

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

**ΜΕΛΕΤΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΕ
ΕΔΑΦΗ ΜΕ ΣΤΟΧΟ ΤΗΝ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΤΗΣ
ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΤΟΥΣ ΑΠΟ ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ**



ΛΕΒΕΝΤΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ ΑΕΜ(3728)

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ ΔΕΣΠΟΙΝΑ ΚΟΝΤΟΠΟΥΛΟΥ

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

**ΜΕΛΕΤΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΕ
ΕΔΑΦΗ ΜΕ ΣΤΟΧΟ ΤΗΝ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΤΗΣ
ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΤΟΥΣ ΑΠΟ ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ**



ΛΕΒΕΝΤΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ ΑΕΜ(3728)

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ ΔΕΣΠΟΙΝΑ ΚΟΝΤΟΠΟΥΛΟΥ



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<u>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</u>	2
<u>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</u>	
1.1. ΣΥΝΤΟΜΗ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΟΥ ΠΑΛΑΙΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΥ.....	4
1.2. ΓΕΝΙΚΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΥ.....	5
1.3. ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	6
1.4. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΥ.....	7
1.5. ΓΕΝΙΚΟ ΠΛΑΝΟ ΜΙΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΥ.....	8
<u>2. ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΥ</u>	
2.1. ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΤΗΣ ΓΗΣ ΚΑΙ ΘΕΜΕΛΙΩΔΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ.....	9
2.2. ΜΑΓΝΗΤΙΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΕ ΑΤΟΜΙΚΗ ΚΛΙΜΑΚΑ.....	10
2.3. ΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ.....	13
2.4. ΜΑΓΝΗΤΙΣΗ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ.....	14
<u>3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ</u>	19
3.1. ΕΙΔΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	21
3.2. ΦΥΣΙΚΑ ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ.....	24
3.3. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΜΕΤΡΑΜΕ ΚΑΙ Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥΣ.....	28
3.4. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ.....	31
3.5. ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	31
<u>4. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΥ ΑΠΟ ΤΟΝ ΔΙΕΘΝΗ ΧΩΡΟ</u>	39
<u>5. ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΕΡΓΑΣΙΑ</u>	
5.1. ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΟΖΑΝΗΣ (ΕΛΛΑΔΑ).....	47
5.2. ΠΕΡΙΟΧΗ BOLTON (UNITED KINGDOM).....	49
<u>6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ</u>	
6.1. ΚΟΖΑΝΗ.....	54
6.2. BOLTON.....	59
6.3. ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑΤΑ.....	65
<u>7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</u>	67
<u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</u>	70

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία μου ανατέθηκε στα πλαίσια μιας ευρύτερης ερευνητικής προσπάθειας που έγινε από τον Τομέα Γεωφυσικής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης για την ανάπτυξη του Περιβαλλοντικού Μαγνητισμού στον Ελλαδικό χώρο.

Η μελέτη αυτή πραγματοποιήθηκε μέσω μιας ερευνητικής διακρατικής συνεργασίας Ελλάδας – Μεγάλης Βρετανίας που χρηματοδοτήθηκε από την Γ.Γ.Ε.Τ. (2004-2006). Η συλλογή των δειγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στην διπλωματική έγινε κατά την διάρκεια αυτής της συνεργασίας από διάφορους ερευνητές, Έλληνες και Βρετανούς.

Μέρος των μετρήσεων που χρησιμοποιούνται για σύγκριση πραγματοποιήθηκαν στα εργαστήρια Γεωχημείας του Manchester της Μεγάλης Βρετανίας από τους Dr. David Polya και Andy Gault.

Ένα άλλο μέρος των μετρήσεων που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία, πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο του Τομέα Γεωφυσικής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας συνέβαλαν σημαντικά οι παρακάτω καθηγητές και ερευνητές, με τους οποίους συνεργάστηκα και με βοήθησαν ποικιλότροπα. Τους ευχαριστώ θερμά!

Συγκεκριμένα:

Την κ. Δ. Κοντοπούλου για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και μου ανέθεσε το θέμα της διπλωματικής. Από την πρώτη στιγμή μου διέθεσε τα απαραίτητα βιβλιογραφικά δεδομένα, αναφορές, παρατηρήσεις, εξηγήσεις, διευκρινήσεις και σχόλια που είχαν σχέση με την διπλωματική μου και ήταν δίπλα μου οποιαδήποτε στιγμή χρειάστηκα βοήθεια και κάποια διευκρίνιση. Την ευχαριστώ πάρα πολύ για όλα.

Ένα τεράστιο ευχαριστώ στην Δρ. Ε. Ζανανιρι για την πολύτιμη βοήθειά της, καθώς και για όλον αυτόν τον χρόνο που διέθεσε για να με βοηθήσει με την εργασία. Με καθοδήγησε από την αρχή μέχρι το τέλος με το υλικό που μου διέθεσε, την βοήθεια κατά την διάρκεια των εργαστηριακών μετρήσεων, τις παρατηρήσεις και τις διορθώσεις της μέχρι την τελική διαμόρφωση της εργασίας. Την ευχαριστώ πολύ.

Τον Δρ. Α. Ατζέμογλου που ήταν ο υπεύθυνος καθηγητής μου κατά την πρακτική μου άσκηση στο Ι.Γ.Μ.Ε. Θεσσαλονίκης τον Οκτώβριο του 2009. Ο οποίος έκανε την πρώτη Παλαιομαγνητική διδακτορική διατριβή στην Ελλάδα και με βοήθησε πολύ με την βιβλιογραφία που μου παρείχε, καθώς και να με εισάγει στο "αντικείμενο" ως εμπειρογνώμων κατά τις συζητήσεις μας. Τον ευχαριστώ θερμά.

Ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ στην Δρ. Ε. Αηδονά για την πολύτιμη βοήθειά της, τις συμβουλές τις, αλλά και την υπομονή της στο εργαστήριο του Τομέα Γεωφυσικής, ώστε να κατανοήσω και να μπορέσω να πραγματοποιήσω τις απαραίτητες μετρήσεις των δειγμάτων που μελετήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ στην Δ.Π. για την συμπαράστασή της. Να ευχαριστήσω εδώ τον φίλο μου Χρήστο Γιαννακούλας που με πρότεινε και με σύστησε στην κ. Δ. Κοντοπούλου, αλλά και για την βοήθεια που μου πρόσφερε. Τέλος ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου και στον αδερφό μου.

Γιάννης Λεβέντης
Θεσσαλονίκη Ιούλιος 2011

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. ΣΥΝΤΟΜΗ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΟΥ ΠΑΛΑΙΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΥ

Η μελέτη του γήινου μαγνητικού πεδίου υπήρξε από τα παλαιότερα αντικείμενα επιστημονικής έρευνας. Οι ελκτικές ιδιότητες του φυσικού μαγνήτη ήταν γνωστές στους Έλληνες και τους Κινέζους από τον 6^ο π.Χ.αι. Η πυξίδα έγινε γνωστή στην Ευρώπη τον 12^ο αι. μ.Χ., ενώ τα πρώτα “αποκλισιόμετρα” (συσκευές που μετράνε την μαγνητική απόκλιση) κατασκευάστηκαν γύρω στο 1400 μ.Χ.(Chapman & Bartels 1940).

Το 1600, ο Gilbert πρότεινε ότι η Γη είναι ένας τεράστιος μαγνήτης. Αυτό αποτέλεσε και την πρώτη ιδιότητα που αποδιδόταν στη μάζα της Γης, εκτός από το σφαιρικό της σχήμα. Οι πρώτες παρατηρήσεις σχετικά με τη μαγνήτιση ορισμένων πετρωμάτων παράλληλα με τη διεύθυνση του γεωμαγνητικού πεδίου έγιναν στο 1850 από τους Delesse και Melloni.

Αρχικά ,επειδή τα χρησιμοποιούμενα όργανα δεν ήταν αρκετά ευαίσθητα για την ανίχνευση ασθενώς μαγνητισμένων υλικών όπως ιζήματα,οι πρώτες παλαιομαγνητικές εργασίες αφορούσαν μελέτη των φυσικά ή τεχνητά θερμασμένων υλικών. Όμως, κατά την πάροδο του χρόνου και με την συμβολή πολλών αξιόλογων επιστημόνων κατάφεραν να δημιουργηθούν τα κατάλληλα όργανα μελέτης και κατανόησης του γήινου μαγνητικού πεδίου, καθώς και των ιδιοτήτων του.

Ο παλαιομαγνητισμός έχει ως σκοπό τη μελέτη του γήινου μαγνητικού πεδίου όπως αυτό καταγράφηκε κατά την διάρκεια των γεωλογικών εποχών και όπως αυτό φαίνεται από την παραμένουσα μαγνήτιση των πετρωμάτων. Με τη βοήθεια του παλαιομαγνητισμού αποκαλύπτονται ορισμένα φαινόμενα που δεν γίνονται άμεσα αντιληπτά από τα χαρακτηριστικά του γήινου μαγνητικού πεδίου.

Τα παλαιομαγνητικά αποτελέσματα βοήθησαν αποφασιστικά τη Γεωλογία και τη Γεωφυσική σε τομείς όπως είναι οι αναστροφές του γεωμαγνητικού πεδίου ,οι καμπύλες μετάθεσης των πόλων (polar wandering paths), οι μεσοωκεάνιες ράχες και οι επεκτάσεις του ωκεάνιου πυθμένα,σε μετρήσεις της παλαιοακτίνας της Γης κ.ά.Την τελευταία δεκαετία και με τη μεγάλη ώθηση που δόθηκε στον τεχνολογικό εξοπλισμό , ο παλαιομαγνητισμός μπόρεσε να εφαρμοσθεί σε πλήθος, κατά παράδοση “δύσκολων” πετρωμάτων (π.χ. ασθενώς μαγνητισμένα ιζήματα, μεταμορφωμένα πετρώματα) και να συνεισφέρει στην επίλυση προβλημάτων ,όπως ο υπολογισμός της παλαιοέντασης του πεδίου, η χρονολόγηση κλιματολογικών αλλαγών κλπ.

Το φαινόμενο στο οποίο βασίζεται ο παλαιομαγνητισμός, είναι η απόκτηση, από τα πετρώματα ,μιας μόνιμης μαγνήτισης κατά το χρόνο ή πολύ κοντά στο χρόνο της δημιουργίας τους. Αυτή η μαγνήτιση

προέρχεται από το υπάρχον μαγνητικό πεδίο της περιοχής δειγματοληψίας κατά τον χρόνο δημιουργίας του πετρώματος. Το πέτρωμα καταγράφει τη διεύθυνση του παλαιού περιβάλλοντος πεδίου, εμμέσως και την ένταση του, στη θέση δειγματοληψίας κατά τον χρόνο δημιουργίας του πετρώματος. Κατά τη διάρκεια της γεωλογικής του ιστορίας, το πέτρωμα καταγράφει και άλλες μαγνητίσεις που επικάθονται στην αρχική. Στη συνέχεια είναι δυνατόν να διαχωριστούν οι διάφορες μαγνητικές συνιστώσες και να ερμηνευτούν ως κύριες και δευτερεύουσες συνιστώσες με σκοπό τη δημιουργία μοντέλου για τη γεωδυναμική εξέλιξη της περιοχής (περιστροφές και κατά πλάτος μετακινήσεις σε σχέση με το χρόνο), την κατάσθρωση μαγνητοστρωματογραφικής στήλης κ.λ.π. Έτσι π.χ. οι τιμές της έγκλισης για τους ηφαιστειακούς και πλουτώνιους σχηματισμούς, που αποτελούν ακριβείς δείκτες του παλαιοπλάτους, είναι πιστές καταγραφές του γεωμαγνητικού πεδίου.

Για την σωστή ερμηνεία των παλαιομαγνητικών αποτελεσμάτων πρέπει να γίνει διόρθωση στην κλίση των σχηματισμών ώστε να "επανέλθουν" στην αρχική οριζόντια θέση κατά το χρόνο δημιουργίας τους.

Η πρώτη ρητή περιγραφή του περιβαλλοντικού μαγνητισμού ως ξεχωριστού πεδίου έρευνας ήταν το 1980. Έχει γίνει ένας ευρύς τομέας που εφαρμόζεται σε μια συνεχώς αυξανόμενη σειρά επιστημονικών κλάδων. Ο περιβαλλοντικός μαγνητισμός μελετά τη μεταβολή των μαγνητικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων και των ορυκτών εξαιτίας περιβαλλοντικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στην ατμόσφαιρα, την υδρόσφαιρα, και την λιθόσφαιρα.

1.2. ΓΕΝΙΚΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΥ

Ο τομέας του περιβαλλοντικού μαγνητισμού εξετάζει και μελετάει τις αλλαγές στο παλαιοκλίμα μιας περιοχής, τις περιβαλλοντικές διαδικασίες που είναι υπεύθυνες για τις διακυμάνσεις της μαγνήτισης ενός ιζηματογενούς περιβάλλοντος στο οποίο υπάρχουν μαγνητικά ορυκτά, τον ρυθμό ιζηματογένεσης σε ένα λιμναίο περιβάλλον. Εξετάζει επίσης την διάλυση των μαγνητικών ορυκτών λόγω περιορισμένης διαγένεσης, κ.ά. Μπορεί να εφαρμοστεί σε παλαιοκλιματολογικές έρευνες, παλαιοωκεανογραφικές μελέτες, μελέτες προέλευσης ιζημάτων, μελέτες προκληθείσας ρύπανσης.

Επειδή ο περιβαλλοντικός μαγνητισμός μπορεί να εξετάσει τόσα πολλά προβλήματα και επειδή πολλά από αυτά τα προβλήματα είναι δυσπρόσιτα (με την έννοια του υψηλού κόστους και σημαντικού απαιτούμενου χρόνου) σε άλλους τομείς, γι' αυτό το λόγο ο τομέας του περιβαλλοντικού μαγνητισμού αναπτύσσεται τόσο γρήγορα. Εν τέλει ο περιβαλλοντικός μαγνητισμός μπορεί να εξετάσει τις περιβαλλοντικές και κλιματολογικές αλλαγές του πλανήτη μας, καθώς επίσης και το αντίκτυπο των ανθρώπων σ' αυτόν.

1.3. ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Περιβαλλοντικές επιστήμες έχουν αναπτυχθεί γενικά αρκετά στην Ελλάδα, με έμφαση κυρίως στα άλλα ερευνητικά πεδία όπως η χημεία, η βιολογία και η μετεωρολογία. Οι μαγνητικές μέθοδοι δεν έχουν εφαρμοστεί πλήρως, για την μελέτη της ρύπανσης στον ελληνικό χώρο.

Ο περιβαλλοντικός μαγνητισμός δηλαδή είναι νέος σχετικά επιστημονικός κλάδος, και εφαρμόζεται στην Ελλάδα μόνο κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών για τη μελέτη της ανθρωπογενούς ρύπανσης. Το σκεπτικό της μεθόδου βασίζεται στην ιδιότητα των οξειδίων του σιδήρου και θείου να προσελκύσουν και να απορροφούν τα βαρέα μέταλλα, οργανικούς ρύπους, ακόμα και ραδιενεργούς ρύπους. Έτσι, η μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας, τόσο *in situ*, όσο και στο εργαστήριο, μαζί με τις υπόλοιπες μαγνητικές παραμέτρους, συνιστά μια γρήγορη και οικονομικώς αποδοτική τεχνική χαρακτηρισμού και χαρτογράφησης χωρικής κατανομής της ρύπανσης.

Η πρώτη εμφάνιση του περιβαλλοντικού μαγνητισμού στην Ελλάδα έγινε με μία διδακτορική διατριβή (Ζέρη , 1995) όπου ήταν ένας συνδυασμός μαγνητικών και γεωχημικών δεδομένων και αναφερόταν στους μολυσμένους χώρους της βορειοδυτικής Μεσογείου, και ακολουθήθηκε από μία μελέτη στην λίμνη Βουλιαγμένη (Ζέρη και συν., 1997) και μία μεταπτυχιακή διατριβή (Tema, 2003) . Η πρώτη μεγάλη μελέτη περιβαλλοντικού μαγνητισμού στην Ελλάδα έγινε στα πλαίσια του προγράμματος Έρευνας και Τεχνολογίας το 2004 – 2006 ανάμεσα στην Ελλάδα και το Ηνωμένο Βασίλειο και χρηματοδοτήθηκε από την Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας στην Ελλάδα και το Βρετανικό Συμβούλιο. Η μελέτη είχε τίτλο << Εφαρμογή τεχνικών του περιβαλλοντικού μαγνητισμού για τον εντοπισμό μόλυνσης νανοσωματιδίων >> . Η ερευνητική ομάδα αποτελείται από 3 επιμέρους ομάδες : η πρώτη από το Αριστοτέλειο πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (Καθ. Δ. Κοντοπούλου, Δρ Α .Ατζέμογλου, Δρ Ε. Ζανανίρη και Δρ S. Spasson) , η δεύτερη από το Πανεπιστήμιο του Μάντσεστερ (Καθ. D. Polya, Δρ. A. Gault) και η Τρίτη από το Πανεπιστήμιο του Lancaster (Καθ. B. Maher, Δρ. B. Karloukovski). Η ελληνική ερευνητική ομάδα είχε ένα ισχυρό υπόβαθρο στις τεχνικές μαγνήτισης και όλη την αναγκαία πείρα για την εκτέλεση των απαιτούμενων μαγνητικών μετρήσεων, ενώ η βρετανική ερευνητική ομάδα είχε μια μακρά εμπειρία σε θέματα περιβάλλοντος και ειδικότερα της ρύπανσης από βαρέα μέταλλα.

1.4. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΥ

Ο σίδηρος είναι ένα από τα πιο κοινά στοιχεία στο φλοιό της Γης. Οι ενώσεις που σχηματίζει ο σίδηρος σε συνδυασμό με το οξυγόνο και το θείο εμφανίζονται, σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό στα μαγνητικά ορυκτά παγκοσμίως. Αυτά τα σωματίδια πολύ μικρού μεγέθους – νανοσωματίδια, (στα οποία βρίσκονται οι ενώσεις σιδήρου, θείου και οξυγόνου) παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον, γιατί εμφανίζονται σε μεγάλες ποσότητες, πράγμα που σημαίνει ότι είναι εξαπλωμένα σε πολύ μεγάλη έκταση. Λόγω αυτών των ιδιοτήτων τους, τα νανοσωματίδια μπορεί να προκαλέσουν διάφορες βιολογικές αντιδράσεις ή να λειτουργήσει ως μέσο αποθήκευσης για άλλα τοξικά συστατικά. Τα οξείδια του σιδήρου και των σουλφιδίων έχουν άριστες ιδιότητες στο να απορροφούν και να προσελκύουν όχι μόνο τα βαρέα μέταλλα αλλά και διάφορους οργανικούς ρυπαντές, όπως ακόμα και ραδιενεργούς ρύπους.

Έτσι χρησιμοποιούνται μαγνητικές μέθοδοι του περιβαλλοντικού μαγνητισμού για να χαρακτηριστεί και να μετρηθεί το ποσοστό της ρύπανσης μιας περιοχής.

Μετά από βιογεωχημικές διαδικασίες του σιδήρου στο περιβάλλον, όπως οι καιρικές συνθήκες ο σχηματισμός του εδάφους η διαγένεση των ιζημάτων, αλλά και διάφορων ανθρώπινων δραστηριοτήτων όπως η καύση των ορυκτών καυσίμων η αποτέφρωση των αποβλήτων, έχουν ως αποτέλεσμα να παράγουν σημαντικές ποσότητες ορυκτών του σιδήρου με μορφή ιπτάμενης τέφρας αιωρούμενων σωματιδίων (PM). Αυτά τα σωματίδια που έχουν μέγεθος μικρότερο από 10 μm (PM10) παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον, διότι μπορεί να εισπνευθούν βαθιά στους πνεύμονες και να προκαλέσουν κυτταροτοξική και αντιφλεγμονώδη δράση, όταν το σίδηρο και άλλα βαρέα μέταλλα γίνονται διαθέσιμα.

Μελέτες σχετικά με την ιπτάμενη τέφρα δείχνουν ότι φαίνεται σημαντικό ρόλο να διαδραματίζουν τα μεταβατικά μέταλλα όπως Fe, Cu, Ni και V. Από αυτά τα μέταλλα μπορούν να προκληθούν προφλεγμονώδεις αντιδράσεις των κυττάρων.

Σε γενικές γραμμές, τα σωματίδια που προέρχονται από τις διεργασίες καύσης περιλαμβάνουν το 2 με 20% κατά βάρος των μαγνητικών οξειδίων του σιδήρου, και με τις υψηλότερες τιμές να παρατηρούνται στην ιπτάμενη τέφρα η οποία προκύπτει από την καύση άνθρακα. Ο μαγνητίτης (Fe_3O_4) και ο αιματίτης ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) είναι τα κύρια μαγνητικά ορυκτά που βρίσκονται στην βιομηχανία με την μορφή στάχτης και δημιουργούνται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας καύσης.

1.5. ΓΕΝΙΚΟ ΠΛΑΝΟ ΜΙΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΥ

Μία γενικευμένη αλληλουχία των σταδίων που ακολουθείται σε μία περιβαλλοντική μαγνητική ανάλυση των πετρωμάτων, των ιζημάτων και των δειγμάτων που συλλέγονται από το έδαφος παρουσιάζεται στο Σχήμα (1).



Σχήμα (1) Γενικευμένη αλληλουχία των σταδίων σε μία περιβαλλοντική μαγνητική ανάλυση (Maher & Thompson 1999).

2.ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΥ

2.1. ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΤΗΣ ΓΗΣ ΚΑΙ ΘΕΜΕΛΙΩΔΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ

Μαγνητικό πεδίο της Γης είναι ο χώρος γύρω της όπου ασκούνται μαγνητικές δυνάμεις. Το μαγνητικό πεδίο της Γης διακρίνεται στο κύριο μαγνητικό πεδίο, το οποίο οφείλεται σε αίτια που βρίσκονται στο εσωτερικό της και στο δευτερεύον μαγνητικό πεδίο το οποίο προκαλείται από πρόσκαιρες μεταβολές που οφείλονται σε αίτια τα οποία βρίσκονται έξω από την Γη.

Μαγνητικές δυνάμεις δεν ασκούνται σε οποιοδήποτε σώμα το οποίο βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο, αλλά μόνο πάνω σε ορισμένα σώματα που λέγονται μαγνητικά σώματα. Οι μαγνητικές δυνάμεις είναι ανάλογες ενός υποθετικού μεγέθους, P , το οποίο λέγεται ποσότητα μαγνητισμού. Η ποσότητα μαγνητισμού μπορεί να είναι θετική (ή βόρεια) και αρνητική (ή νότια). Ένταση μαγνητικού πεδίου, σε ορισμένο σημείο του λέγεται ένα διανυσματικό μέγεθος, H , που έχει τη διεύθυνση και φορά της μαγνητικής δύναμης, F , η οποία ασκείται πάνω σε θετική μαγνητική ποσότητα, m , που βρίσκεται στο σημείο αυτό και μέτρο που δίδεται από τη σχέση

$$H = \frac{F}{m}$$

Η ένταση του μαγνητικού πεδίου σε απόσταση r από τη μαγνητική ποσότητα M , στην οποία οφείλεται το πεδίο, δίνεται από την σχέση

$$H = \frac{M}{r^2}$$

Η μονάδα μέτρησης της έντασης του μαγνητικού πεδίου, στο ηλεκτρομαγνητικό σύστημα μονάδων (emu), είναι το 1 Oe (= 1 Oersted). Επειδή στη γεωφυσική ενδιαφερόμαστε, συνήθως, για μικρές μεταβολές της έντασης, ως μονάδα μέτρησης αυτής χρησιμοποιούμε το 1γ (γ=γάμμα), που ορίζεται από την σχέση

$$1\gamma = 10^{-5} \text{ Oe}$$

Υποθέτουμε ότι ένα μαγνητισμένο σώμα αποτελείται από στοιχειώδη μαγνητικά δίπολα, τα οποία τείνουν να αποκτήσουν τη διεύθυνση της έντασης του μαγνητικού πεδίου, όταν το σώμα τεθεί μέσα σε πεδίο. Έστω ότι η συνολική μαγνητική ροπή ενός μαγνητισμένου σώματος είναι $\vec{M}^*$.

Ονομάζουμε μαγνήτιση ένα διανυσματικό μέγεθος , $\vec{j}$, που έχει την ίδια διεύθυνση και φορά με τη μαγνητική ροπή και μέτρο που δίνεται από τη σχέση

$$J = \frac{M^*}{V}$$

Όπου V ο όγκος του σώματος.

Όταν το μαγνητικό πεδίο ,μέσα στο οποίο τοποθετείται ένα μαγνητικό σώμα, δεν είναι πολύ ισχυρό, η μαγνήτιση του σώματος συνδέεται με την ένταση του πεδίου με τη σχέση

$$\vec{j} = \kappa \vec{H}$$

όπου κ είναι η **μαγνητική επιδεκτικότητα** , η οποία εξαρτάται από το υλικό και είναι η φυσική παράμετρος που χαρακτηρίζει την ικανότητα ενός υλικού να μαγνητίζεται όταν βρίσκεται σε κάποιο μαγνητικό πεδίο.

Δίνεται από την σχέση :

$$\kappa = \frac{M}{H}$$

Όπου, M = επαγόμενη μαγνήτιση που επέρχεται σε ασθενές μαγνητικό πεδίο, και H = εφαρμοζόμενο πεδίο.

Εξαρτάται από τη θερμοκρασία & από το μαγνητικό υλικό του σώματος, καθώς και από τη συχνότητα του εφαρμοζόμενου πεδίου, δεν έχει διαστάσεις (σταθερά πετρωμάτων),είναι ανάλογη με την περιεκτικότητα & το μέγεθος των κόκκων των σιδηρομαγνητικών υλικών και αυξάνεται από τα ιζηματογενή προς τα μεταμορφωμένα και τα πυριγενή.

2.2. ΜΑΓΝΗΤΙΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΕ ΑΤΟΜΙΚΗ ΚΛΙΜΑΚΑ

Τα άτομα ενός υλικού έχουν μια ηλεκτρική δομή στην οποία τα ηλεκτρόνια θεωρούνται οι βασικοί παράγοντες της δημιουργίας των μαγνητικών ιδιοτήτων αυτού. Λόγω του ότι τα ηλεκτρόνια κατέχουν αρνητικό φορτίο,η κυκλική τους κίνηση γύρω από τον πυρήνα των ατόμων δημιουργεί ένα ηλεκτρικό ρεύμα το οποίο με τη σειρά του γίνεται η αιτία της δημιουργίας ενός μαγνητικού πεδίου. Έτσι τα ηλεκτρόνια δημιουργούν μια μαγνητική ροπή λόγω της τροχιάς τους γύρω από τον πυρήνα ,ενώ ταυτόχρονα έχουν μαγνητικές ροπές λόγω του spin.

Τα πετρώματα περιέχουν μαγνητικούς κόκκους που συμπεριφέρονται σαν μικρά δίπολα. Η μαγνητική συμπεριφορά των κόκκων αυτών οφείλεται στην τροχιά και το spin των ηλεκτρονίων του υλικού. Τα φυσικά στοιχεία διαιρούνται ανάλογα με την συμπεριφορά τους όταν εκτίθενται σε ένα εξωτερικό μαγνητικό πεδίο.

