



Τ.Ε.Ι ΚΡΗΤΗΣ – ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑΣ



***ΘΕΡΜΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΑΠΟ
ΠΥΡΗΝΟΛΗΨΙΕΣ***



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κουρκούλη Σταματική

ΙΟΥΝΙΟΣ 2010



Τ.Ε.Ι ΚΡΗΤΗΣ – ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑΣ



ΘΕΡΜΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΑΠΟ
ΠΥΡΗΝΟΛΗΨΙΕΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κουρκούλη Σταματική

Επιβλέπων : ***Δρ. Κόκκινου Ελένη***
Επίκουρος Καθηγήτρια

Επιτροπή Αξιολόγησης : ***Δρ. Ελένη Κόκκινου***
: Δρ. Σάλτας Βασίλειος
: Δρ. Σουπιός Παντελεήμων

Ημερομηνία Παρουσίασης :

Αύξων Αριθμός Πτυχιακής Εργασίας :

Ευχαριστίες

Μέσα από αυτό το σημείωμα θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την καθηγήτριά μου, κυρία Ελένη Κόκκινου, για όλη την βοήθεια που μου προσέφερε στο διάστημα της επιμέλειας της πτυχιακής μου εργασίας. Αρχικά θα ήθελα να την ευχαριστήσω για την επιλογή του θέματος, γιατί παρόλο που στην αρχή μου φάνηκε δύσκολο, τελικά μου δόθηκε η ευκαιρία να ασχοληθώ με τον θερμομαγνητισμό και αυτό αποδείχθηκε αρκετά ενδιαφέρον. Χωρίς όμως την υπομονή, την κατανόηση, την διάθεσή της να μοιράζεται τις γνώσεις και την ικανότητά της να εξηγεί τους πιο σύνθετους όρους με τις πιο απλές λέξεις, δεν θα μπορούσα να καταφέρω τίποτα. Για αυτούς τους λόγους λοιπόν, θα ήθελα να της εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου και να της πω ένα μεγάλο ευχαριστώ. Επίσης ευχαριστώ θερμά την εξεταστική επιτροπή.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την αγάπη τους, για το ενδιαφέρον και για ότι μου έχουν χαρίσει όλα αυτά τα χρόνια.

Περίληψη

Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι να εξετάσει την εφαρμογή του θερμομαγνητισμού ως μεθοδολογία για την έρευνα σε περιοχές με υψηλά επίπεδα ρύπανσης. Η συγκεκριμένη μεθοδολογία εφαρμόστηκε στην περιοχή που βρίσκεται ο υποσταθμός της ΔΕΗ Χανίων, το έτος 2009. Έγιναν αρχικά δειγματοληψίες εδαφικού υλικού μέχρι βάθος 1 μέτρο κοντά στον υποσταθμό. Στην συνέχεια προσδιορίστηκαν οι καμπύλες θέρμανσης και ψύξης. Ακολούθησε στατιστική επεξεργασία για να προκύψει ένα πρότυπο για την περιοχή μελέτης.

Abstract

Main purpose of the present study is to investigate the suitability of thermomagnetism as a pollution monitoring tool around a power plant located near to Chania city. Surface soil samples have been collected in 2009 up to a depth of about 1 m. The heating and cooling curves of all samples have been estimated. Statistical processing allowed us to estimate a model for the study area.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | | |
|----------|--|--------------|
| | Τ.Ε.Ι ΚΡΗΤΗΣ – ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ _____ | 1 |
| | Τ.Ε.Ι ΚΡΗΤΗΣ – ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ _____ | - 3 - |
| 1 | ΕΙΣΑΓΩΓΗ _____ | - 5 - |
| | 1.1 Σκοπός και αντικείμενο της εργασίας _____ | - 5 - |
| | 1.2 Μεθοδολογία εκπόνησης _____ | - 5 - |
| | 1.3 Γεωγραφική θέση και περιγραφή της ευρύτερης περιοχής ____ | - 5 - |
| | 1.4 Γενικά στοιχεία για το κλίμα της Κρήτης _____ | - 8 - |
| 2 | ΓΕΝΙΚΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ - 9 - | |
| | 2.1 Γεωμορφολογικά και Στρωματογραφικά στοιχεία _____ | - 9 - |
| | 2.2 Μεταλλική τεκτονική _____ | - 9 - |
| 3 | ΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ _____ - 12 - | |
| | 3.1 Εισαγωγή _____ | - 12 - |
| | 3.2 Βασικές μαγνητικές ιδιότητες _____ | - 13 - |
| | 3.3 Μαγνητική υστέρηση _____ | - 13 - |
| | 3.4 Μαγνητική επιδεκτικότητα _____ | - 17 - |
| | 3.5 Σχέση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με την θερμοκρασία - 19 - | |
| | 3.6 Σχέση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με την συχνότητα ____ - 21 - | |
| | 3.7 Μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας _____ - 22 - | |
| | 3.8 Μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με το MS2 της Bartington _____ - 23 - | |
| | 3.9 Σχέση μαγνητικών ορυκτών και βαρέων μετάλλων _____ - 29 - | |
| | 3.10 Ο ρόλος και η επίδραση των βαρέων μετάλλων στα φυτά ____ - 30 - | |
| | 3.11 Ο ρόλος και η επίδραση των βαρέων μετάλλων στον άνθρωπο- 33 - | |
| 4 | ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΘΕΡΜΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΒΑΘΟΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ ΤΗΣ ΔΕΗ ΧΑΝΙΩΝ _____ - 35 - | |
| | 4.1 Περιγραφή της μεθοδολογίας εκπόνησης της παρούσας εργασίας- 35 - | |
| | 4.2 Τα μαγνητικά ορυκτά _____ - 36 - | |
| | 4.3 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων _____ - 37 - | |
| | 4.4 Θερμομαγνητικό πρότυπο _____ - 48 - | |
| 5 | ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ _____ - 54 - | |

| | |
|---|---------------|
| 5.1 Συμπεράσματα και αξιολόγηση της μεθοδολογίας | - 54 - |
| 5.3 Προτάσεις | - 54 - |
| 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | - 55 - |

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Σκοπός και αντικείμενο της εργασίας

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η εφαρμογή της θερμομαγνητικής μεθόδου σε περιαστική περιοχή και κοντά σε υποσταθμό παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Είναι γνωστό εδώ και αρκετά χρόνια ότι η μαγνητική επιδεκτικότητα μπορεί να αποτελέσει δείκτη υψηλών συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων. Τις τελευταίες δύο δεκαετίες η συγκεκριμένη μεθοδολογία εφαρμόζεται επιτυχώς στο εξωτερικό για την παρακολούθηση της εξάπλωσης της ρύπανσης σε περιοχές που λειτουργούν βαριές βιομηχανίες, χώροι υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (Χ.Υ.ΤΑ), αεροδρόμια κ.λ.π.

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι:

- **Η λήψη εδαφικού υλικού από την εξεταζόμενη περιοχή, η μελέτη της θερμομαγνητικής συμπεριφοράς των ιζημάτων και η στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων με στόχο να προκύψει ένα πρότυπο για την περιοχή μελέτης.**

1.2 Μεθοδολογία εκπόνησης

Η μεθοδολογία εκπόνησης της εργασίας περιλαμβάνει:

- Την συγκέντρωση των διαθέσιμων πληροφοριών και στοιχείων που αφορούν την περιοχή μελέτης και την ευρύτερη περιοχή από κάθε είδους γεωλογικές, υδρογεωλογικές, εδαφοτεχνικές μελέτες και έρευνες που έχουν εκπονηθεί από διάφορους ιδιωτικούς ή δημόσιους φορείς και επιστημονικές δημοσιεύσεις από την ελληνική και διεθνή βιβλιογραφία, καθώς και ερμηνεία αεροφωτογραφιών για τις περιοχές ενδιαφέροντος και την ευρύτερη περιοχή.
- Την έρευνα πεδίου της εξεταζόμενης περιοχής
- Την επεξεργασία και αξιολόγηση του συνόλου των δεδομένων.
- Σύνταξη της παρούσας εργασίας.

1.3 Γεωγραφική θέση και περιγραφή της ευρύτερης περιοχής

Ο νομός Χανίων καλύπτει το δυτικό τμήμα της Κρήτης κι έχει έκταση 2376 Km² και πληθυσμό 140000 κατοίκους (απογραφή 1991). Ο νομός υποδιαιρείται σε πέντε επαρχίες με πρωτεύουσα την πόλη των Χανίων (52000 κατ). Από το 1999 ο νομός χωρίζεται σε 23

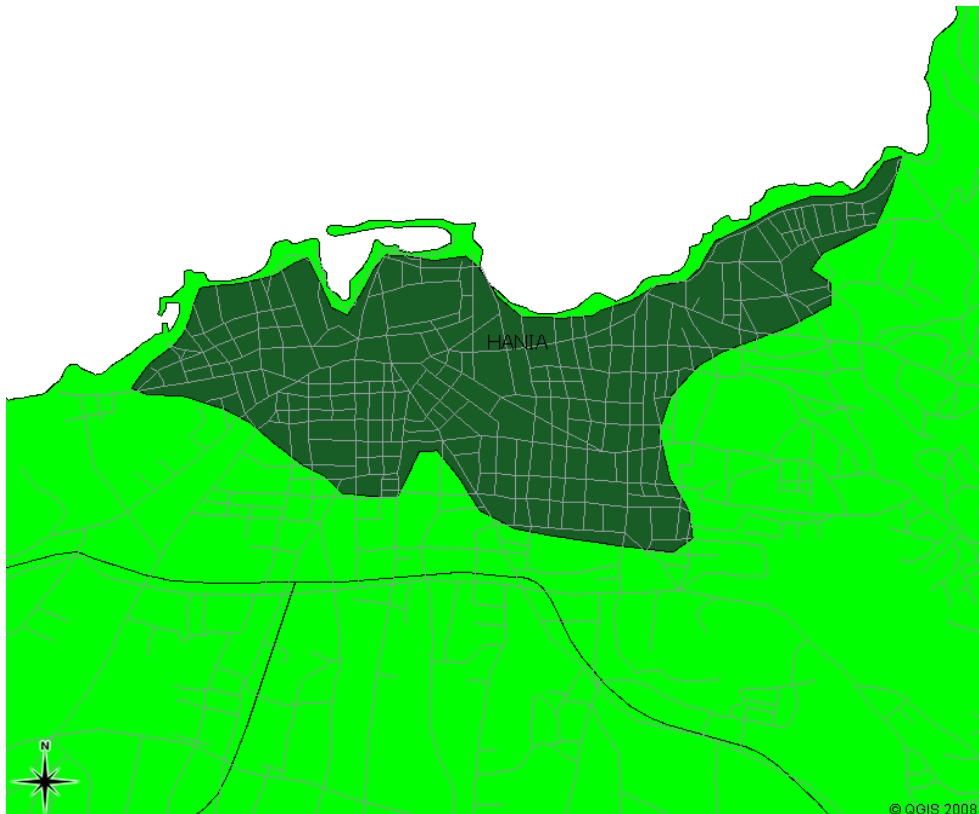
Δήμους (Καποδιστριακούς) και 2 κοινότητες. Η βόρεια περιοχή του Νομού με πολύ φιλόξενες θάλασσες καταλήγει σε τρεις χερσονήσους. Όσον αφορά τη νότια πλευρά του νησιού προς την πλευρά του Λιβυκού πελάγους παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ηλιοφάνεια στην Ευρώπη. Βόρεια, δυτικά και νότια ο νομός περιβάλλεται από θάλασσα.

Το έδαφος του Ν. Χανίων είναι στη μεγαλύτερή του έκταση ορεινό και ημιορεινό. Εξαίρεση αποτελεί η πεδιάδα των Χανίων. Αναλυτικά η κατανομή του εδάφους σε κατηγορίες έχει ως εξής : 18% πεδινό, 19% ημιορεινό και 63% ορεινό.

Στα Χανιά βρίσκεται μία από τις ψηλότερες οροσειρές της χώρας : τα Λευκά Όρη ή Μαδάρες. Ψηλότερη κορυφή τους είναι οι Πάχνες (2.452 μ.). Βρίσκεται στο ΝΑ τμήμα του νομού και εκτείνεται μέχρι τα παράλια. Σχηματίζει πολλές κορυφές και οροπέδια. Η μοναδική μεγάλη πεδιάδα του νομού είναι αυτή των Χανίων, που καταλαμβάνει το βόρειο τμήμα του. Μικρές πεδιάδες σχηματίζονται και στα νότια της επαρχίας Αποκορώνου. Στο νομό σχηματίζονται επίσης και οροπέδια. Τα σημαντικότερα είναι: του Ομαλού, της Ανωπόλεως, του Ασκύφου και της Ίμπρου. Ο Ν. Χανίων έχει μόνο μικρούς ποταμούς ή χείμαρρους. Οι σπουδαιότεροι είναι: Τυφλός, Κολένης, Ταυρωνίτης, Καλαμονίτης, Κερίτης, Θερισανός, Κοιλιάρης, Ξυδές, Βρυσιανός και Κακοδικιανός. Οι ακτές των Χανίων είναι πολυσχιδείς. Κύρια χαρακτηριστικά τους είναι: οι κόλποι Κίσσαμου και Χανίων, οι όρμοι Σούδας, Αλμυρού, Σούγιας και Αγίας Ρουμέλης και τα ακρωτήρια Βούξα, Σπάντα και Δράπανο. Τα Λευκά Όρη, στις νότιες κυρίως πλαγιές τους, καλύπτονται από πεύκα ενώ μικρά δάση από καστανιές συναντώνται στο δυτικό τμήμα του νομού.

Τα Χανιά είναι η δεύτερη μεγαλύτερη πόλη της Κρήτης με 53.373 κατοίκους και αναμφισβήτητα η πόλη που διατήρησε τον «παλιό» χαρακτήρα της περισσότερο από τις άλλες. Γύρω από το Καστέλλι και το λιμάνι, στη λεγόμενη «παλιά πόλη», πολλά κτίρια ή ακόμη και ολόκληρες συνοικίες έχουν διατηρηθεί σε πολύ καλή κατάσταση από την εποχή των Βενετών και των Τούρκων. Η καινούρια πόλη έχει χτιστεί σύμφωνα με ένα μοντέρνο σχέδιο με μεγάλους δρόμους, πάρκα και όμορφα κτίρια (Σχήμα 1.1).

Ο υποσταθμός της ΔΕΗ (Σχήμα 1.2 και ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ) βρίσκεται στη περιοχή της Ξυλοκαμάρας περίπου κοντά στο λιμάνι της Σούδας κοντά στη λεωφόρο Σούδας. Η συνολική έκταση του υποσταθμού είναι περίπου 100 στρέμματα.



Σχήμα 1.1 Σχεδιάγραμμα της ευρύτερης περιοχής των Χανίων με το οδικό δίκτυο



Σχήμα 1.2 Εικόνα του υποσταθμού ΔΕΗ Χανίων (<http://earth.google.com/>)

1.4 Γενικά στοιχεία για το κλίμα της Κρήτης

Η Κρήτη και γενικότερα σχεδόν ολόκληρη η Μεσόγειος θάλασσα βρίσκονται βορειότερα των περιοχών υποτροπικών νηνεμιών. Σ' αυτές τις περιοχές λόγω της διανομής ατμοσφαιρικής πίεσης και της κυκλοφορίας των ανέμων, παρατηρούνται δύο κυρίως εποχές: η βροχερή και η ξηρή. Εάν σαν βάση του διαχωρισμού χρησιμοποιηθεί η θερμοκρασία του αέρα, τότε και πάλι παρατηρούνται δύο εποχές: η ψυχρή και η θερμή. Στο μεσογειακό τύπο κλίματος, υπάρχει σαφής συσχετισμός ανάμεσα στην ψυχρή και βροχερή, καθώς και ανάμεσα στην ξηρή και θερμή εποχή.

Σαν θερμή εποχή χαρακτηρίζεται το διάστημα Ιουνίου – Σεπτεμβρίου και σαν ψυχρή εποχή το διάστημα Οκτωβρίου – Μαΐου, αν και οι μήνες Οκτώβριος και Μάιος μπορούν να θεωρηθούν μεταβατικοί μήνες.

Το κλίμα της Κρήτης είναι εύκρατο και πλησιάζει προς το θαλάσσιο. Σε υψηλά υψόμετρα, τείνει προς τον ορεινό τύπο κλίματος. Από την άποψη ηπιότητας και των μεταβολών, το κλίμα της Κρήτης θεωρείται προνομιούχο και οφείλεται στην κεντρική θέση που κατέχει το νησί στην ανατολική Μεσόγειο. Ο χειμώνας αρχίζει περίπου από τα μέσα Δεκεμβρίου και είναι ήπιος. Ο ψυχρότερος μήνας του έτους είναι ο Ιανουάριος που διαφέρει ελάχιστα θερμομετρικά από το Φεβρουάριο. Η διαφορά τους όμως τόσο με το Δεκέμβριο όσο και με το Μάρτιο, είναι αισθητή. Γενικά τα πεδινά της Ανατολικής Κρήτης είναι από τις θερμότερες περιοχές της Ελλάδας με μακρά ηλιοφάνεια ακόμα και κατά τους μήνες Οκτώβριο μέχρι Απρίλιο. Η νέφωση είναι γενικά μικρή και μειώνεται από ανατολικά προς δυτικά. Το ανατολικό άκρο κατά τους χειμερινούς μήνες ανήκει σε περιοχή μεγίστου νεφώσεως. Οι βροχές αυξάνονται από τα ανατολικά προς δυτικά και από τα παράλια προς την ηπειρωτική χώρα.

Κύρια χαρακτηριστικά του κλίματος στο νησί είναι:

- Υψηλά ποσοστά βροχοπτώσεων με μη κανονική κατανομή τόσο τυπικά (αυξητική κλίμακα από ανατολικά προς δυτικά και μεγάλο ημερήσιο ποσοστό βροχοπτώσεων στην Κεντρική και Δυτική Κρήτη που φτάνει το 1/3) όσο και χρονικά (την περίοδο των έντονων βροχοπτώσεων, διαδέχονται περίοδοι με μεγάλη ξηρασία).
- Έντονη ηλιοφάνεια
- Ήπιες θερμοκρασιακές αποκλίσεις.
- Δεν παρατηρείται ποτέ παγετός.
- Η θερμοκρασία σπάνια πέφτει κάτω από τους 0°C.

2 ΓΕΝΙΚΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 Γεωμορφολογικά και Στρωματογραφικά στοιχεία

Η στρωματογραφία της ευρύτερης περιοχής (Σχήμα 2.1) αποτελείται κυρίως από Πλειοκαινικές αποθέσεις αποτελούμενες από μαργαϊκούς ψαμμίτες, μάργες, μαργαϊκούς ασβεστολίθους, κροκαλοπαγή και παρεμβολές γύψων (g). Κατά θέσεις παρατηρείται επικράτηση των μαργών (m), των μαργαϊκών ασβεστόλιθων (k) και των κροκαλοπαγών.

Η εξεταζόμενη περιοχή βρίσκεται στην πεδιάδα των Χανίων και για την ακρίβεια κοντά στο λιμάνι της Σούδας (περιοχή Ξυλοκαμάρας). Το ανάγλυφο της περιοχής είναι ομαλό και εντοπίζονται τρεις κλάδοι υδρογραφικού δικτύου διεύθυνσης Β-Ν εκ των οποίων ο ένας περνάει κάτω από τον υποσταθμό της ΔΕΗ. Καλύπτεται στο σύνολο της από αλλουβιακές αποθέσεις (Σχήμα 2.2).

2.2 Μεταλπική τεκτονική

Από τις τεκτονικές κινήσεις, οι οποίες έδρασαν στην διάρκεια του γεωλογικού χρόνου στην περιοχή της Κρήτης και επηρέασαν την δομή της, ενδιαφέρον για την παρούσα μελέτη παρουσιάζει η νεοτεκτονική δράση (Kilias et al., 1993) η οποία εξακολουθεί να δρα έως και σήμερα. Οι νεοτεκτονικές κινήσεις οφείλονται σε γενικότερη περιστροφή του νησιού γύρω από οριζόντιο άξονα διεύθυνσης ΒΑ - ΝΔ (Fytrolakis, 1980). Στην κίνηση αυτή το νησί συμμετέχει σαν ένα σύστημα τεκτονικών τεμαχών διαφορετικού μεγέθους και φοράς κίνησης.

Ενδεικτικό του είδους του τεκτονισμού που έχει επηρεάσει την ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος αποτελούν οι εναλλαγές επιφανειών ισοπέδωσης και χαραδρώσεων - ενεργών κοιτών του υδρογραφικού δικτύου.

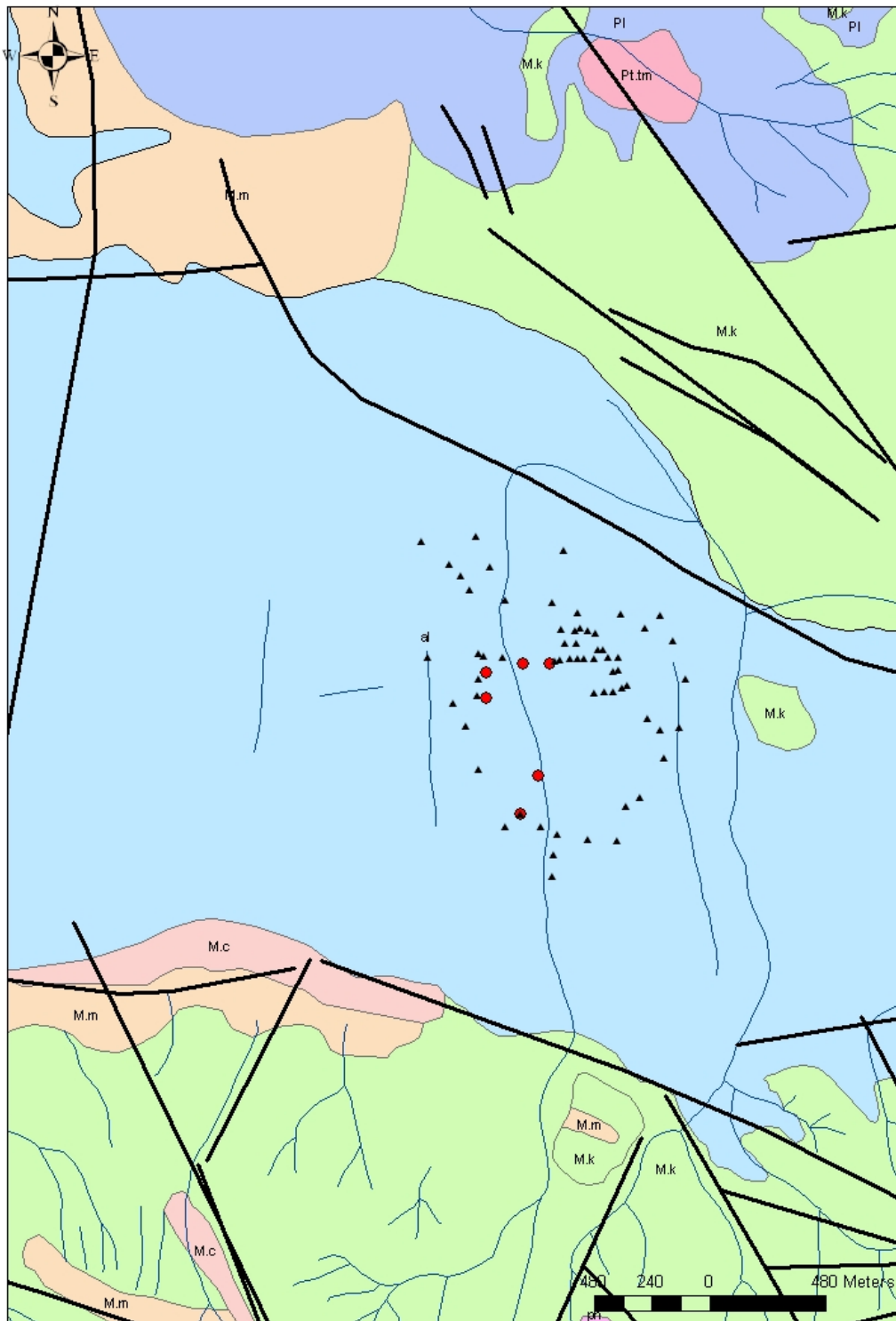
Η τεκτονική κατά την διάρκεια του Νεογενούς για την περιοχή της Κρήτης είναι κυρίως εφελκυστική με πιθανά διαλείμματα συμπιεστικών φάσεων. Από το Μειόκαινο έως σήμερα δύο μεγάλα γεωδυναμικά γεγονότα καθορίζουν την γεωλογική εξέλιξη της Κρήτης: η σύγκλιση Αφρικής και Ευρασίας και της διαφυγής της μικροπλάκας της Ανατολίας προς τα νοτιοδυτικά. Τρεις μεγάλες ομάδες ρηγμάτων προέκυψαν από τις εφελκυστικές φάσεις που έπληξαν την Κρήτη από το Μειόκαινο έως σήμερα.

