

## ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΓΕΩΧΗΜΕΙΑ ΤΡΙΤΟΓΕΝΩΝ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΑΙΣΥΜΗΣ – ΚΙΡΚΗΣ, ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΡΟΔΟΠΗ

Κ. Σιδέρης\*, Κ. Κατιρτζόγλου\*\*, Α. Χατζηκύρκου\*\*

### Σ Υ Ν Ο Ψ Η

Στην παρούσα εργασία δίδονται στοιχεία για την πετρολογία και την γεωχημεία των ηφαιστειακών πετρωμάτων της τριτογενούς ηφαιστειοϊζηματογενούς λεκάνης Αιούμης - Κίρκης. Τα ηφαιστειακά πετρώματα εμφανίζονται με τη μορφή λαβών και διεισδύσεων σε υποθαλάσσιο περιβάλλον. Έχουν ασβεσταλκαλική σύσταση και κατατάσσονται σε ορογενετικές σειρές τύπου Άνδεων.

### A B S T R A C T

Petrological and geochemical features for the volcanics of Tertiary volcanosedimentary basin of Essimi-Kirki are given in this paper. The volcanic rocks have been found in the form of lavas and intrusions into a subaqueous environment. These calc-alkaline volcanics show the characters of an orogenic geotectonic environment of Andean type.

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ - INTRODUCTION

Κατά την διάρκεια του Τριτογενούς, αναπτύσσεται στο Αιγαίο ηφαιστειακή δραστηριότητα, η οποία παρουσιάζεται με μία χωρο-χρονική εξέλιξη από βορρά προς Νότο. Τα παλαιότερα ηφαιστειακά προϊόντα της δραστηριότητας αυτής απαντώνται στην λεκάνη Αιούμης-Κίρκης και τα νεώτερα στο νότιο Αιγαίο. Ανάλογη εξέλιξη παρατηρείται στη σύσταση των ηφαιστειακών προϊόντων που από πετρώματα ασβεσταλκαλικά μεταβαίνουν σε ψηλά σε Κ ασβεσταλκαλικά και σε αλκαλικά (Kolios et al.).

\* Τομέας Ορυκτολογίας και Πετρογραφίας. Γεωλογικό Τμήμα Πανεπιστημίου Αθηνών.

\*\* ΙΓΜΕ, Φράγκων 1, 546 26 Θεσσαλονίκη.

1980, Fytikas et al. 1984).

Για την ευρύτερη περιοχή της ηφαιστειότητας της Θράκης ο Sideris (1973, 1975) προτείνει ηφαιστειότητα τύπου κορδιλιέρας και υποθέτει βύθιση του ωκεάνιου φλοιού κάτω από την μάζα της Ροδόπης. Οι Papavassiliou and Sideris (1984) προτείνουν για την περιοχή Σαππών-Φερρών, ηφαιστειότητα ανεπτυγμένου ηπειρωτικού περιθωρίου και δέχονται ότι τα γεωχημικά δεδομένα της προέρχονται από μερική τήξη της καταβυθιζόμενης ωκεάνιας πλάκας σε συνδυασμό με φαινόμενα αποχωρισμού ορυκτών φάσεων από το τήγμα. Οι Boccaletti et al. (1974) δέχονται επίσης την καταβύθιση του ωκεάνιου φλοιού της ζώνης Αξιού κάτω από την μάζα της Ροδόπης για την αιτιολόγηση της ηφαιστειότητας και οι Hsü et al. (1977) ασπάζονται την ίδια άποψη. Οι Innocenti et al. (1982) όπως και οι Innocenti et al. (1984) ερμηνεύουν την ηφαιστειότητα της Θράκης στο πλαίσιο της σύγκρουσης των πλακών της Ευρασίας και της Αφρικής.

Η λεκάνη Αισούμης-Κίρκης σχηματίστηκε από βαθειά ρήγματα του υποβάθρου στο Ανώτερο Ηώκαινο (Παπαδόπουλος, 1979, 1980) στην οποία αποτέθηκαν κλαστικά ιζημάτα και ηφαιστειακά προϊόντα. Οι μορφές ανάπτυξης που κυριαρχούν στα ηφαιστειακά προϊόντα είναι λάβες, πυροκλαστικά και διεισδύσεις (Σιδέρης, 1975, Κατιρτζόγλου, 1986).

Στη συνέχεια μελετώνται τα πετρολογικά και γεωχημικά χαρακτηριστικά των ηφαιστειακών προϊόντων της λεκάνης Αισούμης-Κίρκης.

