

ΠΑΛΑΙΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΤΟΥ ΟΦΙΟΛΙΘΙΚΟΥ ΣΥΜΠΛΕΓΜΑΤΟΣ ΤΗΣ
ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ

Γ. ΦΙΛΙΠΠΟΠΟΥΛΟΣ (M.Sc.)

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ

ΣΥΝΟΨΗ

Στο οφιολιθικό σύμπλεγμα της Χαλκιδικής διολέχθηκαν προσεκτικό 18 περιοχές δειγματοληψίας, κυρίως περιδοτιτών και γόββρων Ιουραϊκής έως Μεσο-Τριοδικής ηλικίας, έτσι ώστε να δώσουν οξιόπιστο αποτελέσμοτο. Η διεύθυνση και ένταση της παραμένουσος μαγνήτισης μετρήθηκαν μετά απο απομαγνητίσεις, κυρίως σε εναλλοσσάμενα πεδία, και εντοπίστηκε, η αρχική διεύθυνση της παραμένουσος μαγνήτισης ($D=75^{\circ}$, $I=47^{\circ}B$).

Αν και μερικά δείγματα επέδειξαν πολύπλοκες συνιστώσες μαγνήτισης, και ευρύτερη τεκτονική κίνηση είναι εμφανής, αξίζει να σημειωθεί ότι συγκρίνοντας τον εξογόμενο πόλο με τον αντίστοιχο πόλο Ιουραϊκού και Τριοδικού για την Ευρωπαϊκή και Αφρικανική πολική τροχιά περιπλάνησης, η υπολογισθείσο πολική θέση βρίσκεται πλησιέστερα στην Ευρωπαϊκή. Αν και η όλη εικόνα είναι ακόμα ασφής, τα αποτελέσμοτο ενισχύουν την υπό έρευνη ακόμη άποψη, ότι η περιοχή αυτή μαζί με την Βορειοδυτική Βουλγαρία και τμήμα Γιουγκοσλαβίας και Ουγγαρίας παρουσιάζει μάλλον Ευρωποϊκή παρά Αφρικανική συγγένειο.

Προέλευση και εξέλιξη των οφιολίθων Χαλκιδικής

Μετοξύ των σχηματισμών της ζώνης του Αξιού, το οφιολιθικό σύμπλεγμα αξίζει ιδιαίτερη προσοχή και μελέτη, επειδή η

προέλευση και εξέλιξη του είναι προβληματική και ασαφής.

Οι οφιδόλιθοι της Χαλκιδικής θεωρούνται πετρώματα που προήλθον από ωκεανική διάνοιξη ενός Μεσοζωϊκού ωκεανού στην σημερινή θέση της ζώνης του Αξιού.

Σύμφωνα με τον Zimmermann (1976) αυτός ο ωκεανός κατατρώφει κατά την διάρκεια του Μεσοζωϊκού από μία "διπλή" καταβύθιση του ωκεάνιου φλοιού κάτω από την Σερβομακεδονική και Πελοποννησιακή μάζα.