Όλα τα υλικά μπορούν να θεωρηθούν ότι είναι μαγνητικά σε ατομική κλίμακα, και ταξινομούνται σε 5 μεγάλες κατηγορίες :

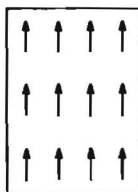
- **Διαμαγνητικά** είναι τα υλικά που παρουσιάζουν αρνητικό μαγνητισμό. Αν και αποτελούνται από άτομα που δεν έχουν συνισταμένη μαγνητική ροπή, συμπεριφέρονται κατά ένα ιδιαίτερο τρόπο μέσα σε ένα εξωτερικό πεδίο, δηλαδή δημιουργείται μαγνητικό πεδίο αντίθετης διεύθυνσης με αυτό του εφαρμοσμένου πεδίου. 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 κ.ά). Αυτό συμβαίνει επειδή τα ηλεκτρόνια στα άτομα βρίσκονται συνήθως σε άρτιο αριθμό, έτσι ώστε οι περιστροφές να εξουδετερώνονται ανά δύο.

- **Παραμαγνητικά** είναι τα υλικά που εμφανίζουν ασθενή θετική μαγνήτιση όταν επιδράσει σε αυτά εξωτερικό μαγνητικό πεδίο. Τα άτομα των παραμαγνητικών υλικών έχουν μια συνισταμένη μαγνητική ροπή. Η μαγνήτιση είναι ανάλογη του εφαρμοσμένου πεδίου. Ελαττώνεται με τη θερμοκρασία και ξαναγίνεται μηδενική όταν μηδενιστεί το μαγνητικό πεδίο.

- Στα **σιδηρομαγνητικά υλικά**, τα ζεύγη των ατόμων είναι παράλληλα μεταξύ τους και προκαλούν μια πολύ ισχυρή στιγμιαία μαγνήτιση ακόμη κι όταν δεν υπάρχει εξωτερικό μαγνητικό πεδίο. Στα υλικά με αντιπαράλληλες συζεύξεις, η μαγνήτισή τους θεωρείται ότι αποτελείται από δύο ξεχωριστές μαγνητικές δομές που η καθεμία είναι μαγνητισμένη σε αντίθετη διεύθυνση από την άλλη.

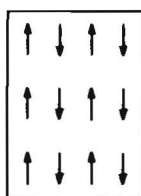
Όταν ένα μαγνητικό πεδίο επιδράσει σε ένα σιδηρομαγνητικό υλικό, η μαγνήτιση του υλικού μεταβάλλεται από το μηδέν μέχρι την τιμή κορεσμού του υλικού. Πραγματικά σιδηρομαγνητικά υλικά είναι τα οξείδια του σιδήρου και του νικελίου. Ο σιδηρομαγνητισμός οφείλεται στην ισχυρή αλληλεπίδραση των ατομικών μαγνητικών ροπών, γεγονός που έχει ως συνέπεια την παράλληλη διάταξή τους.



Σχήμα (2) Στα σιδηρομαγνητικά υλικά, όλες οι ατομικές μαγνητίσεις εκ περιστροφής διατάσσονται παράλληλα μεταξύ τους κάτω από την επίδραση εσωτερικών δυνάμεων ανταλλαγής, παράγοντας ένα πολύ ισχυρό εξωτερικό πεδίο που δημιουργείται ακόμη και με απουσία εφαρμοζόμενου πεδίου (Tarling 1983)

- **Αντισιδηρομαγνητικά υλικά** είναι εκείνα στα οποία εμφανίζεται ισχυρή αντιπαράλληλη σύζευξη των ατομικών μαγνητικών ροπών. Σε αυτά τα υλικά, σε θερμοκρασίες μικρότερες από τη θερμοκρασία Néel ακόμα και όταν δεν επιδρά εξωτερικό μαγνητικό πεδίο, οι εσωτερικές δυνάμεις υπερανταλλαγής προκαλούν αντιπαράλληλους προσανατολισμούς στις μαγνητίσεις των δύο υποπλεγμάτων. Έτσι τα υλικά αυτά - μακροσκοπικά- δεν εμφανίζουν μαγνήτιση εκτός πεδίου. Όταν το αντισιδηρομαγνητικό υλικό έχει πολυκρυσταλλική υφή, οι κρυσταλλικές διευθύνσεις των κρυσταλλιτών είναι τυχαία προσανατολισμένες όπως και οι διευθύνσεις των μαγνητικών ροπών των υποπλεγμάτων. Αντισιδηρομαγνητικό υλικό είναι ο αιματίτης.

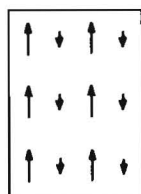
Σχεδόν όλα είναι ημιαγωγοί και οι μαγνητικές τους ιδιότητες είναι εντοπισμένες στα ιόντα του πλέγματος.



Σχήμα (3) Στα αντισιδηρομαγνητικά υλικά οι εσωτερικές δυνάμεις υπερανταλλαγής προκαλούν την αντιπαράλληλη ζεύξη των μαγνητίσεων εκ περιστροφής. Εσωτερικά έχουν αντιπαράλληλη διάταξη των μαγνητίσεων των υποπλεγμάτων τους, ενώ εξωτερικά δεν εμφανίζουν μαγνήτιση (Tarling 1983).

- Στα **σιδηριμαγνητικά υλικά**, οι δύο μαγνητικές δομές δεν είναι ακριβώς όμοιες, κι έτσι η στιγμιαία τους μαγνήτιση είναι ίδια με αυτή των σιδηρομαγνητικών υλικών, αλλά πολύ ασθενέστερη. Αυτή εξαρτάται από τη διαφορά που υπάρχει μεταξύ των δύο δομών όσον αφορά τον αριθμό των ιόντων και το μέγεθος των spin των ιόντων.

Οι πιο σπουδαίες σιδηριμαγνητικές ουσίες είναι οι φερρίτες. Αυτοί είναι διπλά οξειδία του σιδήρου με ένα άλλο μέταλλο (μαγνητίτης, ταιτανομαγνητίτης κλπ.). Η μαγνητική τους συμπεριφορά είναι παρόμοια με εκείνη των σιδηρομαγνητικών. Σιδηριμαγνητικό υλικό είναι ο μαγνητίτης που έχει μεγάλη τιμή μαγνητικής επιδεκτικότητας.



Σχήμα (4) Στα σιδηριμαγνητικά υλικά, οι μαγνητίσεις περιστροφής είναι αντιπαράλληλες μεταξύ τους, αλλά έχουν διαφορετικό μέγεθος. Έτσι τα υλικά αυτά έχουν μια ασθενέστερη μαγνήτιση απ' ό,τι τα σιδηρομαγνητικά υλικά. Αποκτούν όμως τη μαγνήτισή τους ακόμη κι όταν δεν υπάρχει εξωτερικά εφαρμοζόμενο μαγνητικό πεδίο (Tarling 1983).

2.3. ΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

2.3.1. ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΝΙΣΟΤΡΟΠΙΑ

Εννοούμε την εξάρτηση των μαγνητικών ιδιοτήτων ενός υλικού από τη διεύθυνση κατά την οποία μετρώνται τα μαγνητικά μεγέθη. Κυριότερες μορφές είναι :

- **Ανισοτροπία σχήματος.** Συναντάται στα ορυκτά υψηλής επιδεκτικότητας. Προκύπτει σε έναν ασύμμετρο κόκκο, εξαιτίας της ανισότητας της έντασης του πεδίου απομαγνήτισης που μετράται σε διαφορετικές διευθύνσεις.

- **Μαγνητοκρυσταλλική ανισοτροπία.** Στα σιδηρομαγνητικά υλικά, οι μαγνητικές ιδιότητες αλλάζουν ανάλογα με την κρυσταλλική διεύθυνση. Αυτή η ιδιότητα έχει ως αποτέλεσμα οι καμπύλες μαγνήτισης να έχουν διαφορετική μορφή ανάλογα με τη διεύθυνση προς την οποία γίνεται η μέτρηση.

- **Ανισοτροπία τάσης.** Είναι αποτέλεσμα μιας παραμόρφωσης που γίνεται ταυτόχρονα με τη δημιουργία του υλικού και προκαλείται από επανατοποθέτηση των μαγνητικών κόκκων μέσα σε ένα πέτρωμα. Συναντάται συχνά σε μεταμορφωμένα και πυριγενή πετρώματα.

Η κρυσταλλική ανισοτροπία είναι ενδογενής ενώ η ανισοτροπία σχήματος μπορεί να προκληθεί από εξωτερικά αίτια. Τα γεωλογικά δεδομένα συνήθως περιέχουν πολλά εκατομμύρια μαγνητικών κόκκων κι έτσι οι ανομοιογένειες σε ατομικό επίπεδο εξισορροποούνται μέσα στο ίδιο παρασκεύασμα.

2.3.2. ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΟΚΚΩΝ

Το μέγεθος των κόκκων αποτελεί μια σημαντική παράμετρο για την μελέτη των μαγνητικών ιδιοτήτων των σιδηρομαγνητικών υλικών. Η θεωρία αυτή οφείλεται στον Weiss και υιοθετήθηκε από τον Néel, θεωρία των μαγνητικών περιοχών (magnetic domains), για να εξηγηθεί η απομαγνητική κατάσταση των υλικών με φυσική μαγνήτιση.

Σύμφωνα με αυτή την θεωρία , οι μεγάλοι σιδηριμαγνητικοί κόκκοι αποτελούνται από μικρότερους όγκους που ονομάζονται “περιοχές” (domains), η κάθε μία από τις οποίες είναι προσανατολισμένη με μία από τις διευθύνσεις “εύκολης” μαγνήτισης, σε σχέση με το κρυσταλλικό πλέγμα. Οι κόκκοι του μαγνητίτη αποτελούνται από πολλές μαγνητικές περιοχές (MD – Multidomain grains), ενώ του αιματίτη αποτελούνται συνήθως από μια μαγνητική περιοχή (SD – Single domain grains).

Υπάρχουν διαχωρισμοί (όρια) μεταξύ των κόκκων, (α) ο διαχωρισμός μεταξύ πολύ λεπτών υπερ - παραμαγνητικών κόκκων (SP) και μικρών κόκκων με σταθερή μοναδική περιοχή (SD) και (β) μια διάκριση μεταξύ των SD (μονοκρυσταλλικών) και MD (πολυκρυσταλλικών) κόκκων και οι διαφορές ιδιοτήτές τους εξαρτώνται κυρίως από το φυσικό μέγεθός τους και από την μονοκρυσταλλική και πολυκρυσταλλική συμπεριφορά τους.

Για τον μαγνητίτη το (α) όριο ισχύει περίπου για κόκκους μεγέθους $0.03 \mu\text{m}$, ενώ το (β) όριο είναι πιο δύσκολο να καθοριστεί, διότι εξαρτάται και από το σχήμα του κόκκου. Είναι όμως βέβαιο, ότι οι κόκκοι μαγνητίτη μεγαλύτεροι από $1 \mu\text{m}$ θα είναι σίγουρα πολλαπλών περιοχών (Kittel, 1949).

2.3.3. ΔΙΑΚΡΙΣΗ MD – SD

Ιδιότητες πολλαπλών περιοχών. (Multidomain, MD)

Ένα υλικό μπορεί να αποτελείται από κόκκους πολλαπλών περιοχών (MD). Κατά την εφαρμογή του εξωτερικού πεδίου σε κόκκο πολλαπλών περιοχών θα ευνοηθεί η ανάπτυξη περιοχών με μαγνήτιση παράλληλη με αυτήν του πεδίου. Αυξάνοντας το πεδίο τα φράγματα θα μετακινηθούν από τη θέση ελάχιστης ενέργειας. Σε χαμηλές τιμές πεδίου οι μετακινήσεις αυτές είναι αντιστρεπτές κατά την έξοδο από το πεδίο, ενώ για υψηλότερες τιμές τα φράγματα καθώς επιστρέφουν στις αρχικές τους θέσεις παγιδεύονται σε ενδιάμεσες καταστάσεις χαμηλής ενέργειας και δίνουν την παραμένουσα μαγνήτιση.

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ

Ιδιότητες μοναδικής περιοχής. (Single-Domain SD)

Σε κόκκους μοναδικής μαγνητικής περιοχής δεν υπάρχουν φράγματα περιοχών. Η παραμένουσα μαγνήτιση είναι υψηλότερη και πολύ πιο σταθερή από αυτήν των πολλαπλών περιοχών.

2.4. ΜΑΓΝΗΤΙΣΗ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Η προέλευση της μαγνήτισης σύνθετων υλικών, όπως είναι τα πετρώματα, είναι ποικίλη καθώς εξαρτάται από τη σύνθεση και το μέγεθος των μορίων των σιδηρομαγνητικών ορυκτών που συμμετέχουν. Οι μαγνητικές ιδιότητες των σιδηρομαγνητικών ορυκτών μπορεί να αλλάζουν με το χρόνο και τη θερμοκρασία καθώς διαφορετικά ορυκτά προσαρμόζονται στις συνθήκες που επικρατούν στη γήινη επιφάνεια. Όλες οι παραμένουσες μαγνητίσεις χαρακτηρίζονται με τον όρο φυσική παραμένουσα μαγνήτιση, όταν αυτή αποκτάται φυσικά.

Σε πολλά υλικά, αυτή η φυσική παραμένουσα μαγνήτιση διακρίνεται σε δύο τουλάχιστον συνιστώσες, όπου η μία αποκτήθηκε σε συγκεκριμένο χρόνο π.χ. κατά το χρόνο δημιουργίας του πετρώματος. Αυτή η συνιστώσα χαρακτηρίζεται ως **κύρια μαγνήτιση** για να διακρίνεται από κάθε άλλη

μεταγενέστερη μαγνήτιση, όπως είναι οι ιξώδεις παραμένουσες μαγνητίσεις, που χαρακτηρίζονται ως **δευτερεύουσα μαγνήτιση**. Αυτές οι δευτερεύουσες συνιστώσες συνήθως απομονώνονται (με τη μερική απομαγνήτιση της φυσικής παραμένουσας μαγνήτισης), ενώ η κύρια συνιστώσα έχει διαφορετική σταθερότητα κατά την διαδικασία της απομαγνήτισης από ό,τι έχουν οι δευτερεύουσες συνιστώσες.

Οι τρόποι με τους οποίους τα περισσότερα φυσικά υλικά αποκτούν την κύρια παραμένουσα μαγνήτιση δεν είναι απλοί και έτσι κάθε δείγμα πρέπει να εξετάζεται λεπτομερώς για να προσδιοριστεί η φύση και η προέλευση της παραμένουσας μαγνήτισής του δίνοντας προτεραιότητα για την κάθε ερμηνεία στο γεωμαγνητικό πεδίο ή στις γεωλογικές συνθήκες που επικρατούσαν.

2.4.1. ΠΥΡΙΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

Ως πυριγενή πετρώματα ορίζουμε αυτά που έχουν ψυχθεί και στερεοποιηθεί από ένα τηγμένο πυριτικό υλικό (μάγμα ή λάβα). Τέτοια πετρώματα ταξινομούνται γενικά με δύο κριτήρια : τη σύστασή τους και το μέγεθος των κόκκων τους.

Η σύστασή τους ερμηνεύεται ως αποτέλεσμα του βαθμού διαφοροποίησης και ανάμιξης στο μάγμα από την αρχική τήξη του μανδύα, ενώ το μέγεθος του κόκκου δείχνει το βαθμό ψύξης και κατά συνέπεια το βάθος στο οποίο έλαβε χώρα η στερεοποίηση. Όσο μεγαλύτερο είναι το βάθος, άρα και η θερμοκρασία, τόσο μικρότερος είναι ο ρυθμός της ψύξης, άρα τόσο μεγαλύτερο είναι και το μέγεθος των κρυστάλλων τους. Η απότομη ψύξη δημιουργεί μικρούς κρυστάλλους ενώ η βραδεία ψύξη δημιουργεί μεγάλους κρυστάλλους. Στο κέντρο μιας διείσδυσης οι κρύσταλλοι είναι μεγάλοι (αργή ψύξη), ενώ στην περιφέρεια του σχηματισμού είναι μικροί (απότομη ψύξη).

Η θέση του μαγνητίτη στη σειρά απομαγνήτισης δεν είναι προφανής, καθώς η θερμοκρασία στερεοποίησής του είναι 1540 °C. Συνήθως όμως κρυσταλλώνεται σε πολύ χαμηλότερες θερμοκρασίες, όταν ο σίδηρος αρχίζει να δημιουργείται από άλλες αντιδράσεις. Η στερεοποίηση του μάγματος γίνεται σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 800 °C, δηλαδή θερμοκρασίες μεγαλύτερες από την υψηλότερη θερμοκρασία Curie οποιουδήποτε μαγνητικού συστατικού.

Έτσι όλα τα πυριγενή πετρώματα πρέπει να έχουν μια θερμική παραμένουσα μαγνήτιση που αποκτάται καθώς τα μαγνητικά τους συστατικά διέρχονταν από τις θερμοκρασίες Curie και από τις θερμοκρασίες φραγμού τους. Θερμοκρασία φραγμού ενός μαγνητικού υλικού είναι η θερμοκρασία στην οποία η θερμική διαταραχή προκαλεί συνεχιζόμενη αντιστροφή των μαγνητικών περιοχών σε SD κόκκους και αναδιάταξη των περιοχών σε MD κόκκους και χαρακτηρίζει το μεταβατικό στάδιο ενός υλικού από την σιδηρο-στη παραμαγνητική φάση.

Η ισορροπία των αρχικών τιτανομαγνητικών ορυκτών γίνεται μεταξύ 750 και 550 ° C, και έτσι, καθώς αναπτύσσονται οι κρύσταλλοί τους προκαλείται μια χημική παραμένουσα μαγνήτιση στα νέα μαγνητικά ορυκτά. Στις παλαιομαγνητικές μελέτες θεωρούμε ότι μια τέτοια χημική παραμένουσα έχει

αποκτηθεί σε κάποιο συγκεκριμένο χρόνο π.χ. κατά την ψύξη του πετρώματος και έτσι χαρακτηρίζεται σαν κύρια. Ο σχηματισμός των ορυκτών που δεν είναι ακριβώς εξισορροπημένα , γίνεται πολύ αργά , προκαλώντας χημικές αλλαγές.

2.4.2. ΜΗ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΜΕΝΑ ΙΖΗΜΑΤΑ – ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία τα δείγματα στα οποία πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις είναι ιζήματα. Και γι'αυτόν ακριβώς τον λόγο θα αναλυθεί με μεγαλύτερη λεπτομέρεια ο συγκεκριμένος πετρογραφικός τύπος, όσον αφορά την επίδρασή του από το φαινόμενο του μαγνητισμού.

Τα ιζήματα μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες :

- ο Αυτά που προήλθαν από αποθέσεις διαβρωμένων υλικών (με τον αέρα ,το νερό ή τη βαρύτητα)
- ο Αυτά που δημιουργήθηκαν με χημικές καθιζήσεις ,με ή χωρίς την παρουσία βιολογικών διαδικασιών

Οι φυσικές διαδικασίες της απόθεσης έχουν την μεγαλύτερη σημασία για όλα τα ιζήματα. Μετά την απόθεση ,τα μη στερεοποιημένα ιζήματα τείνουν να στερεοποιηθούν με διαφορετικούς βαθμούς συμπαγότητας και με χημικές αντιδράσεις μεταξύ των παρόντων ορυκτών και των υγρών που μεταναστεύουν στο εσωτερικό τους.

Τα περισσότερα θραυσματοπαγή ιζήματα,όπως αυτά που έχουν σχηματισθεί από μαζική μεταφορά υλικών , συνήθως αποτίθενται σε υγρό περιβάλλον. Ακόμα και αν η απόθεση γίνεται με τον αέρα ακολουθούνται παρόμοιες διαδικασίες. Τα θραυσματοπαγή μόρια που δημιουργούνται με τέτοιες αποθέσεις αποκτούν φυσιολογικά μια μαγνήτιση είτε από θερμικές είτε από χημικές διαδικασίες.Η σταθερότητα της μαγνήτισης τέτοιων μορίων είναι χαρακτηριστική του μεγέθους των μορίων και της σύνθεσης των αρχικών συστατικών. Το σχήμα των συστατικών ποικίλει και είναι αποτέλεσμα της επίδρασης ,του τρόπου και της διάρκειας της διάβρωσης. Κατά την διάρκεια της απόθεσης, όλα τα μαγνητικά συστατικά προσανατολίζονται υπό την επίδραση των γεωμαγνητικών ,των βαρυτικών και των πάσης φύσεως δυνάμεων που επιδρούν σε όλα τα συστατικά κατά την διάρκεια της απόθεσης.

Όλα τα μόρια δέχονται την επίδραση των δυνάμεων της βαρύτητας και της ροής του νερού. Τα σφαιρικά μόρια,με διαμέτρους μεγαλύτερους από 30 έως 50 μm , και τα επιμήκη μόρια περιστρέφονται συστηματικά έξω από την μαγνητική διεύθυνση έτσι ώστε οι μεγάλοι άξονές τους να γίνονται παράλληλοι με το βυθό και κάθετοι με την φορά του ρεύματος , αν αυτό κινείται με ταχύτητες μεγαλύτερες από 1 cm/sec. Τα μόρια που έχουν ασύμμετρη μορφή τείνουν να προσανατολίσουν τους μεγάλους και τους ενδιάμεσους άξονές τους σχεδόν παράλληλα με το ίζημα.

Η απόθεση και στερεοποίηση των επιμήκων μορίων , που συνήθως μαγνητίζονται κατά μήκος των μεγάλων τους αξόνων έχει παλαιομαγνητικό ενδιαφέρον. Αυτή η απόθεση προκαλεί μια μικρή και καθαρή μαγνήτιση στα ιζήματα σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο. Στις κανονικές συνθήκες μιας αργής ιζηματογένεσης, με υψηλό περιεχόμενο σε νερό, ο μετα-ιζηματογενής επαναπροσανατολισμός των σιδηρομαγνητικών υλικών, που η διάμετρός τους είναι μικρότερη από λίγα μ , γίνεται πολύ γρήγορα. Το γεωμαγνητικό πεδίο είναι πολύ ασθενικό για να προκαλέσει επαναπροσανατολισμό των μεγάλων μορίων. Αν τα ιζήματα έχουν αποθεθεί σε περιοχή όπου έχουμε διακυμάνσεις της στάθμης του νερού , τότε είναι σαν να δέχεται την επίδραση, εναλλακτικά, ξήρανσης και ύγρυνσης. Παρόμοιες συνθήκες προκύπτουν από τα οργανικά υλικά που προκαλούν παραγωγή μη διαλυτών αερίων. Αποτέλεσμα της επίδρασης του νερού στη διαδικασία της ιζηματογένεσης είναι η μείωση του προσανατολισμού των μεγάλων αξόνων των μορίων και της καθαρής μαγνητικής έγκλισης μακριά από το γεωμαγνητικό πεδίο.

Συμπερασματικά, μπορούμε να πούμε ότι μερικά ιζήματα έχουν φυσική παραμένουσα μαγνήτιση, που προκύπτει από το γεωμαγνητικό πεδίο κατά το χρόνο απόθεσής τους. Ιζήματα που αποτίθενται πολύ γρήγορα ή έχουν μικρό πορώδες συνοδεύονται από σημαντικές διαφορές στην έγκλιση και την κλίση του σχηματισμού και έτσι η παραμένουσα μαγνήτισή τους εμφανίζεται να έχει μικρότερη τιμή από αυτή του περιβάλλοντος μαγνητικού πεδίου.

Όλα τα μόρια που έχουν μεγέθη μικρότερα από $0.1 \mu\text{m}$ προσανατολίζονται τυχαία από διάφορες κινήσεις, ενώ τα ελαφρώς μεγαλύτερα μόρια αποκτούν προσανατολισμούς μετά την απόθεσή τους μέσα στο περιβάλλον γεωμαγνητικό πεδίο. Μεγαλύτερα μόρια, που έχουν διαμέτρους από 10 έως $20 \mu\text{m}$, διατηρούν τον προσανατολισμό τους που ήδη απέκτησαν με φυσικές μεθόδους κατά τη διάρκεια των διαδικασιών της απόθεσης. Όσο μικρότερο είναι το μέγεθος των μορίων τόσο πιθανότερο είναι το μόριο να αποκτήσει, με ακρίβεια, τη διεύθυνση του γεωμαγνητικού πεδίου. Αυτά είναι τα πιο σταθερά μαγνητικά μόρια με μεγάλη σημασία για τις παλαιομαγνητικές έρευνες.

2.4.3. ΧΗΜΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ

Καθώς αποτίθενται τα ιζήματα, τα κατώτερα στρώματα δέχονται όλο και περισσότερη πίεση. Αυτή ελαττώνει το κενό που υπάρχει μεταξύ των πόρων και αποβάλλει το υπάρχον νερό δημιουργώντας συμπαγή πετρώματα. Οι φυσικές αλλαγές συνοδεύονται σχεδόν πάντοτε από χημικές αντιδράσεις. Τα θραυσματοπαγή μόρια προσαρμόζονται στο νέο φυσικοχημικό τους περιβάλλον και οι ουσίες σύνδεσης (cements) αποτίθενται στα κενά που υπάρχουν ανάμεσα στους πόρους. Όλες αυτές οι φυσικοχημικές διεργασίες ονομάζονται διαγένεση.

Οι σιδηρούχες ενώσεις ανόγονται γρήγορα και σχηματίζουν υδροξείδια του σιδήρου, όπως είναι ο γκετίτης κ.ά., ενώ μερικοί τιτανομαγνητίτες μετατρέπονται σε μαγγελίτη. Τα υδροξείδια και τα οξείδια του σιδήρου αντιδρούν ξανά με υδρογονοσουλφίδια (υδρόθειο) και παράγουν σουλφίδια

του σιδήρου. Τα σουλφίδια δημιουργούν σιδηροπυρίτη που συχνά αντικαθιστά τα οργανικά τα οργανικά υλικά και είναι μη μαγνητικός. Τα υγρά αποθέτουν συνήθως ανθρακικά ή πυριτικά οξείδια ή οξείδια που αργότερα μετατρέπονται σε αιματίτη. Η στερεοποίηση, με την πιθανή δημιουργία νέων μαγνητικών ορυκτών, γίνεται αφού περάσουν μεγάλα χρονικά διαστήματα. Τα νέα μαγνητικά μόρια καθώς αναπτύσσονται, αποκτούν χημική παραμένουσα μαγνήτιση και δίνουν πληροφορίες για τη διεύθυνση του γεωμαγνητικού πεδίου κατά το χρόνο της διαγένεσης που μπορεί να είναι πολλές εκατοντάδες ή και εκατομμύρια χρόνια.

Συμπερασματικά, τα περισσότερα στερεοποιημένα ιζήματα χαρακτηρίζονται από παραμένουσα μαγνήτιση που αποκτήθηκε κατά το χρόνο της διαγένεσης και της στερεοποίησης παρά κατά την αρχική τους απόθεση. Οι μελέτες της παραμένουσας μαγνήτισης των ιζημάτων συνοδεύονται πάντοτε και από πετρολογικές έρευνες που διερευνούν τις σχέσεις των μαγνητικών ορυκτών του ιζήματος. Με τις παλαιομαγνητικές μετρήσεις μπορεί να προσδιοριστεί η εποχή απόκτησης τέτοιας μαγνήτισης και να προσδιοριστεί η σύνθεση των μαγνητικών ορυκτών.