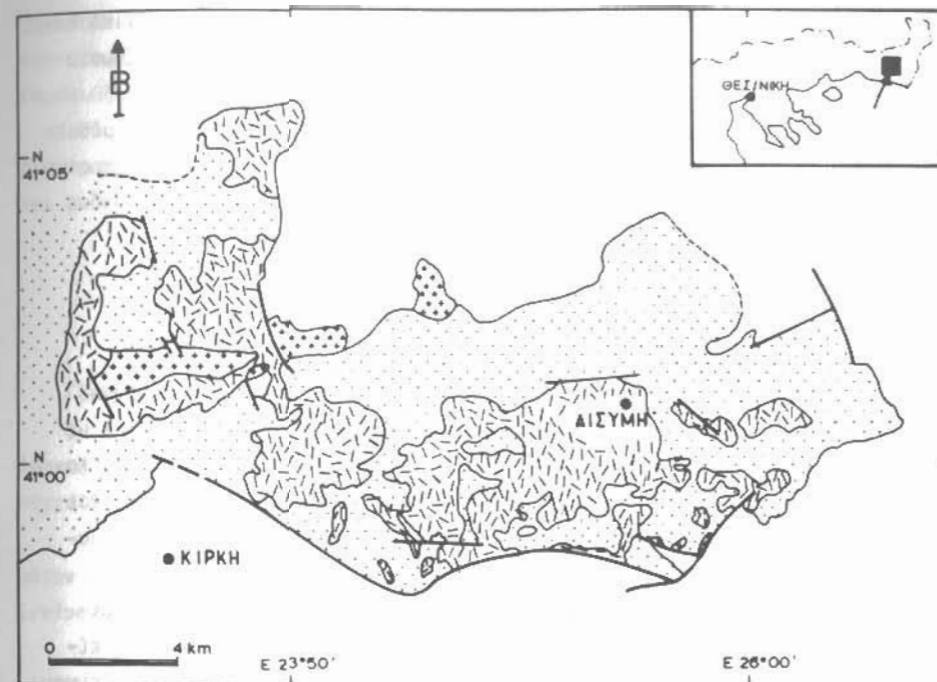
#### ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ - GEOLOGICAL SETTING

Η ιζηματογένεση της λεκάνης Αισούμης-Κίρκης αρχίζει στο Πριαμπόνιο (Παπαδόπουλος, 1980) με την εναπόθεση ενός βασικού λατυποκροκαλοπαγούς, ακολουθούν οι εναλλαγές ψαμιτών-πηλιτών και στη συνέχεια "κλείνει" η λεκάνη με την απόθεση μαργαϊκών και ηφαιστειακών προϊόντων.

Ο μαγματισμός στη λεκάνη Αισούμης - Κίρκης εκδηλώνεται με την παρουσία ηφαιστειογενών και πλουτώνειων πετρωμάτων, τα οποία καταλαμβάνουν το ήμισυ περίπου της επιφάνειας της λεκάνης (Σχ. 1). Τα ηφαιστειογενή πετρώματα επικρατούν σαφώς των πλουτωνείων στο χώρο της λεκάνης.

Τα ηφαιστειογενή πετρώματα εμφανίζονται κυρίως με μορφή λαβών, πυροκλαστικών και διεισδύσεων. Οι διεισδύσεις συνοδεύονται συνήθως από παράγωγες μορφές τους όπως παρείσακτες κοίτες (sills), δόμοι και αποφύσεις. Ενίοτε αυτές παρουσιάζουν τη χαρακτηριστική σφαιροειδή αποσάθρωση και τα βασικότερα μέλη αυτών την πρισματική κατάτμηση.

Η επαφή των διεισδύσεων με τους περιβάλλοντες κλαστικούς σχηματισμούς είναι συνήθως τεκτονισμένη και ενίοτε λόγω της στενής σύμφυσης του ηφαιστεια-



Σχ. 1. Γεωλογικός χάρτης της τριτογενούς ηφαιστειοίζηματογενούς λεκάνης Αισούμης-Κίρκης (Από Κατιρτζόγλου, 1986).

- |  |                                 |
|--|---------------------------------|
| 1. Πλουτώνεια πετρώματα.                     | 2. Ηφαιστειογενή πετρώματα.     |
| 3. Ιζηματογενείς σχηματισμοί του Πριαμπονίου | 4. Προ-Πριαμπόνιοι σχηματισμοί. |

Fig.1. Geological map of Tertiary volcanosedimentary basin of Essimi-Kirki.

- |                                      |                           |
|--------------------------------------|---------------------------|
| 1. Plutonites.                       | 2. Volcanic rocks.        |
| 3. Priambonian sedimentary sequence. | 4. Pre-Priambonian rocks. |

καύ υλικού με το κλαστικό δεν μπορεί να καθορισθεί επακριβώς. Τούτο υποδηλώνει ότι το μάγμα διεϊσδυσσε στους κλαστικούς σχηματισμούς όταν ακόμα αυτοί δεν είχαν υποστεί τις διαγενετικές διεργασίες.