Η πρώτη και παλαιότερη ομάδα αποτελείται από ρήγματα γενικής διεύθυνσης Α-Δ με ηλικία Μέσο/Άνω Μειόκαινο με αρχές Μεσσηνίου. Οι λεκάνες που είναι προσανατολισμένες στην διεύθυνση Α-Δ είναι αποτέλεσμα αυτών των ρηγμάτων.

Τα ρήγματα γενικής διεύθυνσης Β-Ν και ηλικίας περίπου τέλος Μεσσηνίου με μέσο Πλειόκαινο αποτελούν την δεύτερη μεγάλη ομάδα, υπεύθυνη για την δημιουργία των λεκανών του Ηρακλείου, Ιεράπετρας και Καστελίου Χανίων.

Τέλος η τρίτη και νεότερη ομάδα αποτελείται από ρήγματα γενικής διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ και ΒΔ-ΝΑ. Πολλά από αυτά τα ρήγματα είναι ακόμα ενεργά.

Τα πιο αξιόλογα τεκτονικά στοιχεία στην ευρύτερη περιοχή είναι η παρουσία ρηξιγενούς ζώνης διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ στο βορειοανατολικό τμήμα της εξεταζόμενης περιοχής.



Σχήμα 2.1 Γεωλογικός χάρτης της πόλης των Χανίων όπου παρουσιάζονται οι κυριότεροι γεωλογικοί σχηματισμοί, τα ρήγματα και το υδρογραφικό δίκτυο. Επεξήγηση συμβόλων: al-Αλλουβιακές αποθέσεις, tr-αποθέσεις ερυθρογής, κυρίως εντός καρστικών εγκοίλων, Pt.tm-Μάργες, άμμοι, κροκαλοπαγή, Pl-Πλειοκαινικές αποθέσεις, M.m and M.k-, Μειοκαινικές αποθέσεις.

3. ΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

3.1 Εισαγωγή

Οι μαγνητικές ιδιότητες των ορυκτών έχουν μεγάλη σημασία αφενός για την μακροσκοπική τους αναγνώριση και αφετέρου για τον διαχωρισμό τους από μείγματα διαμαγνητικών, παραμαγνητικών και παραμαγνητικών ορυκτών. Ο διαχωρισμός τους γίνεται με την βοήθεια ειδικών μαγνητικών συσκευών, που ονομάζονται μαγνητικοί διαχωριστές.

Ως σιδηρομαγνητικά χαρακτηρίζονται τα υλικά, τα οποία όταν εκτεθούν στην δράση μαγνητικού πεδίου, διατηρούν τμήμα της μαγνήτισης τους ακόμα και όταν αυτό παύσει να υφίσταται. Με θέρμανση πάνω από την θερμοκρασία Curie, την κρίσιμη θερμοκρασία μετατροπής ενός σιδηρομαγνητικού υλικού σε παραμαγνητικό, τα σιδηρομαγνητικά υλικά χάνουν το μόνιμο μαγνητισμό τους και μεταπίπτουν σε παραμαγνητικά. Φυσικά σιδηρομαγνητικά ορυκτά είναι ο μαγνητίτης, ο μαγνητοπυρίτης και ο μαγκεμίτης.

Παραμαγνητικά ονομάζονται τα ορυκτά, οι κρύσταλλοι των οποίων περιέχουν ιόντα που χαρακτηρίζονται από παράλληλη ταξινόμηση των ιδιοπεριστροφών (spins) των ηλεκτρονίων τους. Τα μαγνητικά δίπολα των ορυκτών αυτών χαρακτηρίζονται από τυχαία κατανομή, παρουσιάζουν γενικά μικρή επιδεκτικότητα και έλκονται ελαφρά από το μαγνητικό πεδίο. Γνωστά παραμαγνητικά ορυκτά είναι οι πυρόξενοι, ο ολιβίνης και ο βιοτίτης.

Διαμαγνητικά ονομάζονται τα ορυκτά οι κρύσταλλοι των οποίων περιέχουν στοιχεία, τα ηλεκτρόνια των οποίων χαρακτηρίζονται για την περιστροφή τους γύρω από τον πυρήνα του ατόμου. Παρουσιάζουν μηδενική ή ελάχιστη μαγνητική επιδεκτικότητα.

Στις παραγράφους που ακολουθούν περιγράφονται αναλυτικά οι βασικές έννοιες του μαγνητισμού και της μαγνητικής επιδεκτικότητας, ο τρόπος που μετράται καθώς και η χρήση της μαγνητικής επιδεκτικότητας στην επίλυση περιβαλλοντικών προβλημάτων. Επιβάλλεται να αναφερθεί ότι η πλειονότητα των θεωρητικών στοιχείων προέρχεται από το βιβλίο των Thompson and Oldfield (1986), Environmental Magnetism. Επιπρόσθετα παρατίθενται και παραδείγματα από περιπτώσεις περιοχών με περιβαλλοντικά προβλήματα, όπου χρησιμοποιήθηκε η μαγνητική επιδεκτικότητα ως δείκτης για τον εντοπισμό τους.

3.2 Βασικές μαγνητικές ιδιότητες

Διαμαγνητισμός (Diamagnetism). Πρόκειται για μια ασθενή αρνητική μαγνήτιση (magnetization) που προκύπτει κατά την αλληλεπίδραση ενός εφαρμοζόμενου μαγνητικού πεδίου με το πεδίο που προκύπτει κατά την τροχιακή (orbital) κίνηση των ηλεκτρονίων γύρω από τον πυρήνα του ατόμου. Ο διαμαγνητισμός είναι ανεξάρτητος της θερμοκρασίας και χαρακτηρίζει υλικά όπως ο χαλαζίας, ο ασβεστίτης, ο μαρμαρυγίας και το νερό.

Παραμαγνητισμός (Paramagnetism). Γενικά παραμαγνητική συμπεριφορά παρουσιάζουν άτομα, ιόντα ή μόρια, τα οποία εμφανίζονται μόνιμα ως μαγνητικά δίπολα και τα οποία τείνουν να προσανατολιστούν παράλληλα στην διεύθυνση εφαρμοζόμενου μαγνητικού πεδίου με αποτέλεσμα να προκληθεί μια ασθενής θετική μαγνήτιση. Παρόλα αυτά, μόλις παύσει η δράση του μαγνητικού πεδίου, η μαγνήτιση του παραμαγνητικού υλικού χάνεται.

Σιδηρομαγνητισμός (Ferromagnetism). Ήδη έχει αναφερθεί ότι τα σιδηρομαγνητικά ορυκτά χαρακτηρίζονται από την ιδιότητα, στην θερμοκρασία Curie να αλλάζουν δραματικά οι μαγνητικές ιδιότητες τους. Κάτω από την θερμοκρασία Curie το σιδηρομαγνητικό υλικό παρουσιάζει μια ισχυρή παραμένουσα μαγνήτιση, ενώ πάνω από την θερμοκρασία Curie συμπεριφέρεται ως παραμαγνητικό υλικό.

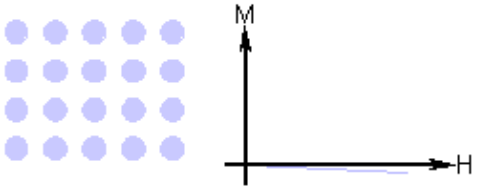
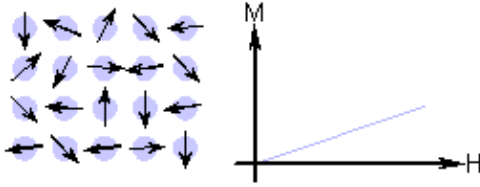
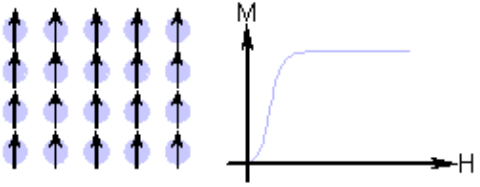
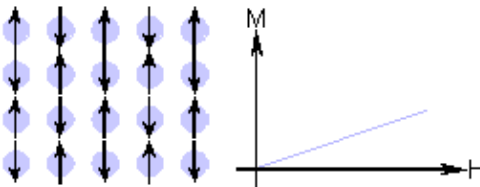
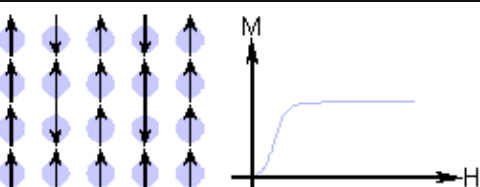
Παραμένουσα μαγνήτιση είναι η ιδιότητα των σιδηρομαγνητικών υλικών να διατηρούν τις μαγνητικές ιδιότητες τους ακόμη και κατά την απουσία εξωτερικού μαγνητικού πεδίου.

Στον Πίνακα (3.1) δίνονται συγκεντρωτικά όλα τα είδη μαγνήτισης διάφορων υλικών.

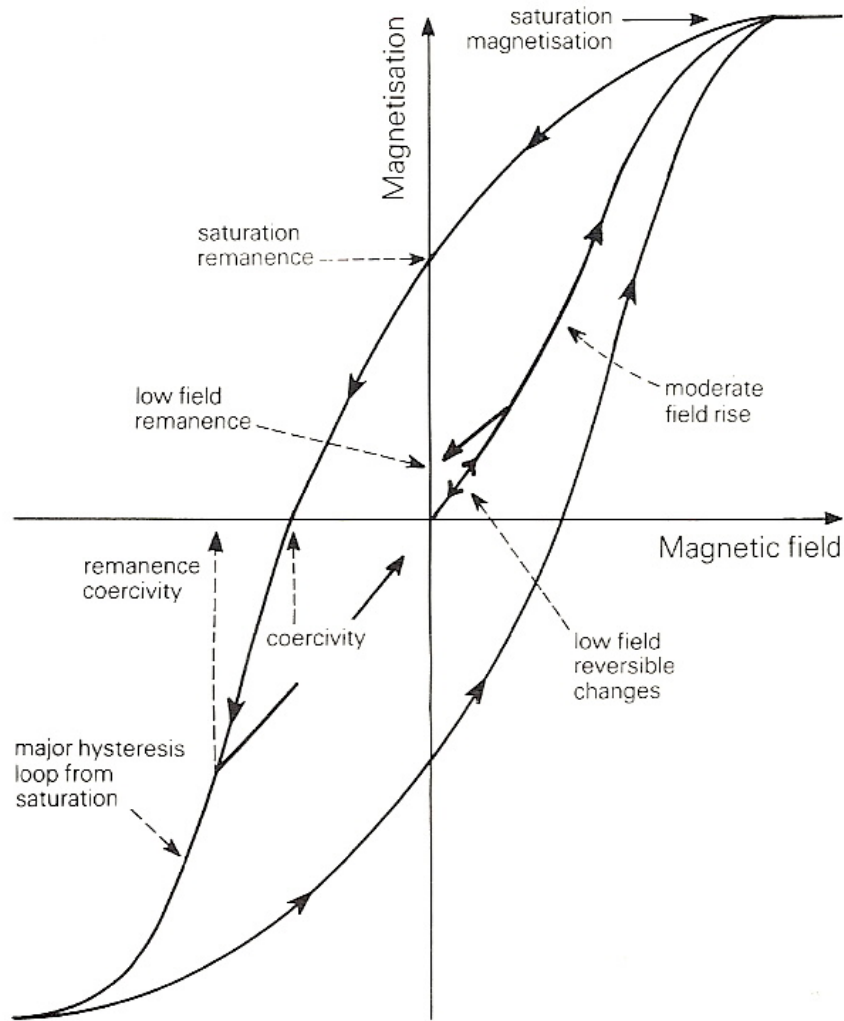
3.3 Μαγνητική υστέρηση

Το μαγνητικό καθεστώς μια ράβδου σιδήρου εξαρτάται από το μαγνητικό πεδίο, στο οποίο εκτίθεται και την μαγνητική ιστορία της ράβδου. Το σχήμα 3.1 παρουσιάζει την σχέση της μαγνήτισης μιας ράβδου σιδήρου με το εφαρμοζόμενο μαγνητικό πεδίο.

Αν θεωρήσουμε μια μη μαγνητισμένη ράβδο, η οποία εισάγεται σε ένα ασθενές μαγνητικό πεδίο, από το σχήμα 3.1 φαίνεται ότι η μαγνήτιση αυξάνει αργά. Όταν παύσει η δράση του μαγνητικού πεδίου, η μαγνήτιση της ράβδου μηδενίζεται. Αν στην συνέχεια εφαρμοστεί ισχυρότερο μαγνητικό πεδίο, η μαγνήτιση της ράβδου δεν είναι πλέον αντιστρεπτή και εμφανίζεται το φαινόμενο της υστέρησης. Εφόσον απομακρυνθεί το μαγνητικό πεδίο η ράβδος σιδήρου διατηρεί παραμένουσα μαγνήτιση.

| Τύπος μαγνήτισης | Μαγνητική επιδεκτικότητα | Σχέση Μαγνήτισης – Εφαρμοζόμενου πεδίου | Παραδείγματα υλικών / επιδεκτικότητα |
|--------------------------|--|---|--|
| Διαμαγνητισμός | Μικρή και αρνητική | Τα άτομα δεν έχουν μαγνητική ροπή  | Au Cu -2.74×10^{-6} -0.77×10^{-6} |
| Παραμαγνητισμός | Μικρή και θετική | Τυχαίος προσανατολισμός των μαγνητικών ροπών των ατόμων  | β -Sn Pt Mn 0.19×10^{-6} 21.04×10^{-6} 66.10×10^{-6} |
| Σιδηρομαγνητισμός | Μεγάλη και θετική, συνάρτηση του εφαρμοζόμενου πεδίου, εξαρτάται από τη μικροδομή. | Τα άτομα έχουν παράλληλες μαγνητικές ροπές  | Fe $\sim 100,000$ |
| Αντι - σιδηρομαγνητισμός | Μικρή και θετική | Ανάμειξη παράλληλων και αντιπαράλληλων μαγνητικών ροπών  | Cr 3.6×10^{-6} |
| Σιδηρομαγνητισμός | Μεγάλη και θετική, συνάρτηση του εφαρμοζόμενου πεδίου, εξαρτάται από τη μικροδομή | Τα άτομα έχουν αντιπαράλληλες μαγνητικές ροπές  | Ba ferrite ~ 3 |

Πίνακας 3.1. Συγκεντρωτικός πίνακας όλων των τρόπων μαγνήτισης διάφορων υλικών



Σχήμα 3.1 Διάγραμμα της μαγνητικής υστέρησης και της καμπύλης της μαγνήτισης (Thompson and Oldfield, 1986).

Αν εφαρμοστεί αρκετά ισχυρό μαγνητικό πεδίο το υλικό αποκτά την μαγνήτιση κορεσμού και η καμπύλη της υστέρησης μια σταθερή τιμή.

Οι βασικές παράμετροι που χαρακτηρίζουν την καμπύλη της υστέρησης συνοψίζονται ως ακολούθως:

Η κορεσμένη μαγνήτιση M_S , δηλαδή η μαγνήτιση που επάγεται από ισχυρά μαγνητικά πεδία ($>1T$).

Κατά την απομάκρυνση τέτοιων πεδίων η μαγνήτιση δεν μηδενίζεται και ονομάζεται παραμένουσα μαγνήτιση κορεσμού (saturation remanent magnetization) MRS.

Εάν εφαρμοστεί νέο μαγνητικό πεδίο, αντίθετης διεύθυνσης με το πρώτο, η επαγόμενη μαγνήτιση μπορεί να μηδενιστεί. Το αντίθετης διεύθυνσης πεδίο, που μηδενίζει την μαγνήτιση, ονομάζεται *συνεκτικό πεδίο κορεσμού* H_C και συμβολίζεται με $(B_0)_c$.

Το ακόμη ισχυρότερο πεδίο που απαιτείται για να μηδενιστεί η παραμένουσα μαγνήτιση ονομάζεται *συνεκτικό πεδίο παραμένουσας μαγνήτισης* $(B_0)_{CR}$.

Η κλίση της καμπύλης μαγνήτισης ονομάζεται *αρχική μαγνητική επιδεκτικότητα* κ (initial magnetic susceptibility).

Στον πίνακα (3.1) παρουσιάζονται οι μονάδες που χρησιμοποιούνται στον μαγνητισμό και στον πίνακα (3.2) η μαγνήτιση κορεσμού για διάφορα φυσικά υλικά.

Πίνακας (3.1) μονάδες που χρησιμοποιούνται στον μαγνητισμό (Thompson and Oldfield 1986).

| Quantity | SI | CGS (emu) | Relationship |
|---------------------------------|---|---|---|
| induction in free space (field) | B_0 tesla (T) | B gauss (G) | $1 \text{ T} = 10^4 \text{ G}$ |
| magnetic force (field) | H A m^{-1} | H oersted (Oe) | $1 \text{ A m}^{-1} = 4\pi \times 10^{-3} \text{ Oe}$ |
| permeability of a vacuum | $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H m}^{-1}$ | $\mu_0 = 1$ | 1 H m^{-1} equivalent to $10^7/4\pi \text{ G Oe}^{-1}$ |
| induction in free space (field) | $B_0 = \mu_0 H$ | $B = H$ | 1 T equivalent to 10^4 G |
| induction in medium | $B = B_0 + \mu_0 M$ | $B = H + 4\pi I$ | $1 \text{ T} = 10^4 \text{ G}$ |
| magnetisation per unit volume | M A m^{-1} | I G | $1 \text{ A m}^{-1} = 10^{-3} \text{ G}$ |
| magnetisation per unit mass | $\sigma = M/\rho$ $\text{A m}^2 \text{ kg}^{-1}$ $\rho = \text{density}$ | $\sigma = I/\rho$ $\text{G cm}^3 \text{ g}^{-1}$ | $1 \text{ A m}^2 \text{ kg}^{-1} = 1 \text{ G cm}^3 \text{ g}^{-1}$ |
| susceptibility per unit volume | $\kappa = M/H$ | $\kappa = I/H$ | $1 \text{ (SI unit)} = 4\pi \text{ G Oe}^{-1}$ |
| susceptibility per unit mass | $\chi = \kappa/\rho$ $\text{m}^3 \text{ kg}^{-1}$ | $\chi = \kappa/\rho$ $\text{G Oe}^{-1} \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ | $1 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} = 4\pi \times 10^{-3} \text{ G Oe}^{-1} \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ |

Πίνακας (3.2) Μαγνήτιση κορεσμού για διάφορα φυσικά υλικά (Thompson and Oldfield, 1986).

| Mineral | Composition | Curie temperature (°C) | Room temperature (20°C) saturation magnetisation M_s ($\text{A m}^2 \text{ kg}^{-1}$) |
|-------------------|-------------------------------|------------------------|---|
| magnetite | Fe_3O_4 | 585 | 93 |
| ulvospinel | Fe_2TiO_4 | -153 | — |
| haematite | $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$ | 675 | 0.5 |
| ilmenite | FeTiO_3 | -218 | — |
| maghaemite | $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ | ~740 | 85 |
| pyrrhotite | ~ Fe_7S_8 | ~300 | ~20 |
| iron | αFe | 780 | 200 |
| goethite | $\alpha\text{FeO.OH}$ | 120 | ~1 |
| lepidocrocite | $\gamma\text{FeO.OH}$ | -196 | — |
| magnesianoferrite | MgFe_2O_4 | 440 | 21 |
| jacobsite | MnFe_2O_4 | 310 | 77 |

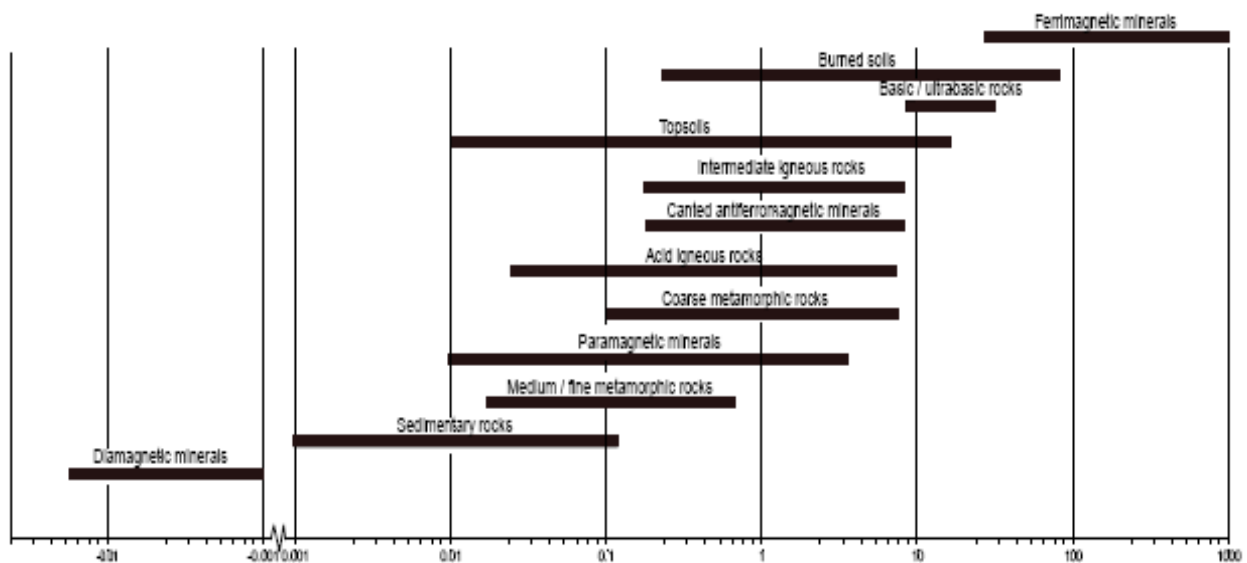
3.4 Μαγνητική επιδεκτικότητα

Η μαγνητική επιδεκτικότητα είναι ένα μέτρο της ευκολίας με την οποία μαγνητίζεται ένα υλικό. Η μαγνητική επιδεκτικότητα κατ' όγκο ορίζεται από την σχέση: $\kappa = M/H$, όπου M η κατ' όγκο μαγνήτιση που αποκτά ένα υλικό επιδεκτικότητας κ , όταν εφαρμοστεί πεδίο έντασης H . Η μαγνητική επιδεκτικότητα δηλαδή, είναι η σταθερά αναλογίας μεταξύ αποτελέσματος (μαγνήτισης) και αιτίου (πεδίου). Τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας για διάφορες κατηγορίες υλικών (μαγνητικών και μη), δίνονται στους Πίνακες 3.3 και 3.4.