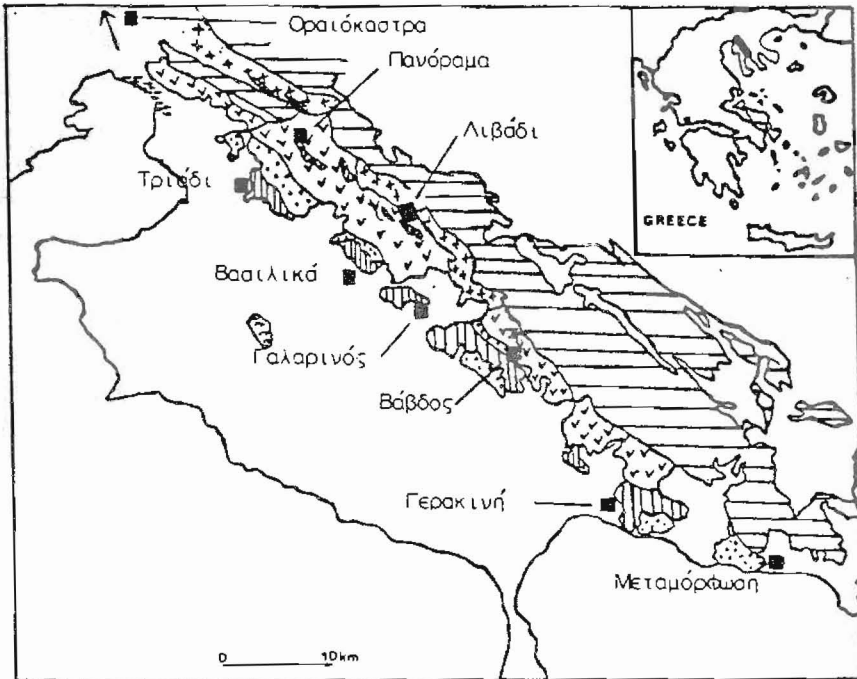
Αν και οι οφιδόλιθοι θεωρούνται ολλόχθονες, επειδή βρίσκονται επωθημένοι στο κρυσταλλικό υπόβαστρο, οι Makris και Mollat (1977) κατέληξαν ότι οι οφιδόλιθοι τοποθετούνται σε μια διάνοιξη της κρυσταλλικής μάζας μεταξύ Πελοποννησιακής και Σερβομακεδονικής.







Ο Dimitrijevic (1972, 1973) θεώρησε την Σερβομακεδονική μαζί με την μάζα της Ροδόπης, σαν ένα ενεργό περιθώριο μικροπλόκος, κατά το Α. Παλαιοζωϊκό, και μπροστά από αυτό υπάρχει μία ζώνη καταβύθισης και εξοφάνισης του ωκεάνιου φλοιού.

Κατά την διάρκεια του Μεσοζωϊκού το ηπειρωτικό περιθώριο έλαβε την σημερινή του μορφή. Σύμφωνα με τον ίδιο συγγραφέα ο ωκεανός που δημιούργησε τους οφιδόλιθους, προήλθε από μία ποθητική ωκεάνειο λεκάνη που άνοιξε από διαφορές στην ταχύτητα του Πελοποννησιακού περιθωρίου κατά την διάρκεια της μετακίνησης του προς την Σερβομακεδονική μάζα. Έτσι αντιπροσωπεύει ένα είδος περιθωριακής θάλασσας με ωκεάνειο φλοιό. Το κλείσιμο του ωκεανού συνέβει κατά την διάρκεια του Μ-Α. Ιουρασικού και οδήγησε στην "εκτίναξη" των οφιδολιθικών πετρωμάτων που τώρα σχηματίζουν το ανατολικό περιθώριο της ζώνης του Αξιού.

Δειγματοληψία

Η δειγματοληψία των πετρωμάτων (σχ.1) έγινε σε τρεις φάσεις. Η πρώτη ήταν διερευνητική και ελήφθησαν μεγάλα δείγματα (hand samples) από γάββρους, περιδοίτες, γρανίτες, γρανοδιορίτες και σχιστόλιθους Ιουρασικής ηλικίας. Κατά κανόνα χρησιμοποιήθηκε ηλιοκάς πρoσανατολισμός και όταν δεν υπήρχε ήλιος,



-  Γάββροι
-  Περιοιτίτες
-  Γνεύσιοι
-  Φυλλίτες με ασβεστολιθικές ενδιαστρώσεις
-  Φυλλίτες, Ασβεστόλιθοι, Κερατόλιθοι
-  Γρονίτες

Σχίμα 1: Χάρτης περιοχών δειγματοληψίας και πετρολογικών σχηματισμών.

ο προσανατολισμός γίνεται με μαγνητική πυξίδα.

Στην προκαταρκτική μαγνητική έρευνα των δειγμάτων οπε- δείχθει ότι, εκτός των περιδοτιτών και των γαββρών, όλο το άλλο πετρώματα είχαν πολύ χαμηλή μαγνήτιση για να μπορούν να μετρηθούν.