Τα πυροκλαστικά πετρώματα και οι λάβες εναλλάσσονται με τα κλαστικά πετρώματα και κατά πάσα πιθανότητα αποτελούν το "κλείσιμο" της ηφαιστειοϊζηματογενούς λεκάνης.

Οι Innocenti et al. (1984) αποδίδουν ηλικία  $30 \pm 0.8$  m.y. με τη μέθοδο K/Ar σε ανδεσίτη της ίδιας περιοχής.

#### ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΑ - PETROGRAPHY

Οι λάβες, τα πυροκλαστικά και οι διεϊσδύσεις της λεκάνης Αιούμης - Κίρκης είναι αρκετά εξαλλοιωμένα από υδροθερμικά διαλύματα που σχετίζονται με τις εκεί θειούχες μεταλλοφόρες συγκεντρώσεις (Σιδέρης, 1975, Αρίκας, 1981, Κατιρτζόγλου, 1986) και χαρακτηρίζονται σαν βασαλτικοί ανδεσίτες, ανδεσίτες και δακίτες. Ο ιστός αυτών είναι πορφυριτικός η δε υφή συμπαγής. Ενίοτε στους πυρήνες των διεϊσδύσεων παρατηρείται ολοκρυσταλλικός - πορφυριτικός ιστός.

**Βασαλτικοί ανδεσίτες:** Στις λεπτοτομές η θεμελιώδης μάζα κυμαίνεται από 45-60%, είναι μικροκρυσταλλική και υποκρυσταλλική. Οι μικρόλιθοι είναι κυρίως άστριοι και σπανιότερα πυρόξενοι και γυαλί. Οι φαινοκρύσταλλοι είναι πλαγιόκλαστα και πυρόξενοι. Τα πλαγιόκλαστα είναι λαβραδορικής σύστασης (55-65% An), με ποσοστό συμμετοχής από 20-40% και παρουσιάζουν κατά κανόνα ζωνώδη ανάπτυξη. Οι πυρόξενοι αντιπροσωπεύονται από αυγίτη με ποσοστό συμμετοχής από 4-10% και σπανιότερα υπεροθενή με ποσοστό συμμετοχής  $< 3\%$ . Η συμμετοχή των αδιαφανών ορυκτών (μαγνητίτης, αιματίτης) δεν υπερβαίνει το 2%.

**Ανδεσίτες:** Η θεμελιώδης μάζα κυμαίνεται από 45-63%, είναι κρυσταλλική-λεπτοκρυσταλλική και μερικώς υαλώδης. Αποτελείται από γυαλί και δοκίδες πλαγιόκλαστων. Οι φαινοκρύσταλλοι αποτελούνται από πλαγιόκλαστα, κλινοορθοπυρόξενους, αμφιβόλους και βιοτίτη. Το πλαγιόκλαστο είναι ανδεσινικής έως λαβραδορικής σύστασης (44-57% An), με ποσοστό συμμετοχής από 25-40% και παρουσιάζει πολυδυμίες και ζωνώδη ανάπτυξη. Οι πυρόξενοι αντιπροσωπεύονται από αυγίτη με ποσοστό συμμετοχής  $< 9\%$  και σπανιότερα υπεροθενή με ποσοστό συμμετοχής  $< 2\%$ . Οι αμφίβολοι αντιπροσωπεύονται από κεροστίλβες με ποσοστό συμμετοχής από 3-7%, η δε συμμετοχή του βιοτίτη δεν ξεπερνά το 2%. Η συμμετοχή των αδιαφανών ορυκτών (μαγνητίτης) δεν ξεπερνά το 1%.

**Δακίτες:** Η θεμελιώδης μάζα κυμαίνεται από 60-75%, είναι μικροκρυσταλλική χαλαζιοαστριούχος. Οι φαινοκρύσταλλοι αποτελούνται από πλαγιόκλαστα, βιο-