Η ειδική επιδεκτικότητα, χ , ορίζεται από την σχέση: $\chi = \kappa/\rho$, όπου ρ η πυκνότητα και εκφράζεται σε m^3/Kgr . Η επιδεκτικότητα μετράται γενικά σε ασθενή πεδία έντασης λιγότερο από 1mT. Ο λόγος είναι ότι σε τέτοια πεδία η επιδεκτικότητα είναι γενικά ανεξάρτητη από την ένταση του εφαρμοζόμενου πεδίου.

Όταν ένα υλικό μαγνητίζεται, το εσωτερικό μαγνητικό πεδίο του είναι μικρότερο από το εξωτερικό. Η εσωτερική μαγνητική επιδεκτικότητα συμβολίζεται με k_i , ενώ η εξωτερική με k_e , την οποία και μετράμε. Η σχέση μεταξύ k_i και k_e είναι: $k_e = k_i / (1+N \cdot k_i)$ όπου N ο παράγοντας απομαγνήτισης. Για ένα ισχυρό μαγνητικό ορυκτό (μαγνητίτης) $N \cdot k_i > 1$, οπότε και το κ είναι κατά προσέγγιση ίσο με $1/N$. Εφόσον το N είναι γνωστό, η σχέση μεταξύ της μετρούμενης επιδεκτικότητας και της συγκέντρωσης των σιδηρομαγνητικών κόκκων είναι απλή. Στην πράξη έχει βρεθεί ότι για φυσικά δείγματα το N έχει μια τιμή περίπου 1/3.

Πίνακας (3.3) Τιμές της μαγνητικής επιδεκτικότητας για διάφορες κατηγορίες υλικών.



Πίνακας (3.4) Τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας για διάφορα υλικά (Thompson and Oldfield 1986)

| Remanence-carrying minerals ($10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$) | | Other iron-bearing minerals ($10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$) | | Other minerals and materials ($10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$) | |
|--|----------------------|--|--------|---|-------|
| iron (∞Fe) | 2×10^7 | olivines ($\text{Mg, Fe}_2\text{SiO}_4$) | 1→130 | water (H_2O) | -0.9 |
| magnetite (Fe_3O_4) | 5×10^4 | amphiboles (Mg, Fe, Al silicates) | 16→100 | halite (NaCl) | -0.9 |
| maghaemite (Fe_2O_3) | 4×10^4 | siderite (FeCO_3) | ~100 | quartz (SiO_2) | -0.6 |
| pyrrhotite (Fe_7S_8) | $\sim 5 \times 10^3$ | pyroxenes ($\text{Mg, Fe}_2\text{Si}_2\text{O}_6$) | 5→100 | calcite (CaCO_3) | -0.5 |
| ilmenite (FeTiO_3)* | ~200 | biotites (Mg, Fe, Al silicates) | 5→ 95 | feldspar (Ca, Na, K, Al silicate) | -0.5 |
| lepidocrocite (FeOOH)* | 70 | nontronite (Fe-rich clay) | ~ 90 | kaolinite (clay mineral) | -2 |
| goethite (∞FeOOH) | 70 | chamosite (Oxidised chlorite) | ~ 90 | montmorillonite (clay) | ~5 |
| haematite (Fe_2O_3) | 60 | epidote ($\text{Ca, Fe, Al silicate}$) | ~ 30 | illite (clay mineral) | ~15 |
| | | pyrite (FeS_2) | ~ 30 | plastic (e.g. perspex, PVC) | ~-0.5 |
| | | chalcopyrite (CuFeS_2) | ~ 3 | | |

* Only remanence carrying at temperatures well below room temperature.

Ακολουθούν οι ορισμοί κάποιων επιμέρους μεγεθών που σχετίζονται με την μαγνητική επιδεκτικότητα:

- 1. Παραμένουσα μαγνήτιση εναπόθεσης (Detrital or depositional remanent magnetization, DRM)** – αφορά την παραμένουσα μαγνήτιση που αποκτούν τα ιζήματα κατά την απόθεση τους.
- 2. Μέγιστη παραμένουσα μαγνήτιση (Saturation isothermal remnant magnetization, SIRM or MRS or σ_{RS})**. Είναι η μέγιστη παραμένουσα μαγνήτιση που μπορεί να παρατηρηθεί και αποκτάται κατά την εφαρμογή και απομάκρυνση ενός ισχυρού μαγνητικού πεδίου.
- 3. Μέγιστη μαγνήτιση (saturation magnetization MS or σ_S)**. Είναι η μέγιστη μαγνήτιση που μπορεί να παρατηρηθεί σε ένα δείγμα κατά την εφαρμογή ισχυρού μαγνητικού πεδίου.
- 4. Θερμοπαραμένουσα μαγνήτιση (Thermoremanent magnetization, TRM)**. Αφορά την παραμένουσα μαγνήτιση που αποκτά ένα υλικό καθώς παγώνει κάτω από την θερμοκρασία Curie.
- 5. Η μεταβολή του μαγνητικού πεδίου με το χρόνο (Viscosity)**.
- 6. Χρονικά εξαρτώμενη παραμένουσα μαγνήτιση (viscous remanent magnetization VRM)**. Η παραμένουσα μαγνήτιση που αποκτά ένα υλικό, όταν εφαρμόζεται ασθενές μαγνητικό πεδίο για μεγάλο χρονικό διάστημα.
- 7. Ανισοτροπία της μαγνητικής επιδεκτικότητας (anisotropy of magn. Susceptibility)**. Η μεταβολή της μαγνητικής επιδεκτικότητας με την διεύθυνση.

8. An hysteretic remnant magnetization (ARM). Η παραμένουσα μαγνήτιση που δημιουργείται κατά την ομαλή απομείωση ενός ισχυρού εναλλασσόμενου μαγνητικού πεδίου, παρουσία ενός ασθενούς σταθερού πεδίου.

9. Υπερ-παραμαγνητισμός (superparamagnetism). Είναι το φαινόμενο της ταχύτατης μείωσης της παραμένουσας μαγνήτισης των σιδηρομαγνητικών υλικών, όταν οι κόκκοι τους είναι μικρότεροι από μια κρίσιμη διάμετρο (10-8 m). Τα υλικά αυτά χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας.

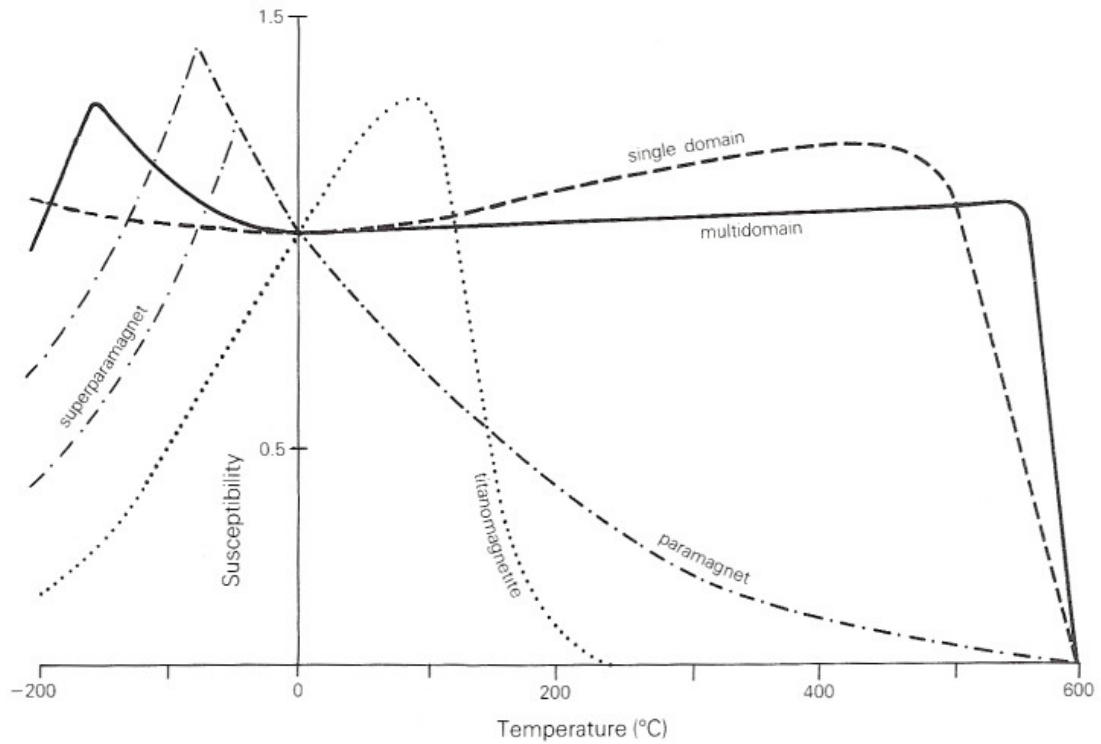
3.5 Σχέση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με την θερμοκρασία

Η μαγνητική επιδεκτικότητα, k , γενικά μεταβάλλεται με την θερμοκρασία λόγω των εσωτερικών τάσεων και της ανισοτροπίας των κρυστάλλων.

Στο σχήμα 3.2 παρουσιάζονται τυπικές μεταβολές της μαγνητικής επιδεκτικότητας κρυστάλλων μαγνητίτη διαφόρων μεγεθών και διαφορετικής σύστασης. Όλες οι καμπύλες έχουν κανονικοποιηθεί, έτσι ώστε η τιμή της επιδεκτικότητας στους 0°C να ισούται με την μονάδα.

Κατά τη διαδικασία της θερμομαγνητικής ανάλυσης το δείγμα υποβάλλεται σε θέρμανση μέχρι τους 700o C ενώ ταυτόχρονα γίνεται μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητάς του. Τα ορυκτά, στη θερμοκρασία Curie (T_c) και πάνω από αυτήν, χάνουν την ικανότητά τους να φέρουν σταθερή μαγνήτιση και μετατρέπονται σε παραμαγνητικά ορυκτά άσχετα με την πρότερη κατάστασή τους. Παρόλα αυτά, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, η παραμένουσα μαγνήτιση μπορεί να χαθεί κάτω από την T_c σε μία άλλη θερμοκρασία, που καλείται θερμοκρασία φραγμού T_B (η οποία είναι η θερμοκρασία κατά την οποία αποκτάται η παραμένουσα μαγνήτιση). Σε πολλά πετρώματα η παραμένουσα μαγνήτιση εκδηλώνεται σε ένα εύρος θερμοκρασιών φραγμού το οποίο αντανακλά και τις διαφορετικές ιδιότητες των υλικών που φέρουν τη μαγνήτιση. Αυτό εκδηλώνεται με την εξασθένηση της παραμένουσας μαγνήτισης καθώς το πέτρωμα θερμαίνεται διαδοχικά σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Αν η θερμοκρασία φραγμού είναι περίπου ίδια με τη θερμοκρασία Curie τότε η θερμοπαραμένουσα θα χαθεί και θα επαναποκτηθεί σε ένα στενό θερμοκρασιακό διάστημα ακριβώς κάτω από το σημείο Curie. Το δείγμα μετά τη θέρμανσή του ψύχεται σε μηδενικό πεδίο και επαναμαγνητίζεται σε θερμοκρασία δωματίου. Έτσι παράγεται μία δεύτερη καμπύλη. Η πρώτη καμπύλη μας δίνει τις θερμοκρασίες φραγμού των ορυκτών που είναι παρόντα στο δείγμα, ενώ η δεύτερη δείχνει τις θερμοκρασίες φραγμού

των ορυκτών που δημιουργήθηκαν κατά τη θέρμανση. Με αυτόν τον τρόπο λοιπόν ανιχνεύονται και τα νέα ορυκτά.



(α)



(β)

Σχήμα 3.2 α) Καμπύλες μαγνητικής επιδεκτικότητας (ασθενές εφαρμοζόμενο μαγνητικό πεδίο) σε σχέση με την θερμοκρασία για διαφορετικού μεγέθους και σύστασης κρυστάλλους μαγνητίτη: Τιτανομαγνητίτης (σικτική), μικρού μεγέθους κόκκοι $<20\mu\text{m}$ (διακεκομμένη), μεγάλου μεγέθους κόκκοι $>20\mu\text{m}$ (συμπαγής), υπερ-μαγνητικοί κόκκοι (διακεκομμένη με τελείες) (Thompson and Oldfield 1986), β) Θερμομαγνητική διάταξη

3.6 Σχέση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με την συχνότητα

Γενικά η χρονική καθυστέρηση μεταξύ της εφαρμογής ενός μαγνητικού πεδίου και της απόκρισης της μαγνήτισης δημιουργεί εξάρτηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας (χ_{fd}) από την συχνότητα. Η μεταβολή αυτή είναι γνωστή με τον όρο φάσμα της μαγνητικής επιδεκτικότητας. Στις υψηλές συχνότητες τα φαινόμενα αποκατάστασης (relaxation phenomena) προκαλούν ελάττωση της μαγνητικής επιδεκτικότητας και απώλειες ενέργειας με την μορφή θερμότητας.

Η μαγνητική επιδεκτικότητα μετριέται συνήθως με την μέθοδο a.c και έχει δύο συνιστώσες, την σε φάση (in phase) και την φανταστική συνιστώσα (Quadrature or out of phase).

Η χρονική καθυστέρηση μεταξύ της εφαρμογής ενός μαγνητικού πεδίου και της πλήρους μαγνητικής απόκρισης, ερευνάται με μέτρηση της φανταστικής συνιστώσας της μαγνητικής επιδεκτικότητας. Όσο πιο έντονη είναι η μετατόπιση της μαγνητικής απόκρισης τόσο πιο σημαντική αποδεικνύεται η φανταστική συνιστώσα της μαγνητικής επιδεκτικότητας.

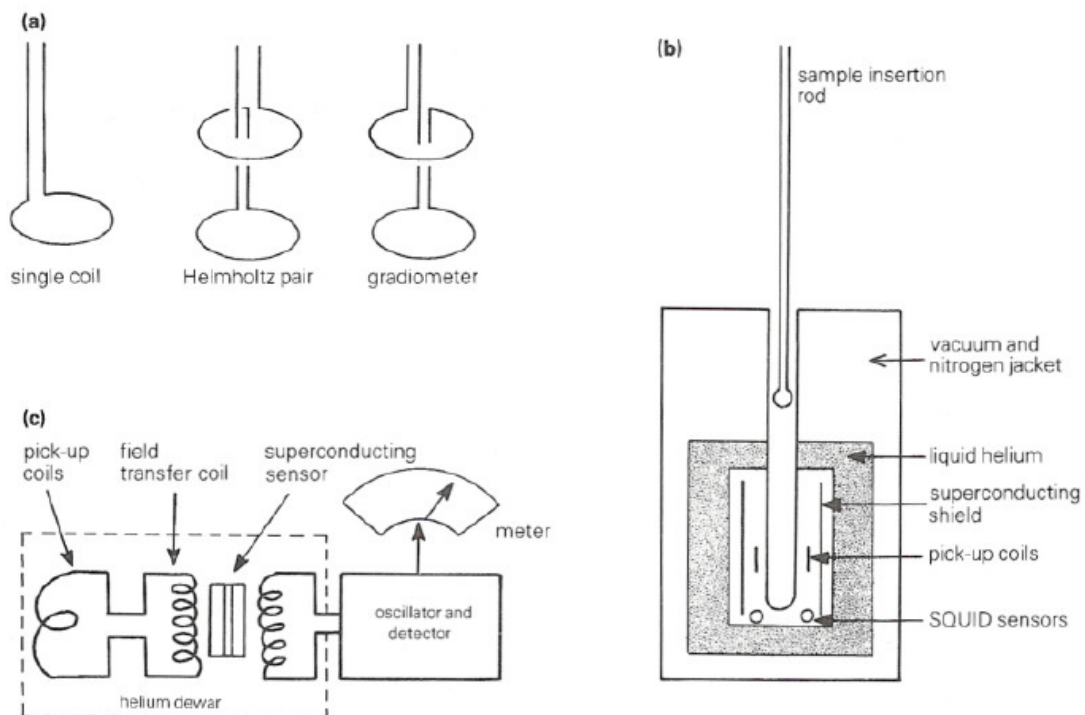
Στις χαμηλές συχνότητες η σε φάση συνιστώσα της μαγνητικής επιδεκτικότητας έχει τιμή πλησίον της πραγματικής. Καθώς όμως η συχνότητα αυξάνεται τα φαινόμενα αποκατάστασης γίνονται πιο σημαντικά και η σε φάση συνιστώσα μετά από μια μικρή αύξηση (Snoek, 1948), μειώνεται σταθερά ενώ η τιμή της φανταστικής συνιστώσας αυξάνει, φτάνει σε μία μέγιστη τιμή και στην συνέχεια μηδενίζεται. Η μέγιστη τιμή της φανταστικής συνιστώσας και η απότομη μείωση της πραγματικής θεωρητικά συμβαίνουν στην ίδια συχνότητα. Παρόλα αυτά η γενική τάση που εμφανίζεται είναι μείωση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με αύξηση της συχνότητας.

Με προσεκτική επιλογή της συχνότητας είναι δυνατόν να διερευνηθεί το φάσμα της επιδεκτικότητας, κάνοντας απλά και μόνο δύο μετρήσεις. Το όργανο της Bartington, που χρησιμοποιήθηκε και στην συγκεκριμένη περίπτωση μετράει σε συχνότητες 1 και 10 KHz και σε μια μέγιστη ένταση εναλλασσόμενου μαγνητικού πεδίου 3×10^{-4} T (3Oe). Η εισαγωγή του δείγματος μέσα στο πηνίο ανίχνευσης προκαλεί μια μικρή μετατόπιση της συχνότητας. Η διαφορά στην μετατόπιση στα 1 και 10 KHz λαμβάνεται ως μέτρηση της εξαρτώμενης από την συχνότητα μαγνητικής επιδεκτικότητας, η οποία συμβολίζεται με (χ_{fd}). Συνήθως το εύρος των τιμών για την εξαρτώμενη από την συχνότητα μαγνητική επιδεκτικότητα εκφράζεται ως ποσοστό επί της ολικής επιδεκτικότητας (χ_{fd}/χ) και κυμαίνεται μεταξύ 0 και 24%.

Η μέγιστη μεταβολή της εξαρτώμενης από την συχνότητα μαγνητικής επιδεκτικότητας για αδρομερή μαγνητίτη είναι μικρότερη από 26% (Bhathal and Stacey (1969), ενώ οι υψηλότερες διαφορές βρέθηκαν σε σκόνη αιωρούμενων ιζημάτων.

3.7 Μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας

Συνήθως η μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας γίνεται με την μέθοδο a.c (σχ. 3.3). Το δείγμα τοποθετείται σε ένα μαγνητικό πεδίο που παράγεται από ένα πηνίο. Ένα δεύτερο πηνίο χρησιμοποιείται για την ανίχνευση της επαγόμενης μαγνήτισης, που είναι ανάλογη της επιδεκτικότητας του δείγματος. Το σήμα που λαμβάνεται, ενισχύεται και μετράται σε millivolts. Τα μοντέρνα όργανα μαγνητικής επιδεκτικότητας χρησιμοποιούν μαγνητικά πεδία της τάξης 0.1mT (10e) σε συχνότητες μεταξύ 1-10KHz. Η A.C μετρούμενη μαγνητική επιδεκτικότητα μπορεί να διακριθεί στην “in phase” και την “quadrature”. Επίσης η επιδεκτικότητα μετράται σε διάφορες συχνότητες. Η μεταβολή της επιδεκτικότητας με την συχνότητα είναι γνωστή ως φάσμα επιδεκτικότητας. Σε χαμηλές συχνότητες η μαγνήτιση του δείγματος είναι σε φάση με το εφαρμοζόμενο πεδίο, οπότε η “in phase” επιδεκτικότητα έχει μια τιμή κοντά στην απευθείας επιδεκτικότητα του δείγματος, ενώ η “quadrature” συνιστώσα πλησιάζει το μηδέν. Καθώς αυξάνει η συχνότητα η “in phase” επιδεκτικότητα μετά από μια μικρή αύξηση, ελαττώνεται σταθερά, ενώ η “quadrature” επιδεκτικότητα αυξάνει.



Σχήμα 3.3 Μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας (Thompson and Oldfield 1986).

3.8 Μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με το MS2 της Bartington

Το σύστημα MS2 Bartington (Σχήμα 3.4) χρησιμοποιείται για την μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας πυριγενών, μεταμορφωμένων και ιζηματογενών πετρωμάτων με ανάλυση 2×10^{-6} SI units. Μετρήσεις μπορούν να διεξαχθούν τόσο στο εργαστήριο, όσο και σε εξωτερικούς χώρους, αφού το μετρητικό σύστημα είναι φορητό και ανάλογα με την εφαρμογή, μπορεί να προσαρμόζεται διαφορετικός αισθητήρας. Εφαρμόζεται σε γεωλογικές, παλαιομαγνητικές, αρχαιολογικές, παλαιοκλιματολογικές, υδρολογικές, ιζηματολογικές, έρευνες και σε πυρηνοληψίες.



Σχήμα 3.4 Το μετρητικό σύστημα MS2 του οίκου Bartington με διάφορους αισθητήρες μέτρησης της μαγνητικής επιδεκτικότητας.

Οι μετρήσεις είναι μη καταστροφικές και οι χαμηλές συχνότητες που χρησιμοποιούνται διασφαλίζουν το γεγονός ότι τα αποτελέσματα δεν επηρεάζονται από την αγωγιμότητα του δείγματος. Ακολουθούν οι προδιαγραφές του μετρητή MS2 καθώς και των αισθητήρων που χρησιμοποιούνται ανάλογα με το είδος του δείγματος (στερεό, υγρό ή υπό μορφή κόνεως) και το είδος της μέτρησης (εργαστηριακή ή μέτρηση πεδίου).

