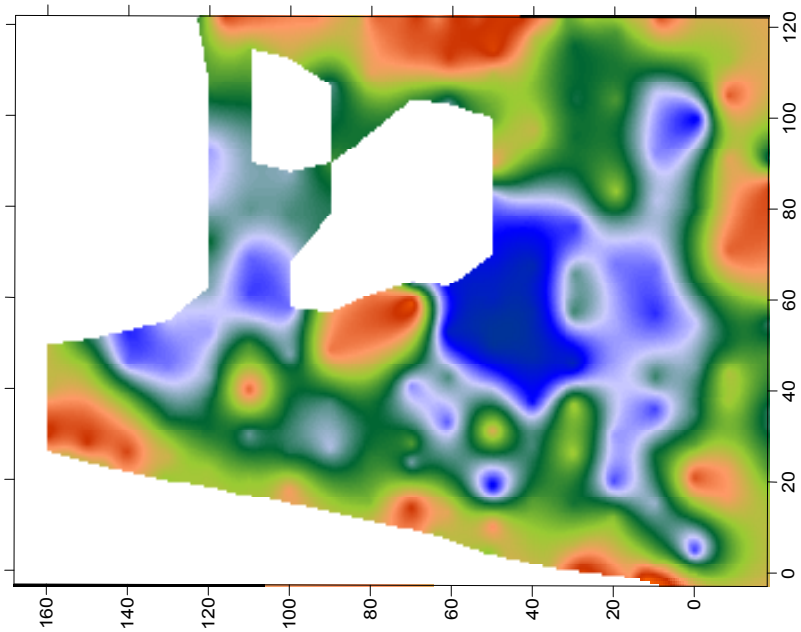
Τ.Ε.Ι ΚΡΗΤΗΣ – ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑΣ

ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΕΝΤΟΣ ΑΣΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (ΔΗΜΟΤΙΚΟΣ ΚΗΠΟΣ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΩΝ ΧΑΝΙΩΝ)



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Καβουσανάκης Εμμανουήλ

ΜΑΡΤΙΟΣ 2008

Τ.Ε.Ι ΚΡΗΤΗΣ – ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑΣ

ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΕΝΤΟΣ ΑΣΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (ΔΗΜΟΤΙΚΟΣ ΚΗΠΟΣ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΩΝ ΧΑΝΙΩΝ)

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Καβουσανάκης Εμμανουήλ

Επιβλέπων : *Δρ. Βασίλης Σάλτας*
Επίκουρος Καθηγητής

Επιτροπή Αξιολόγησης : *Δρ. Βασίλης Σάλτας*
Δρ. Ελένη Κόκκινου
Δρ. Νικόλαος Λυδάκης

Ημερομηνία Παρουσίασης : 16/04/2008

Αύξων Αριθμός Πτυχιακής Εργασίας :

Ευχαριστίες

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης εργασίας αισθανόμαστε την ανάγκη να ευχαριστήσουμε όλους εκείνους που συνέβαλλαν να ολοκληρωθεί η συγκεκριμένη προσπάθεια.

Θερμές ευχαριστίες οφείλουμε στο προσωπικό του εργαστηρίου Γεωφυσικής, και Σεισμολογίας του ΤΕΙ Κρήτης, για την υποστήριξη που μας προσέφερε στη διάρκεια της προσπάθειας μας και ιδιαίτερα κατά την φάση των αναλύσεων μαγνητικής επιδεκτικότητας, καθώς και στους εργαζόμενους του Δημοτικού κήπου της πόλης των Χανίων, που με την πολυτιμη βοήθεια τους πραγματοποιήσαμε τις ζητούμενες μετρήσεις.

Ολοκληρώνοντας ευχαριστούμε την εξεταστική επιτροπή για τον χρόνο που μας διέθεσε.

Περίληψη

Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι να εξετάσει την εφαρμογή της μαγνητικής επιδεκτικότητας ως μεθοδολογία για τη χαρτογράφηση περιοχών με υψηλά επίπεδα ρύπανσης σε βαρέα μέταλλα . Η συγκεκριμένη μεθοδολογία εφαρμόστηκε στο δημοτικό πάρκο Χανίων, το έτος 2006. Έγιναν αρχικά δειγματοληψίες εδαφικού υλικού με πολύ μικρό βήμα και προσδιορίστηκε η τιμή της μαγνητικής επιδεκτικότητας σε χαμηλή και υψηλή συχνότητα. Στην συνέχεια ακολούθησε επεξεργασία και ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Εντοπίστηκαν υψηλές τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας περιμετρικά του δημοτικού πάρκου, στην επαφή του με το οδικό δύκτυο και σε μια μικρή περιοχή εντός του πάρκου.

Abstract

Main purpose of the present study is to investigate the suitability of magnetic susceptibility measurements as a pollution monitoring tool around the park in the centre of Chania city. Surface soil samples have been collected in 2007 using small sampling interval and the magnetic susceptibility of the surface soils was first estimated and mapped. High values of magnetic susceptibility are indicated around the park near to the roads and in a small area inside the park.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ ***4***

1.1 Σκοπός και αντικείμενο της εργασίας 4

1.2 Μεθοδολογία εκπόνησης 4

1.3 Γεωγραφική θέση και περιγραφή της ευρύτερης περιοχής 5

1.4 Γενικά στοιχεία για το κλίμα της Κρήτης 7

2.ΓΕΝΙΚΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ***8***

2.1 Γεωμορφολογικά και Στρωματογραφικά στοιχεία 8

2.2 Μεταλπική τεκτονική 8

3. ΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ***11***

3.1 Εισαγωγή 11

3.2 Βασικές μαγνητικές ιδιότητες 12

3.3 Μαγνητική υστέρηση 12

3.4 Μαγνητική επιδεκτικότητα 17

3.5 Σχέση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με την θερμοκρασία 19

3.6 Σχέση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με την συχνότητα 20

3.7 Μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας 21

3.8 Μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με το MS2 της Bartington22

3.9 Σχέση μαγνητικών ορυκτών και βαρέων μετάλλων 28

3.10 Ο ρόλος και η επίδραση των βαρέων μετάλλων στα φυτά 29

3.11 Ο ρόλος και η επίδραση των βαρέων μετάλλων στον άνθρωπο 32

4. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΟΥ ΔΗΜΟΤΙΚΟΥ ΚΗΠΟΥ ΧΑΝΙΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ***34***

4.1 Περιγραφή της μεθοδολογίας εκπόνησης της παρούσας εργασίας 34

4.2 Περιγραφή του προγράμματος επεξεργασίας των δεδομένων 34

4.3 Παρουσίαση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων 38

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ***43***

5.1 Εισαγωγή 43

5.2 Συμπεράσματα και αξιολόγηση της μεθοδολογίας 43

5.3 Προτάσεις 43

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ***45***

7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ***49***

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Σκοπός και αντικείμενο της εργασίας

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η εφαρμογή της μεθόδου της μαγνητικής επιδεκτικότητας σε χαρτογράφηση μικρής κλίμακας εντός αστικής περιοχής, με στόχο των εντοπισμό περιοχών ρύπανσης από βαρέα μέταλλα. 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 απορριμάτων (Χ.Υ.ΤΑ), αεροδρόμια κ.λ.π.

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι:

- **Η λεπτομερής γεωφυσική χαρτογράφηση του πάρκου των Χανίων με την μέθοδο της μαγνητικής επιδεκτικότητας.**
- **Ο εντοπισμός περιοχών ρύπανσης και ο συσχετισμός τους με τα αίτια που την προκαλούν.**

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 και γεωφυσική χαρτογράφηση της εξεταζόμενης περιοχής με την μέθοδο της μαγνητικής επιδεκτικότητας
- Την επεξεργασία και αξιολόγηση του υ των δεδομένων ανάλογα με τη συμβολή τους στους άμεσους στόχους της μελέτης και αναγωγή τους στην κλίμακα σχεδιασμού.
- Σύνταξη της παρούσας εργασίας.

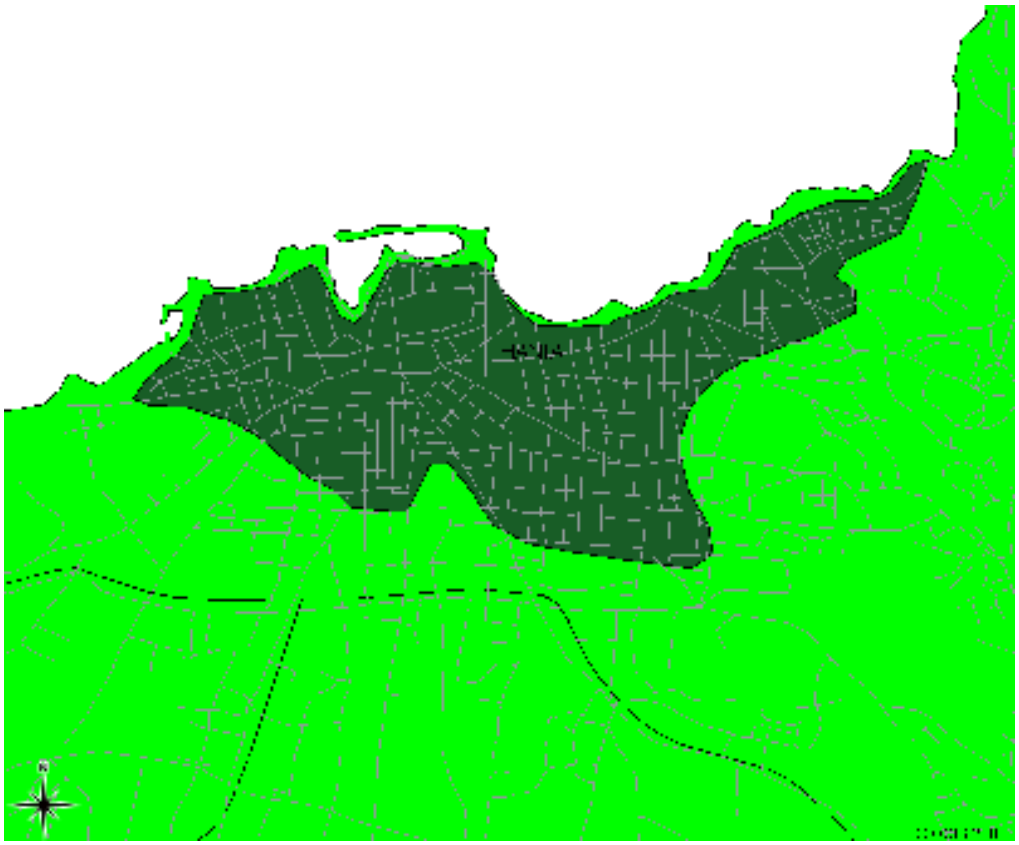
1.3 Γεωγραφική θέση και περιγραφή της ευρύτερης περιοχής

Ο νομός Χανίων καλύπτει το δυτικό τμήμα της Κρήτης κι έχει έκταση 2376 Km^2 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 χειμάρρους. 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 Κισσάμου 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 52000 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 χτίστεί σύμφωνα με ένα μοντέρνο σχέδιο με μεγάλους δρόμους, πάρκα και όμορφα κτίρια (Σχήμα 1.1). Το δημοτικό πάρκο Χανίων (Σχήμα 1.2) βρίσκεται στο κέντρο περίπου της πόλης και περικλείεται από τις οδούς Παπανδρέου, Τζανακάκη και Βαλαωρίτου. Η συνολική έκταση του είναι περίπου 19 στρέμματα.



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

Σχήμα 1.2 Εικόνα του δημοτικού πάρκου 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 Μάϊος 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.

