

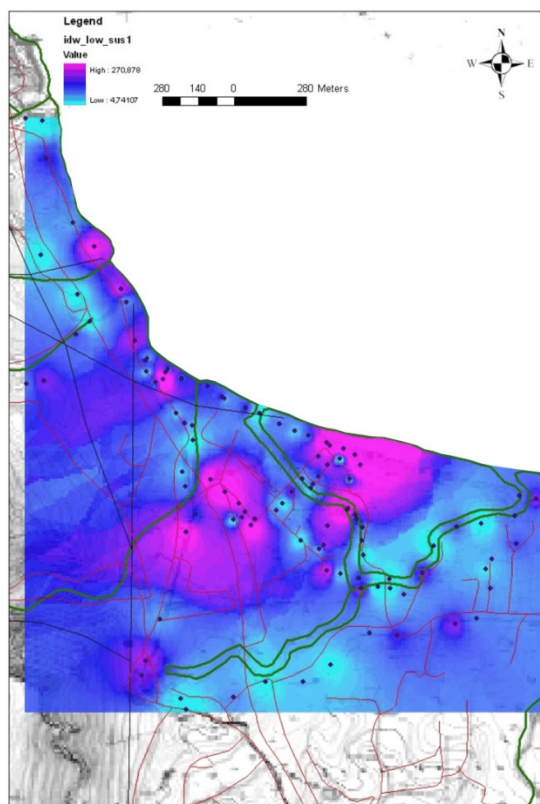


Τ.Ε.Ι ΚΡΗΤΗΣ - ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ



ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑΣ

ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ ΤΗΣ ΔΕΗ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σακαδάκης Δημήτριος - Σακαδάκη Αικατερίνη

ΙΟΥΝΙΟΣ 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 ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ ΤΗΣ ΔΕΗ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σακαδάκης Δημήτριος - Σακαδάκη Αικατερίνη

Επιβλέπων : Δρ. Κόκκινου Ελένη

Επίκουρος Καθηγήτρια

Επιτροπή Αξιολόγησης : Δρ. Κόκκινου Ε.

Δρ. Σουπιός Π.

Υπ. Δρ. Παπαδόπουλος Ηλίας

Ημερομηνία Παρουσίασης :

Αύξων Αριθμός Πτυχιακής Εργασίας :

Περίληψη

Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι να εξετάσει την εφαρμογή της μαγνητικής επιδεκτικότητας ως μεθοδολογία για τη χαρτογράφηση περιοχών με υψηλά επίπεδα ρύπανσης. Η συγκεκριμένη μεθοδολογία εφαρμόστηκε στην περιοχή που βρίσκεται ο υποσταθμός της ΔΕΗ Ηρακλείου, το έτος 2008. Έγιναν αρχικά δειγματοληψίες εδαφικού υλικού γύρω από τον υποσταθμό και σε ακτίνα περίπου 1 Km. Στην συνέχεια προσδιορίστηκε η τιμή της μαγνητικής επιδεκτικότητας σε χαμηλή και υψηλή συχνότητα. Επίσης προσδιορίστηκε η μαγνητική επιδεκτικότητα στα δείγματα αφού υγράνθηκαν, με στόχο να ανιχνευτεί η επίδραση της υγρασίας στις μετρήσεις μαγνητικής επιδεκτικότητας. Επιπρόσθετα η μαγνητική επιδεκτικότητα επιλεγμένων ξηρών δειγμάτων επαναπροσδιορίστηκε σε διαφορετική χρονική στιγμή και θερμοκρασία με στόχο να προσδιοριστεί η επίδραση των παραπάνω παραγόντων στις μετρήσεις. Ακολούθησε επεξεργασία και ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Abstract

Main purpose of the present study is to investigate the suitability of magnetic susceptibility measurements as a pollution monitoring tool around a power plant located near to Heraklion city. Surface soil samples have been collected in 2008 using small sampling interval and the magnetic susceptibility in low and high frequencies was first estimated and mapped. Thereinafter the relation of the humidity and the magnetic susceptibility was investigated. Finally the magnetic susceptibility measurements were repeated in order to find out the influence of the magnetic noise on the magnetic susceptibility measurements. High and intermediate values of magnetic susceptibility are indicated around the power plant and near to the coast related to the drainage network, the wind blowing in the study area and the traffic net.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

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	- 6 -
1.4	Γενικά στοιχεία για το κλίμα της Κρήτης	- 10 -
2	ΓΕΝΙΚΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	- 12 -
2.1	Στρωματογραφικά στοιχεία	- 12 -
2.2	Μεταλλική τεκτονική	- 16 -
3	ΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ	- 18 -
3.1	Εισαγωγή	- 18 -
3.2	Βασικές μαγνητικές ιδιότητες	- 19 -
3.3	Μαγνητική υστέρηση	- 20 -
3.4	Μαγνητική επιδεκτικότητα	- 18 -
3.5	Σχέση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με την θερμοκρασία	- 21 -
3.6	Σχέση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με την συχνότητα	- 22 -
3.7	Μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας	- 23 -
3.8	Μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με το MS2 της Bartington	- 24 -
3.9	Σχέση μαγνητικών ορυκτών και βαρέων μετάλλων	- 31 -
3.10	Ο ρόλος και η επίδραση των βαρέων μετάλλων στα φυτά και μηχανισμοί άμυνας του φυτού	- 32 -
3.11	Ο ρόλος και η επίδραση των βαρέων μετάλλων στον άνθρωπο	- 41 -

4. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ ΔΕΗ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ-	46 -
4.1 Περιγραφή της μεθοδολογίας εκπόνησης της παρούσας εργασίας	- 46 -
4.2 Περιγραφή του προγράμματος επεξεργασίας των δεδομένων-	46 -
4.3 Παρουσίαση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων	- 47 -
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	- 58 -
5.1 Εισαγωγή	- 58 -
5.2 Συμπεράσματα και αξιολόγηση της μεθοδολογίας	- 58 -
5.3 Προτάσεις	- 59 -
5.4 Φωτογραφίες από την εξεταζόμενη περιοχή	- 60 -
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	- 66 -

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 με υψηλή ρύπανση. 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 της περιοχής γύρω από τον υποσταθμό της ΔΕΗ (σχ. 1.1) 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 συνόλου των δεδομένων ανάλογα με τη συμβολή τους στους άμεσους στόχους της παρούσας εργασίας και αναγωγή τους στην κλίμακα σχεδιασμού.
- Σύνταξη της παρούσας εργασίας.

1.3 Γεωγραφική Θέση και περιγραφή της ευρύτερης περιοχής

Ο νομός Ηρακλείου καλύπτει το κεντρικό τμήμα της Κρήτης κι έχει έκταση 2640Km² με ακτογραμμή πάνω από 250 χιλιόμετρα και κατοικείται πάνω από 300000 μόνιμους κατοίκους.

Ο νομός υποδιαιρείται σε επτά επαρχίες του Βιάννου, του Κανιουνίου, του Μονοφατισίου, του Μαλεβιζίου, του Τεμένους, της Πυργιωτίσσης και της Πεδιάδος, με πρωτεύουσα την πόλη του Ηρακλείου(137711 κατ). Οι κυριότερες πόλεις της περιοχής είναι το Τυμπάκι οι Μοίρες και η Άνω Βιάννος. Ο Νομός βρίσκεται ανάμεσα σε δυο οροσειρές την Ίδη στα Δυτικά και την Δίκτη στα ανατολικά. Οι κοιλάδες πίσω από την πόλη του Ηρακλείου παράγουν κάποια από τα ωραιότερα σταφύλια. Σε αυτές τις κοιλάδες ο Άγγλος αρχαιολόγος Άρθουρ Έβανς ανακάλυψε στο μινωικό παλάτι της Κνωσού, τα ερείπια ενός μεγάλου πολιτισμού. Μια χαμηλή οροσειρά υψώνεται στο μέσο του νομού και κατεβαίνει στην πεδιάδα της Μεσσαράς, όπου βρίσκονται σημαντικές μινωικές ελληνικές και ρωμαϊκές αρχαιολογικές περιοχές οι μεγαλύτερες από τις οποίες είναι η Φαιστός, η Αγία Τριάδα και η Γόρτυνα. Στα νότια υπάρχει μία άλλη χαμηλή οροσειρά, ο "Κοφινάς", που χωρίζει την πεδιάδα από την ακτή. Η εντυπωσιακή κορυφή του Ψηλορείτη, 2.456 μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, είναι ορατή σχεδόν από όλα τα σημεία του νομού Ηρακλείου. Είναι ιδιαίτερα εντυπωσιακή κατά τη διάρκεια του χειμώνα όταν είναι καλυμμένη με χιόνια. Το έδαφος του Ν. Ηρακλείου είναι στη μεγαλύτερή του έκταση ορεινό και ημιορεινό. Ο νομός Ηρακλείου έχει αρκετά αξιοθέατα, όπως τα ερείπια ενός από τους μεγαλύτερους πολιτισμούς, η πιο ωραία συλλογή μινωικών ευρημάτων

στον κόσμο και οι βυζαντινές εκκλησίες που είναι διασκορπισμένες παντού. Υπάρχουν ακόμα βενετικά κάστρα και σιντριβάνια. Τα χωριά και τα μοναστήρια έχουν να επιδείξουν μία ιστορία αγώνων για την ανεξαρτησία που φαίνεται από τα μνημεία γι' αυτούς που πέθαναν πολεμώντας εναντίον των κατακτητών της Κρήτης. Οι παραλίες στην Αγία Πελαγία και τη Χερσόνησο στα βόρεια, τα Μάταλα και τους Καλούς Λιμένες στα νότια, προσελκύουν τους επισκέπτες με τα ζεστά και καθαρά νερά τους.

Το ανατολικό τμήμα του νομού Ηρακλείου έχει τα μεγαλύτερα παραθαλάσσια τουριστικά θέρετρα (Λιμένας Χερσονήσου), μερικά από τα μεγαλύτερα αρχαιολογικά αξιοθέατα (Μάλια) και αρκετές σημαντικές βυζαντινές εκκλησίες.

ΟΡΗ, ΣΠΗΛΑΙΑ ΚΑΙ ΕΔΑΦΟΣ ΚΡΗΤΗΣ: Το έδαφος της Κρήτης είναι στη μεγαλύτερή του έκταση ορεινό. Σε πολλά δε σημεία βραχώδες. Αναλυτικά η κατανομή του σε κατηγορίες έχει ως εξής : 33% πεδινό, 26% ημιορεινό και 41% ορεινό.

Οροσειρές: Οι αρχαίοι ιστορικοί και γεωγράφοι, όπως ο Στράβωνας, ο Διόδωρος κ.α., χωρίζουν τα βουνά της Κρήτης σε δυο Οροσειρές: τα Λευκά όρη στη Δυτική Κρήτη και τα Ιδαία όρη στο κέντρο και προς ανατολικά. Στα Ιδαία όρη περιλαμβάνονται η Ίδη ή Ψηλορείτης, η Δίκτη ή Εντίχτης, ο λόφος Πύτνα κ.α. Ωστόσο οι σημερινοί γεωγράφοι έχουν χωρίσει τα Ιδαία όρη σε δυο οροσειρές, στον Ψηλορείτη και τη Δίκτη ή Λασιθιώτικα βουνά .

Τα Λευκά Όρη έχουν ψηλότερη κορυφή τις Πάχνες (2.452 μ.).

Η Ίδη ή Ψηλορείτης έχει ψηλότερη κορυφή τον Τίμιο Σταυρό (2.456 μ.).

Η Δίκτη έχει ψηλότερη κορυφή τον Εντίχη ή Σπαθί (2.148 μ.), Αφέντης (1.475 μ.).

Τα Αστερούσια Όρη (1.231 μ.) ενώνουν τη Δίκτη με Ψηλορείτη από το νότιο μέρος.

Πεδιάδες: Οι πεδιάδες της Κρήτης είναι τόσες όσες και οι κύριες οροσειρές, δηλαδή: η παρά των Λευκών ορέων στα Χανιά και η παρά των Ιδαίων ορέων ή άλλως Μεσαρά στο μέσο και ανατολικό άκρο (η πεδιάδα αυτή βρίσκεται μεταξύ Ψηλορείτη και Δίκτης).