Specification - MS2 Meter

| | |
|--|--|
| Measuring range - volume specific - mass specific | 1-9999 x 10 ⁻⁵ SI (x10 ⁻⁶ CGS) 1-9999 x 10 ⁻⁸ SI (x10 ⁻⁶ CGS) |
| Resolution - volume specific | 2 x 10 ⁻⁶ SI (2 x 10 ⁻⁷ CGS) on x 0.1 range. The resolution achieved will depend on temperature drift and environmental noise. |
| Internal battery | 0.6 Ah sealed Ni-Cad give 8 hours continuous use before recharge is required. |
| Enclosure material | high impact ABS |
| Operating temperature | -10°C to 40°C |
| Weight | 1.3kg |
| Dimensions | 255 x 158 x 50mm |
| Sensor cable | 50 ohm TNC to TNC, 1m length (alternative lengths to 100m on request) |
| Battery charger inlet | 2.1mm socket, 6-14Vd.c., 100mA maximum, polarity protected |
| RS232 interface | 1200/9600 baud selected on rear panel |
| Interface connector | 4-way rear panel Fischer socket |

**Specification - MS2B Sensor**

| | |
|---|---|
| Calibration accuracy | 1% (10ml calibration sample provided) |
| Measurement period: x 1 range CGS (SI) x 0.1 range CGS (SI) | 1.2 seconds (1.5s) 12 seconds (15s) |
| Operating frequencies: LF HF | 0.465kHz ±1% 4.65kHz ±1% |
| Amplitude of applied field | 250μT peak ±10% (LF & HF) |
| Maximum resolution | 2 x 10 ⁻⁷ CGS (LF & HF) |
| HF/LF Cross calibration | 0.1% worst case |
| Temperature induced drift: Sample to Sensor Differential Calibration sample | ±0.05 x 10 ⁻⁶ CGS/°C/minute +0.006/°C |
| Enclosure material | high impact ABS |
| Weight | 0.8kg |
| Dimensions | 200 x 145 x 110mm |



Specification - MS2C Sensor

| | |
|--|---|
| Loop internal diameter | 36, 40, 45, 60, 72, 80, 90, 100, 125, 130, 135, 140, 145, 150, 160 or 162mm standard <i>Intermediate sizes can be provided at an additional charge</i> |
| Calibration accuracy | 5% (calibration sample provided) |
| Measurement period - x 1 range - x 0.1range | 0.9 seconds 9 seconds |
| Operating frequency | 0.565kHz |
| Drift at room temperature | $<2 \times 10^{-6}$ CGS in 10 minutes after 5 minutes operation |
| Enclosure material | white polyacetal |
| Weight | 2-2.65kg depending on diameter |
| Dimensions | 290 x 200 x 144mm |

**Specification - MS2D probe**

| | |
|---|---|
| Depth of response | 50% at 15mm, 10% at 60mm |
| Measurement period - x 1 range - x 0.1 range | 0.5 seconds 5 seconds |
| Operating frequency | 0.958kHz |
| Drift at room temperature | $<10 \times 10^{-6}$ CGS in 20 minutes after 20 minutes operation |
| Enclosure material | reinforced epoxy |
| Weight | 0.5kg |
| Dimensions | mean diameter 185mm, overall height 100mm |



Specification - MS2E Sensor

| | |
|---|--|
| Area of response | 3.8mm x 10.5mm at the end of the ceramic cylinder |
| Depth of response | 50% at 1mm, 10% at 3.5mm |
| Measurement period - x 1 range - x 0.1 range | 1.2 seconds 12 seconds |
| Operating frequency | 2kHz |
| Drift at room temperature | $<5 \times 10^{-6}$ CGS in 5 minutes after 5 minutes operation |
| Enclosure material | high impact ABS and ceramic |
| Weight | 0.22kg |
| Dimensions | 64 x 25 x 140mm |

**Specification - MS2F probe**

| | |
|---|---|
| Area of response | end face and cylinder wall up to the shoulder |
| Depth of response | 10% at 6mm from end face and 4.5mm from outer diameter of end cap |
| Measurement period - x 1 range - x 0.1 range | 0.9 seconds 9 seconds |
| Operating frequency | 0.58kHz |
| Drift at room temperature | $<10 \times 10^{-6}$ CGS in 20 minutes after 20 minutes operation |
| Enclosure material | Nylon 66 |
| Weight | 0.075kg |
| Dimensions - sensitive volume - overall | 15mm diameter x 20mm 35mm diameter x 85mm |



Specification - MS2G Sensor

| | |
|---|--|
| Calibration accuracy | 2% (1ml calibration check sample provided) |
| Measurement period - x 1 range - x 0.1 range | 0.7 seconds 7 seconds |
| Operating frequency | 1.3kHz |
| Drift at room temperature | $<2 \times 10^{-6}$ CGS in 5 minutes after 5 minutes operation |
| Enclosure | aluminium and ceramic |
| Sample cavity dimensions | 8.5mm diameter x 28mm in height |
| Sensitive region | 5mm height at centre of cavity |
| Weight | 670g |
| Dimensions (mm) | 189 x 91 x 67 |
| Sample vial - 1ml volume | Kartell part number 730 |

**Specification - MS2K Probe**

| | |
|---|---|
| Area of response | 25.4mm diameter full-width-half-maximum |
| Depth of response | 50% at 3mm, 10% at 8mm |
| Measurement period - x 1 range - x 0.1 range | 1 second 10 seconds |
| Drift at room temperature | $< \pm 2 \times 10^{-6}$ CGS in 5 minutes after 5 minutes operation |
| Operating frequency | 930Hz |
| Weight | 270gms; 1695g (with carrying case) |
| Dimensions | 180 x 170 x 50mm |
| Environmental | May be used under wet conditions – not suitable for immersion |

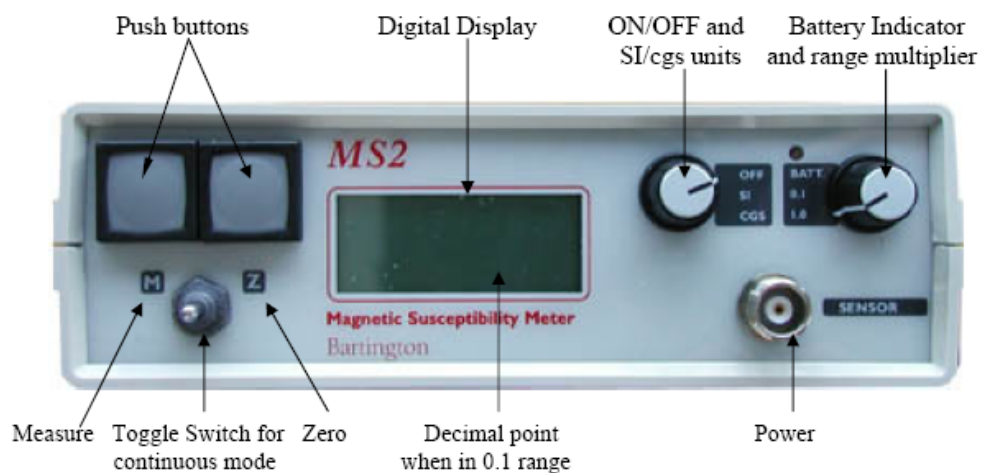
**Specification - MS2 Probe Handle**

| | |
|---|------------------------------|
| Weight | 0.65kg |
| Dimensions - upper section - lower section | 430mm length 360mm length |



Διαδικασία μέτρησης μαγνητικής επιδεκτικότητας δειγμάτων (Σχήμα 3.5)

1. Οι καλύτερες μετρήσεις γίνονται γενικά όταν η θερμοκρασία είναι σταθερή και γενικά σε χαμηλά επίπεδα. Πρέπει να αποφεύγονται οι μετρήσεις όταν υπάρχει υγρασία.
2. Τα δείγματα κοσκινίζονται πριν την μέτρηση έτσι ώστε να απομακρυνθούν τυχόν μικρά μεταλλικά αντικείμενα, αλλά και να είναι ομογενή.
3. Το σύστημα μέτρησης δεν πρέπει να τοποθετείται κοντά σε μεταλλικά αντικείμενα ή σε υψηλής τάσης μηχανήματα.
4. Ρυθμίζεται η συχνότητα στο low. Αφού μετρηθούν όλα τα δείγματα, επαναλαμβάνεται με την συχνότητα στο high.
5. Η ευαισθησία ρυθμίζεται στο εύρος $\times 1.0$.
6. Πιέζεται το κουμπί που γράφει zero (Z), χωρίς δείγμα μέσα στην συσκευή. Στην συνέχεια επιλέγεται continuous measurements (M). Επίσης αν μεταβάλλεται η τιμή που δείχνει το όργανο κατά ± 1 σημαίνει ότι υπάρχει θόρυβος.
7. Τοποθετούνται 10gr δείγματος (μετρημένα με ζυγαριά ακριβείας) μέσα στο ειδικό δοχείο και στην συνέχεια στον αισθητήρα. Πιέζεται το κουμπί που γράφει measure (M) και σημειώνεται η μέτρηση. Υπάρχει η δυνατότητα συνεχούς μέτρησης και καταγραφής - αποθήκευσης σε H/Y μέσω σειριακής θύρας, ώστε να λαμβάνεται η μέση τιμή των μετρήσεων.



Σχήμα 3.5 Πρόσωση του μετρητικού συστήματος MS2 του οίκου Bartington.

3.9 Σχέση μαγνητικών ορυκτών και βαρέων μετάλλων

Αν και η σχέση μαγνητικών οξειδίων και βαρέων μετάλλων στην ιπτάμενη τέφρα και τις βιομηχανικές εκπομπές αερίων έχει κατανοηθεί έως τώρα πολύ λίγο, ωστόσο αρκετές συγγραφείς επιβεβαιώνουν στις εργασίες τους τα παραπάνω.

Οι Theis and Wirth (1977) εντόπισαν σε αναλύσεις επιφανειακών δειγμάτων ιπτάμενης τέφρας από καύση γαιάνθρακα, σχέση μεταξύ του χαλκού, χρώμιου, αρσενικού και ψευδάργυρου με συγκεκριμένα οξείδια του σιδήρου, μαγγανίου και αργιλίου. Ο χαλκός, το χρώμιο, το αρσενικό και ο ψευδάργυρος, στις περισσότερες περιπτώσεις σχετίζονταν με την παρουσία οξειδίων του σιδήρου. Επίσης το κάδμιο και το νικέλιο σχετίζονταν με την παρουσία μαγγανίου και τέλος ο μόλυβδος με την παρουσία άλλων στοιχείων.

Οι Hansen et al. (1981) απέδειξαν ότι το χρώμιο, το μαγγάνιο το νικέλιο ο χαλκός ο ψευδάργυρος και το βηρύλλιο ήταν όλα εμπλουτισμένα σε μαγνητικό κλάσμα από ιπτάμενη τέφρα καύσης γαιανθράκων. Οι Olson and Skogerboe (1975) και Linton et al. (1980) εντόπισαν την σχέση μεταξύ του «μαγνητικού σιδήρου» και του μόλυβδου σε εκπομπές καυσαερίων από οχήματα.

Οι Petrovsky et al. (2001) ανέλυσαν δείγματα από αλλουβιακό έδαφος γύρω από μια περιοχή που λειτουργούσε χυτήριο μόλυβδου, για να καθορίσουν την μαγνητική επιδεκτικότητα αλλά και τις συγκεντρώσεις μόλυβδου, ψευδαργύρου και καδμίου. Κατέληξαν ότι υπάρχει σχέση ανάμεσα στην μαγνητική επιδεκτικότητα και τις συγκεντρώσεις των παραπάνω βαρέων μετάλλων και ότι η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον διαχωρισμό ρυπασμένων και μη περιοχών.

Οι Lecoanet et al. (2003) μελέτησαν δείγματα εδάφους από μια περιοχή της νότιας Γαλλίας η οποία περικλείει αυτοκινητόδρομο, αεροδρόμιο και βιομηχανίες σιδήρου και χάλυβα με στόχο να καθορίσουν τους συνδυασμούς των μαγνητικών παραμέτρων που απαιτούνταν για τον χαρακτηρισμό τους. Για την ακρίβεια μελέτησαν τις σχέσεις SIRM- χ , IRM_200mT/SIRM-IRM_20mT/SIRM και ARM_40mT/SARM- χ και κατάφεραν να καθορίσουν τις πηγές ρύπανσης αλλά και να παρακολουθήσουν την μεταβολή της μαγνητικής επιδεκτικότητας με το βάθος.

Οι Boyko et al. (2004) προσπάθησαν να παρακολουθήσουν την χρονική μεταβολή της μαγνητικής επιδεκτικότητας σε ένα κάναβο 10x10 Km στην βόρεια και νότια Αυστρία. Πραγματοποίησαν δειγματοληψίες σε δύο χρονικές φάσεις (καλοκαίρι 2000 και 2001). Κατέληξαν ότι η επαναληπτικότητα των μετρήσεων επηρεάζεται από την ανομοιογένεια του

εδάφους, του σημείου μέτρησης, την ακρίβεια καθορισμού της θέσης, τον εξοπλισμό την βλάστηση και τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

3.10 Ο ρόλος και η επίδραση των βαρέων μετάλλων στα φυτά

Τα περισσότερα από τα βαρέα μέταλλα, ανήκουν στα ιχνοστοιχεία, τα οποία αν και υπάρχουν σε μικρές συγκεντρώσεις στα φυτά, συμμετέχουν σε πολύ σημαντικές βιοχημικές διεργασίες του κυττάρου. Τα στοιχεία αυτά θεωρούνται απαραίτητα για τα φυτά. Βασικό κριτήριο για να θεωρηθεί ένα στοιχείο απαραίτητο είναι είτε να μην μπορεί το φυτό να ολοκληρώσει τον κύκλο της ζωής του απουσία του στοιχείου αυτού είτε το συγκεκριμένο στοιχείο να συμμετέχει σε κάποιο μόριο ή συστατικό του φυτού, που είναι απαραίτητο για την επιβίωσή του.

Στη συνέχεια αναφέρονται μερικά από τα βαρέα μέταλλα που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη βιοχημική λειτουργία των φυτών.

Νικέλιο (Ni): Το Ni αποτελεί απαραίτητο συστατικό της ουρεάσης, του ενζύμου που υδρολύει την ουρία σε CO_2 και NH_4^+ . Η ουρία σχηματίζεται από την αποδόμηση των ουρεϊδίων, αζωτούχων ενώσεων που είναι προϊόντα της ενσωμάτωσης του αζώτου στα φυμάτια των ριζών των ψυχανθών και της αποδόμησης των πουρινών. Η έλλειψη Ni προκαλεί τη συσσώρευση ουρίας, η οποία είναι τοξική για το φυτό. Επίσης, έλλειψη Ni στους σπόρους των δημητριακών μειώνει τη βιωσιμότητα και τη βλάστησή τους (Brady, *et al*, 1999).

Σίδηρος (Fe): Ο σίδηρος συνδέεται στενά με τις οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις, που λαμβάνουν χώρα στους ζωντανούς οργανισμούς (Καράταγλης, 1999). Είναι απαραίτητος σε βιομόρια, όπως κυτοχρώματα και φερρεδοξίνη, που λειτουργούν ως μεταφορείς ηλεκτρονίων, συμμετέχοντας σε οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις, όπως φωτοσύνθεση και αναπνοή (Ρουμπελάκη - Αγγελάκη Καλλιόπη, 2003). Ο Fe είναι απαραίτητος για την αφομοίωση του N καθώς και για την παραγωγή ενέργειας. Εμπλέκεται στη σύνθεση των πρωτεϊνών και στην ανάπτυξη του μεριστώματος στο άκρο της ρίζας των φυτών (Τσικαλάς, 2003).

Ο σίδηρος είναι το κύριο στοιχείο στο μεταβολισμό και σε πολλές κυτταρικές διεργασίες. Επίσης, τα αρχικά στάδια της σύνθεσης πυρολίου απαιτούν Fe^{2+} για την αντίδραση. Η συγκέντρωση Fe στα φύλλα είναι μεγάλη τόσο στα πράσινα, όσο και στα χλωρωτικά φύλλα. Μικρό μέρος του Fe είναι μεταβολικά ενεργό (Θερίος, 1996).

Χαλκός (Cu): Ο Cu αποτελεί συστατικό της πλαστοκυανίνης, μιας πρωτεΐνης που παίρνει μέρος στους χλωροπλάστες στη μεταφορά ηλεκτρονίων μεταξύ των δύο

φωτοχημικών συστημάτων που εμπλέκονται στη φωτοσύνθεση. Επίσης, εμπλέκεται στο σχηματισμό των νουκλεϊνικών οξέων και στο μεταβολισμό των γλυκιδίων, των πρωτεϊνών και των λιπιδίων (Τσικαλάς, 2003).

Ψευδάργυρος (Zn): Οι βασικές λειτουργίες του Zn σχετίζονται με το μεταβολισμό των υδατανθράκων, των πρωτεϊνών, των αυξινών και του RNA. Ο Zn ενεργοποιεί το ένζυμο καρβονική ανυδράση, το οποίο εντοπίζεται στους χλωροπλάστες και το κυτόπλασμα. Αποτελεί απαραίτητο συστατικό για τη σύνθεση της θρυπτοφάνης, η οποία είναι πρόδρομος μορφή του ινδολυλοξικού οξέος (IAA) (Καράταγλης, 1999).

Ένας τρόπος με τον οποίο εισέρχονται τα μέταλλα στην ανθρώπινη τροφική αλυσίδα, είναι μέσω των φυτών, τα οποία καταναλώνονται από τα ζώα. Παρ' όλα αυτά, η σχέση μεταξύ των συγκεντρώσεων των μετάλλων στο έδαφος και τους φυτικούς ιστούς είναι εξαιρετικά πολύπλοκη.

Έχει αποδειχθεί ότι η βιολογική διαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων στο έδαφος εξαρτάται από τη χημική τους σχέση και τη διαλυτότητα συγκεκριμένων ανόργανων ουσιών που υπάρχουν (Kambata – Pendias, *et al*, 1984).

Το εδαφικό pH και η ρυθμιστική ικανότητα του εδάφους (soil buffering capacity) είναι σημαντικοί μηχανισμοί στη βιολογική διαθεσιμότητα των μετάλλων (Alloway, 1990 & Gee, *et al*, 2001).

Υπάρχουν εδάφη πλούσια σε βαρέα μέταλλα, π.χ. σε Pb, αλλά τα φυτά που αναπτύσσονται σε αυτό το έδαφος δεν μολύνονται λόγω χαμηλής βιολογικής διαθεσιμότητας. Σε άλλα εδάφη, όπου η ολική συγκέντρωση του μετάλλου είναι αρκετά χαμηλή, η πρόσληψη από το φυτό ίσως να είναι πολύ υψηλότερη γιατί το μέταλλο είναι βιολογικά διαθέσιμο. Παρομοίως, η βιολογική διαθεσιμότητα του Pb σε ένα έδαφος εξαρτάται από την ορυκτολογική μορφή στην οποία βρίσκεται (Schoof, *et al*, 1995). Η βιολογική διαθεσιμότητα του Pb καθώς και άλλων βαρέων μετάλλων αυξάνεται όταν: (1) το υλικό των υπολειμμάτων των καλλιεργειών μετακινείται μηχανικά και αναμιγνύεται με το έδαφος και (2) σχετικά όξινο εδαφικό νερό διαλύει τα υπολείμματα και μεταφέρει τα μέταλλα σε διάλυμα στο παρακείμενο έδαφος (Moles, *et al*, 2004).

Η μόλυνση του εδάφους από τα βαρέα μέταλλα, αποτελεί πρόβλημα παγκόσμιου ενδιαφέροντος και μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλες απώλειες της παραγωγής.

Στη συνέχεια, αναφέρονται οι επιπτώσεις μερικών από τα σπουδαιότερα βαρέα μέταλλα στα φυτά.

Κάδμιο (Cd): Το κάδμιο εμποδίζει την διείσδυση του νηματώδη *Meloidogyne incognita* σε φυτά τομάτας, ενώ παράλληλα επηρεάζει την ανάπτυξη των φυματίων στη ρίζα

της τομάτας. Το κάδμιο είναι επιβλαβές για τα φυτά τομάτας σε συγκεντρώσεις 7,5, 15, 30 και 60 ppm. Η ανασταλτική επίδραση στην ανάπτυξη των φυτών, καθώς και σε άλλες παραμέτρους (φρέσκο και ξηρό βάρος του φυτού, περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη, ικανότητα απορρόφησης νερού των ριζών), αυξάνεται σημαντικά με την αύξηση της συγκέντρωσης του καδμίου (Parveen, 2004). Το κάδμιο σε υψηλές συγκεντρώσεις προκαλεί συμπτώματα τοξικότητας στα μορφολογικά χαρακτηριστικά του σιταριού, σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις το μήκος του ελάσματος και της ρίζας σταδιακά μειώνεται, ενώ είναι εμφανής η τοξικότητα του Cd^{2+} στην ανάπτυξη, την παραγωγή βιομάζας, τα θρεπτικά στοιχεία, τη βιοσύνθεση χλωροφύλλης, την περιεκτικότητα σε άμυλο και διαλυτά σάκχαρα (Shukla *et al*, 2003).

Μόλυβδος (Pb): Ο Pb και ο Zn όταν εφαρμόζονται σε φυτά τομάτας *Lycopersicon esculentum* L. cv. Miliana, σε τοξικές συγκεντρώσεις, προκαλούν μία αισθητή καθυστέρηση στην προσβολή του ιού του μωσαϊκού του καπνού TMV (Tobacco Mosaic Virus), το οποίο μπορεί να οφείλεται σε συνεργιστική συμπεριφορά μεταξύ των βαρέων μετάλλων και των επιδράσεων του ιού (Shevchenko *et al*, 2004).

Νικέλιο (Ni): Το Ni μετακινείται εύκολα στους φυτικούς ιστούς σποροφύτων αραβοσίτου. Στα κύτταρα, ο πρωτοπλάστης εμφανίζει τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε Ni σε σχέση με το κυτταρικό τοίχωμα. Σε συγκεντρώσεις 15, 20, 25, and 35 μM $Ni(NO_3)_2$ και 3 mM $Ca(NO_3)_2$, το Ni προκαλεί σημαντική μείωση στη διακλάδωση των ριζών των σποροφύτων, λόγω αυξημένης συγκέντρωσής του στο περικύκλιο και την ενδοδερμίδα της ρίζας (Seregin, *et al*, 2003).

Χαλκός (Cu): Ο Cu σε συνδυασμό με τα βαρέα μέταλλα Cd και Pb σε συγκεντρώσεις 20 μM Cu, 20 και 50 μM Cd, and 1 000 μM Pb μειώνουν τη ξηρή ουσία σε φυτά κολοκυθίου κατά 50-60 %, ενώ η εφαρμογή 50 M Cu κατά 30%. Παρ' όλα αυτά, η φωτοσυνθετική αναλογία και η αγωγιμότητα των στοματίων στα φύλλα σε 50 μM Cu ή Cd μειώνεται επίσης κατά 50-60 %, ενώ ο Cu εμφανίζεται τοξικότερος σε σχέση με το Cd και τον Pb για τη φωτοσύνθεση στα φύλλα των φυτών κολοκυθιάς (Burzyski, *et al*, 2004).

Μελετώντας την επίδραση διαφόρων δόσεων (0,001-3 g/l) Ag, Cd, Pb, Zn, Cu, Tl, Co και Hg, στην ανάπτυξη σποροφύτων αραβοσίτου (*Zea mays* L.) που είχαν ανάπτυξη 2 ημερών, διαπιστώθηκε ότι τα βαρέα μέταλλα ασκούν μια γενική επιβράδυνση στην ανάπτυξη των φυτών. Συγκεκριμένα, η τοξικότητα των βαρέων μετάλλων εξακριβώθηκε με την παρεμπόδιση της αύξησης των ριζών σε διάστημα τριών ημερών, την αλλαγή στο μήκος της

ζώνης των πλευρικών ριζών και τη διάρκεια ανάπτυξης των πλευρικών ριζών από την πρώτη διαίρεση έως το στάδιο εμφάνισης.

3.11 Ο ρόλος και η επίδραση των βαρέων μετάλλων στον άνθρωπο

Αρκετά από τα βαρέα μέταλλα (κυρίως Fe, Zn, Mn, Cu, Mo) ανήκουν στην ομάδα των ιχνοστοιχείων που είναι τόσο απαραίτητα για τον άνθρωπο όσο και οι γνωστές θρεπτικές ουσίες, βιταμίνες και πρωτεΐνες. Τα στοιχεία λοιπόν αυτά αποτελούν βασικά συστατικά του ανθρώπινου οργανισμού και είναι απαραίτητα στη διατροφή του.

Για πολλά χρόνια ο ρόλος των ιχνοστοιχείων ήταν σαφώς παραγνωρισμένος. Πίστευαν, ότι μόνο τα στοιχεία Ca, P, K και Na, τα οποία υπήρχαν σε μεγάλες ποσότητες ήταν απαραίτητα για τη ζωή. Ο πρώτος που υποψιάστηκε και υπέδειξε τη σπουδαιότητά τους για την ισορροπία των φυτικών και ζωικών οργανισμών ήταν ο Γάλλος Gabriel Bertrand. Η εκτίμηση της συμβολής τους στην υγεία του ανθρώπου δεν άρχισε παρά μόνο τις παραμονές του Β' Παγκοσμίου Πολέμου με τις εργασίες του δόκτορος Menetrier. Ο Γάλλος αυτός ερευνητής απέδειξε ότι κάθε έλλειψη ή ανεπάρκεια ιχνοστοιχείου προκαλεί μικρά ή μεγάλα προβλήματα στον ανθρώπινο οργανισμό. Τα ιχνοστοιχεία που χρειάζεται περισσότερο ο ανθρώπινος οργανισμός είναι ο Zn, το Cr, ο Fe και το Mn (Παπαγεωργίου Μελομένη, 1998).

