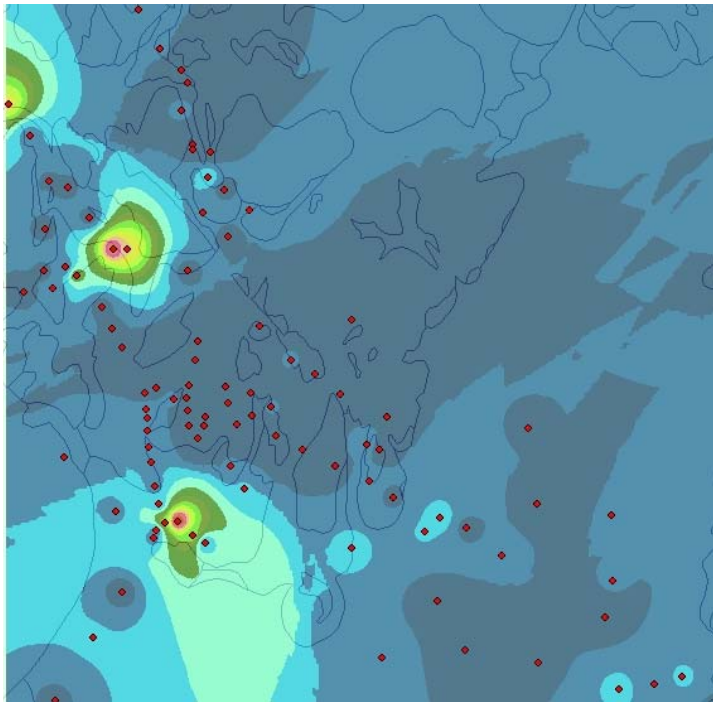
Τ.Ε.Ι ΚΡΗΤΗΣ – ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑΣ

ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΕ ΠΡΟΕΠΙΛΕΓΜΕΝΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΜΗΛΟΥ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Λουκάκης Σπύρος - Παρασύρη Μαρία

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2009

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 ΣΕ ΠΡΟΕΠΙΛΕΓΜΕΝΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΜΗΛΟΥ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Λουκάκης Σπύρος - Παρασύρη Μαρία

Επιβλέπων : *Δρ. Βασίλης Σάλτας*
Επίκουρος Καθηγητής

Επιτροπή Αξιολόγησης : *Δρ. Βασίλης Σάλτας*
Δρ. Ελένη Κόκκινου
Δρ. Δέσποινα Χατζηαυγουστή

Ημερομηνία Παρουσίασης : 25 Φεβρουαρίου 2009

Αύξων Αριθμός Πτυχιακής Εργασίας :

Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στο ***Εργαστήριο Γεωφυσικής και Σεισμολογίας*** του Τμήματος Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, κατά το χρονικό διάστημα Ιούνιος 2007 – Δεκέμβριος 2008, υπό την επίβλεψη του Επικ. Καθηγητή Βασίλη Σάλτα, τον οποίο και ευχαριστούμε θερμά για την καθοδήγηση και τη βοήθεια του.

Θα θέλαμε επίσης να ευχαριστήσουμε την Επίκ. Καθηγήτρια Ελένη Κόκκινου για τη βοήθεια που μας πρόσφερε και τις υποδείξεις της που συνέβαλαν στην τελική μορφή της παρούσας εργασίας.

Περίληψη

Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι να εξετάσει την εφαρμογή της μαγνητικής επιδεκτικότητας ως μεθοδολογία για τη χαρτογράφηση περιοχών που δύναται να εμφανίζουν υψηλά επίπεδα ρύπανσης. Η συγκεκριμένη μεθοδολογία εφαρμόστηκε σε επιλεγμένη περιοχή της Μήλου, το καλοκαίρι του 2007. 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 της επιλεγμένης περιοχής, στην επαφή της με το οδικό δίκτυο και σε θέσεις όπου βρίσκεται εργοστάσιο της ΔΕΗ και λατομείο εξόρυξης μπεντονίτη.

Abstract

Main purpose of the present study is to investigate the suitability of magnetic susceptibility measurements as a monitoring tool of pollution in highly polluted areas. The area under investigation is located in the centre of Milos Island. Surface soil samples have been collected during summer of 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 in the vicinity with the traffic net, near to a power plant, to the airport and to a bentonite factory.

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 Μήλου - 6 -

2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ - 8 -

2.1 Γεωμορφολογικά και Στρωματογραφικά στοιχεία - 8 -

2.2 Μεταλπική τεκτονική - 9 -

3. ΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ - 12 -

3.1 Η φυσική του μαγνητισμού - 12 -

3.2 Βασικές μαγνητικές ιδιότητες ορυκτών - 14 -

3.3 Μαγνητική υστέρηση - 15 -

3.4 Μαγνητική επιδεκτικότητα - 16 -

3.5 Σχέση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με την θερμοκρασία - 20 -

3.6 Σχέση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με την συχνότητα - 21 -

3.7 Μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας - 22 -

3.8 Μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με το MS2 της Bartington - 23 -

3.9 Σχέση μαγνητικών ορυκτών και βαρέων μετάλλων - 30 -

3.10 Ο ρόλος και η επίδραση των βαρέων μετάλλων στα φυτά - 33 -

3.11 Ο ρόλος και η επίδραση των βαρέων μετάλλων στον άνθρωπο - 36 -

4. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΜΗΛΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ - 39 -

4.1 Περιγραφή της μεθοδολογίας εκπόνησης της παρούσας εργασίας - 39 -

4.2 Χρήση του GIS - 39 -

4.3 Παρουσίαση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων - 41 -

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ - 46 -

5.1 Εισαγωγή - 46 -

5.2 Συμπεράσματα και αξιολόγηση της μεθοδολογίας - 46 -

5.3 Προτάσεις - 46 -

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - 48 -

7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α - 52 -

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β - 52 -

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 περιοχής με ανθρωπογενείς δραστηριότητες, 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 απορριμμάτων (Χ.Υ.ΤΑ), αεροδρόμια κ.λ.π.