<u>Κύρια χαρακτηριστικά του κλίματος στο νησί είναι:</u>

- 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 εξεταζόμενη πειροχή βρίσκεται στην πεδιάδα των Χανίων και για την ακρίβεια κοντά στο ενετικό λιμάνι. Το ανάγλυφο της περιοχής είναι ομαλό και δεν εντοπίζεται κοντά κάποιος κλάδος υδρογραφικού δικτύου (Σχήμα 2.1). Η στρωματογραφία της περιοχής 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 ασβεστολίθων (k) και των κροκαλοπαγών.

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 ευρύτερη νεοτεκτονική λεκάνη του Ηρακλείου οριοθετείται από ρηξιγενείς ζώνες προσανατολισμένες περί τις γενικές διευθύνσεις Β - Ν και Α - Δ, τα δε επιμέρους ρηξιγενή τεμάχη παρουσιάζουν διαφορετικό βαθμό και φορά ανύψωσης μεταξύ του βόρειου τμήματος τους σε σχέση με το νότιο, το οποίο στην προκειμένη περίπτωση της εξεταζόμενης περιοχής, έχει μεγαλύτερη τιμή. Το γεγονός αυτό υποδυκνύει ότι ο άξονας περιστροφής είναι προσανατολισμένος στη διεύθυνση Α - Δ και ότι η βύθιση έχει γίνει προς τα βόρεια.

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

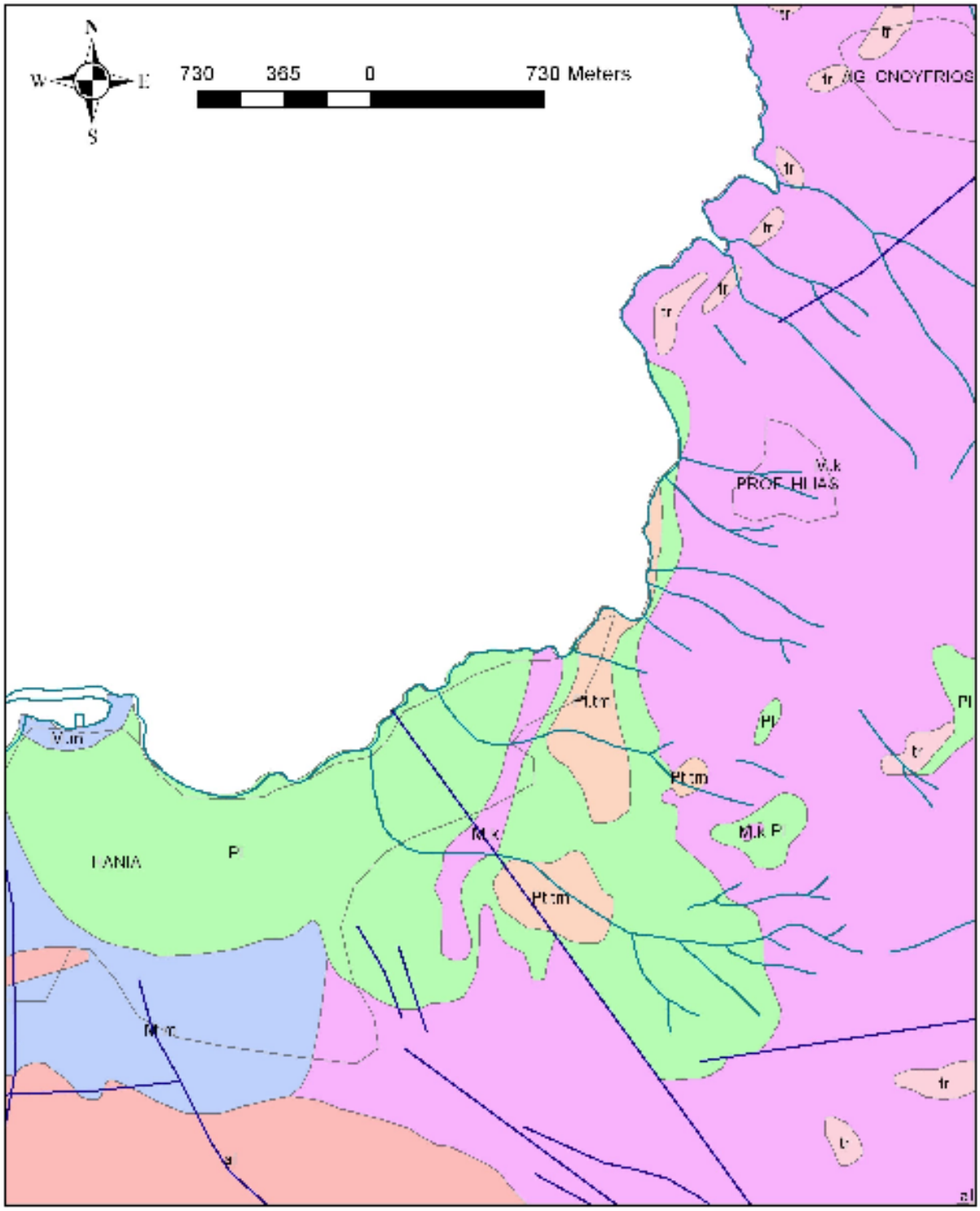
νοτιοδυτικά. Τρεις μεγάλες ομάδες ρηγμάτων προέκυψαν από τις εφελκυστικές φάσεις που έπληξαν την Κρήτη από το Μειόκαινο έως σήμερα.

Η πρώτη και παλαιότερη ομάδα αποτελείται από ρήγματα γενικής διεύθυνσης Α-Δ με ηλικία Μέσο/Άνω Μειόκαινο με αρχές Μεσσηνίου. Οι λεκάνες που είναι προσανατολισμένς 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 (Σχήμα 2.1) είναι η παρουσία ρηξιγενούς ζώνης διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι δεν εντοπίζεται η παρουσία κάποιου ρήγματος στην εξεταζόμενη περιοχή.



Σχήμα 2.1 Γεωλογικός χάρτης της πόλης των Χανίων όπου παρουσιάζονται οι κρυριότεροι 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 μετριέται 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.

Σιδηρομανγητισμός (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.

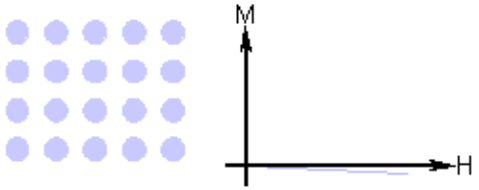
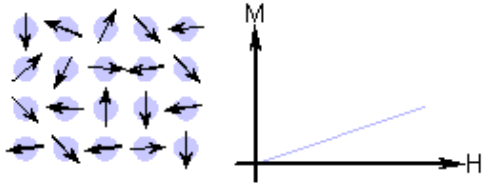
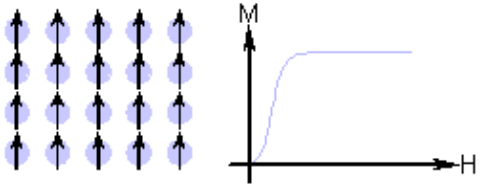
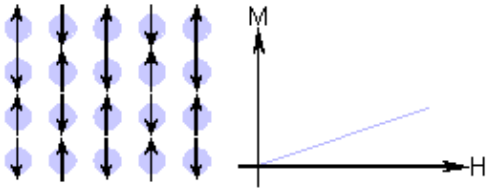
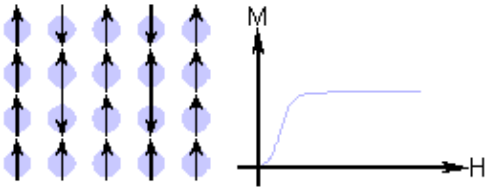
Παραμένουσα μαγνήτιση είναι η ιδιότητα των σιδηρομαγνητικών υλικών να διατηρούν τις μαγνητικές ιδιότητες τους ακόμη και κατά την απουσία εξωτερικού μαγνητικού πεδίου.

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

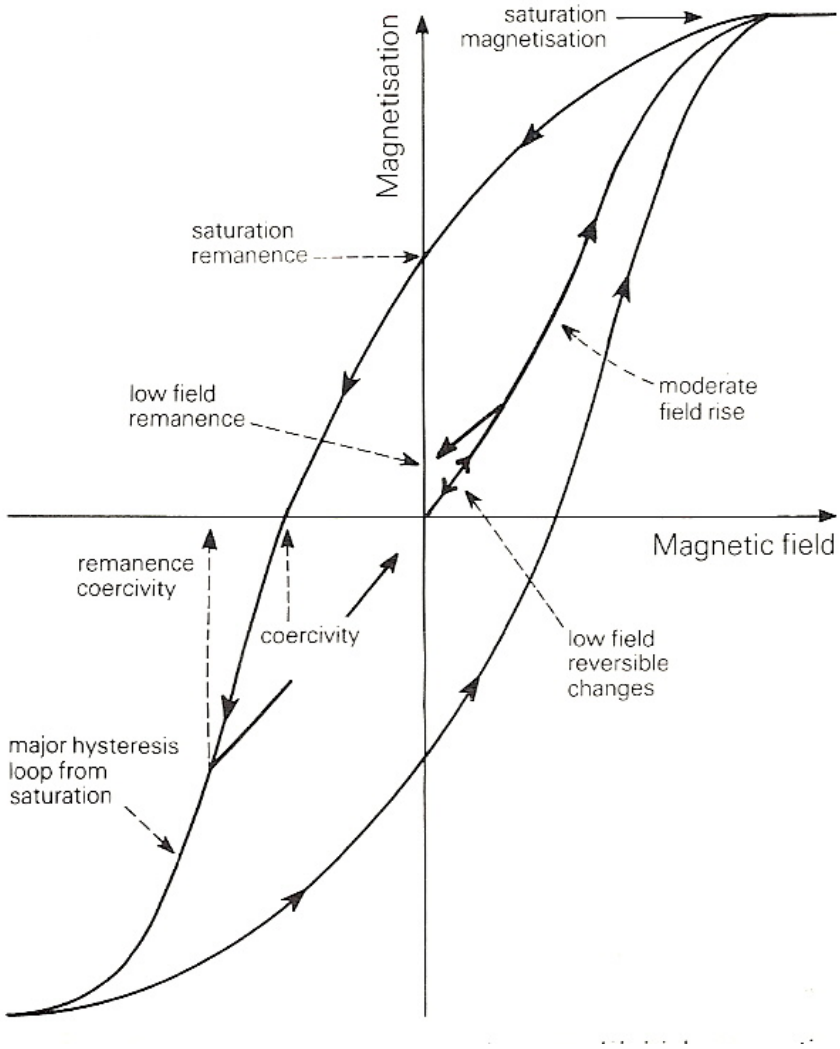
3.3 Μαγνητική υστέρηση

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 θεωρήσομε 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 -2.74×10^{-6} Cu -0.77×10^{-6}
Παραμαγνητισμός	Μικρή και θετική	Τυχαίος προσανατολισμός των μαγνητικών ροπών των ατόμων 	β-Sn 0.19×10^{-6} Pt 21.04×10^{-6} Mn 66.10×10^{-6}
Σιδηρομαγνητισμός	Μεγάλη και θετική, συνάρτηση του εφαρμοζόμενου πεδίου, εξαρτάται από τη μικροδομή.	Τα άτομα έχουν παράλληλες μαγνητικές ροπές 	Fe ~100,000
Αντι - σιδηρομαγνητισμός	Μικρή και θετική	Ανάμειξη παράλληλων και αντιπαράλληλων μαγνητικών ροπών 	Cr 3.6×10^{-6}
Σιδηριμαγνητισμός	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* MS, 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* HC και συμβολίζεται με (Bo)c.