Στη συνέχεια αναφέρονται ορισμένα βαρέα μέταλλα καθώς και οι θετικές τους επιδράσεις στον ανθρώπινο και ζωικό οργανισμό.

Ψευδάργυρος (Zn): Συμμετέχει στην ανάπτυξη, στις ορμονικές λειτουργίες, στη διαδικασία της αναπαραγωγής και στην καλή λειτουργία του ανοσοποιητικού συστήματος. Η ανεπάρκειά του μειώνει την αντίσταση του οργανισμού στις μικροβιακές και ιογενείς λοιμώξεις. Συμπτώματα έλλειψής του μπορεί να είναι: μειωμένη όρεξη, υψηλές τιμές της ολικής και της LDL χοληστερίνης στο αίμα και χαμηλές τιμές της HDL χοληστερίνης. Για το λόγο αυτό η ανεπάρκεια ψευδαργύρου αυξάνει τον κίνδυνο καρδιαγγειακών παθήσεων. Έχει επίσης αποδειχθεί ότι επιδρά στη ρύθμιση των επιπέδων σακχάρου στο αίμα, γι' αυτό και οι ομοιοπαθητικοί γιατροί το χρησιμοποιούν σε προδιαβητικές καταστάσεις (Παπαγεωργίου Μελομένη, 1998).

Τοξικά βαρέα μέταλλα, όπως ο μόλυβδος (Pb), το κάδμιο (Cd), ο υδράργυρος (Hg) και το αρσενικό (As) υπάρχουν παντού στο περιβάλλον. Ο άνθρωπος εκτίθεται σε αυτά τα μέταλλα από διάφορες πηγές, στις οποίες συμπεριλαμβάνονται ο αέρας, το νερό, το έδαφος και η τροφή. Πρόσφατες μελέτες δείχνουν ότι τα μεταβατικά στοιχεία δρουν καταλυτικά στις οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις των βιολογικών μακρομορίων, συνεπώς οι τοξικότητες που

συνδέονται με αυτά τα μέταλλα ίσως να προέρχονται από οξειδωτική καταστροφή των ανθρώπινων ιστών. Τα οξειδοαναγωγικά μέταλλα, όπως ο σίδηρος (Fe), ο χαλκός (Cu) και το χρώμιο (Cr) υφίστανται οξειδοαναγωγή, επειδή τα μη οξειδοαναγωγικά μέταλλα όπως ο μόλυβδος (Pb), το κάδμιο (Cd), ο υδράργυρος (Hg) κ.α., μειώνουν τη δράση των αντιοξειδωτικών που βρίσκονται στα κύτταρα, καθώς επίσης και των ενζύμων. Τα κύτταρα υπό την επίδραση οξειδωτικού στρες εμφανίζουν διάφορες δυσλειτουργίες, λόγω κακώσεων που οφείλονται στην επίδραση των χημικών ενώσεων HO^\cdot , $\text{O}_2^\cdot^-$ και H_2O_2 στα λιπίδια, στις πρωτεΐνες και στο DNA. Συνεπώς, το οξειδωτικό στρες που λαμβάνει χώρα στα κύτταρα και σχετίζεται με τα βαρέα μέταλλα, μπορεί να είναι υπεύθυνο για τα φαινόμενα τοξικότητας των βαρέων μετάλλων στον άνθρωπο (Ercal, *et al*, 2001).

Κάδμιο (Cd): Η έκθεση σε κάδμιο από το περιβάλλον μπορεί να οδηγήσει σε μαλάκυνση των οστών, ασθένεια άμεσα συνδεδεμένη με τη νεφρική ανεπάρκεια. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ασθένεια 'Itai - Itai' και ήταν ενδημικό του πληθυσμού της Ιαπωνίας. Η έκθεση σε κάδμιο από το περιβάλλον συνδέεται με μια αυξημένη μείωση της πυκνότητας των οστών και στα δύο φύλα, η οποία οδηγεί σε οστεοπόρωση (κυρίως στις γυναίκες) και σε υψηλό κίνδυνο καταγμάτων κυρίως σε άτομα μεγάλης ηλικίας (Zhu, *et al*, 2004). Επίσης, η χρόνια έκθεση σε κάδμιο από το περιβάλλον, μπορεί να συσχετισθεί με βλάβες στον προστάτη των ανδρών (Zeng, *et al*, 2004).

Το κάπνισμα αποτελεί την υψηλότερη πηγή καδμίου. Σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες, μπορεί να προκληθούν σοβαρά προβλήματα υγείας (όπως βλάβες στα νεφρά και κατάγματα στα κόκαλα), ακόμη και σε χαμηλά επίπεδα έκθεσης καδμίου (Lars, 2003).

Νικέλιο (Ni): Το Ni και το Co, με τις μορφή μείγματος NiCl_2 και CoCl_2 , δρουν συνεργιστικά και έχουν αρνητικές επιδράσεις στην βιωσιμότητα των κυττάρων στον άνθρωπο και δημιουργούν επιπλοκές κατά την αναπνοή (Cross, *et al*, 2001).

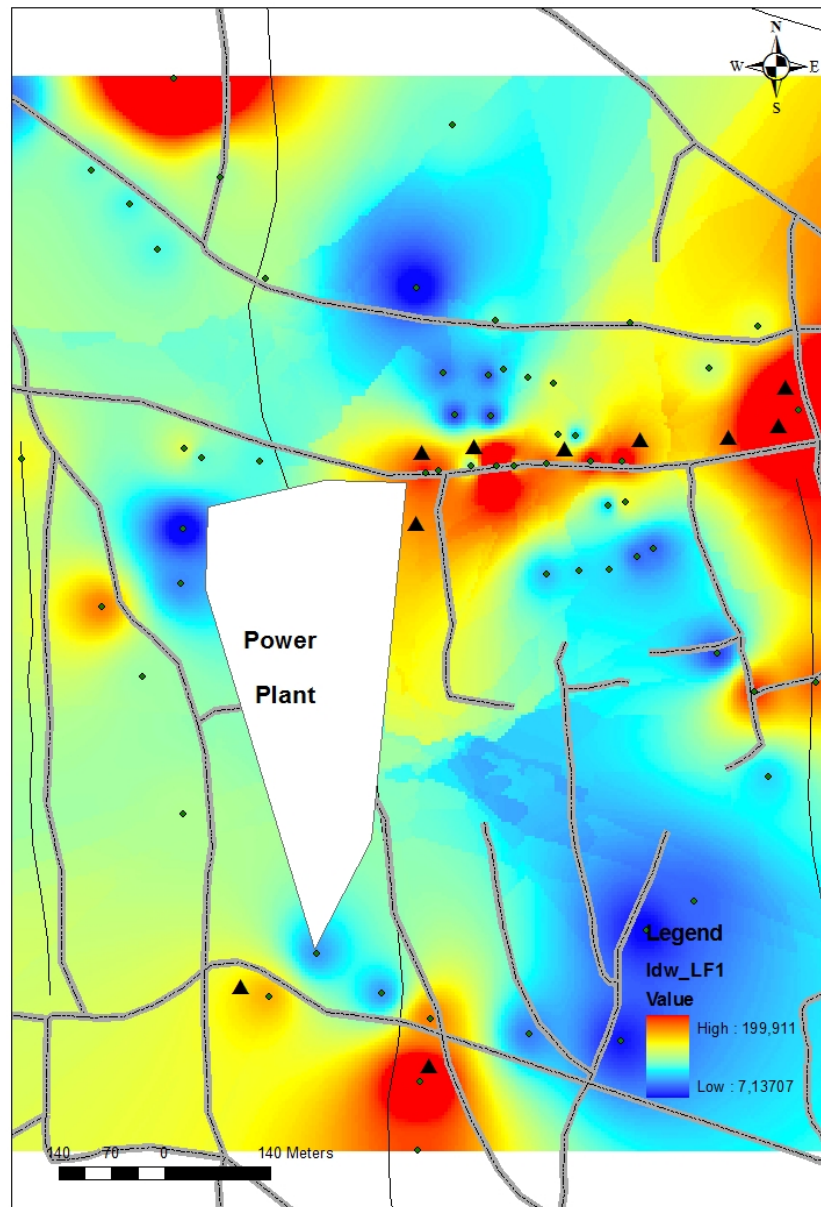
Μόλυβδος (Pb): Ο Pb, μια πιθανή καρκινογόνος ουσία, βρίσκεται στο περιβάλλον και απειλεί την ανθρώπινη υγεία. Ο τοξικός μόλυβδος μπορεί να διαφοροποιήσει το ανοσοποιητικό σύστημα τόσο των ανθρώπων όσο και των ζώων και σε κάποιες περιπτώσεις είναι εξαιρετικά ευαίσθητο σε σχέση με άλλους τοξικούς παράγοντες (Singh, 2003).

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΘΕΡΜΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΒΑΘΟΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ ΤΗΣ ΔΕΗ ΧΑΝΙΩΝ

4.1 Περιγραφή της μεθοδολογίας εκπόνησης της παρούσας εργασίας

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε ως εξής:

1. Αναζήτηση βιβλιογραφίας που να σχετίζεται με τον θερμομαγνητισμό.
2. Επιλογή της περιοχής έρευνας (στην παρούσα περίπτωση είναι ο υποσταθμός της ΔΕΗ του Δήμου Χανίων, που βρίσκεται στη περιοχή της Ξυλοκαμάρας και η συλλογή οτιδήποτε πληροφοριών αφορούν την περιοχή). Στο σχήμα 4.1 παρουσιάζεται το οδικό δίκτυο της εξεταζόμενης περιοχής, η θέση του υποσταθμού της ΔΕΗ και τα σημεία δειγματοληψίας.
3. Πυρηνοληψίες σε επιλεγμένες θέσεις και αποθήκευση σε πλαστικές σακούλες.
4. Μεταφορά στο εργαστήριο όπου ξεκινάμε την διαδικασία της ταξινόμησης κατά αύξοντα αριθμό δείγματος εδάφους και στην συνέχεια κοσκινίζουμε τα δείγματα, χωρίς την παρουσία μεταλλικών αντικειμένων.
5. Προσδιορισμός των καμπύλων θέρμανσης και ψύξης
6. Εξομάλυνση των καμπύλων και στατιστική επεξεργασία με στόχο να προκύψει το μοντέλο της περιοχής.



Σχήμα 4.1 Χάρτης κατανομής της επιφανειακής μαγνητικής επιδεκτικότητας γύρω από τον υπόσταθμο. Οι θέσεις των πυρηνοληψιών απεικονίζονται με τα μαύρα τρίγωνα.

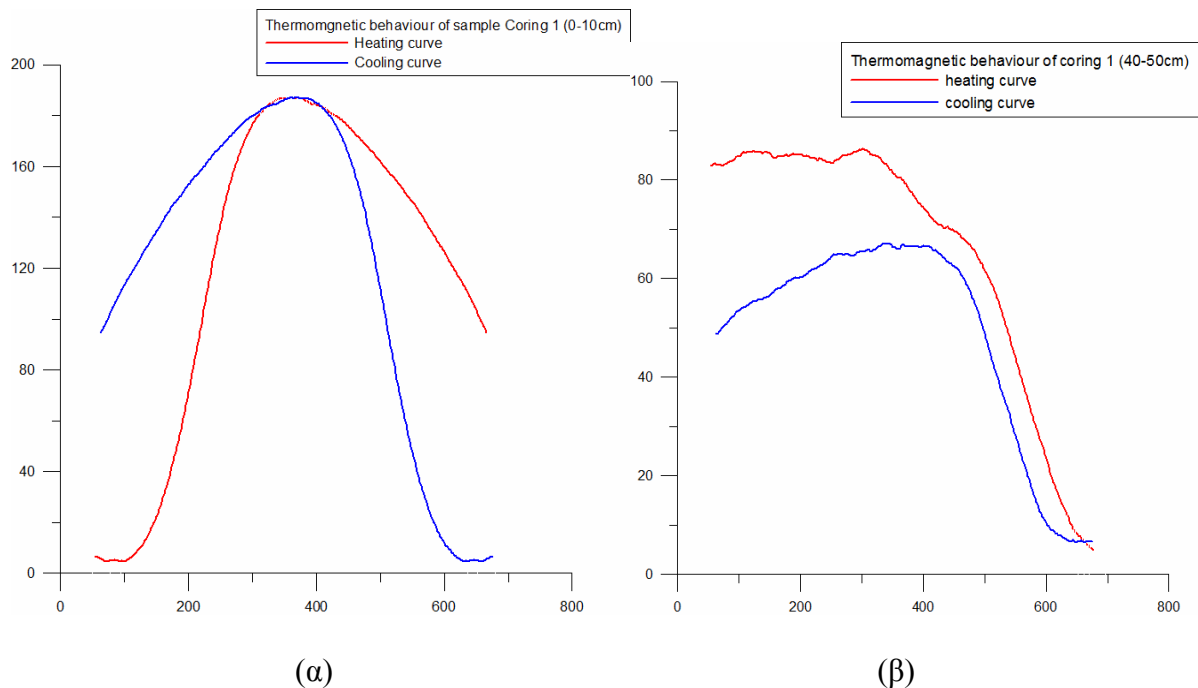
4.2 Τα μαγνητικά ορυκτά

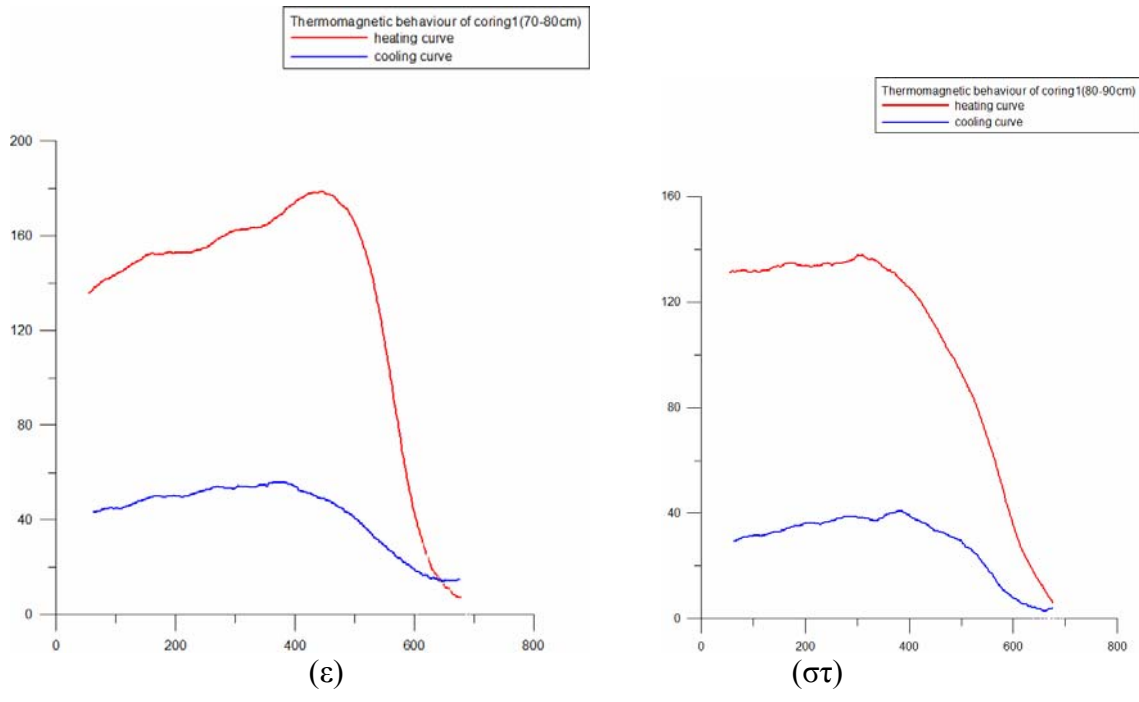
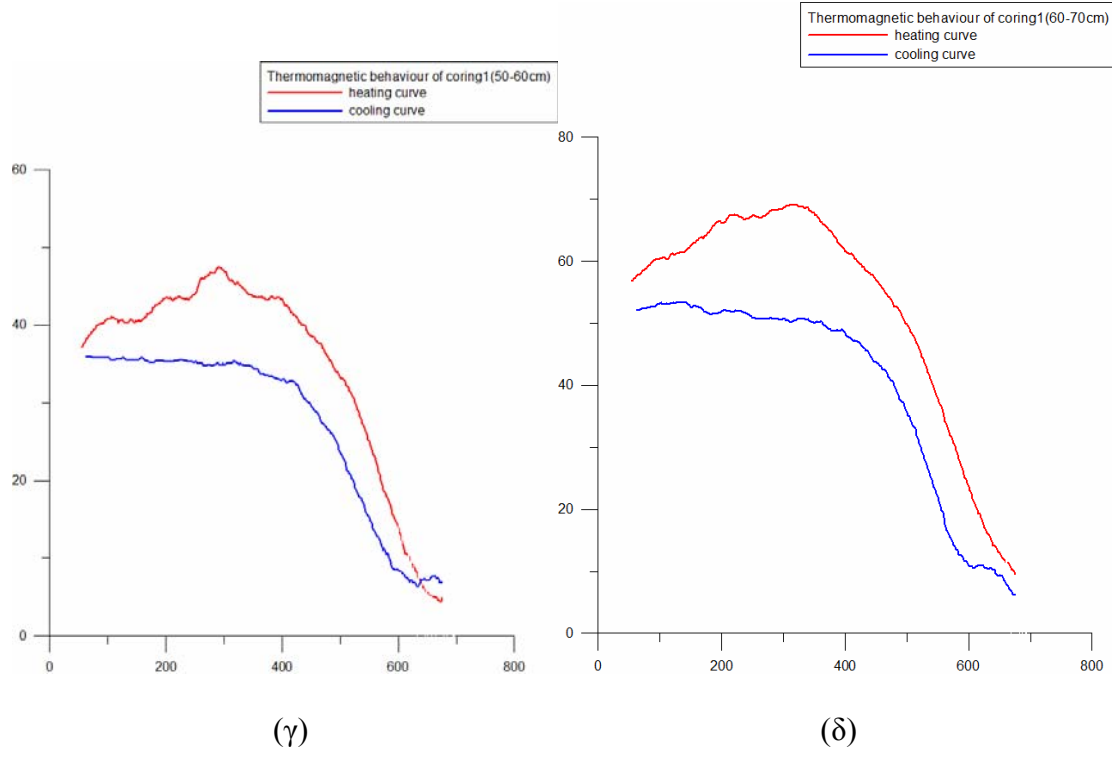
Η παρουσία των μαγνητικών ορυκτών, η συγκέντρωσή τους και το μέγεθός τους στα ιζήματα των ποτάμιων και λιμναίων ιζημάτων, εξαρτάται από τις συνθήκες απόθεσης των ιζημάτων αλλά και τις μετα-αποθετικές διεργασίες. Το αλλογενές κλάσμα στα ιζήματα έχει ως πηγές τροφοδοσίας την λεκάνη απορροής και τον άνεμο, που μεταφέρουν διάφορα μαγνητικά ορυκτά (οξειδία του σιδήρου: μαγνητίτη (Fe_3O_4), μαγκεμίτη ($\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$), αιματίτη (α

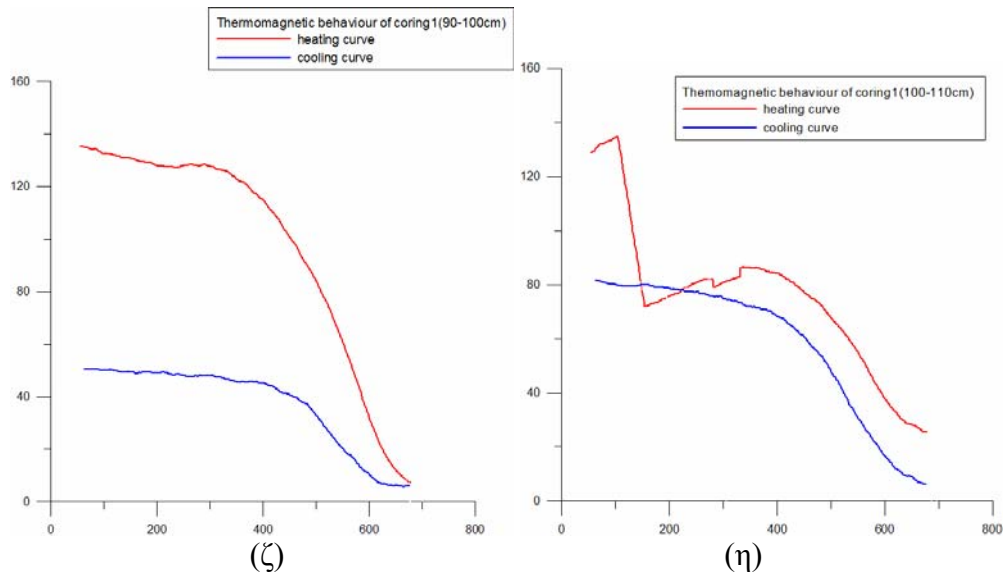
Fe_2O_3) και υδροξείδια του σιδήρου όπως γκαϊτίτη (FeOOH). Επίσης μεταφέρονται παραμαγνητικά (σιδηρούχοι άργιλοι) υλικά και διαμαγνητικά υλικά (Ca/Mg ανθρακικά άλατα, χαλαζία οργανικό υλικό κ.λ.π). Οι μετα-αποθετικές διεργασίες περιλαμβάνουν διάλυση των σιδηρούχων ορυκτών, την παραγωγή σουλφιδίων του σιδήρου (π.χ. γκραιγκίτης- $\text{greigite-Fe}_3\text{S}_4$ και πυρίτης FeS_2), οξειδίων (μαγνητίτης), ανθρακικών αλάτων (σιδηρίτης- FeCO_3) και των ένυδρων φωσφορικών ορυκτών (όπως βιβιανίτης- $\text{vivianite (Fe}_3(\text{PO}_4)_2\cdot 8\text{H}_2\text{O}$). Τα παραπάνω ορυκτά αποτελούν δείκτες για τις περιβαλλοντικές και κλιματικές μεταβολές στα ηπειρωτικά υδάτινα περιβάλλοντα και ένας από τους τρόπους ανίχνευσης τους αποτελεί και ο θερμομαγνητισμός.