Στην δεύτερη φάση δειγματοληψίας μόνο γόββροι και περι- δοτίτες συλλέχθηκαν εφ' όσον το βόρος της έρευνας περιωρίζεται μόνο σ' αυτό τα πετρώματα.

Χρησιμοποιήθηκε ένα φορητό τρυπάνι και εφαρμόστηκε μόνο ηλιακός προσανατολισμός για μεγαλύτερη ακρίβεια.

Η τρίτη και τελευταία φάση έγινε για να δώσει πρόσθετες πληροφορίες για μία περιδοτιτική εμφάνιση ονατολικά της Θεσσα- λονίκης που είχε δώσει δείγματα με εξαιρετικό μεγάλη μαγνήτιση.

Συνολικά συλλέχθηκαν 250 δείγματα από 16 περιοχές, τελι- κά όμως στην επεξεργασία πήραν μέρος 93 δείγματα από 9 περιοχές που θεωρήθηκαν πιο αξιόπιστα (σχ.1 Πίνακος 1).

Παροσοτικό μαγνητόμετρο

Τα δείγματα μετρήθηκαν με ένα παροσοτικό μαγνητόμετρο Αγγλικής κατοοκευής. Το μαγνητικό του σύστημα αποτελείται απο τρεις "εν σειρά" ορθογώνιους μαγνήτες με τον μέσο μαγνήτη δι- πλάσιας και αντίθετης μαγνητικής ροής (δύο οριζοντιοειδή συστήματα το ένα επάνω απο το άλλο). Η υψηλή οριζοντιοειδής του συστήματος επιτυγχάνεται με την χρήση δύο ενδιόμεσων μικρότερων μαγνητών που τοποθετούνται ο ένας παράλληλα και ο άλλος κάθετο στους άξονες των μαγνητών.

Τα Παροσοτικά μαγνητόμετρα δεν έχει ανάγκη απο αντι- στοθμιστικά πηνία. Η "έξάλειψη" της επαγόμενης μαγνήτισης γί- νεται, απλά, με διαδοχικές αντίθετες μετρήσεις στον εκάστοτε άξονα έτσι ώστε, αφού η φορά της επαγόμενης μαγνήτισης μένει σταθερή, η παρομένουσα μαγνήτιση να είναι προσθετική την πρώτη φορά και αφαιρετική την δεύτερη.

Η βαθμολόγηση του οργάνου γίνεται με ένα σιάνταρ δείγμα (μαγνήτης) γνωστής μαγνητικής ροής.

Συνολικά για κάθε μέτρηση δείγματος αποιτούνται 6 με- τρήσεις που αντιστοιχούν στις συνιστώσες X, -X, Y, -Y, Z, -Z.

Απομαγνήτιση με εναλλασσόμενα ρεύμα και θερμική

Στα δείγματα των πετρωμάτων εφαρμόστηκε η τυπική διαδικασία απομαγνήτισης έτσι ώστε να εξαλειφθούν οι "παρασιτικές" μαγνητίσεις και να εντοπιστεί η αρχική μαγνήτιση η οποία παλύ λίγο θα είχε επηρεαστεί από τις μεταβολές του μαγνητικού πεδίου .

Σε όλα τα δείγματα εφαρμόστηκε απομαγνήτιση σε εναλλασσόμενο πεδίο με βήματα της τάξης των 5mT, μέσα σε μηδενικό πεδίο που εδημιαυργείτο από τρία ζεύγη πηνίων Helmholtz.