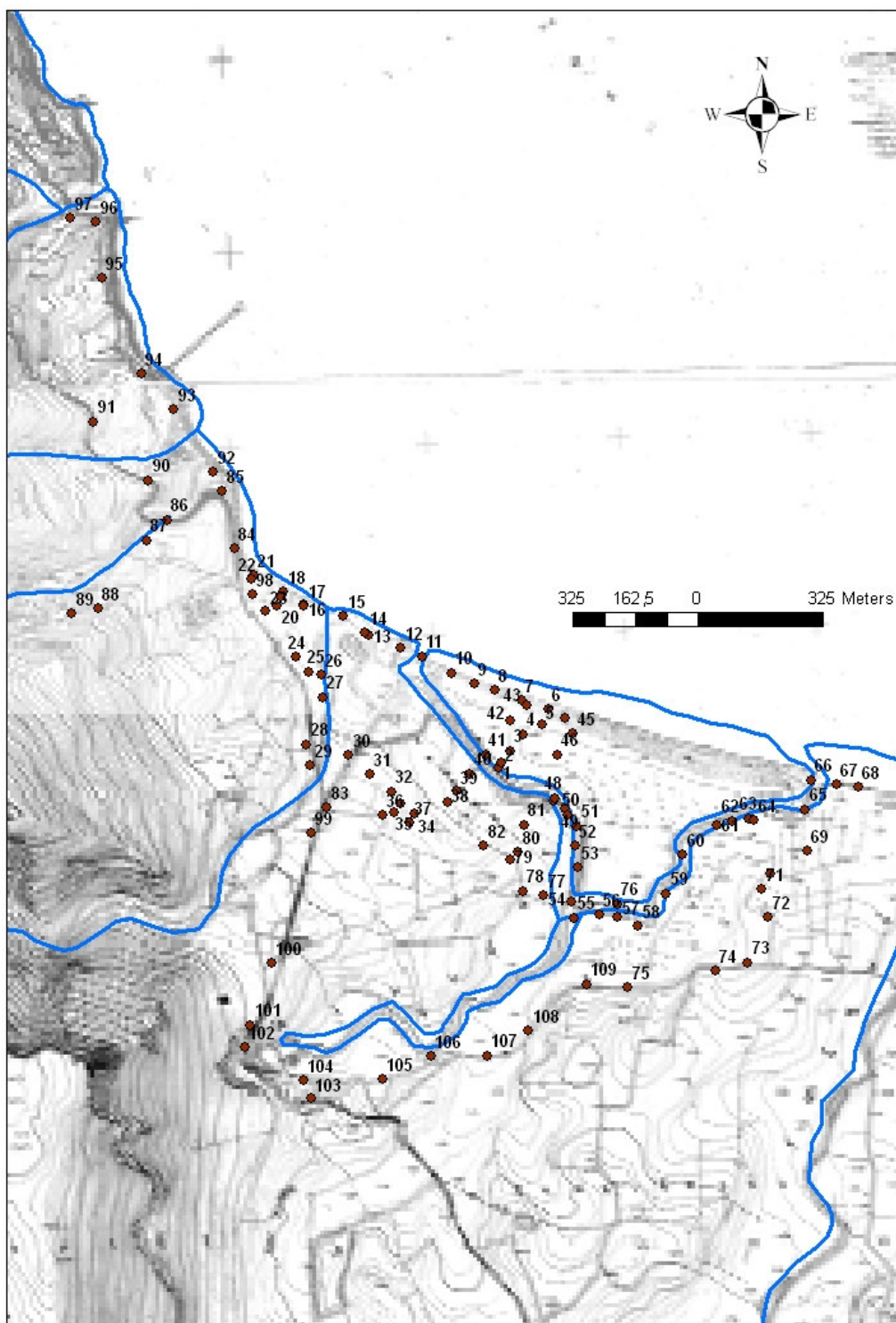
Σπηλαιο: το Δικταίο άντρο, όπου γεννήθηκε ο Δίας, Σπηλιάρα της Βοσκοπούλας ή Ιδαίο άντρο, Μελιδονίου και Μιλάτου, όπου έγιναν ολοκαυτώματα επί Τουρκοκρατίας

ΟΡΥΚΤΟΣ ΠΛΟΥΤΟΣ ΚΡΗΤΗΣ: Το υπέδαφος της Κρήτης είναι πλούσιο σε ορυκτά. Βρέθηκαν σίδηρος, μόλυβδος, στεατίτης, μαγνήσιο, λιγνίτης, θείο, χαλκός και ψευδάργυρος. Υπάρχουν επίσης πολύτιμα μέταλλα, όπως χρυσός, άργυρος και πολύτιμοι λίθοι.

Το πάριο χρονικό αναφέρει ότι επί Μίνωα Α', το 1453 π.Χ. ή 1210 πριν από το Διόγνητο βρέθηκε σίδηρος στην Ίδη.

Δάση: Πριν πολλά χρόνια η Κρήτη είχε πυκνά δάση, εξ ου και τα όρη της Κρήτης λεγόταν «Ιδαία» = σύδενδρα. Σήμερα η δασοκάλυψη του νησιού είναι μικρή σε σχέση με την αρχαιότητα. Κύρια δασικά δέντρα είναι ο πρίνος (η βελανιδιά και πουρνάρια) και ο ασφένδαμος (λιανό) και ακολουθούν το πεύκο, η δρυς, το κυπαρίσσι και η καστανιά.

Η περιοχή που ερευνήθηκε εντοπίζεται στο δυτικό τμήμα του κόλπου του Ηρακλείου, με ανάγλυφο το οποίο είναι σχετικά ομαλό (σχ. 1.1) ενώ προς τα δυτικά εντοπίζεται η παρουσία ορεινού όγκου. Επίσης πρέπει να αναφερθεί ότι διαρρέεται από τον Αλμυρό ποταμό με τους παραποτάμους του.



Σχήμα 1.1 Σχεδιάγραμμα της ευρύτερης περιοχής του Ηρακλείου με το υδρογραφικό δίκτυο

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 Στρωματογραφικά στοιχεία

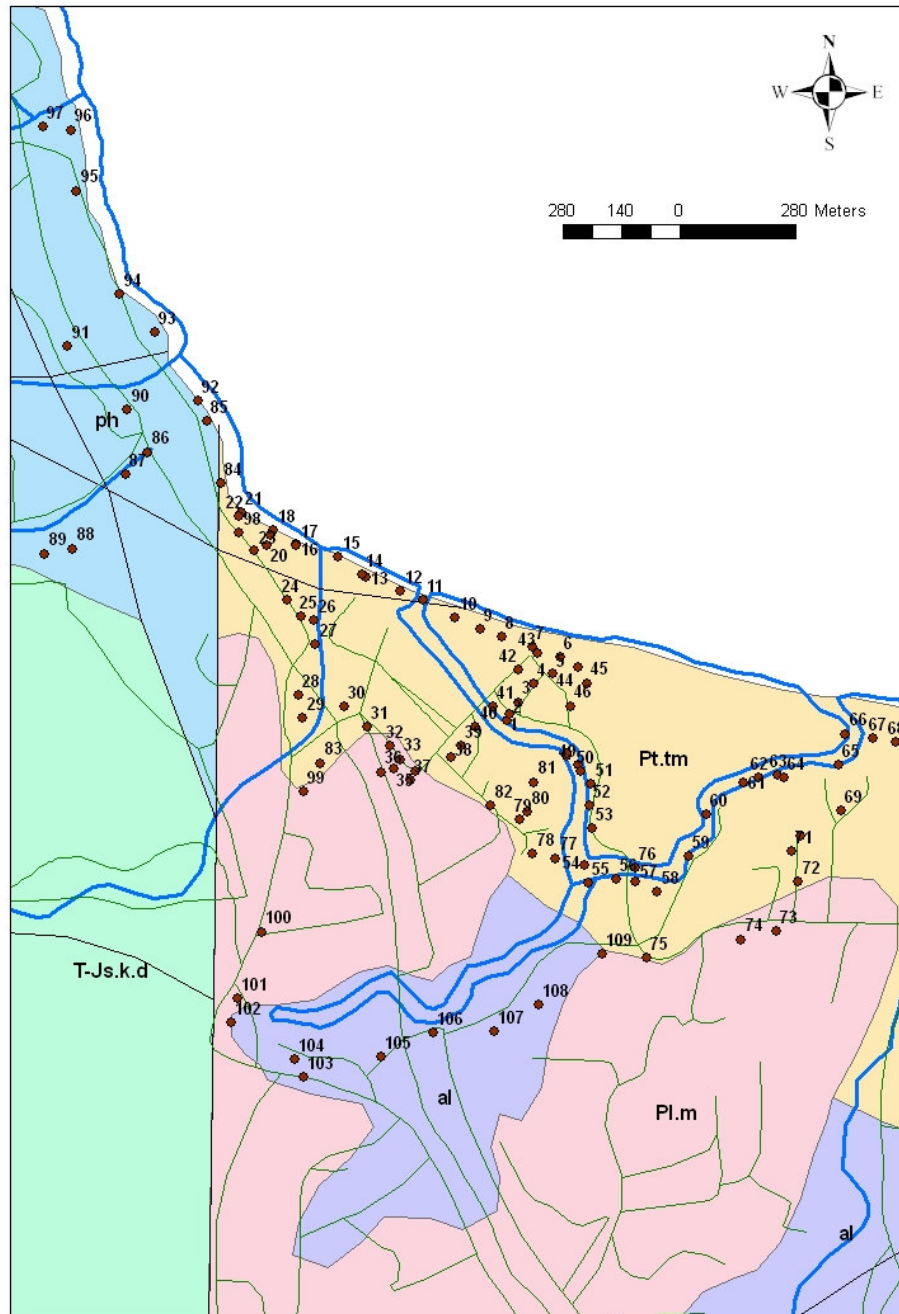
Από την μελέτη του γεωλογικού χάρτη Φύλλου Ηρακλείου, έκδοσης Ι.Γ.Μ.Ε. 1:50000 (σχ. 2.1) και επιτόπου **γεωλογική** αυτοψία, προκύπτει ότι η ευρύτερη περιοχή καλύπτεται κυρίως από Αλπικά και Μεταλπικά ιζήματα.

Οι σχηματισμοί οι οποίοι δομούν την εξεταζόμενη περιοχή **από τους νεότερους προς τους παλαιότερους** είναι:

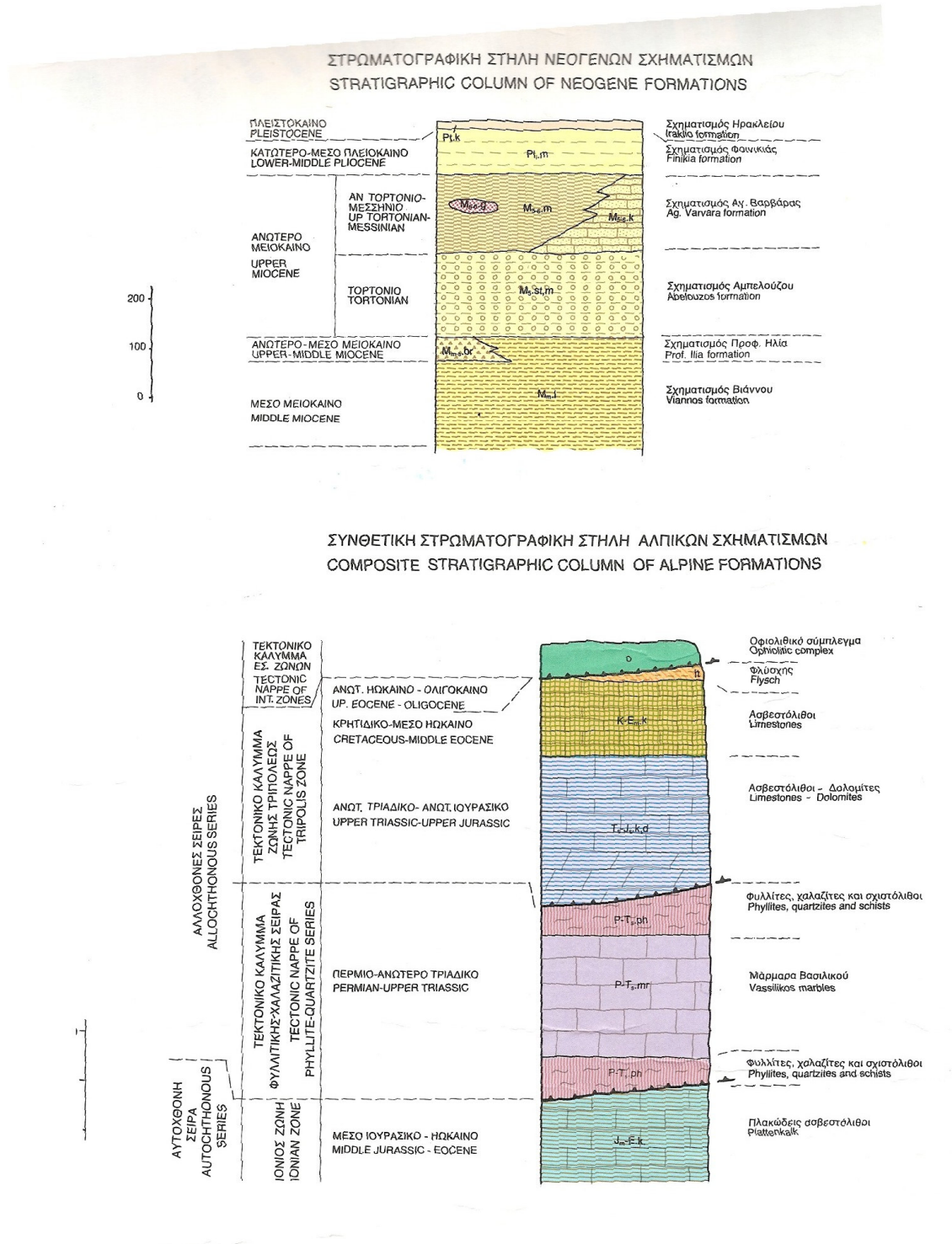
- ΑΙ: Ποτάμιες αποθέσεις και αποθέσεις κλειστών λεκανών ηλικίας Τεταρτογενούς - Ολόκαινο. Ειδικότερα οι αποθέσεις αυτές εντοπίζονται εκατέρωθεν των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου.
- Qs: αδιαίρετες θαλάσσιες αναβαθμίδες και άμμοι ακτών ηλικίας Πλειστόκαινου - Ολοκαίνου. Εντοπίζονται στο παραλιακό τμήμα της εξεταζόμενης περιοχής.
- ΡΙ.μ: Σχηματισμός Φοινικιάς, ο οποίος αποτελείται από λευκές ομοιογενείς μάργες ή μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, τεφρωπές αργίλους με καστανές συχνά λεπτοστρωμένες παρεμβολές από λευκόφαιες απολιθωματοφόρες μάργες, φυλλώδεις μάργες ή διατομίτες και βιοκλαστικούς ασβεστόλιθους. Η βάση του σχηματισμού αποτελείται από ένα αδιαβάθμητο «μαργαϊκό λατυποπαγές» με συστατικά λευκών ομοιογενών μαργών, ασβεστολίθων και μαργών του σχηματισμού Αγ. Βαρβάρας, πρασινωπών αργίλων και προνεογενών πετρωμάτων. Ο σχηματισμός της Φοινικιάς επίκειται ασύμφωνα του σχηματισμού Αγ. Βαρβάρας και το πάχος του υπερβαίνει τα 150 m. Η ηλικία του είναι Νεογενές έως Κατώτερο Μέσο Πλειόκαινο.