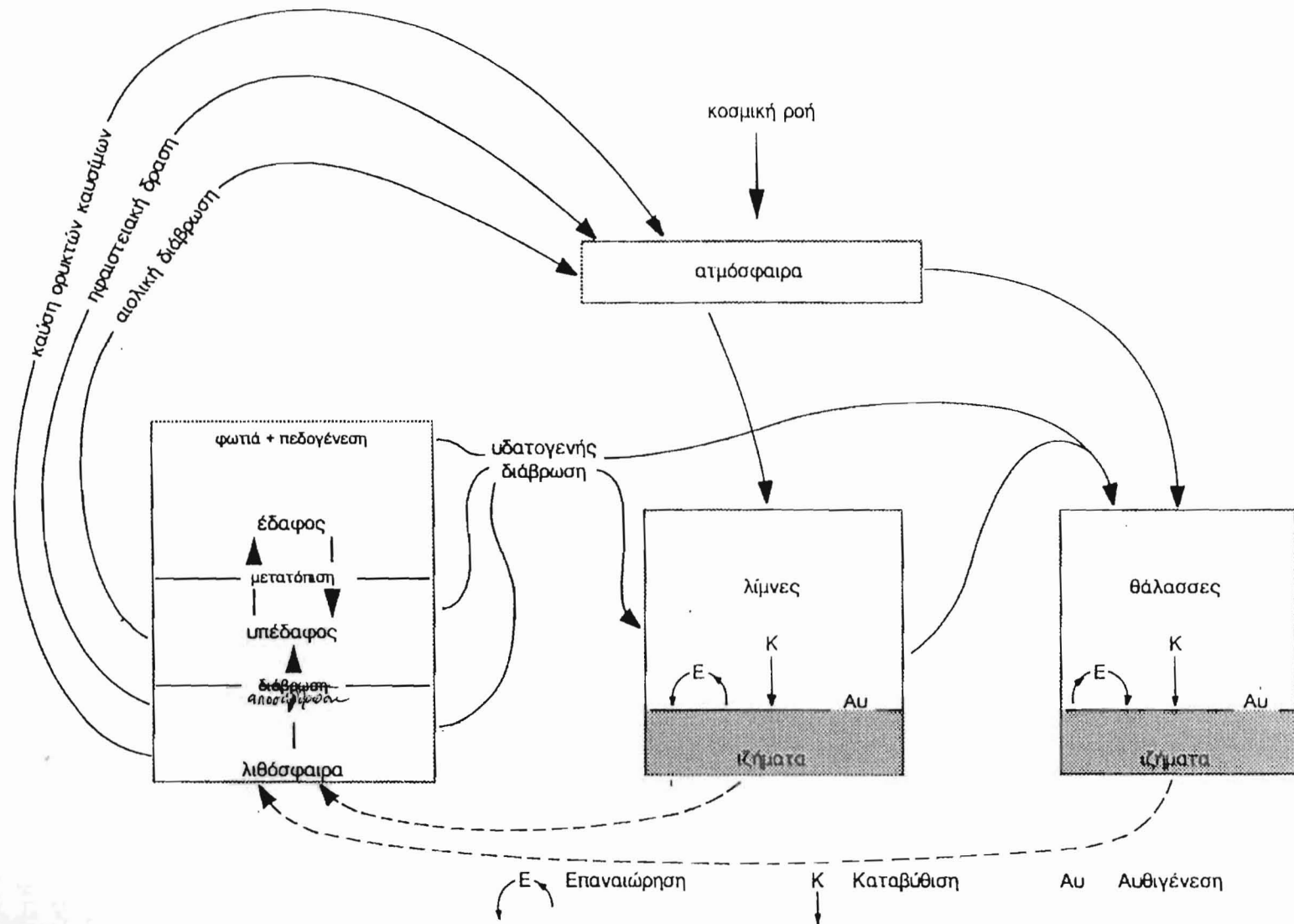
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Ο σίδηρος αποτελεί το 2% του φλοιού της Γης. Κατά τη διάρκεια των γεωλογικών κύκλων γίνεται η δημιουργία των μαγνητικών μορφών του σιδήρου. (Δηλαδή κατά τη δημιουργία των βουνών και ερήμων, μετακίνηση του φλοιού της Γης, κλπ.) .Διεργασίες όπως η εξάπλωση του βυθού των ωκεανών ,οι ηφαιστειακές εκρήξεις και η ροή λάβας ,η διασπορά ηφαιστειακής σκόνης καθώς και η μεταφορά διαβρωμένων ιζημάτων από το νερό ή τον αέρα επηρεάζουν τις μαγνητικές ιδιότητες των υλικών μέσω θέρμανσης, ενυδάτωσης ή αφυδάτωσης ,μεταβολών στο pH ή Eh και πολλές φορές μόνο με τη μεταφορά των μαγνητικών οξειδίων σε περιβάλλον στο οποίο μπορούν να παραμείνουν αναλλοίωτα για μεγάλες περιόδους στα εδάφη ή τα ιζήματα.

Τα μαγνητικά οξείδια του φλοιού της Γης και οι παραμαγνητικές μορφές του σιδήρου (οι οποίες μπορούν να μετατραπούν σε μαγνητικά οξείδια με θερμική ή χημική δράση ,φυσική ή ανθρωπογενή) καθώς επίσης και τα μαγνητικά σωματίδια κοσμικής προέλευσης (τα οποία είναι σημαντικά μόνο σε περιοχές κοντά σε πτώσεις μετεωριτών και σε περιοχές τελείως ανεπηρέαστες από τη λιθόσφαιρα π.χ. το κέντρο του Ειρηνικού) είναι τα πρωτογενή υλικά.

Τα δευτερογενή υλικά δημιουργούνται από τα πρωτογενή λόγω διαφορών μεταβολών στο υπόστρωμα, π.χ. ατμοσφαιρικές διεργασίες, ανάπτυξη φυτών ,χημική αποσάθρωση ,δημιουργία νέων εδαφών ,οπότε τα πρωτογενή υφίστανται συγκέντρωση ,αραίωση με ανάμειξη, διάλυση και μετασχηματισμό. Αυτά τα μαγνητικά οξείδια που βρίσκονται πλέον στα επιφανειακά εδάφη είναι διαφορετικά στη δομή και το μέγεθος κόκκων από εκείνα του υποστρώματος.

Πρωτογενή και δευτερογενή υλικά μπορούν λόγω της απόπλυσης να μεταφερθούν στα ποτάμια και στα ιζήματα λιμνών και θαλασσών και να διατηρήσουν τις μαγνητικές τους ιδιότητες, οπότε μπορούν να χαρακτηριστούν ως προς την προέλευσή τους. Τα πρωτογενή μετατρέπονται σε δευτερογενή όχι μόνο κατά την αποσάθρωση ή την δημιουργία νέων εδαφών αλλά και από ανθρωπογενείς δράσεις όπως η καύση ορυκτών καυσίμων.



Σχήμα (5) Κύκλος μαγνητικών υλικών (Tompson and Oldfield, 1986)

3.1. ΕΙΔΗ ΜΑΓΝΗΤΙΣΕΩΝ

Το βασικό φαινόμενο στο οποίο βασίζεται ο παλαιομαγνητισμός είναι η απόκτηση από τα πετρώματα μιας συνεχούς μαγνήτισης κατά το χρόνο ή πολύ κοντά στο χρόνο της δημιουργίας τους. Αυτή η μαγνήτιση προέρχεται από το υπάρχον μαγνητικό πεδίο της περιοχής δειγματοληψίας κατά το χρόνο δημιουργίας του πετρώματος. Το πέτρωμα διατηρεί καταγραφή της διεύθυνσης του παλαιού περιβάλλοντος πεδίου, εμμέσως και της έντασής του, στην θέση δειγματοληψίας κατά το χρόνο δημιουργίας του πετρώματος.

Αυτή η αρχική παραμένουσα μαγνήτιση ονομάζεται κύρια μαγνήτιση. Μεταξύ του χρόνου δημιουργίας του πετρώματος και του χρόνου δειγματοληψίας, μπορεί να αποκτηθούν και άλλες μαγνητίσεις (δευτερεύουσες). Το διανυσματικό άθροισμα της κύριας και των δευτερευουσών μαγνητίσεων, που υπάρχουν στο πέτρωμα, ονομάζεται φυσική παραμένουσα μαγνήτιση (NRM).

Η κύρια φυσική παραμένουσα μαγνήτιση αποκτάται ως εξής:

- Τα πυριγενή πετρώματα μαγνητίζονται αρχικά από θερμοπαραμένουσα μαγνήτιση (T.R.M.) όταν τα μαγνητικά ορυκτά τους ψύχονται κοντά στην θερμοκρασία Curie ή στις θερμοκρασίες φραγμού τους (blocking temperatures) μέσα στο περιβάλλον γεωμαγνητικό πεδίο. Η θερμοπαραμένουσα μαγνήτιση (T.R.M.) έχει μεγάλη σταθερότητα και μπορεί να παραμένει αμετάβλητη για εκατομμύρια χρόνια. Η έντασή της είναι συνήθως ανάλογη της έντασης του πεδίου. Αυτή είναι η βάση του προσδιορισμού της έντασης του γεωμαγνητικού πεδίου της εποχής εκείνης.

- Τα ιζηματογενή πετρώματα αποκτούν συνήθως δύο ειδών φυσική παραμένουσα μαγνήτιση (N.R.M.).

- α. Την εξ απόθεσης (depositional) παραμένουσα μαγνήτιση (D.R.M.)

- β. Την χημική παραμένουσα μαγνήτιση (C.R.M.)

Καθώς αποτίθεται ένα ίζημα μέσα στο νερό, τα μόριά του τείνουν να αυτό - προσανατολιστούν σε θέσεις με τη μικρότερη ενέργεια (κατά μήκος της διεύθυνσης του περιβάλλοντος πεδίου). Η εξ απόθεσης (depositional) παραμένουσα μαγνήτιση (D.R.M.) αποκτάται καθώς τα ιζήματα μαγνητίζονται. Συχνά τα ιζήματα έχουν και τους δύο τύπους μαγνήτισης: την εξ απόθεσης παραμένουσα μαγνήτιση (D.R.M.), που οφείλεται στον μαγνητίτη, και την χημική παραμένουσα μαγνήτιση (C.R.M.) που οφείλεται στον αιματίτη και προήλθε από την οξειδωση του μαγνητίτη.

Θερμοκρασία φραγμού (Blocking temperature, T_B)

Πολλά φυσικά υλικά έχουν μεγάλη ποικιλία στο μέγεθος των κόκκων και κατά συνέπεια μεγάλο εύρος στις θερμοκρασίες φραγμού. Θερμοκρασία φραγμού ενός ορυκτού φορέα παραμένουσας μαγνήτισης είναι η θερμοκρασία εκείνη στην οποία προσεγγίζεται ο χρόνος ηρεμίας του μαγνητικού μορίου. Είναι η θερμοκρασία εκείνη στην οποία αποκτάται η παραμένουσα μαγνήτιση, όταν το δείγμα ψύχεται μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο. Κάτω από αυτή την θερμοκρασία, η παραμένουσα μαγνήτιση δεσμεύεται από τυχαίες αντίθετες θερμικές επιδράσεις. Η θερμοκρασία

φραγμού κάθε τμήματος εξαρτάται κυρίως από το μέγεθος και τη σύνθεση του τμήματος, αλλά και από τη διάρκεια της έκθεσης αυτού στο περιβάλλον πεδίο. Όσο ισχυρότερο ή μεγαλύτερης διάρκειας είναι το πεδίο τόσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία φραγμού. Τότε όλα τα μαγνητικά μόρια συμπεριφέρονται παραμαγνητικά πάνω από τη θερμοκρασία Curie.

Στη θερμοκρασία Curie, τα μεγαλύτερα μονοκρυσταλλικά τμήματα (S.D.) έχουν χρόνους ηρεμίας της τάξης των μερικών λεπτών, καθιστώντας έτσι μετρήσιμη την παραμένουσα μαγνήτισή τους ενώ τα μικρότερα μονοκρυσταλλικά τμήματα έχουν μικρότερους χρόνους ηρεμίας κι έτσι αποκτούν τυχαίους προσανατολισμούς με τις θερμικές εναλλαγές. Όταν ψύχονται υπό την επίδραση του γεωμαγνητικού πεδίου, σε ένα εύρος θερμοκρασιών κοντά στην θερμοκρασία Curie, τότε ορισμένα μεγέθη μορίων αποκτούν μαγνήτιση.

3.1.1. ΦΥΣΙΚΑ ΑΠΟΚΤΟΥΜΕΝΕΣ ΜΑΓΝΗΤΙΣΕΙΣ

- ♦ Φυσική παραμένουσα μαγνήτιση (N.R.M.) : Είναι το άθροισμα όλων των συνιστωσών των παραμένωνων μαγνητίσεων που αποκτήθηκαν με φυσικές διαδικασίες.
- ♦ Θερμοπαραμένουσα μαγνήτιση (T.R.M.) : Αποκτήθηκε με ψύξη σε ένα εύρος θερμοκρασιών, ξεκινώντας από την θερμοκρασία Curie ή κάτω από αυτή.
- ♦ Εξ απόθεσης παραμένουσα μαγνήτιση (D.R.M.) : Αποκτήθηκε από φυσική περιστροφή των μαγνητικών μερών κατά την διάρκεια της απόθεσης του ιζήματος.
- ♦ Μετα-ιζηματογενής παραμένουσα μαγνήτιση (P.D.R.M.) : Αποκτιέται από τα ιζήματα μετά την απόθεση τους αλλά εξαιτίας της μεταμόρφωσης ή της θέρμανσης. Συνήθως είναι ένας συνδυασμός φυσικής περιστροφής και χημικών μεταβολών κατά την στερεοποίηση των ιζημάτων.
- ♦ Χημική παραμένουσα μαγνήτιση (C.R.M.) : Αποκτήθηκε καθώς ένα μαγνητικό ορυκτό nucleates και αναπτύσσεται σε ένα μαγνητικό πεδίο.
- ♦ Shear παραμένουσα μαγνήτιση (S.R.M.) : Αποκτήθηκε κυρίως σε μη στερεοποιημένα ιζήματα όταν παθαίνουν shear.

3.1.2. ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΕΣ ΜΑΓΝΗΤΙΣΕΙΣ

Οι δευτερεύουσες μαγνητίσεις προκαλούνται από μόρια που έχουν μικρή συνοχή (σταθερότητα) ή μικρό εύρος θερμοκρασιών φραγμού ή από νέο ορυκτό που δημιουργείται στο πέτρωμα. Όλα τα σιδηρομαγνητικά υλικά, που δέχονται την επίδραση του γήινου μαγνητικού πεδίου, αποκτούν μια ιξώδη παραμένουσα μαγνήτιση. Αυτή εξαρτάται από το μέγεθος των κόκκων, την σύσταση του υλικού και από τη διάρκεια και ισχύ του γεωμαγνητικού πεδίου.

Τα γεωλογικά υλικά , που είναι σταθερά στις εργαστηριακές επεξεργασίες, χάνουν βαθμιαία την αρχική τους κύρια μαγνήτιση και αποκτούν νέες ιξώδεις μαγνητίσεις. Τέτοιες νέες συνιστώσες συχνά παθαίνουν "reset" καθώς μεταβάλλεται το γεωμαγνητικό πεδίο. Έτσι οι περισσότερες ιξώδεις παραμένουσες μαγνητίσεις έχουν διευθύνσεις παραπλήσιες με τη διεύθυνση του γεωμαγνητικού πεδίου των τελευταίων 100 χρόνων.

Το αποτέλεσμα της επίδρασης της πίεσης στην παραμένουσα μαγνήτιση ελέγχεται πλήρως από τις θερμοκρασιακές αλλαγές που συνοδεύουν τις περισσότερες γεωλογικές συνθήκες. Η επίδραση της πίεσης στη θερμοκρασία Curie των ορυκτών είναι μηδενική σε βάθη που αντιστοιχούν σε θερμοκρασίες 600 ° C . Υδροστατική πίεση μερικών εκατοντάδων bars προκαλεί παραμένουσα μαγνήτιση χαμηλής σταθερότητας , που μπορεί να συγκριθεί με ισόθερμη παραμένουσα. Σε ισότροπα πετρώματα , τα αποτελέσματα της επίδρασης πίεσης είναι μικρά και αναστρέψιμα.

♦ Ιξώδης παραμένουσα μαγνήτιση (V.R.M.) : Αποκτιέται όταν υπάρχουν στο πέτρωμα μαγνητικά μόρια , στα οποία οι θερμικές μεταβολές προκαλούν μη αναστρέψιμες μεταβολές στη θέση των τοιχωμάτων των περιοχών. Επίσης αποκτιέται και όταν αλλάξει η διεύθυνση του πεδίου.

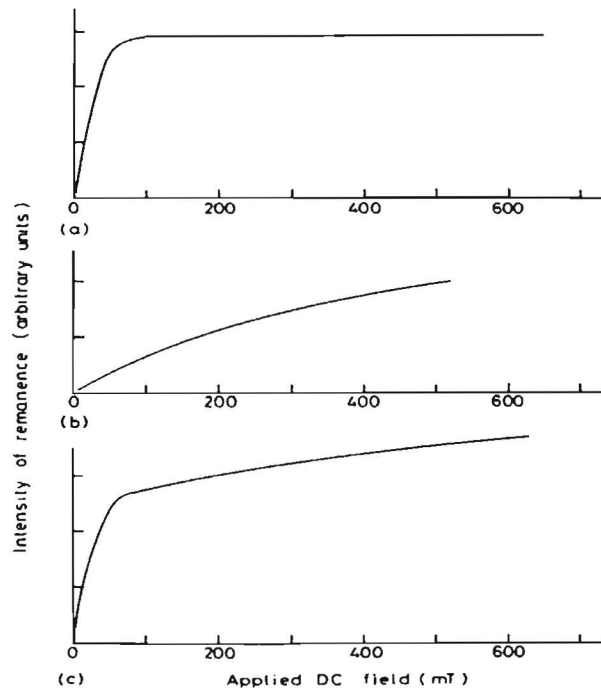
♦ Ισόθερμη παραμένουσα μαγνήτιση (I.R.M.) : Αποκτήθηκε από μαγνητικά μέρη που εκτέθηκαν σε ισχυρό μαγνητικό πεδίο για λίγα δευτερόλεπτα. Επίσης μπορεί να αποκτηθεί με φυσικές διαδικασίες και από κεραυνούς.

♦ Ανυστεριτική παραμένουσα μαγνήτιση (A.R.M.) : Αποκτιέται όταν ένα σιδηρομαγνητικό υλικό υφίσταται ταυτόχρονα την επίδραση εναλλασσόμενων και συνεχών μαγνητικών πεδίων.

♦ Περιστροφική παραμένουσα μαγνήτιση (R.R.M.) : Αποκτιέται όταν ένα δείγμα περιστρέφεται μέσα σε ένα εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο.

♦ Γυρομαγνητική παραμένουσα μαγνήτιση (G.R.M.) : Αποκτιέται όταν ένα δείγμα βρίσκεται μέσα σε εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο και δεν περιστρέφεται.

♦ SHOCK μαγνήτιση (S.R.M.) : Αποκτιέται από μαγνητικά τμήματα όταν παθαίνουν shock από πτώση. Μπορεί να αποκτηθεί φυσικά κατά την διάρκεια μετεωρικών πτώσεων.



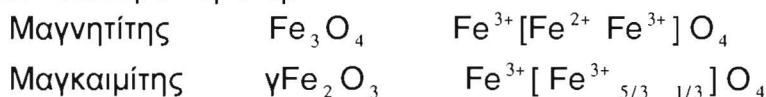
Σχήμα (6) Καμπύλες ισόθερμης μαγνήτισης για τον μαγνητίτη και τον αιματίτη. (α) Ο μαγνητίτης φθάνει σε κατάσταση κορεσμού σε πολύ ασθενέστερα μαγνητικά πεδία ενώ ο αιματίτης (b) συνήθως δεν αποκτά κορεσμό στα συνηθισμένα μαγνητικά πεδία (μέχρι τα 600 mT). (c) Όταν είναι παρόντα και τα 2 ορυκτά , η καμπύλη που προκύπτει είναι το άθροισμα των 2 απλών καμπυλών. Επικρατεί όμως στην καμπύλη περισσότερο ο μαγνητίτης, ακόμη και αν βρίσκεται σε πολύ μικρά ποσοστά στο συνολικό πέτρωμα (Tarling 1983).

3.2. ΦΥΣΙΚΑ ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

ο *Οξείδια του σιδήρου* : Αυτά χωρίζονται με βάση τη κρυσταλλική τους δομή στην ομάδα του σπινελίου και στην ομάδα του κορούνδιου.

Ομάδα του σπινελίου :

Σε αυτή ανήκουν ο μαγνητίτης και ο μαγκαιμίτης. Είναι σιδηριμαγνητικά υλικά με άνισα και αντιπαράλληλα spin.



Ο μαγκαιμίτης έχει έλλειψη κατιόντων και με θέρμανση πάνω από 300 ° C μετατρέπεται σε αιματίτη.

Ομάδα του κορούνδιου :

Αιματίτης $\alpha \text{Fe}_2\text{O}_3$ $\text{Fe} - \text{O}_3 - \text{Fe}$

Είναι τελείως αντισιδηρομαγνητικό υλικό και εξαιρετικά σταθερό λόγω δομής. Δημιουργείται κυρίως σε πετρώματα και ιζήματα κάτω από οξειδωτικές καταστάσεις. Λεπτοί κόκκοι αιματίτη έχουν αιματέρυθρο χρώμα.

- ο Σουλφίδια του σιδήρου : Η δημιουργία σουλφιδίων είναι πιο συχνή σε θαλάσσια παρά σε λιμναία ιζήματα.

Πυροτίτης FeS

Είναι σιδηριμαγνητικό υλικό με υψηλή μαγνητική επιδεκτικότητα.

Σιδηροπυρίτης FeS_2

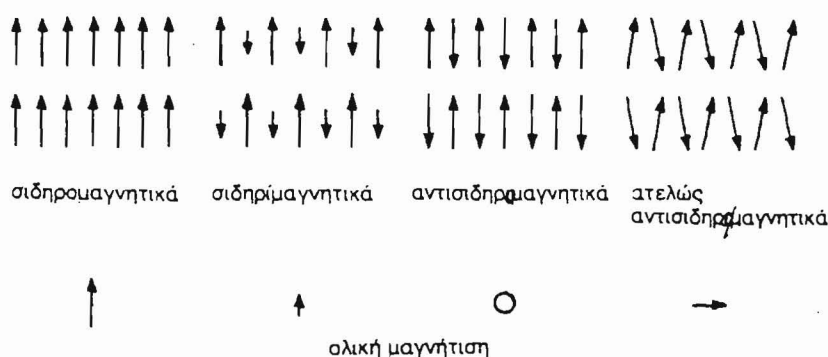
Πολύ κοινό παραμαγνητικό υλικό, δηλαδή δεν διατηρεί μαγνήτιση εκτός μαγνητικού πεδίου.

- ο Υδροξείδια του σιδήρου :

Γκαιτίτης αFeOOH

Αντισιδηρομαγνητικό υλικό ,που εξαιτίας όμως κενών σε ορισμένες θέσεις οξυγόνου εμφανίζει ασθενή μαγνήτιση. Είναι πολύ κοινό προϊόν αποσάρθρωσης επιφανειακών εδαφών και απόπλυσης γης.

- ο Σιδηρο-Μαγγανιούχα ορυκτά : Αυτά είναι κυρίως μίγματα οσμανίτη (Mg_3O_4) και μαγνητίτη (Fe_3O_4) και συμπεριφέρονται ως σιδηριμαγνητικά υλικά. Αυθιγενώς δημιουργούνται σε θαλάσσιο περιβάλλον ,ιδιαίτερα τα πλούσια σε μαγγάνιο κρυσταλλικά οξυ – οξείδια (βασικά οξείδια).

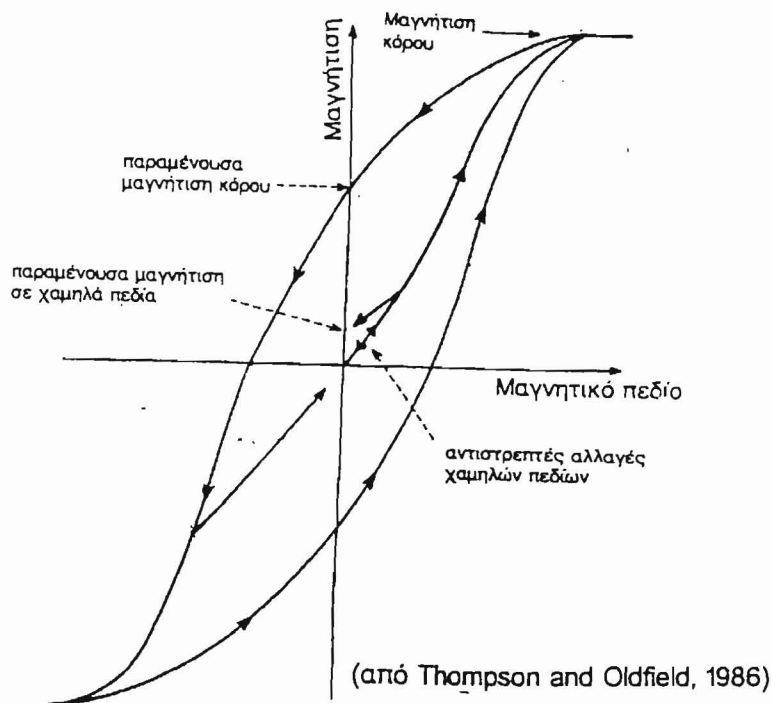


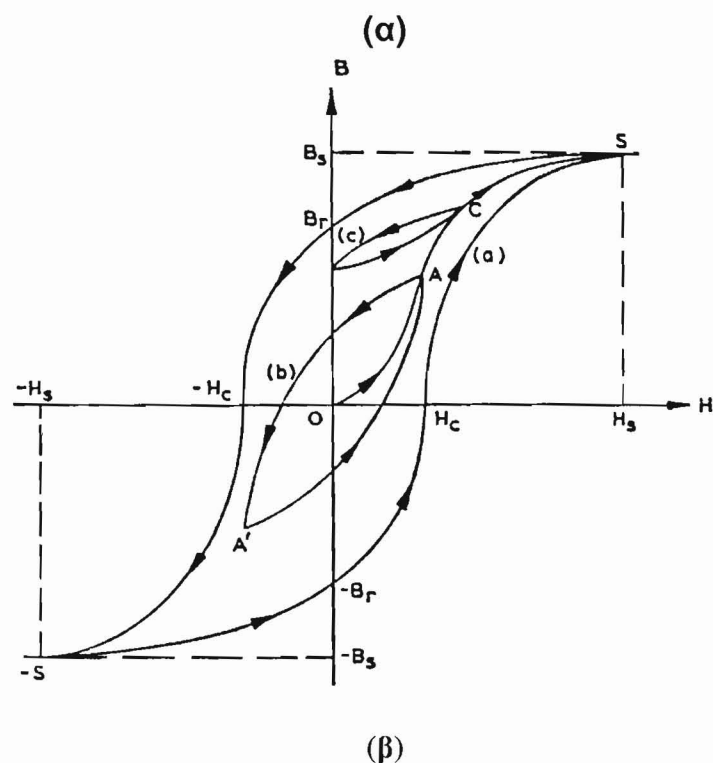
Σχήμα (7) Προσανατολισμός των ηλεκτρονίων μαγνητικών υλικών (Thompson and Oldfield, 1986)

3.2.1. ΥΣΤΕΡΗΣΗ

Μαγνητίζοντας ένα υλικό (π.χ. σίδηρο) σε χαμηλής εντάσεως πεδία, κατά την έξοδό του από το πεδίο η μαγνήτισή του πέφτει στο μηδέν. Πάνω όμως από μια κρίσιμη τιμή έντασης πεδίου η μαγνήτιση δεν είναι πια αντιστρεπτή , δηλαδή δεν μηδενίζεται κατά την έξοδο από το πεδίο ,και το υλικό διατηρεί μια μικρότερη μαγνήτιση από την αρχική του πεδίου , που ονομάζεται παραμένουσα μαγνήτιση.

Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται υστέρηση (δηλαδή , οι μεταβολές στην μαγνήτιση του υλικού δεν ακολουθούν απολύτως τις μεταβολές του πεδίου και παρουσιάζουν υστέρηση). Σε πολύ υψηλές τιμές έντασης πεδίου έχουμε κορεσμό στην μαγνήτιση (saturation magnetization) . Κατά την έξοδο του υλικού από αυτό το πεδίο αποκτάται η παραμένουσα μαγνήτιση κορεσμού (saturation remanent magnetization).





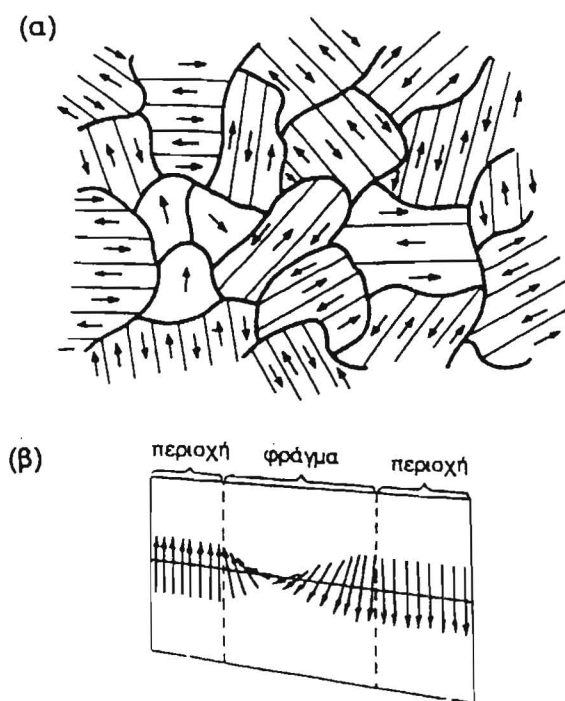
Σχήμα (8) (α) Διάγραμμα υστέρησης, (β) Βρόχος υστέρησης ενός σιδηρομαγνητικού υλικού (Τσουκαλάς & Παπαδημητράκη – Χίχλια 1983)

3.2.2. ΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΚΑΙ ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΠΕΡΙΟΧΩΝ

Οι ιδιότητες της υστέρησης στα σιδηρομαγνητικά υλικά εξαρτώνται κατά πολύ από τις μαγνητικές περιοχές . Ο όρος μαγνητική περιοχή εισήχθει από τον Weiss το 1907 προκειμένου να εξηγηθεί το γεγονός ότι υλικά με αυθόρμητη μαγνήτιση μπορούν να υπάρξουν σε κατάσταση απομαγνήτισης.

Θεωρούμε ότι ένα σιδηρομαγνητικό υλικό μπορεί να χωριστεί σε πολλές επί μέρους περιοχές . Κάθε μια από αυτές έχει μια αυθόρμητη μαγνήτιση προς μια διεύθυνση , και όλες οι περιοχές μαζί μαγνητίζονται σε διαφορετικές διευθύνσεις έτσι ώστε να αλληλοεξισορροπούνται και η ολική μαγνήτιση να είναι μηδέν. Ο Bloch το 1932 μελέτησε τις μαγνητικές περιοχές και διατύπωσε ότι αυτές χωρίζονται μεταξύ τους από ζώνες απειροστού πάχους τα φράγματα περιοχών ή φράγματα Bloch , κατά μήκος των οποίων η μαγνήτιση αλλάζει σταδιακά διεύθυνση.

Ο λόγος για τον οποίο δημιουργούνται οι μαγνητικές περιοχές είναι ότι οδηγούν σε καταστάσεις χαμηλότερης ενέργειας εξισορροπώντας διάφορες ανταγωνιστικές ενέργειες. Οι περιοχές με μέγεθος περίπου $1\mu\text{m}$ αποκτούν καλύτερη ισορροπία ενεργειών. Επίσης το πάχος των φραγμάτων είναι μεταβλητό, κατά μήκος δε ενός φράγματος υπάρχει σταδιακή αλλαγή διεύθυνσης των μαγνητικών spin από αυτήν της μιας περιοχής προς αυτήν της άλλης.



Σχήμα (9) (α) Μαγνητικές περιοχές , (β) Φράγματα περιοχών

3.3. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΜΕΤΡΑΜΕ ΚΑΙ Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥΣ

Μαγνητική επιδεκτικότητα (χ ; κ) : Για την οποία μιλήσαμε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, είναι η ευκολία με την οποία μαγνητίζεται ένα υλικό μέσα σε ένα συγκεκριμένο πεδίο.

Η μαγνητική επιδεκτικότητα κατ' όγκον (κ) ορίζεται ως ο λόγος της μαγνήτισης (M) ενός υλικού, μέσα σε ένα πεδίο έντασης H , προς την ένταση (H) του πεδίου :

$$\kappa = \frac{M}{H}$$

και είναι καθαρός αριθμός.

Ενώ η μαγνητική επιδεκτικότητα κατά βάρος (χ) ορίζεται ως :

$$\chi = \frac{k}{\rho}$$

όπου ρ η πυκνότητα του υλικού ,και έχει μονάδες $m^3 kg^{-1}$, και μετράται σε πεδία χαμηλής έντασης μέχρι 1 mT. Η μαγνητική επιδεκτικότητα (χ) χρησιμοποιείται συνήθως σαν μέτρο της συγκέντρωσης σιδηριμαγνητικών υλικών στο δείγμα.

Η μαγνητική επιδεκτικότητα, για τα :

- διαμαγνητικά υλικά είναι αρνητική, με μικρές τιμές και ανεξάρτητη της θερμοκρασίας
- παραμαγνητικά υλικά, με την αύξηση της θερμοκρασίας προκαλείται η μείωσή της (μικρές θετικές τιμές) , ενώ με τη μείωση της θερμοκρασίας προκαλείται αύξησή της.
- σιδηρομαγνητικά υλικά έχει μεγάλες θετικές τιμές
- αντισιδηρομαγνητικά υλικά είναι : $\theta < \theta_{Neel}$, μικρές θετικές τιμές

$\theta = \theta_{Neel}$, μέγιστη τιμή της μαγνητικής

επιδεκτικότητας και στη συνέχεια ελάττωση

$\theta > \theta_{Neel}$, συμπεριφέρονται παραμαγνητικά

με μικρές τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας

Ανυστερητική Παραμένουσα μαγνήτιση (ARM) : είναι η μαγνήτιση που διατηρεί ένα υλικό μετά την έξοδό του από εφαρμοσμένο συνδυασμό πεδίων (στο εργαστήριο) , ένα φθίνον εναλλασσόμενο και ένα σταθερό, με αποτέλεσμα να μην παρουσιάζεται το φαινόμενο της υστέρησης.

Η ARM είναι ιδιαιτέρως ευαίσθητη στην παρουσία κόκκων μοναδικής περιοχής μαγνητίτη/μαγκαιμίτη διαμέτρου 0.02 – 0.04 μm (Maher, 1988). Μετράται σε $\text{A m}^2 \text{ kg}^{-1}$, αλλά συνήθως εκφράζεται ως επιδεκτικότητα της

ARM , χ_{ARM} με μονάδες $\text{m}^3 \text{ kg}^{-1}$. ($\chi_{ARM} = \frac{ARM}{DCfield}$)

Ισόθερμη παραμένουσα μαγνήτιση (IRM) : Είναι η μαγνήτιση που διατηρεί ένα υλικό μετά την έξοδό του από κάποιο εφαρμοζόμενο σταθερό πεδίο (στο εργαστήριο) σε σταθερή θερμοκρασία. Όταν εφαρμόζεται το πεδίο κορεσμού έχουμε την SIRM.

Οι IRM και SIRM υπολογίζονται ως μαγνήτιση κατά βάρος , δηλαδή :
 A_n , P η διπολική ροπή σε A m^2

M η μαγνήτιση , όπου $M = \frac{P}{V}$ σε A m^{-1}

τότε J η μαγνήτιση κατά βάρος , $J = \frac{P}{m}$ ή $J = \frac{M}{\rho}$ σε $\text{A m}^2 \text{ kg}^{-1}$.

Μετράμε την IRM σε +20 mT και +300 mT , την SIRM σε +1000 mT , και στη συνέχεια εφαρμόζουμε αντίστροφα πεδία έντασης -20 mT, -40 mT, -100 mT, -300 mT προκειμένου να υπολογίσουμε την υστέρηση των υλικών σε σχέση με την SIRM. Η SIRM εξαρτάται από πολλούς παράγοντες και γι' αυτό συνήθως χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με άλλα μεγέθη.

- Η διαφορά $SIRM - IRM_{-20}$ υποδεικνύει την παρουσία σιδηρομαγνητικών κόκκων μεγέθους $> 0.02 \mu m$ οι οποίοι συνεισφέρουν σε παραμένουσα μαγνήτιση.
- Η διαφορά $SIRM - IRM_{-300}$ παρέχει πληροφορίες για την σχετική αναλογία αντισηδιρομαγνητικών (AF) υλικών σε ένα δείγμα. (Πρέπει να χρησιμοποιείται με προσοχή, διότι δεν δίνει ποσοτικά αποτελέσματα παρά μόνο στις περιπτώσεις που είναι γνωστό ότι η ορυκτολογία των AF υλικών και η κοκκομετρία παρέμειναν σταθερές.
- Ο λόγος ARM/χ μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν δείκτης παρουσίας κόκκων μαγνητίτη, εφόσον, στα υπό μελέτη δείγματα, είναι πολύ μικρή η συνεισφορά παραμαγνητικών και υπερπαραμαγνητικών υλικών στην χ , καθώς επίσης και η συνεισφορά των AF υλικών στην ARM.
- Ο λόγος $\chi_{ARM}/SIRM$ (ή $SIRM/ARM$) επίσης εξαρτάται από την κοκκομετρία του δείγματος, έχει όμως το πλεονέκτημα να είναι ανεξάρτητος από την παρουσία παραμαγνητικών ή υπερπαραμαγνητικών υλικών.
- Ο λόγος $SIRM/\chi$ επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες. Τείνει δε να έχει χαμηλές τιμές όταν η χ επηρεάζεται από την παρουσία παραμαγνητικών ή υπερπαραμαγνητικών (SP) υλικών, ή ακόμα και από υλικά πολλαπλών περιοχών (MD). Αντίθετα οι τιμές του λόγου αυξάνονται όταν η SIRM αντανakλά την παρουσία υλικών μοναδικής περιοχής (SD) ή αντισιδηρομαγνητικών (AF) υλικών.

Μαγνητική Συμπεριφορά	Παραδείγματα Υλικών	Επιδεκτικότητα $10^{-8} m^3 kg^{-1}$	Παραμένουσα Μαγνήτιση $A m^2 kg^{-1}$
Σιδηριμαγνητικά	Μαγνητίτης Μαγκαιμίτης Γραιγίτης	Πολύ υψηλή και θετική $\sim 5 \cdot 10^4$	Πολύ υψηλή ~ 10
Ατελώς Αντισιδηρομαγνητικά	Αιματίτης Γκαιτίτης	Χαμηλή και θετική ~ 65	Χαμηλή ~ 0.2
Παραμαγνητικά	Σιδηριυδρίτης Σιδηροπυρίτης Λεπιδοκροκίτης	Χαμηλή και θετική $\sim 30 - 70$	Μηδέν
Διαμαγνητικά	Ανθρακικό Ασβέστιο Πυρίτιο Νερό Ανθρακας	Πολύ χαμηλή και αρνητική $\sim -0.5 - -0.9$	Μηδέν
	Αργίλος (montmorillonite)	~ 5	$\sim 4 \cdot 10^{-3}$

Πίνακας (1)

3.4 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Τα δείγματα που συλλέγονται από ένα γεωλογικό σχηματισμό ,είναι προσανατολισμένα και έχουν κατάλληλο μέγεθος για μέτρηση. Τα πιο κοινά σχήματα των δειγμάτων που συλλέγονται είναι το κυβικό και το κυλινδρικό. Τα δείγματα για να ταιριάζουν στα μαγνητόμετρα , τις συσκευές απομαγνήτισης κλπ., κόβονται από τους πυρήνες. Τα δείγματα είναι συνήθως κύλινδροι με 2.5 cm διάμετρο και 2.2 cm ύψος. Θεωρητικά η κύρια παραμένουσα μαγνήτιση όλων των δειγμάτων , που κόπηκαν από το ίδιο δείγμα και από την ίδια θέση δειγματοληψίας ,πρέπει να έχει τις ίδιες μαγνητικές παραμέτρους.

Όμως στην παρούσα πτυχιακή εργασία,τα δείγματα που συλλέχθηκαν, μελετήθηκαν και στην συνέχεια αφού έγινε η προετοιμασία τους υποβλήθηκαν σε μετρήσεις , ήταν χώματα – ιζήματα, από τις περιοχές έρευνας, και γι' αυτόν τον λόγω τοποθετήθηκαν σε ειδικά πλαστικά κουτάκια χωρίς κάποιο προσανατολισμό.Οι διαστάσεις των πλαστικών κυλίνδρων στους οποίους τοποθετήθηκαν τα χώματά μας για να μπορέσουμε να τα μετρήσουμε στην συνέχεια με μαγνητόμετρα και συσκευές απομαγνήτισης είναι 2.5 cm x 2.2 cm ύψος.

Η διαδικασία προετοιμασίας των δειγμάτων είναι η ακόλουθη : Τα δείγματα αρχικά στεγνώνονται σε θερμοκρασία δωματίου, ώστε να μην έχουν καθόλου υγρασία. Στην συνέχεια κοσκινίζονται με κόσκινα συγκεκριμένων διαστάσεων και μετά τοποθετούνται στα κουτάκια. Στην συνέχεια τα δείγματα ζυγίζονται (μαζί με τα κουτάκια μέσα στα οποία είναι τοποθετημένα) για να γίνει ο σωστός υπολογισμός της επιδεκτικότητας μάζας. Για την πραγματοποίηση κάποιων μετρήσεων (π.χ. IRM – demagnetization) πρέπει το υλικό να είναι πολύ συμπαγές, οπότε το πατάμε στο κουτάκι και το σφηνώνουμε με κάποιο μη μαγνητικό υλικό (π.χ. βαμβάκι) ή το αναμειγνύουμε με ένα ειδικό μη μαγνητικό κερί και το πατάμε να γίνει συμπαγές.

3.5. ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για τις μετρήσεις των δειγμάτων στην εργασίας μας είναι το μαγνητόμετρο μαγνητικής ροής (Minispin), συσκευή θερμικής απομαγνήτισης (home-made furnace), και ο απομαγνητιστής εναλλασσόμενου πεδίου A.F. (Molspin).

3.5.1 ΜΑΓΝΗΤΟΜΕΤΡΟ (MINISPIN)

Το MINISPIN είναι ένα μαγνητόμετρο υψηλής ευαισθησίας, περιστρεφόμενο (μαγνητικής ροής) και μικρής ταχύτητας. Τα εσωτερικά ηλεκτρονικά είναι όλα πάνω σε πέντε τυπωμένους πίνακες κυκλωμάτων. Τα δείγματα περιστρέφονται με ταχύτητα 6 Hz σ' ένα περίπου κατακόρυφο

άξονα. Αυτός βρίσκεται μέσα σε ένα δακτύλιο μαγνητικής ροής και είναι περιτριγυρισμένος από ένα τριπλού στρώματος κυλινδρικό καπάκι.

Για να επιτευχθούν πλήρως διανυσματικά αποτελέσματα είναι απαραίτητο να εκτελεσθεί μια σειρά μετρήσεων , με το δείγμα τοποθετημένο σε διαφορετικούς προσανατολισμούς. Η βαθμονόμηση του οργάνου γίνεται με προσαρμογή του σήματος εξόδου σ' ένα πρότυπο δείγμα. Ο υπολογιστής που είναι συνδεδεμένος με το μαγνητόμετρο είναι προγραμματισμένος σε γλώσσα BASIC. Επίσης υπάρχει διαθέσιμο ένα πακέτο επεξεργασίας παλαιομαγνητικών μετρήσεων.

Οι διακόπτες SHORT και LONG διαλέγουν τον αριθμό των περιστροφών για τις οποίες ολοκληρώνεται το σήμα εξόδου. Σε 24 περιστροφές ανά 6 sec για το SHORT και σε 120 περιστροφές ανά 24 sec για το LONG. Ο διακόπτης LONG δίνει καλύτερο σήμα σε αναλογία με το θόρυβο και προτείνεται για

δείγματα με μαγνητικές ροπές μικρότερες από 5×10^{-5} emu .Το μοτέρ περιστροφής ξεκινά όταν πιέζεται οποιοσδήποτε από τους δύο παραπάνω διακόπτες και σταματά στο τέλος της μέτρησης.

Ο διακόπτης ATTENUATOR ελαττώνει την αναλογική έξοδο της μαγνητικής ροής σε 4 δεκαδικά στάδια.

Ο διακόπτης SET GAIN προσαρμόζει την ενίσχυση του τελικού σταδίου , ώστε να μετατρέψει το σήμα εξόδου ενός δείγματος στο απαιτούμενο αποτέλεσμα. Ο διακόπτης αυτός χρησιμοποιείται για τη μεταβολή των μονάδων στις οποίες εμφανίζονται τα αποτελέσματα, όπως μαγνητική ροπή ανά μονάδα όγκου ή ένταση μαγνήτισης.



Σχήμα (10) Μαγνητόμετρο MINISPIN

Για την διαδικασία χειρισμού του μαγνητομέτρου θέτουμε το διακόπτη στη θέση ON. Μετά από καθυστέρηση 1 περίπου δευτερολέπτου, αρχίζει η λειτουργία του μοτέρ. Στο τέλος του δευτερολέπτου, η ένδειξη 32 στο LCD δείχνει ότι το όργανο λειτουργεί σωστά. Τοποθετούμε τον ATTENUATOR στην χαμηλότερη τιμή, που θεωρούμε ότι χρειάζεται για τα δείγματα που θα μετρηθούν (για τα ιζήματα συνήθως αυτή η τιμή είναι 1). Για ελαφρά μαγνητισμένα πετρώματα, περίπου 5×10^{-6} emu/cm³, είναι απαραίτητες 6 θέσεις περιστροφής. Οι θέσεις αυτές φαίνονται στο σχήμα (11).

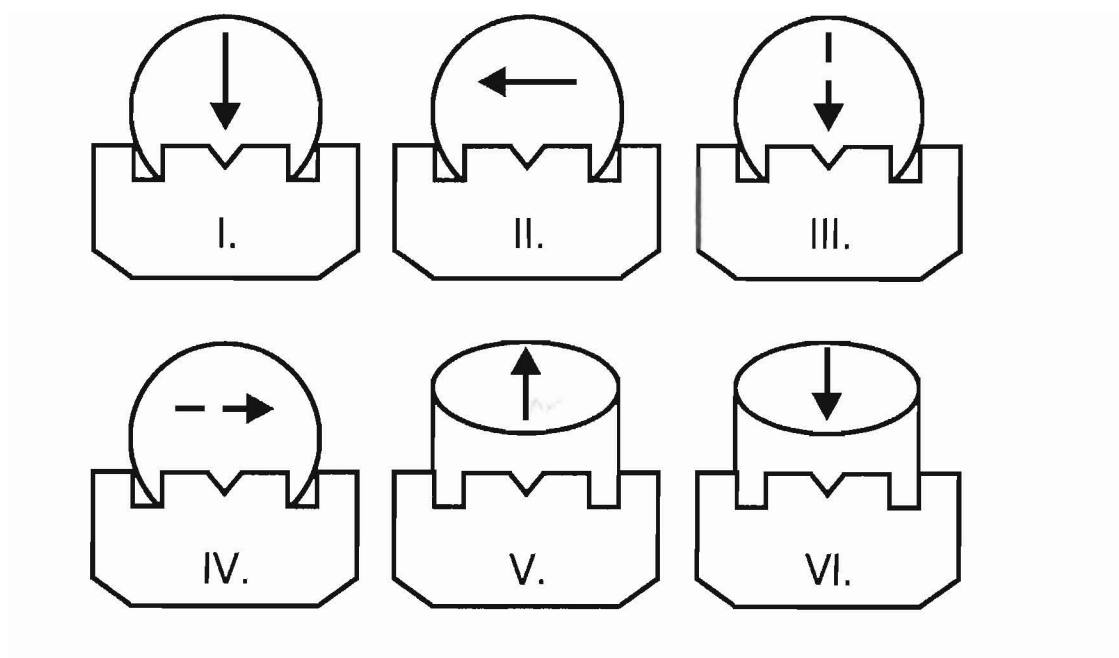
Αφού συνδεθεί το μαγνητόμετρο με τον υπολογιστή, μέσω του INTERFACE, γίνεται η μέτρηση και καταγραφή των συνιστωσών X, Y, Z και D και I.

Τα διαθέσιμα μαγνητόμετρα, που μετρούν την ένταση και τη διεύθυνση της παραμένουσας μαγνήτισης, είναι πολλά. Τα περισσότερα από αυτά είναι σχεδιασμένα για ένα μέγεθος δειγμάτων που να έχουν σχήμα κυλινδρικό και διαστάσεις 2.5 cm διάμετρο και 2.1-2.2 cm ύψος. Τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα μαγνητόμετρα, σε παλαιομαγνητικά εργαστήρια, είναι τα περιστρεφόμενα μαγνητόμετρα στα οποία τα κυλινδρικά δείγματα περιστρέφονται κοντά σ' ένα πηνίο. Η περιστρεφόμενη μαγνήτιση επάγει στο πηνίο ένα ρεύμα, του οποίου η ένταση εξαρτάται από την ένταση της μαγνήτισης του δείγματος που βρίσκεται σ' ένα επίπεδο κάθετο στον άξονα περιστροφής, ενώ η διεύθυνσή του μέσα σ' αυτό το επίπεδο δίνεται από τη γωνία φάσης. Το επίπεδο θορύβου του MINISPIN είναι μικρότερο από 0.1×10^{-6} emu για χρόνο ολοκλήρωσης 24 sec και μικρότερο από 0.2×10^{-6} emu για χρόνο ολοκλήρωσης 6 sec. Το όριο στις μετρήσεις της παραμένουσας μαγνήτισης είναι η ευαισθησία του μαγνητομέτρου. Έτσι με κριτήρια το θόρυβο του οργάνου διακρίνουμε αποδεκτές και αποριπτέες μετρήσεις. Κάθε απλή μέτρηση γίνεται δεκτή αν είναι τουλάχιστον μια τάξη μεγέθους μεγαλύτερη από το επίπεδο θορύβου του οργάνου.

Στο εργαστήριο της Θεσσαλονίκης μετριέται η ολική μαγνήτιση J σε $\frac{mA}{m}$ δηλαδή σε 10^{-6} emu.

Έτσι $J=1.231$ σημαίνει $J=1.231 \frac{mA}{m} = 1231 \times 10^{-6}$ emu.

Ως γνωστό είναι: $1 \text{ nT} = 10^{-5} \text{ Oe}$, $1 \text{ T} = 10^{-4} \text{ Oe}$, $1 \frac{A}{m} = 10^{-3} \text{ emu}$.



Σχήμα (11) Οι 6 θέσεις τοποθέτησης των των δειγμάτων στο μαγνητόμετρο με τις οποίες γίνονται οι μετρήσεις της παραμένουσας μαγνήτισης. (Α.Σ.Ατζέμογλου 1997)

3.5.2 ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Το σύστημα MS2 είναι το διεθνές πρότυπο που χρησιμοποιείται για τις μετρήσεις της μαγνητικής επιδεκτικότητας στις περιβαλλοντικές επιστήμες. Ο MS2 μετρητής είναι ένα φορητό όργανο με τους αισθητήρες του να προορίζονται για εργαστηριακή χρήση για την μέτρηση του πεδίου. Το σύστημα χρησιμοποιείται στη γεωμορφολογία, τη γεωφυσική, την αρχαιολογία και την εξερεύνηση ορυκτών. Είναι ένα ευπροσάρμοστο όργανο και μπορούμε να προσαρμόσουμε χωριστά τους βαθμολογημένους αισθητήρες του για να μας εξυπηρετήσει όπως επιθυμούμε. Έχει υψηλή ανάλυση, ακρίβεια στις μετρήσεις, σταθερότητα θερμοκρασίας και πολύ χαμηλή κλίση μέτρησης. Παρέχει μη καταστρεπτικές μετρήσεις και λειτουργεί σε χαμηλή συχνότητα και έτσι οι μετρήσεις δεν επηρεάζονται από την αγωγιμότητα των δειγμάτων. Οι αναγνώσεις λαμβάνονται περίπου σε 1 δευτερόλεπτο.



Σχήμα (12) Σύστημα μέτρησης μαγνητικής επιδεκτικότητας

3.5.3 BARTINGTON ΜΑΓΝΗΤΟΜΕΤΡΟ

Το όργανο αυτό το χρησιμοποιούμε για να μετρήσουμε την μαγνητική επιδεκτικότητα των δειγμάτων που έχουμε συλλέξει. Είναι ένα τριαξονικό μαγνητόμετρο πολύ χαμηλής ισχύος και έχει προδιαγραφές χαμηλού θορύβου. Λόγω της περιορισμένης δύναμης που έχει, προσφέρει την άριστη ευαισθησία.



Σχήμα (13) Μαγνητόμετρο Bartington

3.5.4 Συσκευή απόκτησης ισόθερμης παραμένουσας μαγνήτισης



ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ

3.5.2 ΑΠΟΜΑΓΝΗΤΙΣΗ ΚΑΙ ΣΥΣΚΕΥΕΣ

Σκοπός κάθε μαγνητικού καθαρισμού, είναι η απομάκρυνση όλων των δευτερευουσών μαγνητίσεων από τα δείγματα, που έχουν συλλεχθεί από την ίδια γεωλογική ενότητα, έτσι ώστε μόνο από τις φυσικές παραμένουσες μαγνητίσεις να προκύψει η μέση διεύθυνση της φυσικής παραμένουσας μαγνήτισης.

Δύο είναι οι κυρίως χρησιμοποιούμενες τεχνικές απομαγνήτισης. Η θερμική απομαγνήτιση και η απομαγνήτιση με εναλλασσόμενα μαγνητικά πεδία (AF). Η αρχή των απομαγνήτισεων 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.

Η AF απομαγνήτιση γίνεται με την χρήση ενός απομαγνητιστή, όπου εφαρμόζουμε διαδοχικά πεδία που αυξάνονται κατά 50 ή 100 Oe. Η θερμική απομαγνήτιση γίνεται με κατάλληλη συσκευή (φούρνος), όπου το παραμένον πεδίο στο εσωτερικό είναι περίπου 15γ. Κάθε δείγμα απομαγνητίζεται βαθμιαία. Η αύξηση της θερμοκρασίας γίνεται ανά 50 ή 100 °C μέχρι την ανώτερη θερμοκρασία επεξεργασίας κάθε δείγματος. Έτσι επιτυγχάνεται η ελάττωση της ιξώδους μαγνήτισης.

