

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

ΙΩΑΝΝΙΔΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΦΟΙΤΗΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΟΣ

ΑΡΧΑΙΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΕ ΚΛΙΒΑΝΟΥΣ ΤΟΥ ΠΟΛΥΜΥΛΟΥ (KOZANH)

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2010

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης



ΑΡΧΑΙΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΕ ΚΛΙΒΑΝΟΥΣ ΤΟΥ ΠΟΛΥΜΥΛΟΥ (KOZANH)

Υποβλήθηκε στο τμήμα Γεωλογίας Τομέας Γεωφυσικής

<u>Επιβλἑποντες καθηγητἑς</u>

Καθηγήτρια Δ. Κοντοπούλου Δρ Ε. Αηδονά



...Στον αδερφό μου Δημήτρη... ...Σε όσους μου συμπαραστάθηκαν...

ΟΦΡΑΣΤΟΣ" ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Α.Π.Θ

6

Πίνακας περιεχομένων	04
Πρόλογος	06
Κεφάλαιο 1: Το μαγνητικό πεδίο της Γης	07
Γενικά χαρακτηριστικά	07
Γεωγραφική μεταβολή	08
Χρονικές μεταβολές-Αιώνια μεταβολή	10
Μαννητική επανωνή	11
Βασικές έννοιες μαννήτισης των υλικών	13
Παραμένουσα μανγήτιση	13
Χρόνος ηρεμίας(τ)	13
Θεομοκοασία φραγμού(Τ _b) & Θεομοκοασία	10
	14
Figurary	16
Θεουοπαραμένουσα μαγγήτιση(TRM)	16
Ιξώδης παραμένουσα μαγνήτιση(VRM)	16
Αποθετική παραμένουσα μαγνήτιση(DRM)	16
Κεφάλαιο 2: Η αρχαιομαγνητική μἑθοδος	17
Βασικές Αρχές	17
Ακρίβεια και πλεονεκτήματα της μεθόδου	17
Κεφάλαιο 3: Πυροτεχνολογία στην αρχαία Ελλάδα	18
Ο αρχαίος κεραμικός κλίβανος	18
Η διαδικασία της καύσης	19
Κεφάλαιο 4: Η μεθοδολογία της αρχαιομαννητικής	
	21
Εργασίες πριν από τις μετρήσεις στο	
εργαστήριο	21
Δειγματοληψία	21
Ο προσανατολισμός των δειγμάτων	22
Προετοιμασία των δειγμάτων πριν από τις	
μετρήσεις	22
Εργαστηριακές μετρήσεις προσδιορισμού της	
καταγεγραμμένης αρχαιδιεύθυνσης	24
Μέτρηση της φυσικής παραμένουσας	• (
μαγνήτισης(NRM)	24
τεννικές απουαγγήτισης και	25
Γεχνικές απομαγνηποτης Προσδιορισμός της Αργαιρέντασης	∠J 25
Μέτρηση της μαννητικής επιδεκτικότητας	26
Καθορισμός της θερμοκρασίας Curie	26

"OFORDATTOS"	
Απόκτηση της ισόθερμης παραμένουσας	
μαγνήτισης IRM	26
Κεφαλαίο 5: Αρχαιομαγνητική μελετή των κλιβάνων του	•••
Ιολυμυλου Κοζανης	28
Αρχαιολογικά στοιχεία	28
Δειγματολήψια	28
ΑΠΟΙΣΛΕΟμΟΙΟ Απουαγγήτιση με εγαλλασσόμενο πεδίο(ΑΕ)	30
Χοονολόγηση των κλιβάνων	33
Πειοάματα μαννητικής ορυκτολογίας	34
Ισόθερμη παραμένουσα μαγνήτιση(IRM)	34
Μαγνητική επιδεκτικότητα(κ)	35
Θερμομαγνητική ανάλυση	36
Στατιστική επεξεργασία της Μαγνητικής	• (
επιδεκτικοτητας με τη χρηση Ιστογραμματων	36
Μαγνητική επιδεκτικότητα μετρημένη σε χαμήλη	20
(LF) & υψηλη (HF) συχνοτητά	39
Βιρλιογραφία	40
μανγάτισης των δειγμάτων (NRM)	
Β Απομαγγήτισης των σειγματων (τιτιτή)	
απομαγνητισθέντων δεινμάτων	
με εναλλασσόμενο πεδίο(AF)	
Γ. Πίνακας τελικών αποτελεσμάτων	
αρχαιοδιεύθυνσης μετά από την	
απομαγνήτιση με AF	
Δ. Αποτελέσματα από την απόκτηση της	
Ισόθερμης Παραμένουσας Μαγνήτισης(IRM)	
Ε. Αποτελέσματα της Θερμομαγνητικής ανάλυα	σης
ΣΤ(α). Αποτελἑσματα του βἁρους και	
της μαγνητικής επιδεκτικότητας «κ»	
ΣΤ(b). Πίνακας μέσων τιμών των μεγεθών του	
προηγούμενου πίνακα για κάθε ομάδα	
δειγματων	
ΣΙ (C). Ι Ιινακες στατιστικης επεξεργασιας της LF	των
δειγματων για καθε κλιβανο	•
21 (α). Η Ινακές στατιστικής επεξεργασίας της HF	ιων
οειγματών για κασε κλιρανο Στ(α) Τελικά αποτελέστιστα στατιστικός	
בהבקבטימטימק הוק שמיזיוווגווק בווטנגווגטווומק	



Πρόλογος

Ο Αρχαιομαγνητισμός είναι μια επιστημονική μέθοδος η οποία συνδέει δύο εντελώς διαφορετικές επιστήμες: Την Γεωφυσική και την Αρχαιολογία. Την Γεωφυσική την ενδιαφέρει ο προσδιορισμός της μεταβολής της διεύθυνσης και της έντασης του γεωμαγνητικού πεδίου με το πέρασμα του χρόνου(Είτε μιλάμε για γεωλογικούς είτε για ιστορικούς χρόνους) ενώ την Αρχαιολογία η χρονολόγηση αρχαίων δομών και κατ'επέκταση οικισμών σε συνδυασμό με την αρχαιολογική ηλικία που προσδιορίστηκε με άλλους τρόπους (νομίσματα, τέχνη, τεχνολογία, κ.λ.π.).

Η παρούσα εργασία έχει ως στόχο την εύρεση της διεύθυνσης και της έντασης του γεωμαγνητικού πεδίου, μέσω της μελέτης σε δύο εκ των κλιβάνων του αρχαίου οικισμού του Πολύμυλου Κοζάνης, στους οποίους καταγράφηκε. Ταυτόχρονα προσδιορίζεται με ποιοτική ερμηνεία η ορυκτολογική σύσταση των κλιβάνων αυτών όσον αφορά τα σιδηρομαγνητικά ορυκτά που περιέχουν (λέγοντας «ποιοτική ερμηνεία» εννοείται ως προς το ποια σιδηρομαγνητικά ορυκτά υπάρχουν και ποια από αυτά βρίσκονται σε μεγαλύτερη ποσότητα).

Στο κεφάλαιο 1 γίνεται αναφορά στο γεωμαγνητικό πεδίο, στις μεταβολές αυτού και στα γενικά του χαρακτηριστικά, ενώ στο κεφάλαιο 2 ο αναγνώστης εισάγεται στην φιλοσοφία και στις αρχές του Αρχαιομαγνητισμού. Στο κεφάλαιο 3, που αποτελεί και το αρχαιολογικό κομμάτι της εργασίας, γίνεται αναφορά στην πυροτεχνολογία της αρχαίας Ελλάδας και στην γενική μορφολογική περιγραφή ενός συνήθους κλιβάνου. Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται η μεθοδολογία της έρευνας, τα όργανα και οι τρόποι μέτρησης. Τέλος, στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζεται η ίδια η έρευνα η οποία πραγματοποιήθηκε σε δείγματα τα οποία πάρθηκαν από τους κλιβάνους, τα συμπεράσματα όσον αφορά τη σύσταση(ποιοτική) των κλιβάνων σε σιδηρομαγνητικά ορυκτά και τέλος η χρονολόγηση των κλιβάνων και κατ' επέκταση του ίδιου του οικισμού. Στο παράρτημα αναφέρονται όλες οι μετρήσεις που πάρθηκαν ώστε να δημιουργηθούν τα χρήσιμα διαγράμματα για την άρτια ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τις καθηγήτριές μου κ. Δ. Κοντοπούλου & κ. Ε. Αηδονά για τις γνώσεις που μου δίδαξαν και με καθοδήγησαν πάνω στον Αρχαιομαγνητισμό καθώς επίσης και τον συνάδελφό μου και καλό φίλο και συμφοιτητή Αλέξανδρο Κουγιουμτζίδη για την πολύτιμη βοήθειά του στην υλοποίηση του τεχνικού μέρους της εργασίας αυτής (Κοπή των δειγμάτων και άρτια συντήρηση του τεχνικού εξοπλισμού). Επιπλέον, η παρούσα εργασία εκπονήθηκε χάρις στη βοήθεια και τις επιστημονικές πληροφορίες που παραχωρήθηκαν από την κα Δρ Γ. Καραμήτρου-Μεντεσίδη και την κα Μ. Λυκιαρδοπούλου τις οποίες και ευχαριστώ θερμά.



Γενικά χαρακτηριστικά

Το μαγνητικό πεδίο της Γης μεταβάλλεται από τόπο σε τόπο στην επιφάνειά της, αλλά και χρονικά. Για το λόγο αυτό το διάνυσμα της έντασης **F** σε ορισμένο τόπο πρέπει να προσδιορίζεται ως προς ορισμένο σύστημα αναφοράς για να είναι δυνατός ο καθορισμός των μεταβολών της F. Ως σύστημα αναφοράς θεωρούμε ένα τρισορθογώνιο σύστημα αξόνων, που έχει αρχή το σημείο **O**, πάνω στο οποίο θέλουμε να προσδιορίσουμε το διάνυσμα της έντασης. Ως άξονα **Y** θεωρούμε τη διεύθυνση του γεωγραφικού Βορρά-Νότου, ως **X** τη διεύθυνση Ανατολής-Δύσης και ως **Z** την κατακόρυφη διεύθυνση(σχ.1).



Σχήμα 1. Ανάλυση του γεωμαγνητικού πεδίου στις τρεις συνιστώσες Χ,Υ,Ζ.(Παπαζάχος και Παπαζάχος, Εισαγωγή στη Γεωφυσική, 2008)

Αρχικά, το διάνυσμα της Έντασης, **F**, αναλύεται στην κατακόρυφη, **Z**, και στην οριζόντια, **H**, συνιστώσα του. Η **Z** θεωρείται θετική όταν έχει φορά προς τα πάνω. Η **H** αναλύεται στην μεσημβρινή συνιστώσα **X** και στην συνιστώσα **Y**. Η **Y** θεωρείται θετική όταν έχει φορά προς το Νότο, ενώ η **X** θεωρείται θετική όταν έχει φορά προς την Ανατολή και αρνητική όταν έχει φορά προς την Δύση. Το επίπεδο **HOZ** λέγεται **Μαγνητικός μεσημβρινός** ενώ το επίπεδο **YOZ** είναι ο **Γεωγραφικός μεσημβρινός**. Η **γωνία D**, μεταξύ του Μαγνητικού και του Γεωγραφικού μεσημβρινού λέγεται **Μαγνητική απόκλιση**. Ονομάζεται ανατολική, αν η **H** βρίσκεται μεταξύ Βορρά και Ανατολής, και Δυτική, αν η **H** βρίσκεται μεταξύ Βορρά και Ανατολής, και αυτική ή αρνητική όταν η **Z** είναι ο ετίκη άταν του Γεωρρα και Δύσης. Η **γωνία I**, που σχηματίζει η **H** με την **F** ονομάζεται **Μαγνητική έγκλιση**. Θεωρείται θετική ή αρνητική όταν η **Z** είναι ο παραδείγματα:

 Έστω μαγνητική βελόνα στρεπτή γύρω από κατακόρυφο άξονα. Αυτή θα στραφεί μέχρις ότου ο άξονάς της έρθει στο επίπεδο του μαγνητικού μεσημβρινού, οπότε ο άξονας αυτός θα σχηματίζει με τον άξονα Υ γωνία ίση με την απόκλιση D. Αν η μαγνητική απόκλιση είναι ανατολική, ο θετικός(Βόρειος) πόλος της μαγνητικής βελόνας αποκλίνει προς τα ανατολικά του γεωγραφικού μεσημβρινού, ενώ, αν η μαγνητική απόκλιση είναι δυτική, ο πόλος αυτής αποκλίνει προς τα δυτικά του γεωγραφικού μεσημβρινού.

Έστω μαγνητική βελόνα στρεπτή γύρω από οριζόντιο άξονα κάθετο πάνω στο μαγνητικό μεσημβρινό. Αυτή θα στραφεί πάνω στο επίπεδο του μαγνητικού μεσημβρινού, μέχρις ότου ο άξονάς της σχηματίζει με το οριζόντιο επίπεδο γωνία ίση με την έγκλιση Ι. Αν η έγκλιση είναι θετική, ο θετικός (Βόρειος) πόλος της βελόνας θα βρίσκεται κάτω από το οριζόντιο επίπεδο, που περνάει από το μέσο της βελόνας, ενώ, αν η έγκλιση είναι αρνητική, ο αρνητικός (Νότιος) πόλος της βελόνας θα βρίσκεται κάτω από το οριζόντιο επίπεδο.

Οι ποσότητες **F, H, X, Y, Z, D, I** λέγονται **γεωμαγνητικά στοιχεία** και μεταξύ αυτών ισχύουν απλές σχέσεις οι οποίες προκύπτουν εύκολα με τη βοήθεια του Πυθαγορείου Θεωρήματος και με απλές αλγεβρικές σχέσεις ημιτόνων και συνημιτόνων από το σχήμα 1:

$$F = \sqrt{X^2 + H^2}$$
 $H = \sqrt{X^2 + Y^2}$ $D = \arctan \frac{Y}{X}$ $I = \arctan \frac{Z}{H}$

Γεωγραφική μεταβολή

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

> Το διάνυσμα του μαγνητικού πεδίου πάνω στην επιφάνεια της Γης, μεταβάλλεται τόσο κατά τη διεύθυνση όσο και κατά μέτρο από τόπο σε τόπο. Υπάρχουν δύο σημεία κοντά στους γεωγραφικούς πόλους όπου I=±90°. Τα σημεία αυτά λέγονται **μαγνητικοί πόλοι** της Γης(σχ.2). Ο Βόρειος μαγνητικός πόλος έχει συντεταγμένες 75°N, 101°W περίπου, ενώ ο Νότιος μαγνητικός πόλος έχει συντεταγμένες 67°S, 143°E αντίστοιχα. Σε ορισμένη κλειστή καμπύλη της επιφάνειας της Γης ισχύει ότι I=0°, δηλαδή το διάνυσμα του πεδίου είναι οριζόντιο. Η γραμμή αυτή περιβάλλει τη Γη κοντά στο Γεωγραφικό Ισημερινό και λέγεται **Μαγνητικός ισημερινός**.

