0 ppm και τα KR-15A, MR-5A φτάνουν τα 46,0 ppm και 53,0 ppm αντίστοιχα. Το L-18 φτάνει τα 94,0 ppm. Στην ομάδα των M Di τα ποσοστά κυμαίνονται από 5,0 ppm και φτάνουν ως τα 24,0 ppm. Στα δείγματα της ομάδας των Do Tr τα δείγματα έχουν αρκετά μεγάλη διαφορά μεταξύ τους αφού το ένα περιέχει 49,0 ppm και το άλλο 102,0 ppm. Τέλος η ομάδα των MzD περιέχει αρκετά μεγάλο εύρος τιμών που ξεκινούν από 45,0 ppm και φτάνουν τα 165,0 ppm, κατέχοντας βέβαια τα μεγαλύτερα ποσοστά.

Sr

Το Sr εμφανίζει τα χαμηλότερα ποσοστά στα Do Bas, Do Tr και M Di πετρώματα με τα πρώτα να έχουν από 90,0 ως 700,0 ppm, η επόμενη ομάδα έχει 111,0 ppm και 329,0 ppm στα δύο δείγματα της και τέλος στα MzD πετρώματα ξεχωρίζουν τα δείγματα από τους διορίτες της Ολυμπιάδας (T31, T31A) με ποσοστά 441,0 ppm και 467,0 ppm αντίστοιχα και το P-64 με συγκέντρωση 1457,0 ppm. Τα υπόλοιπα δείγματα βρίσκονται ανάμεσα στα 900,0 και 1200,0 ppm. Η διάκριση των ομάδων με βάση τα στοιχεία Sr και Ba φαίνεται στο σχήμα 3.4.

Y

Το Y γενικά δείχνει μια ανοδική τάση με την αύξηση του SiO₂, πιο συγκεκριμένα ξεκινάει από 17,5 ppm και φτάνει ως τα 47,5 ppm στην ομάδα των Do Bas. Την ίδια τάση ακολουθούν και τα δείγματα της M Di ομάδας με τιμές από 17,5

ppm ως 40,0 ppm. Στα δείγματα των Do Tr πετρωμάτων παρατηρούμε ότι το ποσοστό του ύπτριου (Y) είναι το ίδιο, 45,0 ppm. Τέλος τα MzD πετρώματα έχουν ένα εύρος τιμών από 40,0 ppm ως 50,0 ppm.

Zr

Το Zr δείχνει να έχει μια ανοδική γενικά τάση όσο αυξάνεται το SiO₂ με τα Do Bas πετρώματα να έχουν στη σύστασή τους από 50,0 ως 250,0 ppm. Τα Do Tr να βρίσκονται κοντά στα 250,0 ppm ενώ τα M Di βρίσκονται χαμηλότερα μεταξύ 50,0 και 150,0 ppm. Ο διορίτης της Βερδικούσας βέβαια φτάνει τα 243,0 ppm στη σύστασή του. Τέλος τα MzD πετρώματα ξεκινούν από τα 250,0 και φτάνουν ως τα 500,0 ppm έχοντας το μεγαλύτερο ποσοστό ζirkονίου (Zr) στη σύστασή τους.

Nd

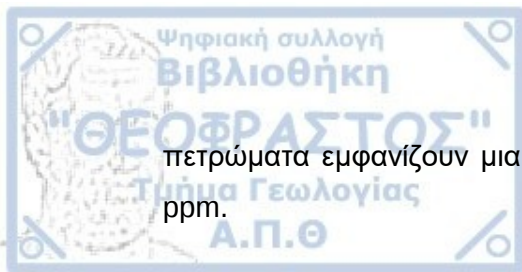
Το Nd δεν μετρήθηκε σε όλα τα δείγματα που εξετάζουμε, παρ' όλα αυτά σε όσα υπάρχει δείχνει μια αύξηση όσο αυξάνεται το SiO₂. Βρίσκεται στην ομάδα των Do Bas και πιο συγκεκριμένα στα δείγματα από τα Νάματα ξεκινώντας από τα 5,0 και φτάνει ως τα 30,0 ppm και έπειτα περιέχεται στην ομάδα των M Di και πιο συγκεκριμένα στο διορίτη της Βερδικούσας (T51) και σε μερικά δείγματα των διοριτών (F29, KF6) και αμφιβολιτών (MS12, F31) των Πιερίων. Τέλος εμφανίζεται στην ομάδα των MzD πετρωμάτων όπου συμμετέχει και με το μεγαλύτερο ποσοστό 10,0 ως 70,0 ppm.

Cu

Ο Cu δεν μετρήθηκε σε πολλά δείγματα αλλά σε όσα βρίσκεται παρουσιάζει μια διασπορά των ποσοστών του από 12,0 ppm ως 66,0 ppm με τα φτωχότερα να είναι τα δείγματα της ομάδας Do Tr. Μερικά δείγματα της ομάδας των MzD βρίσκονται με ποσοστό από 20,0 ppm ως 45,0 ppm και τα πλουσιότερα είναι από την ομάδα των M Di και την περιοχή των Πιερίων και της Βερδικούσας.

Cr

Το Cr υπάρχει για τα περισσότερα δείγματα και δείχνει γενικά μια τάση για μείωση όσο αυξάνεται το SiO₂. Δε βρέθηκε Cr στα δείγματα των Ναμάτων. Στην ομάδα των Do Bas παίρνει τις μεγαλύτερες τιμές μεταξύ 250,0 και 550,0 ppm με το δείγμα P-228 να έχει τη μεγαλύτερη τιμή και να ξεχωρίζει. Από την άλλη μεριά τα δείγματα της ομάδας Do Tr έχουν τις χαμηλότερες τιμές στη σύστασή τους 9,0 ppm το T36 και 14,0 ppm το T27. Η ομάδα M Di βρίσκεται μεταξύ 100,0 ppm και 450,0 ppm με το δείγμα KF6 να περιέχει Cr 112,0 ppm και να ξεχωρίζει. Τέλος τα MzD



πετρώματα εμφανίζουν μια διασπορά στη σύστασή τους από τα 25,0 ως τα 200,0 ppm.

La

Το La υπάρχει μόνο για τα δείγματα των Ναμάτων (Do Bas) και τα T51, MS12, F31, KF6, F29 (M Di) τα οποία κυμαίνονται μεταξύ 2,0 και 20,0 ppm. Τα υπόλοιπα δείγματα ανήκουν στην ομάδα των MzD και παίρνουν τιμές από 25,0 ως 80,0 ppm.

Ce

Το Ce επίσης υπάρχει μόνο στα δείγματα των Ναμάτων (Do Bas) και τα T51, MS12, F31, KF6, F29 (M Di) τα οποία περιέχουν από 3,0 ως 40,0 ppm Ce στη σύστασή τους. Τα άλλα δείγματα είναι από MzD πετρώματα με περιεκτικότητες από 70,0 ως 150,0 ppm.

Ga

Το Ga αναφέρεται μόνο για ελάχιστα από τα δείγματα που εξετάζουμε και πιο συγκεκριμένα στην Do Tr με συγκέντρωση από 18,0 ως 20,0 ppm, έπειτα στην ομάδα M Di με διακύμανση από 12,0 ως 17,0 ppm ενώ το δείγμα T51 φτάνει τα 20,0 ppm. Τέλος από την ομάδα των MzD φαίνονται μόνο τα δείγματα T31 και T31A με συγκέντρωση 21,0 ppm.

Nb

Το Nb περιέχεται σε όλα τα δείγματα εκτός της ομάδας M Di που υπάρχει μόνο το T51 με περιεκτικότητα 13,0 ppm και γενικά δείχνει μεγάλες διακυμάνσεις όσο αφορά στην περιεκτικότητά του, η οποία ξεκινάει από 1,0 και φτάνει τα 25,0 ppm. Στην ομάδα Do Bas τα δείγματα περιέχουν Nb σε διάφορες τιμές από 1,0 ως 3,0 ppm. Στην ομάδα των Do Tr βλέπουμε υψηλότερες συγκεντρώσεις κοντά στα 13,0 ppm για τα δύο δείγματα που απαρτίζουν την ομάδα. Τέλος η ομάδα των MzD εμφανίζει μεγάλες διακυμάνσεις από 6,0 ως 25,0 ppm, ενώ τα δείγματα του δυτικού Βαρνούντα περιέχουν λιγότερο Nb στη σύστασή τους από αυτά του ανατολικού.