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι:

- Η λεπτομερής γεωφυσική χαρτογράφηση της περιοχής γύρω από τον υποσταθμό της ΔΕΗ στη νήσο Μήλο, το αεροδρόμιο και ένα εργοστάσιο μπεντονίτη με την μέθοδο της μαγνητικής επιδεκτικότητας.
- Ο συσχετισμός των μετρήσεων της μαγνητικής επιδεκτικότητας με πιθανή ύπαρξη περιοχών ρύπανσης λόγω των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων.

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 μελέτης και αναγωγή τους στην κλίμακα σχεδιασμού.
- Σύνταξη της παρούσας εργασίας.

1.3 Γεωγραφική θέση και περιγραφή της ευρύτερης περιοχής

Η Μήλος βρίσκεται στο νοτιοδυτικό άκρο των Κυκλάδων, σε απόσταση 86 ναυτικών μιλίων από τον Πειραιά. Το σχήμα της είναι ακανόνιστο. Το μήκος της από βορρά προς νότο φτάνει τα 11,2 χλμ., ενώ από ανατολή προς δύση τα 17,6 χλμ. Κύριο χαρακτηριστικό της είναι ο κλειστός όρμος στο βόρειο τμήμα του νησιού. Εισδύει περίπου 5,5 ναυτικά μίλια προς τα νοτιοανατολικά και είναι ο δεύτερος μεγαλύτερος κόλπος της Ελλάδας. Το έδαφός της είναι κυρίως ορεινό με υψηλότερη κορυφή τον Προφήτη Ηλία, που φτάνει τα 751 μ. Τα λιγοστά πεδινά εδάφη βρίσκονται στο βορειοανατολικό τμήμα του νησιού.

Η Μήλος είναι ηφαιστειογενές νησί και βρίσκεται στο ηφαιστειακό τόξο του νοτίου Αιγαίου. Υπάρχουν δύο ανενεργά ηφαίστεια, της Φυριπλάκας στο κεντρικό τμήμα του νησιού και του Τράχηλα στο βορειοδυτικό. Το πρώτο διαθέτει κρατήρα διαμέτρου 1.700 μ. και έχει ύψος 220 μ. Υπάρχουν όμως πηγές αερίων, κυρίως στο ανατολικό και στο νοτιοανατολικό τμήμα του νησιού, τόσο επίγειες όσο και υποθαλάσσιες. Η γεωλογική αυτή δραστηριότητα έχει και πρακτικό αντίκτυπο, καθώς η ΔΕΗ εγκατέστησε στη Μήλο γεωθερμοηλεκτρική μονάδα. Στην ηφαιστειακή δραστηριότητα οφείλεται και η ύπαρξη εναλίων σπηλαίων εξαιρετικού κάλλους, όπως η Σμαραγδένια Σπηλιά, το Κλέφτικο και τα Παπάφραγκα. Το έδαφος είναι εύφορο και παράγει εσπεριδοειδή, κηπευτικά, δημητριακά, ελιές και σύκα.

1.4 Γενικά στοιχεία για το κλίμα της Μήλου

Η Μήλος 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 Μήλου είναι εύκρατο και πλησιάζει προς το θαλάσσιο. Από την άποψη ηπιότητας και των μεταβολών, το κλίμα της Μήλου θεωρείται προνομιούχο και οφείλεται στην κεντρική θέση που κατέχει το νησί στην ανατολική Μεσόγειο.

Έκταση: 158,403 τ.χλμ., **Μήκος ακτογραμμής:** 139χλμ., **Πληθυσμός:** 4.771 κάτοικοι

Πρωτεύουσα του νησιού και πληθυσμός της: Πλάκα (792 κάτοικοι)

Διοικητική ένταξη: Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου, Νομός Κυκλάδων, Επαρχία Μήλου, Δήμος Μήλου

Σχήμα 1.1 Χάρτης της Μήλου

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. Κύρια χαρακτηριστικά του κλίματος στο νησί είναι:

- Υψηλά ποσοστά βροχοπτώσεων με μη κανονική κατανομή τόσο τοπικά (αυξητική κλίμακα από ανατολικά προς δυτικά) 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 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 Γεωμορφολογικά και Στρωματογραφικά στοιχεία

Η γεωλογική σύσταση της Μήλου είναι κυρίως ηφαιστειακή και διαφέρει από τα περισσότερα Κυκλαδονήσια. Μετά από την τελευταία σημαντική ηφαιστειακή έκρηξη που έλαβε χώρα πριν από 90000 χρόνια, η Μήλος θεωρείται ακόμα ένα δυνητικά ενεργό ηφαίστειο. Από άποψη τεκτονικής γεωλογίας στον ελλαδικό χώρο, η Μήλος ανήκει στην πελαγονική ζώνη.

Σύμφωνα με τη θεωρία των λιθοσφαιρικών πλακών, η Μήλος βρίσκεται πάνω στην ευρασιατική πλάκα και απέχει περίπου 220 χιλιόμετρα από το σημερινό όριο της σύγκρουσης και καταβύθισης της αφρικανικής πλάκας κάτω από αυτήν. Η πλούσια εκρηκτική δραστηριότητα στη στεριά και στη θάλασσα από διάφορα ηφαιστειακά κέντρα έχει δημιουργήσει στην Μήλο μεγάλο αριθμό από μοναδικές ηφαιστειακές δομές και σχηματισμούς, μερικοί από τους οποίους είναι σπάνιοι.