> Για λεπτομερέστερη περιγραφή της γεωγραφικής μεταβολής της έντασης του μαγνητικού πεδίου της Γης, κατασκευάζονται χάρτες, πάνω στους οποίους χαράσσονται γραμμές, πάνω σε κάθε μια από τις οποίες ένα μαγνητικό στοιχείο παραμένει σταθερό. Οι γραμμές αυτές λέγονται Ισομαγνητικές και οι χάρτες Ισομαγνητικοί(σχ.3). Ισομαγνητικές γραμμές ίσης απόκλισης ονομάζονται Ισογωνικές και περνούν όλες από τους πόλους (Οι ισογωνικές μηδενικής απόκλισης λέγονται Αγωνικές και είναι δύο). Οι γραμμές που συνδέουν τόπους ίσης μαγνητικής έγκλισης ονομάζονται Ισοκλινείς (Ο μαγνητικός Ισημερινός είναι ουσιαστικά εκείνη η ισοκλινής πάνω στην οποία η έγκλιση μηδενίζεται). Τέλος, οι γραμμές που συνδέουν τόπους όπου η ολική ένταση του μαγνητικού πεδίου έχει το ίδιο μέτρο, λέγονται Ισομαγνητικές γραμμές της ολικής έντασης.



Σχήμα 2. Γεωκεντρικό διπολικό πεδίο



<u>Σχήμα 3.</u> US/UK Παγκόσμιο μαγνητικό μοντέλο (WMM) της συνολικής έντασης του πεδίου για το 2005. Μερκατορική προβολή, μονάδες σε nT και ισοδιάσταση 1000nT.



Χρονικές μεταβολές - Αιώνια μεταβολή

Οι χρονικές μεταβολές του γήινου μαγνητικού πεδίου διακρίνονται σε αργές, γνωστές και ως **αιώνιες**, και σε γρήγορες, γνωστές και ως **παροδικές**. Στον κλάδο του Αρχαιομαγνητισμού μας ενδιαφέρει η αιώνια χρονική μεταβολή του μαγνητικού πεδίου της Γης.

Η αιώνια μεταβολή συντελείται σε περιόδους από ένα έως και 10⁵ έτη. Για την μελέτη της αιώνιας μεταβολής χαρτογραφούνται οι μεταβολές των στοιχείων του, σε **γ** ή μοίρες ανά έτος, και οι τόποι της ίδιας μεταβολής συνδέονται με καμπύλες, οι οποίες ονομάζονται ισόπορες. Από αυτές τις καμπύλες προκύπτει ότι η επιφάνεια της Γης χωρίζεται σε διάφορα τμήματα του μεγέθους των ηπείρων, όπου η ένταση του πεδίου αυξάνεται ή ελαττώνεται. Ο μεγαλύτερος ρυθμός μεταβολής της έντασης είναι 150(γ/έτος) κι έχει την ίδια φορά για χρονικό διάστημα αρκετών δεκαετιών. Αυτό δείχνει ότι η ολική μεταβολή μπορεί να φτάσει τα 1000γ, δηλαδή, να γίνει ίση με το 20% του πραγματικού πεδίου της Γης.

Πιο συγκεκριμένα, το σχήμα 4 αναπαριστά τις ιστορικές καταγραφές της διεύθυνσης του γήινου μαγνητικού πεδίου μετά το 1550 για το Λονδίνο και λίγο αργότερα για το Παρίσι. Στον οριζόντιο άξονα τοποθετείται η απόκλιση **D**, ενώ στον κατακόρυφο η έγκλιση **I** του γεωμαγνητικού πεδίου. Είναι φανερό ότι οι μεταβολές στην διεύθυνση είναι σημαντικές, φτάνοντας διαφορές δεκάδων βαθμών τόσο στην απόκλιση όσο και στην έγκλιση, σε κλίμακα αιώνα. Στις δύο αυτές περιοχές παρατηρείται μια ελλειπτική δεξιόστροφη περιστροφή για τους τελευταίους τέσσερις αιώνες, ενώ η μικρή απόκλιση μεταξύ των δύο καμπυλών οφείλεται στο διαφορετικό γεωγραφικό πλάτος.



Σχήμα 4. Χρονική μεταβολή της έγκλισης σε συνάρτηση με την απόκλιση στο Λονδίνο και το Παρίσι(Runcorn 1962).

Όταν ένα μαγνητικό υλικό (π.χ. Σίδηρος) τοποθετηθεί μέσα σε μαγνητικό πεδίο, **H**, μαγνητίζεται (παράγει, δηλαδή, το δικό του μαγνητικό πεδίο). Το φαινόμενο αυτό καλείται **επαγόμενη μαγνήτιση** (Σχ.5). Στην πράξη, το επαγόμενο αυτό μαγνητικό πεδίο δημιουργείται από μια σειρά μαγνητικών διπόλων (σε μοριακό επίπεδο), τα οποία βρίσκονται μέσα στο υλικό και είναι παράλληλα προσανατολισμένα με τη διεύθυνση του εξωτερικού πεδίου, **H**. Η ένταση του επαγόμενου μαγνητικού πεδίου καλείται **Μαγνήτιση M**. Η ικανότητα ενός μαγνητικού υλικού να μαγνητίζεται εκτιμάται ποιοτικά και ποσοτικά από ένα φυσικό μέγεθος, που ονομάζεται **Μαγνητική Επιδεκτικότητα**. Το μέγεθος αυτό ορίζεται ως ο λόγος της μαγνήτισης προς την ένταση του επιδρώντος εξωτερικού μαγνητικού πεδίου, δηλαδή **κ=M/H**. Είναι αδιάστατο μέγεθος διότι είναι καθαρός αριθμός(δεν έχει μονάδες μέτρησης). Διακρίνουμε τις εξής κατηγορίες μαγνητικών υλικών:

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

δράς

Μαγνητική επαγωγή

- Διαμαγνητικά: Είναι τα υλικά που παρουσιάζουν αρνητικό μαγνητισμό. Η μαγνήτιση αυτών των υλικών είναι ανεξάρτητη της θερμοκρασίας και πάντοτε πολύ μικρή. Όταν διακοπεί το εξωτερικό πεδίο, τότε η μαγνήτιση μηδενίζεται. Τα περισσότερα υλικά είναι διαμαγνητικά(χαλαζίας, γραφίτης, νερό, ασβεστίτης κλπ).
- Παραμαγνητικά: Είναι τα υλικά που εμφανίζουν ασθενή θετική μαγνήτιση όταν επιδράσει σε αυτά εξωτερικό μαγνητικό πεδίο. Η μαγνήτιση είναι ανάλογη του εφαρμοζόμενου πεδίου. Ελλατώνεται με τη θερμοκρασία και μηδενίζεται όταν μηδενιστεί το μαγνητικό πεδίο.
- Σιδηρομαγνητικά: Είναι τα υλικά των οποίων η μαγνήτιση μεταβάλλεται από το μηδέν μέχρι την τιμή κορεσμού τους υπό την επίδραση μαγνητικού πεδίου.
 Σιδηρομαγνητικά ορυκτά δεν υπάρχουν στη φύση, αλλά τα στοιχεία Fe, Co, Ni, αποτελούν κλασσικά παραδείγματα σιδηρομαγνητικών υλικών. Οι πιο χαρακτηριστικές ιδιότητες που παρουσιάζουν είναι ότι μαγνητίζονται πολύ εύκολα και φτάνουν σε κατάσταση κορεσμού με την επίδραση πολύ μικρών εξωτερικών πεδίων, καθώς κι ότι παρουσιάζουν υψηλές θετικές τιμές της μαγνητικής επιδεκτικότητας. Όσον αφορά τη σιδηρομαγνητική τους συμπεριφορά, η μαγνήτιση μειώνεται με αύξηση της θερμοκρασίας T και μηδενίζεται στην θερμοκρασία Curie(T_c), πάνω από την οποία τα υλικά αυτά γίνονται παραμαγνητικά(σχ.6a).
- Αντισιδηρομαγνητικά: Η αυθόρμητη μαγνήτιση των υλικών αυτών είναι μηδενική. Δηλαδή, τα υλικά αυτά δεν εμφανίζουν μαγνήτιση εκτός πεδίου και σε θερμοκρασίες μικρότερες από την θερμοκρασία Neel. Τα υλικά αυτά έχουν αυτή τη συμπεριφορά κάτω από την θερμοκρασία μετάβασης T_N , ενώ πάνω από την T_N γίνονται παραμαγνητικά(σχ.6b). Αντισιδηρομαγνητικό ορυκτό είναι ο αιματίτης.
- Σιδηριμαγνητικά: Τα υλικά αυτά παρουσιάζουν αυθόρμητη μαγνήτιση πολύ μικρότερη από αυτή των σιδηρομαγνητικών υλικών αλλά μεγαλύτερη από αυτή των υλικών των υπόλοιπων κατηγοριών. Δείχνουν παρόμοια εξάρτηση με τη θερμοκρασία όπως και τα σιδηρομαγνητικά υλικά(σχ.6c). Σε αυτή την κατηγορία των υλικών συγκαταλέγονται τα ορυκτά: μαγνητίτης, ιλμενίτης, τιτανομαγνητίτης, και πυροτίτης.



<u>Σχήμα 5.</u> Όταν ένα υλικό, επιδεκτικό στην μαγνήτιση, βρεθεί σε μαγνητικό πεδίο έντασης Η, αποκτά μαγνήτιση με φορά ίδια με τη φορά του πεδίου αυτού.



Σχήμα 6. Συμπεριφορά της μαγνήτισης(Μ) και της επιδεκτικότητας(χ) με την Θερμοκρασία(Τ), για τρεις τύπους σιδηρομαγνητικών ορυκτών. α) Σιδηρομαγνητική συμπεριφορά, b) Αντισιδηρομαγνητική & c) Σιδηριμαγνητική συμπεριφορά. (http://www.irm.umn.edu/hg2m/hg2m index.html)



Παραμένουσα μαγνήτιση

Η φυσική παραμένουσα μαγνήτιση(NRM) είναι η καταγραφή της διεύθυνσης του μαγνητικού πεδίου την εποχή του σχηματισμού του πετρώματος ή της ψύξης αργιλλικών δομών (απόκτηση κύριας μαγνήτισης) καθώς επίσης και των γεωλογικών διεργασιών που υπέστη το πέτρωμα στη διάρκεια της ζωής του(απόκτηση δευτερεύουσας μαγνήτισης). Έτσι, η συνολική μαγνήτιση είναι ουσιαστικά το αποτέλεσμα του διανυσματικού αθροίσματος των διαφόρων συνιστωσών της μαγνήτισης:

NRM = κύρια + δευτερεύουσες

Υπάρχουν τρεις κύριοι τύποι της NRM:

(a) **Θερμοπαραμένουσα μαγνήτιση(TRM)**, η οποία αποκτάται κατά την ψύξη από υψηλές θερμοκρασίες σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

(β) Χημική παραμένουσα μαγνήτιση(CRM), η οποία σχηματίζεται από τη δημιουργία σιδηρομαγνητικών κόκκων κάτω από τη θερμοκρασία Curie.

(γ) Αποθετική παραμένουσα μαγνήτιση(DRM), η οποία αποκτάται κατά τη διάρκεια απόθεσης ιζηματογενών πετρωμάτων τα οποία περιέχουν σιδηρομαγνητικά ορυκτά.

Όσον αφορά τις δευτερεύουσες συνιστώσες, αυτές δημιουργούνται συνήθως είτε από χημικές αλλαγές που επηρεάζουν τα σιδηρομαγνητικά ορυκτά (Χημική μαγνήτιση που αποκτάται πολύ μετά την απόθεση, CRM), είτε από έκθεση σε κοντινές ηλεκτρικές εκκενώσεις (induced remanent magnetization, IRM), είτε από την μεγάλης διάρκειας έκθεση των γεωλογικών σχηματισμών στο γεωμαγνητικό πεδίο (Ιξώδης παραμένουσα μαγνήτιση, VRM).

Χρόνος ηρεμίας(τ)

Η θεωρητική προσέγγιση του πως ένα αρχαίο μαγνητικό πεδίο μπορεί να διατηρηθεί αναπτύχθηκε από τον Neel το 1955. Σύμφωνα με τη θεωρία του Neel, ο μηχανισμός που ελέγχει τη διαδικασία της μαγνητικής ισορροπίας είναι ο χρόνος ηρεμίας τ. Ένα υλικό με αρχική μαγνήτιση Mo το οποίο τοποθετείται σε περιβάλλον χωρίς μαγνητικό πεδίο, έχει μια ανισότροπη ενέργεια η οποία τείνει να διατηρήσει κάθε μαγνητική ροπή στην αρχική της διεύθυνση. Επίσης, είναι δυνατόν σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα η μαγνητική ροπή να έχει αρκετή θερμική ενέργεια για να μπορέσει να υπερπηδήσει το ενεργειακό όριο και η μαγνήτιση από έναν άξονα εύκολης μαγνήτισης να πάει σε άλλον. Έτσι, για ένα σιδηρομαγνητικό υλικό δίχως την παρουσία μαγνητικού πεδίου, η



απώλεια της μαγνήτισης λόγω της θερμικής διαταραχής, δίνεται από την

 $M(t)=M_0exp(-t/\tau)$

όπου **Μ**₀ η αρχική μαγνήτιση, **f** ο χρόνος και **r** ο χρόνος ηρεμίας (ο χρόνος που απαιτείται για να μειωθεί η παραμένουσα μαγνήτιση **στο 1/e της M**₀). Ο χρόνος ηρεμίας, τ, συνδέεται με τη θερμοκρασία και τον όγκο του κόκκου σύμφωνα με την εξίσωση του Neel:

$$\tau = \left(\frac{1}{C}\right) \exp\left(\frac{\mathbf{K}V}{kT}\right)$$

Όπου **V** ο όγκος, **T** η θερμοκρασία, **k** η σταθερά του Boltzmann και **K** η μαγνητική ανισότροπη ενέργεια ανά μονάδα όγκου. Η σταθερά **C** είναι παράγοντας συχνότητας και δίνει την πιθανότητα ένας κόκκος να έχει αρκετή θερμική ενέργεια για να ξεπεράσει τη μαγνητική **kV** και να αλλάξει τη μαγνητική ροπή χάρη στη θερμική ενέργεια **kT**.