Ni

Το Ni φαίνεται γενικά να παρουσιάζει μια μείωση όσο αυξάνει το SiO₂. Από την ομάδα των Do Bas δεν περιέχουν Ni τα δείγματα από την περιοχή των Ναμάτων, τα υπόλοιπα συγκεντρώνονται μεταξύ των 100,0 και 180,0 ppm. Δύο δείγματα διαφοροποιούνται από αυτή την ταξινόμηση, το P-1A με τη χαμηλότερη συγκέντρωση 11,0 ppm και το P-228 με συγκέντρωση 543,0 ppm. Η ομάδα των Do

Τr είναι αυτή με τις χαμηλότερες τιμές 9,0 με 10,0 ppm. Στην ομάδα των M Di πετρωμάτων οι τιμές ξεκινούν από 40,0 και φτάνουν τα 220,0 ppm. Τέλος στα MzD πετρώματα δε συμμετέχουν αυτά του δυτικού Βαρνούντα και οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 40,0 και 100,0 ppm.

Pb

Ο Pb υπάρχει μόνο για ελάχιστα από τα δείγματα που εξετάζουμε και πιο συγκεκριμένα σε αυτά των Ναμάτων (Do Bas) και στην ομάδα των M Di. Στα δείγματα των Ναμάτων ο Pb κυμαίνεται από 1,0 ως 13,0 ppm. Στην ομάδα των M Di τα δείγματα F29, KF6, F28, F31 και MS12 περιέχουν στη σύστασή τους Pb από 9,0 ως 17,0 ppm.

Sc

Το Sc υπάρχει μόνο για ελάχιστα δείγματα, κυρίως όμως στην ομάδα των MzD πετρωμάτων. Το δείγμα T51 με 37,4 ppm στη σύστασή του ξεχωρίζει ενώ τα υπόλοιπα έχουν μικρότερη περιεκτικότητα. Έπειτα από την ομάδα των Do Tr υπάρχει μόνο το δείγμα T36 που περιέχει στη σύστασή του μόνο 28,3 ppm Sc. Τέλος από την ομάδα των MzD, Sc περιέχουν τα T31, T31A με περιεκτικότητα 21,4 ppm και 21,2 ppm, επίσης τα P-7, L-5, P-51 και P-315 με περιεκτικότητες από 20,0 ως 28,0 ppm.

Th

Το Th υπάρχει μόνο για ελάχιστα δείγματα και κυμαίνεται από 0,91 ppm ως τα 25,0 ppm. Τη χαμηλότερη τιμή έχει το δείγμα από την ομάδα M Di, T51 με 0,91 ppm και την υψηλότερη τα 252-X και 253-X με 23 ppm και 24,0 ppm αντίστοιχα, ενώ το 112-X από την ομάδα των MzD έχει τη χαμηλότερη περιεκτικότητα με 6,0 ppm. Από την ίδια ομάδα επίσης τα T31 και T31A έχουν περιεκτικότητα 10,2 ppm και 6,3 ppm αντίστοιχα. Τέλος από την ομάδα των Do Tr υπάρχει ένα δείγμα (T36) με 9,6 ppm Th.

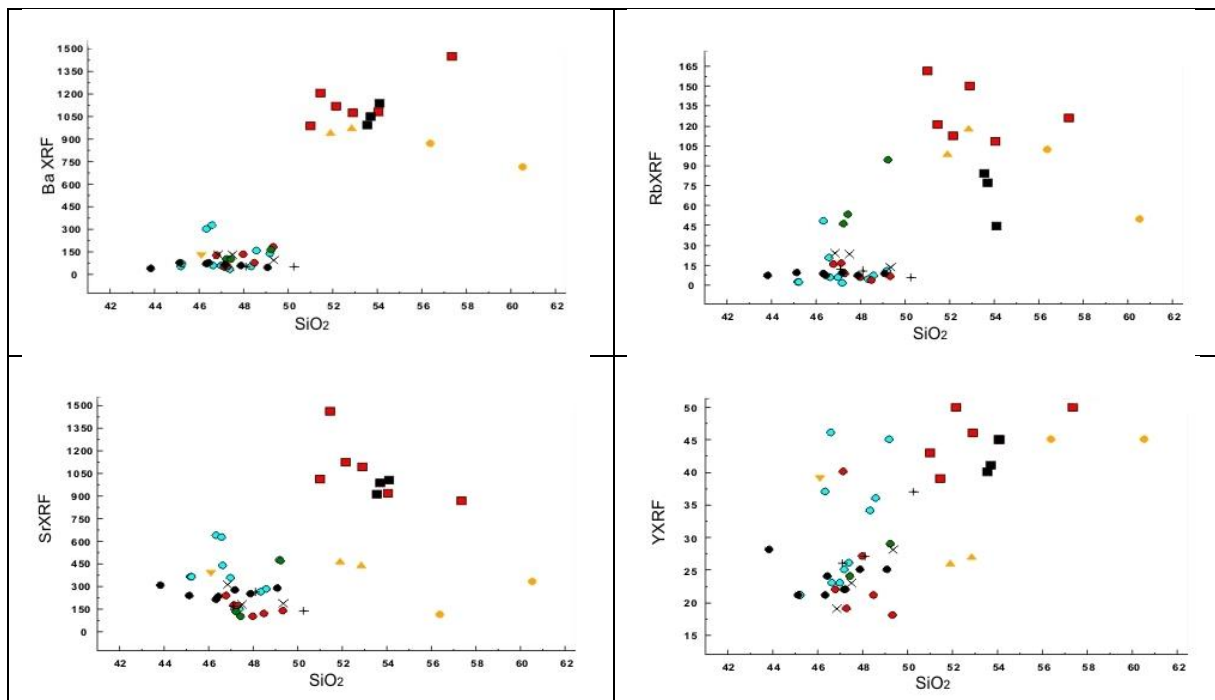
V

Το V υπάρχει για αρκετά δείγματα, από την ομάδα των Do Bas λείπει από τα δείγματα που πάρθηκαν από τα Νάματα. Οι τιμές που παίρνουν τα δείγματα αυτής της ομάδας κυμαίνονται από 4,0 ppm ως 350,0 ppm, με το P-1A να ξεχωρίζει καθώς περιέχει μόλις 4,0 ppm V. Στην ομάδα Do Tr τα δύο δείγματα έχουν τιμές 105,0 ppm και 206,0 ppm αντίστοιχα. Στην ομάδα των M Di οι τιμές κυμαίνονται από 150,0 ως

τα 250,0 ppm. Τα T51 και KF1 ξεχωρίζουν με 400,0 και 348,0 ppm αντίστοιχα. Τα MzD πετρώματα βρίσκονται μεταξύ 50,0 και 225,0 ppm.