• ΑΠΟΜΑΓΝΗΤΙΣΤΗΣ (MOLSPIN demagnetizer)

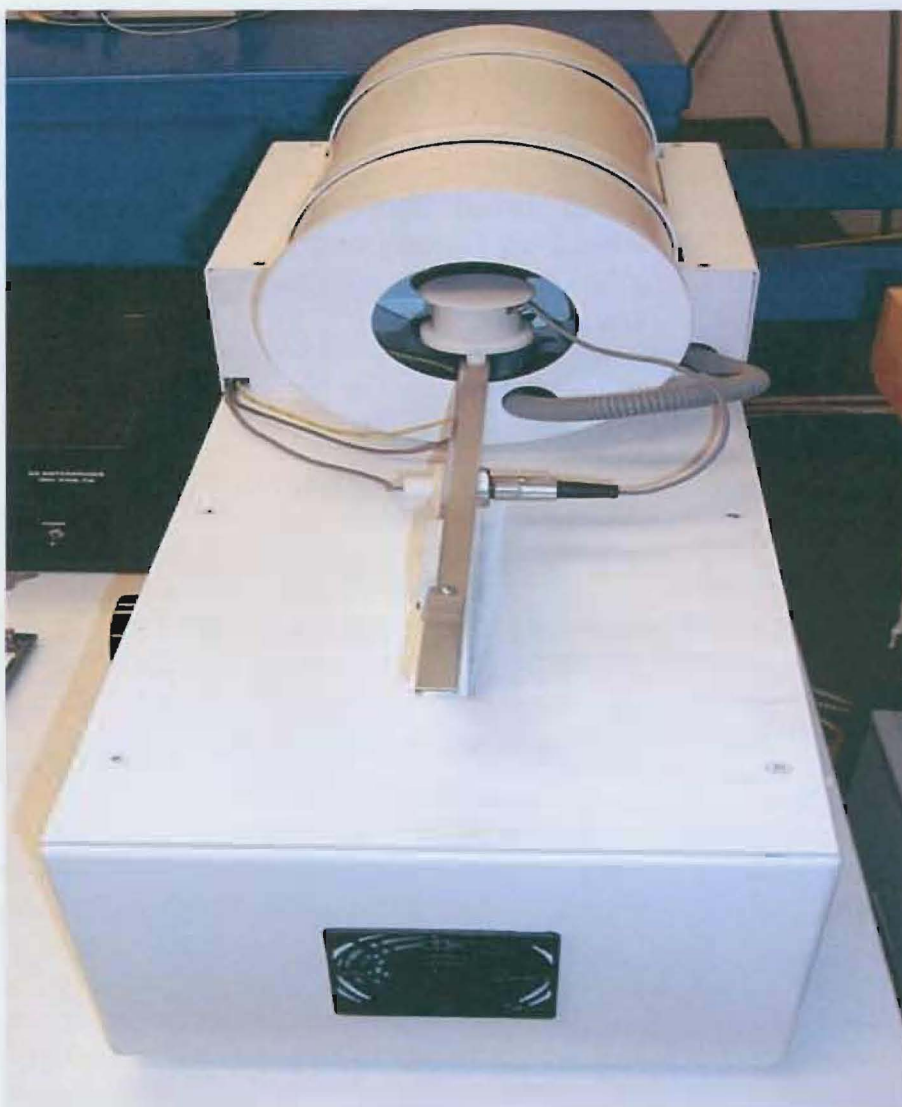
Ο απομαγνητιστής λειτουργεί καθώς αυξάνεται η ένταση του μαγνητικού πεδίου ενός εναλλασσόμενου ρεύματος (A.C.) μέχρι μια προκαθορισμένη

τιμή. Ύστερα αρχίζει να μειώνεται η ένταση του πεδίου, καθώς το δείγμα περιστρέφεται γύρω από δύο άξονες. Ο ρυθμός αύξησης είναι πάντα ίδιος, ενώ ο ρυθμός της μείωσης μπορεί να αλλάζει και να γίνεται τελικά μέχρι και οκτώ φορές πιο μικρή.

Το κύκλωμα αρχίζει με ένα ταλαντωτή που δίνει συχνότητα 10 KHz και προκαλεί ένα τετραγωνικό κύμα. Το κύμα οδηγείται σε ενισχυτή που λειτουργεί ως ολοκληρωτής και του δίνει τριγωνική μορφή. Στη συνέχεια οδηγείται μέσω ενός ψηφιακού πολλαπλασιαστή σε ένα αναλογικό μετατροπέα.



α)



(β)

Σχήμα (14) (α) και (β), Φωτογραφίες απομαγνητιστή εναλλασσόμενου πεδίου A.F. (MOLSPIN)

Σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας, το απομαγνητιστικό πηνίο που υπάρχει καταργεί το πεδίο και η τάση του μετατρέπεται σε τάση συνεχούς ρεύματος (D.C.) ενώ το μέγιστο εναλλασσόμενο πεδίο συγκρίνεται με το προκαθορισμένο πεδίο. Όταν αυτά τα δύο πεδία είναι ίσα, ένα σήμα αντιστρέφει την κατεύθυνση της μέτρησης και αρχίζει μια παύση, περίπου 5 δευτερολέπτων, προτού ένας νέος παλμός, διαφορετικού ρυθμού, οδηγήσει τον μετρητή, και από εκεί το τριγωνικό κύμα σε μηδενικό πλάτος. Τότε το παλμικό ρεύμα μηδενίζεται και το σύστημα είναι έτοιμο για ένα νέο κύκλο μέτρησης.

Όταν για κάποιο λόγο το σήμα της οθόνης δεν εμφανιστεί, τότε η αναστροφή και η παύση γίνονται όταν ο μετρητής φθάσει σε πλήρη δεκτικότητα.

Αυτό που πρέπει να αποφευχθεί είναι η μη συμμετρική μορφή κύματος. Πιο εύκολα δημιουργείται ένα συμμετρικό τριγωνικό κύμα παρά ένα ημιτονοειδές. Παρ' όλα αυτά το τριγωνικό κύμα δεν είναι και το καλύτερο για τον ενισχυτή ισχύος. Έτσι πριν από αυτό το στάδιο, η μορφή του κύματος, περνάει από ένα κύκλωμα συντονισμού όπου βελτιώνεται το σχήμα και η συμμετρία του. Το πηνίο απομαγνητισμού είναι κατασκευασμένο από μια σειρά κυκλωμάτων συντονισμού που επιδρά πάνω στην κυματομορφή.

Το κύκλωμα αποτελείται από έναν αριθμό ηλεκτρικών σταθερών ασφαλείας, που καθορίζουν την λειτουργία της μηχανής. Οι υψηλές τάσεις εφαρμόζονται στον ενισχυτή ισχύος σιγά – σιγά και έτσι αποφεύγεται η υπέρταση. Η μικρότερη τιμή του πεδίου που αναπτύσσεται είναι 20 Oe ενώ η μεγαλύτερη 1000 Oe. Η ταχύτητα του ρυθμού μείωσης του πεδίου μπορεί να είναι 32 ή 16 ή 8 ή 4 Oe ανά κύκλο.

4. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΕΘΝΗ ΧΩΡΟ

Μαγνητισμός των loess:

- Τα loess είναι χερσαίες αιολικές αποθέσεις ιλύος. Το loess είναι ομογενές ίζημα με υψηλό πορώδες, χωρίς στρώση ή σχιστότητα. Το χρώμα του είναι κιτρινωπό και σκουραίνει με την αύξηση του βαθμού αποσάθρωσης. Το μέγεθος των κόκκων του κυμαίνεται μεταξύ 20-40 μm , παρατηρούνται και loess πιο αμμώδη ή αργιλώδη. Τα κυριότερα ορυκτά που συνιστούν τα loess είναι ο χαλαζίας & τα πλαγιόκλαστα, ενώ ως επουσιώδη περιέχονται πάντα σιδηροπυριτικά ορυκτά όπως μαγνητίτης, μαγκεμίτης, αιματίτης & γκετίτης.
- Κατά την διάρκεια υγρότερων & θερμότερων μεσοπαγετώδων περιόδων είχαμε αποσάθρωση & μετατροπή των loess, σε εδάφη που ονομάζονται παλαιοεδάφη και τα οποία καλύφθηκαν αργότερα από νεώτερα loess.

Loess στην Κίνα:

1) Οι Heller & Liu(1984) βασιζόμενοι σε 231 δείγματα μιας γεώτρησης στην περιοχή του Luochuan έδειξαν ότι η μαγνητική επιδεκτικότητα στα παλαιοεδάφη είναι περισσότερο από το διπλάσιο από αυτή στα loess.

2) Σε γειτονικές περιοχές έγιναν μετρήσεις από άλλους επιστήμονες που οδήγησαν στα εξής συμπεράσματα:

α) Αυξημένες τιμές της μαγνητικής επιδεκτικότητας αντιπροσωπεύουν ένα δείκτη υγρών & θερμών παγετωδών περιόδων κατά τις οποίες έχουμε την δημιουργία παλαιοεδαφών.

β) Μειωμένες τιμές της μαγνητικής επιδεκτικότητας αντιπροσωπεύουν ένα δείκτη ψυχρών & ξηρών περιόδων, στις οποίες έχουμε συγκέντρωση των loess.



(α)



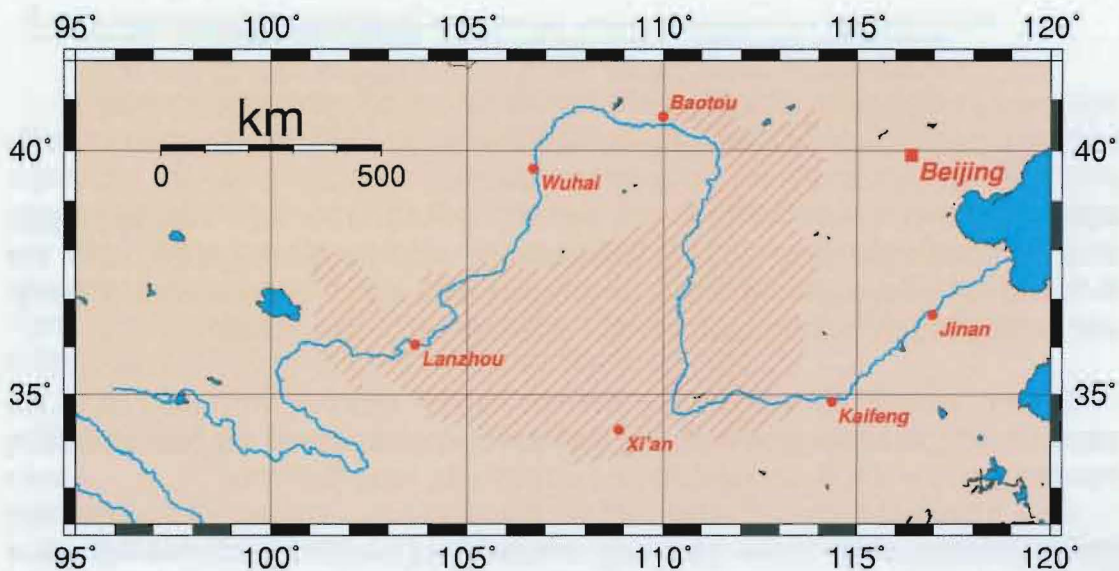
(β)

Εικόνα (1) (α) και (β) Loess στην Κίνα

3) Οι Heller & Liu (1986) συγκρίνοντας τα στοιχεία από την προαναφερθείσα γεώτρηση με την καταγραφή του ισοτόπου του οξυγόνου, βρήκαν ότι κάθε ισοτοπικό στάδιο του οξυγόνου στην θαλάσσια τομή, μπορεί να ταυτιστεί με μαγνητικές κορυφές στην τομή της ξηράς.

4) Ο Kukla & οι συνεργάτες του (1988) παρουσίασαν την χρονική σειρά SPECMAP (σύγκριση του ισοτόπου του οξυγόνου με την περίοδο του Brunhes από loess στο Luochuan Xifeng).

Έτσι θεώρησαν ότι κατά την διάρκεια μεσοπαγετώνων περιόδων όταν η ροή της σκόνης είναι μικρή, η τιμή της μαγνητικής επιδεκτικότητας είναι υψηλή, ενώ κατά την διάρκεια παγετώνων περιόδων όταν το loess συγκεντρώνεται γρήγορα, η συγκέντρωση του δειτρίτιου μαγνητίτη είναι μικρή άρα η τιμή της μαγνητικής επιδεκτικότητας είναι μειωμένη.



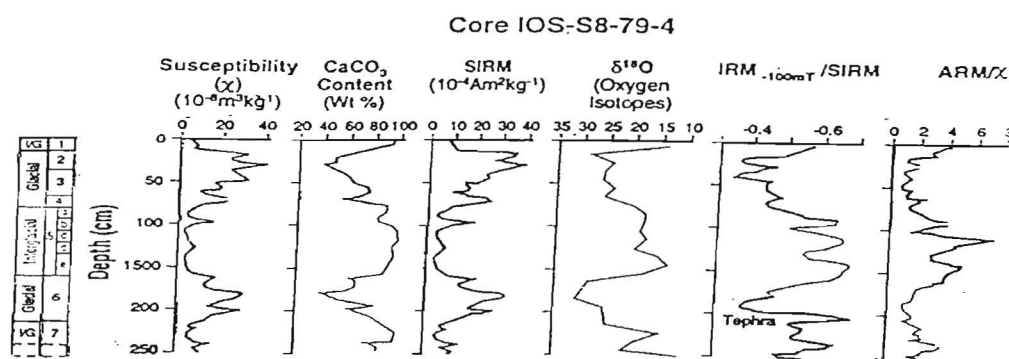
Εικόνα (2) Απεικόνιση σε χάρτη Loess στην ευρύτερη περιοχή της Κίνας

- ο Οι σχέσεις μεταξύ της λιθολογίας των loess που βρίσκονται στην κεντρική Ασία και της μαγνητικής επιδεκτικότητας είναι παρόμοιες με αυτές της Κίνας. Οι τιμές της μαγνητικής επιδεκτικότητας είναι περίπου 3 φορές μεγαλύτερες στα παλαιοεδάφη από ότι στα loess.

- ο Στα Loess στην Βόρεια Αμερική και στην Αλάσκα η μαγνητική επιδεκτικότητα των παλαιοεδαφών είναι μεγαλύτερη απ' αυτή των loess. Ο Beger et al το απέδωσε στην δράση του ανέμου. Επίσης τις μαγνητικές διακυμάνσεις που παρατηρήθηκαν στα loess της Ιντιάνας οι Halfway & Lowell την απέδωσαν στην ατμοσφαιρική δραστηριότητα.

- ο Στα Loess στην Νότια Αμερική οι Pillans & Wright αναφέρουν υψηλές τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας στα παλαιοεδάφη και χαμηλές στα loess. (Απόθεση ηφαιστειακών υλικών από τις πολύ κοντινές ηφαιστειακές περιοχές).

Έτσι καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η μαγνητική επιδεκτικότητα αποτελεί κλιματικό δείκτη.



Σχ.2 Οι ιδιότητες των μαγνητικών ορυκτών ως δείκτες του παλαιοκλίματος. Οι ιδιότητες των μαγνητικών ορυκτών από τον πυρήνα IOS-S8-79-4 από το Βόρειο Ατλαντικό ωκεανό, σχεδιάστηκαν ως προς δείκτες του παλαιοκλίματος και της πηγής των ιζημάτων. Προσέξτε πως οι εξαρτημένες από την συγκέντρωση (χ και SIRM), από την ορυκτολογία (IRM-100mT / SIRM), και από το μέγεθος των κόκκων (ARM/ χ) μαγνητικές παράμετροι σχετίζονται στενά με τα στάδια του ισότοπου του οξυγόνου που βρίσκονται αριστερά του σχήματος.

Κατά τους Zhou et al, (1990) ο μαγνητικός εμπλουτισμός των παλαιοεδαφών είναι αποτέλεσμα μιας αρχικής διαδικασίας που λαμβάνει χώρα κατά την διάρκεια της εδαφογένεσης και οι μαγνητικές αλλαγές που οφείλονται σ' αυτήν μας δίνουν σημαντικά στοιχεία για τον μαγνητικό κλιματικό δείκτη.

Επίσης πολλές έρευνες έχουν γίνει σε λίμνες, εκβολές ποταμών αλλά και σε κλειστούς κόλπους και ανοιχτές θάλασσες, προκειμένου να διαπιστωθεί η προέλευση των ιζημάτων με βάση τις μαγνητικές τους ιδιότητες.

Οι περιβαλλοντικές μαγνητικές παράμετροι, όπως η μαγνητική επιδεκτικότητα, είναι πολύ χρήσιμες στις μελέτες των θαλάσσιων & λιμναίων ιζημάτων, γιατί μπορούν να γίνουν ευαίσθητοι δείκτες των διαφοροποιήσεων της συγκέντρωσης & του μεγέθους των κόκκων του χερσαίου υλικού που αποτίθεται στον πυθμένα της θάλασσας ή της λίμνης.

-Λιμναία ιζήματα :

Οι διαφοροποιήσεις στον τύπο & την συγκέντρωση των μαγνητικών ορυκτών στις λιμναίες λεκάνες σχετίζονται συχνά με τις διεργασίες εδάφους, κατωφέρειας & τις χερσαίες αλλαγές. Επίσης, οι αλλαγές στο κλίμα επηρεάζουν τις αποσασθρωτικές & ιζηματολογικές διεργασίες με τέτοιο τρόπο ώστε να αυξάνονται οι μαγνητικές διαφοροποιήσεις των ορυκτών.

Οι Dearing & Flower (1982) εξετάζοντας τη σχέση της διάβρωσης με την μαγνητική επιδεκτικότητα κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι τα μέγιστα της επιδεκτικότητας στις καταγραφές των λιμναίων ιζημάτων είναι αποτελέσματα υδρολογικών ελέγχων που έχουν ως αποτέλεσμα την αποψίλωση δασών & καλλιέργεια. Αυτές οι διεργασίες επιταχύνουν την απορροή & αυξάνουν την μεταφορική ικανότητα των ρευμάτων με συνέπεια την αύξηση της απόθεσης μαγνητικών ιζημάτων στην λίμνη.

-Θαλάσσια ιζήματα:

Οι Bloemendal & DeMenocal (1989) ,με μετρήσεις στην Αραβική θάλασσα έδειξαν ότι οι διαφοροποιήσεις του σήματος της μαγνητικής επιδεκτικότητας είχαν συσχετιστεί με διαφοροποιήσεις τροχιακών παραμέτρων της Γης & ότι περιοχές με υψηλή μαγνητική επιδεκτικότητα αντιστοιχούσαν σε μεσοπαγετώδεις περιόδους.

Ο Meynadier et al.(1991),με μετρήσεις στην περιοχή της Σομαλίας έδειξαν ότι περιοχές με υψηλή μαγνητική επιδεκτικότητα αντιστοιχούσαν σε παγετώδεις περιόδους.

-Ατμοσφαιρικά συστατικά:

Η ύπαρξη μεταφερμένων μαγνητικών υλικών από την ατμόσφαιρα στα ιζήματα είναι γνωστή εδώ και πολλά χρόνια και οφείλεται σε μαύρα μαγνητικά σφαιρίδια. Έχουν γίνει προσπάθειες για την χρήση των μαγνητικών ιδιοτήτων αυτών των σφαιριδίων & πολλών άλλων πηγών ατμοσφαιρικών συστατικών για τον διαχωρισμό μεταξύ διαφορετικών τύπων αποβολής & άλλων ατμοσφαιρικών αεροδαφών. Μαγνητικοί παράμετροι όπως SIRM, ARM, χ & χ_{arm} μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον διαχωρισμό του σιδηρομαγνητικού υλικού της ατμοσφαιρικής σκόνης.

Κάποιες από τις σημαντικότερες και πιο πρόσφατες από αυτές τις έρευνες είναι :

- Οι Oldfield et al (1985 (a)) μελέτησαν τις μαγνητικές ιδιότητες επιφανειακού υλικού από την λεκάνη απορροής , αλλά και πυρήνων ιζημάτων (1- 2.5 m βάθος) από τις εκβολές του ποταμού Rhode ,και με βάση κοκκομετρικό διαχωρισμό , έδειξαν ότι η αλλαγή στην φύση του ιζήματος οφείλεται σε αλλαγές στις χρήσεις γης.

- Σε εργασία του στις εκβολές του ποταμού Potomac , οι Oldfield et al (1989) μελέτησαν την μαγνητική συμπεριφορά 11 πυρήνων ιζημάτων και σε συνδυασμό με δεδομένα από αναλύσεις βαρέων μετάλλων ,γύρης ,Pb -210, έδειξαν και πάλι ότι η αλλαγή στις χρήσεις γης που συντελέστηκε κατά τα μέσα του 19^{ου} αιώνα αντικατοπτρίζεται στις αλλαγές της μαγνητικής συμπεριφοράς του πάνω τμήματος των πυρήνων και αντιστοιχεί σε υλικό προερχόμενο από διαβρωμένες επιφάνειες.

- Οι αλλαγές στις χρήσεις γης και η αυξημένη διάβρωση που έχουν συντελεστεί εδώ και 2000 χρόνια έχουν αποτυπωθεί και στα ιζήματα της μικρής λίμνης d'Annecy στην Γαλλία (κοντά στις πηγές του Ροδανού ποταμού) όπως αναφέρεται στην εργασία Higgitt et al (1993).Οι ερευνητές αυτοί βασίσθηκαν στις μαγνητικές ιδιότητες ενός πυρήνα 3 m καθώς και σε ανάλυση γύρης και γεωχημικές αναλύσεις προκειμένου να καταλήξουν στα συμπεράσματά τους.

- Οι Oldfield and Fringani (1992) εξετάζοντας τις μαγνητικές ιδιότητες 9 πυρηνών ιζημάτων της Αδριατικής θάλασσας ,κατέληξαν ότι η μαγνητική συμπεριφορά των ιζημάτων δεν έχει επηρεασθεί από αυθιγενές υλικό ή διαγενετικές αλλαγές. Σε έναν από τους πυρήνες η παρουσία αιματίτη υποδηλώνει ρύπανση από κοντινές βιομηχανικές δραστηριότητες. Επίσης ανάλογα με τη θέση των πυρηνών ,οι διαφορές στις μαγνητικές παραμέτρους υποδεικνύουν συσσώρευση υλικού διαφορετικής κοκκομετρίας που προέρχονται από τον ποταμό Πάδο. Τέλος υπάρχουν ενδείξεις για την ύπαρξη βακτηριακού μαγνητίτη στους πυρήνες που βρίσκονται σε απόσταση 10 – 15 km από το δέλτα του Πάδου.

- Η αξία της μεθόδου στις μελέτες ρύπανσης θαλάσσιων συστημάτων έχει δειχθεί και από τους Skoulllos et al (1979) και Skoulllos and Oldfield (1986) , οι οποίοι μελέτησαν τα ιζήματα του κόλπου της Ελευσίνας και άλλων κλειστών κόλπων και εκβολών ποταμών της Ελλάδας. Σε συνδιασμό με χημικές αναλύσεις κατέληξαν σε συμπεράσματα που αφορούν στο βαθμό των ανθρωπογενών προσθηκών στις διάφορες περιοχές, καθώς και στον χαρακτηρισμό των σωματιδίων που δρουν σε φορείς βαρέων μετάλλων.

Μαγνητική επιδεκτικότητα: μέθοδος μέτρησης της ρύπανσης

Η μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας θεωρείται μία προσεγγιστική μέθοδος: **Μετρήσεις του επιπέδου ρύπανσης θαλάσσιων & λιμναίων ιζημάτων.** Πολλές μελέτες έδειξαν ότι αυξημένες τιμές της μαγνητικής επιδεκτικότητας σε επιφανειακά , λιμναία ή θαλάσσια ιζήματα είναι το αποτέλεσμα λεπτόκοκκων οξειδίων του σιδήρου, που προέρχονται από βιομηχανικές πηγές. Υπάρχουν και μελέτες οι οποίες αποδίδουν τις υψηλές τιμές της μαγνητικής επιδεκτικότητας σε άλλα αίτια (διαγενετικά φαινόμενα) γι' αυτό πρέπει να γίνεται στατιστική ανάλυση της σχέσης μεταξύ της μαγνητικής επιδεκτικότητας και της συγκέντρωσης βαριών μετάλλων.

- Στο Hong-Kong μελέτη που έγινε στα θαλάσσια ιζήματα του λιμανιού έδειξαν ότι εκπομπές από βιομηχανικές & αστικές πηγές συντέλεσαν σημαντικά στη συσσώρευση ρυπαντών. Έγιναν γεωτρήσεις για να μετρηθούν οι τιμές της μαγνητικής επιδεκτικότητας, οι οποίες οδήγησαν σε χρήσιμα συμπεράσματα για την λύση του προβλήματος.



3



4

Εικόνες (3) και (4) Hong Kong

- Επίσης ανάλογες μετρήσεις με αυτές που έγιναν στο Hong Kong, πραγματοποιήθηκαν και στον θερμαϊκό κόλπο.



Εικόνα (5) Άποψη Θερμαϊκού κόλπου

5. ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΕΡΓΑΣΙΑ

5.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΟΖΑΝΗΣ (ΕΛΛΑΔΑ)

Η λεκάνη της Κοζάνης – Πτολεμαΐδας βρίσκεται στην δυτική Μακεδονία, και ανήκει στο νομό Κοζάνης. Η πόλη της Κοζάνης βρίσκεται στη Βόρεια Ελλάδα, 300 χλμ. βόρεια της Αθήνας. Η κατεύθυνση αυτής της γεωλογικής λεκάνης είναι ΒΔ-ΝΑ, βρίσκεται σε ένα μέσο ύψος 700 m από την επιφάνεια της θάλασσας και περικλείεται γύρω της από τα βουνά Άσκιο και Βέρμιο.

Γεωλογικά στα ανώτερα στρώματα και στην επιφάνεια της περιοχής συναντάμε ενοποιημένα ιζήματα που αποτελούνται από άμμο, ποτάμιες αποθέσεις, κροκαλοπαγή και λατυποπαγή, ενώ τα βαθύτερα στρώματα της λεκάνης αποτελούνται από το Κρητιδικό φλύσχη της Πελαγονικής Ζώνης, και ακολουθούν ασβεστόλιθοι και ιουρασικοί σχιστόλιθοι, κερατόλιθοι και οφιόλιθοι (Αναστασόπουλος et al. 1980).

Σ' αυτήν την λεκάνη που εκτείνεται μεταξύ της Κοζάνης και της Πτολεμαΐδας λειτουργούν τέσσερις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με λιγνιτικούς πόρους που παρέχονται από την ίδια την λεκάνη. Η μελέτη που έλαβε χώρα στην περιοχή είχε διπλό στόχο : (α) να βρεθεί η συγκέντρωση βαρέων μετάλλων και ο συσχετισμός των σιδηρομαγνητικών ορυκτών και των γεωχημικών τους ιδιοτήτων από τις μολυσμένες περιοχές που έγινε η δειγματοληψία , και (β) να εκτιμηθεί η χωρική κατανομή των διάφορων ρύπων στην περιοχή. Η κύρια πηγή της ρύπανσης της περιοχής είναι η ιπτάμενη τέφρα που εκπέμπεται από τους τέσσερις σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Πεδίο τιμών και δεδομένων

Η χαρτογράφηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας, στην περιοχή μελέτης μας, πραγματοποιήθηκε με ένα όργανο το Bartington (MS2D-loop) το οποίο μετράει την μαγνητική επιδεκτικότητα. Η ανάλυση ήταν 1x1 km και στην συνέχεια συλλέχθηκαν δείγματα από την περιοχή για την εργαστηριακή τους μελέτη. Οι in-situ (δηλαδή οι επί τόπου) τιμές της μαγνητικής επιδεκτικότητας που μετρήθηκαν παρουσιάζουν σημαντικές διακυμάνσεις, με αποτέλεσμα να τις χωρίσουμε σε τρεις κατηγορίες. α) Τιμές του υποβάθρου που εκτείνονται και είναι διασκορπισμένες σε όλη την περιοχή και κυμαίνονται από 0 έως 100×10^{-5} SI. β) οι τοπικές ανωμαλίες με τιμές να κυμαίνονται από 100 έως 300×10^{-5} SI. γ) και τις μέγιστες τιμές που είναι μεγαλύτερες από 300×10^{-5} SI να τις συναντάμε σε κάποια συγκεκριμένα σημεία (που αποτελούν το 9% του συνόλου των σημείων που χαρτογραφήθηκαν).