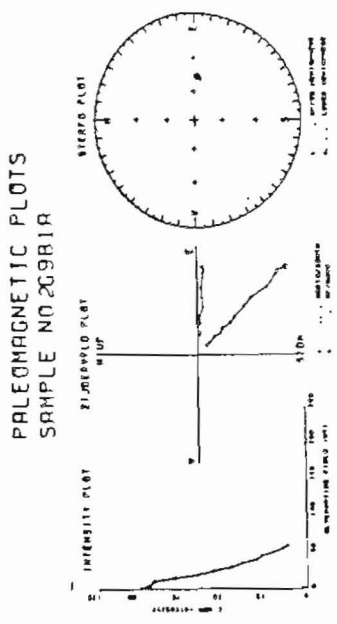
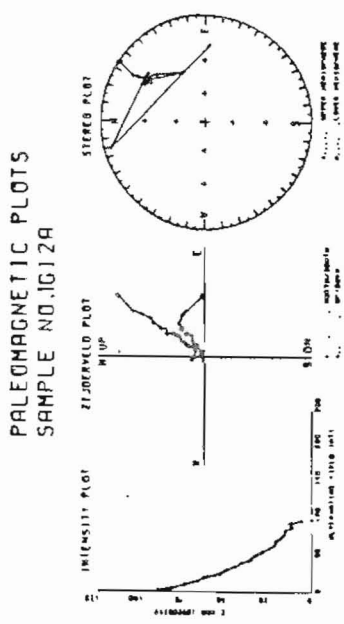
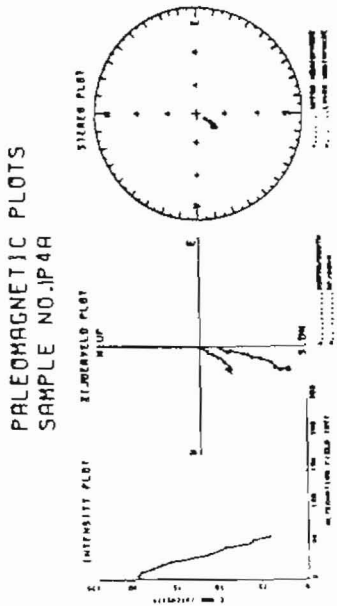
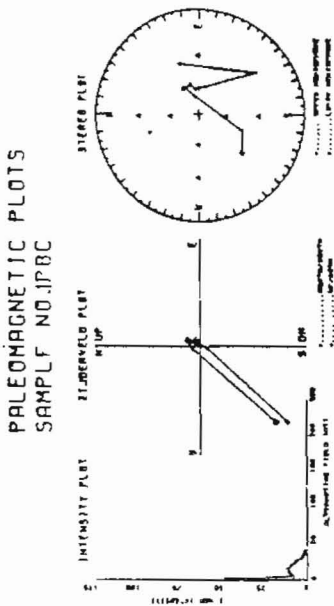
Για την θερμική απομαγνήτιση χρησιμοποιήθηκε η "προοδευτική μέθοδος" και εφαρμόστηκε ενδεικτικά σε ορισμένα δείγματα για να αποκλειστεί η περίπτωση οπαυχίας της εναλλασσόμενης απομαγνήτισης σε ορισμένες ανθεκτικές δευτερεύουσες μαγνητικές συνιστώσες. Επίσης χρησιμοποιήθηκε για την βελτίωση των αποτελεσμάτων των περισσότερο ασθενών μαγνητικώς δειγμάτων χωρίς όμως αξιολογώμενα αποτελέσματα.

Η συμπεριφορά των πετρωμάτων στον μαγνητικά καθαρισμό ήταν διαφορετική. Οι περιδοσίτες, στις περισσότερες περιπτώσεις, εμφάνισαν μεγάλη απώλεια της αρχικής μαγνήτισης, από ότι οι γάββροι, ακόμα και με την εφαρμογή μικρών πεδίων της τάξης των 5-10mT.

Στο σχήμα 2 φαίνεται καθαρά η διαφορά της καμπύλης ελάττωσης της παραμένουσας μαγνήτισης συναρτήσει του απομαγνητίζοντος πεδίου. Επίσης οι γάββροι παρουσιάζουν καλύτερη συγκέντρωση διευθύνσεων χωρίς να παρατηρείται πολλές φορές, η ύπαρξη δευτερευουσών συνιστωσών παραμένουσας μαγνήτισης.