Zn

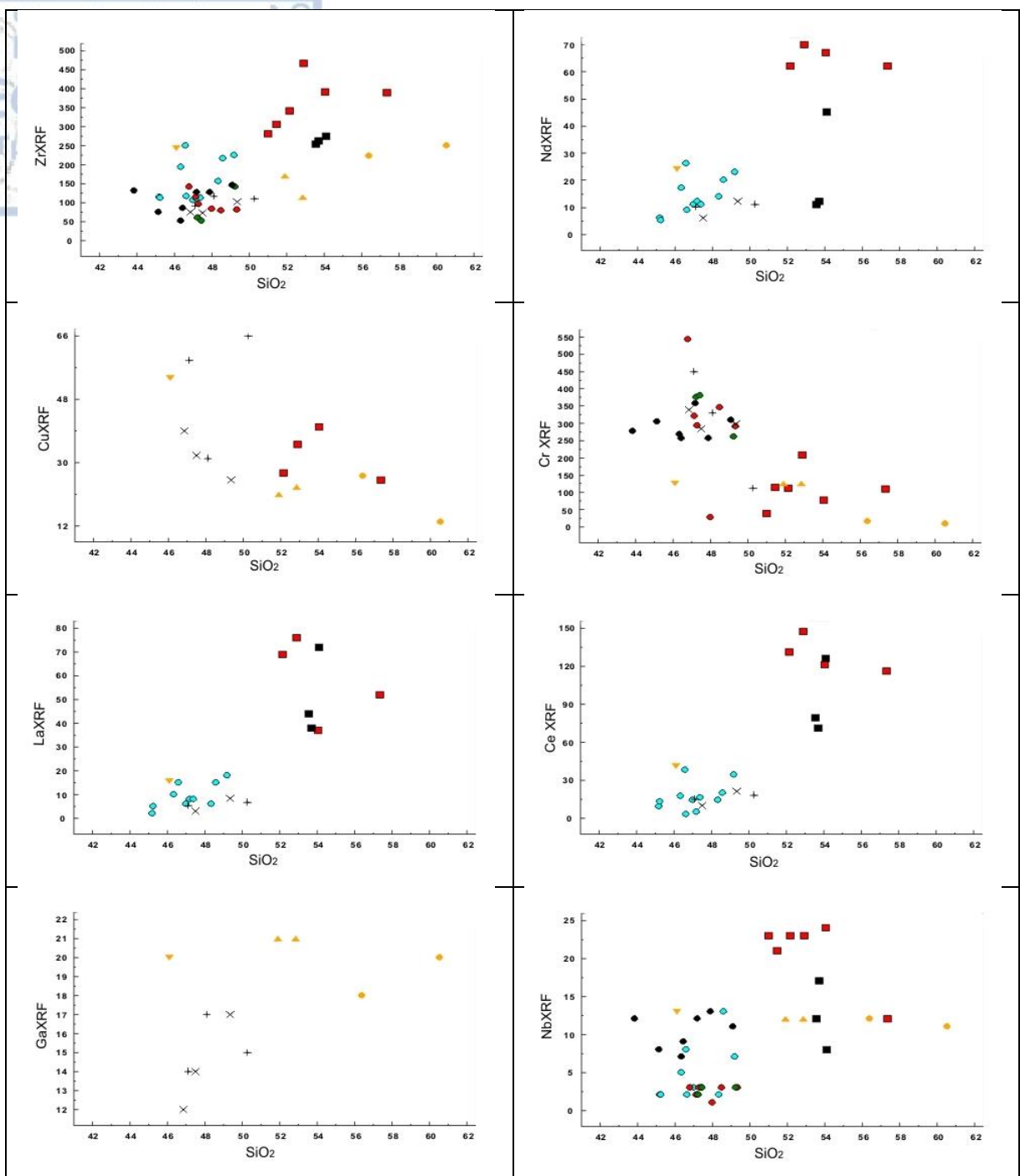
Το Zn φαίνεται γενικά να έχει μια ανοδική τάση όσο αυξάνει το SiO_2 , ενώ παίρνει τιμές από 40,0 ως 140,0 ppm για την ομάδα των Do Bas ξεχωρίζοντας τα P-1A και d-23 με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση, 131,0 ppm. Στην ομάδα Do Tr τα δείγματα παίρνουν τιμές γύρω στα 110,0 ppm, ενώ στα M Di πετρώματα από 50,0 ως 150,0 ppm. Αυτά που έχουν πάνω από 100,0 ppm είναι τα T51, KF6 και F29. Τέλος στα MzD δεν συμμετέχει σε όλα ο Zn, σε όσα υπάρχει κυμαίνεται από 90,0 ως 120,0 ppm.



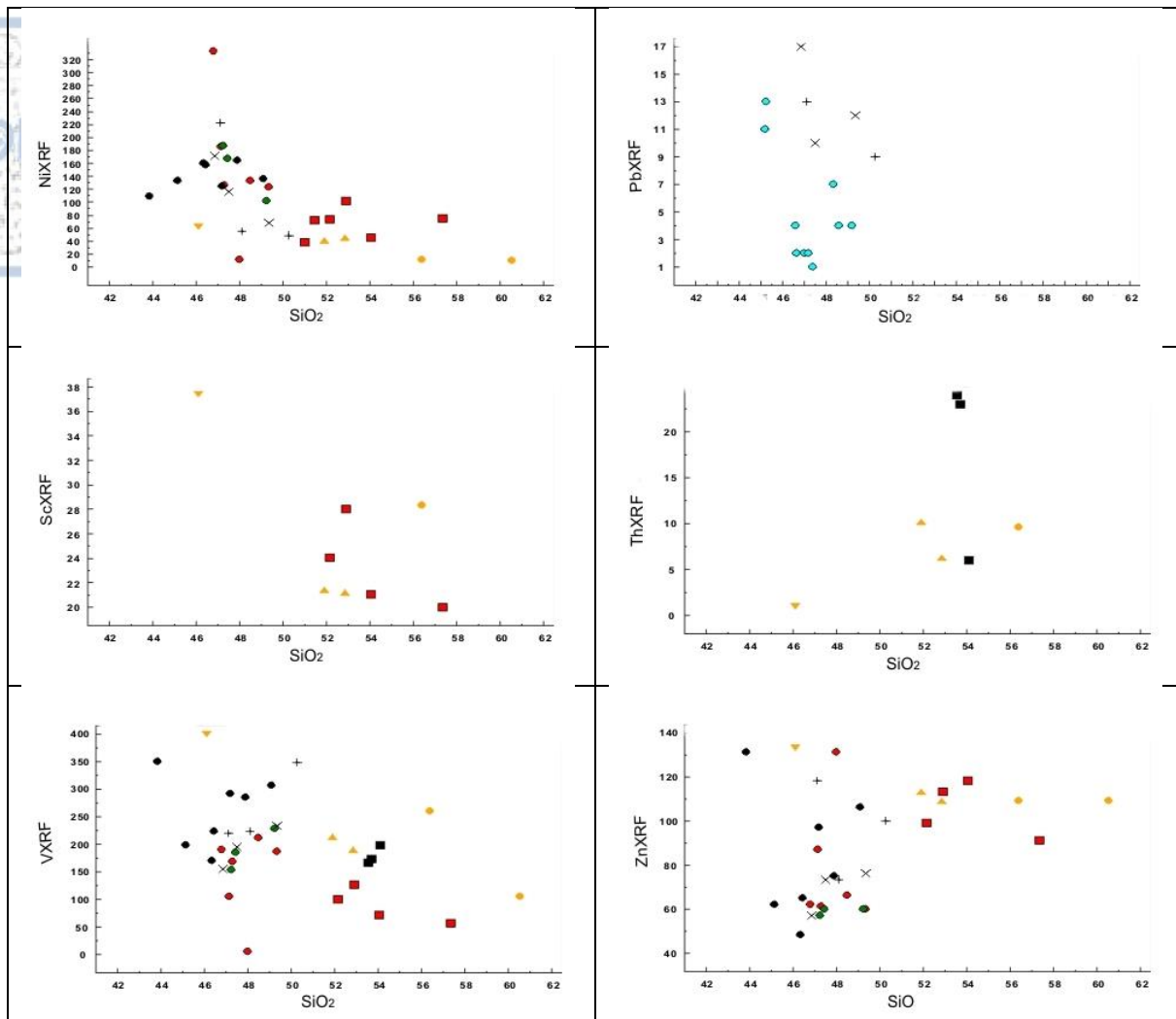
Σχήμα 3.3. Διαγράμματα Harker μεταβολής των ιχνοστοιχείων σε σχέση με το SiO_2 .

Ο συμβολισμός XRF δείχνει ότι χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα αναλύσεων από XRF.