Η Μήλος και τα γύρω νησιά αποτελούν ένα πολύ σημαντικό «ανοικτό» γεωλογικό μουσείο κι αυτό γιατί έχουν μια απίστευτη ποικιλία ηφαιστειακών πετρωμάτων. Κάποια από τα πετρώματα είναι αυτά με πολύχρωμη βαφή, άλλα είναι οι περλίτες, οι μυλόπετρες, τα νεογενή ιζήματα και μεταμορφωμένοι σχηματισμοί από κυανούς και πράσινους σχιστόλιθους. Εκτός όμως από τα ηφαιστειογενή πετρώματα έχουμε και κάποια ιζηματογενή στον Προβατά αλλά και κάποια μεταμορφωμένα. Μάλιστα τα πετρώματα αυτά έχουν χρονολογηθεί και η ηλικία τους υπολογίζεται στα 14εκ. χρόνια για τα ιζηματογενή και 33 και 64εκ. χρόνια τα μεταμορφωμένα.

Παλαιότερα η Μήλος παρήγαγε στα λατομεία της οψιδιανό, το μαύρο ηφαιστειακό γυαλί και το εξήγαγε σε όλη την Ανατολική Μεσόγειο από το 10000 π.Χ.

Το νησί έχει επίσης δύο μεγάλα και σβησμένα ηφαίστεια. Το ηφαίστειο της Φυρίπλακας, το οποίο έχει έναν εντυπωσιακό κρατήρα με διάμετρο 1700 μέτρα και ύψος 220 μέτρα. Το ηφαίστειο αυτό βρίσκεται στο κεντρικό και νότιο τμήμα του νησιού και είναι πολύ καλά διατηρημένο. Το άλλο ηφαίστειο είναι εκείνο του Τραχηλά στο βόρειο- βορειοδυτικό τμήμα του νησιού, από το οποίο όμως διατηρείται μόνο ένα μικρό τμήμα.

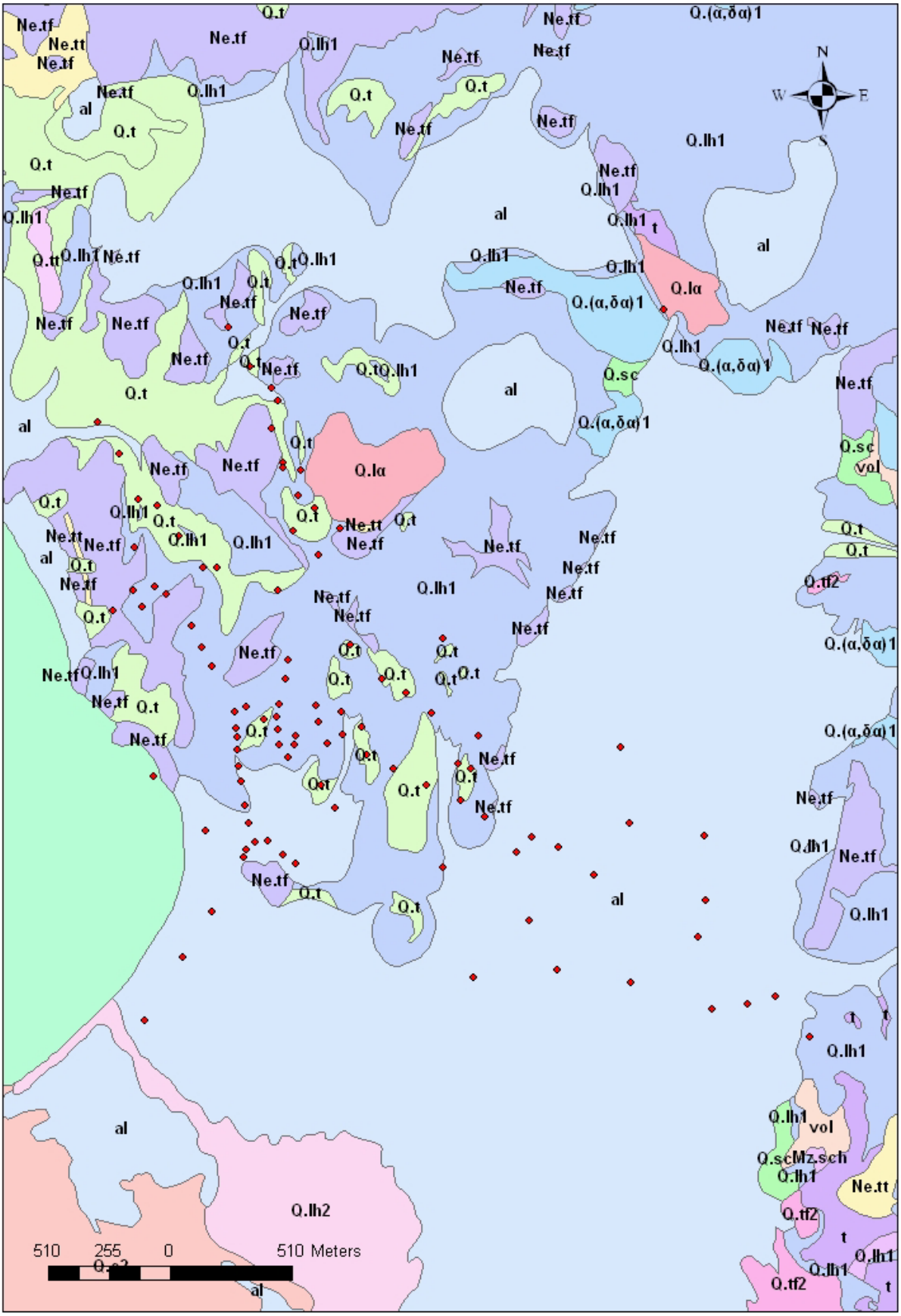
Αξίζει ακόμα να αναφερθούμε και σε άλλους γεωμορφολογικούς σχηματισμούς. Κάποιοι τέτοιοι σχηματισμοί είναι εκείνοι των ηφαιστειακών δομών. Για παράδειγμα έχουν δημιουργηθεί στη Μήλο ψηλοί λόφοι με απότομες πλαγιές από ένα σκληρό ηφαιστειακό υλικό, τον ανδεσίτη. Οι δόμοι αυτοί δημιουργήθηκαν από το μάγμα που ανέβηκε προς τα πάνω από το εσωτερικό της γης και πάγωσε πριν προλάβει να χυθεί, λόγω έλλειψης αερίων. Τέτοιος δόμος είναι το Κάστρο στην Πλάκα, το βουνό του Προφήτη Ηλία κ.ά. Χαρακτηριστικός γεωλογικός σχηματισμός είναι και τα Γλαρονήσια στο βόρειο τμήμα του νησιού. Ηφαιστειακός σχηματισμός είναι και η περιοχή του Σαρακίνικου στο βόρειο τμήμα του νησιού. Εκεί θα συναντήσουμε συνεχείς εναλλαγές ηφαιστειακών υλικών που εναποτέθηκαν σε θαλάσσιο και χερσαίο περιβάλλον. Θα συναντήσουμε επίσης πολλά απολιθώματα. Στη Μήλο όμως υπάρχει και ένα από τα πιο σημαντικά γεωθερμικά πεδία του κόσμου, με θερμοκρασίες που φτάνουν τους 320 βαθμούς Κελσίου, σε βάθος 800 μέτρων, αλλά και πολύ θερμές φυσικές πηγές (60-90 βαθμούς Κελσίου) σε διάφορα σημεία της ακτογραμμής και σε αβαθείς «υδροφόρους» ορίζοντες που βρίσκονται σε βάθη 30-50 μέτρων.