Το ακόμη ισχυρότερο πεδίο που απαιτείται για να μηδενιστεί η παραμένουσα μαγνήτιση ονομάζεται *συνεκτικό πεδίο παραμένουσας μαγνήτισης* (Bo)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 T = 10^4 G
magnetic force (field)	H A m^{-1}	H oersted (Oe)	1 A m^{-1} = $4\pi \times 10^{-3}$ Oe
permeability of a vacuum	$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ H m^{-1}	$\mu_0 = 1$	1 H m^{-1} equivalent to $10^7/4\pi$ G Oe^{-1}
induction in free space (field)	$B_0 = \mu_0 H$	$B = H$	1 T equivalent to 10^4 Oe
induction in medium	$B = B_0 + \mu_0 M$	$B = H + 4\pi I$	1 T = 10^4 G
magnetisation per unit volume	M A m^{-1}	I G	1 A m^{-1} = 10^{-3} G
magnetisation per unit mass	$\sigma = M/\rho$ A m^3 kg^{-1} ρ = density	$\sigma = I/\rho$ G cm^3 g^{-1}	1 A m^2 kg^{-1} = 1 G cm^3 g^{-1}
susceptibility per unit volume	$\kappa = M/H$	$\kappa = I/H$	1 (SI unit) = 4π G Oe^{-1}
susceptibility per unit mass	$\chi = \kappa/\rho$ m^3 kg^{-1}	$\chi = \kappa/\rho$ G Oe^{-1} cm^3 g^{-1}	1 m^3 kg^{-1} = $4\pi \times 10^{-3}$ G Oe^{-1} cm^3 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 (A m^2 kg^{-1})
magnetite	Fe_3O_4	585	93
ulvospinel	Fe_2TiO_4	−153	—
haematite	αFe_2O_3	675	0.5
ilmenite	$FeTiO_3$	218	—
maghaemite	γFe_2O_3	~740	85
pyrrhotite	~Fe_7S_8	~300	~20
iron	αFe	780	200
goethite	$\alpha FeO.OH$	120	~1
lepidocrocite	$\gamma FeO.OH$	−196	—
magnesioferrite	$MgFe_2O_4$	440	21
jacobsite	$MnFe_2O_4$	310	//

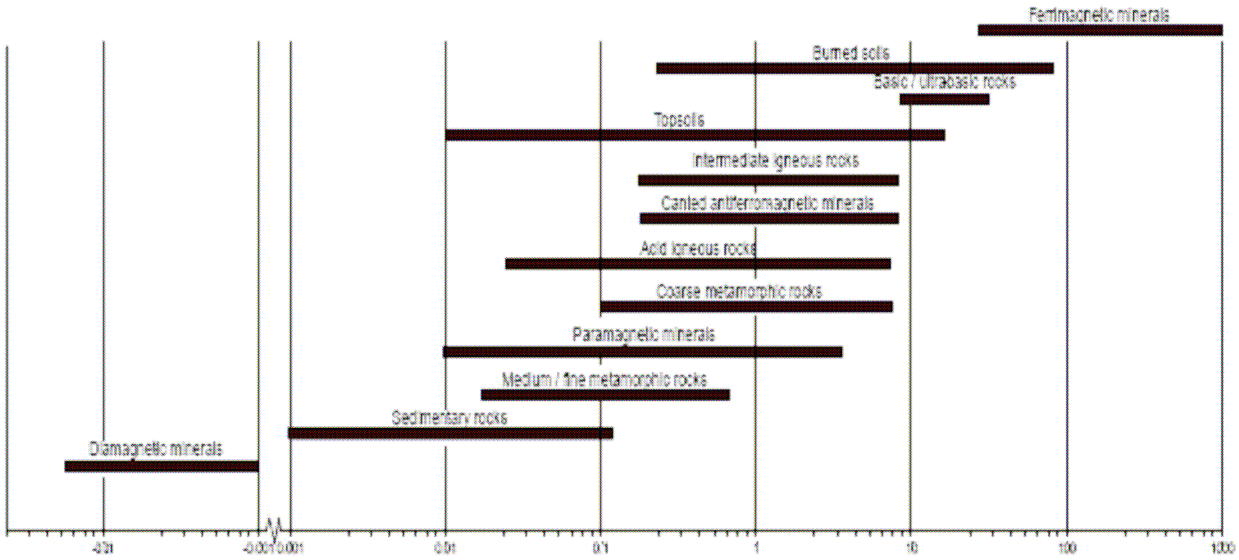
3.4 Μαγνητική επιδεκτικότητα

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} m^3 kg^{-1})	Other iron-bearing minerals	(10^{-8} m^3 kg^{-1})	Other minerals and materials	(10^{-8} m^3 kg^{-1})
iron (∞Fe)	2×10^7	olivines $(Mg, Fe)_2SiO_4$	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 $(Mg, Fe)_2Si_2O_6$	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 ($_2O_3$)	60	epidote (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 remanent magnetization, SIRM or MRS or σRS). 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 σS). 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. Susceptibily). Η μεταβολή της μαγνητικής επιδεκτικότητας με την διεύθυνση.

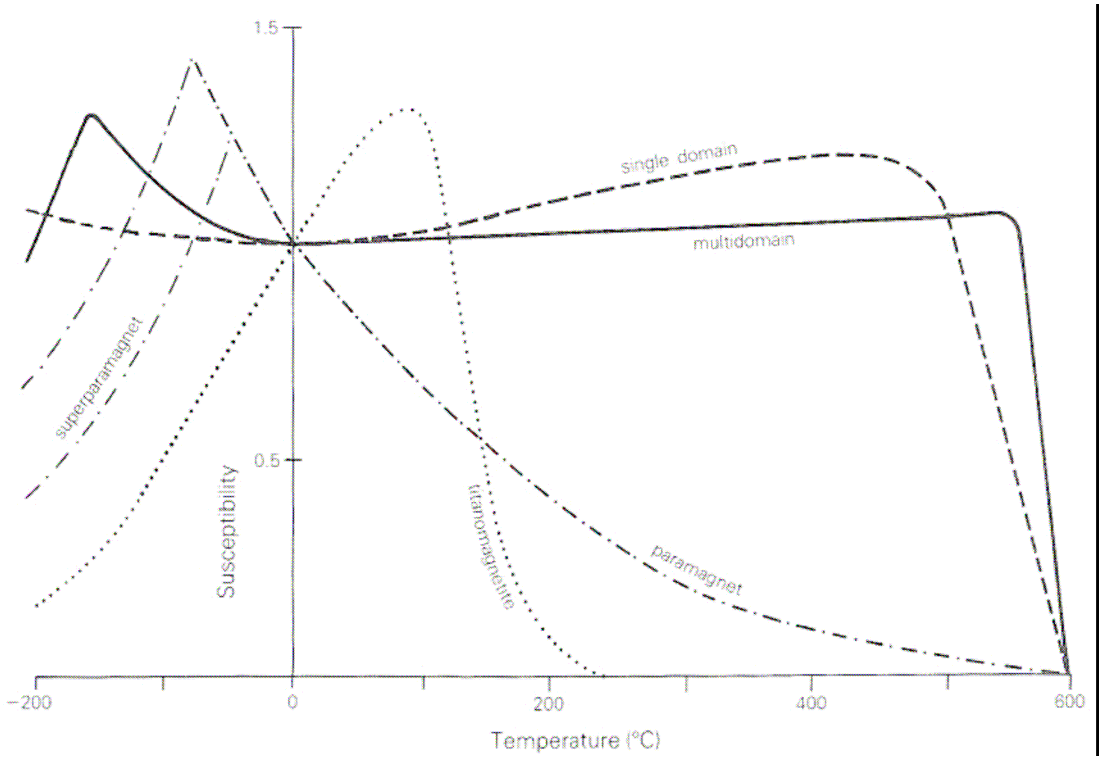
8. Anhysteretic remanent magnetization (ARM). Η παραμένουσα μαγνήτιση που δημιουργείται κατά την ομαλή απομείωση ενός ισχυρού εναλλασσόμενου μαγνητικού πεδίου, παρουσία ενός ασθενούς σταθερού πεδίου.

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, κ, 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 $0^{o}C$ να ισούται με την μονάδα.



Σχήμα 3.2 Καμπύλες μαγνητικής επιδεκτικότητας (ασθενές εφαρμοζόμενο μαγνητικό πεδίο) σε σχέση με την θερμοκρασία για διαφορετικού μεγέθους και σύστασης κρυστάλλους μαγνητίτη: Τιτανομαγνητίτης (στικτή), μικρού μεγέθους κόκκοι <20μm (διακεκομμένη), μεγάλου μεγέθους κόκκοι >20μm (συμπαγής), υπερ-μαγνητικοί κόκκοι (διακεκομμένη με τελείες) (Thompson and Oldfield 1986).

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 (χfd) από την συχνότητα. Η μεταβολή αυτή είναι γνωστή με τον όρο φάσμα της μαγνητικής επιδεκτικότητας. Στις υψηλές συχνότητες 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.

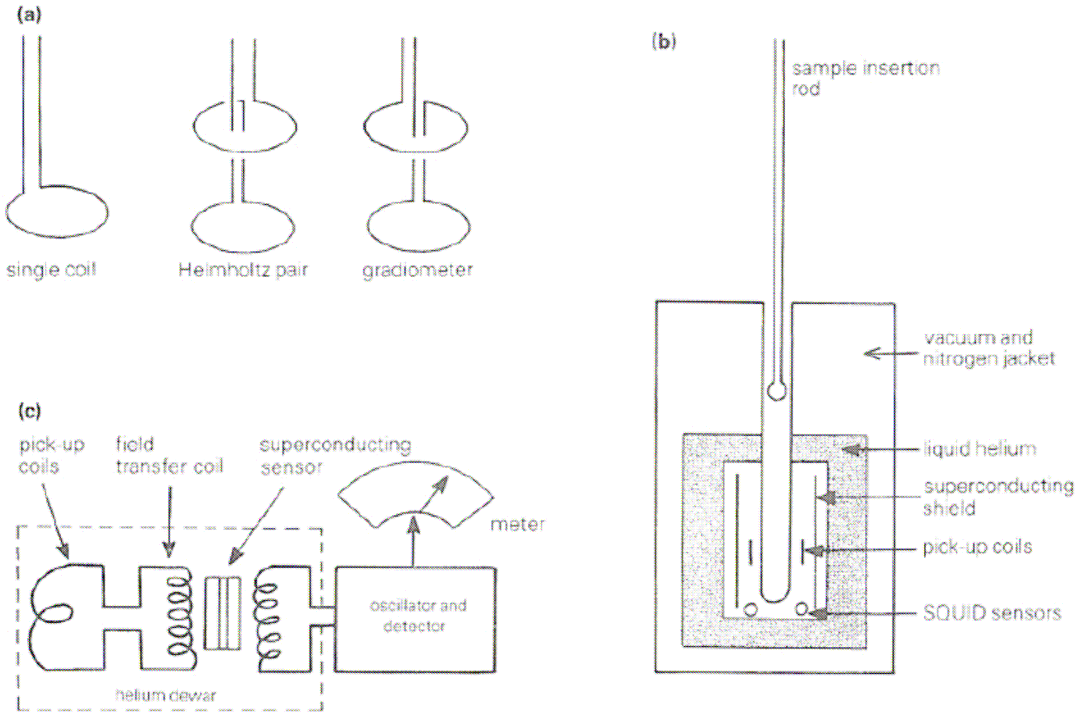
Στις χαμηλές συχνότητες η σε φάση συνιστώσα της μαγνητικής επιδεκτικότητας έχει τιμή πλησίον της πραγματικής. Καθώς όμως η συχνότητα αυξάνεται τα φαινόμενα αποκατάστασης γίνονται πιο σημαντικά και η σε φάση συνιστώσα μετά από μια μικρή αύξηση (Snoek, 1948), μειώνεται σταθερά ενώ η τιμή της φανταστικής 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 10KHz και σε μια μέγιστη ένταση εναλλασσόμενου μαγνητικού πεδίου $3X10^{-4}$ 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 (χfd). Συνήθως το εύρος των τιμών για την εξαρτώμενη από την συχνότητα μαγνητική επιδεκτικότητα εκφράζεται ως ποσοστό επί της ολικής επιδεκτικότητας (χfd/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 (1Oe) 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 $2X10^{-6}$ 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, παλιαοκλιματολογικές, 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