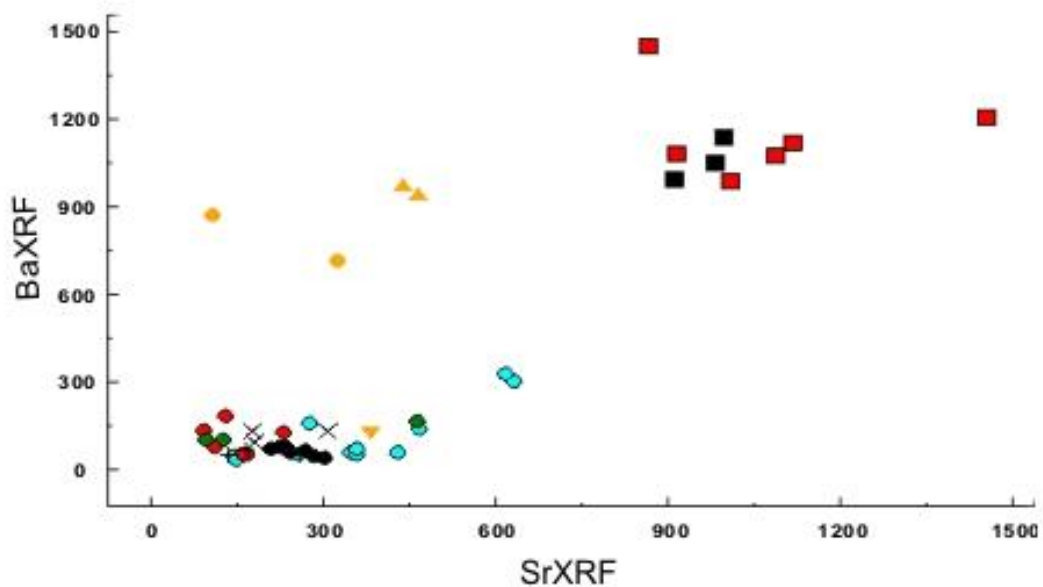
Σύμβολα όπως στο σχήμα 2.1.



Σχήμα 3.3. (Συνέχεια)



Σχήμα 3.3. (Συνέχεια)



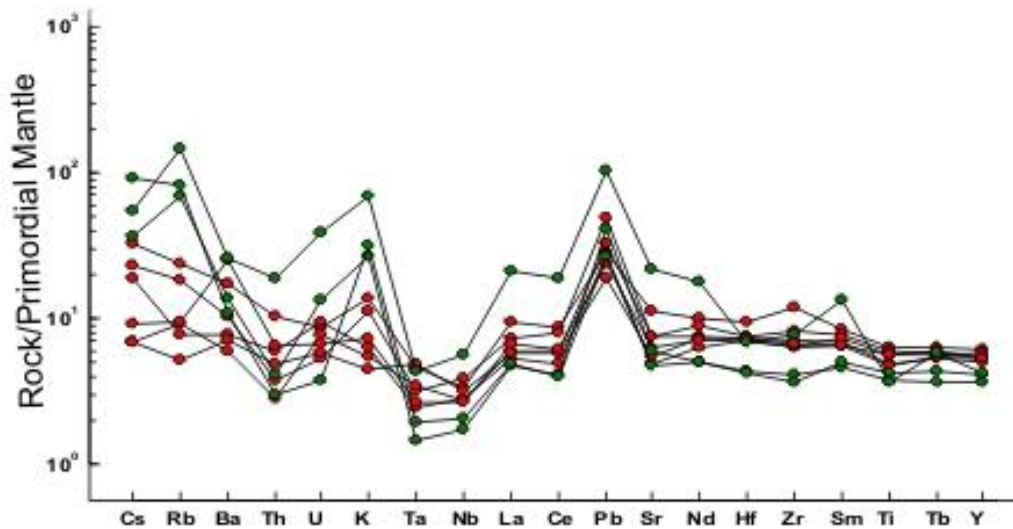
Σχήμα 3.4. Διάγραμμα Harker μεταβολής του Ba σε σχέση με το Sr. Ο συμβολισμός XRF δείχνει ότι χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα αναλύσεων από XRF. Σύμβολα όπως στο σχήμα 2.1.

4. ΠΟΛΥΣΤΟΙΧΕΙΑΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

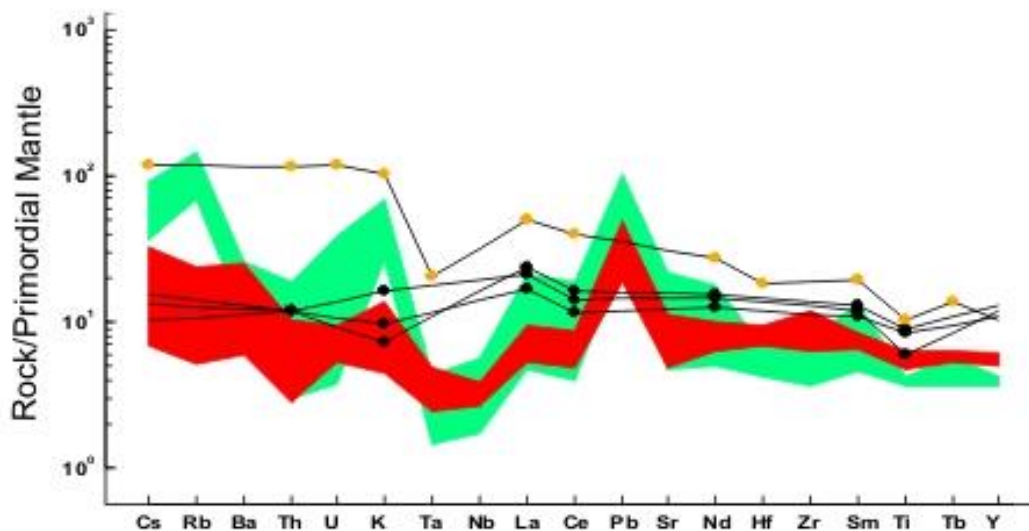
Στο σχήμα 4.1. παρουσιάζεται το αραχνόγραμμα των δολεριτών του ανατολικού Βαρνούντα κανονικοποιημένα με τη σύσταση του πρωταρχικού μανδύα (McDONOUGH et al. 1992). Οι δολερίτες φαίνεται να είναι εμπλουτισμένοι στα LILE στοιχεία. Παρατηρούνται τρεις θετικές ανωμαλίες στα στοιχεία Rb, K και Pb, και τρεις αρνητικές ανωμαλίες στα στοιχεία Th, Ta και Nb που είναι αρκετά μειωμένα. Στο σχήμα 4.2. συγκρίνονται τα αραχνογράμματα των δολεριτών του ανατολικού Βαρνούντα με τρία δείγματα από τους δολερίτες του δυτικού Βαρνούντα (KATERINOPOULOS 2008) και ένα δείγμα από τους δολερίτες της Ολυμπιάδας (PE-PIPER et al. 1993b). Με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία, οι δολερίτες του δυτικού Βαρνούντα μοιάζουν με αυτούς του ανατολικού και πιθανώς έχουν ελαφρώς πιο αυξημένο Ti. Λείπουν όμως αρκετά στοιχεία, γεγονός που καθιστά τη σύγκριση μη ασφαλή. Όσον αφορά στο δείγμα από την Ολυμπιάδα, βασιζόμενοι πάντα στα στοιχεία που υπάρχουν, ξεχωρίζει από τα υπόλοιπα δείγματα έχοντας πάντα πιο ψηλές περιεκτικότητες. Το μόνο κοινό που θα μπορούσε να αναφερθεί είναι το ότι εμφανίζει αρνητικές ανωμαλίες Ti και Ta. Σχηματίζει όμως ένα παράλληλο σχήμα κατανομής που μπορεί να εξηγηθεί δεχόμενου ότι είναι αρκετά διαφοροποιημένο δείγμα.

Στο σχήμα 4.3. συγκρίνονται τα αραχνογράμματα των δολεριτών του ανατολικού Βαρνούντα με δύο από τα βασικότερα δείγματα του πλουτωνίτη του ανατολικού Βαρνούντα (ΚΟΡΩΝΑΙΟΣ 1991). Σύμφωνα με τα διαθέσιμα στοιχεία, τα δείγματα από τον πλουτωνίτη του Βαρνούντα δε μοιάζουν καθόλου με αυτά των δολεριτών του Βαρνούντα, εκτός του ότι εμφανίζουν τις αρνητικές ανωμαλίες στα Ta και Ti.