Τα παραπάνω ισχύουν όταν δεν υπάρχει εξωτερικό μαγνητικό πεδίο το οποίο επηρεάζει τον χρόνο ηρεμίας του υλικού. Όταν, όμως, υπάρχει εξωτερικό μαγνητικό πεδίο, τότε η ενέργεια που χρειάζεται για ένα μαγνητικό κόκκο (ώστε να έρθει σε ευθυγράμμιση με τη διεύθυνση του εφαρμοζόμενου αυτού πεδίου) είναι μικρότερη από αυτή που χρειάζεται για να αλλάξει σε άλλη διεύθυνση. Επομένως, ο χρόνος ηρεμίας θα είναι και πάλι σε συνάρτηση με το εξωτερικό εφαρμοζόμενο πεδίο. Τέλος, η επίδραση του γεωμαγνητικού πεδίου στο τ είναι αμελητέα (διότι το πεδίο αυτό είναι αρκετά ασθενές) επομένως δεν ασχολούμαστε με τη δεύτερη περίπτωση, δηλαδή, με την ύπαρξη εξωτερικού μαγνητικού πεδίου. Στο σχήμα 7 φαίνεται ότι η συνάρτηση του χρόνου ηρεμίας με το μέγεθος των κόκκων είναι εκθετική.



Σχήμα 7. Χρόνος ηρεμίας σε συνάρτηση με το μέγεθος των κόκκων για κόκκους Μαγνητίτη (από Tauxe, 2005).

Θερμοκρασία φραγμού(T_b) & Θερμοκρασία Curie(T_c)

Υπάρχει ένα μικρό εύρος θερμοκρασιών πάνω από το οποίο το τ αυξάνει από μικρές σε μεγάλες γεωλογικά χρονικές περιόδους (Neel, 1955). Επιπλέον, η μαγνήτιση μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και μηδενίζεται στη θερμοκρασία Curie(Tc), η οποία είναι χαρακτηριστική για κάθε σιδηρομαγνητικό υλικό (σχ.8). Πάνω από τη θερμοκρασία Curie δεν υπάρχει παραμένουσα μαγνήτιση, η θερμική ενέργεια κυριαρχεί στο σύστημα, οι ενδοατομικές αποστάσεις έχουν αυξηθεί σε τέτοιο σημείο που οι ζεύξεις καταστρέφονται και οι ατομικές μαγνητικές ροπές είναι ανεξάρτητες. Με απλά λόγια **το υλικό χάνει τη μαγνήτισή του και γίνεται παραμαγνητικό.** Γενικά, όμως, η διαδικασία είναι αντιστρέψιμη καθώς η παραμένουσα μαγνήτιση εμφανίζεται όταν το υλικό ψύχεται σε θερμοκρασία κάτω από την **Tc**.



Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

> Σχήμα 8. Κανονικοποιημένη καμπύλη μαγνήτισης κορεσμού με τη θερμοκρασία Curie για τον μαγνητίτη και τον αιματίτη. Μ_{s0}=μαγνήτιση κορεσμού σε θερμοκρασία δωματίου: για τον αιματίτη, M_{s0}~675°C & για τον μαγνητίτη, M_{s0}=580°C(από Butler, 1992).

Επίσης έχει δειχθεί ότι ένας κύβος μαγνητίτη διαστάσεων 25nm σε θερμοκρασία δωματίου **έχει χρόνο ηρεμίας μεγαλύτερο από την ηλικία της** Γης, ενώ σε θερμοκρασία λίγων εκατοντάδων βαθμών, ο κόκκος είναι ουσιαστικά υπερπαραμαγνητικός (σχ.9).





Τέλος, η θερμοκρασία στην οποία το τ είναι μικρό (~10²-10³ sec) καθορίζεται ως θερμοκρασία φραγμού(T_b). Για κάθε T>T_b, κάτω όμως από τη θερμοκρασία Curie, ο κόκκος είναι υπερπαραμαγνητικός, ενώ για T_a<T_b, ο χρόνος ηρεμίας αυξάνεται πολύ γρήγορα, η μαγνητική ροπή του κόκκου κλειδώνεται και επιπρόσθετες αλλαγές του εξωτερικού πεδίου δεν προκαλούν καμία αλλαγή στη μαγνήτιση του κόκκου.



Θερμοπαραμένουσα μαγνήτιση(TRM)

Είναι η μαγνήτιση που αποκτάται από το πέτρωμα κατά τη διάρκεια της ψύξης του από τη θερμοκρασία Curie στη θερμοκρασία περιβάλλοντος, με την παρουσία μαγνητικού πεδίου. Κατά τη διάρκεια της ψύξης, εμφανίζεται μια παραμένουσα μαγνήτιση κι αν η θερμοκρασία συνεχίσει να μειώνεται και φτάσει κάτω από τις θερμοκρασίες φραγμού των κόκκων, τότε ο χρόνος ηρεμίας αυξάνεται πολύ γρήγορα και η αποκτηθείσα μαγνήτιση **«παγώνει»**.

Ιξώδης παραμένουσα μαγνήτιση(VRM)

Είναι η παραμένουσα μαγνήτιση που αποκτάται σταδιακά κατά την έκθεση του πετρώματος σε ασθενές μαγνητικό πεδίο. Μαγνητικές περιοχές με θερμοκρασίες φραγμού κάτω από 200°C είναι πιθανό va επαναπροσανατολιστούν κατά τους ιστορικούς χρόνους χωρίς θέρμανση, ακολουθώντας έτσι τις αλλαγές του γεωμαγνητικού πεδίου. Το φαινόμενο αυτό, έχει ως αποτέλεσμα την απόκτηση της VRM, η οποία αποτυπώνεται μερικώς πάνω στην TRM (Σχήμα 10) που απόκτησε το δείγμα όταν θερμάνθηκε για τελευταία φορά. Επίσης, όταν μετριέται ένα αρχαιολογικό δείγμα, η VRM εμφανίζεται ως θόρυβος και πρέπει να απομακρύνεται εφόσον θέλουμε να αποκαλύψουμε την κύρια μαγνήτιση.

Αποθετική παραμένουσα μαγνήτιση(DRM)

Είναι η μαγνήτιση που αποκτάται κατά την απόθεση & συμπαγοποίηση των ιζηματογενών πετρωμάτων. Ο μαγνητίτης κυριαρχεί στα περισσότερα ιζηματογενή περιβάλλοντα. Τα σωματίδια όταν αιωρούνται στο ήρεμο νερό περιστρέφονται μέχρις ότου η διεύθυνσή τους ευθυγραμμιστεί με αυτήν του μαγνητικού πεδίου που επικρατεί εκείνη την στιγμή. Καθώς η βαρύτητα έλκει τους κόκκους προς τα κάτω, σχηματίζεται ένα στρώμα μαγνητισμένο ως προς τη διεύθυνση του γεωμαγνητικού πεδίου. Τέλος, όσο περισσότερο ίζημα συγκεντρώνεται τόσο οι κόκκοι, οι κατώτεροι, πιέζονται και δεν μπορούν, πλέον, να περιστραφούν, οπότε η καταγεγραμμένη διεύθυνση που αναφέρθηκε πιο πριν «κλειδώνεται» και διατηρείται.



Βασικές Αρχές

Ο Αρχαιομαγνητισμός αποτελεί κλάδο του Παλαιομαγνητισμού κι έχει ως αντικείμενο μελέτης το μαγνητικό πεδίο της Γης και τις μεταβολές του στα προϊστορικά και ιστορικά χρόνια με απώτερο σκοπό τη χρονολόγηση αρχαίων καμένων δομών και υλικών. Βασίζεται στην αρχή ότι τα μαγνητικά ορυκτά, τα οποία περιέχονται στην ψημένη άργιλο, μπορούν να καταγράψουν τη διεύθυνση και την ένταση του γεωμαγνητικού πεδίου, όταν ψηχθούν από υψηλές σε χαμηλές θερμοκρασίες. Η άργιλος περιέχει ενώσεις του Fe οι οποίες, κατά τη θέρμανσή της, αποκτούν τη μαγνήτιση του μαγνητικού πεδίου το οποίο επικρατεί κατά το χρόνο θέρμανσης. Η μαγνήτιση αυτή σταθεροποιείται, έπειτα, κατά την ψήξη του αντικειμένου. Η ικανότητα, λοιπόν, της απόκτησης μιας τέτοιας φυσικής παραμένουσας μαγνήτισης οφείλεται στα σιδηρομαγνητικό υλικό. Συνοψίζοντας, οι βασικές αρχές της φυσικής πάνω στις οποίες βασίζεται ο Αρχαιομαγνητισμός είναι δύο:

- Η διεύθυνση και η ένταση του γεωμαγνητικού πεδίου ποικίλουν τόσο γεωγραφικά όσο και χρονικά (αιώνια μεταβολή).
- Τα μαγνητικά ορυκτά, που βρίσκονται στις αργιλικές αρχαιολογικές καμένες δομές, αποκτούν μία θερμοπαραμένουσα μαγνήτιση (TRM) τη στιγμή που θερμαίνονται πάνω από τη θερμοκρασία Curie. Αν οι δομές δεν ξαναθερμανθούν σε υψηλότερες θερμοκρασίες, η διεύθυνση και η ένταση του γήινου μαγνητικού πεδίου τη στιγμή της καύσης «κλειδώνονται» και μπορούν να μετρηθούν αργότερα στο εργαστήριο (Ολα τα υλικά που μαγνητίζονται την ίδια στιγμή και στην ίδια περιοχή, θα πρέπει να έχουν καταγράψει παρόμοια διεύθυνση και ένταση του γεωμαγνητικού πεδίου).

Ακρίβεια και πλεονεκτήματα της μεθόδου

Η αρχαιομαγνητική μέθοδος είναι μια ακριβής μέθοδος μελέτης της μεταβολής του μαγνητικού πεδίου της Γης κατά τους ιστορικούς και προϊστορικούς χρόνους, καθώς επίσης κι ένα χρήσιμο εργαλείο για την αρχαιολογική χρονολόγηση. Είναι σχετική μέθοδος χρονολόγησης που με βαθμονόμηση μπορεί να γίνει απόλυτη. Η διεύθυνση και η ένταση που καταγράφηκε σε ένα δείγμα άγνωστης ηλικίας συγκρίνονται με γνωστά δεδομένα από άλλες καλά χρονολογημένες δομές είτε με μεθόδους απόλυτης/σχετικής χρονολόγησης (Θερμοφωταύγεια, δενδροχρονολόγηση, κ.λ.π.), είτε με καθαρά αρχαιολογική χρονολόγηση(Ιστορικές πηγές, κείμενα, νομίσματα, κ.λ.π.).

Σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους χρονολόγησης, η συγκεκριμένη μέθοδος έχει ορισμένα σημαντικά πλεονεκτήματα:

- Αυτό το οποίο χρονολογείται είναι η τελευταία χρήση-καύση για τους κλιβάνους ή η απόθεση όσον αφορά τους ηφαιστειακούς σχηματισμούς.
- Καθώς η βάση δεδομένων αυξάνεται, και η ακρίβεια της μεθόδου αυτής αυξάνεται κάνοντάς την μοναδική. Δηλαδή, όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός δεδομένων τόσο πιο αξιόπιστη είναι η χρονολόγηση.

Η ακρίβεια της μεθόδου αυτής εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως:

- Την ακρίβεια της μέσης τιμής της διεύθυνσης και της έντασης της μελετημένης δομής.
- Την αξιοπιστία με την οποία προηγούμενες δομές έχουν μελετηθεί και την ακρίβεια των διαγραμμάτων αναφοράς και το ρυθμό μεταβολής του γεωμαγνητικού πεδίου.

Πυροτεχνολογία στην αρχαία Ελλάδα

Ο αρχαίος κεραμικός κλίβανος

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Α.Π.Θ

Τα εργαστήρια κεραμικής είναι συνηθισμένο εύρημα στις αρχαιολογικές ανασκαφές, καθώς τα αγγεία και τα κεραμικά ήταν απαραίτητα σε πολλούς τομείς της καθημερινής ζωής στην αρχαιότητα (Μαγείρεμα, ψήσιμο, θέρμανση νερών στα λουτρά, παραγωγή ασβέστη, επεξεργασία μετάλλων, παραγωγή χρωμάτων, παραγωγή γυαλιού, κ.λ.π.). Ειδικότερα οι ελληνικοί κεραμικοί κλίβανοι αποτελούν πηγή για την παραγωγή κεραμικών, την τεχνολογία, την οικονομία και τις κοινωνικές τάσεις, ακόμα, γύρω από ένα εργαστήριο κεραμικής.

Ο αρχαίος κεραμικός κλίβανος είναι μερικώς υπόγεια δομή (ορθογώνια ή κυκλική) με δύο θαλάμους: τον κατώτερο μέσα στον οποίο γίνεται η καύση και τον ανώτερο πάνω στον οποίο τοποθετείται το αγγείο. Οι θάλαμοι αυτοί χωρίζονται από διάτρητο πάτωμα το οποίο επιτρέπει να κινείται η θερμότητα προς τον ανώτερο θάλαμο. Όλα τα γνωστά παραδείγματα των ελληνικών κλιβάνων ανήκουν στην κατακόρυφη ή ανοδική κατηγορία: Η θερμότητα ρέει κατά μήκος ενός φανταστικού κατακόρυφου άξονα από τον χώρο καύσης εκ των οποίων η πιο συνηθισμένη κατηγορία είναι οι οριζόντιοι κλίβανοι (όπου η θερμότητα ρέει κατά μήκος οριζόντιου φανταστικού άξονα).

Η διαδικασία της καύσης χωρίζεται σε τρία στάδια: πριν την καύση, κατά την διάρκεια της καύσης και μετά την καύση. Η βασική αρχή είναι ότι η θερμοκρασία πρέπει να αυξηθεί αργά μέχρι τους 900-1000°C, να παραμείνει εκεί για μερικές ώρες κι έπειτα να μειωθεί σταθερά. Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται τα τυπικά διαστήματα θερμοκρασιών, χαρακτηριστικά για διάφορους τύπους δομών καύσης. Επίσης, δεν είναι κατάλληλες για αρχαιομαγνητική μελέτη όλες οι δομές καύσης, π.χ. οι κλίβανοι λουτρών και μικρές φωτιές παρουσιάζουν προβλήματα γιατί θερμάνθηκαν σε χαμηλές θερμοκρασίες(Nunez et al., 1999). Στο σχήμα 10 παρουσιάζονται, σε γενικές γραμμές, τα μέρη ενός συνηθισμένου κλιβάνου.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Η διαδικασία της καύσης



<u>Σχήμα 10</u>. Σχηματική αναπαράσταση ανοδικού κλιβάνου: Οι αντίστοιχοι όροι χρησιμοποιούνται για όλες τις δομές καύσης(κλιβάνους, φούρνους) (από Hasaki, 2002).