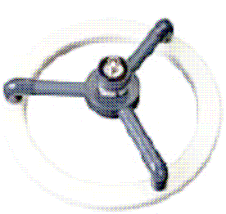
Calibration accuracy	1% (10ml calibration sample provided)
Measurement period: x 1 range CGS (SI) x 0.1range CGS (SI)	1.2 seconds (1.5s) 12 seconds (15s)
Operating frequencies: LF HF	0.465kHz ±1% 4.65kHz ±1%
Amplitude of applied field	250μT peak ±10% (LF & HF)
Maximum resolution	2 x 10^{-7} CGS (LF & 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 *Intermediate sizes can be provided at an additional charge*
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 x 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 x 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 - *MS*2E 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 x 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 - *MS*2F 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 x 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	$<2x10^{-6}$ 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

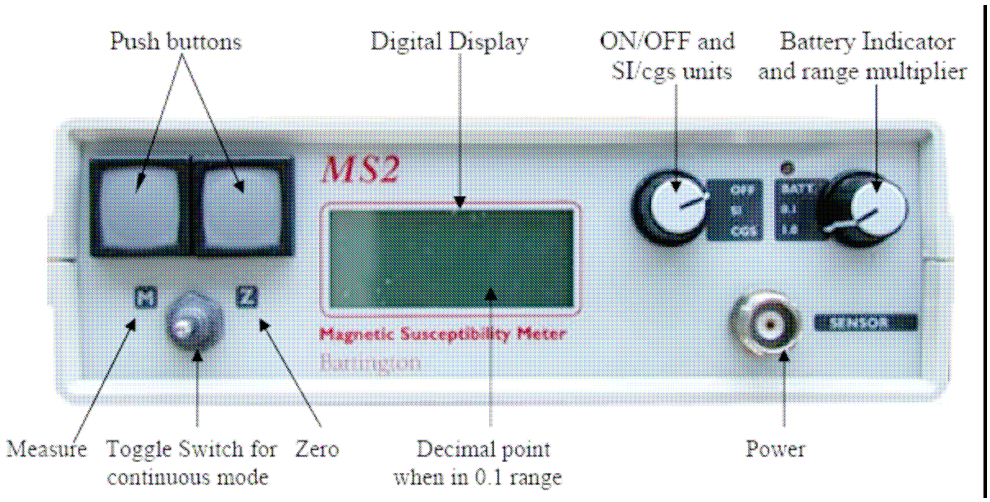
Area of response	25.4mm diameter full-width-half-maximum
Depth of response	50% at 3mm, 10% at 8mm
Measurement period - x 1 range - x 0.1 range	1 second 10 seconds
Drift at room temperature	$< \pm 2 \times 10^{-6}$ CGS in 5 minutes after 5 minutes operation
Operating frequency	930Hz
Weight	270gms; 1695g (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, επαναλάμβανεται με την συχνότητα στο high.
5. Η ευαισθησία ρυθμίζεται στο εύρος x 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 Η/Υ μέσω σειριακής θύρας, ώστε να λαμβάνεται η μέση τιμή των μετρήσεων.



Σχήμα 3.5 Πρόσοψη 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, χρωμίου, 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 καινα 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 κάνναβο 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 (Θεριός, 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 (ΙΑΑ) (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 κολοκυθιού 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 Μελπομένη, 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 Μελπομένη, 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^-, O_2^- 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. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΟΥ ΔΗΜΟΤΙΚΟΥ ΚΗΠΟΥ ΧΑΝΙΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

4.1 Περιγραφή της μεθοδολογίας εκπόνησης της παρούσας εργασίας

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στις εξής φάσεις:

1. Αναζήτηση βιβλιογραφίας που να σχετίζεται με χαρτογράφηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας.
2. Επιλογή της περιοχής έρευνας (στην παρούσα περίπτωση είναι ο δημοτικός κήπος του Δήμου Χανίων, που βρίσκεται στο κέντρο της πόλης των Χανίων και η συλλογή οτιδήποτε πληροφοριών αφορούν την περιοχή).
3. Συλλογή δειγμάτων εδάφους χωρίς την χρήση μεταλλικών αντικειμένων και αποθήκευση σε πλαστικές σακούλες.
4. Μεταφορά στο εργαστήριο όπου ξεκινάμε την διαδικασία της ταξινόμησης κατά αύξοντα αριθμό δείγματός εδάφους και στην συνέχεια κοσκινίζουμε τα δείγματα, χωρίς την παρουσία μεταλλικών αντικειμένων, έτσι ώστε τα αποτελέσματα που θα πάρουμε να είναι όσο το δυνατόν ομοιογενή στην διαδικασία της μαγνητικής επιδεκτικότητας όπως αναφέρουμε στο παραπάνω κεφάλαιο.
5. Επεξεργασία και απεικόνιση των δεδομένων με τη χρήση του λογισμικού πακέτου Surfer 8.

4.2 Περιγραφή του προγράμματος επεξεργασίας των δεδομένων

Το πρόγραμμα golden software surfer 8 είναι ένα απλό και εύκολο στο χειρισμό πρόγραμμα δημιουργίας ψηφιακών χαρτών και άλλων μορφοποιήσεων που θέλουμε να επεξεργαστούμε.

Η διαδικασία που ακολουθήσαμε στην συγκεκριμένη εργασία έχει ως εξής:

1. Δημιουργήθηκε ένα αρχείο δεδομένων (Golden Software Data) σε μορφή (*.dat) στην περιοχή worksheet με τον αριθμό δείγματος, τις συντεταγμένες κάθε δείγματος και με τις τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας του δείγματος (σχ. 4.1).
2. Στην συνέχεια δημιοργήθηκε ένα αρχείο δεδομένων (Golden Software Blanking) σε μορφή (*.bln) στην περιοχή worksheet με συντεταγμένες δειγμάτων που περικλείουν μια περιοχή που δεν υπήρχαν μετρήσεις της μαγνητικής επιδεκτικότητας (σχ. 4.2).

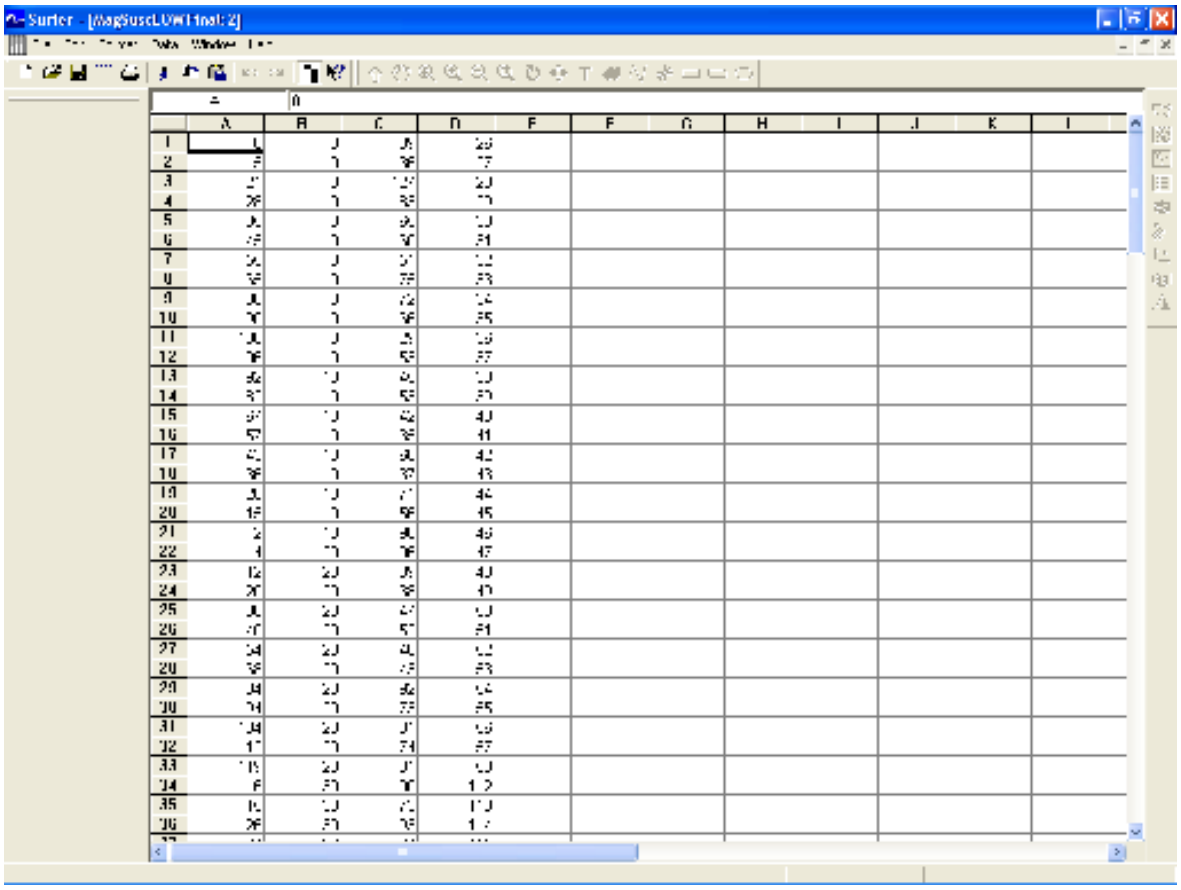
3. Επόμενο βήμα ήταν η εφαρμογή της διαδικασίας της παρεμβολή με στόχο να προκύψει το αρχείο (.grid) κατανομής της μαγνητικής επιδεκτικότητας (σχ. 4.3). Οι παράμετροι που επιλέχθηκαν για την διαδικασία της παρεμβολής απεικονίζονται παρακάτω:

   Griding Method : Kriging

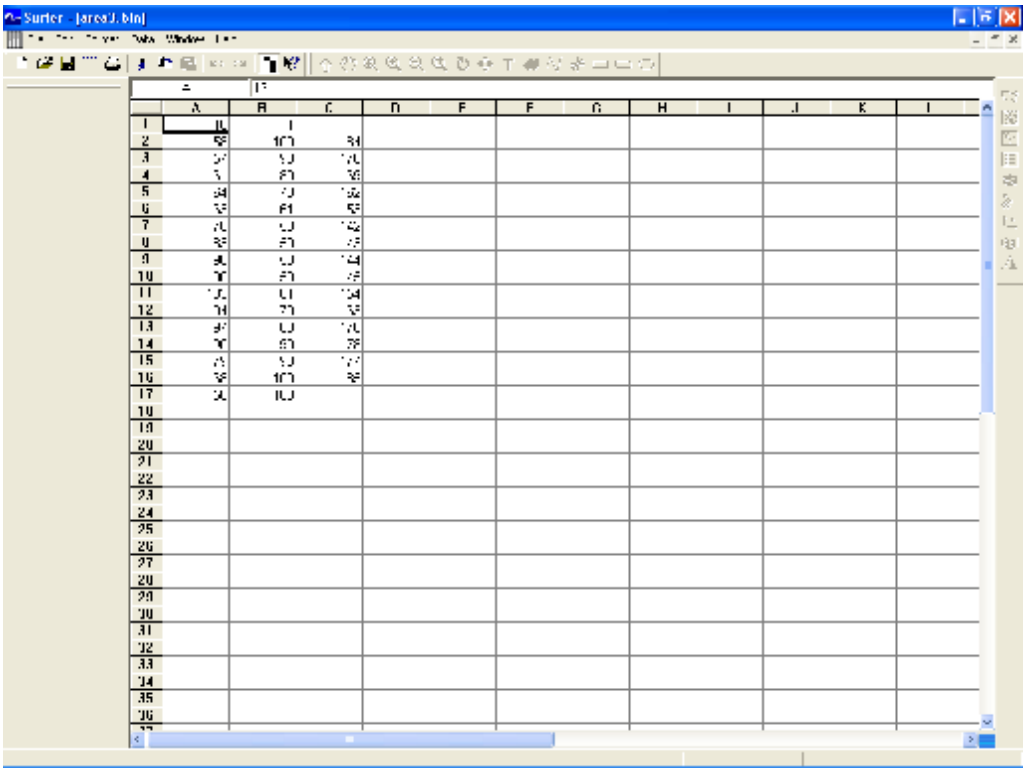
   Spacing for X Direction : 0.1

   Spacing for Y Direction : 0.1 .