Ανάλυση των δεδομένων

Στην ανάλυση, οι περιοχές δειγματοληψίας θεωρήθηκαν σαν οι κύριες μονάδες δεδομένων και όχι τα δείγματα. Δείγματα από μία περιοχή είναι συνήθως το ένα κοντά στο άλλο και υπόκεινται σε κοινά λάθος προσανατολισμού. Όταν επιτευχθεί μια λογική συμφωνία των δειγμάτων, τότε λαμβάνεται από αυτά η μέση τιμή έντασης και διεύθυνσης της παραμένουσας μαγνήτισης. Το ονόμαζο



Σχήμα 2: Διογράμματα συμπεριφοράς στην απομαγνήτιση τεσσάρων (4) δειγμάτων (γύδρωσι: 1G12A, 2G9B1A και περιδοί(ες): 1P8C, 1P4A).

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 1

Πολυμορφνιτικό σπειρόμοιο πριν και μετά την ομοιωτική

Περιοχή	Δείγματα	Αριθμός Δειγμάτων	D*	I*	D _h	I _h	K	R	σ ₉₅	Πολικό Πλάτος	Πολικό Μήκος
Οροτόκοιτρο	1G7	3	12.2	-51.5	34.5	55	65.9	2.9	15.3	12.1 N	214.8
	1G8	2	34.7	34.3	13.4	27.4	17.5	1.6	30.3	64.5 N	239.7
	1P7	3	13.5	4.3	131.4	47.2	129.6	2.9	10.8	11.9 S	65.5
Γειόδι	2P9	6	112.6	27.7	119.5	13.0	14.6	5.6	18	17 S	87.5
	2G8A	4	82.2	43.5	83.2	43.8	84.3	3.9	10	21.2 N	96.9
αγορινός	1G4	3	84.7	37.1	63.8	16.7	109.2	2.9	11.8	17.6 N	101
	2G9	6	60	63.7	65.2	60.1	50.8	5.9	9.4	37.4 N	101.7
Πουόροιο	2P8	7	246	-26	245.8	60	125.4	6.9	5.4	41.3 S	269.7
	1P8	3	219.7	37	48.7	-56.2	46.1	2.9	18.3	0.6 N	166
εξίδος	1G10	3	107	-55.9	110.8	-53.7	8.8	2.7	44	36.1 S	130
	1P4	3	186	J.4	181.5	2.1	49.9	2.9	17.6	48.2 S	20.7
Βοστανικό Λιβάδι	1P4	3	225.3	68.7	221.1	60.8	63.2	2.9	15.6	0.3 N	353.9
	2P4	5	8.2	61.2	8.1	58.6	148.9	4.9	6.2	83.4 N	120
Γεορακινή	2P6	4	182.3	41.8	148.6	13.3	6.2	3.5	39.8	12.7 N	39
	2G2	4	254.1	-57.2	272.6	-76.9	4.2	3.2	50.5	35 S	234.1
Λιβάδι	1G12	3	29.3	-2.9	28.2	-27.1	21.2	2.9	8.4	31.3 N	170.3
	3P1	3	11	1.5	12.8	4.4	184.7	2.9	9	49.9 N	182.9
Γεορακινή	3P2	3	350.6	68.5	13.7	76.4	93	2.9	12.8	64.9 N	37.2
	3P3	3	95.1	50.3	77.2	67.2	121	2.9	11.2	36.9 N	74.5
Λιβάδι	2G1	4	105.5	21.7	73.7	15.3	39	3.9	14	17.4 N	118
	2P2	4	144.6	6.4	141.1	0	20.1	3.8	28.2	32.2 S	70.1
Λιβάδι	2P3	4	182.4	-4.1	140.9	-6.4	87.5	3.9	9.8	38.4 S	76
	2G5	4	318.9	-69.3	308	77.2	19.1	3.8	21.5	22.9 S	223.9
Λιβάδι	2G6	6	30	66	60	65.3	9.9	5.4	22.2	47.1 N	83

D* = Αρχική Απόκλιση

I* = Αρχική Έγκλιση

D_h = Μέση απόκλιση μετά την ομοιωτική

I_h = Μέση έγκλιση μετά την ομοιωτική

K, R = Παράμετροι ακριβείας του Fisher

σ₉₅ = Κύκλος εμπιστοσύνης για μέση πολυμορφνιτική διεύθυνση

γίνεται για την τελική εκτίμηση που αφορά το υπό έρευνα γεωλογικό σχηματισμό.