Η έντονη υδροθερμική δραστηριότητα δημιούργησε μια μεγάλη ποικιλία χρήσιμων ορυκτών όπως ο μπετονίτης, ο βαρύτης, καολίνη, αλουνίτης, πυριτικό, θειάφι, μαγγάνιο, ανυδρίτης-γύψος, ασήμι και χρυσός. Στη Μήλο υπάρχει ακόμα και γαληνίτης μαζί με άλλα μικτά θειούχα μεταλλικά ορυκτά.

Ακόμα έχει αποδειχθεί από διάφορους επιστήμονες ότι υπάρχει ατμός σε μεγάλο βάθος (1100 μέτρα περίπου). Η πλούσιες γεωθερμικές πηγές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, θέρμανσης χώρων ή και άλλων παραγωγικών δραστηριοτήτων.

2.2 Μεταλπική τεκτονική

Από τις τεκτονικές κινήσεις, οι οποίες έδρασαν στην διάρκεια του γεωλογικού χρόνου στην περιοχή της Μηλου 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.



Σχήμα 2.1 Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης της Μήλου

Ne.tf	*Παλαιοί τομφίτες, λευκοί ως υποκίτρινοι αποτελούνται από λεπτομερή κυρίως ηφαιστειακά υλικά που αποτέθηκαν σε ρηχές θαλάσσιες λεκάνες.*
A1	*αλλουβιακές αποθέσεις, κροκαλολατύπες, άμμοι, ιλύς και άργιλοι. Ελουβιακός μανδύας. Αναβαθμίδες*
Qih	*Πράσινο λαχάρ, εκτεταμένες αποθέσεις ασύνδετων ετερογενών υλικών που είναι στο ανατολικό και νότιο μέρος του νησιού*
Qt	*παλαιότερες ποταμοχειμαρρώδεις αποθέσεις.*
Qih2	*Λαχάρ φυριπλάκας, ρεύμα λάσπης που κινήθηκε από τον ομώνυμο ηφαιστειακό κώνο προς τα ΒΔ/και. αποτελείται κυρίως από υλικά ηφαιστείου αλλά και από λάσπη, κλαδιά δέντρων κ.α.*
OIα	*λάβες πολύ εξαλλοιωμενες υδροθερμικά, έχουν πάθει κυρίως μπετονιτιωση η πυριτιωση και είναι αδύνατη η διάκριση της αρχικής σύστασης*
Q.(α,δα)2	*λάβες ανδεσιτικες και δακιτικές νεότερες από τις Qαδα1σε μορφή δομών και ρευμάτων*
Qαδα1	*λάβες ανδεσιτικές δακιτικές ως ρυοδακιτικές σε μορφή δομών εξωθήσεως η εκροής και ρευμάτων ως και σύνθετων ηφαιστειακών κέντρων*
Mz.sch	*κρυσταλλικό υπόβαθρο σύστημα πράσινων σχιστόλιθων από φυλλίτες μεταβασάλτες και σπανιότερα μάρμαρα ως και φλέβες χαλαζία. εμφανίστηκαν και μεταμορφωμένα πετρώματα υψηλής πιέσεως*

Σύμφωνα με τη θεωρία των λιθοσφαιρικών πλακών, η Μήλος βρίσκεται πάνω στην ευρασιατική πλάκα και απέχει περίπου 220 χιλιόμετρα από το σημερινό όριο της σύγκρουσης και καταβύθισης της αφρικανικής πλάκας κάτω από αυτήν. Η πλούσια εκρηκτική δραστηριότητα στη στεριά και στη θάλασσα από διάφορα ηφαιστειακά κέντρα έχει δημιουργήσει στην Μήλο μεγάλο αριθμό από μοναδικές ηφαιστειακές δομές και σχηματισμούς, μερικοί από τους οποίους είναι σπάνιοι.

3. ΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

3.1 Η φυσική του μαγνητισμού

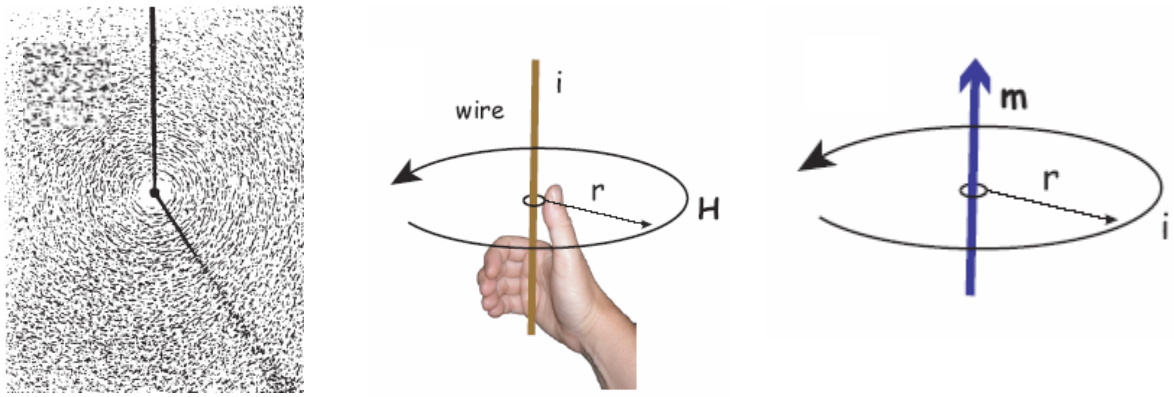
Μαγνητικό πεδίο ονομάζουμε το χώρο εντός του οποίου ασκείται δύναμη σε κινούμενα φορτία (ή σε ρευματοφόρο αγωγό, γενικότερα). Η δύναμη σε κινούμενο φορτίο q ονομάζεται δύναμη Lorentz και ισούται με

$$F = q(\vec{\upsilon} x \vec{B}) \qquad (3.1)$$

όπου $\vec{\upsilon}$ η ταχύτητα του κινούμενου φορτίου και $\vec{B}$ το διάνυσμα που περιγράφει το μαγνητικό πεδίο (μαγνητική επαγωγή) και μετριέται σε Tesla ή υποπολλαπλάσια (Gauus, 1 Gauss = 10^{-4} T).

Οποισδήποτε επομένως κλειστός βρόγχος που διαρρέεται από ρεύμα δημιουργεί μαγνητικό πεδίο. Ως τέτοιον μπορούμε να θεωρήσουμε τα ηλεκτρόνια στα άτομα που κινούνται σε κλειστές τροχιές γύρω από τον πυρήνα και παρουσιάζουν μαγνητική ροπή, **m**. Κάθε ηλεκτρόνιο επομένως που περιστρέφεται είτε γύρω από τον πυρήνα είτε γύρω από τον εαυτό του παρουσιάζει μαγνητική διπολική ροπή.

Η συνολική μαγνητική ροπή ανά μονάδα όγκου που παρουσιάζει ένα υλικό, ονομάζεται μαγνήτιση **M** και καθορίζει τη συμπεριφορά του υλικού παρουσία εξωτερικού μαγνητικού πεδίου. Απουσία μαγνητικού πεδίου οι μαγνητικές ροπές έχουν τυχαίους προσανατολισμούς με αποτέλεσμα η μαγνήτιση του υλικού να είναι μηδέν.



(α) (β) (γ)

Σχήμα 3.1. (α) Ρευματοφόρος αγωγός δημιουργεί μαγνητικό πεδίο, προσανατολίζοντας κατάλληλα τριγύρω του ρινίσματα σιδήρου (β) Η διεύθυνση του μαγνητικού πεδίου βρίσκεται με τον κανόνα του δεξιού χεριού (γ) κινούμενο φορτίο σε κυκλική τροχία ακτίνας r έχει μαγνητική ροπή $m = i\pi r^2$.

Όταν όμως το υλικό βρεθεί εντός μαγνητικού πεδίου, τα μαγνητικά δίπολα προσανατολίζονται και συνεπώς το υλικό αποκτά μαγνήτιση. Το ολικό μαγνητικό πεδίο εντός υλικού εξαρτάται από το εφαρμοζόμενο εξωτερικό πεδίο και τη μαγνήτιση που θα αποκτήσει το υλικό εξαιτίας αυτού.

Κατά την ανάλυση μαγνητικών πεδίων που προκύπτουν από τη μαγνήτιση υλικών, είναι βολικό να χρησιμοποιούμε την ένταση μαγνητικού πεδίου Η, που ορίζεται από την παρακάτω σχέση :

$$\vec{B} = \mu_o(\vec{H} + \vec{M}) \qquad (3.2)$$

όπου $\mu_o = 12.57x10^{-7}\frac{V \cdot s}{A \cdot m}$ η μαγνητική διαπερατότητα του κενού, και $\vec{B}$ η μαγνητική επαγωγή ή πυκνότητα μαγνητικής ροής.

Για παράδειγμα, σωληνοειδές με n σπείρες που διαρέεται από ρεύμα I, δημιουργεί στο εσωτερικό του μαγνητικό πεδίο που θα δίνεται από τη σχέση $\vec{B} = \mu_o\vec{H}$, όπου H=nI. Εφόσον στο εσωτερικό του πηνίου υπάρχει κάποιο υλικό, το πεδίο Η παραμένει αμετάβλητο εφόσον το ρεύμα που διαρέει το πηνίο είναι σταθερό, αλλά το ολικό πεδίο Β θα μεταβληθεί κατά τον παράγοντα μ_oM, εξαιτίας της μαγνήτισης του υλικού.