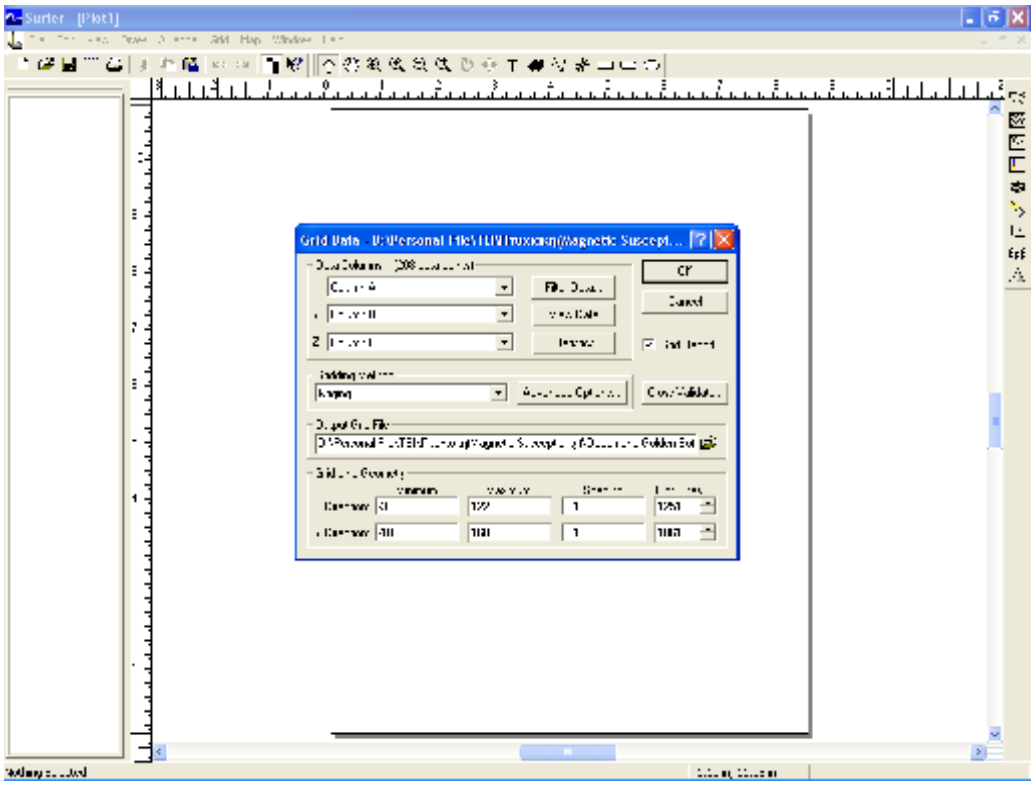
4. Με τα προηγούμενα βήματα έχουμε δημιουργήσει ένα χάρτη ο οποίος παρουσιάζεται παρακάτω (Σχήμα 4.4).
5. Για να δημιουργήσουμε τον τελικό χάρτη πρέπει να αφαιρέσουμε τις περιοχές που δεν έχουμε τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας και αυτό το επιτυγχάνουμε με τα αρχεία δεδομένων (Golden Software Blanking) που έχουμε δημιουργήσει και τα προσαρμόζουμε πάνω στον χάρτη.
6. Πλέον έχουμε φτάσει στο τελικό βήμα και είμαστε έτοιμοι να παρουσιάσουμε τον χάρτη με όλες τις παραμέτρους και τις προϋποθέσεις. Το σχήμα 4.5 παρουσιάζει την τελική μορφή του χάρτη.



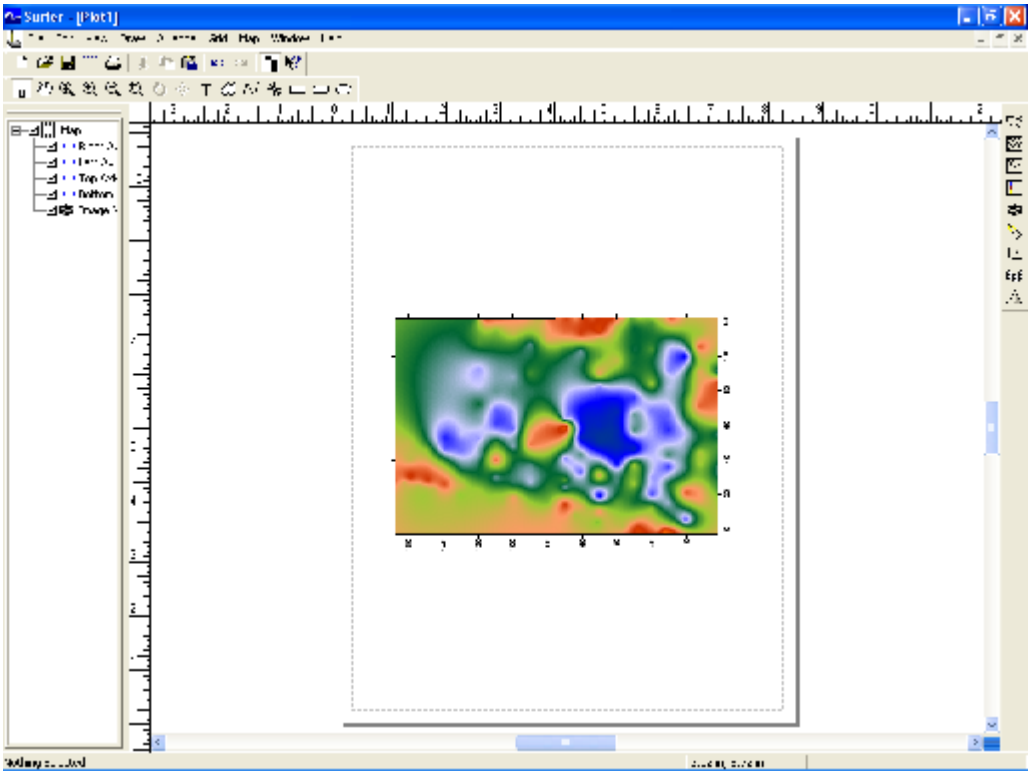
Σχήμα 4.1 Το αρχείο δεδομένων



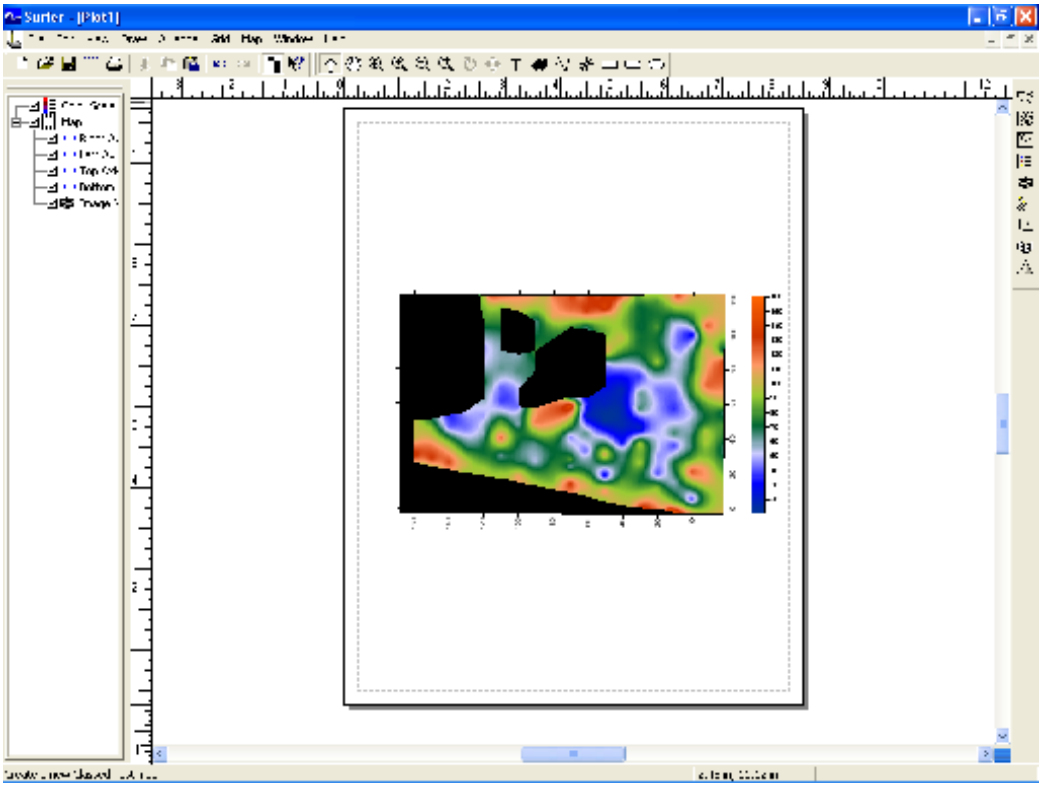
Σχήμα 4.2 Το αρχείο αποκοπής των τμημάτων του δημοτικού πάρκου όπου δεν ήτων δυνατή η λήψη μετρήσεων



Σχήμα 4.3 Η διαδικασία της παρεμβολής



Σχήμα 4.4 Ο χάρτης κατανομής της μαγνητικής επιδεκτικότητας στο δημοτικό πάρκο Χανίων πριν την αποκοπή των θέσεων που δεν έγινε λήψη



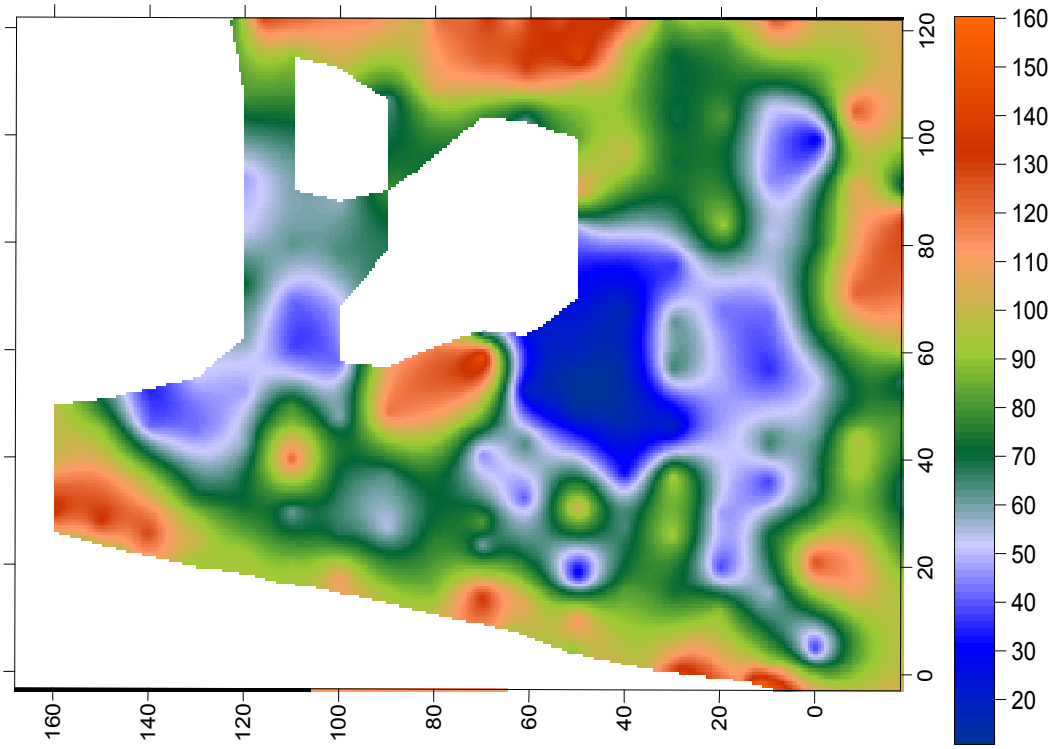
Σχήμα 4.5 Ο χάρτης κατανομής της μαγνητικής επιδεκτικότητας στο δημοτικό πάρκο Χανίων μετά την αποκοπή των θέσεων που δεν έγινε λήψη