μημα ι εωλογ			Kili a san sa di ana
Ιυποι	Διαμετρος(m)	Θερμοκρασιες (°C)	κυρια χρηση
δομών καύσης	0		
Κλίβανος	Μικρή, ~0,7-1m	1300-1500	Εργασία
νια μέταλλα			μετάλλων
Ασβεστοκάμινος	Μενάλη, >3m	1000-1100	Καύση κυρίως
			μαομάρου για
			κατασκευή
			ασβέστη
Κεραμικός	Ποικίλει	700-1000	Καύση
κλίβανος			αργιλικών
			αντικειμένων
			για κατασκευή
			αγγείων
Φούρνος	Μικρή, <1m	200-400	Μαγειρική
Κλίβανος		1000-1400	Επεξεργασία
για γυαλί			γυαλιού
Κλίβανος	Μικρή, <1m, ή μεγάλη, 1,5-2m	400-600, μἑγιστη	Επεξεργασία
για χρώμα		έως ~700	χρωμάτων
Κλίβανος	1-1,5m	~200, σπανίως 400-	Θἑρμανση
για λουτρά		600	νερού
Κλίβανος	Παρόμοια με αυτή των	400-600	Καύση ξύλων
για στεγανωτικά	κλιβάνων για ασβἑστη		για κατασκευή
υλικά			στεγανωτικών
			υλικών

<u>Πίνακας 1.</u> Τύποι δομών καύσης και στοιχεία που αναφέρονται στο μέγεθος, στις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται σε κάθε μια από αυτές καθώς επίσης και στην χρήση τους αντίστοιχα.



Εργασίες πριν από τις μετρήσεις στο εργαστήριο

Α) Δειγματοληψία

Αυτή πραγματοποιείται μετά από συνεννόηση με τον υπεύθυνο αρχαιολόγο της υπό μελέτης περιοχής. Το σχέδιο των δομών και οι γεωγραφικές συντεταγμένες τους (μετρημένες με GPS) είναι οι πρώτες βασικές πληροφορίες τις οποίες πρέπει να συλλέξει ο ερευνητής. Έπειτα λαμβάνονται φωτογραφίες και σχεδιάζονται οι καμένες αρχαιολογικές δομές. Στη συνέχεια εξετάζονται οι δομές αυτές για να διαπιστωθεί αν έχουν μετακινηθεί, αν υπήρξαν διαταραχές, η φύση των υλικών κατασκευής και ο βαθμός ψησίματος. Είναι απαραίτητο ο ερευνητής να ενημερωθεί αν κατά την διάρκεια της ανασκαφής αντικαταστάθηκαν υλικά και αν έχουν μετακινηθεί οι δομές μετά την χρήση τους. Τα δείγματα τα οποία λαμβάνονται θα πρέπει να είναι:

- Καλά κατανεμημένα σε όλη τη δομή ώστε να αντιπροσωπεύουν όλα τα υπάρχοντα υλικά.
- Να έχουν συλλεχθεί από τα μέρη του κλιβάνου που είναι in situ (να είναι, δηλαδή στην ίδια θέση στην οποία βρίσκονταν κατά την τελευταία καύση τους) και να μην είναι σπασμένα και διασκορπισμένα γιατί ο αρχικός προσανατολισμός κατά την τελευταία καύση θα πρέπει να έχει διατηρηθεί.
- Σε απόλυτη συμφωνία με τους περιορισμούς που έχει βάλει ο αρχαιολόγος (Είναι σημαντικό να υπάρξει καλή σχέση μεταξύ αρχαιολόγου και ερευνητή εφόσον το τελικό αποτέλεσμα της μελέτης αυτής εξαρτάται σημαντικά από την σχέση αυτή).

Η προσεκτική και ακριβής δειγματοληψία ελαχιστοποιεί τα σφάλματα και καθορίζει την αξιοπιστία του υλικού, ενώ η ακρίβεια μεγαλώνει ανάλογα με τον αριθμό των δειγμάτων που λαμβάνονται. Η στατιστική επεξεργασία απαιτεί τουλάχιστον 7-8 δείγματα για τον υπολογισμό της μέσης μαγνήτισης της δομής. Επομένως, αν είναι δυνατό, θα πρέπει να συλλέγονται 10-12 δείγματα από κάθε δομή για να αυξάνεται η ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Η δειγματοληψία γίνεται με δύο τρόπους:

<u>1</u>^{ov}: **Με δειγματοληψία τεμαχών πετρωμάτων** (αυτός ο τρόπος χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας) όπου περιγράφεται πιο κάτω η διαδικασία με την οποία λαμβάνονται τα τελικά δείγματα από τα τεμάχη αυτά.

2^{ον}: **Με άμεση πυρηνοληψία με χρήση φορητών τρυπανιών** όπου και συλλέγονται πυρήνες μήκους 8-10cm. Ο τρόπος αυτός είναι πιο γρήγορος και ακριβής από τον προηγούμενο λόγω του ότι λαμβάνονται δείγματα πάνω στον ίδιο τον πυρήνα κι όχι σε δείγματα που θέλουν επιπλέον επεξεργασία στο εργαστήριο.

B) Ο προσανατολισμός των δειγμάτων

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

A QT

Ο καθορισμός της διεύθυνσης του αρχαιομαγνητικού πεδίου απαιτεί τον ακριβή προσανατολισμό του υλικού που συλλέγεται. Η ακρίβεια του προσανατολισμού θα πρέπει να είναι μικρότερη των 1-2 μοιρών, λαμβάνοντας υπόψη το ρυθμό της αιώνιας μεταβολής του μαγνητικού πεδίου(που είναι της τάξης μερικών μοιρών μέσα σε μερικές δεκαετίες). Τα δείγματα πρέπει να καθορίζονται σε σχέση με την κλίση(γωνία με το οριζόντιο επίπεδο) και το αζιμούθιό(γωνία με τον γεωγραφικό βορρά) τους. Η κλίση μετριέται με το κλισιόμετρο φυσαλίδας και το αζιμούθιο είτε με την μαγνητική πυξίδα είτε με θεοδόλιχο είτε με ηλιακή πυξίδα(προτιμάται η ηλιακή πυξίδα). Η τοπική μαγνητική απόκλιση είναι γνωστή ή υπολογίζεται από το πεδίο αναφοράς(π.χ. IGRF).

Η ηλιακή πυξίδα αποτελείται από μια κατακόρυφη βελόνα (γνώμονας) που τοποθετείται σε οριζόντιο δίσκο (εικ.1α). Το αζιμούθιο που μετράται είναι η ανάγνωση της δεξιόστροφης γωνίας **α** που δημιουργείται από την σκιά του ήλιου στον γνώμονα με την διεύθυνση του μαγνητικού Βορρά (όταν λαμβάνουμε κομμάτι δείγματος) ή με τη διεύθυνση του τρυπανιού (όταν λαμβάνουμε πυρήνες). Στη συνέχεια, σημειώνεται και η ακριβής ώρα της δειγματοληψίας και η θέση της περιοχής. Με όλη την πιο πάνω διαδικασία και την χρήση του Αστρονομικού Ημερολογίου ή την χρήση ενός απλού αλγορίθμου (π.χ. Ταυχε, 1998), είναι δυνατό να υπολογιστεί η διεύθυνση με σχετικά καλή ακρίβεια (ουσιαστικά, το μεγαλύτερο λάθος προκύπτει από την ανάγνωση της γωνίας). Έπειτα, λαμβάνονται προσανατολισμένα δείγματα από την δομή για μελέτη στο εργαστήριο (εικ.1b).

Γ) Προετοιμασία των δειγμάτων πριν από τις μετρήσεις

Πρώτη δουλειά του ερευνητή είναι να κόψει και να προσαρμόσει το σχήμα και το μέγεθος των δειγμάτων σε κύβους ή κυλίνδρους συγκεκριμένων διαστάσεων, αναλόγως το είδος του οργάνου μέτρησης, διατηρώντας την διεύθυνση αναφοράς. Μη καμένα μέρη του δείγματος ή ξένα σώματα (θραύσματα αγγείων, κομμάτια σιδήρου, κ.λ.π.) τα οποία βρίσκονται μέσα στο δείγμα πρέπει να απομακρύνονται. Επίσης, πριν από την λήψη πυρήνων та λιγότερο συμπαγή δείγματα πρἑπει va υφίστανται συμπαγοποίηση η οποία συντελείται σε εύθραυστα ή ευαίσθητα δείγματα με την εισαγωγή του δείγματος σε συμπαγοποιητικό υλικό για 48 ώρες. Πιο συγκεκριμένα στο παλαιομαγνητικό εργαστήριο του Α.Π.Θ. χρησιμοποιήθηκε διάλυμα πυριτικού νατρίου και μόνο σε περιπτώσεις πολύ πορώδους υλικού διάλυμα αιθυλικού πυριτίου. Ο χρόνος που απαιτείται για τη συμπαγοποίηση εξαρτάται από το πορώδες του δείγματος. Σε δύσκολες περιπτώσεις χρησιμοποιείται 50% διάλυμα με 50% νερό. Στη συνέχεια, το δείγμα στεγνώνει (στον αέρα και σε θερμοκρασία περιβάλλοντος) για περίπου 2-3 μέρες, αναλόγως με το δείγμα. Μόλις στεγνώσει είναι έτοιμο για να γυψωθεί κι έπειτα να διατρηθεί.

Τα δείγματα γυψώνονται για να μπορέσουν να διατρηθούν χωρίς να σπάσουν. Αρχικά, μαρκάρεται πάνω στο δείγμα σε πλέγμα η γραμμή προσανατολισμού. Στη συνέχεια, γεμίζουμε ένα καλούπι από plexiglas με γύψο και μέσα σε αυτό τοποθετούμε το δείγμα. Μόλις συμπαγοποιηθεί ο γύψος απομακρύνεται το καλούπι. Έπειτα, χαράσσεται ο προσανατολισμός σε κάθε δείγμα(Φωτο.1c,d).

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Οι καταλληλότερες διαστάσεις των δειγμάτων είναι ακόμα θέμα συζήτησης. Το μεγαλύτερο δείγμα είναι πιο ομογενές και παρουσιάζει μεγαλύτερη ακρίβεια στη διεύθυνση. Από την άλλη, όσο μεγαλύτερο είναι το δείγμα τόσο πιο πιθανό είναι να περιέχει είτε ξένα σώματα είτε μη καμένα τμήματα. Έτσι, οι ιδανικές διαστάσεις εξαρτώνται από την φύση του υλικού. Παρόλα αυτά η επιλογή του μεγέθους καθορίζεται πολύ συχνά από τα όργανα που είναι διαθέσιμα στο εργαστήριο και συνήθως λαμβάνονται πυρήνες κυλινδρικοί με διάμετρο 2,5cm και 2,2cm μήκους, ή κύβοι πλευράς 2-2,5cm. Ο λόγος, όμως, του ύψους προς την διάμετρο πρέπει να βρίσκεται μέσα στο διάστημα 0.85-0.892, για τα κυλινδρικά δείγματα συγκεκριμένα. Επίσης, είναι δυνατό να παρασκευαστούν κύβοι 2x2(εικ.1e,f,g).

Τέλος το σύστημα συντεταγμένων του δείγματος καθορίζεται με τον κανόνα του δεξιού χεριού(εικ.1h). Τα δεδομένα μεταφέρονται από το σύστημα συντεταγμένων του δείγματος στο γεωγραφικό. Αυτό γίνεται είτε γραφικά είτε μαθηματικά(π.χ. Tauxe, 2005). Τώρα, η συλλογή των δειγμάτων είναι έτοιμη για τις μετρήσεις.



Εικόνα 1. Διαδικασία δειγματοληψίας και κατασκευής των τελικών δειγμάτων για μετρήσεις: α)Προσανατολισμός των αρχικών δειγμάτων στο ύπαιθρο, b)Λήψη δειγμάτων στο ύπαιθρο, c)Γύψωσή και συμπαγοποίηση των δειγμάτων στο εργαστήριο, d)Χάραξη προσανατολισμού των δειγμάτων στο εργαστήριο, e,f)Λήψη καρότων στο εργαστήριο, g,h)Κατασκευή τελικών δειγμάτων από τον τεμαχισμό των καρότων και χάραξη του τελικού προσανατολισμού πάνω στα δείγματα με βάση τον οποίο θα γίνουν και οι μετρήσεις.



Μέτρηση της φυσικής παραμένουσας μαγνήτισης(NRM)

Η NRM είναι ένα διάνυσμα το οποίο καθορίζεται από την έντασή του (F) και την διεύθυνση (D, I), η οποία είναι, γενικά, το άθροισμα δύο ή περισσοτέρων συνιστωσών της μαγνήτισης που αποκτώνται σε διάφορες χρονικές στιγμές. Στον αρχαιομαγνητισμό, ως «χαρακτηριστική» ή σταθερή συνιστώσα(ChRM) θεωρείται η θερμοπαραμένουσα μαγνήτιση(TRM) που αποκτήθηκε στο αρχαίο μαγνητικό πεδίο κατά την ψύξη του υλικού μετά την τελευταία καύση του. Οι δευτερεύουσες μαγνητίσεις(ιξώδεις) αποκτήθηκαν αργότερα. Από την NRM ικανοποιητικού αριθμού προσανατολισμένων δειγμάτων στο γεωγραφικό σύστημα αναφοράς μπορεί να βρεθεί η διεύθυνση και η ένταση του πεδίου **αν** και μόνο αν το καμένο υλικό είναι in-situ(δηλαδή δεν έχει υποστεί καμία μετακίνηση μετά την καύση του).

Ο υπολογισμός, όμως, της σχετικά ασθενούς έντασης του αρχαιομαγνητικού πεδίου απαιτεί όργανα υψηλής ευαισθησίας. Τα όργανα τα οποία μετρούν την NRM είναι τα μαγνητόμετρα και η φυσική ποσότητα που μετρούν είναι η συνολική διπολική ροπή **M** του δείγματος σε σχέση με τις ορθογώνιες συνιστώσες **Mx**, **My**, **Mz**. Μετά τις μετρήσεις, ο καθορισμός της γεωγραφικής διεύθυνσης της NRM, δηλαδή των γωνιών **D,I** από τις μετρούμενες ποσότητες γίνεται ως εξής:

$$Mtot = \sqrt{Mx^2 + M\gamma^2 + Mz^2} \qquad (Am^2)$$

$$NRM = \frac{Mtot}{V} \qquad (A/m)$$

$$Is = tan^{-1} \left[\frac{Mz}{\sqrt{Mx^2 + Mz^2}} \right] \qquad \& \qquad Ds = tan^{-1} \left[\frac{My}{Mx} \right]$$

Όπου **Is**, **Ds** είναι η έγκλιση και η απόκλιση, αντίστοιχα, σε συντεταγμένες δείγματος και **V=10³cm**³ ο όγκος. Αν λάβουμε υπόψη το αζιμούθιο και την κλίση που μετρήθηκαν κατά την δειγματοληψία μπορούμε να υπολογίσουμε τις γεωγραφικές συντεταγμένες.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι μαγνητόμετρων. Για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκε το περιστροφικό μαγνητόμετρο minispin(εικ.2a). Το δείγμα περιστρέφεται και δημιουργεί με αυτό τον τρόπο αυξομειούμενη ηλεκτρεγερτική δύναμη(**emf**).