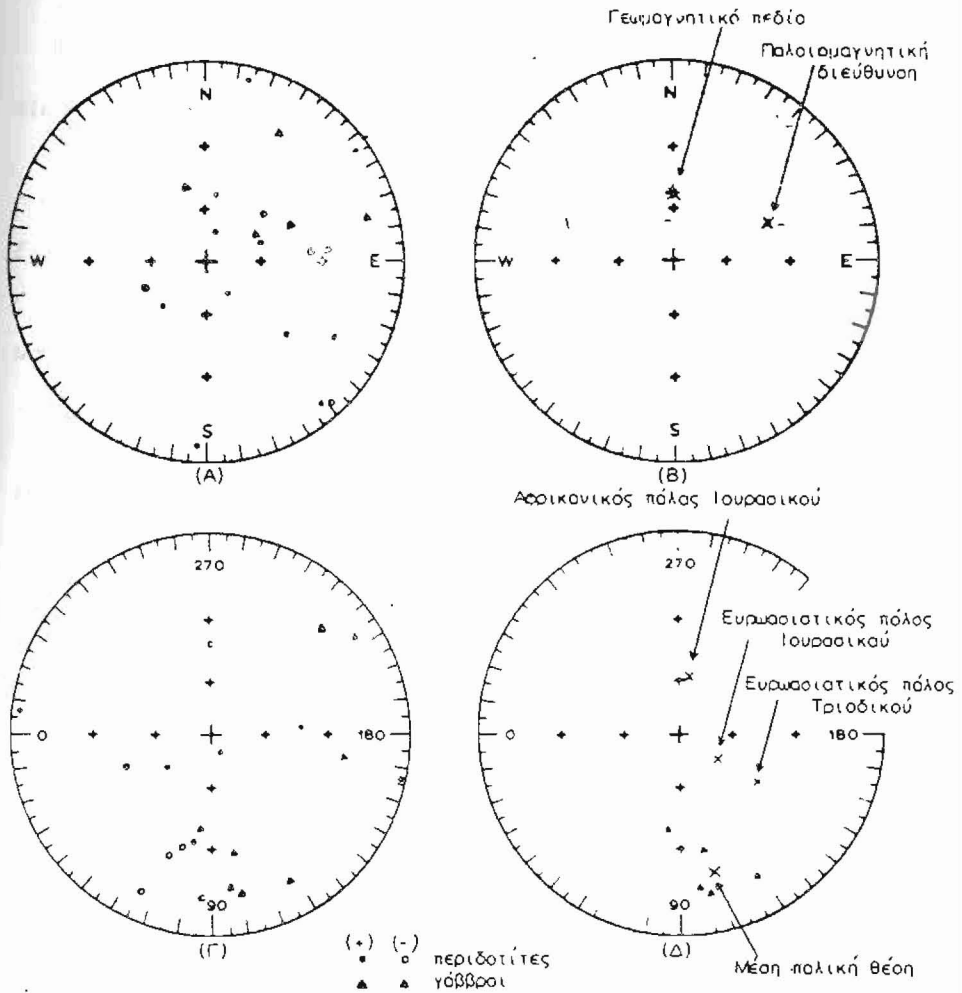
Η πλειονότητα των δειγμάτων δίνει κανονικές μαγνητίσεις και ικανοποιητικές σταθερές του Fisher (1953). Η σταθερά k κυμαίνεται μεταξύ 6,2 και 184,7 και η α_{95} (semi angle of cone of 95 per cent confidence for mean direction) μεταξύ $6,2^\circ$ και $39,8^\circ$ (Πίνακας 1). Τα δείγματα με αναστραμμένη μαγνήτιση έδωσαν τιμές k μεταξύ 4,2 ως 212 και α_{95} μεταξύ $5,4^\circ$ έως $50,5^\circ$.