4.3 Παρουσίαση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων

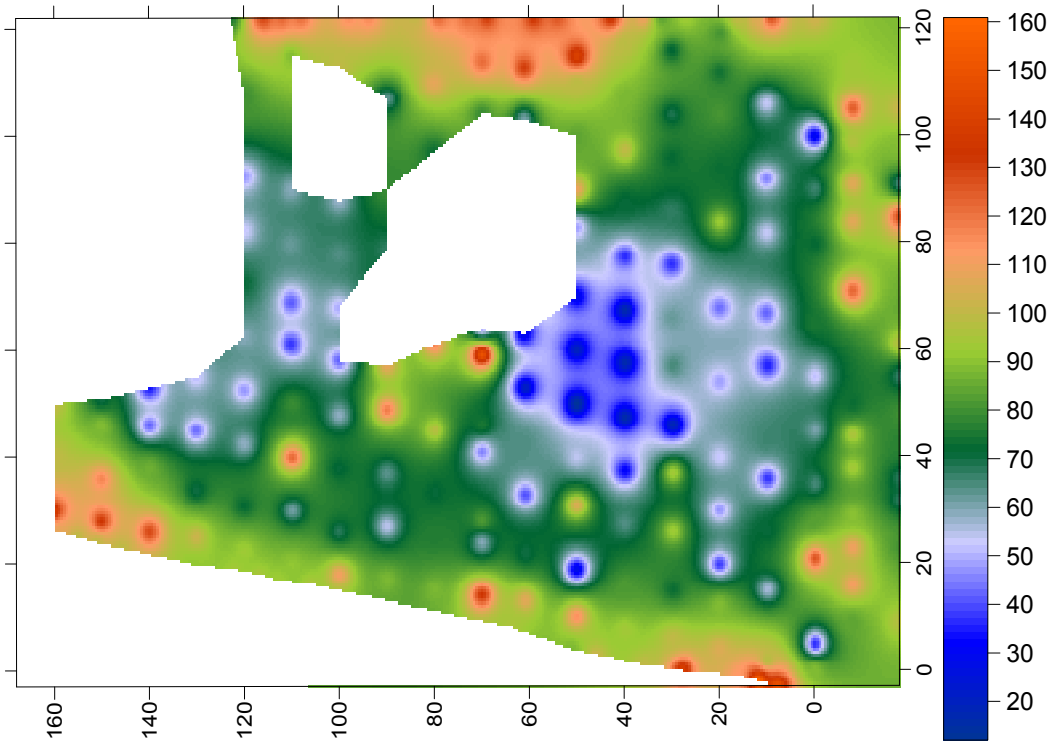
Για την παρουσίαση των χαρτών της παρούσας εργασίας έγιναν αρχικά δοκιμές με όλες τις μεθόδους της παρεμβολής. Δύο μέθοδοι (Kriging και Inverse to a power) απεικονίζουν καλύτερα την κατανομή της επιδεκτικότητας. Η πρώτη μέθοδος (σχ. 4.6, 4.8) χρησιμοποιεί τον «κλασσικό» πλέον τρόπο απεικόνισης των ισότιμων καμπύλων. Η δεύτερη (σχ. 4.7, 4.9) δίνει έμφαση στην μέτρηση του κάθε σημείου.

Στο σχήμα 4.10 παρουσιάζεται ο συχετισμός των μετρήσεων της μαγνητικής επιδεκτικότητας σε χαμηλή και υψηλή συχνότητα, ο οποίος είναι 0.96. Επίσης προσδιορίστηκε και η μαγνητική επιδεκτικότητα που εξαρτάται από την συχνότητα με βάση την σχέση FD susceptibility = [MS(Low)-MS(High)]/ MS(Low), η κατανομή της οποίας παρουσιάζεται στο σχήμα 4.11 και η οποία παρουσιάζει πολύ υψηλό συχετισμό με τις κατανομές της επιδεκτικότητας σε χαμηλή και υψηλή συχνότητα (σχ. 4.12).

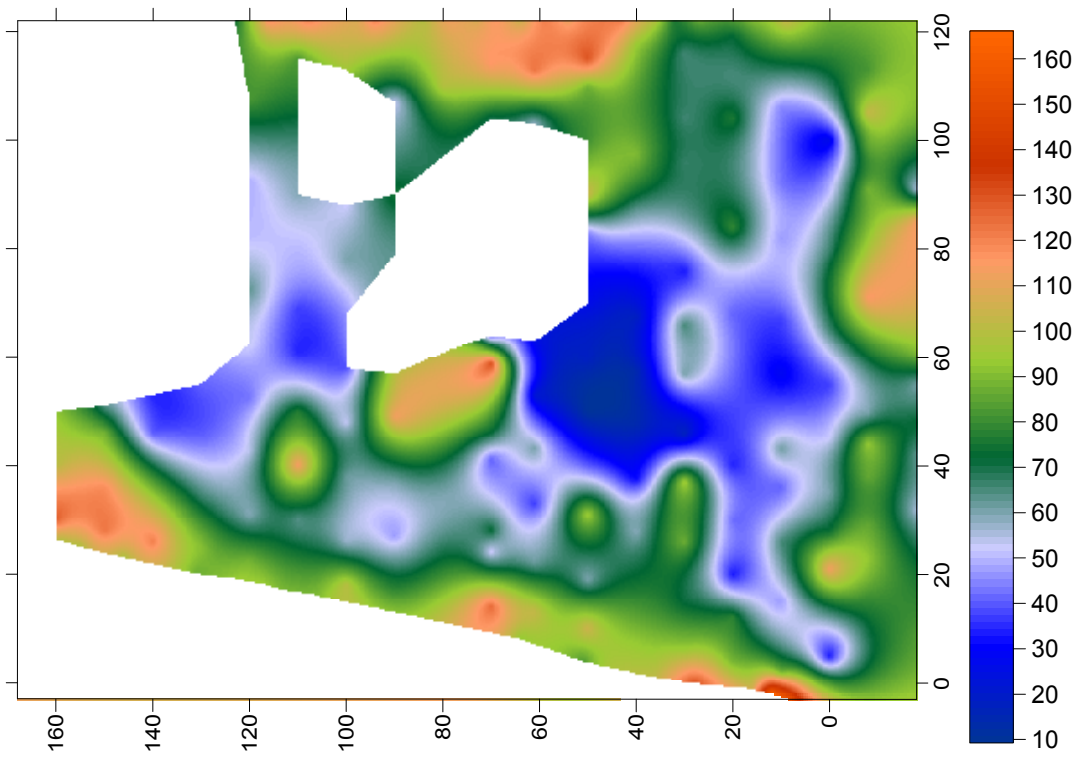
Παρατηρώντας τους χάρτες κατανομής της επιδεκτικότητας στο δημοτικό πάρκο Χανίων, παρουσιάζονται ηψηλές τιμές περιμετρικά του πάρκου και για την ακρίβεια στην γειτονία του με το οδικό δίκτυο. Έχει αποδειχτεί από πολλούς ερευνητές ότι οι υψηλές τιμές της επιδεκτικότητας σχετίζονται με την παρουσία βαρέων μετάλλων. Εντός του πάρκου εντοπίζονται υψηλές τιμές περίπου στο κέντρο του, όπου βρίσκεται ένα καφενείο. Μπροστά στο καφενείο βρίσκεται ένας δρόμος, όπου επί καθημερινής σχδόν βάσης σταματούν αυτοκίνητα για τον ανεφοδιασμό του. Πιθανότατα λοιπόν οι υψηλές τιμές της επιδεκτικότητας να σχετίζονται με αυτό το γεγονός.



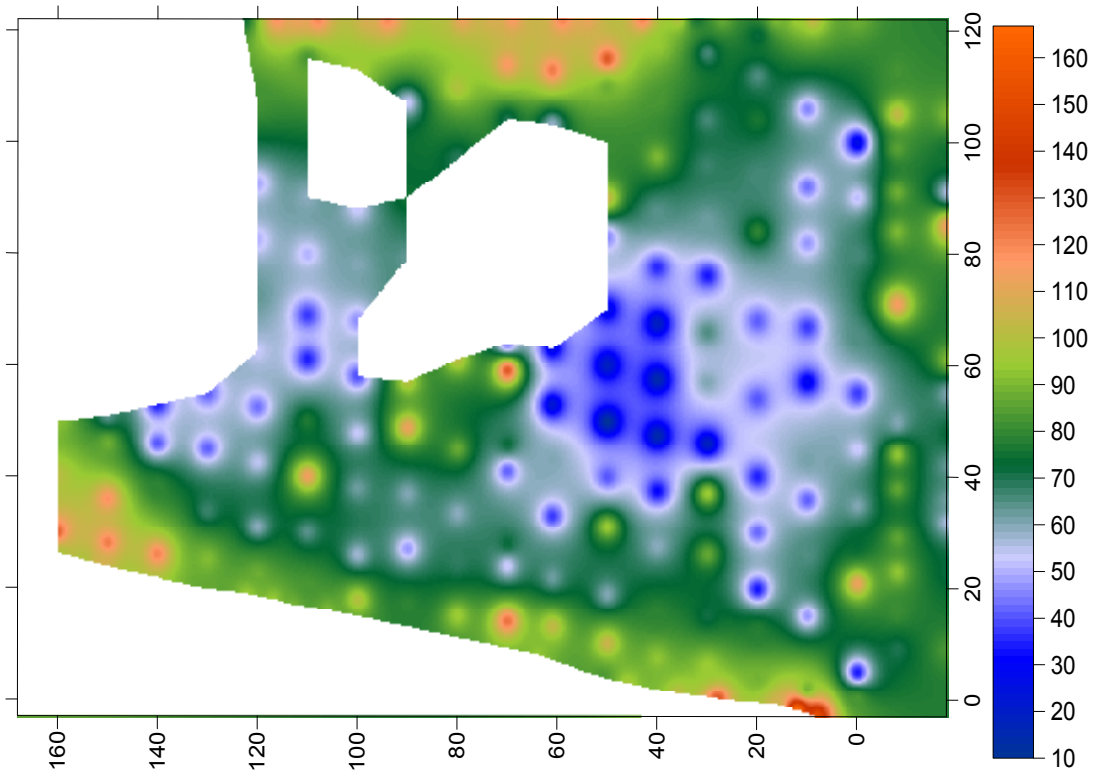
Σχήμα 4.6 Απεικόνιση της κατανομής της μαγνητικής επιδεκτικότητας (m^3Kg^{-1}) σε χαμηλή συχνότητα με την μέθοδο παρεμβολής Kriging