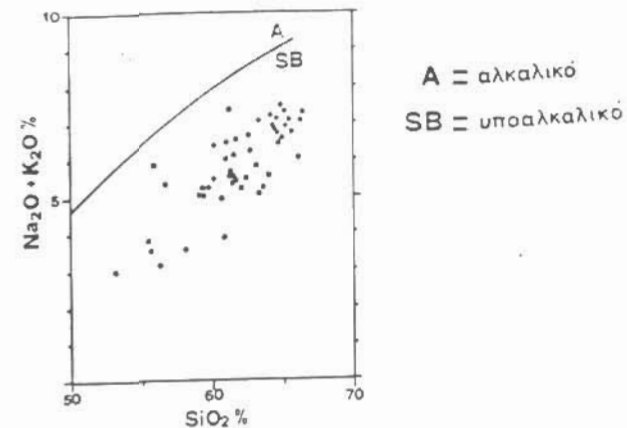
τίτες, αμφίβολοι, πυρόξενοι και χαλαζία. Το πλαγιόκλαστο είναι ανδεσινικής έως λαβραδορικής σύστασης (45-63% An), με ποσοστό συμμετοχής από 15-25% και παρουσιάζει πολυδυμίες και ζωνώδη ανάπτυξη. Τα φεμικά ορυκτά αντιπροσωπεύονται από αμφιβόλους (κεροστίλβες έως τσερμακίτικες κεροστίλβες), βιοτίτες και πυρόξενους που δεν υπερβαίνουν το 10%, τέλος η συμμετοχή του χαλαζία δεν υπερβαίνει το 1,5%. Επουσιώδη ορυκτά είναι ο απατίτης, ζιρκόνιο και αδιαφανή ορυκτά.

Τα πετρώματα (πυρήνες διεϊσδύσεων) με ολοκρυσταλλικό - πορφυροειδή ιστό διαφοροποιούνται ορυκτολογικά από τους δακίτες από την παρουσία του ορθοκλάστου και ανδεσίτη (30-45% An).

#### ΓΕΩΧΗΜΕΙΑ - GEOCHEMISTRY

Η μελέτη των γεωχημικών χαρακτηριστικών στηρίχθηκε στις χημικές αναλύσεις οξειδίων και ιχνοστοιχείων (πίν. 1) των ηφαιστειακών πετρωμάτων της ηφαιστειοϊζηματογενούς λεκάνης Αιούμης - Κίρκης (Σχ.1).

Για τον προσδιορισμό του πετροχημικού χαρακτήρα των ηφαιστειακών πετρωμάτων χρησιμοποιήθηκε το διάγραμμα  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  σε σχέση με το  $\text{SiO}_2$  (Σχ.2) των Irvine and Baragar (1971).



Σχ. 2. Διάγραμμα  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ , σύμφωνα με τους Irvine and Baragar (1971).  
Fig.2. Plotting of the analysed samples into the field SB of the  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$  discrimination diagram after Irvine and Baragar (1971).

Σύμφωνα μ'αυτό τα δείγματα της περιοχής καταλαμβάνουν το υποαλκαλικό πεδίο.

Πίν. 1. Μέση χημική σύσταση ηφαιστειακών πετρωμάτων της περιοχής Αισούμης-Κίρκης.  
Table 1. Average chemical analyses of volcanic rocks from Essimi-Kirki area.

	Βασ. Ανδεσίτες (n=4)		Ανδεσίτες (n=20)		Δακίτες (n=16)	
	%	σ.α.	σ.α.	σ.α.	σ.α.	σ.α.
SiO <sub>2</sub>	55.17	1.09	60.14	1.29	65.29	0.92
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.28	0.26	17.91	0.41	16.24	0.88
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.07	0.05	0.77	0.01	0.55	0.06
FeO	7.13	0.32	5.16	0.09	3.71	0.43
MnO	0.17	0.01	0.12	0.02	0.06	0.03
MgO	4.33	0.35	2.60	0.09	1.78	0.57
CaO	7.85	1.66	5.37	0.33	3.91	0.26
Na <sub>2</sub> O	2.57	1.00	3.05	0.20	3.26	0.25
K <sub>2</sub> O	1.48	0.75	2.17	0.13	3.55	0.31
TiO <sub>2</sub>	0.63	0.11	0.31	0.10	0.40	0.04
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.05	0.01	0.05	0.01	0.03	0.02
CO <sub>2</sub>	1.31	0.34	2.37	1.07	1.23	1.07

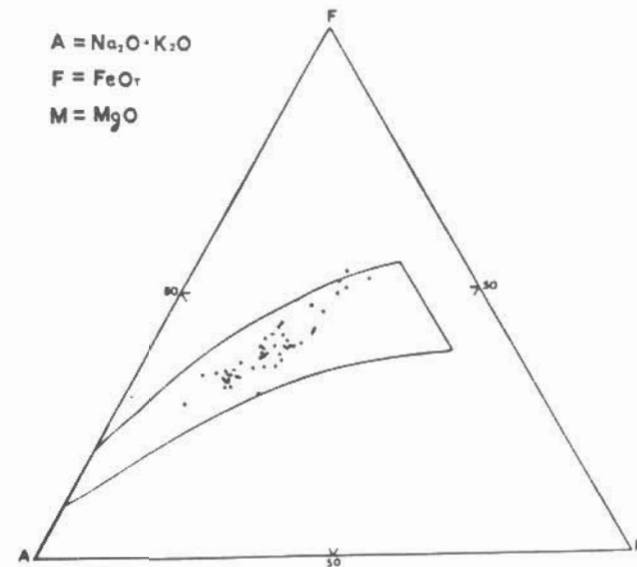
  

PPM	ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ					
Rb	45	24.8	67	20.2	84	59.2
Sr	488	50.1	409	52.7	297	28.3
Zr	138	14.3	127	10.6	165	14.3