- Οι αλλόχθονες σειρές που εντοπίζονται στο δυτικό τμήμα της υπό μελέτη περιοχής ανήκουν:
 - Στο τεκτονικό κάλυμμα της Ζ. Τρίπολης (Ts-Jsk,d): Ασβεστόλιθοι, δολομιτικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες, στην βάση τους μυλονιτιωμένοι λόγω τεκτονισμού. Τα κατώτερα μέλη τους αποτελούνται από ημικρυσταλλικούς δολομίτες, παχυστρωματώδεις έως άστρωτοι, τεφρόμαυροι, ενώ τα ανώτερα μέλη μεταπίπτουν σε ασβεστόλιθους και δολομιτικούς ασβεστόλιθους, μεσοστρωματώδεις, τεφρόλευκοι έως τεφρόμαυροι. Στο σύνολο τους είναι καρστικοί, κυρίως στα ανώτερα μέλη. Το μέγιστο πάχος τους φθάνει τα 300 m και η ηλικία τους Αν. Τριαδικό - Αν. Ιουρασικό.
 - Στο τεκτονικό κάλυμμα της φυλλιτικής - χαλαζιτικής σειράς(P-Ts.ph): αποτελεί ενότητα πολύ χαμηλής μέχρι χαμηλής μεταμόρφωσης που έχει επωθηθεί μαζί με την τεκτονικά υπερκείμενη της ζώνη Τρίπολης, πάνω στην αυτόχθονη σειρά των «πλακωδών ασβεστόλιθων» κατά το Κατώτερο Μειόκαινο. Πρόκειται για σχιστόλιθους, πρασινίτες - πρασινοσχιστόλιθους και μεταβασίτες με μέγιστο πάχος 400 μ. Πιθανή ηλικία Πέρμιο - Αν. Τριαδικό.

Στο σχήμα 2.2 παρουσιάζεται η στρωματογραφική στήλη που δείχνει την ακολουθία των πετρωμάτων στην εξεταζόμενη περιοχή.



Σχήμα 2.1 Γεωλογικός χάρτης του Ηρακλείου στην περιοχή του υποσταθμού της ΔΕΗ όπου παρουσιάζονται οι κυριότεροι γεωλογικοί σχηματισμοί, τα ρήγματα, το οδικό και το υδρογραφικό δίκτυο (Φύλλο χάρτη Ηράκλειο, έκδοσης Ι.Γ.Μ.Ε. 1:50000)



Σχήμα 2.2 Στρωματογραφική στήλη που δείχνει την ακολουθία των αλπικών και μεταλπικών ιζημάτων στην εξεταζόμενη περιοχή (Φύλλο χάρτη Ηράκλειο, έκδοσης Ι.Γ.Μ.Ε. 1:50000)

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 υποδεικνύει 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 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 εξεταζόμενη περιοχή (σχ.2.1) είναι η παρουσία ρηξιγενούς ζώνης διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ και Β-Ν.

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 μετρείται 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.

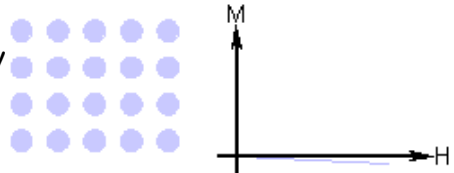
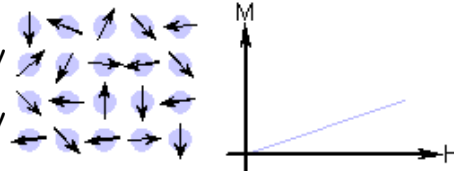
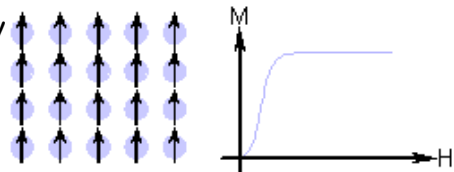
Παραμένουσα μαγνήτιση είναι η ιδιότητα των σιδηρομαγνητικών υλικών να διατηρούν τις μαγνητικές ιδιότητες τους ακόμη και κατά την απουσία εξωτερικού μαγνητικού πεδίου.

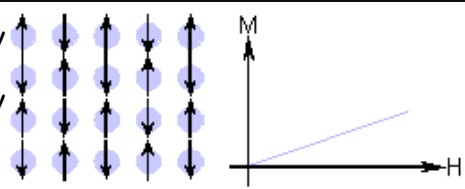
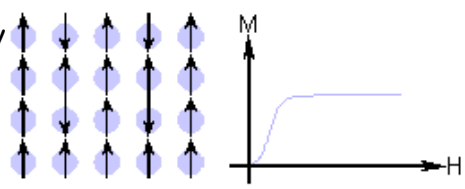
Στον Πίνακα (3.1) δίνονται συγκεντρωτικά όλα τα είδη μαγνήτισης διάφορων υλικών.

3.3 Μαγνητική υστέρηση

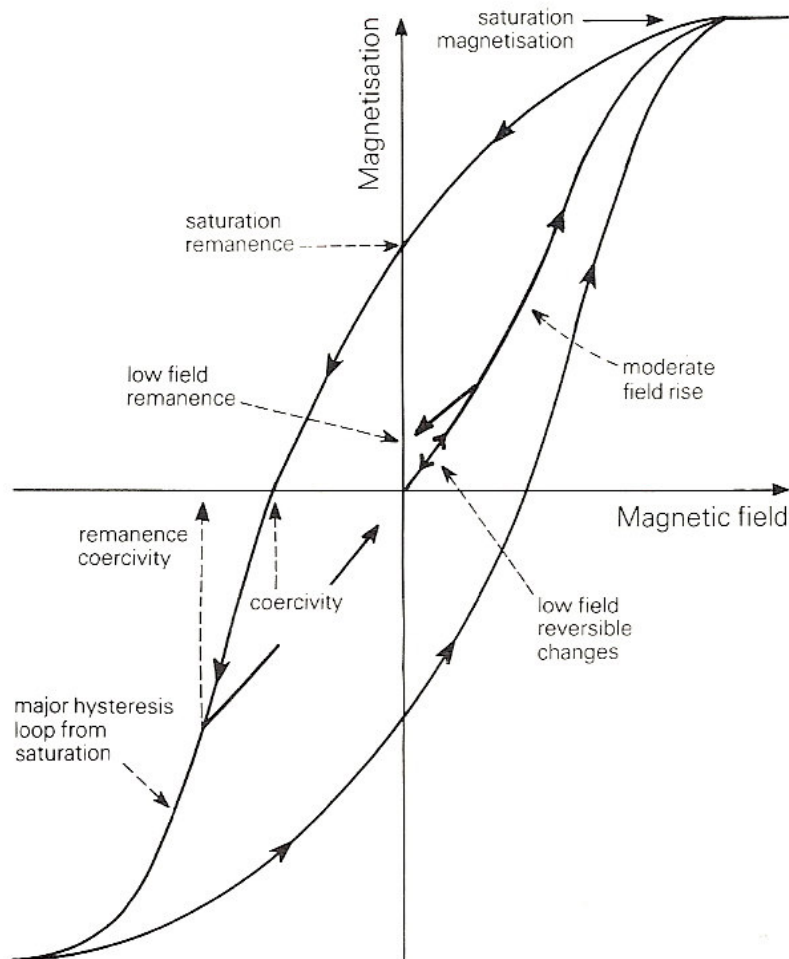
Το μαγνητικό καθεστώς μια ράβδου σιδήρου εξαρτάται από το μαγνητικό πεδίο, στο οποίο εκτίθεται και την μαγνητική ιστορία της ράβδου. Το σχήμα 3.1 παρουσιάζει την σχέση της μαγνήτισης μιας ράβδου σιδήρου με το εφαρμοζόμενο μαγνητικό πεδίο.

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 -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 $\sim 100,000$

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 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 Oe
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	$\sigma = M/\rho$ A m ² kg ⁻¹	$\sigma = I/\rho$ G cm ³ g ⁻¹	$1 \text{ A m}^2 \text{ kg}^{-1} = 1 \text{ G cm}^3 \text{ g}^{-1}$
	$\rho = \text{density}$		
susceptibility per unit volume	$\kappa = M/H$	$\kappa = I/H$	$1 \text{ (SI unit)} = 4\pi \text{ G Oe}^{-1}$
susceptibility per unit mass	$\chi = \kappa/\rho$ m ³ kg ⁻¹	$\chi = \kappa/\rho$ G Oe ⁻¹ cm ³ 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 (A m ² kg ⁻¹)
magnetite	Fe ₃ O ₄	585	93
ulvospinel	Fe ₂ TiO ₄	-153	—
haematite	αFe ₂ O ₃	675	0.5
ilmenite	FeTiO ₃	-218	—
maghaemite	γFe ₂ O ₃	~740	85
pyrrhotite	~Fe ₇ S ₈	~300	~20
iron	αFe	780	200
goethite	αFeO.OH	120	~1
lepidocrocite	γFeO.OH	-196	—
magnesianoferrite	MgFe ₂ O ₄	440	21
jacobsite	MnFe ₂ O ₄	310	77

3.4 Μαγνητική επιδεκτικότητα

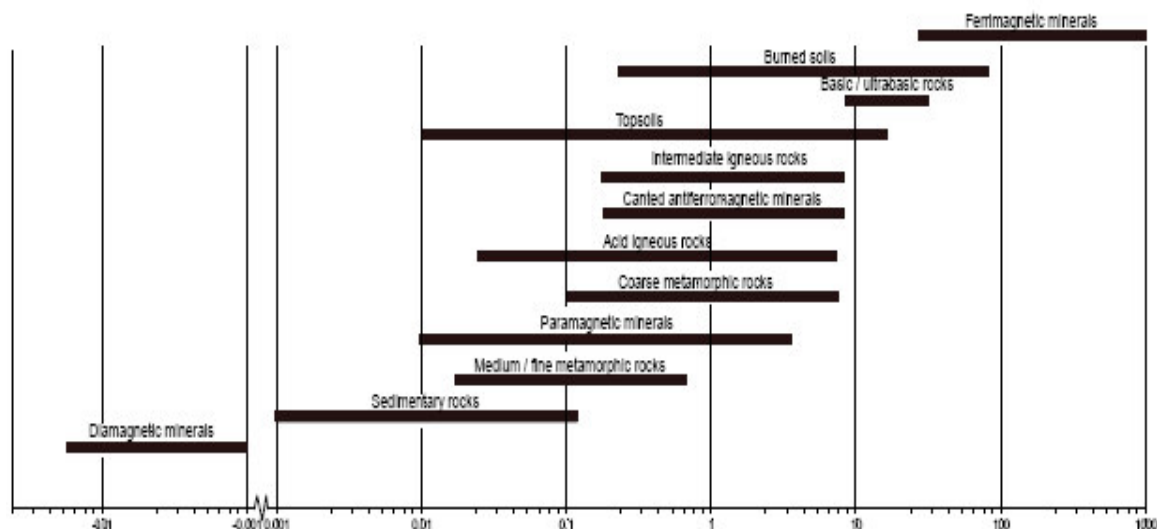
Η μαγνητική επιδεκτικότητα είναι ένα μέτρο της ευκολίας με την οποία μαγνητίζεται ένα υλικό. Η μαγνητική επιδεκτικότητα κατ' όγκο ορίζεται από την σχέση: $\kappa = M/H$, όπου M η κατ' όγκο μαγνήτιση που αποκτά ένα υλικό επιδεκτικότητας κ , όταν εφαρμοστεί πεδίο έντασης H . Η μαγνητική επιδεκτικότητα 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 m³/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 ($\infty \text{ Fe}$)	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_9)	$\sim 5 \times 10^3$	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 ($\infty \text{ FeOOH}$)	70	chamosite (Oxidised chlorite)	~90	montmorillonite (clay)	~5
haematite (I_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:

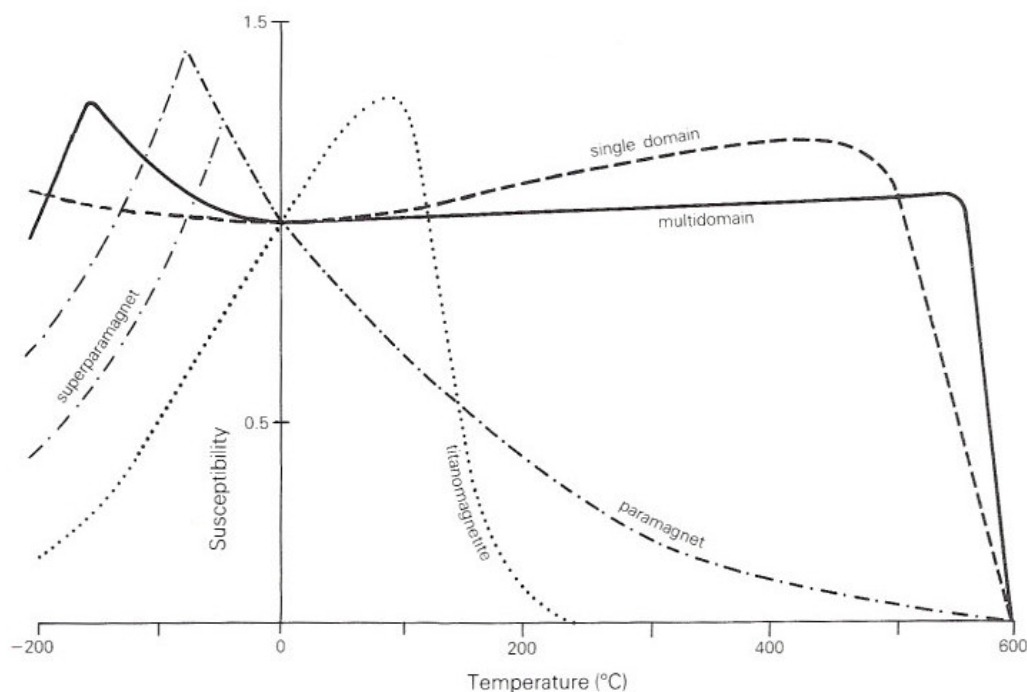
1. Παραμένουσα μαγνήτιση εναπόθεσης (Detrital or depositional remanent magnetization, DRM) - αφορά την παραμένουσα μαγνήτιση που αποκτούν τα ιζήματα κατά την απόθεση τους.
2. Μέγιστη παραμένουσα μαγνήτιση (Saturation isothermal remanent magnetization, SIRM or MRS or σ_{RS}). Είναι η μέγιστη παραμένουσα μαγνήτιση που μπορεί να παρατηρηθεί και αποκτάται κατά την εφαρμογή και απομάκρυνση ενός ισχυρού μαγνητικού πεδίου.
3. Μέγιστη μαγνήτιση (saturation magnetization M_S 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. 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°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 $<20\mu\text{m}$ (διακεκομμένη), μεγάλου μεγέθους κόκκοι $>20\mu\text{m}$ (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 (χ_{fd}) 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.

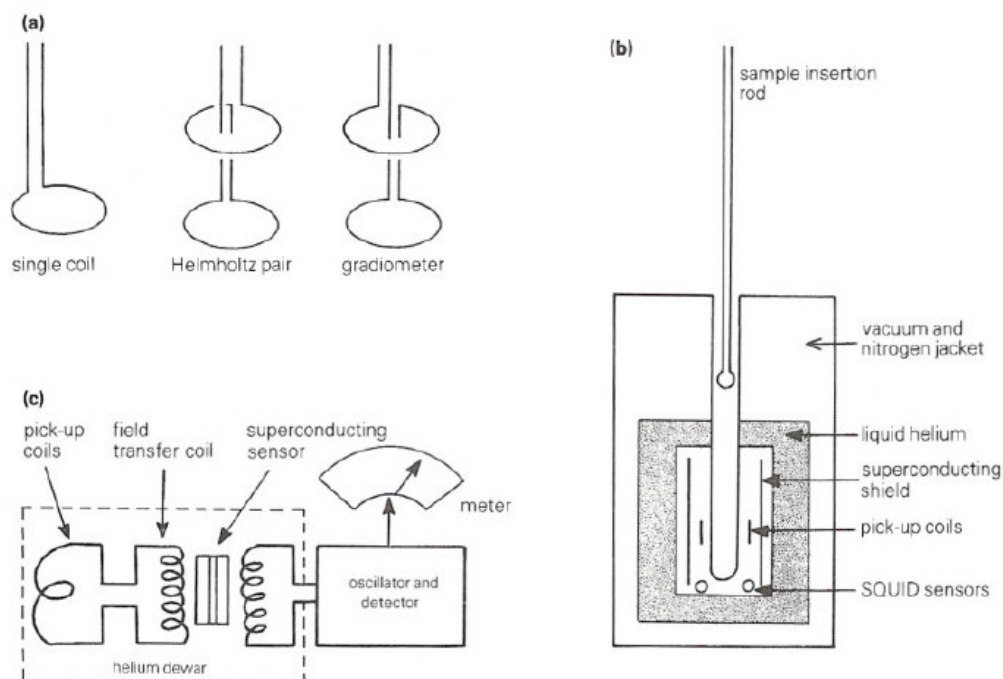
Με προσεκτική επιλογή της συχνότητας είναι δυνατόν να διερευνηθεί το φάσμα της επιδεκτικότητας, κάνοντας απλά και μόνο δύο μετρήσεις. Το όργανο της Bartington, που χρησιμοποιήθηκε και στην συγκεκριμένη περίπτωση μετράει σε συχνότητες 1 και 10KHz και σε μια μέγιστη ένταση εναλλασσόμενου μαγνητικού πεδίου 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 (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 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 0.1range 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 <i>Intermediate sizes can be provided at an additional charge</i>
Calibration accuracy	5% (calibration sample provided)
Measurement period - x 1 range - x 0.1 range	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

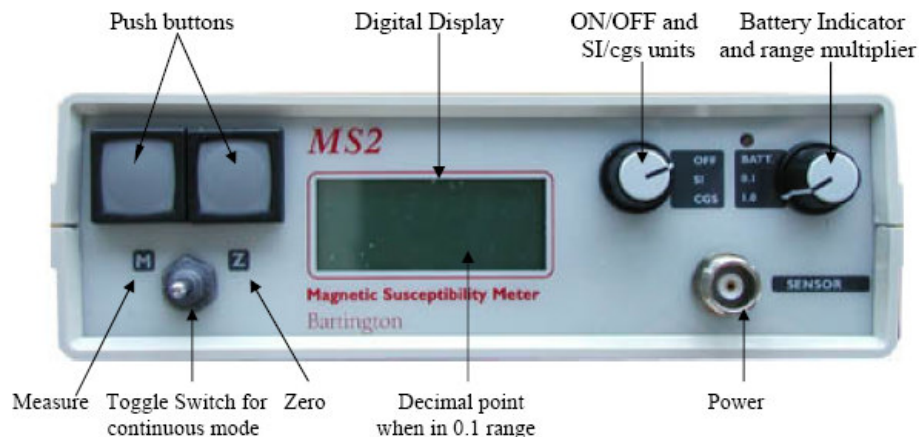
**Specification - MS2 Probe Handle**

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, 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 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 και μηχανισμοί άμυνας του φυτού

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 ουρείδίων, 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 (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 ρύπανση 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 $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ και 3 mM $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, 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.

Τα τελευταία χρόνια η σύγχρονη βιομηχανική ανάπτυξη οδήγησε στο σχηματισμό επικίνδυνων χημικών ουσιών που απελευθερώθηκαν στο περιβάλλον λόγω άγνοιας ή ανευθυνότητας. Οι ουσίες αυτές είναι γνωστές με τον όρο χημικοί επιμολυντές και αποτελούν αντικείμενο πολλών επιστημονικών ερευνών, αφού μέσω του εδάφους και του αέρα περνάνε στα φυτά και στα ζώα και ακολούθως στην τροφική αλυσίδα.

Ποιοι είναι, όμως, οι κυριότεροι χημικοί επιμολυντές? Πως περνάνε στην τροφική αλυσίδα? Πόσο επιβλαβείς μπορεί να είναι για την υγεία? Οι κυριότεροι χημικοί επιμολυντές είναι τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs), οι πολυχρωμιωμένες διβενζο-π-διοξίνες (PCDDs) και τα βαρέα μέταλλα. Τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια χρησιμοποιούνται σε μονωτικά υγρά, ηλεκτρικούς μετασχηματιστές, πυκνωτές κ.α. Οι διοξίνες είναι μια κατηγορία πληθώρας χημικών συνθετικών ουσιών, που είναι από τις πιο τοξικές που γνωρίζουμε. Από τις τοξικότερες διοξίνες είναι οι διβενζοδιοξίνες, με σημαντικότερη την τετραχλωροδιβενζο-π-διοξίνη (TCDD). Αυτές σχηματίζονται από τη συμπίκνωση δυο ορθοφαινολικών ενώσεων και εισέρχονται στο περιβάλλον μέσω της ατελούς καύσης οργανικών ουσιών και χλωροενώσεων ή από απόβλητα βιομηχανιών παραγωγής φυτοφαρμάκων και ζιζανιοκτόνων.

Τα σπουδαιότερα βαρέα μέταλλα είναι το κάδμιο, ο μόλυβδος(Pb), ο υδράργυρος(Hg), το αρσενικό και το θάλλιο. Ο υδράργυρος εισέρχεται στο περιβάλλον από την καύση του άνθρακα, του πετρελαίου ή ορισμένων στερεών αποβλήτων. Η ρύπανση του αέρα, του εδάφους και του νερού από κάδμιο προέρχεται κυρίως από τις βιομηχανίες επεξεργασίας χαλκού, χρωμάτων και πλαστικού. Το θάλλιο προέρχεται από τσιμεντοβιομηχανίες, ενώ ο μόλυβδος από βιομηχανίες μπαταριών.

Οι χημικοί επιμολυντές εισέρχονται στην τροφική αλυσίδα μέσω των γεωργικών εδαφών, που ως βασικό δομικό στοιχείο των αγροσυστημάτων, είναι ο τελικός αποδέκτης των διφαινυλίων, των διοξινών και των βαρέων μετάλλων. Οι διοξίνες συσσωρεύονται στα χωράφια μετά από καύση διαφόρων ουσιών ή απευθείας από απόβλητα βιομηχανιών. Βιομηχανίες εντομοκτόνων, μυκητοκτόνων, πλαστικών, χρωμάτων κ.α. παράγουν χημικούς επιμολυντές μέσω κάποιων διεργασιών. Οι ουσίες αυτές εναποτίθενται απευθείας στα χωράφια ή μεταφέρονται σε αυτά από την

ατμόσφαιρα μέσω του βρόχινου νερού ή με τη μεταφορά μολυσμένου χώματος με τον αέρα. Στο έδαφος οι χημικές ουσίες κινούνται προς τον υδροφόρο ορίζοντα, όπου βρίσκονται οι ρίζες των φυτών. Μέσω του ριζικού συστήματος τα φυτά προσλαμβάνουν νερό και θρεπτικά συστατικά από το έδαφος παίρνοντας παράλληλα και διοξίνες ή βαρέα μέταλλα. Έτσι, οι χημικές ουσίες περνάνε σε καλλιεργούμενα φυτά, αλλά και σε ζώα που τρέφονται με μολυσμένο χορτάρι. Με αυτό τον τρόπο οι διοξίνες και τα βαρέα μέταλλα εισέρχονται στα λαχανικά, τα φρούτα, το κρέας και τα γαλακτοκομικά προϊόντα.

Οι χημικοί επιμολυντές μπορούν να προκαλέσουν πληθώρα προβλημάτων στην υγεία μας. Κατανάλωση τροφίμων με μεγάλες ποσότητες διοξινών μπορεί να προκαλέσει άμεσα προβλήματα, όπως κούραση, διαταραχές του νευρικού συστήματος, δερματικές παθήσεις και τοξικά φαινόμενα στο ήπαρ. Το πιο σημαντικό, όμως, πρόβλημα είναι η συνεχής και μακροχρόνια κατανάλωση τροφίμων με μέτριες ποσότητες διοξινών, διφαινυλίων και βαρέων μετάλλων. Σε αυτή την περίπτωση, επειδή οι ουσίες αυτές συσσωρεύονται σε διάφορα όργανα του οργανισμού υπάρχει μεγάλη πιθανότητα εμφάνισης μεταλλάξεων, καρκινογενέσεων, προβλημάτων στο αναπαραγωγικό σύστημα και τερατογενέσεων.

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι στις μέρες μας, όπου υπάρχει έξαρση βιομηχανικής ανάπτυξης, το πρόβλημα των χημικών επιμολυντών στην τροφική αλυσίδα είναι τεράστιο και απαιτεί εξεύρεση λύσεων. Η επίλυση του προβλήματος απαιτεί αφενός την κινητοποίηση του κρατικού μηχανισμού με την συχνή διεξαγωγή ελέγχων σε βιομηχανίες και αφετέρου τη συνειδητοποίηση των βιομηχανιών, οι οποίες πρέπει να εφαρμόζουν συστήματα επωφελοδύναμης για το περιβάλλον επεξεργασίας των αποβλήτων τους και να ελαττώσουν τη χρήση ουσιών που δύναται να παράγουν διοξίνες ή βαρέα μέταλλα. Επίσης, ο κρατικός μηχανισμός πρέπει να απαγορεύει την καλλιέργεια εδαφών και τη βοσκή ζώων κοντά σε βιομηχανικές

περιοχές, ενώ επιβάλλεται να καταρτιστεί πρόγραμμα ενημέρωσης των καταναλωτών για το συγκεκριμένο πρόβλημα, ώστε να είναι προσεκτικοί και υποψιασμένοι.