4.3 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων

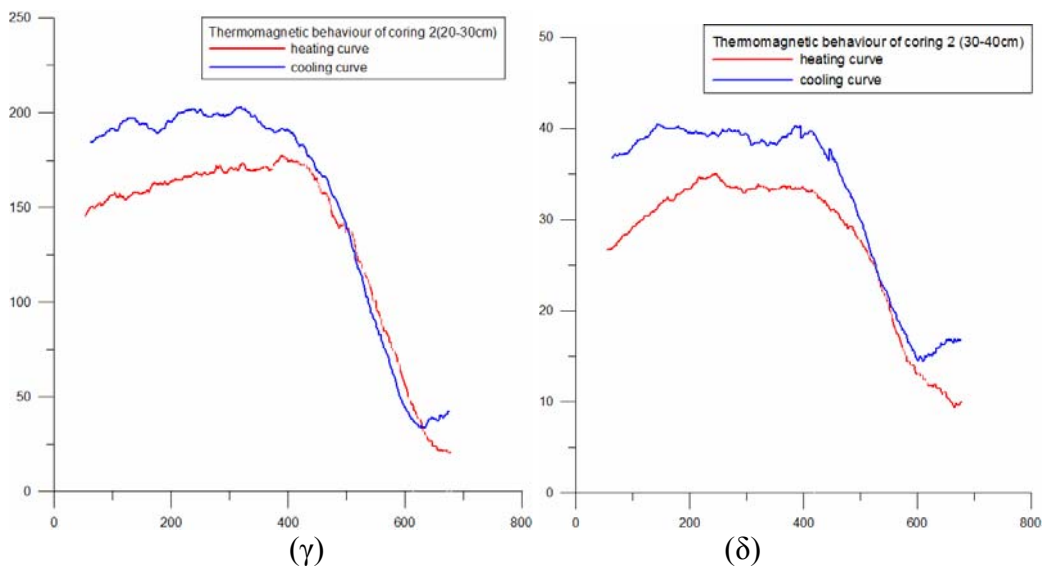
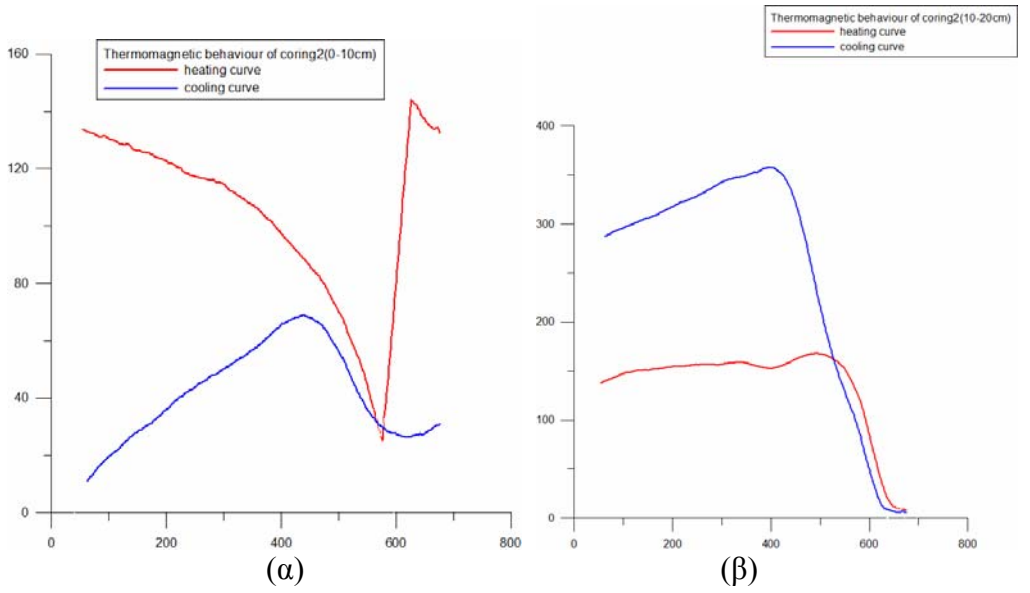
Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται οι καμπύλες θέρμανσης και ψύξης από από 7 πυρηνοληψίες ανά 10 cm βάθος.

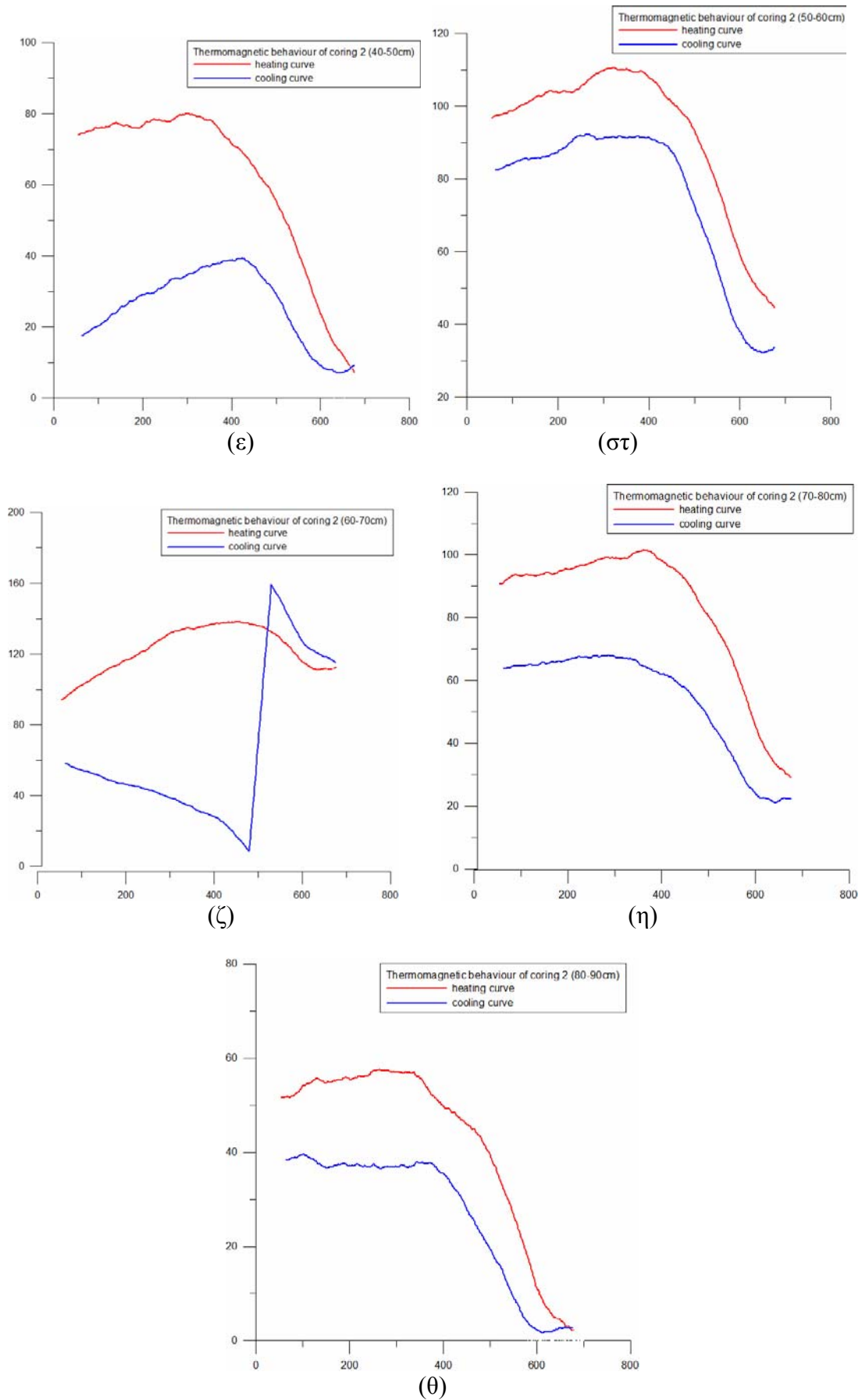




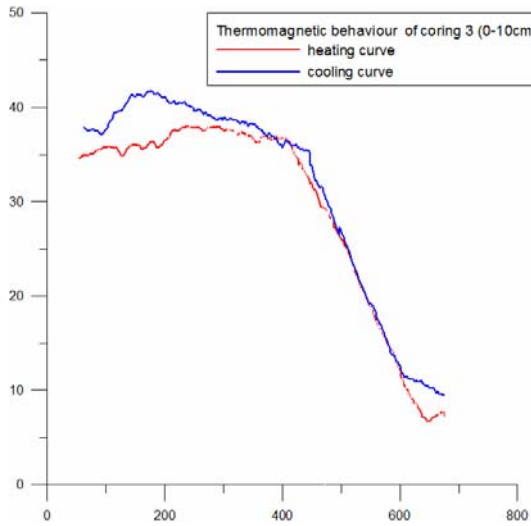


Σχήμα 4.2 Πυρηνοληψία 1- α-η, Θερμομαγνητικές καμπύλες

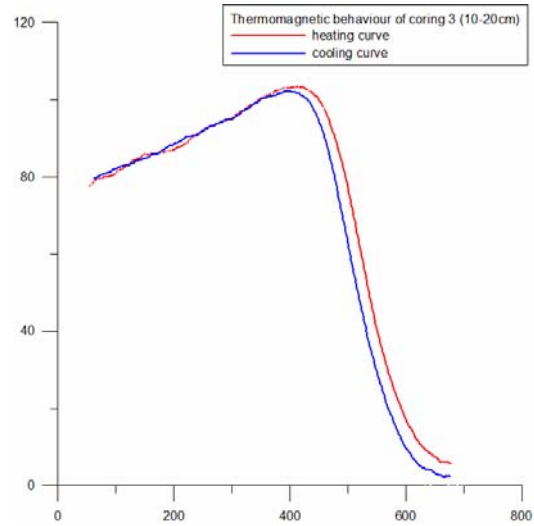




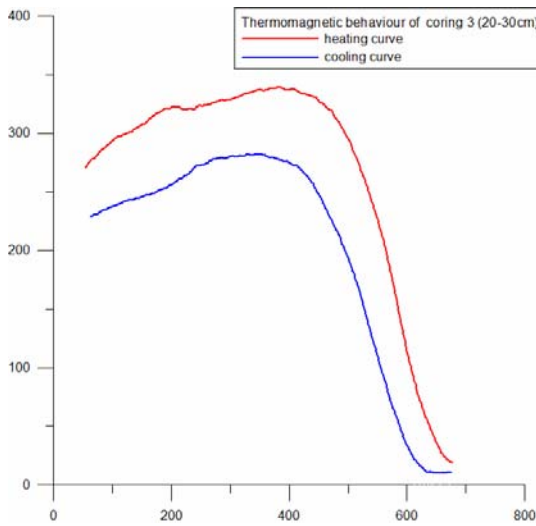
Σχήμα 4.3 Πυρηνοληψία 2- α-θ, Θερμομαγνητικές καμπύλες



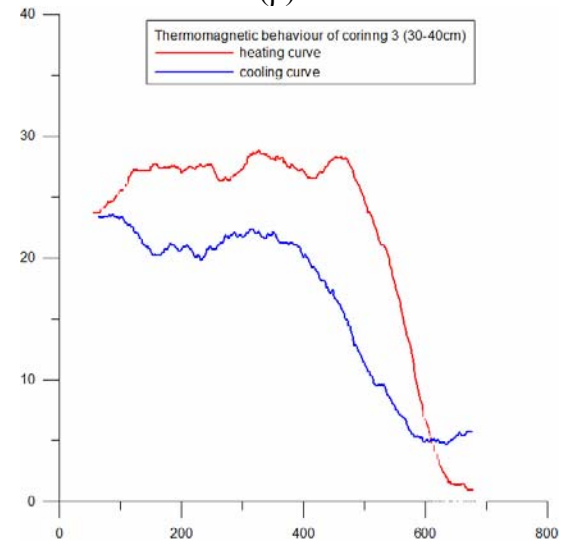
(α)



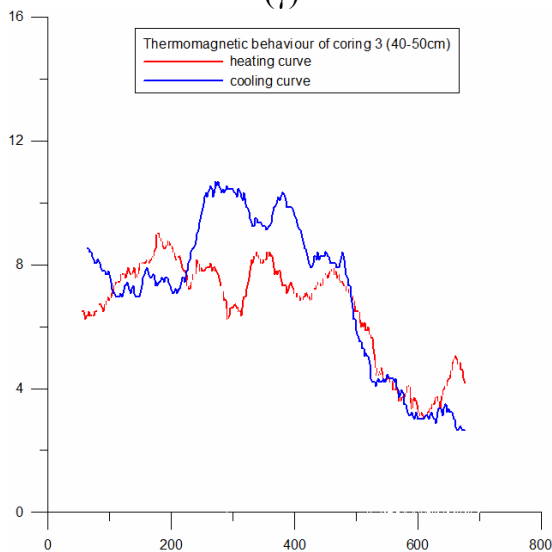
(β)



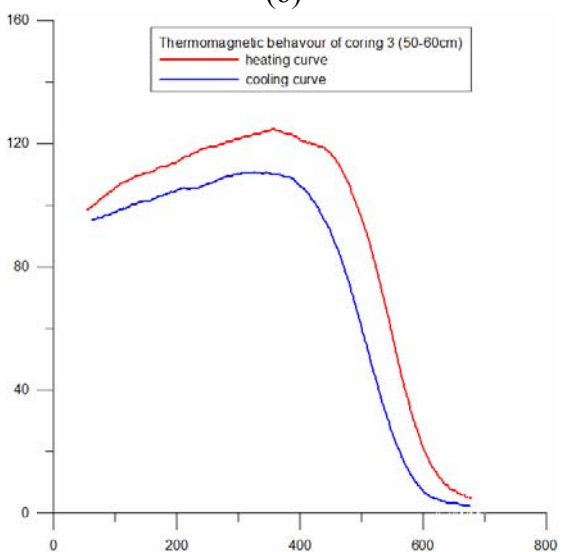
(γ)



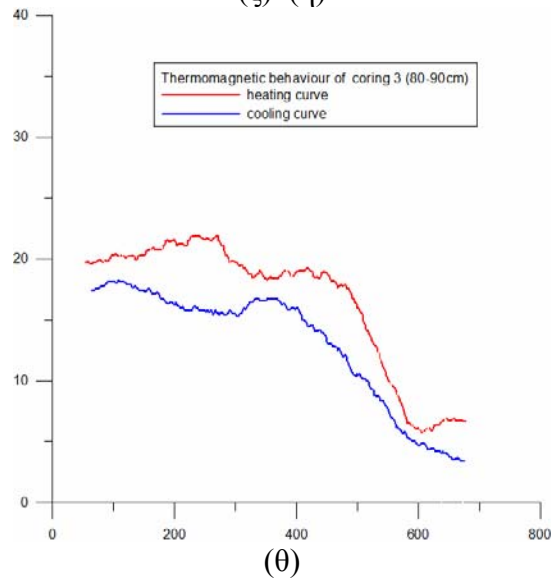
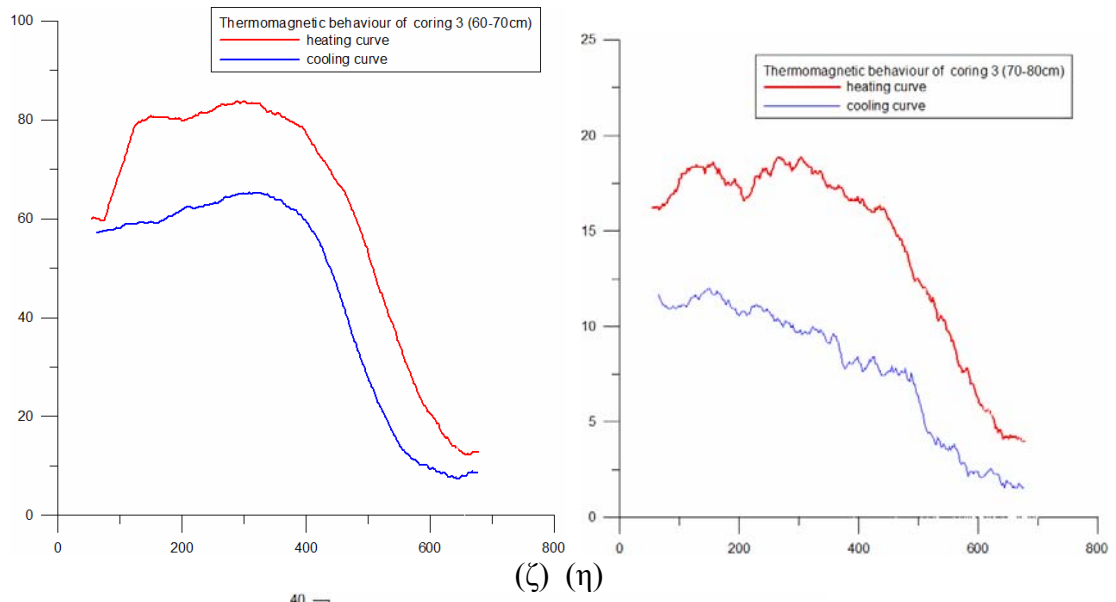
(δ)



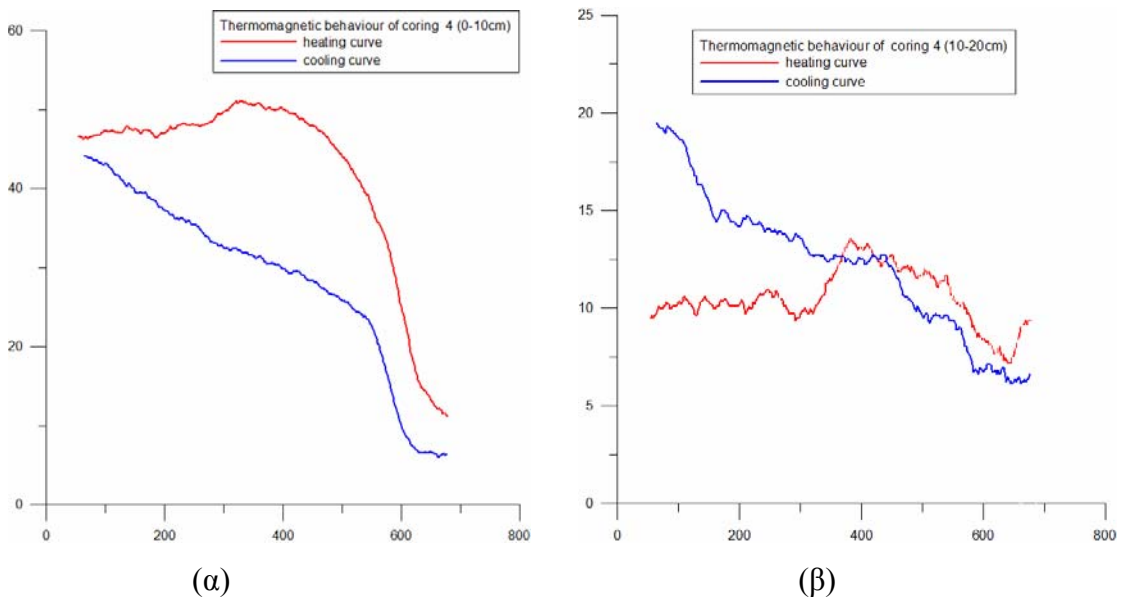
(ε)

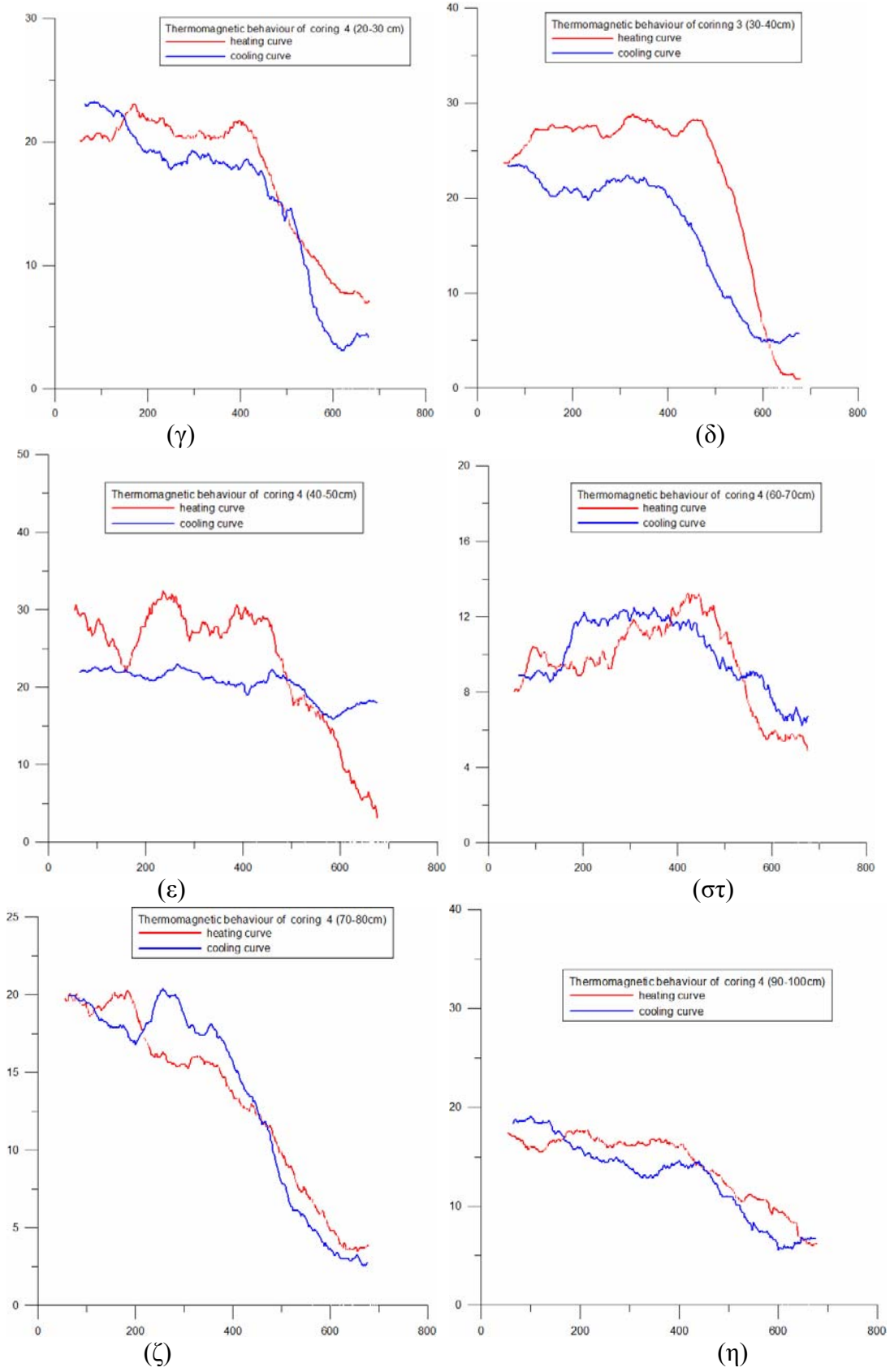


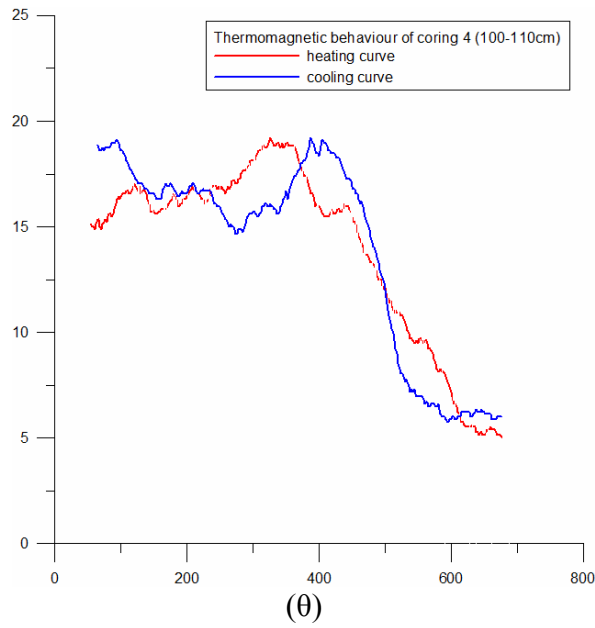
(στ)