Τα άτομα των διαφόρων στοιχείων διακρίνονται από απόψεως της μαγνητικής τους ροπής m σε παραμαγνητικά και σε διαμαγνητικά άτομα. Σε ένα *παραμαγνητικό άτομο* τα ηλεκτρόνια του κινούνται κατά τέτοιο τρόπο ώστε αυτό να παρουσιάζει μαγνητική ροπή (π.χ. άτομο υδρογόνου). Σε ένα *διαμαγνητικό άτομο*, οι μαγνητικές ροπές των ηλεκτρονίων του αλληλοαναιρούνται, οπότε η μαγνητική ροπή του ατόμου είναι συνολικά μηδέν (π.χ. άτομο του ηλίου).

Στα παραμαγνητικά και στα διαμαγνητικά υλικά, η μαγνήτιση Μ (αποτέλεσμα) είναι ανάλογη του Η (αίτιο), δηλαδή ισχύει :

$$\vec{M} = \chi\vec{H} \qquad (3.3)$$

όπου ο αδιάστατος συντελεστής χ ονομάζεται *μαγνητική επιδεκτικότητα* του υλικού. Τα παραμαγνητικά έχουν θετικη τιμή του χ, ενώ τα διαμαγνητικά υλικά έχουν αρνητική τιμή. Στα μεν παραμαγνητικά υλικά δηλαδή, η μαγνήτιση Μ είναι ομόρροπη με το πεδίο Η, ενώ στα διαμαγνητικά υλικά είναι αντίρροπη.

Με αντικατάσταση της 3.3 στην 3.2, προκύπτει :

$$\vec{B} = \mu_o(\vec{H} + \vec{M}) = \mu_o(\vec{H} + \chi\vec{H}) = \mu_o(1+\chi)\vec{H}$$

ή

$$\vec{B} = \mu_m\vec{H} \tag{3.4}$$

όπου η σταθερά μ_m ονομάζεται μαγνητική διαπερατότητα του υλικού και συνδέεται με την επιδεκτικοτητα μέσω της σχέσης :

$$\mu_m = \mu_o(1+\chi) \tag{3.5}$$

Ορισμένα παραμαγνητικά υλικά με παρουσιάζουν εξαρετικά μεγάλη τιμή της μαγνητικής επιδεκτικότητας και ονομάζονται σιδηρομαγνητικά υλικά. Παραδείγματα σιδηρομαγνητικών υλικών είναι ο σίδηρος, το κοβάλτιο, το νικέλιο και διάφορα κράματα. Η μαγνητική επιδεκτικότητα των σιδηρομαγνητικών υλικών δεν είναι σταθερή αλλά εξαρτάται από το εφαρμοζόμενο μαγνητικό πεδίο.

Στον πίνακα (3.1) παρουσιάζονται οι μονάδες που χρησιμοποιούνται στον μαγνητισμό στο Διεθνές Σύστημα μονάδων και στο σύστημα cgs.

Πίνακας (3.1) μονάδες που χρησιμοποιούνται στον μαγνητισμό.

Parameter	SI unit	cgs unit	Conversion
Magnetic moment ($\mathbf{m}$)	Am^2	emu	1 A m^2 = 10^3 emu
Magnetization ($\mathbf{M}$)	Am^{-1}	emu cm^{-3}	1 Am^{-1} = 10^{-3} emu cm^{-3}
Magnetic Field ($\mathbf{H}$)	Am^{-1}	Oersted (oe)	1 Am^{-1} = 4π x 10^{-3} oe
Magnetic Induction ($\mathbf{B}$)	T	Gauss (G)	1 T = 10^4 G
Permeability of free space (μ_0)	Hm^{-1}	1	4π x 10^{-7} Hm^{-1} = 1
Susceptibility (χ)			
total ($\frac{\mathbf{m}}{\mathbf{H}}$)	m^3	emu oe^{-1}	1 m^3 = $\frac{10^6}{4\pi}$ emu oe^{-1}
by volume ($\frac{\mathbf{M}}{\mathbf{H}}$)	-	emu cm^{-3} oe^{-1}	1 S.I. = $\frac{1}{4\pi}$ emu cm^{-3} oe^{-1}
by mass ($\frac{\mathbf{m}}{m} \cdot \frac{1}{\mathbf{H}}$)	m^3kg^{-1}	emu g^{-1} oe^{-1}	1 m^3kg^{-1} = $\frac{10^3}{4\pi}$emu g^{-1} oe^{-1}

1 H = kg $m^2A^{-2}s^{-2}$, 1 emu = 1 G cm^3, $B = \mu_o(H + M)$, 1 T = kg A^{-1} s^{-2}

3.2 Βασικές μαγνητικές ιδιότητες ορυκτών

Οι μαγνητικές ιδιότητες των ορυκτών έχουν μεγάλη σημασία αφενός για την μακροσκοπική τους αναγνώριση και αφετέρου για τον διαχωρισμό τους από μείγματα

διαμαγνητικών, σιδηρομαγνητικών και παραμαγνητικών ορυκτών. Ο διαχωρισμός τους γίνεται με την βοήθεια ειδικών μαγνητικών συσκευών, που ονομάζονται μαγνητικοί διαχωριστές.

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. 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. Πλήρης προσανατολισμός των διπόλων δεν επέρχεται γιατί τον εμποδίζει η θερμική κίνηση των ατόμων. Ελλατώνοντας ωστόσο τη θερμοκρασία ή αυξάνοντας το πεδίο, πλησιάζουμε στον πλήρη προσανατολισμό (μαγνητικός κόρος) τον οποίο πετυχαίνουμε στη θερμοκρασία του απολύτου μηδενός, είτε με επίδραση απείρως ισχυρού πεδίου.