Φυτά που έχουν την ικανότητα να συσσωρεύουν βαρέα μέταλλα

Η ικανότητα φυτικών ειδών να υπερσυσσωρεύουν βαρέα μέταλλα, είναι γνωστή εδώ και πολλά χρόνια. Στις περιπτώσεις όπου έχει γίνει χρησιμοποίηση των συγκεκριμένων φυτικών ειδών για την απομάκρυνση βαρέων μετάλλων από υποβαθμισμένες περιοχές, τα τοξικά βαρέα μέταλλα απομακρύνονται απευθείας με τη συγκομιδή της φυτικής βιομάζας, ή εναλλακτικά μετατρέπονται σε λιγότερο τοξικές μορφές. Στην πράξη όμως, η χρησιμότητα των φυτών που υπερσυσσωρεύουν τα τοξικά κατιόντα είναι δυνατό να υπόκειται σε μια σειρά από περιορισμούς. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η περίπτωση του είδους *Thlaspi caerulescens*, το οποίο παρότι υπερσυσσωρεύει βαρέα μέταλλα σε σημαντικές ποσότητες, η χρησιμότητα του περιορίζεται από τη μικρή βιομάζα του, καθώς η ποσότητα ενός ρυπαντή που απομακρύνεται καθορίζεται τόσο από τη συγκέντρωση του στα απομακρυνόμενα φυτικά όργανα, όσο και από τη συνολική βιομάζα τους.

Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει σημαντικές προσπάθειες για την ανάπτυξη γενετικά τροποποιημένων φυτών, με βελτιωμένες ιδιότητες ως προς την απομάκρυνση ρυπαντών από το έδαφος. Για το σκοπό αυτό, έχουν χρησιμοποιηθεί πολλές διαφορετικές προσεγγίσεις ως προς το είδος των επεμβάσεων και των γονιδίων που έχουν χρησιμοποιηθεί για την αύξηση της ικανότητας συσσώρευσης βαρέων μετάλλων. Σε αυτές περιλαμβάνονται:

- Η γενετική τροποποίηση με την εισαγωγή βακτηριακών γονιδίων που συντελούν στην αναγωγή τοξικών ρυπαντών και την αποθήκευσή τους σε λιγότερο τοξικές μορφές (Εφαρμογή στην απομάκρυνση υδραργύρου).

- Αύξηση της ικανότητας πρόσληψης μετάλλων μέσω γενετικής τροποποίησης με τη χρήση του γονιδίου της συνθάσης της νικοτιαναμίνης, το οποίο και συμμετέχει στη βιοσύνθεση των φυτοσιδηροφόρων.
- Γενετική τροποποίηση με τη χρήση φυτικών γονιδίων που σχετίζονται με την ομοιόσταση των μετάλλων στους φυτικούς οργανισμούς. Η συγκεκριμένη προσέγγιση αποτελεί και τη συνηθέστερη επιλογή για την αύξηση της ικανότητας απομάκρυνσης μετάλλων από το έδαφος και περιλαμβάνει επεμβάσεις με τη χρήση φυτικών γονιδίων μεταλλοθειονινών, φυτοχελαιτινών και σχετίζονται με τη βιοσύνθεση της γλουταθειόνης αλλά και άλλων οργανικών μορίων που συμβάλουν στην αδρανοποίηση των τοξικών βαρέων μετάλλων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η χρησιμοποίηση του γονιδίου της ATP σουλφουριλάσης, το οποίο διευκολύνει την αναγωγή του σεληνίου και την αποθήκευση του στο εσωτερικό του φυτού σε λιγότερο τοξικές μορφές. Επιπρόσθετο όφελος της επέμβασης ήταν η συσσώρευση στα γενετικά τροποποιημένα φυτά της αντικαρκινικής ουσίας μεθυλοσεληνοκυστεΐνης.
- Μία πολλά υποσχόμενη νέα προσέγγιση βασίζεται στην αύξηση της ικανότητας δέσμευσης βαρέων μετάλλων διαφόρων φυτικών πρωτεϊνών, μέσω της προσθήκης επιπλέον θέσεων δέσμευσης για τα αντίστοιχα μέταλλα. Στα πλαίσια αυτά έχει δοκιμαστεί η προσθήκη σε φυτική πρωτεΐνη, επιπλέον αμινοξέων ιστιδίνης, τα οποία δημιουργούν μια επιπλέον θέση δέσμευσης μετάλλων. Η δοκιμή της συγκεκριμένης προσέγγισης σε πραγματικά υποβαθμισμένα πεδία έδωσε ενθαρρυντικά αποτελέσματα ως προς την απομάκρυνση μετάλλων όπως το κάδμιο, το νικέλιο και ο ψευδάργυρος. Σημαντικό πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης προσέγγισης, αποτελεί το γεγονός ότι δεν στηρίζεται στην εισαγωγή σε φυτά, γονιδίων από άλλους οργανισμούς, αλλά βασίζεται στην τροποποίηση και την επανεισαγωγή ενδογενών γονιδίων.

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 $\text{HO}^\cdot$, $\text{O}_2^\cdot$ 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 'Ιται - Ιται' 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).

Ο μόλυβδος είναι σημαντικός ρυπαντής και επικίνδυνος για την υγεία λόγω της μεγάλης του τοξικότητας και αφετέρου, λόγω της ποικιλίας των πηγών προέλευσης. Ο μόλυβδος φτάνει στον άνθρωπο, είτε μέσω της αναπνοής μετά την εναπόθεσή του στο έδαφος, είτε μέσω της τροφικής αλυσίδας, είτε από το νερό. Τα σωματίδια του μολύβδου μεταφέρονται εύκολα στις κυψελίδες των πνευμόνων λόγω της μικρής τους διαμέτρου που δεν υπερβαίνει το 1 nm (1εκατομυριοστό του μέτρου). Εναποτίθεται κυρίως στα οστά, από όπου μπορεί να μεταβιβαστεί στο αίμα κάτω από συνθήκες άγχους και ασθένειας. Στο αίμα παρεμποδίζει το σχηματισμό αιμοσφαιρίνης με αποτέλεσμα την αναιμία. Ο μόλυβδος εμποδίζει τα ένζυμα στην λειτουργία τους και διακόπτει μεγάλο αριθμό μεταβολικών λειτουργιών. Άλλες επιπτώσεις του είναι ανικανότητα, μειωμένη σεξουαλικότητα, ολιγοσπερμία κι τερατοσπερμία στους άνδρες, ενώ στις γυναίκες προκαλεί αυξημένο ποσοστό αποβολών και θνησιγενών βρεφών, καθώς διαπερνά τον πλακούντα ήδη από την δωδέκατη εβδομάδα και μεταφέρεται στα έμβρυα πολύ εύκολα, στα οποία προκαλεί εγκαφαλοπάθειες. Στα παιδιά ακόμη και μικρές συγκεντρώσεις μολύβδου επηρεάζουν τις διανοητικές

λειτουργίες τους, ενώ μακροχρόνια έκθεση μπορεί να προκαλέσει διανοητική καθυστέρηση. Μπορεί ακόμη να προκαλέσει χρόνια νεφρίτιδα, καρδιαγγειακά προβλήματα, εγκεφαλική παράλυση, καθώς και προβλήματα στο συκώτι. Το σημαντικό πρόβλημα με το μόλυβδο είναι ότι απομακρύνεται δύσκολα λόγω του μεγάλου χρόνου ημιζωής του. Για το λόγο αυτό με οδηγία της Ε.Ε., απαγορεύτηκε η βενζίνη με μόλυβδο και αντικαταστάθηκε με χημικό υποκατάστατο.

Χαλκός (Cu): Σε κλειστά παραλιακά συστήματα, όπως ο κόλπος των Λινοπεραμάτων, οι συγκεντρώσεις του Χαλκού αυξάνονται σημαντικά, ειδικά μετά την απόρριψη των επεξεργασμένων ρυπασμένων από πετρέλαιο νερό στη θάλασσα, αλλά και από την διαρροή τοξική λάσπης προς αυτήν. Ο κυριότερος μηχανισμός, τοξικής δράσης του χαλκού είναι η δηλητηρίαση και καταστροφή των ενζύμων. Ακόμη ο χαλκός μπορεί να επηρεάσει τη μεμβράνη των κυττάρων ελαττώνοντας τη διαπερατότητά της. Καθώς λοιπόν επιδρά στο φυτοπλαγκτόν, αλυσιδωτά περνά μέσω της τροφικής αλυσίδας και στους ανώτερους οργανισμούς, όπως είναι και ο άνθρωπος. Για τον άνθρωπο τοξική δόση χαλκού θεωρούνται τα 250 mg την ημέρα, με κύριο σύμπτωμα τον ερεθισμό του γαστρεντερικού συστήματος.

3. Χρώμιο (Cr): Ένα άλλο τοξικό στοιχείο είναι το χρώμιο που προαναφέραμε στη σύσταση της τοξικής ιλύος του εργοστασίου της ΔΕΗ. Εκτός όμως από τις τοξικές λάσπες το Χρώμιο, βρίσκεται και σε μηχανές που έχουν επικαλυφθεί για λόγους προστασίας. Σε προχωρημένες περιπτώσεις, διαπιστώθηκε μείωση της νοητικής ικανότητας. Ενώ σε εργάτες που εκτέθηκαν σε εξασθενές χρώμιο, προσβλήθηκε η ανώτερη αναπνευστική οδός, με αποτέλεσμα κυρίως ανωμαλίες της καλυπτήριας μεμβράνης, που αρχικά θεωρήθηκαν αθεράπευτες και παρέμειναν όμως μη αντιστρεπτές για μερικά χρόνια. Το τρισθενές Χρώμιο έχει χαρακτηριστεί σαν ένα από τα πιο ισχυρά ανόργανα καρκινογόνα. Υπάρχουν πειραματικά δεδομένα για την

καρκινική δράση στο στομάχι, ενώ η δράση των ιόντων χρωμίου που οδηγεί σε καρκίνο συνίσταται σε προσβολή του DNA και των πρωτεϊνών.

Υδράργυρος (Hg): Είναι γνωστός σε όλους μας, αφού αποτελεί το περιεχόμενο των θερμομέτρων έχοντας αυτό το αργυρόχρουν υγρό. Χρησιμοποιείται κυρίως σε βιομηχανίες κατασκευής ηλεκτρικού εξοπλισμού και ανιχνεύεται στις τοξικές λάσπες, των εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Μπορεί να μπει στο σώμα από τους πνεύμονες, το δέρμα και από το πεπτικό σύστημα. Η πιο συνηθισμένη περίπτωση δηλητηρίασης από υδράργυρο είναι μέσω της αναπνοής. Οι συνήθεις δηλητηριάσεις από υδράργυρο προέρχονται από σύντομες εκθέσεις σ' αυτόν, σε υψηλά όμως επίπεδα. Μπορούν όμως να προκαλέσουν οξεία δηλητηρίαση, χαρακτηριστικά της οποίας είναι σφίξιμο και πόνος στο στήθος, δυσκολία στη αναπνοή, φλεγμονές στο στόμα και τα ούλα, πυρετός και πονοκέφαλος. Πιο επικίνδυνες όμως είναι οι χρόνιες δηλητηριάσεις από έκθεση σε χαμηλά επίπεδα.

Ας λάβουν δε, σοβαρά υπόψη οι αρμόδιοι από το ΥΠΕΧΩΔΕ μέχρι την τοπική αυτοδιοίκηση και τη ΔΕΗ, ότι ο άνθρωπος κατέχει την κορυφή της τροφικής πυραμίδας και υφίσταται αλυσιδωτές συνέπειες που δέχονται από τη μόλυνση οι κατώτεροι οργανισμοί. Αυτό εκφράζεται με τον νόμο της συγκέντρωσης. Αν υπάρχει μια ορισμένη συγκέντρωση τοξικής ουσίας στο περιβάλλον, στον πρώτο κρίκο της τροφικής αλυσίδας η συγκέντρωση θα είναι μεγαλύτερη, στον δεύτερο κρίκο ακόμα μεγαλύτερη και στον άνθρωπο γίνεται μέγιστη. Από μελέτη που έγινε στον ποταμό Κολούμπια των ΗΠΑ, έδειξε ότι το πλαγκτόν περιείχε 2.000 φορές τοξική ουσία στο νερό, τα ψάρια 40.000 φορές, οι νύμφες των εντόμων 350.000 φορές, τα πουλιά που έτρωγαν τις νύμφες 500.000 φορές και ο κρόκος των αυγών τους 1.000.000 φορές. Δεν αναφέρομε τον άνθρωπο, διότι σύμφωνα με τον νόμο της συγκέντρωσης θα έχει τόση συσσώρευση τοξικής ουσίας στον οργανισμό του που θα έπρεπε να ήταν νεκρός.

4. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ ΔΕΗ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ 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 η ευρύτερη περιοχή στον υποσταθμό της ΔΕΗ Ηρακλείου και η συλλογή οτιδήποτε πληροφοριών αφορούν την συγκεκριμένη 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 ARCGIS.

4.2 Περιγραφή του προγράμματος επεξεργασίας των δεδομένων

Οι χάρτες που θα παρουσιαστούν στην συνέχεια έχουν προκύψει από επεξεργασία των παραπάνω χαρτών με την βοήθεια του προγράμματος GIS (Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών). Αφού δημιουργήθηκαν τα αρχεία των δεδομένων εφαρμόστηκε η διαδικασία της παρεμβολής (inverse distance weighted,

IDW), η οποία επιλέχθηκε μετά από αρκετές δοκιμές μεθόδων παρεμβολής. Με την συγκεκριμένη μέθοδο καθορίζεται η τιμή σε κάθε κυψέλη, από το μέσο όρο των γειτονικών σημείων. Η βαθμός βαρύτητας κάθε σημείου που συμμετέχει στον υπολογισμό της μέσης τιμής μιας κυψέλης εξαρτάται από την απόσταση του.