Ορισμένα από τα δείγματα επέδειξαν οριακές τιμές σταθερών Fisher όπως το 2G2, 1G10, 2P6, 1G8. Κατά κανόνα δείγματα με $k < 3$ ή $\alpha_{95} \geq 50^\circ$ απορίφθηκαν. Τα παραπάνω δείγματα δεν πήραν μέρος στην τελική επεξεργασία.

Εξετάζοντας τα δείγματα από πετρολογική άποψη βλέπουμε ότι αν και οι περιδοτίτες έχουν καλή κατανομή μαγνητικών διευθύνσεων σε κάθε ανεξάρτητο δείγμα, η μέση κατανομή των περιοχών παρουσιάζεται έντονα διασκορπισμένη (σχ.3Α). Αντίθετο οι γάββροι παρουσιάζουν εμφανή τάση συγκέντρωσης των μαγνητικών διευθύνσεων ($\alpha_{95} = 14^\circ$) με μέση απόκλιση $D = 75^\circ$ και έγκλιση $I = 44^\circ N$. (σχ.3B).

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι Pucher, Bannert and Fromp (1973) και η H.B.Turnell (1987) σε έρευνα τους σε Ιουρασικά ηφαιστειακά πετρώματα της Αργολίδας εντόπισαν μαγνήτιση με διεύθυνση $D = 82^\circ$ και $I = 20^\circ N$.

Θεωρώντας ότι η επιφάνεια της γης παρέμεινε σταθερή και ότι ο μαγνητικός πόλος έχει περιπλανηθεί κατά το παρελθόν, για κάθε παλαιομαγνητική διεύθυνση υπολογίστηκε ο αντίστοιχος γεωμαγνητικός πόλος (Πίνακας 1) (σχ.3Γ). Αρχικώς, οι αναστραμμένοι πόλοι των 2G2 και 2G5 έχουν αναστραφεί σε κανονικούς και θεωρούμε τον κανονικό πόλο του 1G7 σαν πιθανώς αναστραμμένο επειδή η έγκλιση του είναι "ρηχή" για να μπορεί να αποδειχθεί με ακρίβεια η πολικότητά του. Και σ' αυτή τη περίπτωση οι γάββροι δίνουν μια πιο συγκεντρωμένη εικόνα με μέση πολικότητα $80^\circ E$ και $30^\circ N$. Χωρίς την αναστροφή των παραπάνω πόλων και λαμβάνοντας υπ' όψη μόνο τους γάββρους εντοπίζουμε τη μέση πολική θέση σε $103^\circ E$ και $27^\circ N$, που θεωρείται και η πιο αντιπροσωπευτική (σχ.3Δ).



Σχημο 3: Στερεογραφικές προβολές διευθύνσεων και πόλων.

Α): Παραμένουσες μαγνητικές διευθύνσεις για κάθε περιοχή.

Β): Μέση παλαιομαγνητική διεύθυνση και διεύθυνση γεωμαγνητικού πεδίου.

Γ): Πολικές θέσεις για κάθε παλαιομαγνητική διεύθυνση.

Δ): Σύγκριση μέσης πολικής θέσης (γάββροι) με τις πολικές θέσεις Ιουραϊκού και Τριτοδικού για την Ευρωασιατική και Αφρικανική τροχιά περ. πλόνισης.