Δειγματοληψία και μετρήσεις

Η δειγματοληψία των χωμάτων για τις εργαστηριακές μαγνητικές μετρήσεις έγινε από θέσεις που βρίσκονται στα περίχωρα των τεσσάρων εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Από κάθε σημείο της δειγματοληψίας λήφθηκαν συντεταγμένες GPS (στο σύστημα WGS-84) και στην συνέχεια έγινε η μετατροπή τους σε προβολή Hatt, για να υπάρχει συμφωνία και να

αντιστοιχούν με τα αντίστοιχα τοπογραφικά δεδομένα και στοιχεία της περιοχής.

Σε κάθε σημείο της δειγματοληψίας συλλέχθηκαν δείγματα σε ένα βάθος από 0 – 15 cm κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, χρησιμοποιώντας πλαστικά εργαλεία για να αποφευχθεί η μαγνητική μόλυνση των δειγμάτων και στην συνέχεια τοποθετήθηκαν σε πλαστικές σακούλες. Προκειμένου να μειωθεί η στρέβλωση και η επίδραση στις τιμές, που θα δώσουν τα δείγματα, από τον αέρα, το νερό και τα χαλίκια, τα δείγματα στεγνώθηκαν σε θερμοκρασία δωματίου, αναλύθηκαν και κοσκινίστηκαν μέχρι τάξη μεγέθους των 500μm.

Δείγματα από την περιοχή της Κοζάνης

Τα δείγματα από την περιοχή είναι τα ακόλουθα

IRM	K14	K16	K32	K58	K61a	K65b	K79	K84	K98	K241
0	0,0124	0,00995	0,0112	0,0693	0,00524	0,00472	0,00096	0,00693	0,00568	0,0081
10	3,46	2,21	1,22	4,5	2,42	1,7	0,205	2,27	2,94	1,84
15	4,47	3,64	1,6	7,51	4,25	2,93	3,1	4,7	4,74	2,73
20	5,24	4,56	2,04	9,94	5,77	3,74	3,97	6,04	6,25	3,2
25	5,63	5,39	2,38	11,7	6,81	4,29	4,64	6,8	7,26	3,32
50	6,41	6,57	3,01	15,6	8,72	5,56	5,81	7,21	8,8	3,74
75	6,62	7,1	3,19	16,2	9,25	5,95	6,22	9,34	9,19	3,89
100	6,71	7,28	3,26	16,7	9,46	6,16	6,3	9,35	9,53	3,96
150	6,86	7,32	3,32	17,1	9,59	5,89	6,46	9,47	9,6	4,09
200	6,83	7,4	3,34	17,1	9,61	6,18	6,63	9,39	9,86	4,16
250	6,95	7,51	3,35	17,3	9,77	6,06	6,55	9,38	9,84	4,19
300	6,96	7,52	3,39	17,2	9,87	6,36	6,96	9,37	9,89	4,26
350	6,98	7,54	3,41	17,3	9,93	6,32	7,04	9,4	9,93	4,24

AFI(IRM)	K32	K98
0	3	9,94
50	2,68	8,48
75	2,41	7,27
100	2,14	6,3
125	1,9	5,3
150	1,69	4,46
200	1,33	3,37
250	1,05	1,92
300	0,856	1,76
500	0,436	0,789
800	0,023	0,34
999	0,172	0,223

Συγκεντρωτικός πίνακας με τα δέκς δείγματα που συλλέχθηκαν από την περιοχή της Κοζάνης. Στα παραπάνω δείγματα έγιναν μετρήσεις IRM και AFI.

5.2 BOLTON (UNITED KINGDOM)

Ο σκοπός της παρούσας έρευνας είναι να μετρηθεί η μαγνητική επιδεκτικότητα από τα εδάφη της περιοχής και να αξιολογηθεί ο βαθμός της μόλυνσης των ρυπασμένων εδαφών. Έτσι θα γίνει μαγνητική έρευνα στην περιοχή για να ερευνηθεί η πιθανή μόλυνση της περιοχής που βρίσκεται στο Little Lever στο Bolton. Η περιοχή βρίσκεται δίπλα σε ένα παλαιό εργοστάσιο χρωμίου που δεν είναι πλέον σε λειτουργία. Το εργοστάσιο αγγειοπλαστικής Edmund ήταν ανοικτό από το 1800 και παρήγαγε άλατα χρωμίου για πάνω από 160 χρόνια. Τα απόβλητα του εργοστασίου απλώθηκαν πάνω στο έδαφος και καλύφθηκαν ανεπαρκώς με τα επιφανειακά πετρώματα, την άμμο και την βλάστηση της γης από την οποία όμως το χρώμιο τελικά κατάφερε να διαρρεύσει στην επιφάνεια μαζί με διάφορες άλλες χημικές ουσίες.

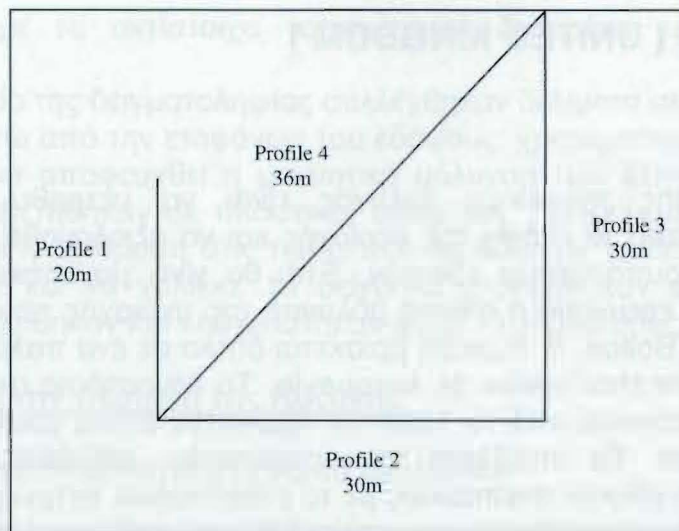
Η έρευνα της περιοχής αρχικά περιλαμβάνει την αποτύπωση και χαρτογράφηση του χώρου με ένα μαγνητόμετρο και στην συνέχεια κατά την εργαστηριακή έρευνα θα χρησιμοποιηθεί φθορισμός από ακτίνες Χ για τον ακριβή εντοπισμό και προσδιορισμό των χημικών στοιχείων των ρυπαντών.

Θα γίνει δειγματοληψία και θα μελετηθούν τα 15 πρώτα εκατοστά του χώματος που βρίσκονται στο έδαφος της περιοχής του σχολείου και τα αποτελέσματα της μαγνητικής διασκόπησης θα μας δώσουν τις απαραίτητες γεωχημικές πληροφορίες για να γίνει η έρευνα. Το μαγνητόμετρο που θα χρησιμοποιηθεί στην έρευνα είναι πολύ ευαίσθητο και μπορεί να επηρεαστεί από διάφορα αντικείμενα όπως είναι τα κινητά τηλέφωνα και τα κοσμήματα. Έτσι έχει προβλεφθεί ότι οι τιμές μας, από την μαγνητική διασκόπηση, δεν θα είναι απολύτως ακριβείς, δεδομένου ότι οι μετρήσεις θα εφαρμοστούν σε έναν αγωνιστικό χώρο και αυτό σημαίνει ότι πολλά αντικείμενα που βρίσκονται στο έδαφος, όπως είναι τα στηρίγματα των ποδοσφαιρικών εστιών θα προκαλέσουν ανεπιθύμητες ανωμαλίες.

Μέθοδος

Ο σκοπός της παρούσας έρευνας είναι να μετρηθεί η μαγνητική επιδεκτικότητα σε δείγματα από το προαύλιο του σχολείου ξένων γλωσσών Little Lever, το οποίο βρίσκεται δίπλα στον λόφο Potter's Hill και να αναθεωρηθεί ο συσχετισμός μεταξύ των περιοχών της υποδεδειγμένης μόλυνσης και των περιοχών όπου έχουμε πραγματική μόλυνση. Αυτό θα επιτευχθεί μέσω της ακόλουθης μεθοδολογίας.

Αρχικά δημιουργήθηκε ένα πλέγμα ερευνών το οποίο αποτελείται από τέσσερα προφίλ. Το προφίλ 1 ήταν 20 μέτρα, τα προφίλ 2 και 3 ήταν 30 μέτρα και οδηγούσαν στο προφίλ 1 μέσω μίας κάθετου που σχημάτιζαν μεταξύ τους. Το προφίλ 4 ήταν ένα διαγώνιο σχεδιάγραμμα που οδηγούσε από το προφίλ 3 στο προφίλ 1 (σχ. 1) και τοποθετείται στην περιοχή που φαίνεται στο σχήμα 2.



Σχήμα (15) Σχήμα που δείχνει την σχετική απεικόνιση των προφίλ.



Σχήμα (16) Χάρτης που δείχνει την περιοχή που πραγματοποιήθηκε η έρευνα(Google Earth).

Οι συντεταγμένες που μας δείχνουν την αρχή και το τέλος του κάθε προφίλ λήφθηκαν με μετρήσεις GPS. Αυτή η διαδικασία διευκολύνει την παροχή σημείων MSS καθώς και την θέση που βρίσκεται το κάθε δείγμα. Πριν από κάθε μέτρηση το υλικό υψώθηκε στον αέρα, όπου η γήινη μαγνητική παρέμβαση μειώνεται, και στην συνέχεια έγινε η βαθμολόγηση και η μέτρηση του υλικού που θα μας δώσει την μαγνητική επιδεκτικότητα. Σε κάθε προφίλ έγιναν μετρήσεις ανά 1m και σε κάθε σημείο που έγινε η μέτρηση επαναλήφθηκαν μετρήσεις τρεις φορές για να έχουμε μεγαλύτερη ακρίβεια. Τα αντιπροσωπευτικά δείγματα που συλλέχθηκαν από το έδαφος επιλέχθηκαν με βάση τις μετρήσεις MSS. Για ακόμα μεγαλύτερη ακρίβεια από

κάθε θέση της δειγματοληψίας συλλέχθηκαν δύο δείγματα. Μετά τα δείγματα αυτά τοποθετήθηκαν ονομαστικά σε σάκους για να γίνει η χημική τους ανάλυση και στη συνέχεια η επαλήθευση των αποτελεσμάτων της μαγνητικής επιδεκτικότητας. Τέλος έγινε μία τυχαία δειγματοληψία στο Potter's Hill και στην γύρω περιοχή όπου συλλέχθηκαν 7 δείγματα για χημική ανάλυση.



Σχήμα (17) Παρουσίαση των θέσεων των δειγμάτων GPS 8-14. (Google Earth 2006)

Λόγω της ευαισθησίας που έχει ο εξοπλισμός, πρέπει να γίνουν κάποιοι έλεγχοι ώστε να εξασφαλιστεί και να εκτελεστεί με ακρίβεια και αντικειμενικότητα η έρευνα. Για να αποφασιστεί ποιοι έλεγχοι πρέπει να γίνουν, αρχικά θα πρέπει να γίνουν κάποιοι προγενέστεροι έλεγχοι ώστε να κατασταλάξουμε στο πως επηρεάζουν οι διαφορετικές συνθήκες αλλά και τα διάφορα αντικείμενα τον εξοπλισμό μας. Αρχικά εξετάστηκε η ευαισθησία της συσκευής με την αξιολόγηση της επίδρασης διάφορων μεταλλικών αντικειμένων που τοποθετήθηκαν σε άμεση σχεδόν επαφή με τον εξοπλισμό μας. Αυτό επιτεύχθηκε όταν ένα μέλος της ομάδας μας φορώντας ειδικά διαμορφωμένες μπότες ενισχυμένες με σίδηρο μπροστά, στεκόταν σε διάφορες αποστάσεις από την συσκευή. Διαπιστώθηκε ότι αυτό είχε επιπτώσεις στην ανάγνωση της επιδεκτικότητας όταν οι μπότες ήταν σε μια ακτίνα 2 m από την συσκευή. Όλα τα μέλη της ομάδας, πριν από την έναρξη των μετρήσεων της εργασίας, όφειλαν να αφαιρέσουν τα κοσμήματα τους, τα κινητά τους τηλέφωνα, τυχόν κέρματα που είχαν πάνω τους και τις ζώνες τους. Μετά από αυτό επιλέχθηκε ένα μέλος της ομάδας για να κάνει τις μετρήσεις.

Για να γίνουν οι μετρήσεις μέσα στο πλέγμα της περιοχής, τοποθετήθηκαν πάσσαλοι οι οποίοι ενώθηκαν με ταινία μεταξύ τους. Όλες οι μαγνητικές μετρήσεις της επιδεκτικότητας πραγματοποιήθηκαν στην δεξιά πλευρά της ταινίας όσο πιο κοντά στην ταινία ήταν δυνατόν, παρατάσσοντας και ευθυγραμμίζοντας την διάμετρο του μετρητή όσο το δυνατόν πλησιέστερα στα σημεία που έγιναν οι μετρήσεις. Τα άκρα της ταινίας είχαν καλυφτεί με μέταλλο, και για να αποφευχθούν οι παρεμβολές από αυτό εκεί που τελείωνε η ταινία σημαδευόταν στο έδαφος και η ταινία μέτρησης αφαιρούνταν προσωρινά για να διευκολυνθεί η μέτρηση. Μετά από την μέτρηση στο σημείο που βρισκόταν η ταινία, τοποθετήθηκε εκ νέου η ταινία όσο πιο κοντά στην αρχική του θέση ήταν δυνατόν.

Μόλις η μελέτη ενός προφίλ ολοκληρωνόταν στην συνέχεια γινόταν η επιλογή της τοποθεσίας των δειγμάτων. Η μέτρηση των δειγμάτων επίσης γινόταν όσο πιο κοντά στην ταινία ήταν δυνατόν

Δείγματα από την περιοχή Bolton

Τα δείγματα από την περιοχή είναι τα ακόλουθα

IRM	P1-13	P2-2	P3-19	P4-5
0	0,14	0,436	0,122	0,032
10	3,04	4,26	2,14	3,66
15	6,67	7,07	3,24	3,57
20	8,04	7,83	4,22	6,86
25	10	10,5	4,32	8,55
50	13,1	13	6,31	8,29
75	13,9	13,7	6,33	11
100	14,6	14,1	6,46	10,9
150	14,6	14,4	6,93	11,7
200	14,7	14	6,84	11,4
250	15	14,3	7,03	11,7
300	15,4	14,1	7,09	11,8
350	15,4	14,2	7,16	12,1
Backfield IRM				
10	2,02	1,05	0,491	0,422
15	2,95	3,21	1,84	3,07
20	6,63	6,67	3,45	6,07
25	8,58	7,76	4,07	7,48
50	13	11,4	6,1	9,87
300	15	14,2	6,29	12,6
AFI (IRM)				
0	15	14,2	6,29	12,6
50	10,9	9,19	0,301	7,53
75	9,3	7,41	0,286	6,17
100	8,05	6,09	0,275	4,91
125	7,92	5,13	0,275	4,25
150	6,18	4,46	0,268	3,34
200	4,8	3,29	0,195	2,63
250	3,8	2,76	0,254	2,01

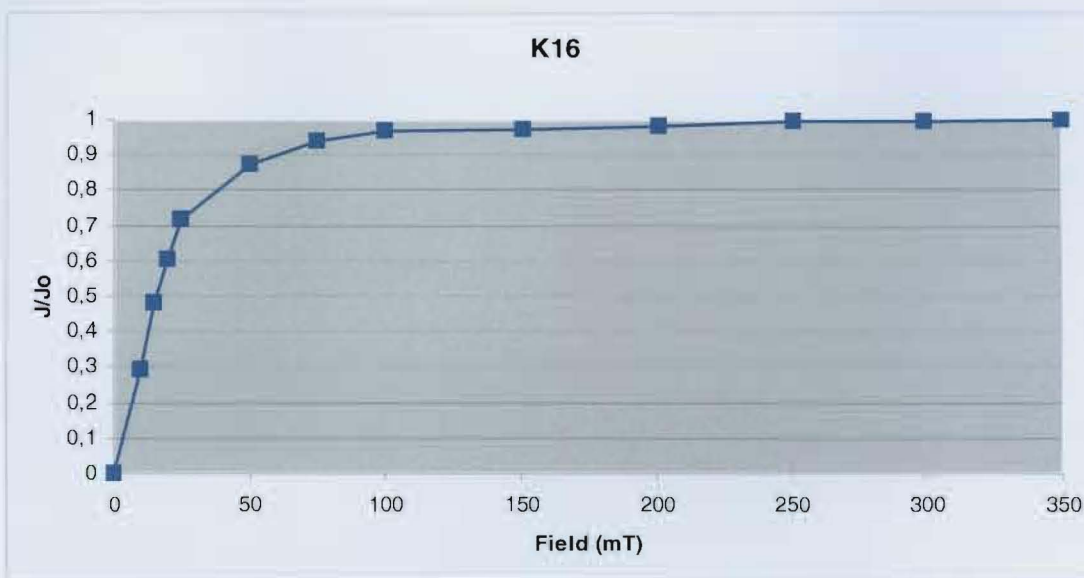
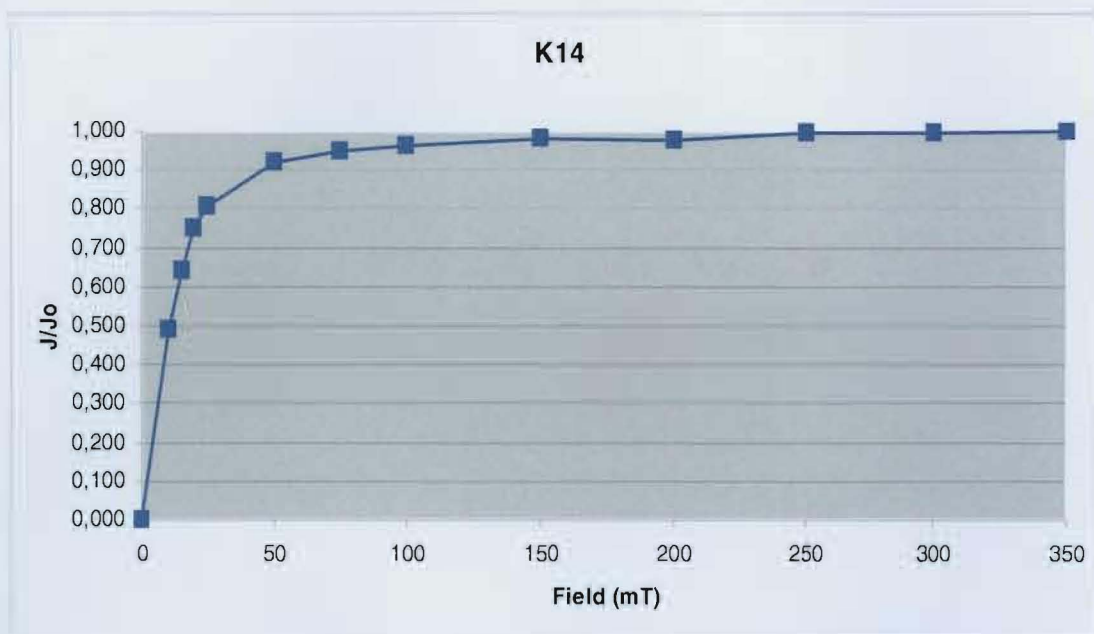
300	3	2,06	0,241	1,51
500	1,53	1,12	0,236	0,812
800	0,82	0,611	0,225	0,446
999	0,464	0,462	0,186	0,369

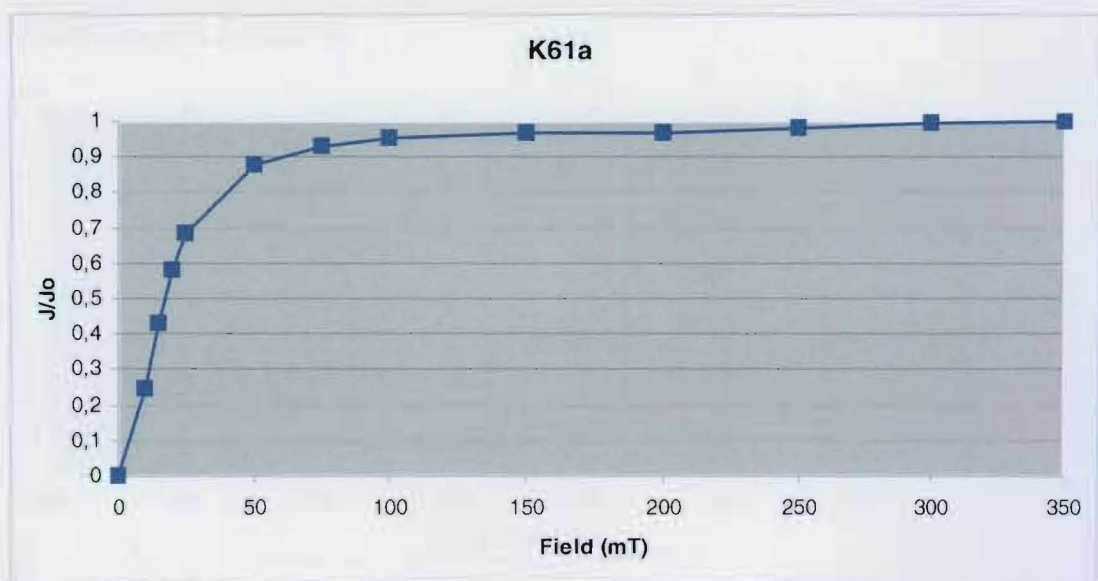
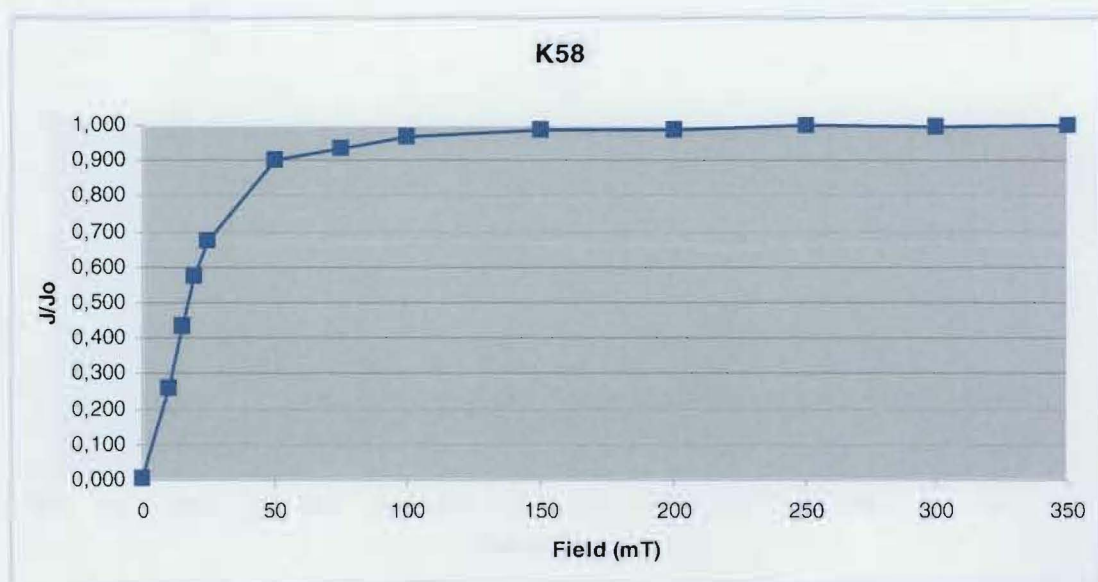
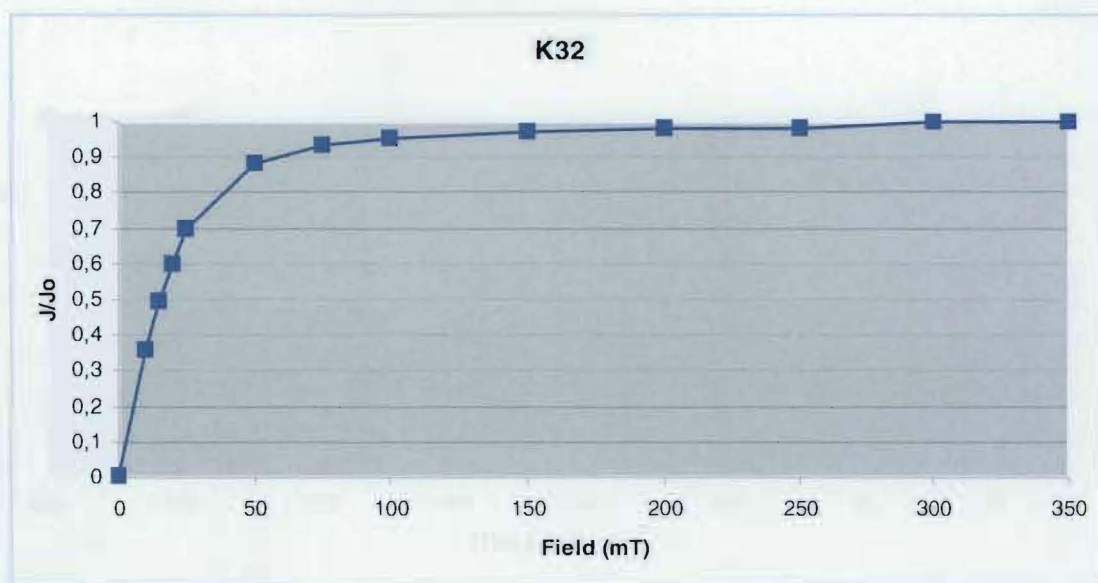
Συγκεντρωτικός πίνακας με τα τέσσερα δείγματα που συλλέχθηκαν από την περιοχή Bolton. Στα παραπάνω δείγματα έγιναν μετρήσεις IRM, Backfield IRM και AFI.