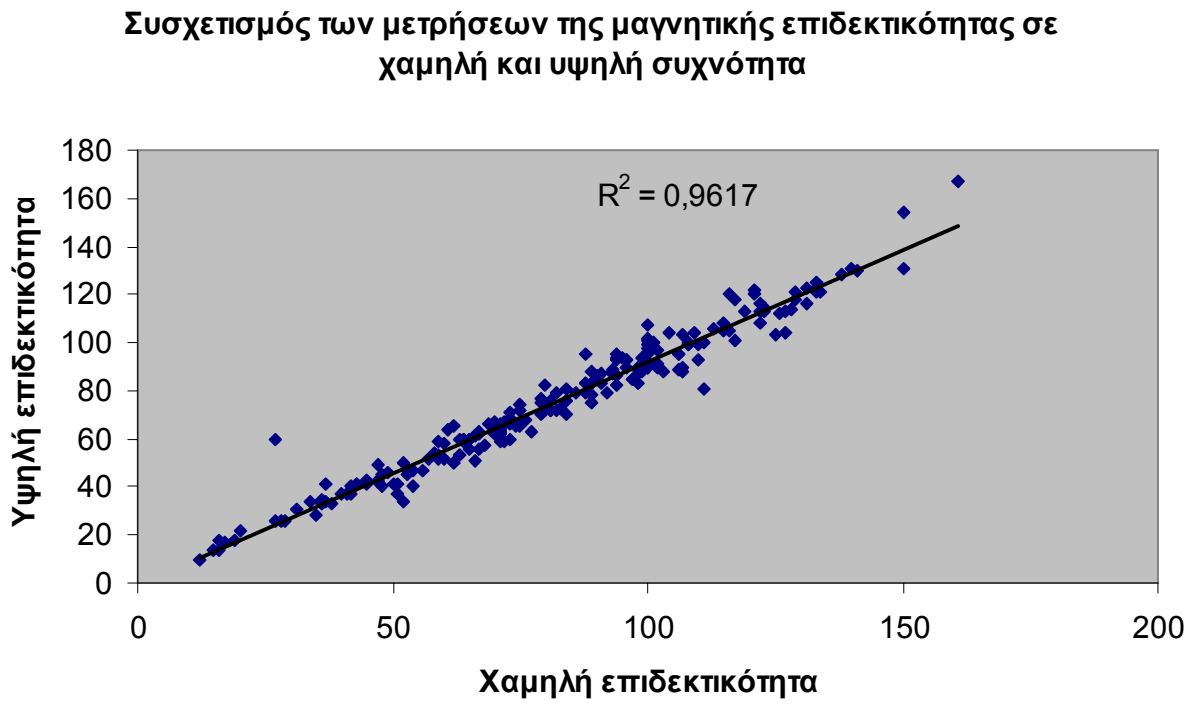
Σχήμα 4.7 Απεικόνιση της κατανομής της μαγνητικής επιδεκτικότητας (m^3Kg^{-1}) σε χαμηλή συχνότητα με την μέθοδο παρεμβολής Inverse to a power.



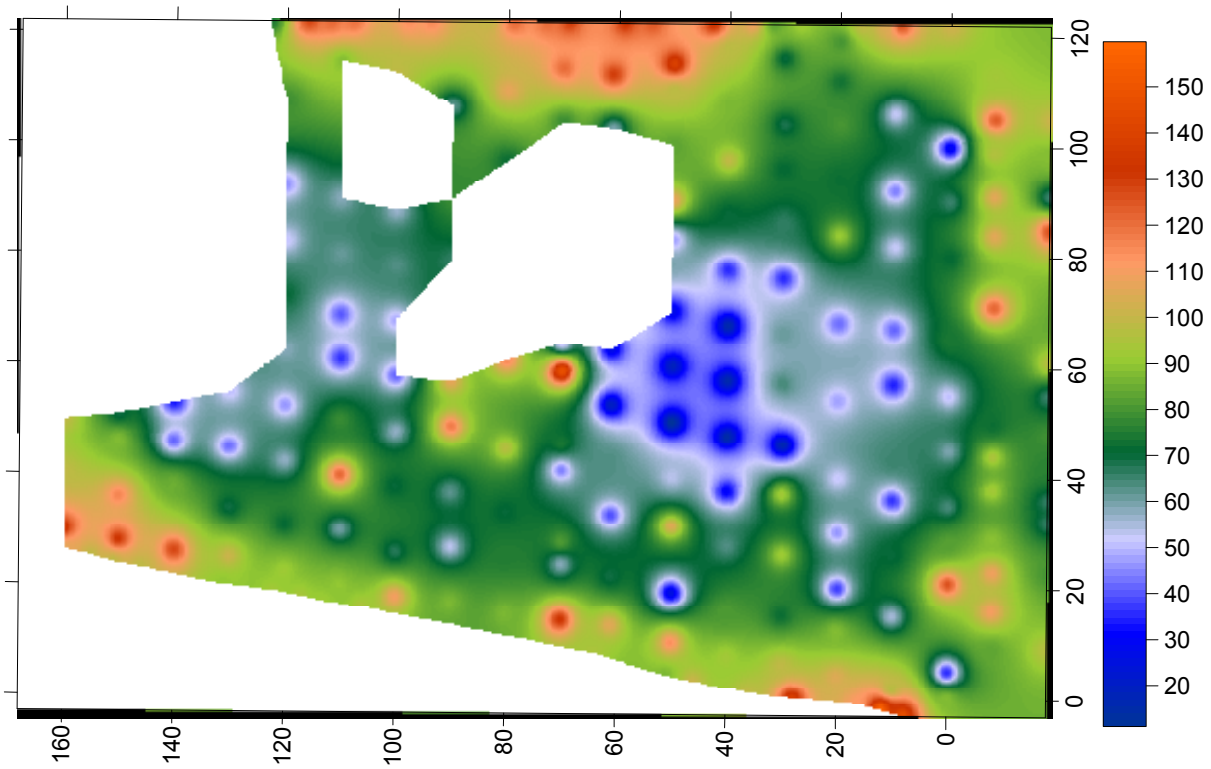
Σχήμα 4.8 Απεικόνιση της κατανομής της μαγνητικής επιδεκτικότητας σε υψηλή συχνότητα (m^3Kg^{-1}) με την μέθοδο παρεμβολής Kriging



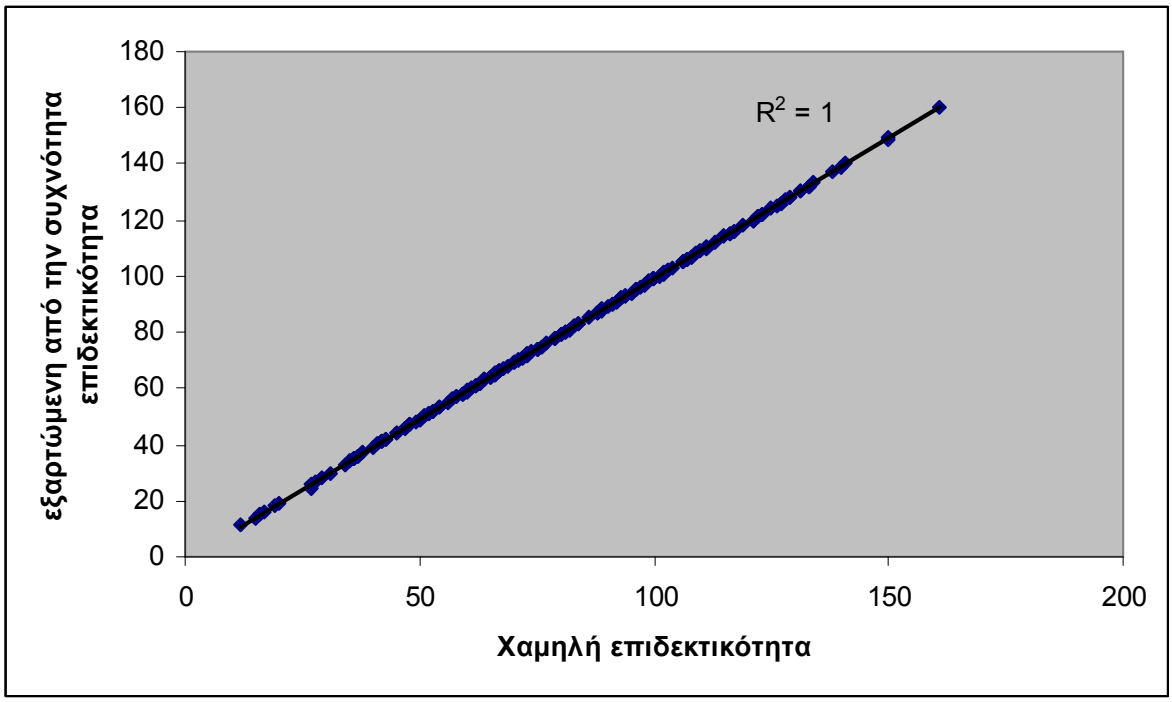
Σχήμα 4.9 Απεικόνιση της κατανομής της μαγνητικής επιδεκτικότητας (m^3Kg^{-1}) σε υψηλή συχνότητα με την μέθοδο παρεμβολής Inverse to a power



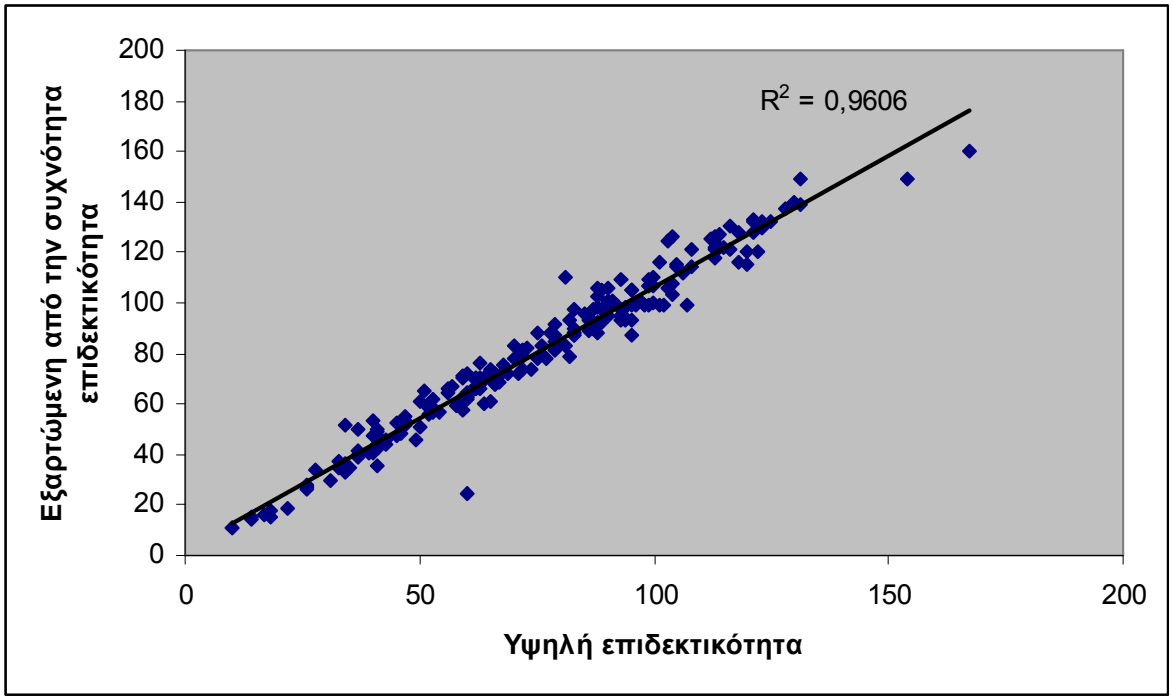
Σχήμα 4.10 Συσχετισμός χαμηλής και υψηλής επιδεκτικότητας ((m^3Kg^{-1}))



Σχήμα 4.11 Κατανομή της FD επιδεκτικότητας



(α)



(β)

Σχήμα 4.12 Συσχετισμός χαμηλής (α) και υψηλής επιδεκτικότητας (β) με την εξαρτώμενη από την συχνότητα επιδεκτικότητα

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

5.1 Εισαγωγή

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης εργασίας πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις μαγνητικής επιδεκτικότητας σε εδαφικά δείγματα από επιλεγμένη περιοχή των Χανίων προκειμένου να καταγραφεί η χωρική κατανομή που συσχετίζεται με τα επίπεδα ρύπανσης από βαρέα μέταλλα της υπό μελέτη περιοχής. Πρέπει να αναφερθεί στο σημείο αυτό ότι για πρώτη φορά επιχειρείται χαρτογράφηση της επιδεκτικότητας με τόσο μικρό βήμα δειγματοληψίας.