σ.α: σταθερή απόκλιση

Η προβολή των δειγμάτων στο διάγραμμα AFM (Σχ. 3) του Ringwood (1974) δείχνει μία τάση έλλειψης εμπλουτισμού σε Fe, που είναι τυπικός χαρακτήρας ασβεσταλκαλικών πετρωμάτων.

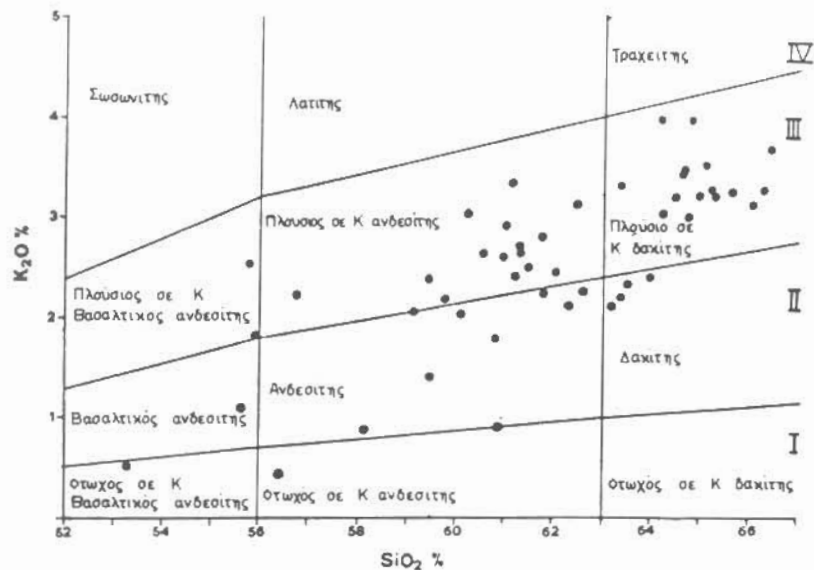
Για την ταξινόμηση ηφαιστειακών πετρωμάτων ενός τόξου οι πιο εκφραστικοί χημικοί παράμετροι είναι το SiO<sub>2</sub> και το K<sub>2</sub>O. Γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιήθηκε το διάγραμμα (Σχ. 4) που προτάθηκε από τους Peccerillo & Taylor (1976) σε ηφαιστειακά πετρώματα ορογενετικών σειρών. Απ' αυτό φαίνεται ο ασβεσταλκαλικός χαρακτήρας των ηφαιστειακών πετρωμάτων που ταξινομούνται σε δακίτες, ανδεσίτες και βασαλτικούς ανδεσίτες.



Σχ. 3. Προβολή των ηφαιστειακών πετρωμάτων στο διάγραμμα AFM του Ringwood (1974). Το διαγραφόμενο πεδίο στο εσωτερικό του διαγράμματος είναι εκείνο των ασβεσταλκαλικών πετρωμάτων.  
Fig.3. Plotting of the under study samples into the calc-alkaline field of the AFM diagram after Ringwood (1974).

Για τον προσδιορισμό του γεωτεκτονικού περιβάλλοντος των ηφαιστειακών πετρωμάτων χρησιμοποιήθηκαν οι αναλύσεις των οξειδίων και των ιχνοστοιχείων των πιο βασικών πετρωμάτων (SiO<sub>2</sub> < 58.0%).