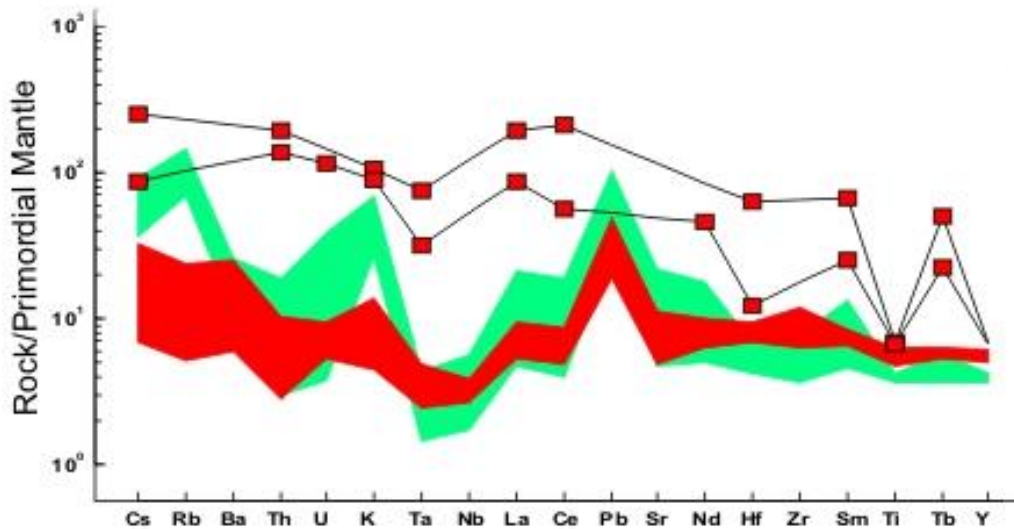
Στο σχήμα 4.4. συγκρίνονται τα αραχνογράμματα των δολεριτών του ανατολικού Βαρνούντα με τρία δείγματα από τους δολερίτες του δυτικού Βαρνούντα (KATERINOPOULOS 2008), ένα δείγμα από τους δολερίτες της Ολυμπιάδας (PE-PIPER et al. 1993b) και τρία δείγματα από τους μεταδιорίτες των Πιερίων (ΚΟΤΟΡΟΥΛΙ et al. 2000). Σύμφωνα με τα διαθέσιμα στοιχεία, οι ομοιότητες και διαφορές των δολεριτών του ανατολικού Βαρνούντα με αυτούς του δυτικού και το δείγμα από την Ολυμπιάδα έχουν αναφερθεί πιο πάνω. Αυτό που προστέθηκε στο σχήμα 4.4. είναι τρία δείγματα από τους μεταδιорίτες των Πιερίων. Αυτοί λοιπόν οι μεταδιорίτες μοιάζουν γενικώς με τους δολερίτες του ανατολικού Βαρνούντα (High Ti).



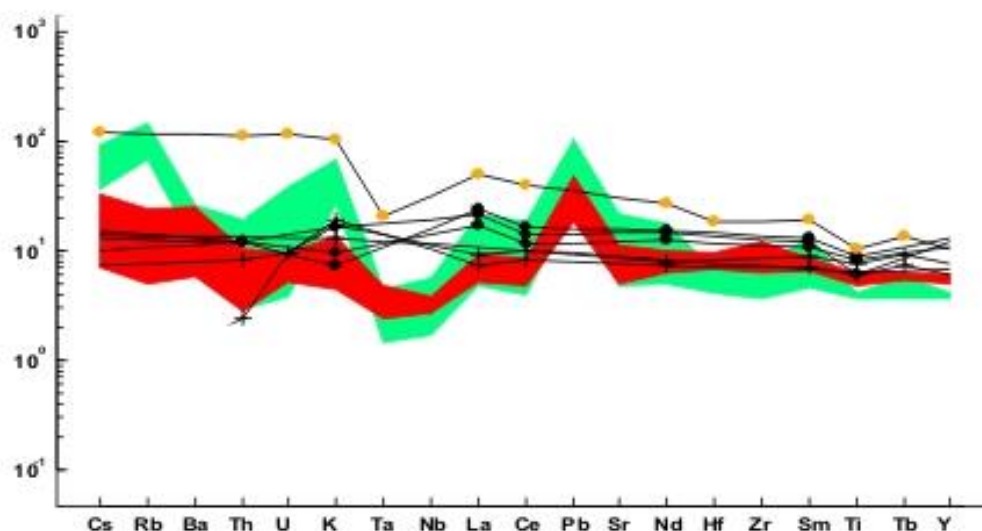
Σχήμα 4.1. Αραχνόγραμμα κανονικοποιημένο με τη σύσταση του πρωταρχικού μανδύα κατά McDONOUGH et al. (1992). Σύμβολα όπως σχήμα 2.1.



Σχήμα 4.2. Αραχνόγραμμα κανονικοποιημένο με τη σύσταση του πρωταρχικού μανδύα κατά McDONOUGH et al. (1992). Μαύρος κύκλος: δολερίτες δυτικού Βαρνούντα, κίτρινος κύκλος: φλεβικά πετρώματα Ολυμπιάδας, πράσινη περιοχή: ανατολικός Βαρνούντας (Low Ti) και κόκκινη περιοχή: ανατολικός Βαρνούντας (High Ti).



Σχήμα 4.3. Αραχνόγραμμα κανονικοποιημένο με τη σύσταση του πρωταρχικού μανδύα κατά McDONOUGH et al. (1992). Κόκκινα τετράγωνα: πλουτωνικά πετρώματα ανατολικού Βαρνούντα, πράσινη περιοχή: ανατολικός Βαρνούντας (Low Ti) και κόκκινη περιοχή: ανατολικός Βαρνούντας (High Ti).



Σχήμα 4.4. Αραχνόγραμμα κανονικοποιημένο με τη σύσταση του πρωταρχικού μανδύα κατά McDONOUGH et al. (1992). Μαύρος κύκλος: δολερίτες δυτικού Βαρνούντα, κίτρινος κύκλος: φλεβικά πετρώματα Ολυμπιάδας, σταυροί: διοριτικά πετρώματα Πιερίων, πράσινη περιοχή: ανατολικός Βαρνούντας (Low Ti) και κόκκινη περιοχή: ανατολικός Βαρνούντας (High Ti).

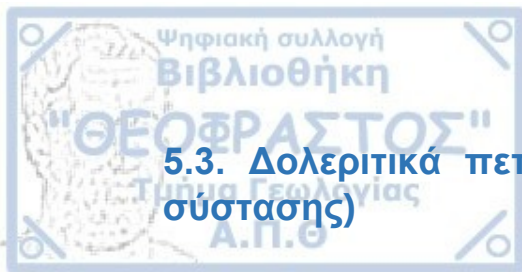
5. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΧΗΜΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

5.1. Συσχέτιση πλουτωνικών πετρωμάτων Βαρνούντα (VAR) με τους διορίτες της Ολυμπιάδας

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα πλουτωνικά πετρώματα του Βαρνούντα μαζί με τους διορίτες της Ολυμπιάδας αποτελούν μια ομάδα πετρωμάτων παλαιότερης ηλικίας. Στα δείγματα που εξετάστηκαν από τις δύο αυτές περιοχές παρατηρούνται αρκετές ομοιότητες. Από το διάγραμμα $K_2O+Na_2O-SiO_2$ (Σχήμα 2.1., LE BAS et al. 1986) φαίνεται καταρχήν ότι τα πετρώματα αυτής της παλαιότερης ομάδας είναι πλουσιότερα σε αλκάλια (K_2O+Na_2O από 5,86 ως 7,78%) από αυτά της νεώτερης ομάδας και γενικώς πλουσιότερα σε SiO_2 (51,05-57,38%). Γενικότερα τα πετρώματα που συγκρίνονται περιέχουν στη σύστασή τους παραπλήσια ποσοστά όλων των κύριων στοιχείων. Ακόμη και όσον αφορά στα ιχνοστοιχεία, τα ποσοστά των ιχνοστοιχείων κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα.