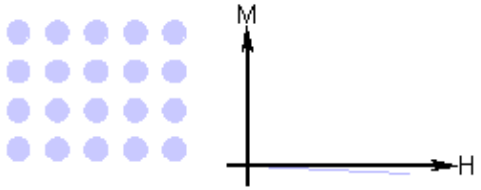
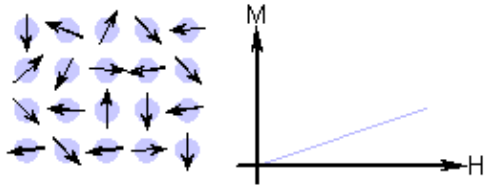
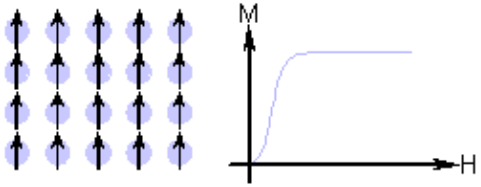
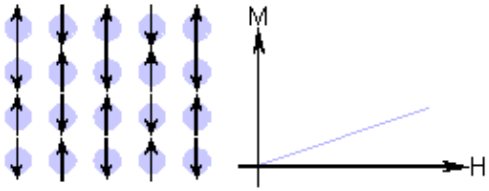
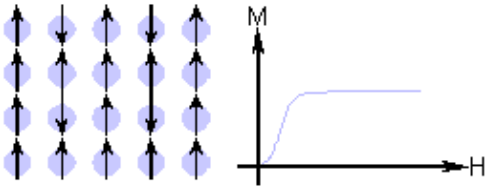
Διαμαγνητικά ονομάζονται τα ορυκτά οι κρύσταλλοι των οποίων περιέχουν στοιχεία, τα ηλεκτρόνια των οποίων χαρακτηρίζονται για την περιστροφή τους γύρω από τον πυρήνα του ατόμου. Παρουσιάζουν μηδενική ή ελάχιστη μαγνητική επιδεκτικότητα. Ασθενής αρνητική μαγνήτιση (magnetization) προκύπτει κατά την αλληλεπίδραση 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.

Η επίδραση του μαγνητικού πεδίου στην κίνηση ενός ηλεκτρονίου παρουσιάζεται σε οποιδήποτε ηλεκτρόνιο, ανεξάρτητα αν αυτό ανήκει σε διανμαγνητικό ή παραμαγνητικό άτομο. Η ιδιότητα δηλαδή του διαμαγνητισμού είναι γενική ιδιότητα των διαμαγνητικών και παραμαγνητικών ατόμων. Επομένωνς, στα παραμαγνητικά υλικά παρουσιάζονται ταυτόχρονα τα φαινόμενα του διαμαγνητισμού και του παραμαγνητισμού. Επειδή ωστόσο, η μαγνητική ροπή των παραμαγνητικών ατόμων που υπάρχει εκ δομής, υπερέχει κατά πολύ εκείνης που οφείλεται στο διαμαγνητισμό, τελικά γίνονται εμφανή μόνο τα παραμαγνητικά φαινόμενα.

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. 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.

Στις παραγράφους που ακολουθούν περιγράφεται αναλυτικά η έννοια 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.

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

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 3.2 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 3.2 φαίνεται ότι η μαγνήτιση αυξάνει αργά. Όταν παύσει η δράση του μαγνητικού πεδίου, η μαγνήτιση της ράβδου μηδενίζεται. Η αρχική καμπύλη ονομάζεται παρθενική καμπύλη μαγνητίσεως. 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. 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).

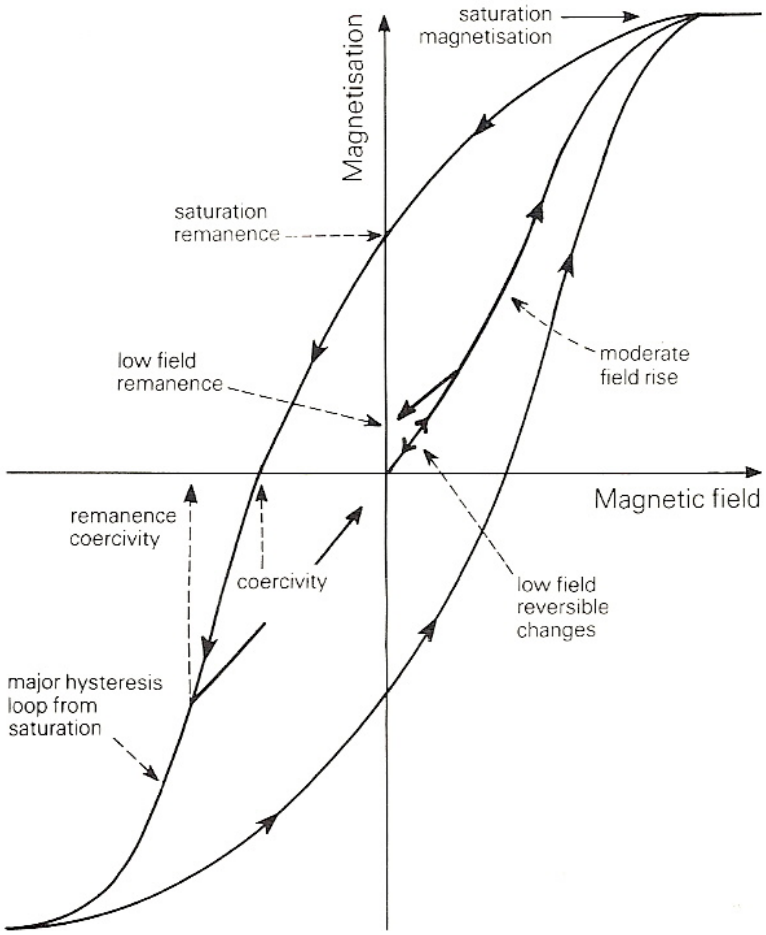
Κατά την απομάκρυνση τέτοιων πεδίων η μαγνήτιση δεν μηδενίζεται και ονομάζεται *παραμένουσα μαγνήτιση κορεσμού* (saturation remanent magnetization) MRS.