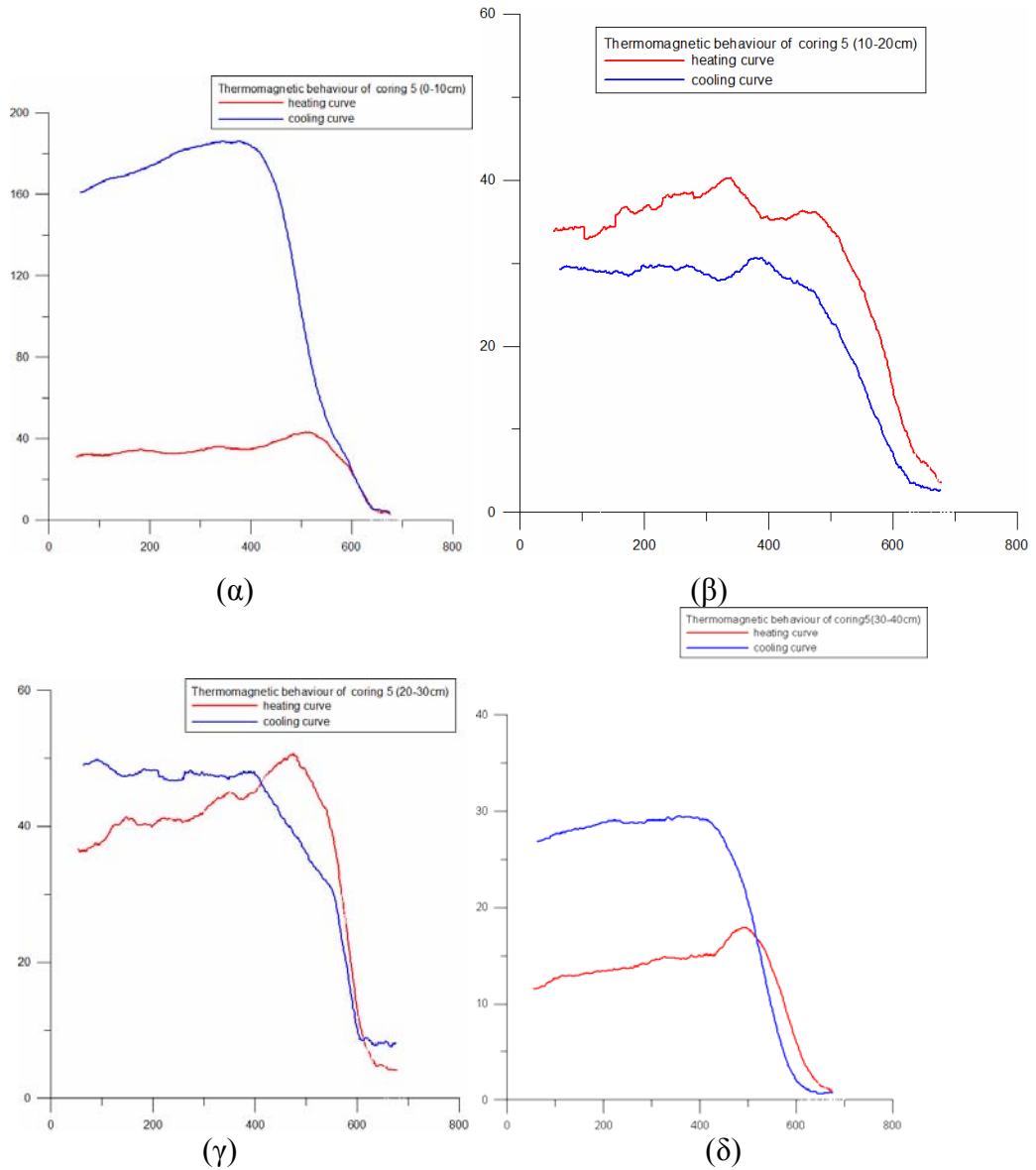
Σχήμα 4.4 Πυρηνοληψία 3 α-θ, Θερμομαγνητικές καμπύλες

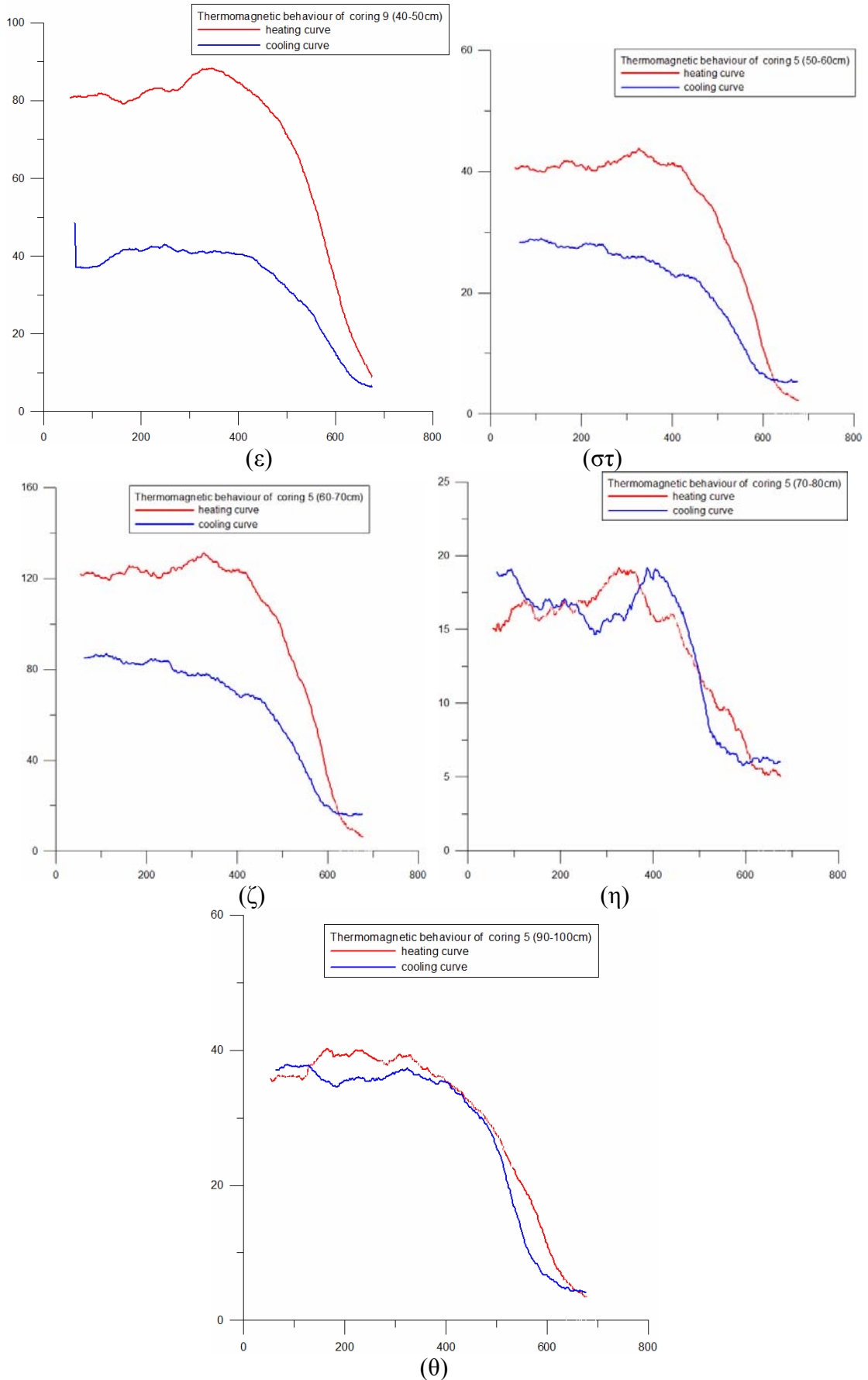




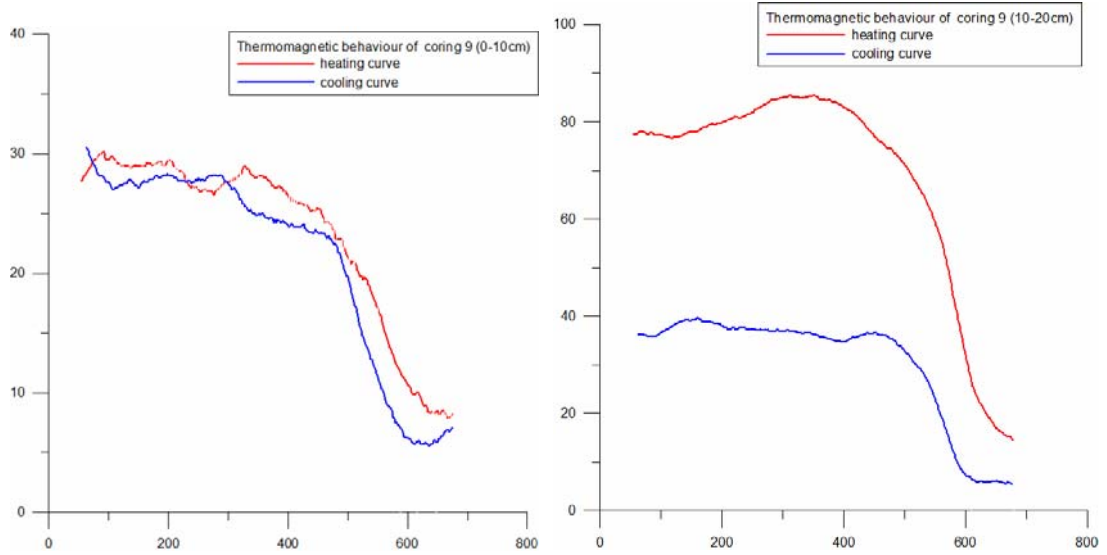


Σχήμα 4.5 Πυρηνοληψία 4 α-θ Θερμομαγνητικές καμπύλες



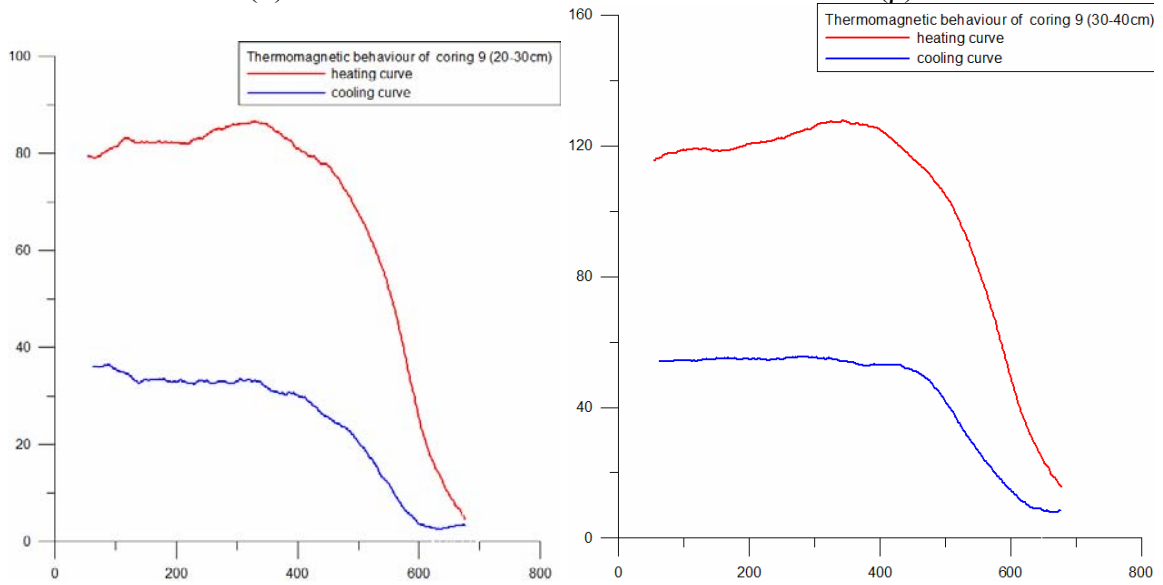


Σχήμα 4.6 Πυρηνοληψία 5 α-θ Θερμομαγνητικές καμπύλες



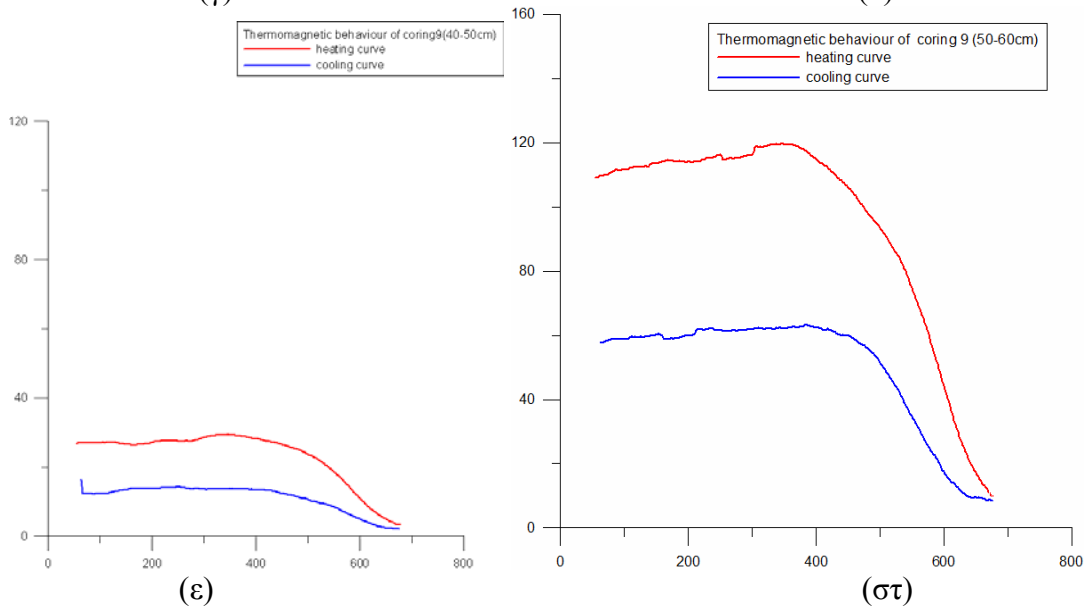
(α)

(β)



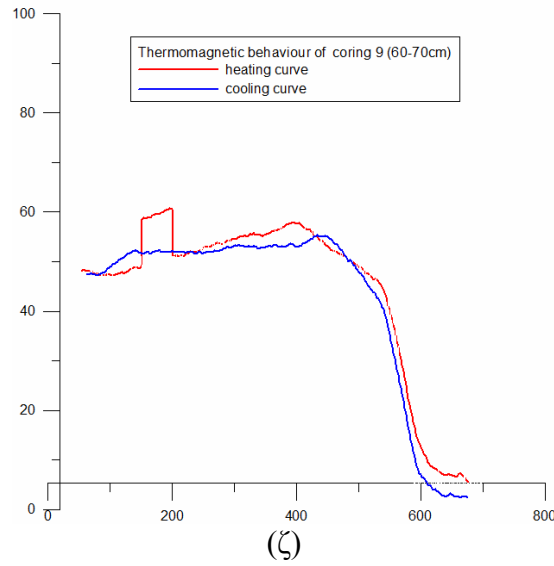
(γ)

(δ)

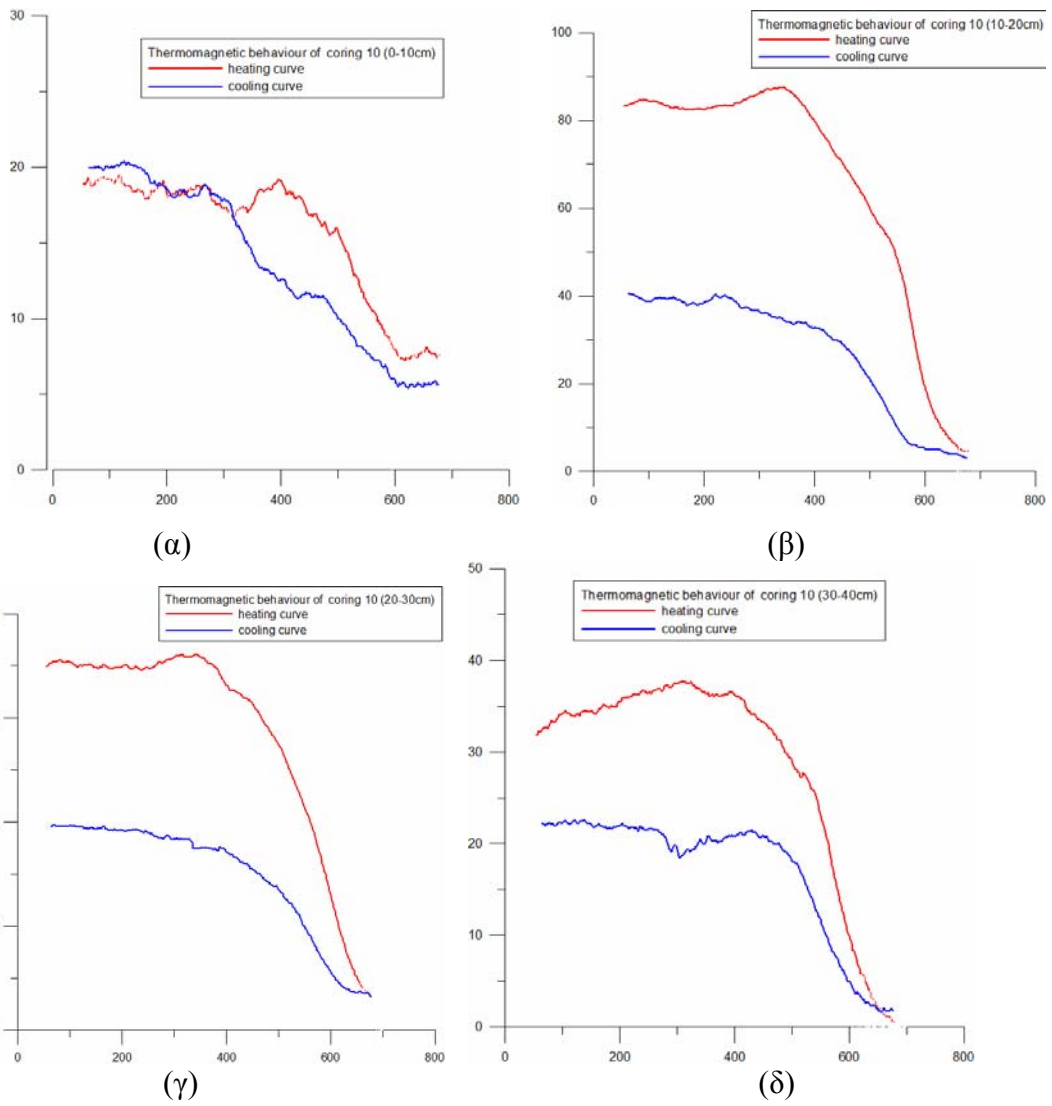


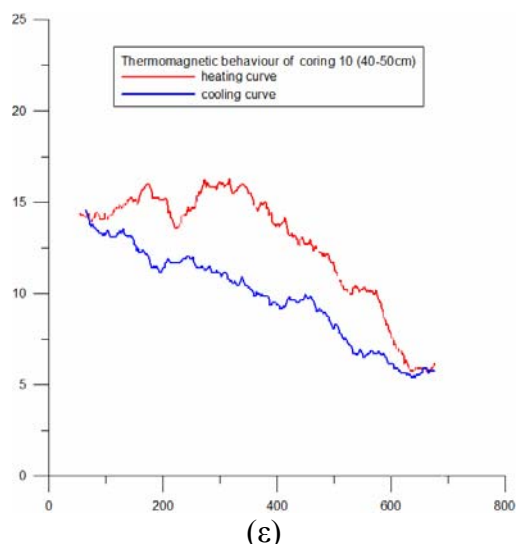
(ε)

(σ)



Σχήμα 4.7 Πυρηνοληψία 9 α-ζ Θερμομαγνητικές καμπύλες





Σχήμα 4.8 Πυρηνοληψία 10 α-ε Θερμομαγνητικές καμπύλες

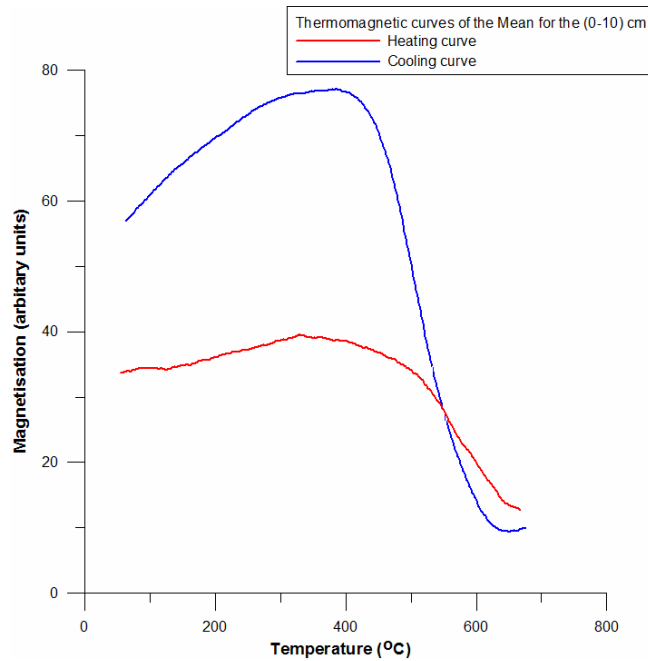
4.4 Θερμομαγνητικό πρότυπο

Τα θερμομαγνητικά διαγράμματα που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη παράγραφο παρέχουν αρκετή πληροφορία για την εκάστοτε πυρηνοληψία. Όμως στόχος είναι να προκύψει ένα γενικότερο πρότυπο για την περιοχή. Για το λόγο αυτό, κατασκευάστηκαν τα θερμομαγνητικά διαγράμματα της μέσης τιμής μαγνήτισης ανά 10 εκατοστά. (σχ. 4.9 έως 4.17). Τρεις χαρακτηριστικοί τύποι συμπεριφοράς εντοπίστηκαν κατά τα πειράματα του θερμομαγνητισμού.

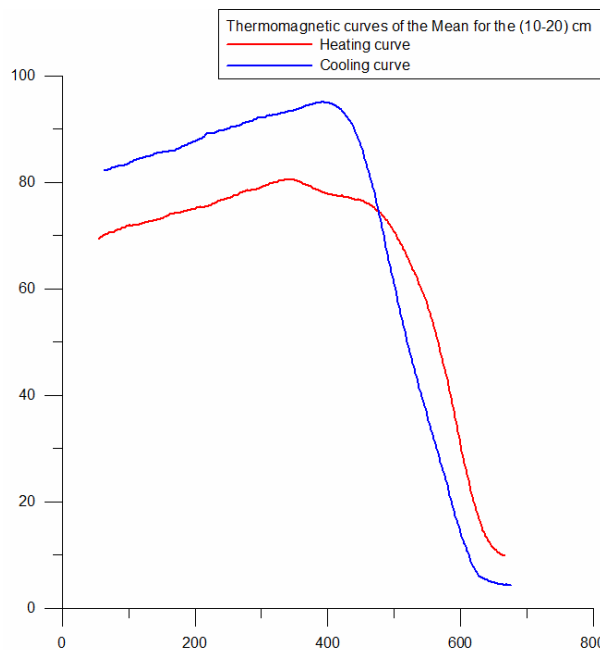
1. Από την επιφάνεια και μέχρι τα 10 εκατοστά βάθος η θερμομαγνητική συμπεριφορά των ιζημάτων είναι παρόμοια με την τυπική θερμομαγνητική συμπεριφορά του μαγνητίτη ή του μαγκεμίτη. Δηλαδή παρουσιάζουν σταδιακή μείωση της μαγνήτισης τους μέχρι τους 700°C, αλλά κατά την διάρκεια της ψύξης παρατηρείται μια αύξηση της μαγνήτισης κάτω από τους 580°C, που είναι η θερμοκρασία Curie του μαγνητίτη.
2. Από τα 10 έως τα 20 εκατοστά το υλικό παρουσιάζει πολύ ιδιαίτερη συμπεριφορά. Δηλαδή κατά την θέρμανση και μέχρι τους 300°C παρουσιάζει την τυπική συμπεριφορά παραμαγνητικού υλικού. Μετά τους 300°C εμφανίζεται αύξηση της μαγνήτισης μέχρι και τους 400°C, όπου συμβαίνει μια πρώτη μείωση της μαγνήτισης και στην συνέχεια μια δεύτερη μείωση στους 580°C. Κατά την ψύξη το υλικό παρουσιάζει αύξηση της μαγνήτισης κάτω από τους 580°C. Επομένως στους 300°C το υλικό από παραμαγνητικό γίνεται σιδηρομαγνητικό και αμέσως μετά μετασχηματίζεται σε μαγνητίτη. Τέτοια συμπεριφορά παρουσιάζουν τα μονοσουλφίδια του σιδήρου όπως ο γκρεγκίτης- greigite (Tric et al., 1991; Snowball,

1991; Hoffman, 1992; Roberts and Turner; 1993; Reynolds et al., 1994; Jelinowska et al. 1995) και ο σμυθίτης - smythite (Fe_9S_{11}) (Krs et al., 1992; Hoffman, 1993), τα οποία είναι ασταθή και μετασχητίζονται σε μαγνητίτη.