5.2. Συσχέτιση των δολεριτικών πετρωμάτων του Βαρνούντα, δολεριτικών πετρωμάτων των Ναμάτων, διοριτικών πετρωμάτων της Βερδικούσας, φλεβικών πετρωμάτων των Πιερίων και των «αμφιβολιτικών» πετρωμάτων των Πιερίων

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα πετρώματα αυτά συγκροτούν μια ομάδα νεώτερης ηλικίας από την προηγούμενη. Μεταξύ των δολεριτών του Βαρνούντα και των Ναμάτων δεν υπάρχουν αξιοσημείωτες διαφορές. Τα δείγματα που πάρθηκαν από τις δύο περιοχές συγκεντρώνονται σε μια περιοχή, όσον αφορά το SiO_2 , μεταξύ 44,0 και 50,0%. Στην ίδια περιοχή βρίσκεται και το μοναδικό δείγμα από τους διορίτες της Βερδικούσας με το ποσοστό του SiO_2 στο 46,12%, όπως επίσης συγκεντρώνονται και τα φλεβικά δείγματα από την περιοχή των Πιερίων με ποσοστό που κυμαίνεται από 47,0 ως 51,0%. Μαζί με τα προηγούμενα βρίσκονται και τα δείγματα των αμφιβολιτών των Πιερίων με ποσοστό 46,0 ως 50,0%. Όσον αφορά στα κύρια στοιχεία τους, όλα τα δείγματα περιέχουν στη σύστασή τους περίπου ίσα ποσοστά. Για τα ιχνοστοιχεία, σύμφωνα με τα στοιχεία που συλλέχθηκαν, υπάρχουν σαφείς ομοιότητες των πετρωμάτων αφού περιέχουν παραπλήσια ποσοστά ιχνοστοιχείων στη σύστασή τους.



5.3. Δολεριτικά πετρώματα Ολυμπιάδας (τραχυανδεσιτικής σύστασης)

Με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία, το pattern (Σχήμα 4.2., McDONOUGH et al. 1992) του δολερίτη της Ολυμπιάδας μοιάζει με αυτά του δυτικού Βαρνούντα, μόνο που η περιεκτικότητα όλων των στοιχείων είναι αυξημένες. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί επειδή το συγκεκριμένο δείγμα του δολερίτη της Ολυμπιάδας είναι αρκετά διαφοροποιημένο (πλουσιότερο σε SiO_2) σε σχέση με αυτά του δυτικού Βαρνούντα.

5.4. Συσχέτιση πλουτωνικών πετρωμάτων Βαρνούντα (VAR) και διοριτικών πετρωμάτων της Ολυμπιάδας με τα δολεριτικά πετρώματα του Βαρνούντα και των Ναμάτων, τα διοριτικά πετρώματα της Βερδικούσας και τα φλεβικά και αμφιβολιτικά πετρώματα των Πιερίων

Οι δύο ομάδες πετρωμάτων που συγκρίνονται είναι τα μεν παλαιότερα πετρώματα και τα δε νεώτερα που αναφέρθηκαν παραπάνω. Η βασικότερη διαφορά τους βρίσκεται στο ποσοστό του SiO_2 που περιέχουν στη σύστασή τους. Η πρώτη ομάδα έχει υψηλότερο ποσοστό 50,0 με 58,0% σε σχέση με αυτό της δεύτερης 43,0 με 51,0%. Όσον αφορά στα κύρια στοιχεία, στην πρώτη ομάδα τα πετρώματα περιέχουν γενικά περισσότερο Al_2O_3 , K_2O , Na_2O και P_2O_5 . Στη δεύτερη ομάδα τα πετρώματα περιέχουν περισσότερο MgO , CaO και Fe_2O_3 , ενώ τέλος όλα τα πετρώματα περιέχουν σχεδόν ίδια ποσοστά από TiO_2 και MnO .

Όσον αφορά στα ιχνοστοιχεία, σύμφωνα με τα διαθέσιμα στοιχεία, το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στην πρώτη ομάδα αφού τα πετρώματα της περιέχουν στη σύστασή τους περισσότερο Ba, Rb, Sr, Cr, La, Ce, Y, Zn και Zr. Οι δύο ομάδες κυμαίνονται στα ίδια ποσοστά στα στοιχεία Nb, Ni και V. Τέλος δεν υπάρχουν αρκετά διαθέσιμα στοιχεία όσον αφορά στα Nd, Cu, Ga, Pb, Sc και Th.

6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην περιοχή της βόρειας Πελαγονικής ζώνης εξετάστηκαν πλουτωνικά και υποηφαιστειακά πετρώματα. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από:

α) τα πλουτωνικά πετρώματα του Βαρνούντα (δυτικού και ανατολικού) ηλικίας 297.0 ± 25.0 εκ. χρ. (ΚΟΡΩΝΑΙΟΣ 1991).

β) τα δολεριτικά πετρώματα του Βαρνούντα που διεισδύουν τα προηγούμενα πλουτωνικά και συνεπώς είναι νεώτερα. Ωστόσο έχουν χρονολογηθεί με U/Pb σε ζιρκόνια και έδωσαν ηλικία 292.0 ± 4.1 εκ. χρ. (KATERINOPOULOS 2008).

γ) τα δολεριτικά πετρώματα των Ναμάτων που θεωρήθηκαν νεώτερα ή παρόμοιας ηλικίας από τα Περμοτριάδικα ιζήματα τα οποία διεισδύουν (ΣΠΥΡΟΠΟΥΛΟΣ 1992).

δ) διορίτες που είναι παλιότεροι (PE-PIPER et al. 1993b) από τα πλουτωνικά πετρώματα της Ολυμπιάδας και ηλικίας 290.0-295.0 εκ. χρ. (SCHERMER et al. 1989).

ε) δολερίτες από την Ολυμπιάδα (τραχυανδεσπικής σύστασης) που θεωρήθηκαν νεώτεροι από τα πλουτωνικά πετρώματα της Ολυμπιάδας (PE-PIPER et al. 1993b).

στ) διορίτες της Βερδικούσας που είναι νεώτεροι από τα πλουτωνικά πετρώματα της Βερδικούσας που έχουν ηλικία 288.0 ± 7.0 εκ. χρ. (PE-PIPER et al. 1993a).

ζ) φλεβικά πετρώματα των Πιερίων ηλικίας νεώτερης του γρανοδιορίτη των Πιερίων που έχει ηλικία 300.0 εκ. χρ. (YARWOOD and AFTALION 1976).

η) «Αμφιβολιτικές» φλέβες που διακόπτουν το γρανοδιορίτη των Πιερίων και τα Περμοτριάδικα ηφαιστειοϊζηματογενή πετρώματα (NANCE 1977, PLASTIRAS 1979), που σημαίνει ότι είναι νεώτερες αυτών.

Άρα συγκεντρωτικά, και με βάση την ηλικία τους, συγκρίνονται δύο ομάδες πετρωμάτων. Μία παλαιότερη ηλικίας Λιθανθρακοφόρου που περιλαμβάνει τα πλουτωνικά πετρώματα του Βαρνούντα και τους διορίτες της Ολυμπιάδας και μία νεώτερη πιθανώς Περμοτριάδικης ηλικίας που περιλαμβάνει τα δολεριτικά πετρώματα του Βαρνούντα, των Ναμάτων και της Ολυμπιάδας, καθώς και τους διορίτες της Βερδικούσας, τους μεταδιορίτες των Πιερίων και τις «αμφιβολιτικές» φλέβες των Πιερίων. Στον πίνακα 6.1. φαίνονται συνοπτικά τα στοιχεία που διακρίνουν τις ομάδες.