Το **emf** είναι ανάλογο της μαγνήτισης και μπορεί να καθοριστεί σε σχέση με το τρισορθογώνιο σύστημα **X**, **Y**, **Z** το οποίο προσδιορίζεται από το σύστημα συντεταγμένων του δείγματος. Έτσι υπολογίζονται τα **D & I** καθώς και η συνολική ένταση της NRM σύμφωνα με τις πιο πάνω σχέσεις. Τα πιο εξελιγμένα μαγνητόμετρα μπορούν να μετρήσουν δείγματα με μαγνητική ροπή της τάξης των 10⁻¹⁰(Am²) σε χρόνο από 2-3 έως 5-10 λεπτά(Ο χρόνος αυξάνεται με μείωση της έντασης).

Test μαγνητικής σταθερότητας και τεχνικές απομαγνήτισης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει την απομάκρυνση της ιξώδους μαγνήτισης και την σταδιακή απομαγνήτιση. Όλα τα υλικά, ακόμα και σε θερμοκρασία δωματίου, αποκτούν αυτομάτως μια παραμένουσα μαγνήτιση(λόγω της έκθεσής τους στο γεωμαγνητικό πεδίο), την <u>ιξώδη παραμένουσα</u> μαγνήτιση(VRM). Η VRM είναι πάντοτε παρούσα στις ψημένες αργίλους. Το test που πραγματοποιείται για τον προσδιορισμό του μαγνητικού ιξώδους ακολουθεί την διαδικασία που περιέγραψε ο Thellier(1981). Τα δείγματα τοποθετούνται μέσα στο εργαστήριο σε μια θέση για 15 μέρες, μετριέται έπειτα η παραμένουσα μαγνήτισή τους κι έπειτα τοποθετούνται στην αντίθετη διεύθυνση για άλλες 15 μέρες κι επαναλαμβάνεται η μέτρηση. Η διανυσματική διαφορά των δύο μετρήσεων δίνει μια εκτίμηση της ιξώδους μαγνήτισης. Το συγκεκριμένο πείραμα δείχνει το βαθμό της VRM που αποκτήθηκε σε γνωστό πεδίο και σε συγκεκριμένο χρόνο. Η VRM είναι γενικά ασταθής και πρέπει να απομακρυνθεί για να μπορέσουμε να απομονώσουμε την σταθερή συνιστώσα της μαγνήτισης.

Οι τεχνικές απομαγνήτισης αποσκοπούν στην απομάκρυνση των λιγότερο σταθερών συνιστωσών και την απομόνωση της σταθερής ή χαρακτηριστικής συνιστώσας. Η θεμελιώδης αρχή τους είναι ότι όσο μικρότερος είναι ο χρόνος ηρεμίας τ, τόσο πιο πιθανό είναι οι κόκκοι να έχουν καταγράψει μια δευτερεύουσα μαγνήτιση. Πιο απλά, η αρχή των απομαγνητίσεων στηρίζεται γενικά στη μικρή σταθερότητα των δευτερευουσών μαγνητίσεων σε σχέση με αυτές που αποκτήθηκαν από τις αρχικές διαδικασίες της χημικής παραμένουσας μαγνήτισης και της θερμοπαραμένουσας. Υπάρχουν δύο μέθοδοι σταδιακής απομαγνήτισης: με εναλλασσόμενο πεδίο(AF) & με αυξανόμενες θερμοκρασίες(TH). Για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκε η τεχνική σταδιακής απομαγνήτισης με εναλλασσόμενο πεδίο (AF). Το δείγμα εισάγεται στον απομαγνητιστή (εικ.2b) όπου εφαρμόζεται εναλλασσόμενο πεδίο, μέχρι μια μέγιστη τιμή και στην συνέχεια μηδενίζεται. Όλες οι ροπές των κόκκων με συνοχή κάτω από την μέγιστη τιμή που εφαρμόζεται θα προσανατολιστούν οι μισές ως προς το επικρατούν πεδίο και οι άλλες μισές στην αντίθετη διεύθυνση με αποτέλεσμα η τελική παραμένουσα μαγνήτιση να είναι μηδέν. Το δείγμα θα πρέπει να περιστραφεί και να απομαγνητιστεί κατά μήκος των τριών ορθογωνίων αξόνων. Στη συνέχεια μετριέται η παραμένουσα μαγνήτιση και το πείραμα συνεχίζεται με την σταδιακή αύξηση του εναλλασσόμενου πεδίου.

Προσδιορισμός της Αρχαιοέντασης

Ο προσδιορισμός της αρχαιοἑντασης είναι δυσκολότερος του προσδιορισμού της αρχαιοδιεύθυνσης και υπολογίζεται με την κλασσική μέθοδο Thellier(Thellier & Thellier, 1959) ή παραλλαγές αυτής. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η τιμή της αρχαιοἑντασης **F=66.3μT** με σφάλμα **±2.7μT**, η οποία προσδιορίστηκε από τον Β. Σπαθάρα(Διδακτορική διατριβή, 2005).

Μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Η μαγνήτιση που σχετίζεται με εφαρμοζόμενο(ασθενές) μαγνητικό πεδίο ονομάζεται αρχική μαγνητική επιδεκτικότητα Χι και είναι ισχυρά εξαρτώμενη από την συχνότητα. Κάποια όργανα επιτρέπουν τη μέτρηση της επιδεκτικότητας σε διάφορες συχνότητες υπολογίζοντας έτσι την εξαρτώμενη από την συχνότητα επιδεκτικότητα Xtd. Η επιδεκτικότητα μπορεί επίσης να μετρηθεί ως μια συνάρτηση του προσανατολισμού του δείγματος σε σχέση με το εφαρμοζόμενο πεδίο. Av η επιδεκτικότητα εivaı ανεξάρτητη тου λέγεται προσανατολισμού ότι είναι ισοτροπική. Ανισοτροπικός προσανατολισμός των μαγνητικών ορυκτών μπορεί να οδηγήσει σε ανισοτροπική μαγνητική επιδεκτικότητα η οποία δίνει πληροφορίες για τη μαγνητική δομή και την προτιμητέα διεύθυνση των μαγνητικών φάσεων (εικ.2e).

Καθορισμός της θερμοκρασίας Curie

Η θερμοκρασία Curie των σιδηρομαγνητικών ορυκτών μπορεί να καθορισθεί από το πείραμα με το οποίο μελετάται η μεταβολή της μαγνητικής επιδεκτικότητας με την αύξηση της θερμοκρασίας. Οι θερμοκρασίες Curie(T_c) προσδιορίζονται από τα σημεία της απότομης μείωσης της μαγνητικής επιδεκτικότητας, επιτρέποντας έτσι τον καθορισμό тων κύριων σιδηρομαγνητικών ορυκτών τα οποία είναι υπεύθυνα για την μαγνητική συμπεριφορά των καμένων δομών. Τα αρχαιολογικά υλικά παρουσιάζουν συνήθως μια μόνο θερμοκρασία Curie και αντιστρέψιμες καμπύλες ψύξηςθέρμανσης. Παρόλα αυτά, χημικές αλλαγές ή συνδυασμοί σιδηρομαγνητικών ορυκτών παράγουνε συχνά περίπλοκες καμπύλες οι οποίες είναι δύσκολο να ερμηνευτούν. Διαφορετικές μορφές των θερμομαγνητικών καμπυλών μπορεί να δηλώνουν και διαφορετική κατανομή του μεγέθους των κόκκων των αρχαιολογικών υλικών (Jordanova et al., 2001).

Τα κεραμίδια, τα τούβλα και οι καλά ψημένες άργιλοι παρουσιάζουνε συνήθως πολύ καλή μαγνητική συμπεριφορά. Κατά την ψύξη μπορεί να εμφανιστούν μικρές αλλαγές που δηλώνουν ότι η μαγνητική ορυκτολογία έχει πρακτικά σταθεροποιηθεί και πιθανόν καμία φάση δεν έχει αλλάξει κατά την θέρμανση μέχρι και τους 700°C. Ο μαγνητίτης(ή Τιτανομαγνητίτης) είναι συνήθως το κύριο σιδηρομαγνητικό ορυκτό ενώ ο αιματίτης ανιχνεύεται σπάνια. Η θερμοκρασία Curie του αιματίτη εμφανίζεται πιο σπάνια. Πειράματα σε καμένες αργίλους έδειξαν ότι ο κρυσταλλικός αιματίτης εμφανίζεται με θέρμανση πάνω από τους 800-1100°C. Επομένως η απουσία αιματίτη είναι μια επιπλέον ένδειξη ότι δεν επιτεύχθηκαν τόσο υψηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια της καύσης των κλιβάνων(εικ.2d).

Απόκτηση Ισόθερμης παραμένουσας μαγνήτισης(IRM)

Το δείγμα εκτίθεται σε πεδίο Η, μετριέται η μαγνήτιση που αποκτά κι έπειτα εκτίθεται σε ισχυρότερο πεδίο κατ' επανάληψη μέχρι οι σιδηρομαγνητικοί του κόκκοι να κορεστούν σε κάποια μαγνήτιση (εικ2c). Δείγματα που περιέχουν μόνο χαμηλής μαγνήτισης ορυκτά (π.χ. τιτανομαγνητίτης) αποκτούν ΙRM σε πεδία Η≤300mT ενώ όσο μεγαλώνει το πεδίο η μαγνήτισή τους δεν αυξάνει. Αν

Ψηφιακή συλλογή

Βιβλιοθήκη

υπάρχει αιματίτης (ή γκαιτίτης), η IRM αποκτάται σταδιακά μέχρι και τα 3Tesla. Με αυτή τη διαδικασία μπορούμε να ανιχνεύσουμε μικρές ποσότητες αιματίτη(ή γκαιτίτη) ακόμα και όταν συνυπάρχουν με πιο ισχυρούς σιδηρομαγνητικούς τιτανομαγνητίτες.



Εικόνα 2. Όργανα του εργαστηριου παλαιομαγνητισμού του τμήματος Γεωλογίας-Τομέα Γεωφυσικής του Α.Π.Θ. α)Περιστροφικό μαγνητόμετρο, b)Απομαγνητιστής με εναλλασσόμενο πεδίο(AF), c)Συσκευή απόκτησης Ισόθερμης παραμένουσας μαγνήτισης(IRM), d)Συσκευή καθορισμού της θερμοκρασίας Curie, e)Συσκευή μέτρησης της μαγνητικής επιδεκτικότητας.



Αρχαιολογικά στοιχεία

Πρόσφατες ανασκαφές που έγιναν για την κατασκευή της Εγνατίας Οδού κοντά στον αρχαίο οικισμό του Πολύμυλου Κοζάνης, έφεραν στο φως τμήμα πόλης με διάρκεια ζωής από τα προϊστορικά χρόνια ως την ύστερη αρχαιότητα, με ακμή κυρίως τον 20 π.Χ. αιώνα. Από τα δεδομένα της ανασκαφής φαίνεται ότι οι κλίβανοι δεν λειτούργησαν όλοι ταυτόχρονα. Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν δύο εκ των κλιβάνων αυτών, οι Koz1 & Koz2. Προς διευκόλυνση της έρευνας δόθηκε σε αυτούς κωδική ονομασία ML & SO αντίστοιχα προς τιμήν των ανασκαφέων οι οποίοι τους ανακάλυψαν.

Ο κλίβανος ML(εικ.3) εντοπίστηκε στην Τομή 2/7 σε βάθος 60cm από την επιφάνεια με κατεύθυνση Βορρά-Νότο, με το στόμιο εισόδου στην νότια πλευρά. Έχει εμβαδό περίπου 2,85 x 2,75m, ενώ το ύψος του κυμαίνεται από 40cm ως και 1m. Ο κλίβανος SO(εικ.4) εντοπίστηκε στην Τομή 18/13, 10m νοτιοδυτικά του ML σε βάθος 40cm από την επιφάνεια με κατεύθυνση Ανατολή-Δύση, με το στόμιο εισόδου στην ανατολική πλευρά. Έχει διαστάσεις 3,4 x 3,3 x 1,3m περίπου. Και οι δύο κλίβανοι είναι ορθογώνιου τύπου και σώζεται μόνο ο θάλαμος θέρμανσης σκαμμένος στο φυσικό έδαφος. Τα υλικά κατασκευής τους είναι καλά ψημένες άργιλοι, τριμμένο κεραμίδι, ασβεστοκονίαμα ως συνδετικό υλικό με σημαντική παρουσία αργιλοπυριτικού υλικού. Οι τοίχοι φέρουν επίχρισμα το οποίο στους εσωτερικούς φαίνεται να έχει ψηθεί επί τόπου στις υψηλές θερμοκρασίες του θαλάμου καύσης.

Δειγματοληψία

Με την σύμφωνη γνώμη των αρχαιολόγων συλλέχθηκαν τεμάχη, πολύ προσεκτικά, από το δάπεδο των κλιβάνων έτσι ώστε να μην καταστραφεί κάποιο τμήμα αυτών. Έπειτα στο εργαστήριο κόπηκαν συνολικά 15 δείγματα:

- ML: 7 δείγματα εκ των οποίων κόπηκαν 25 καρότα και πάρθηκαν τελικά 40 παλαιομαγνητικά δείγματα.
- SO: 8 δείγματα εκ των οποίων κόπηκαν 40 καρότα και πάρθηκαν τελικά 72 παλαιομαγνητικά δείγματα.

Ο προσανατολισμός δεν διατηρήθηκε σε όλα αυτά τα δείγματα κατά τη διάρκεια της κοπής τους. Έτσι, κάποια καθίστανται ακατάλληλα για την εύρεση της αρχαιοδιεύθυνσης. Αντιθέτως, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την εύρεση της αρχαιοέντασης η οποία όμως δεν αποτελεί αντικείμενο της παρούσας εργασίας. Επίσης, κάποια από αυτά θρυματίστηκαν, та θραύσματα οποίων συλλέχθηκαν μορφή σκόνης των σε Kai χρησιμοποιήθηκαν στη θερμομαγνητική ανάλυση των κλιβάνων αυτών. Για αυτό το λόγο ο πίνακας του παραρτήματος Α περιέχει 101 δείγματα αντί των 112 που πάρθηκαν κανονικά.