5.2 Συμπεράσματα και αξιολόγηση της μεθοδολογίας

Κάνοντας μια ανασκόπηση των όσων έχουν παρουσιαστεί στα προηγούμενα κεφάλαια παρουσιάζομε τα κυριότερα συμπεράσματα.

- Η κατανομή της μαγνητικής επιδεκτικότητας που μετρήθηκε σε χαμηλή συχνότητα σε σχέση με την επιδεκτικότητα που εξαρτάται από την συχνότητα παρουσιάζει βαθμό συσχετισμού 1.
- Η κατανομή μαγνητικής επιδεκτικότητας που μετρήθηκε σε υψηλή συχνότητα σε σχέση με την επιδεκτικότητα που εξαρτάται από την συχνότητα παρουσιάζει βαθμό συσχετισμού 0.96.
- Υψηλές τιμές επιδεκτικότητας εντοπίζονται περιμετρικά του πάρκου στην επαφή του με το οδικό δίκτυο.
- Εντός του πάρκου εντοπίζονται υψηλές τιμές στην περιοχή μπροστά από το καφενείο, όπου σταματούν αυτοκίνητα για τον ανεφοδιασμό του.

5.3 Προτάσεις

Με βάση την εμπειρία που συλλέχθηκε κατά την υλοποίηση της συγκεκριμένης εργασίας προτείνονται τα παρακάτω σε μία μελλοντική περιβαλλοντική επανέξεταση 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 τη μετρούμενη μαγνητική επιδεκτικότητα.
- 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 και την θερμομαγνήτιση 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. Kilias, 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 τοποθέτηση 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. Pergammon 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, Diractorate General, Joint Research Centre.
19. Hansen, L.D., Silberman, D. and Fischer, G.L., 1981, Crystalline components of stack-collected, size-fractioned 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/epsl/lignitis.htm

7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

MAGNETIC SUSCEPTIBILITY (LOW)			
X	Y	MS(low)	αριθμός δείγματος
0	0	89	26
5	0	36	27
21	0	127	28
28	0	83	29
35	0	65	30
45	0	60	31
55	0	51	32
65	0	75	33
80	0	72	34
90	0	66	35
100	0	29	36
106	10	53	37
92	10	45	38
82	10	53	39
67	10	42	40
57	10	35	41
43	10	66	42
36	10	37	43
26	10	71	44
15	10	56	45
2	10	98	46
4	20	106	47
12	20	89	48
20	20	38	49
30	20	47	50
40	20	52	51
54	20	48	52
68	20	43	53
84	20	92	54
94	20	73	55
104	20	81	56
112	20	74	57
119	20	81	58
6	30	100	112
15	30	73	113
26	30	93	114
37	30	94	115
46	30	17	116
57	30	65	117
66	30	62	118
76	30	36	119
86	30	67	120

MAGNETIC SUSCEPTIBILITY (HIGH)			
X	Y	MS(low)	αριθμός δείγματος
0	0	83	26
5	0	33	27
21	0	113	28
28	0	73	29
35	0	60	30
45	0	52	31
55	0	37	32
65	0	65	33
80	0	66	34
90	0	51	35
100	0	26	36
106	10	45	37
92	10	43	38
82	10	47	39
67	10	37	40
57	10	28	41
43	10	61	42
36	10	41	43
26	10	65	44
15	10	47	45
2	10	89	46
4	20	89	47
12	20	78	48
20	20	33	49
30	20	42	50
40	20	34	51
54	20	40	52
68	20	41	53
84	20	79	54
94	20	66	55
104	20	76	56
112	20	65	57
119	20	72	58
6	30	95	112
15	30	71	113
26	30	87	114
37	30	95	115
46	30	17	116
57	30	60	117
66	30	65	118
76	30	33	119
86	30	62	120

96	30	72	121
104	30	69	122
116	30	71	123
7,5	40	94	124
15,5	40	82	125
27,5	40	64	126
37,5	40	31	127
47,5	40	15	128
57,5	40	16	129
67,5	40	16	130
77,5	40	36	131
87,5	40	71	132
97,5	40	100	133
107,5	40	88	134
117,5	40	99	135
10	50	115	136
19	50	27	137
31	50	106	138
40	50	54	139
50	50	12	140
60	50	19	141
70	50	28	142
83	50	48	143
90	50	109	144
100	50	84	145
110	50	99	146
115	50	141	147
13	61	107	148
22	61	70	149
33	61	40	150
43	61	64	151
53	61	20	152
63	61	27	153
103	61	60	154
113	61	131	155
14	70	133	156
24	70	59	157
28	70	82	158
41	70	45	159
46	70	75	160
59	70	150	161
64	70	50	162
104	70	79	163
114	70	122	164
15	80	88	165
25	80	76	166
33,5	80	71	167
45	80	98	168
61	80	117	169
97	80	73	170
110	80	108	171

96	30	67	121
104	30	66	122
116	30	66	123
7,5	40	93	124
15,5	40	79	125
27,5	40	59	126
37,5	40	31	127
47,5	40	14	128
57,5	40	14	129
67,5	40	18	130
77,5	40	35	131
87,5	40	64	132
97,5	40	90	133
107,5	40	83	134
117,5	40	94	135
10	50	105	136
19	50	60	137
31	50	95	138
40	50	40	139
50	50	10	140
60	50	18	141
70	50	26	142
83	50	45	143
90	50	104	144
100	50	81	145
110	50	88	146
115	50	130	147
13	61	103	148
22	61	62	149
33	61	37	150
43	61	60	151
53	61	22	152
63	61	26	153
103	61	58	154
113	61	123	155
14	70	125	156
24	70	52	157
28	70	72	158
41	70	41	159
46	70	72	160
59	70	131	161
64	70	41	162
104	70	70	163
114	70	116	164
15	80	95	165
25	80	68	166
33,5	80	59	167
45	80	87	168
61	80	101	169
97	80	69	170
110	80	99	171

17	90	88	172
27	90	54	173
37	90	63	174
49	90	119	175
57	90	108	176
79	90	67	177
90	90	79	178
107	90	63	179
18	100	111	180
26	100	68	181
38	100	71	182
48	100	58	183
58	100	42	184
68	100	49	185
78	100	64	186
88	100	57	187
113	100	100	188
20	110	91	189
30	110	61	190
40	110	123	191
50	110	79	192
61	110	37	193
69	110	41	194
80	110	62	195
90	110	59	196
115	110	89	197
22,5	120	93	198
31	120	72	199
42,5	120	58	200
52,5	120	47	201
62,5	120	59	202
72,5	120	71	203
82,5	120	52	204
92,5	120	47	205
107,5	120	80	206
25	130	102	207
34	130	70	208
45	130	43	209
55	130	51	210
26	140	129	211
38	140	86	212
46	140	42	213
53	140	34	214
28	150	133	215
36	150	117	216
46	150	89	217
51	150	70	218
30	160	138	219
40	160	100	220
50	160	100	221
9	-8	84	1

17	90	79	172
27	90	47	173
37	90	60	174
49	90	113	175
57	90	100	176
79	90	63	177
90	90	75	178
107	90	53	179
18	100	100	180
26	100	57	181
38	100	62	182
48	100	53	183
58	100	39	184
68	100	46	185
78	100	60	186
88	100	52	187
113	100	96	188
20	110	83	189
30	110	64	190
40	110	114	191
50	110	77	192
61	110	34	193
69	110	37	194
80	110	50	195
90	110	59	196
115	110	83	197
22,5	120	88	198
31	120	59	199
42,5	120	54	200
52,5	120	43	201
62,5	120	53	202
72,5	120	63	203
82,5	120	50	204
92,5	120	49	205
107,5	120	82	206
25	130	91	207
34	130	67	208
45	130	41	209
55	130	41	210
26	140	121	211
38	140	79	212
46	140	40	213
53	140	34	214
28	150	123	215
36	150	118	216
46	150	88	217
51	150	64	218
30	160	128	219
40	160	101	220
50	160	92	221
9	-8	70	1

16	-8	111	2
23	-8	110	3
29	-8	90	4
38	-8	94	5
44	-8	96	6
50	-8	73	7
71	-8	123	8
84	-8	107	9
91	-8	107	10
99	-8	97	11
105	-8	125	12
113	-8	94	13
9	-18	98	14
23	-18	81	15
32	-18	67	16
36	-18	67	17
42	-18	77	18
48	-18	80	19
55	-18	66	20
61	-18	98	21
85	-18	128	22
91	-18	65	23
98	-18	89	24
105	-18	102	25
122	0	103	70
122	9	127	71
122	12	106	72
122	16	100	73
122	27	93	74
122	32	84	75
122	36	110	76
122	43	134	77
122	54	126	78
122	59	133	79
122	64	116	80
122	69	131	81
122	73	122	82
122	79	122	83
122	84	101	84
122	94	116	85
122	98	115	86
122	108	121	87
122	112	123	88
122	116	129	89
122	123	75	90
-3	8	150	92
-2	12	161	93
-1	16	113	94
0	28	140	95
1	36	100	96
3	46	102	97

16	-8	81	2
23	-8	93	3
29	-8	86	4
38	-8	86	5
44	-8	93	6
50	-8	60	7
71	-8	115	8
84	-8	90	9
91	-8	88	10
99	-8	85	11
105	-8	103	12
113	-8	82	13
9	-18	83	14
23	-18	72	15
32	-18	56	16
36	-18	62	17
42	-18	63	18
48	-18	72	19
55	-18	61	20
61	-18	90	21
85	-18	114	22
91	-18	56	23
98	-18	75	24
105	-18	90	25
122	0	88	70
122	9	104	71
122	12	95	72
122	16	90	73
122	27	87	74
122	32	76	75
122	36	99	76
122	43	121	77
122	54	112	78
122	59	121	79
122	64	105	80
122	69	116	81
122	73	108	82
122	79	113	83
122	84	100	84
122	94	120	85
122	98	108	86
122	108	120	87
122	112	113	88
122	116	118	89
122	123	74	90
-3	8	154	92
-2	12	167	93
-1	16	106	94
0	28	131	95
1	36	102	96
3	46	97	97

4	51	88	98
8	64	96	99
16	106	96	100
17	113	93	101
18	117	95	102
19	122	94	103
20	131	91	104
23	146	100	105
24	151	100	106
25	155	100	108
26	159	108	109
27	163	104	110
28	168	121	111

4	51	83	98
8	64	93	99
16	106	90	100
17	113	89	101
18	117	94	102
19	122	94	103
20	131	87	104
23	146	98	105
24	151	107	106
25	155	99	108
26	159	99	109
27	163	104	110
28	168	122	111

Φωτογραφία 1. Θέσεις Δειγματοληψίας