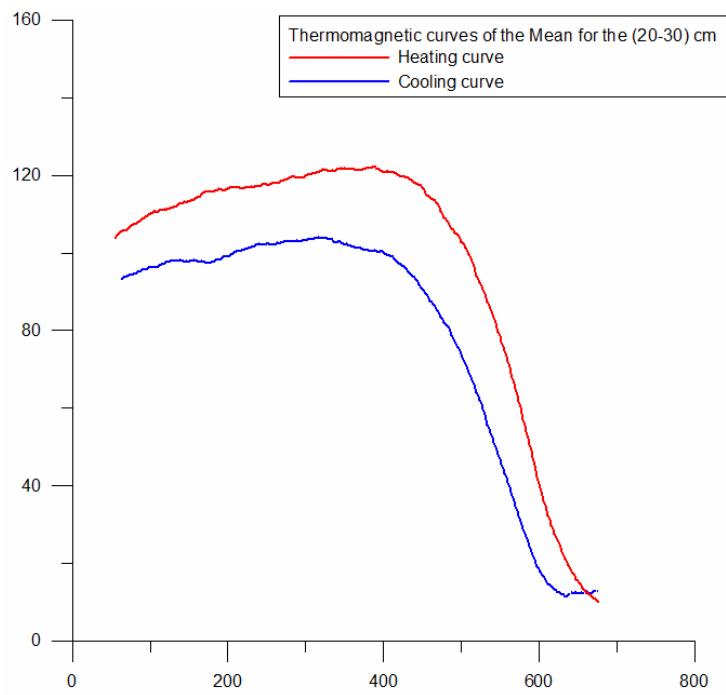
3. Οι θερμομαγνητική συμπεριφορά των ιζημάτων για βάθη μεγαλύτερα των 20 εκατοστών μπορεί γενικά να χαρακτηριστεί ως παραμαγνητική.



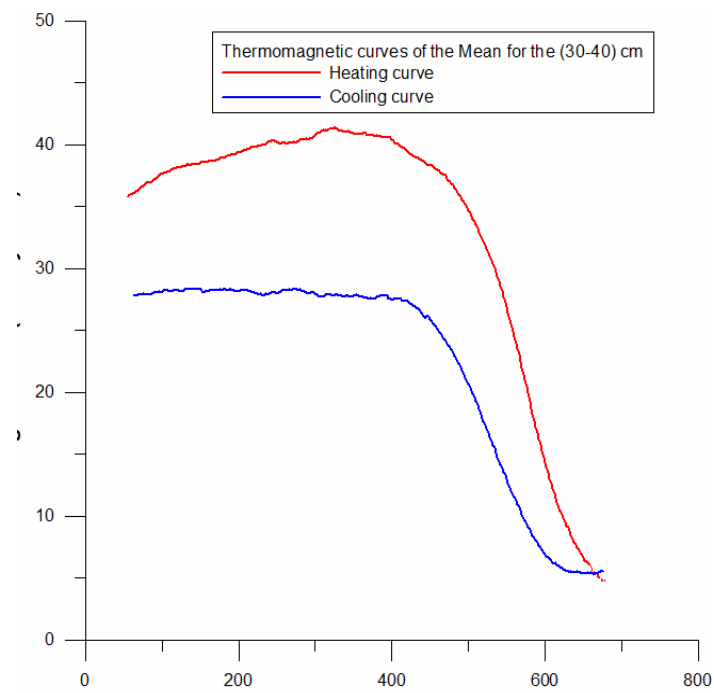
Σχήμα 4.9 Θερμομαγνητικό πρότυπο (μέση τιμή) για 0-10cm



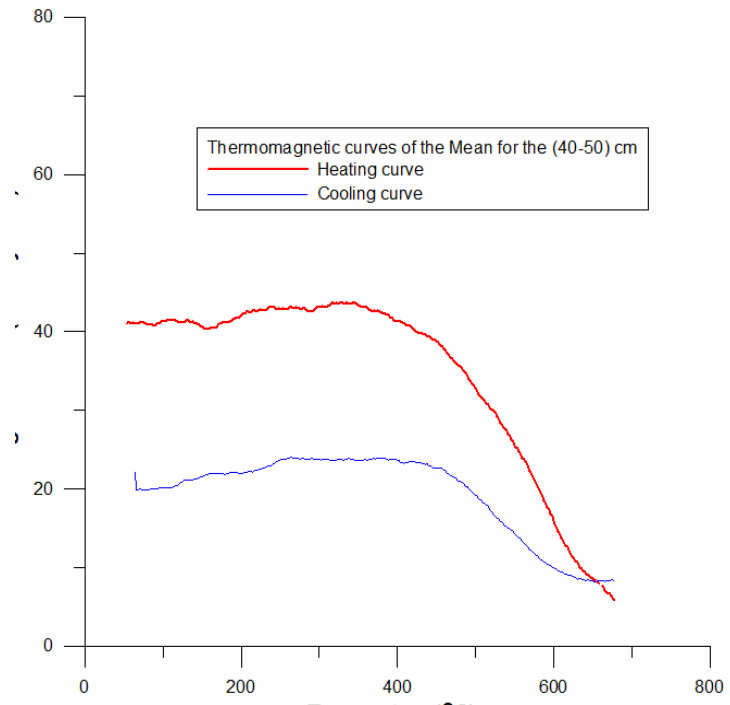
Σχήμα 4.10 Θερμομαγνητικό πρότυπο (μέση τιμή) για 10-20cm



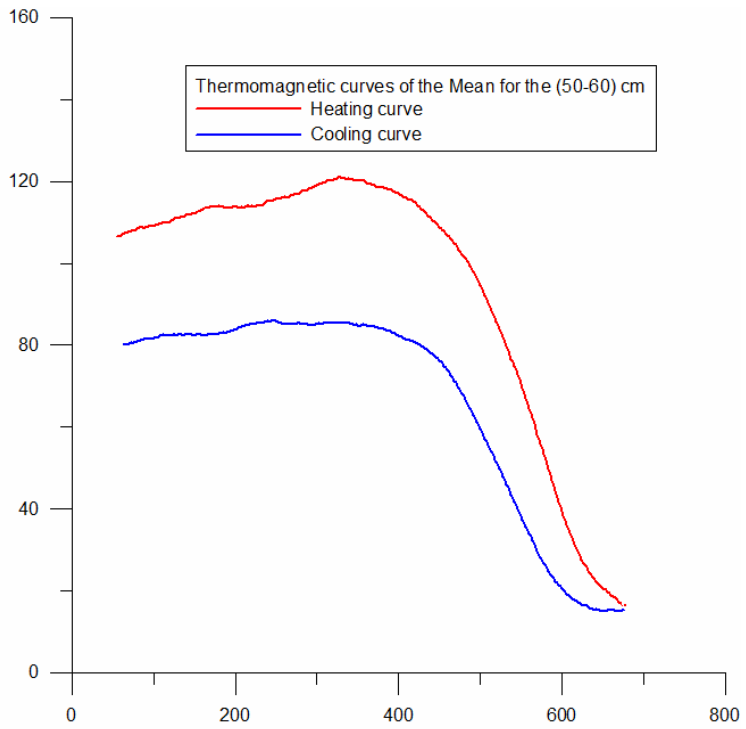
Σχήμα 4.11 Θερμομαγνητικό πρότυπο (μέση τιμή) για 20-30cm



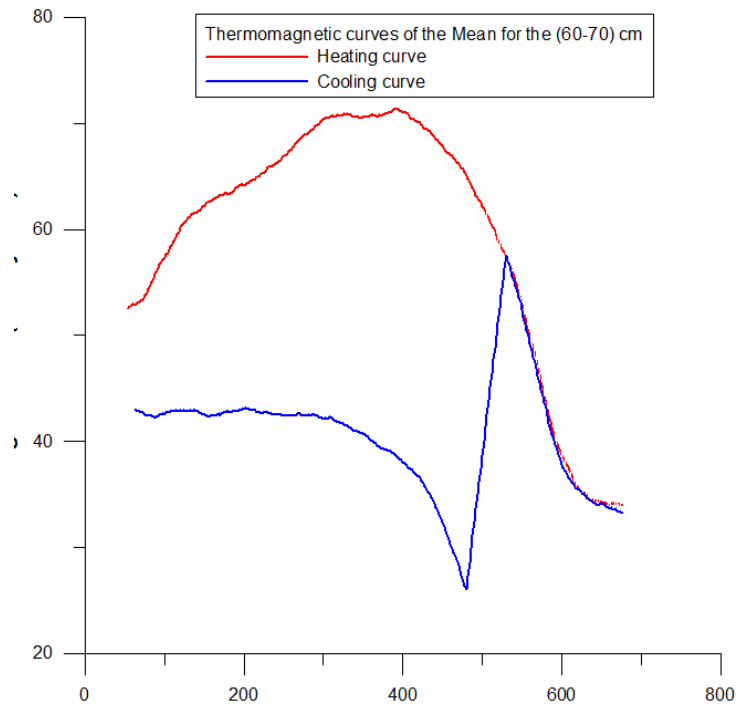
Σχήμα 4.12 Θερμομαγνητικό πρότυπο (μέση τιμή) για 30-40cm



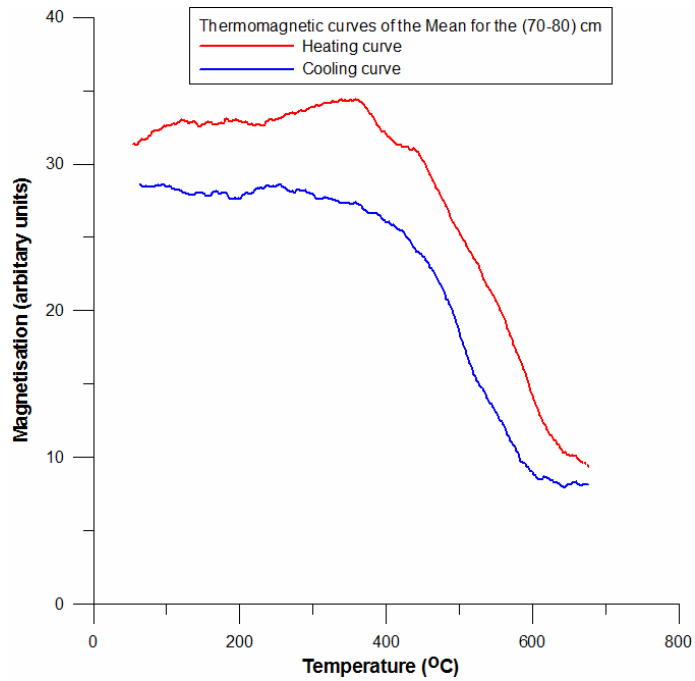
Σχήμα 4.13 Θερμομαγνητικό πρότυπο (μέση τιμή) για 40-50cm



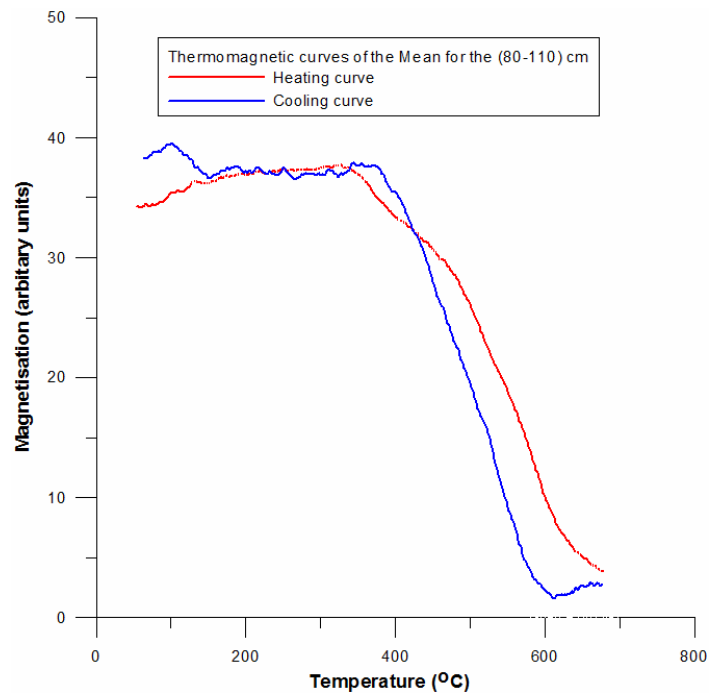
Σχήμα 4.14 Θερμομαγνητικό πρότυπο (μέση τιμή) για 50-60cm



Σχήμα 4.15 Θερμομαγνητικό πρότυπο (μέση τιμή) για 60-70cm



Σχήμα 4.16 Θερμομαγνητικό πρότυπο (μέση τιμή) για 70-80cm



Σχήμα 4.17 Θερμομαγνητικό πρότυπο (μέση τιμή) για 80-110cm

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1 Συμπεράσματα και αξιολόγηση της μεθοδολογίας

Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι να εξετάσει την εφαρμογή του θερμομαγνητισμού ως μεθοδολογία για την έρευνα σε περιοχές με υψηλά επίπεδα ρύπανσης. Η συγκεκριμένη μεθοδολογία εφαρμόστηκε στην περιοχή που βρίσκεται ο υποσταθμός της ΔΕΗ Χανίων, το έτος 2009. Έγιναν αρχικά δειγματοληψίες εδαφικού υλικού μέχρι βάθος 1 μέτρο κοντά στον υποσταθμό. Στην συνέχεια προσδιορίστηκαν οι καμπύλες θέρμανσης και ψύξης.

Με βάση τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες ενότητες προκύπτει το συμπέρασμα ότι υψηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων πιθανόν να εντοπίζονται στα 10 πρώτα εκατοστά από την επιφάνεια.

5.3 Προτάσεις

Με βάση την εμπειρία που συλλέχθηκε κατά την υλοποίηση της συγκεκριμένης εργασίας προτείνονται τα παρακάτω σε μία μελλοντική περιβαλλοντική επανεξέταση της περιοχής:

- Οι γεωχημικές αναλύσεις των δειγμάτων για τον εντοπισμό υψηλών συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων και ιδιαίτερα Pb κρίνονται απαραίτητες, προκειμένου να διαπιστωθεί ο συσχετισμός τους με την μαγνήτιση των ιζημάτων.
- Διενέργεια επί τόπου μετρήσεων μαγνητικής επιδεκτικότητας με τη χρήση των αισθητήρων MS2D και MS2F του μετρητικού συστήματος MS2 της Bartington, προκειμένου να συσχετιστούν με τις εργαστηριακές μετρήσεις και να ελαχιστοποιηθεί ο χρόνος που απαιτείται για την χαρτογράφηση της υπό μελέτη περιοχής.
- Αναλύσεις των δειγμάτων για την παραμένουσα μαγνήτιση προκειμένου να διερευνηθεί υπό ποια μορφή τα βαρέα μέταλλα προσροφώνται στο έδαφος.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Θεριός, Ι., 1996. Ανόργανη θρέψη και λιπάσματα. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Εκδόσεις Δεδούση, ISBN 960-7411-01-3.
2. Καράταγλης, Σ., 1999. Φυσιολογία Φυτών. Εκδόσεις Art of Text, ISBN 960-312-009-X.
3. Kiliyas, A., Fassoulas, C., Mountrakis, D., 1993, Tertiary extension of continental crust and uplift of Psiloritis metamorphic core complex at the central part of the Hellenic arc, Bull. Geol. Soc.Greece, XXVIII, 297-314.
4. Παπαγεωργίου, Μελπομένη, 1998. "Πέντε ιχνοστοιχεία που έχουμε ανάγκη", Περιοδικό Vita, τεύχος 10, σελ. 48.
5. Παπαδάκη, Αναστασία, 2003. Επίδραση εδαφοβελτιωτικών στη συγκέντρωση βαρέων μετάλλων στα φυτικά μέρη του ραπανιού (*Raphanus sativus*). Πτυχιακή διατριβή, ΣΤΕΓ, Τ.Ε.Ι. Ηρακλείου (αρ. πρωτ. 1492).
6. Ρουμπελάκη – Αγγελάκη, Καλλιόπη, 2003. Φυσιολογία Φυτών – από το μόριο στο περιβάλλον. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, ISBN 960-524-168-4.
7. Τσικαλάς, Π., 2003. Θρέψη φυτών – Γονιμότητα εδαφών. ΣΤΕΓ, Τ.Ε.Ι. Ηρακλείου.
8. Φουκαράκη, Σοφία 2005. Διακύμανση της συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων σε οργανικά υλικά ανάλογα με την τοποθέτησή τους στο έδαφος. Πτυχιακή διατριβή, ΣΤΕΓ, Τ.Ε.Ι. Ηρακλείου.
9. Fytrolakis, N., 1980, The geological structure of Crete: Problems, observations and conclusions, Habil. Thesis, Nat. Tech. Univ., Athens.
10. Alloway, B.J. (ed), 1990. Heavy metals in soils, Glasgow, *Blackie*, 1-339.
11. Bhathal, R.S. and Stacey F.D., 1969, Frequency independence of low field susceptibility of rocks, J. Geophys. Res. 74, 2025-7.
12. Boyko, T., Scholger, R., Stanjek, H., MAGPROX Team, 2004, Topsoil magnetic susceptibility mapping as a tool for pollution monitoring repeatability of in situ measurements, Journal of Applied Geophysics 55, 249-259.
13. Brady, N.C., Weil, R.R., 1999. The Nature and Properties of Soils. 12th Edition, Prentice Hall, ISBN 0-13-852444-0.
14. Burzyski, M., Kobus, G., 2004. Changes of photosynthetic parameters in cucumber leaves under Cu, Cd, and Pb stress, *Photosynthetica*, vol. 42, no. 4, pp. 481-486(6) Kluwer Academic Publishers.

15. Cross, D.P., Ramachandran, G., Wattenberg, E.V., 2001. Mixtures of nickel and cobalt chlorides induce synergistic cytotoxic effects: implications for inhalation exposure modeling, *Annals of Occupational Hygiene*, vol. 45, no. 5, pp. 409-418(10) Oxford University Press.
16. Ercal, N., Gurer-Orhan H., Aykin-Burns N., 2001. Toxic metals and oxidative stress Part 1: Mechanisms involved in metal oxidative damage, *Current topics in Medicinal Chemistry*, vol. 1, no. 6, pp. 529-539(12).
17. Fergusson, J.E., 1990. The Heavy Elements: Chemistry, environmental impact and health effects. Pergamon Press. ISBN 8-08-040275-5.
18. Gawlik, B.M. and Bidoglio, G., 2006, Background Values in European Soils and Sewage Sledges – Results of a JRG coordinated study on background values, Part III Conclusions, Comments and Recommendations, European Commission, Directorate General, Joint Research Centre.
19. Hansen, L.D., Silberman, D. and Fischer, G.L., 1981, Crystalline components of stack-collected, size-fractionated coal fly ash, *Environ. Sci. Technol.* 15, 1057-62.
20. Havlin, J.L., Beaton, J.D., Tisdale, S.L., Nelson, W.L., 1999. Soil Fertility and Fertilizers – An Introduction to Nutrient Management. 6th edition. Prentice Hall, New Jersey. ISBN 0-13-626806-4.
21. Gee, C., Ramsey, M.H., and Thornton I., 2001. Buffering from secondary minerals as a migration limiting factor in lead polluted soils at historical smelting sites, *Appl. Geochem.*, 16, 1193-1199.
22. Lecoanet, H., Leveque, F., Ambrosi, J.-P., 2003, Combination of magnetic parameters: an efficient way to discriminate soil-contamination sources, *Environmental Pollution* 122, 229-234.
23. Kambata-Pendias, A. and Pendias, H., 1984. Trace elements in soils and plants, *Boca Raton, FL*, CRC Press, 1-380.
24. Lars, J., 2003. Hazards of heavy metal contamination . *British Medical Bulletin*, vol. 68, no. 1, pp. 167-182(16), Oxford University Press.
25. Linton, R.W., Natusch, D.F.S., Soloman, R.L. and Evans, J., 1980, Physiochemical character of lead in urban dusts: a microanalytical approach to lead tracing, *Environ. Sci. Technol.* 14, 159-64.
26. Moles, N.R, Smyth, D., Maher, C.E., Beattie, E.H., Kelly, M., 2004. Dispersion of cerussite-rich tailings and plant uptake of heavy metals at historical lead mines near

- Newtownards, Northern Ireland, *Applied Earth Science*, vol. 113, no. 1, pp. 21-30(10), Maney Publishing.
27. Parveen, G., 2004. Influence of cadmium on penetration of the root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* and plant growth parameters of tomato, *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, vol. 37, no. 2, pp. 103-109(7), Taylor and Francis Ltd.
28. Petrovsky, E., Kapicka, A., Jordanova, N., Borucka, L., 2001, Magnetic Properties of alluvial soils, contaminated with lead, zinc and cadmium, *Journal of Applied Geophysics* 48, 127-136.
29. Schoof, R.A., Butcher, M.K., Sellstone, C., Wayne-Ball, R., Fricke, J.R., Keller, V., *et al*, 1995. An assessment of lead absorption from soil affected by smelter emissions, *Environ. Geochem. Health*, 17, 189-199.
30. Shevchenko, A., I., Budzanivska, T., Shevchenko, V., Polischuk, D., Spaar., 2004. Plant virus infection development as affected by heavy metal stress, *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, vol. 37, no. 2, pp. 139-146(8) , Taylor and Francis Ltd.
31. Shukla, U.C., Singh, J., Joshi, P.C., Kakkar, P., 2003. Effect of Bioaccumulation of Cadmium on Biomass Productivity, Essential Trace Elements, Chlorophyll Biosynthesis, and Macromolecules of Wheat Seedlings, *Biological Trace Element Research*, vol. 92, no. 3, pp. 257-274(18), Humana Press.
32. Singh, Vijay K., Mishra, Kamla P., Rani, Reena, Yadav, Virendra S., Awasthi, Sudhir K., Garg, Satyendra K., 2003. Immunomodulation by Lead. *Immunologic Research*, vol. 28, no. 2, pp. 151-166(16), Humana Press.
33. Snoek, J.L., 1948, Dispersion and absorption in magnetic ferrites at frequencies above one megacycle, *Physica* 14, 207-17.
34. Theis, T.L. and Wirth, J.L., 1977, Sorptive behaviour of trace metals on fly ash in aqueous systems, *Environ. Sci. Technol.* 11, 1095-100.
35. Thompson, R. and Oldfield, F., 1986, *Environmental Magnetism*, Allen &Unwin Ltd.
36. Zeng, X., Jin, T., Jiang, X., Kong, Q., Ye, T., Nordberg, G.F., 2004. Effects on the prostate of environmental cadmium exposure – A cross-sectional population study in China, *BioMetals*, vol. 17, no. 5, pp. 559-566(8), Kluwer Academic Publishers.
37. Zhu, G., Wang, H., Shi, Y., Weng, S., Jin, T., Kong, Q., Nordberg, G.F., 2004. Environmental cadmium exposure and forearm bone density, *BioMetals*, vol. 17, no.5, pp. 499-503(5), Kluwer Academic Publishers.

38. <http://eed.stef.teicrete.gr/labs/eps1/lignitis.htm>