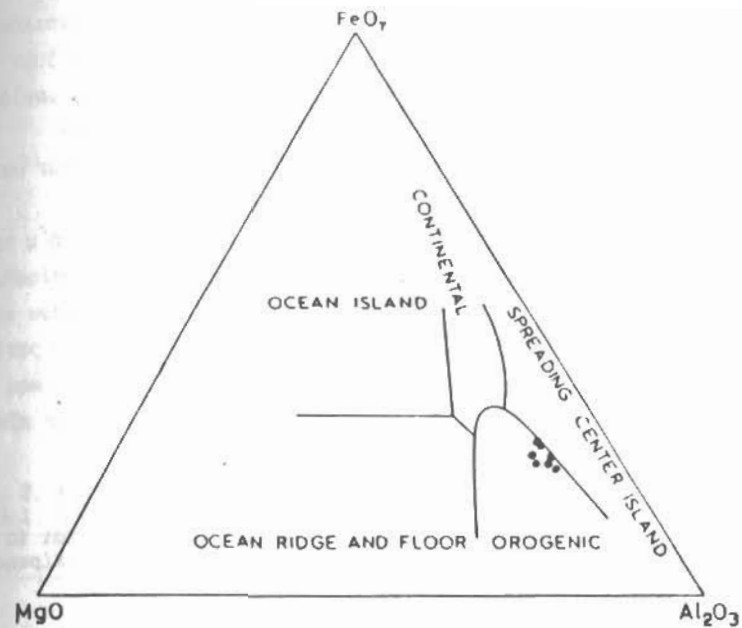
Από την προβολή των οξειδίων στο τριαδικό διάγραμμα (Σχ. 5) των Pearce et al. (1977) προκύπτει ότι τα ηφαιστειακά πετρώματα της περιοχής ανήκουν σε ορογενετικό γεωτεκτονικό περιβάλλον.



Σχ. 4. Διάγραμμα  $K_2O - SiO_2$  των ηφαιστειακών πετρωμάτων Αισύμης-Κίρκης. Η ταξινόμηση και η ονοματολογία είναι αυτές που προτάθηκαν από τους Peccerillo and Taylor (1976).

I= θολειτική, II= ασβεσταλκαλική, III= ασβεσταλκαλική πλούσια σε Κ και IV= σωσωνιτική σειρά.

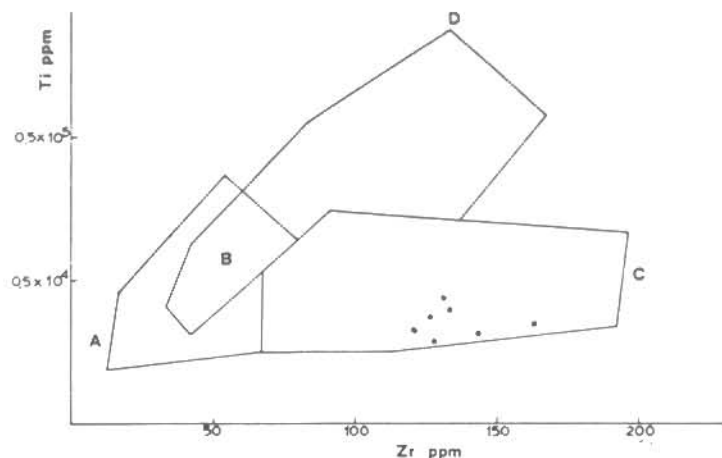
Fig.4. Plotting of the under study samples into the fields II and III of the  $K_2O - SiO_2$  discrimination diagram after Peccerillo and Taylor (1976). Series: tholeiite (I), calc-alkaline (II), high-K Calc-alkaline (III), shoshonite (IV).



Σχ. 5. Τριαδικό διάγραμμα  $MgO - FeO^t - Al_2O_3$  των Pearce et al. (1977) που δείχνει το γεωτεκτονικό χαρακτήρα των ηφαιστειακών πετρωμάτων της λεκάνης Αισύμης - Κίρκης.

Fig.5. Relationship between major elements chemistry and tectonic environment of volcanic rocks from Essimi-Kirki basin.

Ενδεικτικά χρησιμοποιήθηκε το διάγραμμα Ti-Zr (Σχ. 6) των Pearce and Cann (1977) με προβολή των βασικών μελών των ηφαιστειτών της λεκάνης Αισύμης - Κίρκης. Αυτά προβάλλονται στο πεδίο των ασβεσταλκαλικών βασάλτων.



Σχ. 6. Διάγραμμα Ti-Zr των Pearce and Cann (1973), στο οποίο προβάλλονται τα πιο βασικά μέλη των ηφαιστειακών πετρωμάτων της λεκάνης Αισούμης-Κίρκης. A+B = θολεΐτες με χαμηλή περιεκτικότητα σε K. B+C = ασβεσταλκαλικοί βασάλτες. D+B = βασάλτες ωκεάνειου πυθμένα.

Fig.6. Plotting of the more basic members from Essimi-Kirki basin volcanics into the C field of Ti-Zr discrimination diagram after Pearce and Cann (1977).

A+B = Low-potassium tholeiites  
B+C = Calc-alkali basalts  
D+B = Ocean floor basalts

#### ΣΥΖΗΤΗΣΗ - DISCUSSION

Κατά το Ανώτερο Ηώκαινο στο χώρο της Ροδόπης σχηματίζονται ενδοηπειρωτικές λεκάνες που συνδέονται με επελακυστική τεκτονική (Κατιριτζόγλου, 1986). Μια απ' αυτές είναι αυτή της Αισούμης-Κίρκης στην οποία αναπτύσσεται έντονη ηφαιστειακή δραστηριότητα κατά την διάρκεια της ιζηματογένεσης.