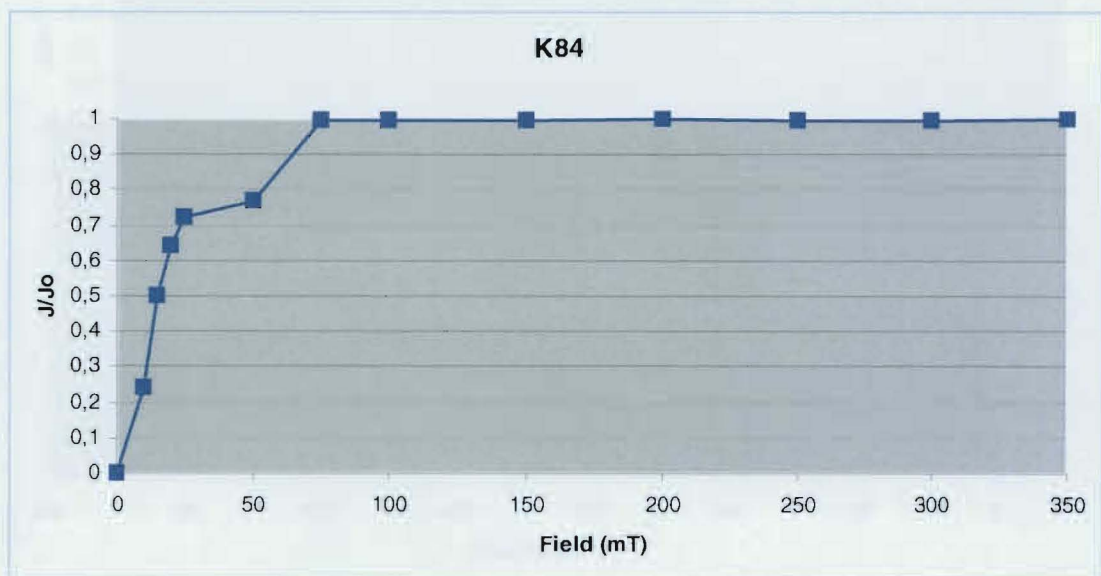
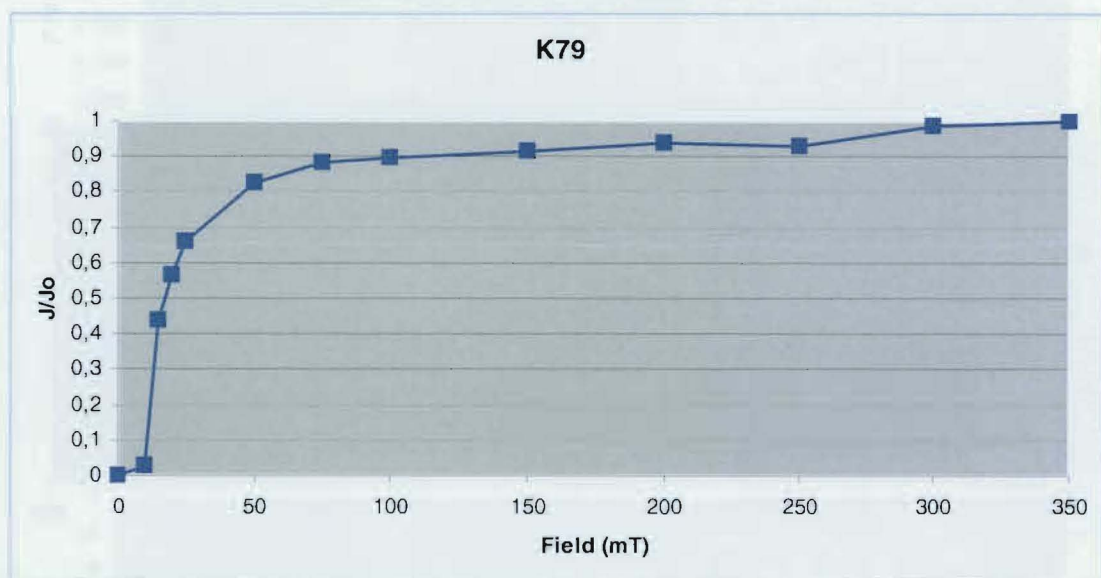
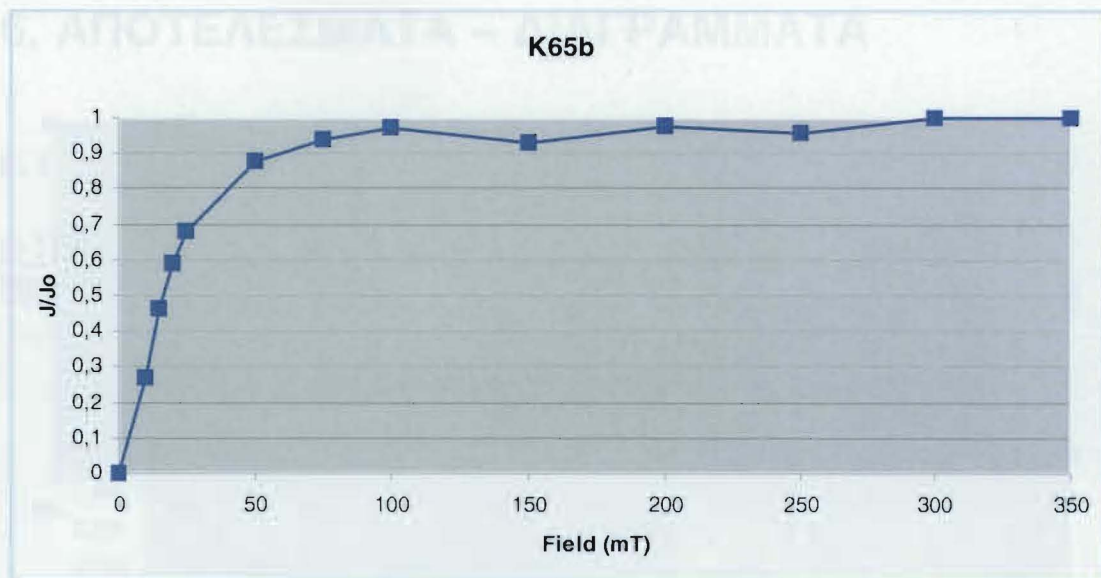
6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

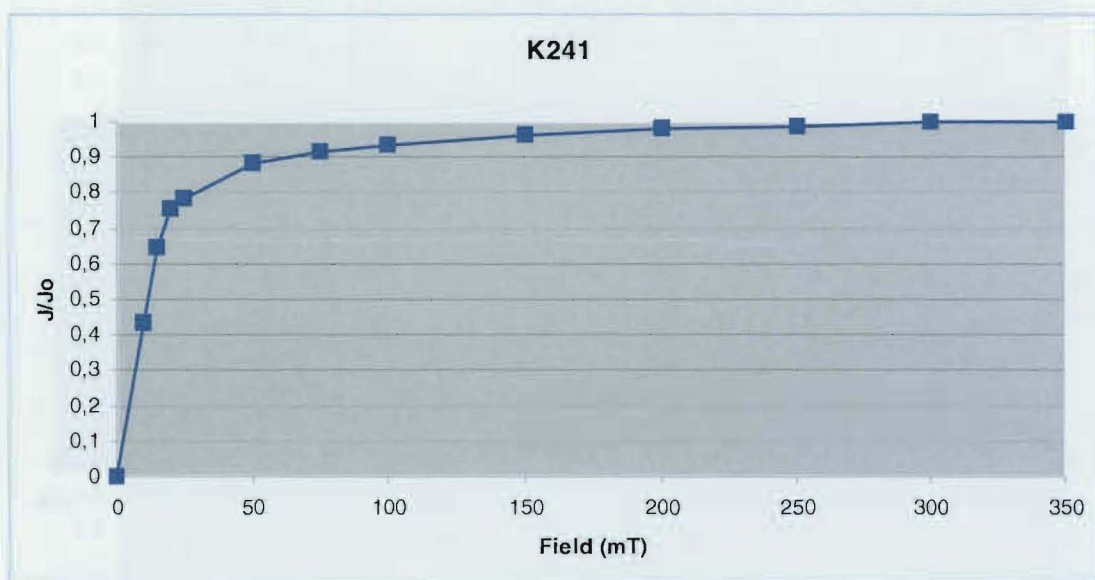
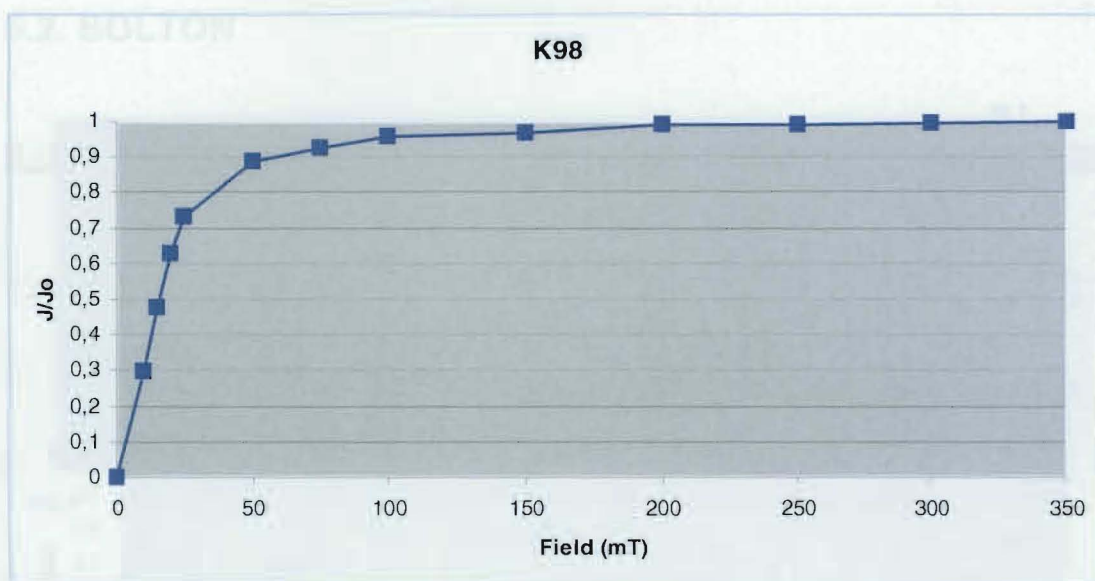
6.1. ΚΟΖΑΝΗ

α-1) Διαγράμματα από την εφαρμογή IRM στα δείγματα της περιοχής της Κοζάνης

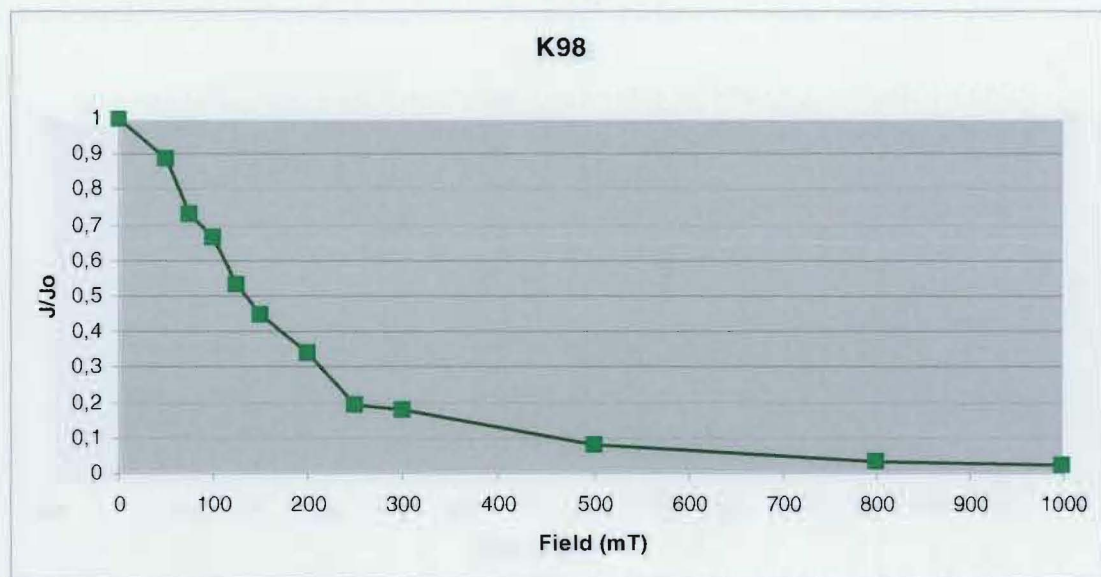
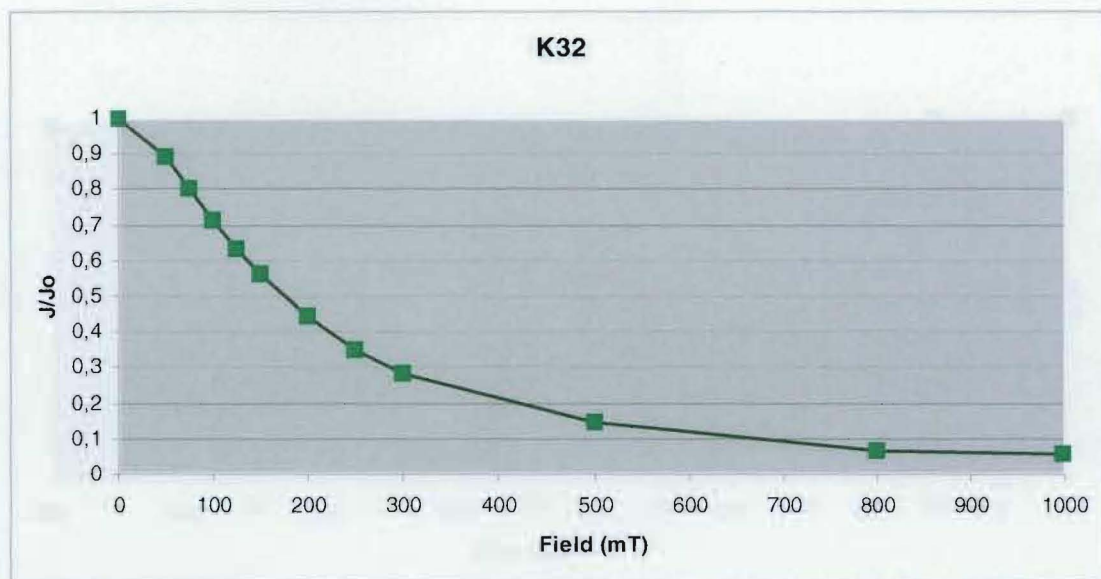






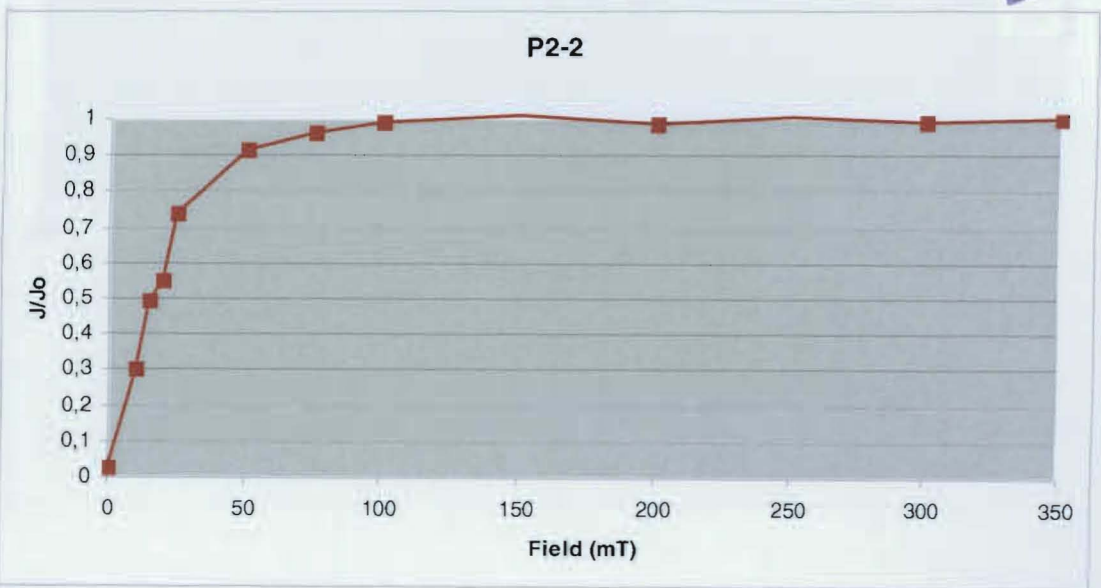
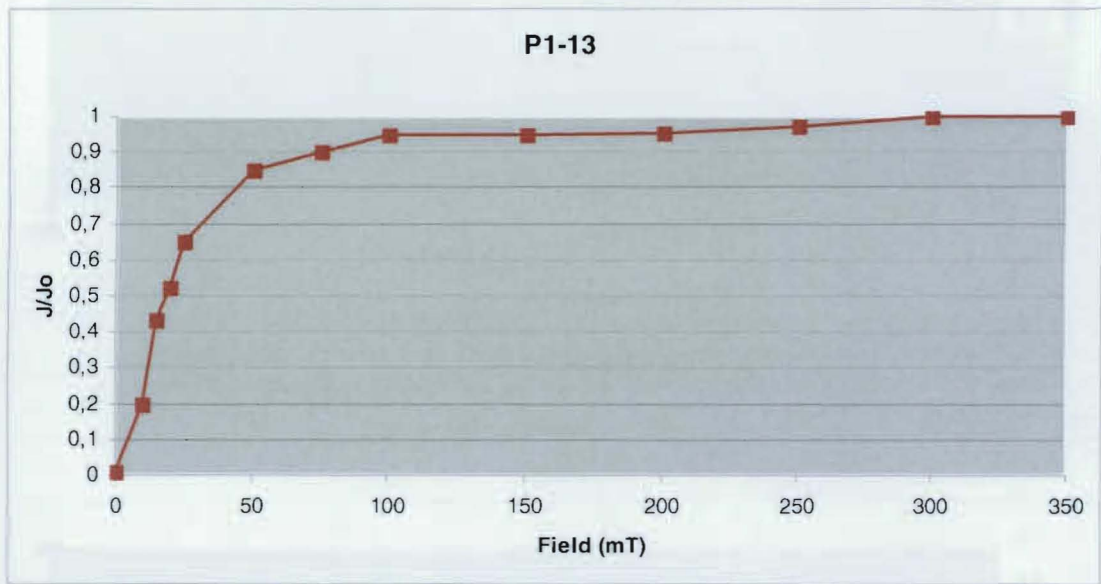


α -2) Διαγράμματα από την εφαρμογή AF-IRM στα δείγματα της περιοχής της Κοζάνης

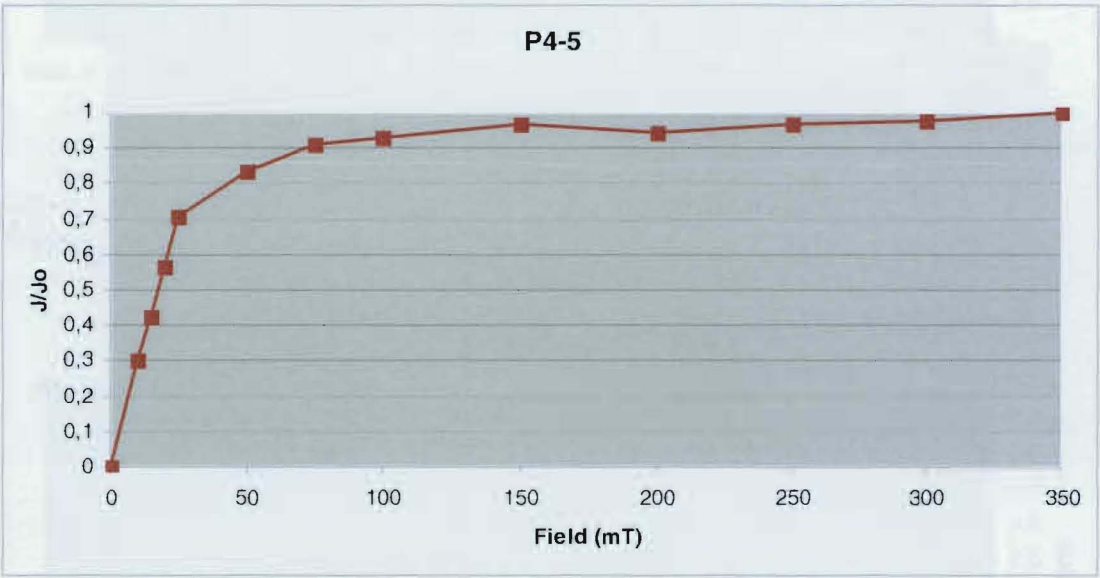
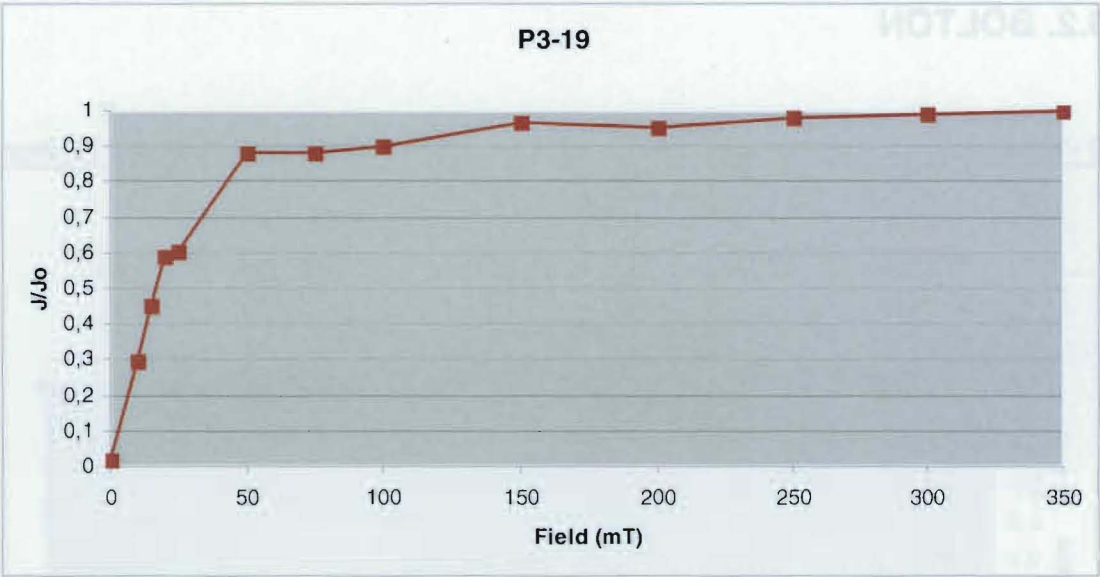


6.2. BOLTON

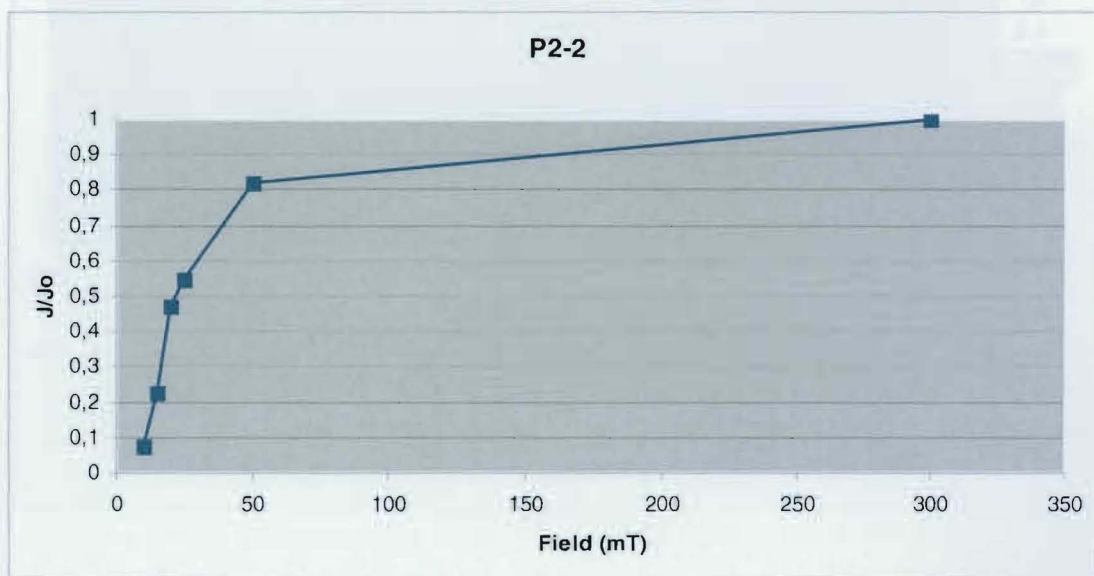
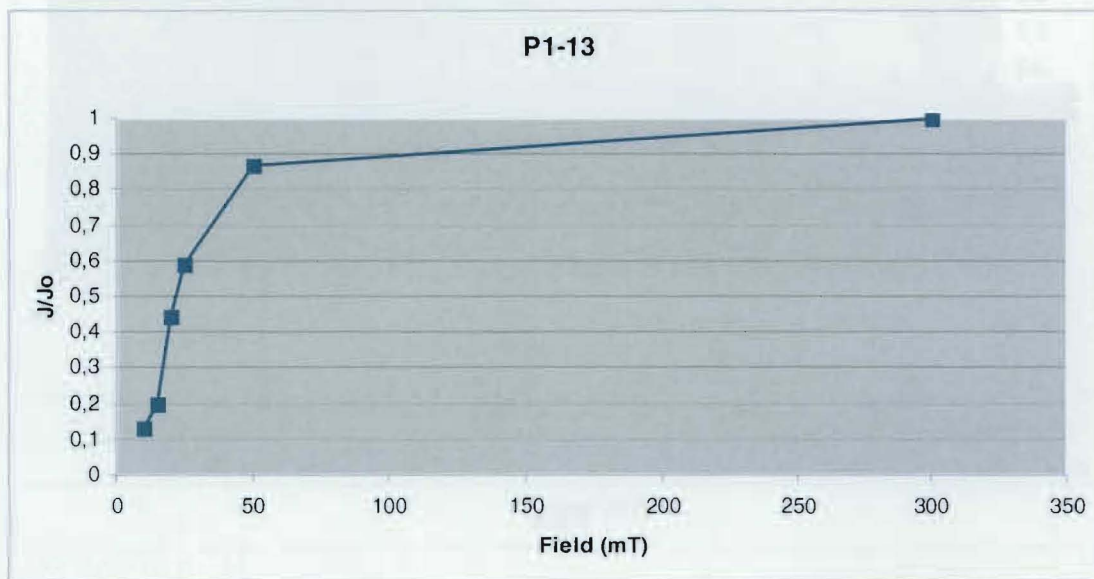
β -1) Διαγράμματα της εφαρμογής IRM στα δείγματα της περιοχής Bolton