Συμπεράσματα

Αν και μερικά δείγματα επέδειξαν πολύπλοκες συνιστώσες μαγνήτισης και υπάρχει ένδειξη γενικώτερης τεκτονικής κίνησης, συγκρίνοντας την εξαγόμενη μέση πολική θέση με τον Ισουρασικό ή Τριοδικό πόλο, για την Ευρωπαϊκή και Αφρικανική τροχιά περιπλόνησης, αξίζει να σημειωθεί ότι η πολική θέση βρίσκεται πλησιέστερα στην Ευρωπαϊκή τροχιά (Σχ.3Δ) και έχει υποστεί δεξιόστροφη περιστροφή της τάξης των 50° . Η H.B.Turnell (1987) εντόπισε μεν σχετική κίνηση της τάξης των 70° σε ηφιοστειακά πετρώματα της ίδιας ηλικίας στην Αργολίδα, αλλά οποιαδήποτε προσπάθεια συσχέτισης, λόγω απόστασης και διαφορετικής γεωλογικής ιστορίας, θα ήταν ακόμα πρόωρη.

Σύμφωνα με την E. Marton (1978-1982), παλαιομαγνητικές έρευνες υποστηρίζουν ότι αν και η Σαρδηνία, η Χερσόνησος της Ιστρία στη Γιουγκοσλαβία, τα όρη Bukk και Tzansdanubian στην Ουγγαρία, τμήμα των δυτικών Κορποθίων στην Τσεχοσλοβακία, χαρακτηρίζονται από περιστραμένους "Αφρικανικούς" πόλους, η ανατολική περιοχή, η οποία περιέχει και την υπό έρευνα περιοχή, δεν προσδιωρίστηκε με ακρίβεια.

Παλιοπόλοι γνωστοί έως τώρα από αυτό το ανατολικό τμήμα όπως το όρη Mecsek and Villany στην Ουγγαρία, τα όρη Paruk στην Γιουγκοσλαβία και την νοτιοδυτική Βουλγαρία, είναι όμοιοι προς τους πόλους της ίδιας ηλικίας από σταθερή Ευρωπαϊκή πλάκα. Πάντως το όλο θέμα παραμένει ακόμα σκοτεινό.

Αν και πιστεύουμε ότι η παραπάνω θεωρία χρειάζεται ακόμα επισταμμένα και συστηματική έρευνα, νομίζουμε ότι τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται σ' αυτή τη μελέτη ενισχύουν την άποψη ότι αυτή η περιοχή επιδεικνύει περισσότερο συγγένεια προς την σταθερή Ευρωπαϊκή πλάκα.

Βιβλιογραφία

- Dimitrijevic, M.D. (1972): Hercynian metamorphism in the axial part of the Balkan Peninsula, 4: Aegaeis - Symposium, Hannover; and Deutsche geol. Gesell., v.123, p.329-335.
- Dimitrijevic, M.D. (1973): Olistostrome melange in the Yugoslavian Dinarides and Late Mesozoic plate tectonics. J. Geol., vol. 81, No.3, p.328 -340.
- Fisher R.A. (1953): Dispersion on a sphere. Proc. Roy. London, A 217, 295 - 305.
- Makris, J. and Moller, L. (1977): Geophysical studies of the Chalkidiki Ophiolites and their Tectonic implications. Institute of Geological and Mineral Exploration, Greece.
- Marton, E. and Marton, P. (1981): Mesozoic paleomagnetism of the Transdanubian Central mountains and its tectonic implications. Tectonophysics, vol.72, No 1-2, p.129-140.
- Marton, E. (1982): Late Jurassic/Early Cretaceous magnetic stratigraphy from the Sumeg Section, Hungary. Earth planet. Sci. Lett., vol. 57, No.1, p. 182 - 190.
- Turnell, H.B. 1987. Mesozoic evolution of Greek microplates from paleomagnetic measurements. Tectonophysics, 155, 307-316.
- Zimmerman, J. and Rose, J. (1976): Structural evolution of the Vardar root zone, northern Greece. Geol. Soc. of Am. Bull., 87, 1547 - 1550.
- Παπονικολάου Δ. (1986): Γεωλογία Ελλάδας, Αθήνα 240ρ.