Τα κύρια πετρογραφικά χαρακτηριστικά των ηφαιστειακών πετρωμάτων της λεκάνης Αισούμης-Κίρκης είναι η άφθονη παρουσία ανδεσιτών και δακτιτών με πορφυριτικό ιστό και με φαινοκρυστάλλους πλαγιοκλάστων, πυροξένων, αμφιβόλων και βιοτιτών. Σημειώνεται η κυρίαρχη παρουσία στους ανδεσίτες της περιοχής φαινο-

κρυστάλλων πλαγιοκλάστου λαβραδορικής κύρια σύστασης, του αυγίτη και της κρο-στίλβης, αλλά και η παρουσία του βιοτίτη σε αντιστοιχεία με τα στοιχεία που δίνουν οι Ewart (1976) και Bailey (1981) για ορογενετικούς ανδεσίτες. Η απουσία μάλιστα του ολιβίνη από τα πετρώματα της περιοχής προσεγγίζει την ορυκτολογική τους σύσταση προς ανδεσιτικές περιοχές, όπου η παρουσία του ορυκτού αυτού δεν είναι συχνή, της Δυτικής, Β και Ν. Αμερικής.

Η πετροχημική εξέταση των ηφαιστειακών πετρωμάτων έδειξε ένα χαρακτήρα του τύπου των ασβεσταλκαλικών πετρωμάτων που ανήκουν σε ορογενετικά τόξα.

Από τη σύγκριση των χημικών παραμέτρων (Πίν. 2) των πετρωμάτων της λεκάνης μ' αυτές άλλων περιοχών προκύπτουν ομοιότητες με εκείνες του ηπειρωτικού περιθωρίου των Άνδεων. Άλλωστε η συμμετοχή του Zr στα πετρώματα της περιοχής είναι υψηλή και κυμαίνεται μεταξύ των τιμών που δίνει ο Bailey (1981) για ανδεσίτες ηπειρωτικών περιθωρίων μεγάλου πάχους με 181 ppm και μικρού πάχους 117 ppm. Τα πετρογραφικά και πετροχημικά αυτά χαρακτηριστικά επιτρέπουν την ένταξη των ηφαιστειακών πετρωμάτων Αισούμης-Κίρκης στον τύπο Άνδεων.

Πίν. 2. Χημικές παράμετροι ασβεσταλκαλικών πετρωμάτων.  
Table 2. Chemical data of calc-alkaline rocks.

	τύπος			
	νησιώτικου τόξου*	τύπος Άνδεων*	τόξο Αιγαίου**	Αισούμη-Κίρκη***
SiO <sub>2</sub> %				
από - μέχρι	50 - 66	56 - 70	53 - 69	53 - 66
FeO <sup>t</sup> /MgO	< 2.0	> 2.0	1.67	2.09
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	< 0.8	0.6 - 1.1	0.55	0.76
Ιχνοστοιχεία				
σε πετρώματα				
με SiO <sub>2</sub> από				
59-61%				
Rb ppm	30	80	91	78
Sr ppm	385	700	300	414
K/Rb	430	230	258	258

\*: Στοιχεία από τους Jakes and Wite (1972).

\*\* : Στοιχεία από τους Innocenti et al. (1981).

\*\*\*: Μέση τιμή 37 αναλύσεων.

Από τα πετρογραφικά και πετροχημικά χαρακτηριστικά των ηφαιστειακών πετρωμάτων της περιοχής Αισούμης-Κίρκης που συζητήθηκαν στην μελέτη αυτή σε συνδυασμό με τα προαναφερόμενα στην εισαγωγή δεδομένα της βιβλιογραφίας, προκύπτουν σαν συμπεράσματα ότι:

α. τα ηφαιστειακά αυτά πετρώματα ανήκουν στον τύπο των Άνδεων δηλαδή σε γεωλογικό περιβάλλον ανεπτυγμένου ηπειρωτικού περιθωρίου.

β. η δημιουργία τους τοποθετείται στα πλαίσια λειτουργίας ενός καταστροφικού ρήγματος καταβυθιζόμενης λιθοσφαιρικής πλάκας στο χώρο ενεργού ηπειρωτικού περιθωρίου.