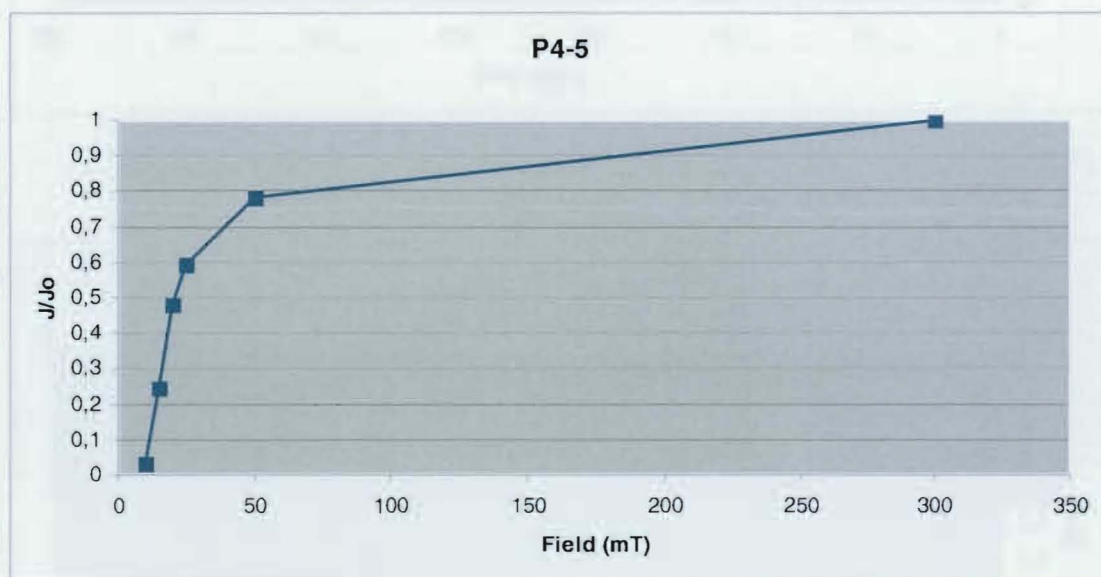
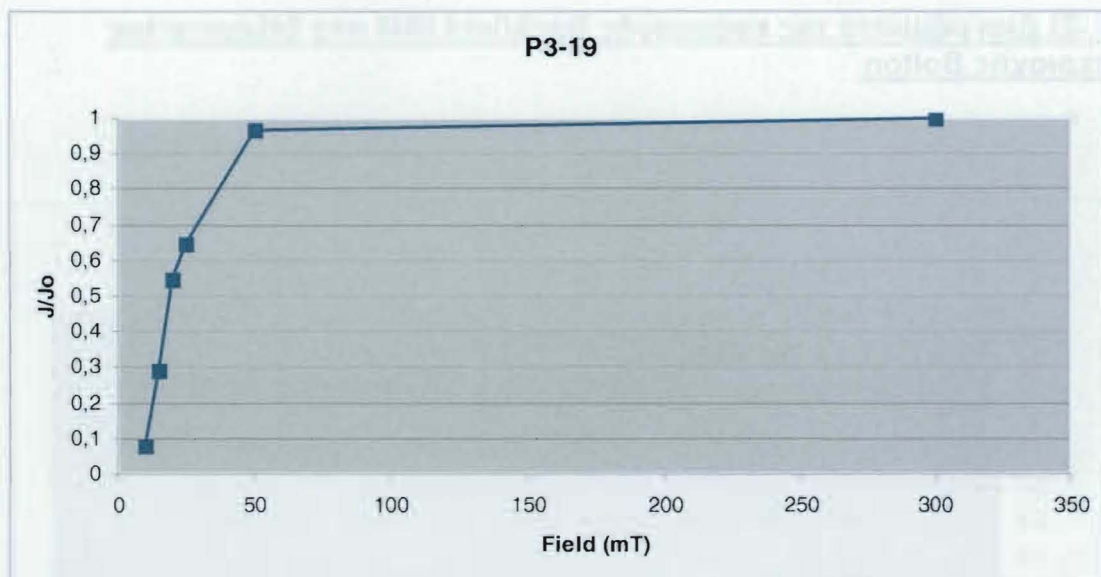


ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ

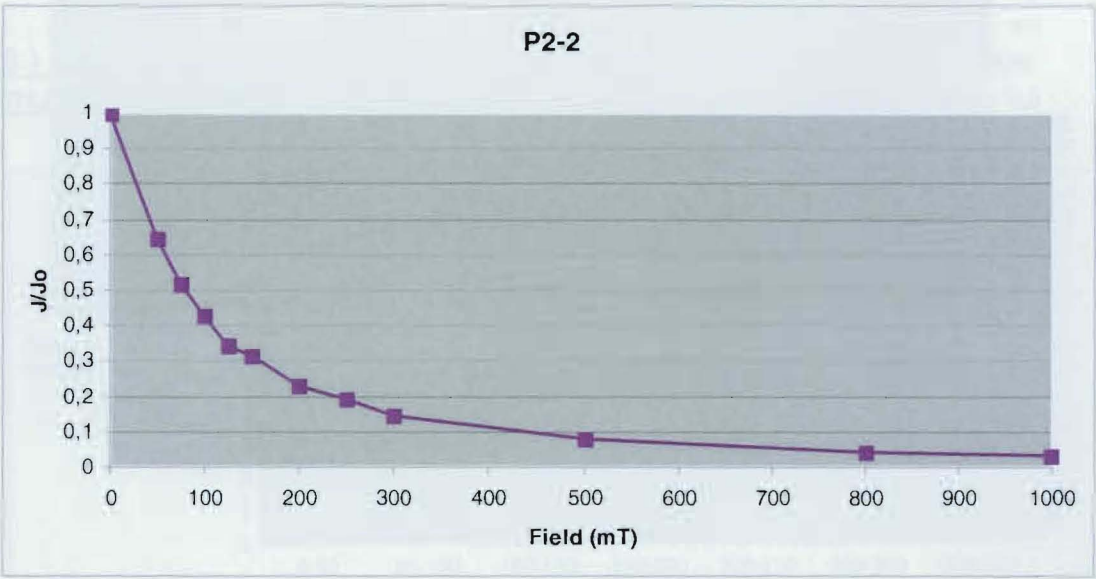
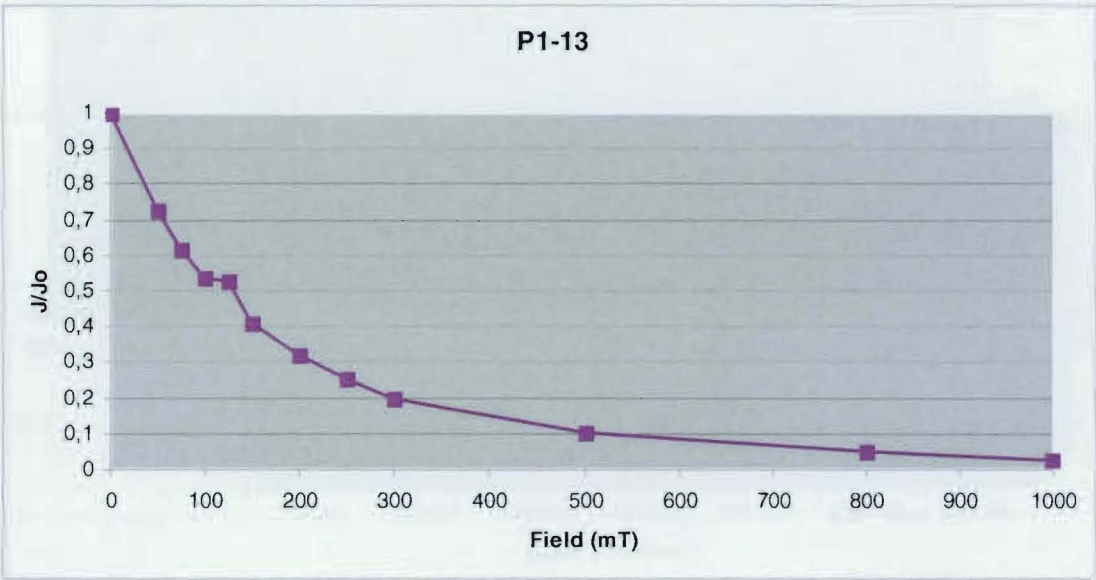


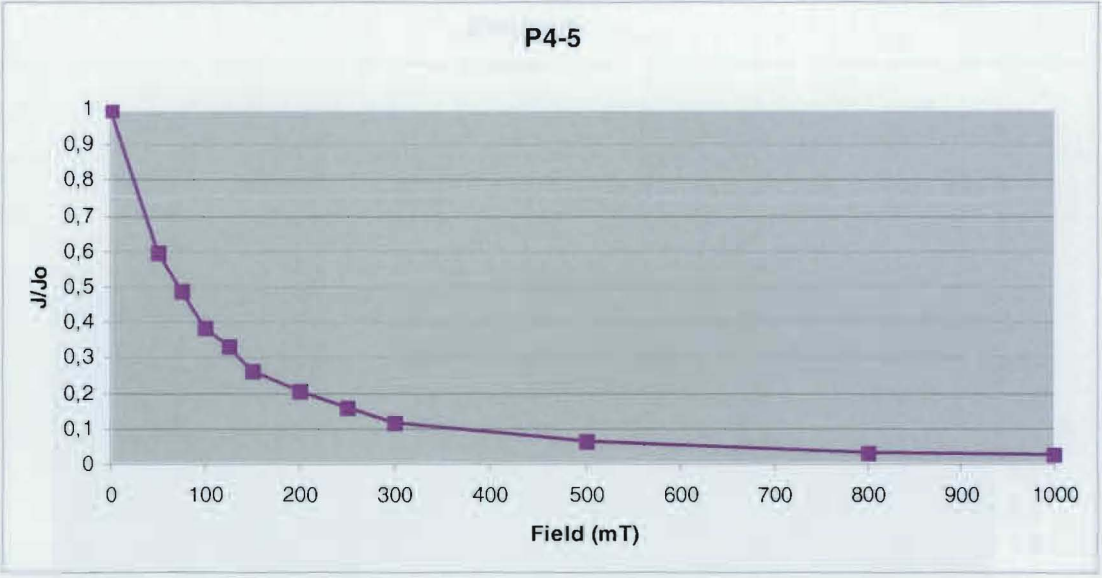
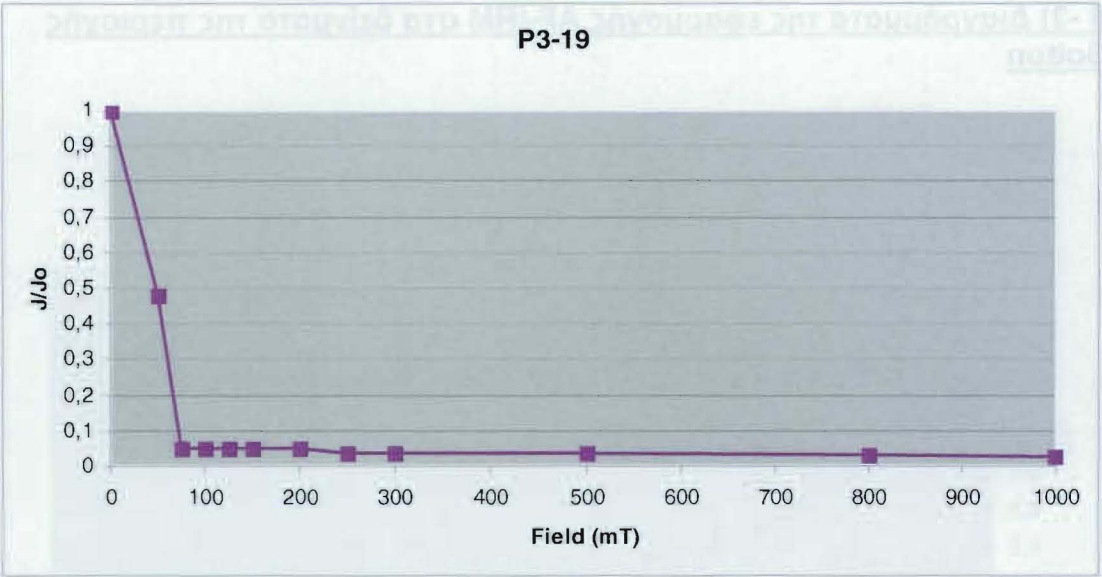
β -2) Διαγράμματα της εφαρμογής Backfield IRM στα δείγματα της περιοχής Bolton





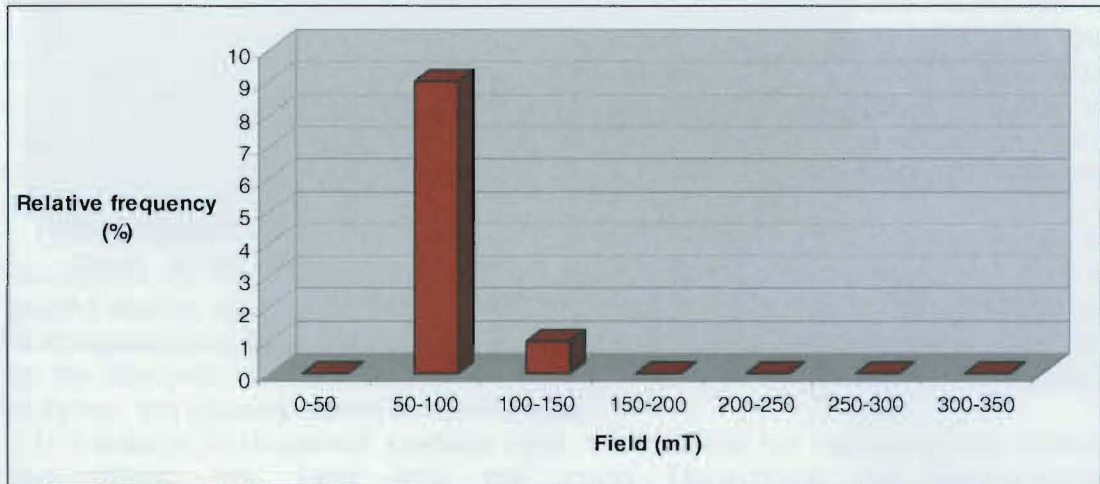
β -3) Διαγράμματα της εφαρμογής AF-IRM στα δείγματα της περιοχής Bolton



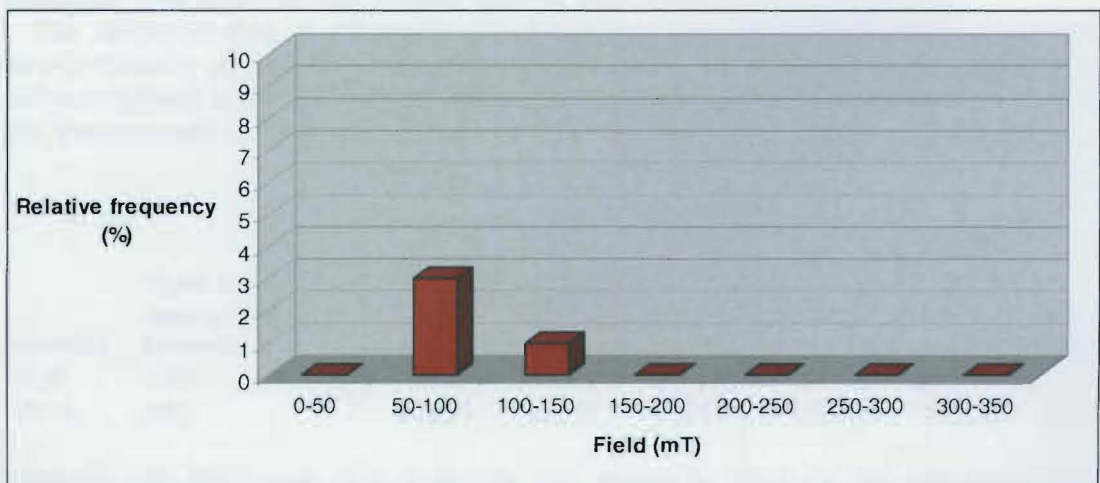


6.3. ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑΤΑ

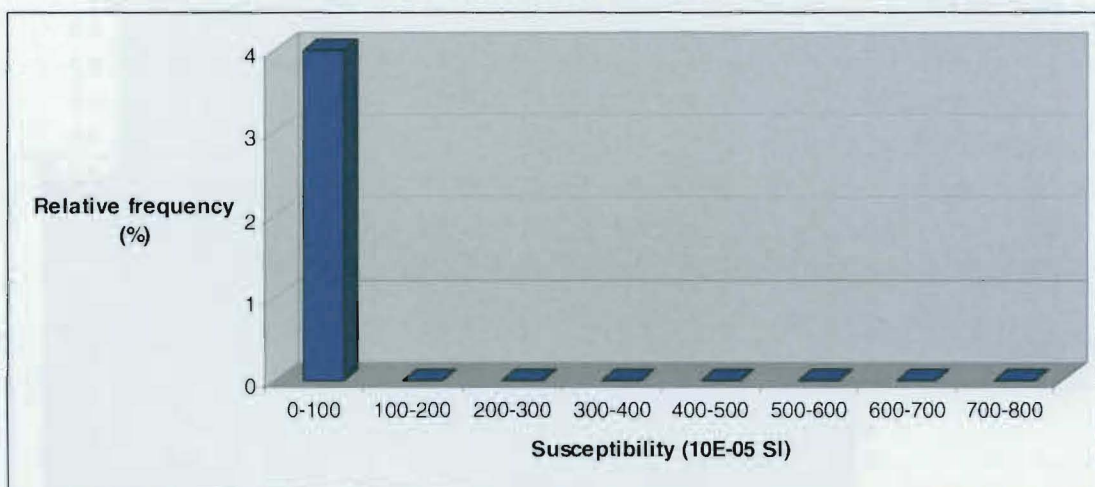
α) Ιστόγραμμα όπου τα δείγματα αποκτούν το 90% της IRM για την περιοχή της Κοζάνης



β) Ιστόγραμμα όπου τα δείγματα αποκτούν το 90% της IRM για την περιοχή του Bolton



γ) Ιστόγραμμα όπου δείχνει την μεταβολή των δειγμάτων του Bolton στην AFI μέθοδο



7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εφαρμογή των τεχνικών του περιβαλλοντικού μαγνητισμού βασίζεται σε διαδικασίες οι οποίες περιλαμβάνουν την συλλογή δειγμάτων, την προετοιμασία τους για να μετρηθούν οι μαγνητικές τους ιδιότητες, τις επί τόπου αλλά και τις εργαστηριακές τους μετρήσεις για τον προσδιορισμό των μαγνητικών τους παραμέτρων. Γενικά οι μέθοδοι του περιβαλλοντικού μαγνητισμού έχουν μικρό κόστος, σε σχέση με τις γεωχημικές αναλύσεις, και μπορούμε εύκολα να προσδιορίσουμε πολλές συμπεριφορές και ιδιότητες των δειγμάτων μας και κατ' επέκταση των ορυκτών, ώστε να διαχωρίσουμε την ρύπανση που οφείλεται στις ανθρώπινες δραστηριότητες

Ωστόσο όμως σε καμία περίπτωση οι μαγνητικές τεχνικές δεν αντικαθιστούν τις γεωχημικές τεχνικές, αναλύσεις και τις μετρήσεις αυτών. Το πλεονέκτημα τους είναι το χαμηλό κόστος και η ταχύτητα στην λήψη αποτελεσμάτων. Ωστόσο είναι απαραίτητο να προχωρήσει η έρευνα αυτή ώστε να υπάρξουν σαφείς αναλογίες μεταξύ των δύο και την σύγκριση των αποτελεσμάτων τους στα διάφορα δείγματα ώστε να μπορούν να βγουν πιο ολοκληρωμένα αποτελέσματα.

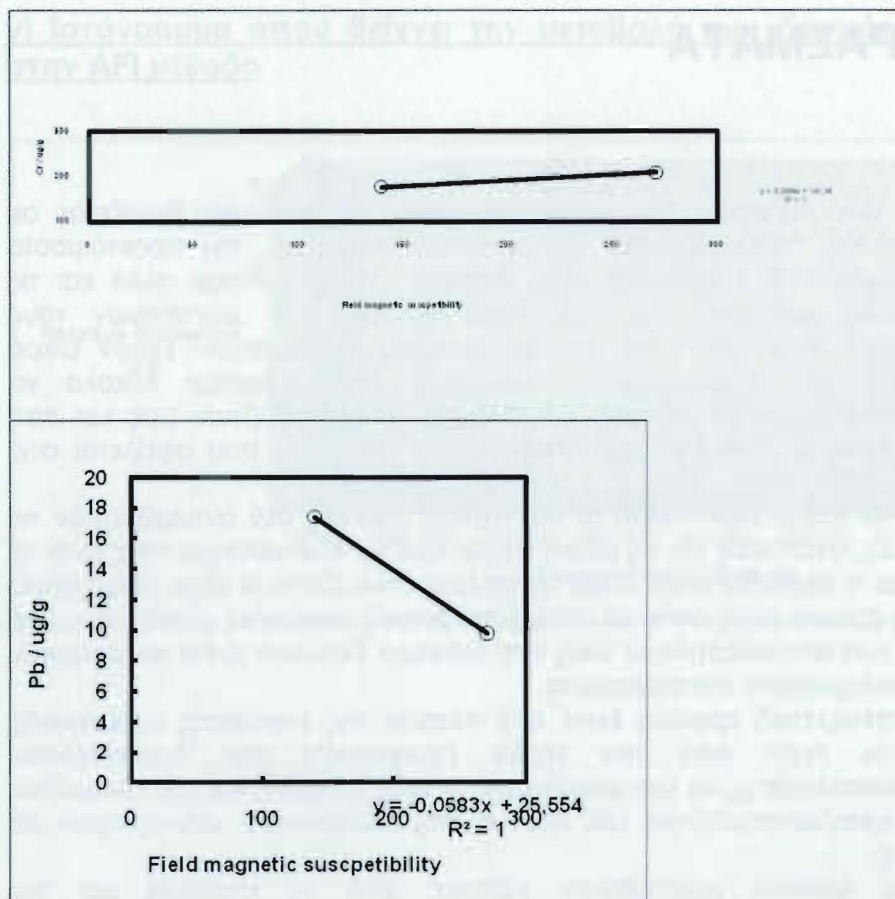
Η παρούσα διπλωματική εργασία έγινε στα πλαίσια της ευρύτερης ερευνητικής προσπάθειας που έγινε από τον τομέα Γεωφυσικής του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, σε μια συνεργασία μεταξύ Ελλάδος και του Ηνωμένου Βασιλείου. Έτσι πραγματοποιήθηκε μία έρευνα περιβαλλοντικού μαγνητισμού σε διάφορες περιοχές.

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν κάποιες από τις περιοχές και πιο συγκεκριμένα, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, η περιοχή της Κοζάνης και η περιοχή του Bolton της Μεγάλης Βρετανίας. Από τα δείγματα των περιοχών που μελετήθηκαν βγήκαν κάποια συμπεράσματα.

Πιο συγκεκριμένα η περιοχή της Κοζάνης, χαρακτηρίστηκε από σημαντικές συγκεντρώσεις με υψηλές τιμές και η υψηλή μαγνητική επιδεκτικότητα οφείλεται σε ανθρωπογενείς μαγνητικές δραστηριότητες που βρίσκονται στην ιπτάμενη τέφρα και στα βιομηχανικά απόβλητα.

Identity	Field mag susceptibility (mean)	Cr / mg/kg	Cu / mg/kg	Fe / mg/kg	Mn / mg/kg	Ni / mg/kg	Pb / mg/kg	Zn / mg/kg
K16	140	176,17	30,25	21543,20	933,96	226,07	17,41	70,26
K61b	270	208,77	22,79	15227,43	675,72	285,43	9,78	51,64

Πίνακας (Α) Βλέπουμε δύο δείγματα της περιοχής Κοζάνης, την μαγνητική τους επιδεκτικότητα και την χημική τους ανάλυση.



Σχήμα (18). Διαγράμματα όπου βλέπουμε τον συσχετισμό της μαγνητικής επιδεκτικότητας με τις συγκεντρώσεις των χημικών στοιχείων στα δείγματα.

Στην μελέτη που έλαβε χώρα τόσο στην Κοζάνη όσο και στο Bolton (Μ. Βρετανία) βρέθηκε πολύ καλός συσχετισμός Zn, Cu με την μαγνητική επιδεκτικότητα και μικρός συσχετισμός μεταξύ Fe και Cr με την μαγνητική επιδεκτικότητα.

Δηλαδή τα δύο πρώτα Zn και Cu συμβαίνουν σε φάσεις που έχουμε αυξημένη μαγνητική επιδεκτικότητα, ενώ ο Fe και Cr λαμβάνουν χώρα σε φάσεις που έχουμε μειωμένη μαγνητική επιδεκτικότητα.

ΔΕΙΓΜΑ	ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΔΕΚΤ.	ΧΡΩΜΙΟ	ΧΑΛΚΟΣ	ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΣ	ΜΟΛΥΒΔΟΣ
P2-2	167	741	95	222	236
P1-13	31	1069	51	132	133
P3-19	35	1286	50	135	112
P4-5	128	1119	157	303	258

Πίνακας (B) Στον παραπάνω πίνακα είναι συγκεντρωμένα τα δείγματα από την περιοχή Bolton (Μ. Βρετανία), η μαγνητική τους επιδεκτικότητα καθώς και οι συγκεντρώσεις τους σε χρώμιο, χαλκό, ψευδάργυρο και μόλυβδο

Η σχέση μεταξύ της μαγνητικής επιδεκτικότητας και της συγκέντρωσης των μεταλλικών στοιχείων που βρίσκονται στα ορυκτά μπορεί να εξαρτάται σημαντικά από την στερεά φάση του μεταλλικού " ίχνους " που μας ενδιαφέρει απαιτώντας προσεκτική εξέταση των δεδομένων θέση προς θέση. Για να έχουμε ολοκληρωμένα αποτελέσματα από τέτοιες μελέτες, είναι απαραίτητο να περιλάβουμε στην έρευνα πολλές θέσεις δειγματοληψίας, και αυτός είναι ο στόχος του Τομέα Γεωφυσικής σε βάθος χρόνου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ατζέμογλου Α.Σ., 1997, Παλαιομαγνητικά Αποτελέσματα από το Βόρειο Ελλαδικό χώρο και η συμβολή τους στην ερμηνεία της γεωδυναμικής εξέλιξης της περιοχής κατά το Τριτογενές, Διδακτορική διατριβή, Θεσσαλονίκη

Ζατανίρι Ε., Κοντοπούλου Δ., Ατζέμογλου Α., 2006, Εφαρμογή τεχνικών περιβαλλοντικού μαγνητισμού για την ανίχνευση μόλυνσης από νανοσωματίδια, Τελική έκθεση προόδου.

Ζέρη –Συμεών Χ., 1995, Εφαρμογή της μαγνητικής μεθοδολογίας σε ανοιχτά θαλάσσια συστήματα. Η περίπτωση της ΒΔ μεσογείου, Διδακτορική διατριβή, Αθήνα

Παπαζάχος Β.Κ., 1991, Εισαγωγή Στη Γεωφυσική, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη

Παπαστεργίου Α., Αγαλινιώτου Σ., Περιβαλλοντικός μαγνητισμός – Αρχές και εφαρμογές, Γεωφυσικά θέματα

Boyko T., Schloger R., Stanjek H., 2004, Topsoil magnetic susceptibility wapping as a tool for pollution monitoring : repeatability of in situ measurements

Butler R.F., 1998, Paleomagnetism : Magnetic domains to geologic terranes, Arizona

Dekker M.J., 1997, Environmental magnetism : an introduction

Frasor S., Zananiri E., Kondopoulou D., Atzemoglou M., Lythgoe P., Charnock J., Mcbeth J., Polya D., 2006, magnetic susceptibility as a rapid scoping tool for accesing trace metal contaminated soils

Hay K.L., Dearing J.A., Baban S.M.J., Loveland P., 1997, A preliminary attempt to identify atmospherically – Derived pollution particles in English topsoils from magnetic susceptibility measurements

Maier G., Schloger R., 2003, Demonstration of connection between pollutant dispersal and atmospheric boundary layers by use of magnetic susceptibility mapping, St Jacob (Austria)

Kailaridakis P., kakoulaki G., Droula K., Damjanovits O., 2008, Environmental study for pollution in the area of megalopolis power plant (peloponesos, Greece)

Verosub K.I., Roberts A.P., 1995, Environmental magnetism : past, present and future.

Zananiri I., Kondopoulou D., Spassov S., 2010, The application of environmental magnetism techniques for pollution assessment in urban and suburban areas in Greece : state of the art and case studies. Bulletin of the geological society of Greece, Proceedings of the 12th Congress, Patras.