Εικόνα 3. Κλίβανος ML: Όπως φαίνεται και στη φωτογραφία μεγάλο μέρος του καταστράφηκε από σύγχρονο αγωγό νερού.



Εικόνα 4. Κλίβανος SO: Όπως και στον κλίβανο ML, δεν είναι σίγουρο αν η εστία βρισκόταν εντός ή εκτός του κλιβάνου.



Παρατηρείται ότι οι τιμές της ολικής NRM των δειγμάτων του κλιβάνου ML κατανέμονται στο Βόρειο ημισφαίριο και πιο συγκεκριμένα στην περιοχή BΔ-BBA (σχ.11). Επίσης, παρατηρούνται, μέσα στη συγκεκριμένη περιοχή δύο κύριες συγκεντρώσεις: μία με μέση διεύθυνση BΔ και μία με μέση διεύθυνση B. Οι τιμές στον κλίβανο SO αντίστοιχα κατανέμονται κι αυτές στο Βόρειο ημισφαίριο στην ίδια περιοχή με εξαίρεση μια τιμή στα BA και άλλες δύο στα ΔΒΔ(Δηλαδή έξω από την περιοχή BΔ-BBA). Σε γενικές γραμμές η ολική NRM που καταγράφηκε και στους δύο κλιβάνους έχει μέση διεύθυνση BBΔ(Οι τιμές της ολικής NRM των δειγμάτων βρίσκονται στο Α μέρος του παραρτήματος).



Σχήμα 11. Στερεογραφική προβολή των τιμών της ολικής φυσικής παραμένουσας μαγνήτισης (NRM) των δειγμάτων των ομάδων ML & SO.

Απομαγνήτιση με εναλλασσόμενο πεδίο(AF)

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Στη συνέχεια, ορισμένα δείγματα υποβλήθηκαν σε μαγνητικό «καθαρισμό» με σταδιακή απομαγνήτισή τους σε εναλλασσόμενο πεδίο(AF). Εδώ παρατίθεται ενδεικτικά το αποτέλεσμα απομαγνήτισης του δείγματος ML3-3b. Φαίνεται από τη στερεογραφική προβολή ότι η τελική τιμή είναι D=9° & I=53.9°. Αυτή είναι και η διεύθυνση που καταγράφηκε στο συγκεκριμένο δείγμα κατά την τελευταία καύση του. Επίσης, στο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων φαίνεται πως οι τιμές των ζευγών αυτών πλησιάζουν την αρχή των αξόνων ενώ στο διάγραμμα από κάτω φαίνεται η σταδιακή απομαγνήτιση του δείγματος με αύξηση του εναλλασσόμενου πεδίου(σχ.12). Μια σημαντική παρατήρηση είναι ότι τα περισσότερα δείγματα που υποβλήθηκαν σε διαδικασία απομαγνήτισης με AF δεν έχουν απομαγνητιστεί πλήρως(σχ.12). Αυτό συμβαίνει λόγω της υψηλής παρουσίας αιματίτη στα δείγματα αυτά (είναι γνωστό ότι ο αιματίτης χάνει την μαγνήτισή του σε υψηλότερα πεδία). Τα αποτελέσματα από τα υπόλοιπα δείγματα που απομαγνητίστηκαν με ΑF παραθέτονται στο παράρτημα (Β μέρος) στο οποίο παραθέτονται και ορισμένα δείγματα των οποίων τα αποτελέσματα της απομαγνήτισης με ΑF δεν είναι καλά (αύξηση μαγνήτισης με αύξηση πεδίου ενώ πρέπει να συμβαίνει το αντίθετο, αρχική διεύθυνση & ένταση μη σύμφωνη με αυτές των υπόλοιπων δειγμάτων αντίστοιχα και ούτω καθ' εξής) και για αυτό το λόγο δεν χρησιμοποιήθηκαν στη στατιστική επεξεργασία για την εύρεση της αρχαιοδιεύθυνσης. Αυτό οφείλεται πιθανόν στην μη καλή καύση των δειγμάτων αυτών, στο ότι δεν έμειναν αμετακίνητα μετά το τέλος της καύσης, κ.λ.π.



Σχήμα 12. Αποτελέσματα απομαγνήτισης με AF του δείγματος ML3-3b.

Με το τέλος της απομαγνήτισης κάθε δείγματος λαμβάνονται οι αρχικές διευθύνεις που καταγράφηκαν σε αυτά κατά την τελευταία καύση τους. Από τον κλίβανο ML χρησιμοποιήθηκαν επτά εκ των απομαγνητισθέντων δειγμάτων ενώ από τον SO δέκα, στο σύνολό τους 17 απομαγνητισθέντα δείγματα. Έτσι, τα αποτελέσματα των 17 αυτών δειγμάτων αποτυπώνονται (παράρτημα, Γ μέρος) πάνω σε δύο δίκτυα στερεογραφικής προβολής(σχ.13: ένα για κάθε κλίβανο) και βρίσκουμε την μέση τιμή αυτών:



<u>Σχήμα 13.</u> Στερεογραφική προβολή των αποτελεσμάτων απομαγνήτισης για κάθε κλίβανο ξεχωριστά.

Παρατηρούμε λοιπόν ότι οι αρχαιοδιευθύνσεις των δειγμάτων που απομαγνητίστηκαν με AF κατανέμονται όλες ανεξαιρέτως στο Βόρειο ημισφαίριο στο δίκτυο Schmidt. Οι συντεταγμένες της μέσης τιμής των διευθύνσεων αυτών είναι D=353.3° & I=53.8° για τον κλίβανο ML με σφάλμα 11.6° και για τον SO αντίστοιχα είναι D=339° & I=52° με σφάλμα 8.3°. Τέλος, επειδή οι κλίβανοι λειτούργησαν την ίδια περίπου χρονική περίοδο μπορούμε να πούμε με ασφάλεια ότι η συνολική μέση τιμή της διεύθυνσης και της έντασης του μαγνητικού πεδίου για εκείνη την περίοδο σε εκείνη την περιοχή είναι D=344.7° & I=53° με μέσο σφάλμα 6.5°. Έπειτα, αποτυπώνουμε το τελικό ζεύγος τιμών απόκλισης και έγκλισης σε στερεοδιάγραμμα(σχ.14).



Σχήμα 14. Στερεογραφική προβολή του συνόλου των αποτελεσμάτων απομαγνήτισης.



Για την χρονολόγηση των κλιβάνων ML & SO του αρχαίου οικισμού του Πολύμυλου Κοζάνης χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο των προτύπων καμπυλών αναφοράς για τον ευρωπαϊκό χώρο (Pavon-Carrasco, 2009) και η ήδη υπολογισμένη τιμή της έντασης για τον Πολύμυλο Κοζάνης (Σπαθάρας 2005). Τοποθετούμε λοιπόν την μέση τιμή της αρχαιοδιεύθυνσης που υπολογίστηκε στην παρούσα εργασία και την τιμή της αρχαιοέντασης (Σπαθάρας 2005) στις καμπύλες αιώνιας μεταβολής του μοντέλου αυτού και με τις ευθείες που τέμνουν τις καμπύλες αυτές δημιουργούμε αντίστοιχα διαγράμματα πιθανοτήτων κατανομής της ηλικίας (Σχήμα 15). Με κατάλληλο πρόγραμμα στον Η/Υ τα διαγράμματα αυτά συνδυάζονται και δίνουν ένα τελικό διάγραμμα στο οποίο αποτυπώνονται τα τελικά διαστήματα χρονολόγησης με διάστημα εμπιστοσύνης 95%. Στη παρούσα επεξεργασία προέκυψε το διάστημα χρονολόγησης 393-170π.Χ. με 95% σιγουριά. Τέλος, συνδυάζοντας και την ηλικία των κλιβάνων που προτάθηκε από τους αρχαιολόγους που τους μελέτησαν καταλήγουμε(Σχήμα 16) στο διάστημα 250-150π.Χ., το οποίο συμφωνεί τόσο με την αρχαιολογική όσο και με την αρχαιομαγνητική έρευνα ως τελικό αποτέλεσμα.



Σχήμα 15. Πρότυπες καμπύλες αναφοράς για τον ελλαδικό χώρο με τη βοήθεια των οποίων έγινε η χρονολόγηση των κλιβάνων.





Κάποια από τα δείγματα που απομαγνητίστηκαν, με σκοπό να φανερωθεί η καταγεγραμμένη αρχαιοδιεύθυνση, υποβλήθηκαν σε σταδιακή μαγνήτιση στη συσκευή απόκτησης της IRM με σκοπό να προσδιορισθεί ποιοτικά η σύστασή τους σε σιδηρομαγνητικά υλικά(σχ.17). Παρακάτω φαίνονται οι καμπύλες απόκτησης της IRM για ορισμένα δείγματα σε ποσοστό %(ώστε οι καμπύλες αυτές να είναι συγκρίσιμες μεταξύ τους). Οι τιμές τους παραθέτονται στο παράρτημα (μέρος Δ).



Σχήμα 17. Αποτελέσματα απόκτησης της IRM.

Παρατηρούμε ότι οι καμπύλες των δειγμάτων ML1-1b, SO2-1a & SO7-2 στα πρώτα κιόλας στάδια μαγνήτισης φτάνουν σε υψηλές τιμές κι έπειτα αυξάνονται ελάχιστα ή σχεδόν καθόλου. Τα δείγματα αυτά περιέχουν επί το πλείστον μαγνητίτη. Το ορυκτό αυτό έχει την ικανότητα να «απορροφά» όλη τη μαγνήτιση που προσφέρεται στο πέτρωμα μέσα στο οποίο βρίσκεται με αποτέλεσμα αυτό να κορεστεί σε μαγνήτιση σε μικρά πεδία. Επειδή ακριβώς οι καμπύλες των προαναφερθέντων δειγμάτων κάμπτονται στην αρχή χωρίς να αυξάνονται οι τιμές του, έπειτα, με αύξηση της μαγνήτισης, συμπεραίνουμε ότι τα δείγματα αυτά αποτελούνται επί το πλείστον από μαγνητίτη. Αντιθέτως, οι καμπύλες των δειγμάτων ML3-2a, ML5-2, ML6, ML7-1a, SO3-1a, SO4-1 & SO5-2a ανέρχονται ομαλά και σχεδόν γραμμικά με αύξηση του πεδίου μαγνήτισης. Αυτό συμβαίνει διότι τα δείγματα αυτά αποτελούνται κυρίως από αιματίτη. Το ορυκτό αυτό έχει την ικανότητα να απορροφά συνέχεια την μαγνήτιση που προσφέρεται στο πέτρωμα μέσα στο οποίο βρίσκεται χωρίς να μπορεί να κορεστεί στα επίπεδα του μαγνητίτη (για να κορεστεί χρειάζεται πολύ πιο ισχυρό μαγνητικό πεδίο).



Σε πρώτη φάση προβάλλονται τα ραβδογράμματα(σχ.18) με την μέση μαγνητική επιδεκτικότητα της κάθε ομάδας δειγμάτων σε αναλογία με το βάρος τους μετρημένα σε χαμηλή(LF) και υψηλή συχνότητα(HF):



Σχήμα 18. Αποτελέσματα από τη μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας των δειγμάτων.

Ένα συμπέρασμα που βγαίνει από την εύρεση της μαγνητικής επιδεκτικότητας των δειγμάτων και κατ' επέκταση από τα ραβδογράμματα αυτά είναι ο προσδιορισμός, ποιοτικά, της απόστασης των δειγμάτων από το χώρο καύσης πριν αυτά αποσπασθούν από τον κλίβανο για εργαστηριακή μελέτη (εδώ με τον όρο «ποιοτικά» εννοείται πιο δείγμα είναι σχετικά πιο μακριά/κοντά από τον χώρο της καύσης σε σχέση με κάποιο άλλο). Έτσι, παρατηρείται ότι τα δείγματα του κλιβάνου SO στην πλειοψηφία τους έχουν μεγαλύτερη μαγνητική επιδεκτικότητα από αυτά του ML επομένως τα πρώτα βρίσκονταν πιο κοντά στο χώρο καύσης σε σχέση με τα δεύτερα(Οι τιμές του βάρους, της LF και της HF του κάθε δείγματος βρίσκονται στα ΣΤ.α & ΣΤ.b μέρος του παραρτήματος). Επίσης, χρειάζεται πολύ προσοχή στο ότι δεν πρέπει να συγχέονται τα ραβδογράμματα με τα ιστογράμματα, όπως θα δούμε παρακάτω. Δηλαδή, με τα ραβδογράμματα απλώς συγκρίνονται τιμές, ώστε να βγούνε κάποια χρήσιμα συμπεράσματα(σχήμα 18). Δεν μπορούμε π.χ. να ενώσουμε τις κορυφές των ράβδων και να σχηματίσουμε κάποιο είδος συνάρτησης (όπως συμβαίνει στα ιστογράμματα) γιατί οι ράβδοι αυτές τοποθετούνται με βάση την κωδική ονομασία τους(ML1, ML2, κ.λ.π.) η οποία είναι καθαρά ποιοτική μεταβλητή κι όχι ποσοτική.

Στη συνέχεια, οι τιμές της μαγνητικής επιδεκτικότητας μετρημένης σε χαμηλή LF(Hz) και υψηλή HF(Hz) συχνότητα υποβλήθηκαν σε στατιστική επεξεργασία από την οποία δημιουργήθηκαν κάποια χρήσιμα ιστογράμματα (Τα ιστογράμματα αυτά βρίσκονται στις σελίδες 37 και 38 και οι πίνακες των τιμών βρίσκονται στο παράρτημα Ε όπου επεξηγούνται και οι αντίστοιχοι όροι). Ένα δείγμα από κάθε ομάδα εκ των ML1, ML3, ML6, SO5, SO7, SO8(παράρτημα, Ε Μέρος) υποβλήθηκε σε θερμομαγνητική ανάλυση. Στο σχήμα 19 φαίνεται το αποτέλεσμα για το δείγμα ML1-1α. Οι καμπύλες έδειξαν, όπως φαίνεται και παρακάτω, ότι <u>το δείγμα αυτό αποτελείται μόνο από</u> μαγνητίτη με ελάχιστή ποσότητα αιματίτη.</u> Αυτό φαίνεται από το μηδενισμό της καμπύλης στο διάστημα 550 - 630°C περίπου.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Θερμομαγνητική ανάλυση



Σχήμα 19. Αποτέλεσμα θερμομαγνητικής ανάλυσης δείγματος σκόνης από το ML1

Στατιστική επεξεργασία της Μαγνητικής επιδεκτικότητας με τη χρήση Ιστογραμμάτων

Για την καλύτερη στατιστική επεξεργασία της μαγνητικής επιδεκτικότητας δημιουργήθηκαν τα ιστογράμματα του σχήματος 20. Πάνω στα ιστογράμματα αυτά προσαρμόστηκε πολυώνυμο 6^{ου} βαθμού (δίνεται και η αντίστοιχη μαθηματική εξίσωση) για τυχόν παραπέρα μαθηματική επεξεργασία αυτών. Στο παράρτημα(Στ.c & d μέρος) βρίσκονται σε πίνακες τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας με τη βοήθεια των οποίων δημιουργήθηκαν τα ιστογράμματα αυτά. Στο Στ.e μέρος παρατίθενται τιμές διαφόρων στατιστικών μεγεθών (μέση τιμή κλπ) για τα παρακάτω ιστογράμματα ως αποτέλεσμα της στατιστικής επεξεργασίας των δειγμάτων τα οποία δεν χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία.



Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

ΟΦΡΑΣΤΟΣ





Σχήμα 20b. Ιστογράμματα κατανομής της μαγνητικής επιδεκτικότητας μετρημένης σε χαμηλή συχνότητα(LF) των δειγμάτων του κλιβάνου SO





Ψηφιακή συλλογή

Σχήμα 20d. Ιστογράμματα κατανομής της μαγνητικής επιδεκτικότητας μετρημένης σε υψηλή συχνότητα(HF) των δειγμάτων του κλιβάνου SO



Στα πιο πάνω διαγράμματα το fi δηλώνει τη συχνότητα εμφάνισης των τιμών της μαγνητικής επιδεκτικότητας (δεν έχει καμία σχέση με τη συχνότητα σε Hz με την οποία μετρήθηκαν τα δείγματα αλλά μας δείχνει την κατανομή των τιμών σε κάθε διάγραμμα αντίστοιχα). Το Fi είναι η αθροιστική συχνότητα, ενώ τα σχ.fi & σχ.Fi είναι αντίστοιχα η σχετική συχνότητα και η σχετική αθροιστική συχνότητα (δείχνουν, δηλαδή, την κατανομή των τιμών σε ποσοστό %). Στα πολυώνυμα 6^{ου} βαθμού το R² είναι δείκτης ο οποίος μας δείχνει κατά πόσο % το πολυώνυμο ταιριάζει στα δεδομένα στα οποία έχει προσαρμοστεί.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Μαγνητική επιδεκτικότητα μετρημένη σε χαμηλή(LF) & υψηλή (HF) συχνότητα

Στα ιστογράμματα χαμηλής συχνότητας(LF) παρατηρούμε δύο συγκεντρώσεις υψηλών τιμών της μαγνητικής επιδεκτικότητας και στους δύο κλιβάνους: Mia στην περιοχή 0-200 Hz και γύρω από τα 650 Hz. Γενικότερα, σύμφωνα με τα ιστογράμματα αυτά, οι δύο αυτοί κλίβανοι παρουσιάζουν παρόμοια σιδηρομαγνητική συμπεριφορά όσον αφορά τη μαγνητική επιδεκτικότητα μετρημένη σε χαμηλή συχνότητα.

Στα ιστογράμματα υψηλής συχνότητας(HF) παρατηρούμε τις υψηλότερες τιμές της μαγνητικής επιδεκτικότητας στο διάστημα 0-100 Hz και στους δύο κλιβάνους. Έπειτα, οι τιμές αυτές με αύξηση της συχνότητας ελαττώνονται με παρόμοιο τρόπο και στους δύο κλιβάνους. Από τα 200 Hz κι έπειτα οι δύο κλίβανοι παρουσιάζουν διαφορετική μαγνητική συμπεριφορά συμπεριφορά.

Το γενικό συμπέρασμα που βγαίνει από την στατιστική επεξεργασία των τιμών της μαγνητικής επιδεκτικότητας των δύο κλιβάνων είναι ότι σε κάθε περίπτωση ο κλίβανος ML είναι πιο ανομοιογενής(ως προς την κατανομή της μαγνητικής επιδεκτικότητας μετρημένης σε LF και HF) από τον κλίβανο SO(δηλαδή, η μαγνητική επιδεκτικότητα είναι πιο ομοιόμορφη στον κλίβανο SO απ' ότι στον ML).



Ατζεμογλου Α., 1997. Παλαιομαγνητικά αποτελέσματα από τον Βόρειο Ελλαδικό χώρο και η συμβολή τους στην ερμηνεία της γεωδυναμικής εξέλιξης της περιοχής στο Τριτογενές. Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 319 σελίδες, 1997.

Butler R., 1998. Paleomagnetism: Magnetic Domains to Geologic Terranes. Department of Geosciences, University of Arizona, Tuscon, Arizona, 238pp.

DeMarco, Ε., 2007. Ολοκληρωμένες μαγνητικές και αρχαιομαγνητικές μετρήσεις σε αρχαιολογικές θέσεις: συμβολή στην δημιουργία προτύπων καμπύλων αναφοράς για την Ελλάδα. Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 293 σελίδες, 2007.

Παπαζάχος Κ.,Παπαζάχος Β., 2008. Εισαγωγή στη Γεωφυσική, Εκδόσεις Ζήτη, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Γεωφυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.

Σπαθάρας Β., 2005. Αρχαιομαγνητικές και μαγνητικές μετρήσεις σε αρχαιολογικά υλικά στη Μακεδονία και τη Θράκη(Β. Ελλάδα). Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 179 σελίδες, 2005.



<u>Παράρτημα</u>

Α. Μέτρηση της φυσικής παραμένουσας μαγνήτισης των δειγμάτων(NRM)

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

<u>Κλίβανος</u>	<u>Ομάδα</u>	<u>Δείγματα</u>	<u>D(Απόκλιση)</u>	<u>Ι(Έγκλιση)</u>	<u>a₉₅(Σφάλμα%)</u>	<u>Mag(A/m)</u>
ML	1	1a	1.0	69.4	18.9	3.77
		1b	84.8	85.1	22.8	0.735
	2	1a	358.5	50.673.4	1.1	0.901
		1b	168.9	53.4	2.4	1.16
		2	322.1	56	2.5	2.79
		3	324.3	54.7	0.8	1.88
		4	318.4	60.1	1.7	4.33
	3	1	15.2	55.4	2.4	0.829
		2a	5.1	49.2	2.6	0.846
		2b	7.1	53.5	2.0	0.534
		3a	4.5	52.3	2.5	0.531
		3b	5.2	53.4	2.5	1.24
		4a	23.2	55.7	2.3	5.38
		4b	25	55.9	1.5	6.56
	4	1	3.0	61.5	2.1	8.82
		2	19.8	54.1	1.5	13.7
		3a	3.3	59.4	2.1	6.63
		3b	354.0	58.4	1.2	5.65
		3c	356.9	61.0	0.9	5.96
		4a	348.2	63.2	3.2	2.29
		4b	350.5	59.9	2.7	2.09
		4c	131.0	56.4	3.2	0.199
		5a	332.1	57.5	1.9	1.85
		5b	326.8	56.2	2.1	2.05
	5	1	313.0	51.6	1.9	0.274
		2	313.0	52.1	2.7	0.271
		3a	325.0	54.3	2.1	0.275
		3b	316.1	53.0	2.0	0.264
		3c	324.0	48.3	3.1	0.275
		4a	320.3	53.5	1.8	0.216
		4b	318.4	54.6	1.4	0.265
		4c	325.5	55.4	1.3	0.264
	6	-	20.7	52.8	1.8	0.439
	7	1a	1.9	53.5	2.7	0.328
		1b	4.2	52.1	2.0	0.206
		2a	3.3	54.4	3.6	0.306
		2b	9.2	46.2	2.6	0.279

βιβλιο	υλλογή Θήκη	6				
DECTED A	STO	511				
Κλίβανος	Ουάδες	Λείνματα	Л	1	a	Mag(A/m)
SO	1	1	188.4	67.5	23.8	<u></u>
А.П.	Э	2	224	84.8	32.2	3 12
		3	251.8	53	0.9	3.85
		4	339.2	51.2	17	2
	2	1a	326.9	51.1	1.1	24.9
		1b	324.5	50.9	1.2	25.7
		2a	325.2	50.2	1.5	12.9
		2b	323.6	51.5	2.1	9.34
		 2c	332.2	50.5	1.3	8.04
		 3a	304.2	53.6	2.1	24.7
		3b	303.4	53.7	1.4	28
	3	1a	352.2	48.4	1.6	2.44
		1b	356.0	48.6	1.3	1.42
		1c	350.1	48.5	1.2	2.12
		2a	350.1	49.7	1.1	0.887
		2b	350.2	48.0	1.3	0.89
		 2c	202.7	51.1	5.4	1.51
		 3a	9.6	46.9	1.2	0.442
		3b	356.4	48.7	1.8	0.649
		30	3.6	44.5	21	0 497
		4a	358.7	47.3	1.6	0.608
		4b	356.4	48.0	1.0	0.593
		4c	352.6	48.4	1.5	0.525
		5a	104	50	1.6	0.41
		5b	239.1	46.4	1.6	0.57
		6a	228.8	51.4	1.7	0.644
		6b	234.7	49.1	2.4	0.599
	4	1	14.1	56.9	2.2	0.244
		2	17.4	60.6	1.3	0.266
		3a	25.6	56.4	2.4	11.1
		3b	29.6	55.5	2	11.2
		3c	27.8	54.2	1.5	10.8
		4a	41.9	48.9	5.6	1.38
		4b	42.9	52.7	2.1	0.725
		4c	44.6	55.6	1.2	0.754
	5	2a	48.2	50.2	2.7	1.27
		2b	24.8	59.5	3.6	1.17
		4a	309.0	51.4	1.6	1.71
		4b	304.4	55.9	1.4	1.54
		4c	304.6	57.7	1.6	0.983
		5	48.9	51.6	1	1.25
		6	60.2	51.6	2.5	1.4
		7	56	46.9	1	1.61
	6	1	287.3	45.9	2.5	0.852
		2a	282.7	43.2	3.5	2.48
		2b	340.9	48.3	2.9	2.32
		3a	292.1	48	1.2	3.28
		3b	301.2	41.6	2.3	3.03
		3c	303.8	44.6	2.6	3.04

2	[,] ηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη	8				
"OF	ΦΡΑΣΤ	05"				
Kington (in the second	4a	164	-50.8	1.1	1.52
P. A. Stand	ημα Ι εαλογι	4b	301	46.8	2.8	3.35
A	_ А.П.Э	5a	273	51.5	1.8	3.26
		5b	302.7	45.8	2.2	2.74
	7	1	327.3	51.8	2.6	3.65
		2	344.2	50.0	2.0	0.15
		3a	351.9	55.2	1.0	6.21
		3b	348.2	50.7	1.2	5.99
	8	1	344.8	53.5	1.2	2.35
		2	330.0	53.2	1.8	3.03
		3	348.2	70.1	17.1	3.44
		4	14.6	59.9	16.4	3.78
		5	3.9	61.2	19.1	4.14
		6a	37.7	42.4	1.8	6.97
		6b	36.3	36	1.9	5.78

NO

*Τα δείγματα: SO5-1a, SO5-1b, SO5-2c, SO5-3a, SO5-3b, SO5-5a, SO5-5b, SO7-4, SO7-5, έχουν εξαχθεί ενώ χάθηκε ο προσανατολισμός τους κατά την κοπή τους. Για το μόνο που θα μπορούσανε να χρησιμεύσουν είναι να μελετηθεί η καταγεγραμμένη σε αυτά αρχαιοένταση, η οποία δεν μελετήθηκε στην εκπόνηση της παρούσας εργασίας.

Β. Καμπύλες απομαγνήτισης ορισμένων εκ των απομαγνητισθέντων δειγμάτων με εναλλασσόμενο πεδio(AF)

Κλίβανος ML







Γ. Πίνακας τελικών αποτελεσμάτων αρχαιοδιεύθυνσης μετά από την απομαγνήτιση με ΑF

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Δείγμα	D	Ι	a ₉₅	Κύρια NRM
ML1-1b	342.3	49.2	2.7	50-900
ML3-2a	9.3	48.9	1	600-1000
ML3-3b	9	33.9	2.3	100-1000
ML4-3c	353.4	61.2	2.5	100-800
ML4-4b	341.7	60.9	1.9	200-900
ML5-2a	314	48.6	1.4	50-1000
ML6	22.6	52.7	2	50-1000
ML7-1a	5.1	51.9	1.2	50-1000
SO1-1	253.2	47.4	2	-
SO1-2	250	45.3	3.9	-
SO1-3	339.8	48.9	1.9	50-1000
SO2-1a	325.5	49.6	1.7	50-400
SO2-3a	305.2	53.6	0.5	100-600
SO2-3b	305.1	52	2.3	150-1000
SO3-1a	350.8	47.9	2	0-900
SO3-1b	354.1	46.2	1.7	100-900
SO3-4a	5.5	48.9	4.1	-
SO4-1	13.8	56	1.4	50-900
SO5-2a	317	50.6	1.1	100-900
SO5-6	64.1	49.8	1.7	-
SO6-3b	296.7	43.4	1.9	-
SO8-1	346.8	54.1	3.2	200-1000
SO8-6a	350.2	54.8	2.9	-
SO8-6b	350	47.8	1.5	-

Δ. Αποτελέσματα από την απόκτηση της ισόθερμης παραμένουσας μαγνήτισης(IRM)

		Ν	(mT)					SO(mT)		
Voltage	ML1-1b	ML3-2a	ML5-2	ML6	ML7-1a	SO2-1a	SO3-1a	SO4-1	SO5-2a	SO7-2
I10	71.7	3.85	0.94	1.92	0.97	87	11.2	1.63	5.46	84.1
I15	81.1	5.65	1.46	2.81	1.52	175	16.2	2.12	7.66	109
I20	89.5	6.63	1.86	3.37	1.94	222	19.4	2.35	8.27	114
I25	92.6	7.41	2.18	3.40	2.30	252	21.1	2.53	9.80	115
I50	98.2	8.55	2.99	4.42	3.19	306	26	2.95	13.1	121
I75	99.8	9.13	3.50	5.17	3.81	315	29.9	3.29	16.1	123
I100	100	9.72	3.94	5.63	4.42	330	32.8	3.75	18.8	125
I150	102	11.2	5.11	7.83	6.06	335	38.7	4.71	25.4	124
I200	102	12.3	6.24	9.95	7.63	358	44.3	6.04	31.8	124
I250	104	14.4	7.61	12.2	9.49	366	49.7	7.23	38.8	125
I300	105	16.4	8.41	14.3	11.5	371	54.5	7.98	44.9	125
I350	105	18.1	9.87	16.1	13.3	377	58	8.84	49.4	124
I375	107	18.7	10.4	16.6	13.9	381	60.3	9.10	51.3	126
I400	-	_	_	-	_	-	-	-	_	-



Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

ΣΤ(α). Αποτελέσματα του βάρους και της μαγνητικής επιδεκτικότητας «κ»

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Δείγμα	Βάρος(gr)	LF Sus(Hz)	HF Sus(Hz)	FD(%)
ML1-1a	15.6	818.1	761.4	6.93
ML1-1b	15.8	964.3	893	7.39
ML1-3	14.9	427.5	382.6	7.04
ML2-1a	16.2	114.3	101.3	11.37
ML2-1b	16.7	151.6	136.2	10.16
ML2-2	16	407.7	362.7	11.04
ML2-3	17.9	394.9	348.2	11.83
ML2-4	14.9	426.5	380.1	10.88
ML3-1	16.6	186.1	165.2	11.23
ML3-2a	15.6	197.9	174.5	11.22
ML3-2b	15	105.1	94.4	10.18
ML3-3a	17.8	189.5	167	11.87
ML3-3b	15.9	141.5	124.9	11.07
ML3-4a	19.3	238	220.9	7.18
ML3-4h	21.1	250	251.1	4 7A
ML 4-1	17.1	446.2	402.6	9.77
ML 4-1	17.1	300.3	380.3	4.76
ML 4-2	17.1	510.6	457.3	10.44
ML4-3a	17	502.3	437.3	11.07
ML4-30	18.2	302.3 461.4	410.7	10.0
ML4-3C	10.5	303.5	260.6	10.9
ML4-4a	18.5	03	82.2	10.43
ML4-40	10.5	206.8	184.2	10.43
ML4-40	21.1	200.8	206.5	10.95
ML4-Ja ML4-Sh	21.1	21.5	290.3	11.30
ML 5-1	15.3	60.8	54.0	0.7
ML5.2	16.2	74.1	65.0	9.7
ML 5-39	16.2	74.1	69.6	8.06
ML5-3h	16.5	69.5	63.2	9.06
ML 5-30	15.5	73.1	65.8	9.00
ML 5-4a	14.7	65.3	57.9	11.33
ML5-4a	16.9	67.1	61.3	8.64
ML5-4c	17.4	59.4	52.9	10.94
ML 5-59	17.4	53.1	50.2	7.93
ML5-5a	16.0	59.5	55.8	0.10
ML5-50	15.4	73.7	66.9	0.13
ML7 1a	19.4	82.1	73.7	10.23
ML7-1a	17.0	86.6	78.5	0.25
ML 7-29	10.3	84.7	78	9.55 7.01
ML7-2a	12.3	86.6	70.0	6.07
WIL/-20	12.5	00.0	17.7	0.97
SO1-1	17.7	938 7	821.4	12.5
<u>SO1-2</u>	17.5	708.1	626.1	11.58
SO1-3a	18.2	1018.3	898 5	11.36
SO1-3h	18.2	260.1	239.1	12.3
<u>S01-4</u>	17.5	950.5	843.9	11.22
SO2-1a	16.7	899 3	840.9	6 49
SO2-14	16.8	963.4	901.1	6.47
SO2-2a	17.7	791 9	720 7	8 99
SQ2-2b	173	610 7	552.1	9.6
SQ2-2c	163	574 9	524	8.85
SO2-3a	16.6	966.8	909.6	5.92

50

0/00	Ψηφιακή συλλογ	ń V			
No.	βιβλιοθήκ	n 🔪			
NUOD	TZADACT	"70			
	SO2-3b	17.6	862.4	863	0.07
De Har	SO2-3c	iac 17.8	700.2	651.5	6.96
X Sec.	SO3-1a	16.3	296.5	263.3	11.2
OV	SO3-1b	16.6	291.1	252.6	13.23
	SO3-2a	16.6	150.1	134.4	10.46
	SO3-2b	16	145.4	131.3	9.7
	<u>SO3-2c</u>	1/.4	1/3.1	156.4	9.65
	SO3-3h	13.1	103.3	92.1	8.03
	<u> </u>	15	107.7	98.7	8 36
	SO3-4a	16.6	108.5	99.1	8.66
	SO3-4b	16.1	111.2	100.7	9.44
	SO3-4c	17.4	97.4	89.7	7.91
	SO3-5a	15.8	285.3	220.7	8.69
	SO3-5b	16	304.8	286	7.9
	SO3-5c	19.5	96.1	86.3	10.2
	SO3-6a	19.8	115.4	106.8	7.45
	SO3-6b	21.3	128.4	116.4	9.35
	<u> </u>	16.9	102	/1	8.03
	<u> </u>	17	105	92.2	8 7
	SO4-3b	17.7	825.3	757.1	9.64
	SO4-3c	18.4	812.4	734.1	10.68
	SO4-4a	18.5	704 3	629.1	9.77
	S04-4b	19.9	204.3	204.2	8 57
	<u>SO4-4c</u>	17.2	150.0	144.2	7.8
	SO5 1a	17.2	107.7	140.2	0.00
	SO5-1a	15.8	164.4	1/2.0	7.63
	SO5-2a	16.7	200.7	178.5	11.06
	SO5-2b	15.4	196.3	170.6	13.09
	SO5-2c	16.2	149.2	125.7	8.06
	SO5-3	16.9	295.8	268.2	9.33
	SO5-4a	18.5	234.5	206.9	11.77
	SO5-4b	16.2	224.2	199.2	11.15
	SO5-4c	16.4	210.2	188.5	10.32
	805-5	19.9	201.2	183.4	8.85
	SO5-6	18.9	309.8	276.1	10.88
	SO5-7	21.2	328.9	297.2	9.64
	SO6-1	17.8	204.9	188.9	7.81
	SO6-2a	18.7	537.5	504.8	6.08
	SO6-20	1/./	6/9./	624.1	8.18
	500-3a	17.9	/2/.8	660.3	9.27
	<u>SU6-30</u>	20.2	581.2	529./	8.86
	S06-3c	19.4	/31./	669.5	8.5
	SO6-4a	20.7	252.2	240.3	4.72
	SO6-4b	19.8	808.7	736.4	8.94
	SO6-5a	19.9	699.6	638.2	8.78
	SO6-5b	19.4	390.6	363.3	6.99
	SO7-1	16.3	442	403	8.82
	SO7-2	16.8	1040.4	967.2	7.04
	SO7-3a	18.9	869	807.8	7.04
	SO7-3b	17.6	258.6	232.8	9.98
	<u>SU/-4</u>	1/.4	933.1	911	8.27
	<u> </u>	10.1	960.5 AA1 A	909.5 405.2	10.2 8 2
	500-1	10	+.1+	703.2	0.2

X	Ψηφιακή συλλογ Βιβλιοθήκι	ή η - ΟΣ"			
	SO8-2	19.2	436.1	401.2	8
DAGTA	SO8-3	iac 18.6	684.1	637.4	6.83
X See	SO8-4	19	560.7	513.4	8.44
ON YEAR	SO8-5a	18.9	853.2	795.7	6.74
	SO8-5b	20.3	709.9	646.2	8.77

*Εδώ περιλαμβάνονται όλα τα δείγματα, προβληματικά και μη, διότι για την μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας και του βάρους των δειγμάτων δεν υπάρχει κανένας περιορισμός (όπως συμβαίνει στην μέτρηση της NRM, όπου αν χαθεί ο προσανατολισμός σε ένα δείγμα, τότε αυτό παύει να είναι χρήσιμο για τον προσδιορισμό της αρχαιοδιεύθυνσης), αρκεί το δείγμα να διατηρεί το σωστό σχήμα.

ΣΤ(b). Πίνακας μέσων τιμών των μεγεθών του προηγούμενου πίνακα για κάθε ομάδα δειγμάτων

Ομάδα	Βάρος(gr)	LF	HF	FD(%)
ML1	15.13	736.63	679	7.12
ML2	16.34	299	265.7	11.06
ML3	16.08	164.02	145.2	9.32
ML4	17.81	365.39	329.39	9.93
ML5	16.36	65.76	59.75	9.62
ML6	15.4	73.7	66.9	9.23
ML7	16.98	51.97	78.8	8.08
SO1	21.32	775.14	685.8	11.88
SO2	17.1	796.2	745.36	6.67
SO3	16.42	174.84	143.87	9.21
SO4	15.4	102.13	91.97	9.07
SO5	16.57	208.08	183.36	10.27
SO6	17.27	474.03	439.27	7.36
SO7	17.52	753.9	715.22	8.6
SO8	18.7	530.58	489.3	5.87

ΣΤ(c). Πίνακες στατιστικής επεξεργασίας της LF των δειγμάτων για κάθε κλίβανο

κλάσεις[,)	LFi	fi	Fi	fi(%)	Fi(%)
ML					
"0-100"	50	17	17	42.5	42.5
"100-200"	100	7	24	17.5	60
"200-300"	200	3	27	7.5	67.5
"300-400"	300	4	31	10	77.5
"400-500"	400	5	36	12.5	90
''500-600''	500	2	38	5	95
"600-700"	600	0	38	0	95
''700-800''	700	0	38	0	95
''800-900''	800	1	39	2.5	97.5
''900-					
1000''	900	1	40	2.5	100

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη "ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"					
κλάσεις[,)	LFi	fi	Fi	Fi(%)	Fi(%)
"50-150"	75	15	15	20.83	20.83
"150-250"	175	13	28	18.06	38.89
"250-350"	275	10	38	13.89	52.78
"350-450"	375	4	42	5.56	58.34
"450-550"	475	1	43	1.39	59.73
"550-650"	575	4	47	5.56	65.29
"650-750"	675	9	56	12.5	77.79
"750-850"	775	4	60	5.56	83.34
''850-950'' ''950-	875	6	66	8.33	91.67
1050''	975	6	72	8.33	100

LFi: Η μέση τιμή της χαμηλής συχνότητας της κάθε κλάσης.

fi: Η συχνότητα εμφάνισης της κάθε κλάσης.

Fi: Η αθροιστική συχνότητα εμφάνισης όλων των κλάσεων μέχρι και την κλάση i.

fi(%): Η σχετική συχνότητα εμφάνισης της κάθε κλάσης.

Fi(%): Η σχετική αθροιστική συχνότητα εμφάνισης όλων των κλάσεων μέχρι και την κλάση i.

ΣΤ(d). Πίνακες στατιστικής επεξεργασίας της ΗF των δειγμάτων για κάθε κλίβανο

κλάσεις[,) ΜΙ	HFi	fi	Fi	Fi(%)	Fi(%)
"0-100"	50	18	18	45	45
"100-200"	150	7	25	17.5	62.5
"200-300"	250	4	29	10	72.5
"300-400"	350	5	34	12.5	85
''400-500''	450	4	38	10	95
"500-600"	550	0	38	0	95
"600-700"	650	0	38	0	95
"700-800"	750	1	39	2.5	97.5
''800-900''	850	1	40	2.5	100
κλάσεις[,) SO	HFi	fi	Fi	Fi(%)	Fi(%)
κλάσεις[,) SO ''50-150''	HFi 100	fi 18	Fi 18	Fi(%) 25	Fi(%) 25
κλάσεις[,) SO "50-150" "150-250"	HFi 100 200	fi 18 14	Fi 18 32	Fi(%) 25 19.44	Fi(%) 25 44.44
κλάσεις[,) SO "50-150" "150-250" "250-350"	HFi 100 200 300	fi 18 14 6	Fi 18 32 38	Fi(%) 25 19.44 8.33	Fi(%) 25 44.44 52.77
κλάσεις[,) SO "50-150" "150-250" "250-350" "350-450"	HFi 100 200 300 400	fi 18 14 6 4	Fi 18 32 38 42	Fi(%) 25 19.44 8.33 5.56	Fi(%) 25 44.44 52.77 58.33
κλάσεις[,) SO "50-150" "150-250" "250-350" "350-450" "450-550"	HFi 100 200 300 400 500	fi 18 14 6 4 3	Fi 18 32 38 42 45	Fi(%) 25 19.44 8.33 5.56 4.17	Fi(%) 25 44.44 52.77 58.33 62.5
κλάσεις[,) SO "50-150" "150-250" "250-350" "350-450" "450-550" "550-650"	HFi 100 200 300 400 500 600	fi 18 14 6 4 3 8	Fi 18 32 38 42 45 53	Fi(%) 25 19.44 8.33 5.56 4.17 11.12	Fi(%) 25 44.44 52.77 58.33 62.5 73.62
κλάσεις[,) SO "50-150" "150-250" "250-350" "350-450" "450-550" "550-650" "650-750"	HFi 100 200 300 400 500 600 700	fi 18 14 6 4 3 8 6	Fi 18 32 38 42 45 53 59	Fi(%) 25 19.44 8.33 5.56 4.17 11.12 8.33	Fi(%) 25 44.44 52.77 58.33 62.5 73.62 81.95



ΗFi: Η μέση τιμή της υψηλής συχνότητας της κάθε κλάσης. fi: Η συχνότητα εμφάνισης της κάθε κλάσης. Fi: Η αθροιστική συχνότητα εμφάνισης όλων των κλάσεων μέχρι και την κλάση i. fi(%): Η σχετική συχνότητα εμφάνισης της κάθε κλάσης. Fi(%): Η σχετική αθροιστική συχνότητα εμφάνισης όλων των κλάσεων μέχρι και την κλάση i.

ΣΤ(e). Τελικά αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας της μαγνητικής επιδεκτικότητας

	ML		SO		
Παράμετροι	LF	HF	LF	HF	
N	40	40	72	72	
Επικρατούσα	50	50	75	100	
τιμή(Χεπ.)					
Μέγιστη τιμή(Xmax)	964.3	893	964.3	969.5	
Ελάχιστη τιμή(Xmin)	21.5	19.1	53.1	71	
Εύρος κλάσης(r)	942.8	873.9	911.2	898.5	
Πλάτος κλάσης(w)	100	100	100	100	
X(0.25)	58.82	55.56	173.08	60	
Md	142.86	128.57	330	316.67	
X(0.75)	275	320	727.78	666.67	
Ενδοτεταρτημοριακό	216.18	264.44	554.7	606.67	
εύρος(Q)					
Ημιενδοτεταρτημοριακό	108.09	132.22	277.35	303.34	
εύρος(Q/2)					
Μέση τιμή(μ)	201.25	202.5	426.39	413.89	
Διασπορά(s^2)	44165.0641	38967.95	99434.7	85156.45	
Τυπική απόκλιση(s)	210.16	197.4	315.33	291.82	
Συντελεστής	104.43%	97.48%	73.95%	70.51%	
μεταβλητότητας(v)					
Συντελεστής	-0.37	8.41	0.81	1.46	
λοξότητας(α3)					
Συντελεστής	23.82	23.79	1.72	2.98	
κύρτωσης(α4)					