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - REFERENCES

- ARIKAS, K. (1981). Subvulcanisch-hydrothermale Mo-Cu-Zn-Pb-vererzungen, S.E. Rhodopen, Nordgriechenland: Petrographie und Geochemie. *TMPM Tschermaks Min. Mitt.* 28, 189-205.
- BAILEY, C. (1981). Geochemical criteria for a refined tectonic discrimination of orogenic andesites. *Chem. Geol.* 32, 139-154.
- BOCCALETI, M. MANETTI, P. AND PECCERILLO, A. (1974). The Balcanides as an instance of back-arc thrust belt: Possible relation with the Hellenides. *Geol. Soc. Am. Bull.* 85, 1077-1084.
- EWART, A. (1976). Mineralogy and chemistry of modern orogenic lavas - Some statistics and implications. *Earth Planet. Sci. Lett.* 31, 417-432.
- FYTIKAS, M. INNOCENTI, F. MANETTI, P. MAZZUOLI, R. PECCERILLO, A. and VILLARI, L. (1984). Tertiary to Quaternary evolution of the volcanism in the Aegean region. *Journ. Geol. Soc., Spec. Publ.* No 17, 687-699.
- HSŪ, K. NACHEV, I. and VUCHEV, T. (1977). Geologic evolution of Bulgaria in light of Plate Tectonics. *Tectonophysics*, 40, 245-256.
- INNOCENTI, F. MANETTI, P. MAZZUOLI, R. and VILLARI, L. (1982). Vulcanismo nelle zone di collisione continentale: L'esempio del Mediterraneo orientale. *Soc. Ital. Min. Petr.* 38, 3, 1027-1041.
- INNOCENTI, F. KOLLIOS, N. MANETTI, P. MAZZUOLI, R. PECCERILLO, A. RITA, F. AND VILLARI, L. (1984). Evolution and geodynamic significance of the Tertiary orogenic volcanism in Northeastern Greece. *Bull. Volcanol.*, Vol. 47-1, 25-37.
- INNOCENTI, F. MANETTI, P. PECCERILLO, A. and POLI, G. (1981). South Aegean Volcanic arc: Geochemical variations and geotectonic implications. *Bull. Volcanol.* Vol. 44-3, 377-391.
- IRVINE, T.N. and BARAGAR, W.R.A. (1971). A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Can. J. Earth Sci.*, 8, 523-548.
- JAKES, P. AND WHITE, A.J.R. (1972). Major and trace element abundances in volcanic rocks of orogenic areas. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 83, 29-39.
- ΚΑΤΙΡΤΖΟΓΛΟΥ, Κ. (1986). Μεταλογένεση της τριτογενούς θειούχου μεταλλοφορίας περιοχής Αισούμης Νομού Έβρου. Αθήνα, Πανεπ. Αθην., διδακτ. διατρ., 176.
- KOLLIOS, N. INNOCENTI, F. MANETTI, P. PECCERILLO, A. and GIULIANI, O. (1980). The Pliocene volcanism of the Voras Mts (Central Macedonia, Greece). *Bull. Volcanol.* 43-3, p. 553-568.
- MAKRIS, J. (1977). Geophysical Investigations of the Hellenides *Hamb. Geophys. Einzelchr.*, 34, 1-124.
- ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ, Π. (1979). Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος, Φ. Αλεξανδρούπολης. Αθήνα, Ι.Γ.Μ.Ε., αδημοσίευτος.
- ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ, Π. (1980). Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος, Φ. Φέρρες - Πέπλος κλίμ. 1:50.000. Αθήνα, Ι.Γ.Μ.Ε.

- PAPAVASSILIOU, C. and SIDERIS, C. (1984). Geochemistry and mineralogy of Tertiary lavas of Sappai - Ferrai area (W. Thrace), Greece. Implication on their origin. *I.G.M.E. Geoch. Res.* 4, 1-21.
- PEARCE, J. A. and CANN, J. R. (1973). Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 19, 290-300.
- PEARCE, J. A. GORMAN, B.E. and BIRKETT, T.C. (1977). The relationship between major element chemistry and tectonic environment of basic and intermediate volcanic rocks. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 36, 121-132.
- RECCERILLO, A. and TAYLOR, S.R. (1976). Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contr. Min. Petr.*, 58, 63-81.
- RINGWOOD, A. E. (1974). The petrological evolution of island arc system. *J. Geol. Soc. London*, 130, 183-204.
- SIDERIS, C. (1973). Petrochemistry of some volcanic rocks from W. Thrace. Tectonic and Petrochemical relations with volcanics of Greece. *Chemie der Erde*, 32, 3, 174-195.
- ΣΙΔΕΡΗΣ, Κ. (1975). Αναζητήσεις ιδιαίτερων χαρακτήρων εις πλουτωνίτας και ηφαιστί-τας ανατολικής ζώνης Ροδόπης, σχέσεις ηφαιστειότητας, πλουτωνίου δράσεως. Αθήνα, Πανεπ. Αθην., Διατρ. επί υψηλεσία, 108.