Φαίνεται λοιπόν ότι οι δύο ομάδες έχουν διαφορές σε αρκετά στοιχεία στη σύστασή τους. Στα διαγράμματα μεταβολής προβάλλονται σε διαφορετικές θέσεις και αυτό φαίνεται κυρίως στα κύρια στοιχεία SiO_2 , MgO , CaO , K_2O και στο άθροισμα των $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ και στα ιχνοστοιχεία Ba και Zr και ολιγότερον στο Sr .

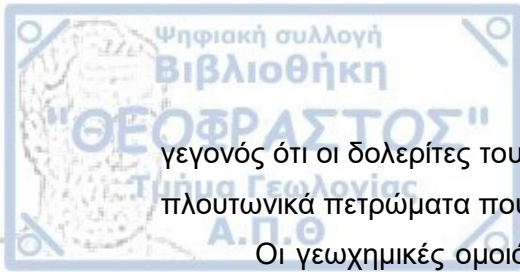
Είναι σημαντικό να τονιστεί, η διαφορά στο χαρακτήρα των πετρωμάτων των δυο ομάδων. Συγκεκριμένα, η ομάδα παλαιότερης ηλικίας (Λιθανθρακοφόρου) περιλαμβάνει υψηλού Κ-ασβεσταλκαλικά έως σωσσονιτικά πετρώματα και η ομάδα νεώτερης, πιθανώς Περμοτριάδικης ηλικίας, περιλαμβάνει θολειίτικα έως ασβεσταλκαλικά πετρώματα.

Η γένεση των πλουτωνικών πετρωμάτων του Βαρνούντα και της Ολυμπιάδας συνδέεται με τήξη εμπλουτισμένου μανδύα (ΚΟΡΩΝΑΙΟΣ 1991, PE-PIPER et al. 1993b). Πιθανότατα ο μαγματισμός συνδέεται με την κατάδυση της Παλαιο-Τηθύος κάτω από το Πελαγονικό ηπειρωτικό τέμαχος.

Τα δολεριτικά πετρώματα που εμφανίζονται στην περιοχή του Βαρνούντα είναι νεώτερα των πλουτωνικών πετρωμάτων του Βαρνούντα αφού διεισδύουν τα τελευταία. Ωστόσο, από τις χρονολογήσεις φαίνεται ότι έχουν την ίδια ηλικία με τα πλουτωνικά πετρώματα (KATERINOPOULOS 2008).

Η ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ (2011) συγκρίνοντας, ως προς τις REE, τα δείγματα των δολεριτών του Βαρνούντα με τα δύο βασικότερα δείγματα των μονζοδιοριτών του Βαρνούντα που έχουν παρόμοια περιεκτικότητα πυριτίου (SiO_2) με τα πρώτα διαπίστωσε μεγάλες διαφορές. Μεγάλες χημικές διαφορές προέκυψαν όμως και από τη σύγκριση των αραχνογραμμάτων (με βάση τις κανονικοποιημένες τιμές του πρωταρχικού μανδύα) των δειγμάτων που προαναφέρθηκαν (Σχ. 4.1.).

Επομένως, φαίνεται 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 σπινελιούχος μανδουακός λερζόλιθος (ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ 2011) ενώ η πηγή του βασικού μάγματος που έδωσε τα πλουτωνικά πετρώματα του Βαρνούντα είναι μανδύας εμπλουτισμένος από ρευστά της καταδυόμενης πλάκας (ΚΟΡΩΝΑΙΟΣ 1991). Θα πρέπει συνεπώς να δεχτούμε ότι στην ίδια περιοχή, την ίδια εποχή, υπάρχουν δυο διαφορετικοί τύποι μανδύα (γόνιμος σπινελιούχος μανδουακός λερζόλιθος και μανδύας εμπλουτισμένος από ρευστά της καταδυόμενης πλάκας) που τήκονται και δίνουν τις δυο ομάδες πετρωμάτων. Η ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ (2011) εξήγησε την αντίθεση αυτή, αναφορικά με τη διαφορετική πηγή προέλευσης, υποστηρίζοντας ότι οι δυο αυτές ομάδες πετρωμάτων (δολερίτες - πλουτωνικά) δεν έχουν ίδια ηλικία αλλά διαφορετική, με τους δολερίτες αρκετά νεώτερους. Στηρίχθηκε μάλιστα στο



γεγονός ότι οι δολερίτες του Βαρνούντα είναι σχετικά απαραμόρφωτοι αντίθετα με τα πλουτωνικά πετρώματα που εμφανίζουν σχιστότητα.

Οι γεωχημικές ομοιότητες που βρέθηκαν μεταξύ των δολεριτών Βαρνούντα, Ναμάτων και Ολυμπιάδας, διοριτών Βερδικούσας, μεταδιοριτών Πιερίων και «αμφιβολιτικών» φλεβών των Πιερίων υπονοούν την κοινή τους γένεση. Επειδή α. τα δολεριτικά πετρώματα των Ναμάτων θεωρήθηκαν νεώτερα ή παρόμοιας ηλικίας από τα Περμοτριάδικα ιζήματα τα οποία διεισδύουν (ΣΠΥΡΟΠΟΥΛΟΣ 1992) και β. οι «αμφιβολιτικές» φλέβες που διακόπτουν το γρανοδιορίτη των Πιερίων διακόπτουν και τα Περμοτριάδικα ηφαιστειοϊζηματογενή πετρώματα (NANCE 1977, PLASTIRAS 1979), μπορούμε να θεωρήσουμε με μεγάλη βεβαιότητα ότι όλα αυτά τα πετρώματα έχουν ηλικία Περμοτριάδική ή/και νεώτερη.

Πίνακας 6.1. Διάκριση των διάφορων ομάδων με βάση τα κύρια στοιχεία και ιχνοστοιχεία καθώς και η γεωλογική σχέση και ηλικία μεταξύ των ομάδων και υποομάδων.

ΟΜΑΔΑ	ΠΕΡΙΟΧΗ/ ΥΠΟΟΜΑΔΑ	ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ/ ΑΡ. ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΣΧΕΣΗ/ ΗΛΙΚΙΑ	ΚΥΡΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ
Φλεβικά βασαλτικής σύστασης (Do Bas)	Δολερίτες Ανατ. Βαρνούντα (Low Ti)	πράσινοι κύκλοι (3)	Νεώτεροι του πλουτωνίτη Βαρνούντα (297±25)	SiO ₂ : 43.9-50.3% K ₂ O+Na ₂ O: 2.2-4.5% MgO: 12-5.8,0% CaO: 12.0-8.7%	Ba: 26,0-324,0 ppm Zr: 52,0-248,0 ppm Sr: 94,0-637,0 ppm
	Δολερίτες Ανατ. Βαρνούντα (High Ti)	κόκκινοι κύκλοι (6)	Νεώτεροι του πλουτωνίτη Βαρνούντα (297±25)		
	Δολερίτες Δυτ. Βαρνούντα	μαύροι κύκλοι (7)	292.0±4.1		
	Δολερίτες Ναμάτων	μπλε κύκλοι (11)	Παρεμβάλλονται μέσα στην Περμοτριάδικη μετακλαστική ενότητα των Ναμάτων		
Φλεβικά τραχυανδεσιτικής σύστασης (Do Tr)	Φλεβικά Ολυμπιάδας	κίτρινοι κύκλοι (2)	Νεώτερα του γρανοδιορίτη Ολυμπιάδας (295-290)	SiO ₂ : 56.4-60.6% K ₂ O+Na ₂ O: 5.2-6.8% MgO: 3.0-3.3% CaO: 3.6-4.0%	Ba: 710,0-886,0 ppm Zr: 221,0-250,0 ppm Sr: 111,0-329,0 ppm
Μεταδιορίτες- Αμφιβολίτες (M Di)	Μεταδιορίτες Πιερίων	σταυροί (3)	Νεώτεροι από τα πλουτωνικά (300) και τα περμοτριάδικα ηφαιστειοϊζηματογενή πετρώματα	SiO ₂ : 43.9-50.3% K ₂ O+Na ₂ O: 2.2-4.5% MgO: 12,0-5.8% CaO: 12.0-8.7%	Ba: 26,0-324,0 ppm Zr: 52,0-248,0 ppm Sr: 94,0-637,0 ppm
	Διορίτης Βερδικούσας	κίτρινο αν. τρίγωνο (1)	Νεώτερος του γρανοδιορίτη Βερδικούσας (288±7)		
	Αμφιβολίτες Πιερίων	X (3)	Νεώτεροι από τα πλουτωνικά (300) και τα περμοτριάδικα ηφαιστειοϊζηματογενή πετρώματα		
Μονζοδιορίτες (MzD)	Μονζοδιορ. Ανατ. Βαρνούντα	κόκκινα τετράγωνα (6)	297±25	SiO ₂ : 51.1-57.4% K ₂ O+Na ₂ O: 5.3-7.8% MgO: 5.8-4.0% CaO: 7.4-5.4%	Ba: 939,0-1445,0 ppm Zr: 114,0-465,0 ppm Sr: 441,0-1457,0 ppm
	Μονζοδιορ. Δυτ. Βαρνούντα	μαύρα τετράγωνα (3)	297±25		
	Διορίτες Ολυμπιάδας	κίτρινα τρίγωνα (2)	295-290		