Τέλος έγινε υπέρθεση των χαρτών, που προέκυψαν, πάνω στο τοπογραφικό υπόβαθρο. Στο υπόμνημα κάθε χάρτη παρουσιάζεται η χρωματική κλίμακα με το αντίστοιχο για κάθε χρώμα εύρος μετρήσεων.

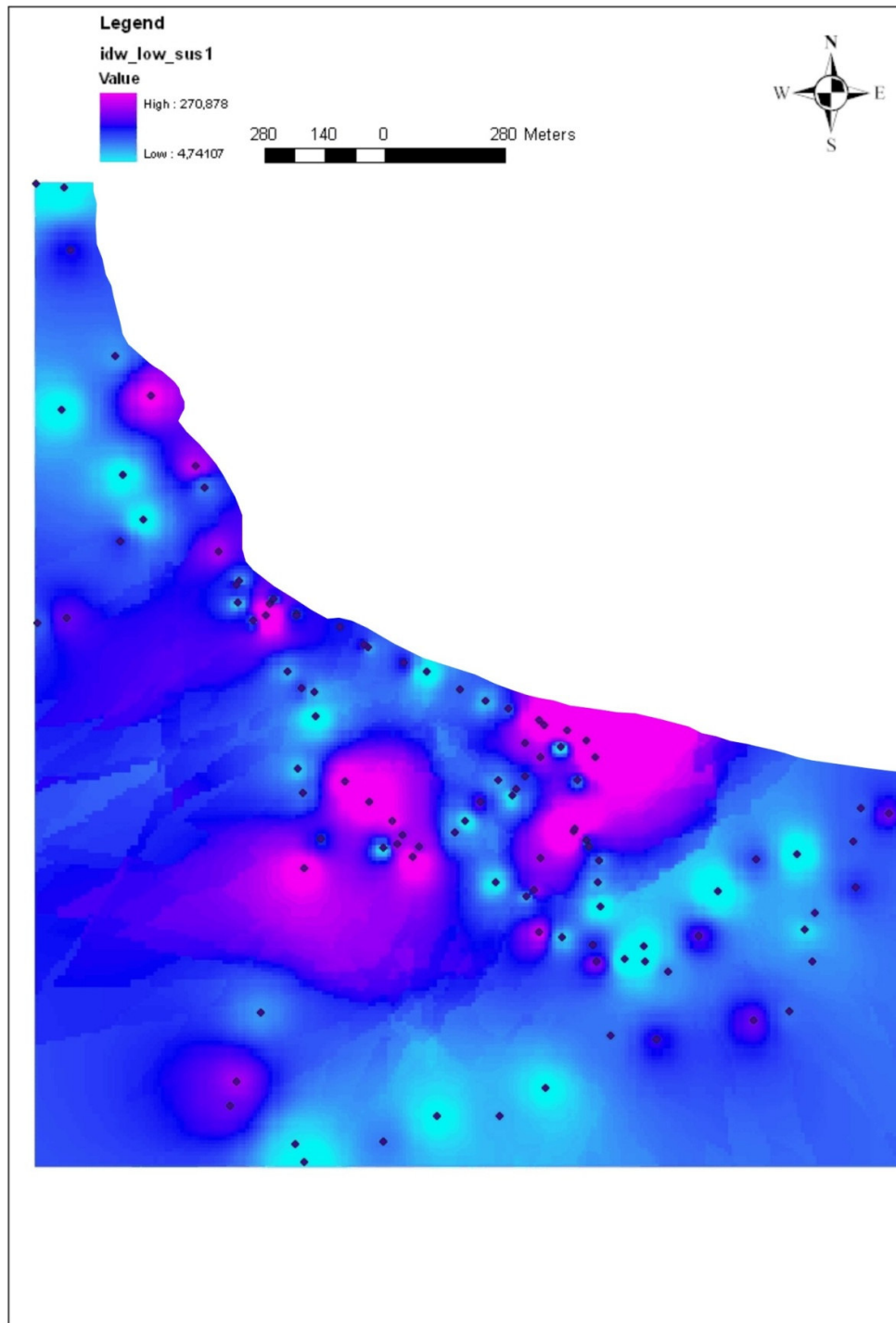
4.3 Παρουσίαση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων

Στο σχήμα 4.1 παρουσιάζεται η απεικόνιση της κατανομής της μαγνητικής επιδεκτικότητας σε χαμηλή συχνότητα, η οποία αντιπροσωπεύει την πραγματική επιδεκτικότητα. Δεν ήταν δυνατή η δειγματοληψία μέσα στο χώρο του υποσταθμού. Υψηλές τιμές εμφανίζονται γενικά περιμετρικά του υποσταθμού και σε τμήμα της παραλίας. Στο σχήμα 4.2 παρουσιάζεται η απεικόνιση της κατανομής της μαγνητικής επιδεκτικότητας σε υψηλή συχνότητα, η οποία αντιπροσωπεύει την φανταστική επιδεκτικότητα. Παρουσιάζει την ίδια κατανομή με την πραγματική επιδεκτικότητα, με ελαφρά μικρότερο εύρος τιμών. Επίσης προσδιορίστηκε και η μαγνητική επιδεκτικότητα που εξαρτάται από την συχνότητα με βάση την σχέση $FD \text{ susceptibility} = [MS(\text{Low}) - MS(\text{High})] / MS(\text{Low})$, η κατανομή της οποίας παρουσιάζεται στο σχήμα 4.3. Υψηλές τιμές της εξαρτώμενης από την συχνότητα επιδεκτικότητας εντοπίζονται στο δυτικό τμήμα της εξεταζόμενης περιοχής και σποραδικά στο νοτιοανατολικό τμήμα της. Στα σχήματα 4.4 και 4.5 αντίστοιχα, παρουσιάζεται η ερμηνεία των μετρήσεων της μαγνητικής επιδεκτικότητας σε χαμηλή και υψηλή συχνότητα. Η ερμηνεία βασίζεται στην υπέρθεση του οδικού, τεκτονικού και υδρογραφικού δικτύου της περιοχής. Από την μελέτη της γεωλογίας της περιοχής προκύπτει ότι οι κατανομή των τιμών δεν πρέπει να σχετίζεται με τα γεωλογικά στρώματα, διότι για το ίδιο γεωλογικό στρώμα (π.χ. μάργες) εμφανίζονται

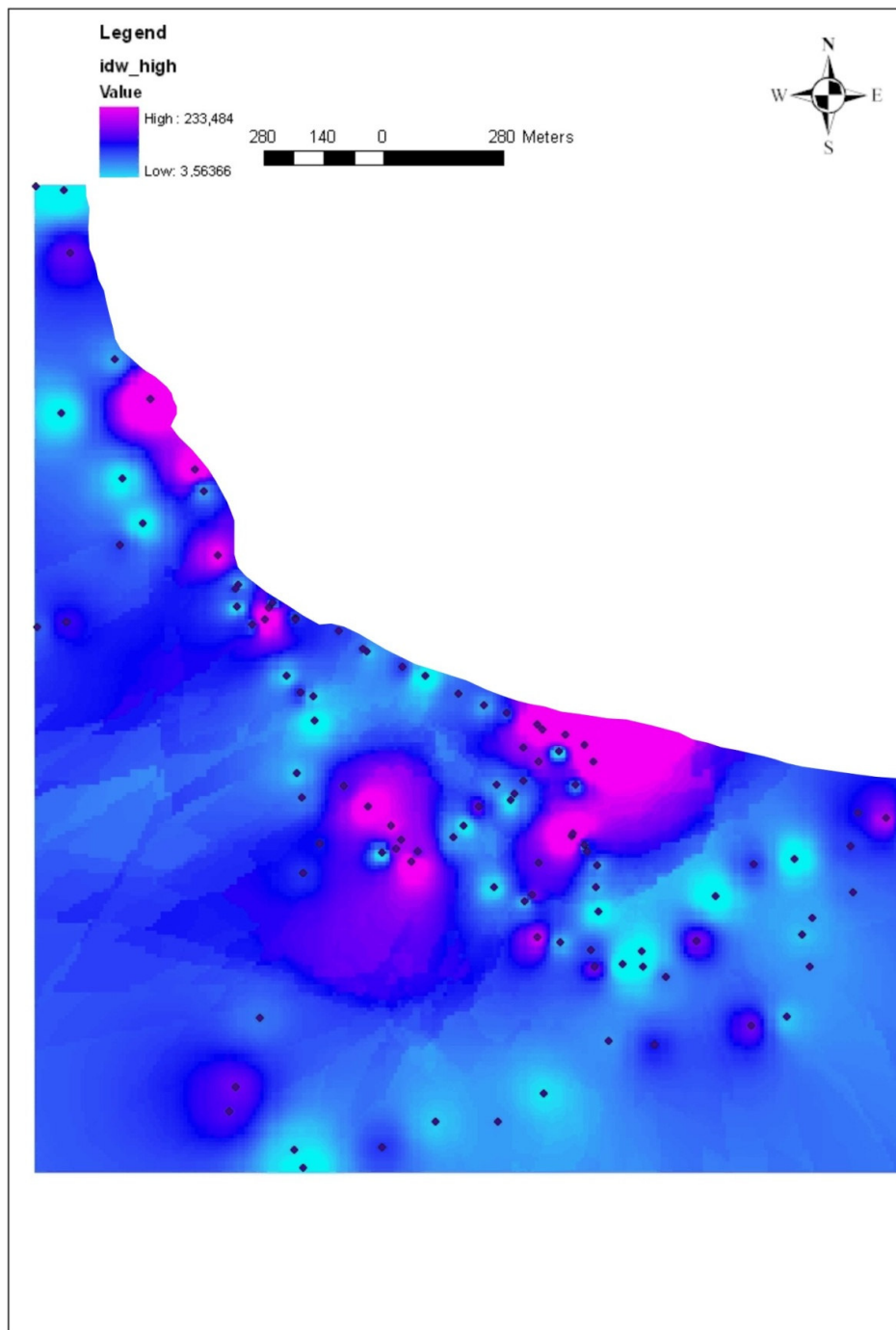
μεγάλες αποκλίσεις στην επιδεκτικότητα. Υψηλές τιμές εντοπίζονται περιμετρικά του υποσταθμού της ΔΕΗ, στις επαφές με το οδικό δίκτυο, σε μικρό τμήμα του αλμυρού ποταμού που βρίσκεται σε γειτονία με τον υποσταθμό καθώς και στο τμήμα της παραλίας που εντοπίζεται μπροστά από τον υποσταθμό. Στο σχήμα 4.6 παρουσιάζεται η ερμηνεία της εξαρτώμενης από την συχνότητα επιδεκτικότητας. Οι υψηλές τιμές της φαίνεται να σχετίζονται με την πυκνότητα του οδικού δικτύου της περιοχής.

Στο σχήμα 4.7 παρουσιάζεται ο συσχετισμός των μετρήσεων της μαγνητικής επιδεκτικότητας σε χαμηλή και υψηλή συχνότητα, ο οποίος είναι της τάξης του 0.9. Αντίστοιχα στο σχήμα 4.8 παρουσιάζεται ο συσχετισμός της πραγματικής επιδεκτικότητας των δειγμάτων με και χωρίς υγρασία αναγομένη στα 10gr, ο οποίος είναι της τάξης του 0.8.

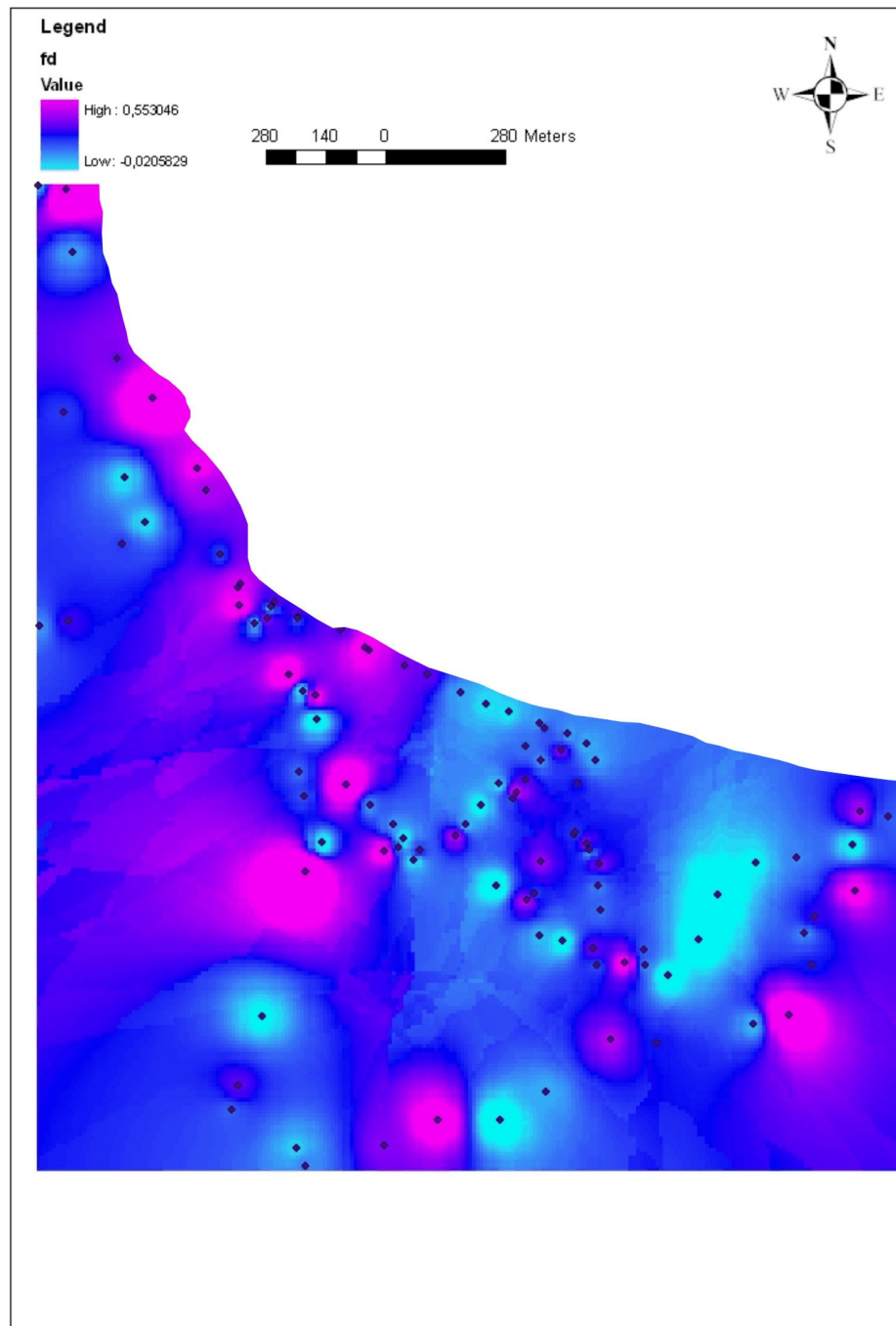
Στα σχήματα 4.9 και 4.10 παρουσιάζεται ο συσχετισμός της πραγματικής και φανταστικής επιδεκτικότητας για επιλεγμένα δείγματα, τα οποία μετρήθηκαν σε διαφορετική χρονική στιγμή και θερμοκρασία δωματίου. Ο συσχετισμός είναι πολύ υψηλός, γεγονός που δείχνει ότι δεν επηρεάζονται οι μετρήσεις από τον μαγνητικό θόρυβο του περιβάλλοντος. Τέλος από τα σχήματα 5.11α,β συμπεραίνεται ότι δεν υπάρχει κανένας συσχετισμός της πραγματικής ή φανταστικής επιδεκτικότητας με την εξαρτώμενη από την συχνότητα επιδεκτικότητα.



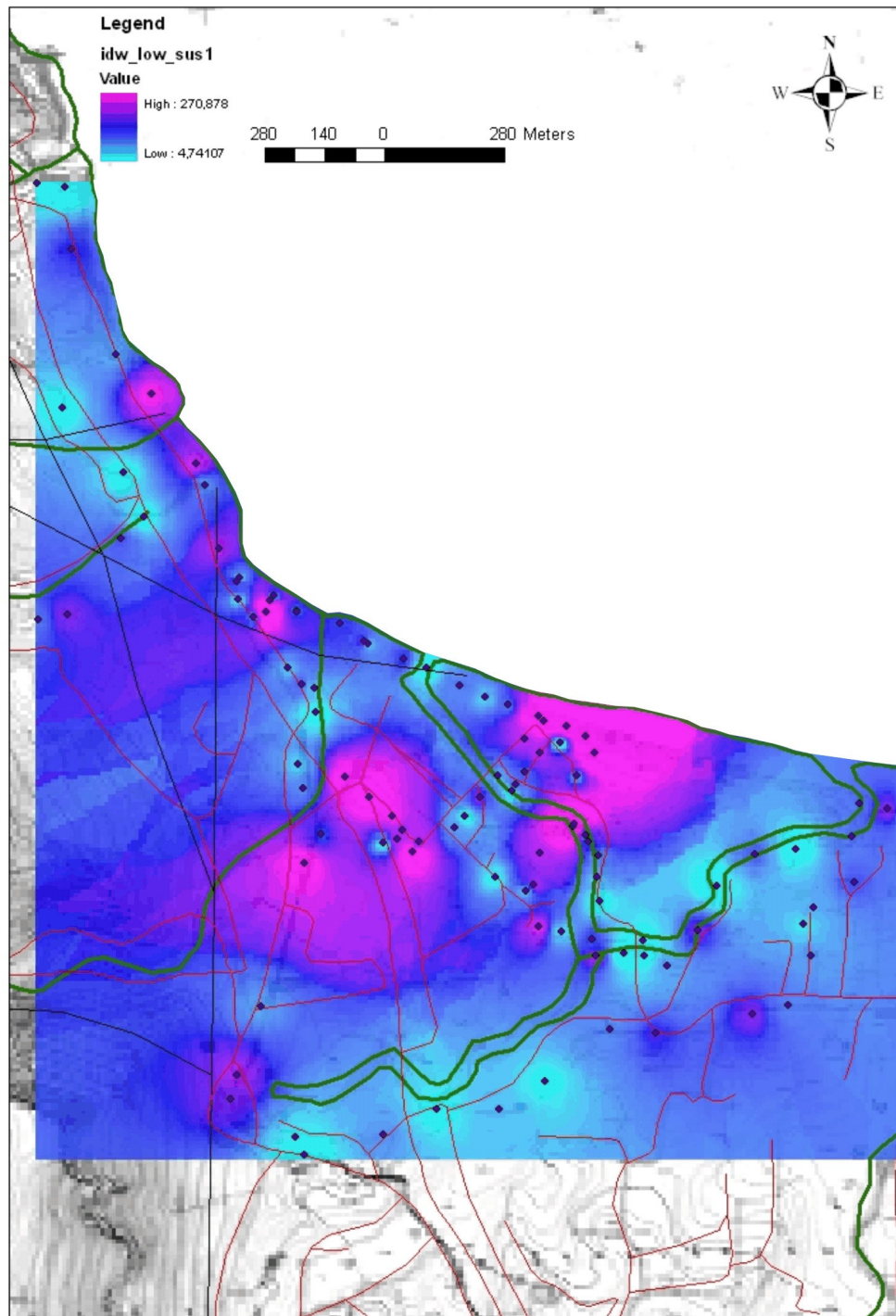
Σχήμα 4.1 Απεικόνιση της κατανομής της μαγνητικής επιδεκτικότητας (m^3Kg^{-1}) σε χαμηλή συχνότητα με την μέθοδο παρεμβολής IDW, στον υποσταθμό της ΔΕΗ Ηρακλείου



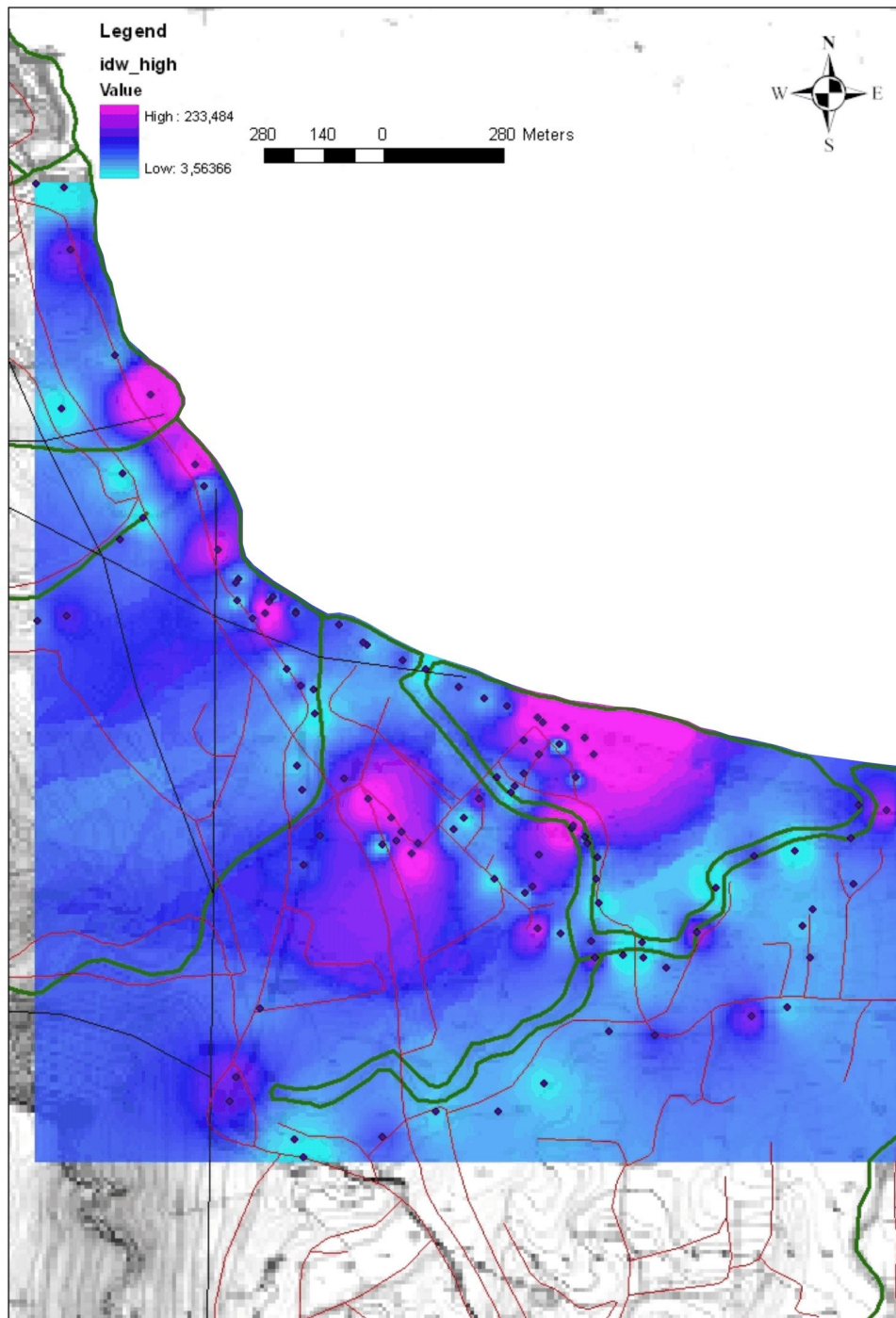
Σχήμα 4.2 Απεικόνιση της κατανομής της μαγνητικής επιδεκτικότητας (m^3Kg^{-1}) σε υψηλή συχνότητα με την μέθοδο παρεμβολής IDW, στον υποσταθμό της ΔΕΗ Ηρακλείου



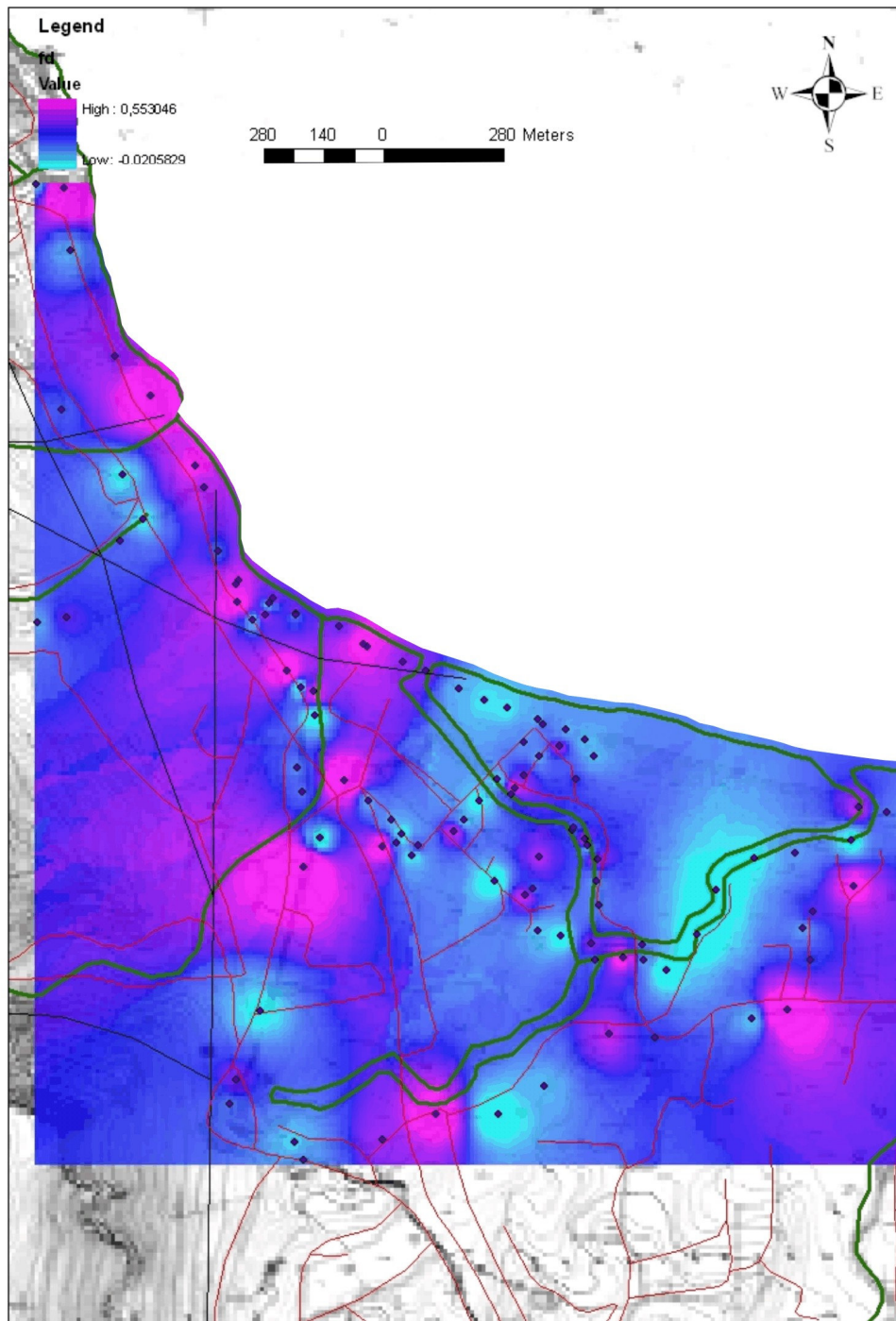
Σχήμα 4.3 Απεικόνιση της κατανομής της εξαρτώμενης από την συχνότητα μαγνητικής επιδεκτικότητας (m^3Kg^{-1}) με την μέθοδο παρεμβολής IDW, στον υποσταθμό της ΔΕΗ Ηρακλείου