Ελληνική βιβλιογραφία

- 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 αριθμ. **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.
- ΚΟΡΩΝΑΙΟΣ Α., ΣΟΛΔΑΤΟΣ Τ., ΧΡΙΣΤΟΦΙΔΗΣ Γ. και ΓΕΡΟΥΚΗ Φ. (2000): Συγκριτική γεωχημική μελέτη πλουτωνιτών της βόρειας Πελαγονικής ζώνης, πρακτικά 1^{ου} Συνεδρίου της Επιτροπής Οικονομικής Γεωλογίας, Ορυκτολογίας και Γεωχημείας, 243-260.
- ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ Δ. (1983): Η γεωλογική δομή της βόρειας Πελαγονικής ζώνης και η γεωτεκτονική εξέλιξη των Εσωτερικών Ελληνίδων. Πραγματεία για Υψηγεία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 289σ.
- ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ Μ. (2011): Ορυκτολογία, γεωχημεία και πετρογένεση των δολεριτών του ανατολικού Βαρνούντα. Διπλωματική εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 72σ.
- ΣΠΥΡΟΠΟΥΛΟΣ Ν. (1992): Συμβολή στη μελέτη της γεωλογικής δομής της Πελαγονικής ζώνης στο όρος Άσκιο (Δυτική Μακεδονία). Διδακτορική Διατριβή Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, παράρτημα αριθμ. **19**, 251σ.

Ξένη βιβλιογραφία

- BRUNN J. (1956): Contribution à l'étude géologique du Pinde septentrional et d'une partie de la Macedoine occidentale. Ann. Geol. Pays Hellen., **7**, 1-358.
- DOUTSOS T. (1984): Structural analysis of central Hellenic Nappes. N. Jb. Geol. Palaont. Abh., **168(1)**, 1-22.
- GODFRIAUX I. (1968): Etude geologique de la region de l'Olympe (Grece). Ann. Geol. Pays Hellen, **19**, 1-280.
- 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. (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.
- KILIAS A. and MOUNTRAKIS D. (1987): Zum tektonischen Bau der Zentral-Pelagonischen Zone (Kamvounia-Gebirge, N.Griechenland). *Z. dt. Geol. Ges.*, **183**, 211-237.
- KILIAS A. and MOUNTRAKIS D. (1989): The Pelagonian Nappe, tectonics, metamorphism and magmatism. *Bull. Geol. Soc. Gr.*, **23(1)**, 29-46.
- KOTOPOULI N.C., PE-PIPER G. and PIPER J. W. D. (2000): Petrology and evolution of the Hercynian Pieria Granitoid Complex Thessaly, Greece): paleogeographic and geodynamic Implications, *Lithos*, **50**, 137-152.
- LE BAS M.J., LE MAITRE R.W., STRECKEISEN A. and ZANETTIN B. (1986): A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *J. Petrol.*, **27**, 745-750.
- McDONOUGH W.F., SUN S.S., RINGWOOD A.E., JAGOUTZ E. and 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.
- MIDDLEMOST A.K. (1994): Naming materials in the magma/igneous rock system. *Earth Science Reviews*, **37**, 215-224.
- 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.
- MOUNTRAKIS D. (1982): Etude geologique des terrains metamorphiques de Macèdoine occidentale (Grèce). *Bull. Soc. Gèol. France*, **24**, 697-704.
- MOUNTRAKIS D. (1984): Structural evolution of the Pelagonian zone in northwestern Macedonia, Greece. In: DIXON J.E., ROBERT-SON, A. H. F. (Eds.), *The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean*. Geol. Soc. London. Sp. Publ., **17**, 581-590.
- NANCE R.D. (1977): The Livadi mafic-ultramafic complex and its Metamorphic basement, NE Greece. PhD Thesis (unpubl), University of Cambridge, UK, 170p.
- PECCERILLO A. and TAYLOR S.R. (1976): Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. *Contrib. Miner. Petrol.*, **58**, 63-81.

- PE-PIPER G., DOUTSOS T. and MIJARA A. (1993a): Petrology and regional significance of the Hercynian granitoid rocks of the Olympiada area, northern Thessaly, Greece. *Chem. Erde*, **53**, 21–36.
- PE-PIPER G., DOUTSOS T. and MPORONKAY C. (1993b): Structure, geochemistry and mineralogy of Hercynian granitoid rocks of the Verdikoussa area, northern Thessaly, Greece and their regional significance. *Neues. Jahrb. Mineral*, **165**, 267–296.
- PE-PIPER G. and PIPER D. (2002): The igneous rocks of Greece, the anatomy of an orogeny. *Beitrage. Zur. Regionalen. Geologie. Der. Erde*, **30**, 573p.
- PLASTIRAS B. (1979): Affleurements des filons ultra-acides dans la Système Paléozoïque légèrement métamorphosé de la region de Kastoria (Macédoine occidentale) [in Greek, French abstract]. *Bull. Geol. Soc. Greece*, **14**, 12–22.
- SCHERMER E., LUX D. and BURCHFIEL B. (1989): Age and tectonic significance of metamorphic events in the Mt. Olympos region, Greece. *Bull. Geol. Soc.*, **23**, 13-27.
- VERGELY P. (1976): Chevauchement vers l'Ouest et retrocharriage vers l'Est des ophiolites: deux phases tectoniques au cours du Jurassique superieur – Eorcretace dans les Hellenides internes. *Bull. Soc. Geol. France*, **18**, 231-244.
- VERGELY P. (1984): Tèctonique des ophiolites dans les Hèllenides Internes (deformation, métamorfismes et phenomènes sédimentaires). Consequences sur l'évolution des region Téthysiennes Occidentales. Phd. Thesis. Université de Paris-sud. Orsay, 661p.
- YARWOOD G.A. and AFTALION M. (1976): Field relations and U–Pb geochronology of a granite from the Pelagonian zone of the Hellenides (High Pieria, Greece). *Bull. Soc. Geol. France*, **18**, 259–264.



© Γεώργιος Η. Βογδόπουλος, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας
Ορυκτολογίας-Πετρολογίας- Κοιτασματολογίας, 2018
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.
ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΒΑΣΙΚΩΝ ΔΙΕΙΣΔΥΣΕΩΝ ΣΤΗ ΒΟΡΕΙΑ
ΠΕΛΑΓΟΝΙΚΗ ΖΩΝΗ – *Διπλωματική Εργασία*

© George I. Vogdopoulos, School of Geology, Dept. of Mineralogy-Petrology-
Economic Geology, 2018
All rights reserved.
COMPARATIVE GEOCHEMICAL STYDY OF BASIC INTRUSIONS IN THE
NORTHERN PELAGONIAN ZONE – *Bachelor Thesis*

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

Εικόνα Εξωφύλλου: Μακροσκοπική εικόνα δολερίτη από την περιοχή Εθνικού (δείγμα ΕΤΗ-1) και μικροσκοπική εικόνα του δολερίτη P-1A (15° χλμ. Φλώρινας-Πισοδερίου).