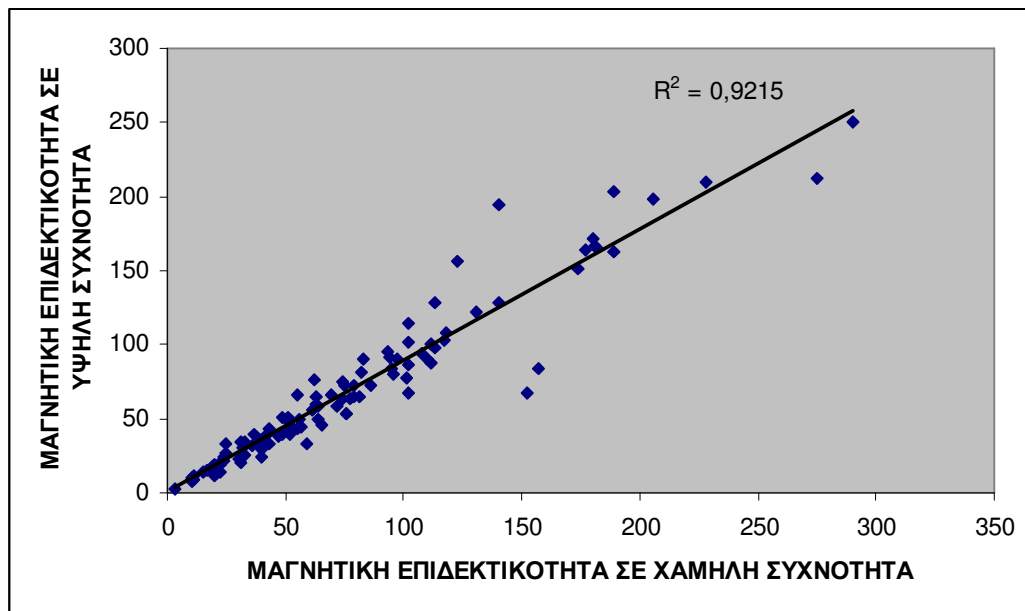
Σχήμα 4.4 Ερμηνεία της κατανομής της μαγνητικής επιδεκτικότητας (m^3Kg^{-1}) σε χαμηλή συχνότητα με την μέθοδο παρεμβολής IDW, στον υποσταθμό της ΔΕΗ Ηρακλείου



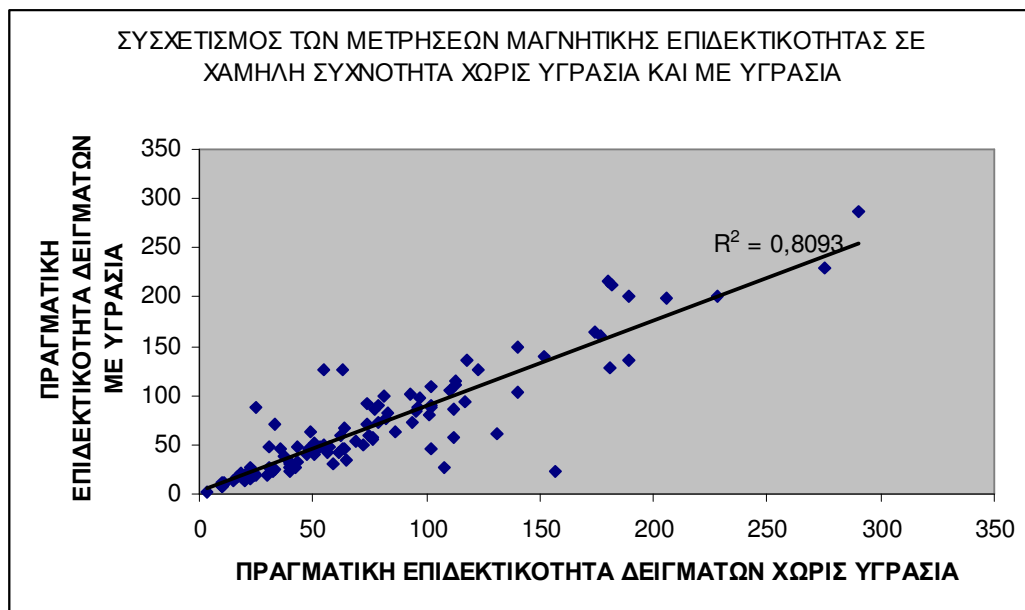
Σχήμα 4.5 Ερμηνεία της κατανομής της μαγνητικής επιδεκτικότητας (m^3Kg^{-1}) σε υψηλή συχνότητα με την μέθοδο παρεμβολής IDW, στον υποσταθμό της ΔΕΗ Ηρακλείου



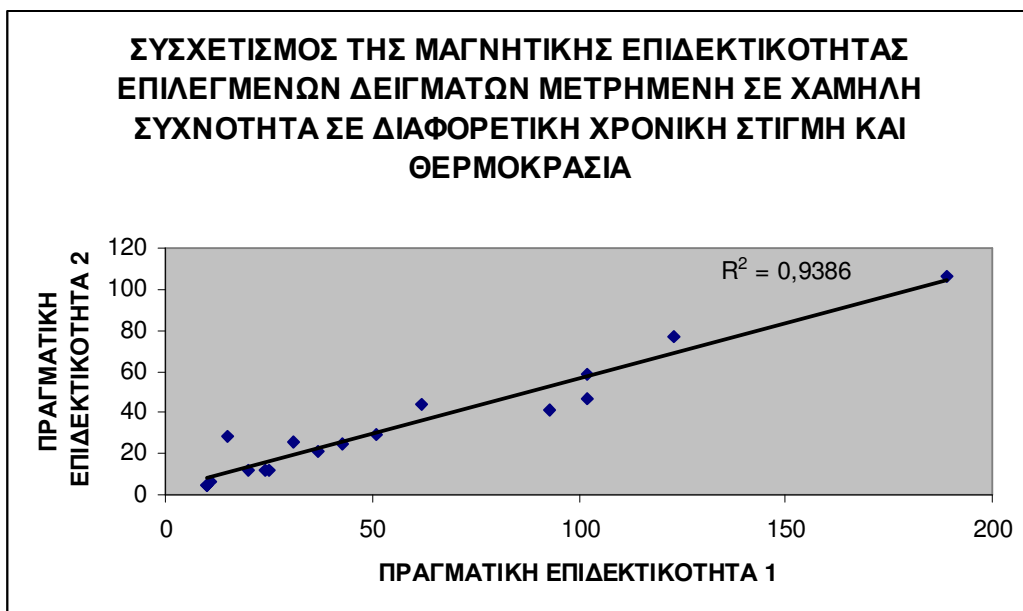
Σχήμα 4.6 Ερμηνεία της κατανομής της εξαρτώμενης από την συχνότητα μαγνητικής επιδεκτικότητας (m^3Kg^{-1}) με την μέθοδο παρεμβολής IDW, στον υπόσταθμο της ΔΕΗ Ηρακλείου



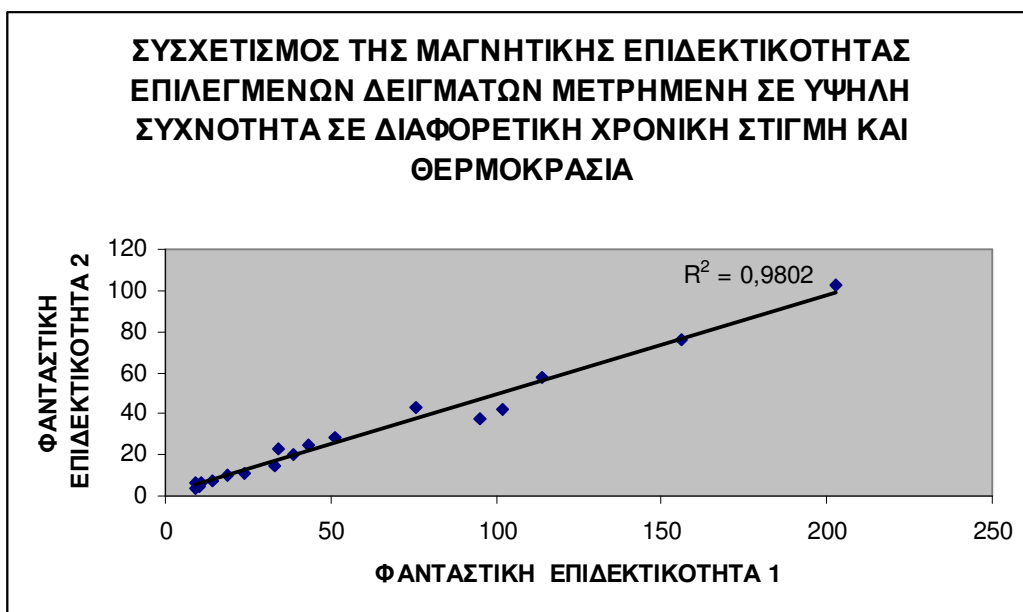
Σχήμα 4.7 Συσχετισμός χαμηλής και υψηλής επιδεκτικότητας (m^3Kg^{-1})



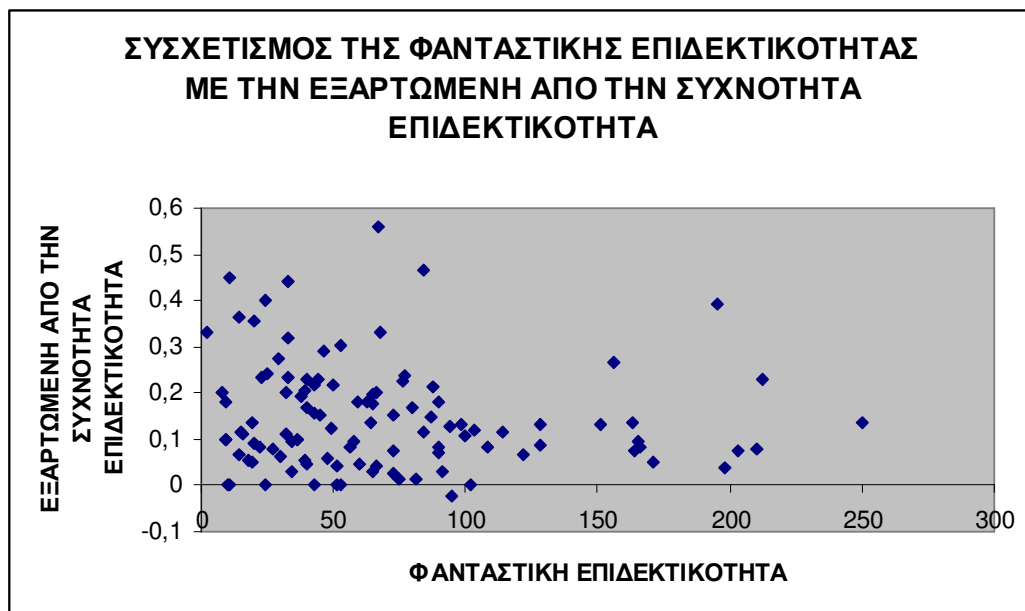
Σχήμα 4.8 Συσχετισμός της πραγματικής επιδεκτικότητας των δειγμάτων χωρίς υγρασία και με υγρασία



Σχήμα 4.9 Συσχετισμός της πραγματικής επιδεκτικότητας επιλεγμένων δειγμάτων σε διαφορετική χρονική στιγμή και θερμοκρασία



Σχήμα 4.10 Συσχετισμός της φανταστικής επιδεκτικότητας επιλεγμένων δειγμάτων σε διαφορετική χρονική στιγμή και θερμοκρασία



Σχήμα 4.11 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 του Ηρακλείου 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 παρουσιάζουμε τα κυριότερα συμπεράσματα.

- Υψηλές τιμές της πραγματικής και φανταστικής επιδεκτικότητας εντοπίζονται περιμετρικά του υποσταθμού της ΔΕΗ Ηρακλείου, στην επαφή του με το οδικό δίκτυο, και σε τμήμα της παραλίας.
- Η εξαρτώμενη από την συχνότητα επιδεκτικότητα φαίνεται να σχετίζεται με την παρουσία του οδικού δικτύου.
- Η κατανομή της μαγνητικής επιδεκτικότητας που μετρήθηκε σε χαμηλή συχνότητα σε σχέση με την επιδεκτικότητα που εξαρτάται από την συχνότητα παρουσιάζει βαθμό συσχετισμού 0.9.

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 και Hg 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.

5.4 Φωτογραφίες από την εξεταζόμενη περιοχή













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. Kiliass, 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. Τσικαλός, 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 Sludges - 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/epsl/lignitis.htm>.