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 (3.2) δίνεται η μαγνήτιση κορεσμού για διάφορα φυσικά υλικά.



Σχήμα 3.2 Διάγραμμα της μαγνητικής υστέρησης και της καμπύλης της μαγνήτισης (Thompson and Oldfield, 1986).

3.4 Μαγνητική επιδεκτικότητα

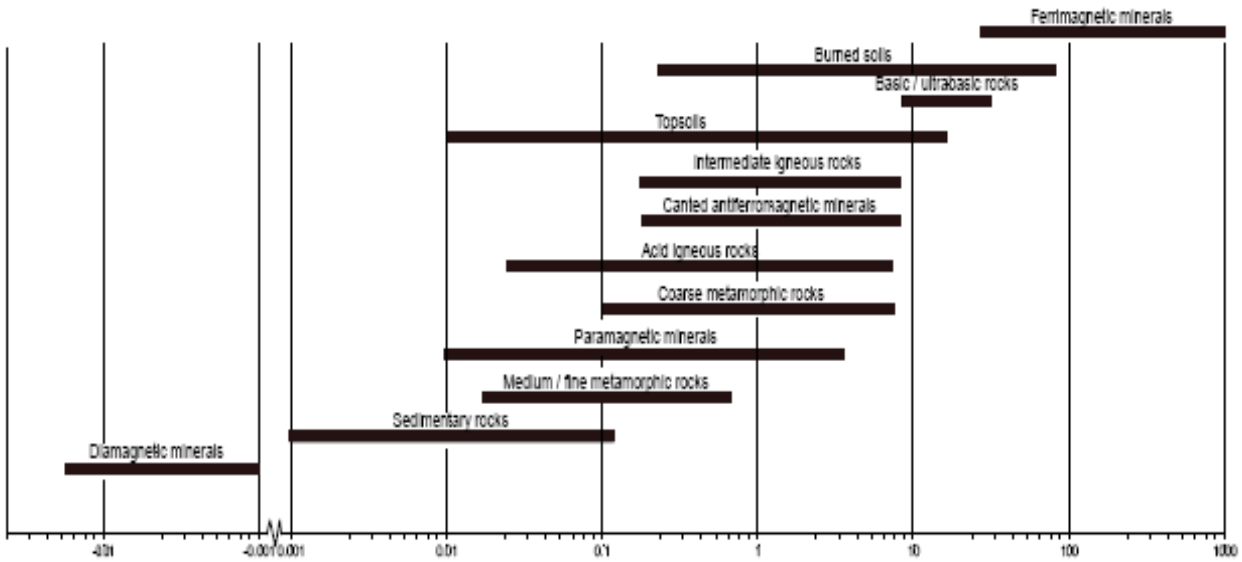
Η μαγνητική επιδεκτικότητα είναι ένα μέτρο της ευκολίας με την οποία μαγνητίζεται ένα υλικό. Η μαγνητική επιδεκτικότητα κατ΄ όγκο ορίζεται από την σχέση: $\kappa = M/H$, όπου M η κατ΄ όγκο μαγνήτιση που αποκτά ένα υλικό επιδεκτικότητας κ, όταν εφαρμοστεί πεδίο έντασης H. Η μαγνητική επιδεκτικότητα δηλαδή, 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.

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

ορυκτό	***σύσταση***	***Θερμοκρασία Curie (^oC)***	***Μαγνήτιση κορεσμού M_s σε θερμοκρασία δωματίου (Am^2kg^{-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	$\sim Fe_7S_8$	*~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*	*77*

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



Πίνακας (3.4) Τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας για διάφορα υλικά.

Mineral/Material	Formula	Iron (%)	Mass specific magnetic susceptibility (10^{-6} $m^3 Kg^{-1}$)
Ferromagnetic metals			
Iron	αFe	100	276000
Cobalt	Co		204000
Nickel	Ni		68850
Ferrimagnetic			
Magnetite	Fe_3O_4	72	
(0.012-0.069 μm)			513-1116
			500-1000
(0.09-2000 μm)			596 ± 77
(1-250μm)			440-716
			390-580
Maghemite	γFe_2O_3	70	410, 440
			286-371
Titanomagnetite	Fe_3O_4-Fe_2TiO_4		169-290
Titanohaematite	Fe_2O_3-$FeTiO_3$		281-315
Pyrrhotite	Fe_7S_8		50, 53
Greigite	Fe_3S_4		
Diamagnetic			
Calcite	$CaCO_3$		-0.0048
Alkali-feldspar	Ca,Na,K,Al silicate		-0.005
Plastic			-0.005
Quartz	SiO_2		-0.0058
Organic matter			-0.009
Water	H_2O		-0.009
Halite	NaCl		-0.009
Kaolinite	$Al4Si_4O_{10}(OH)_8$		-0.019
(Canted) antiferromagnetic			
Hematite	αFe_2O_3	70	1.19-1.69
			0.58-0.78
			0.49-0.65
			0.27, 0.31, 0.6, <0.63
Goethite	$\alpha FeOOH$	63	0.35, 0.38, 0.7, <1.26
Paramagnetic (20 °C)			
Ilmenite	$FeTiO_3$	37	1.7, 2
Ulvospinel	Fe_2TiO_4		
Olivine	$4[(Mg,Fe)_2SiO_4]$	<55	0.01-1.3
Siderite	$FeCO_3$	48	1.0
Biotite	Mg,Fe,Al silicate	31	0.05-0.95
Pyroxene	$(Mg,Fe)_2Si_2O_6$	<12	0.04-0.94
Chamosite	oxidised chlorite		0.9
Nontronite	Fe-rich clay		0.863
Amphibole	Mg,Fe,Al silicate		0.16-0.69
Epidote	Ca,Fe,Al silicate	31	0.25-0.31
Pyrite	FeS_2	47	0.3
Lepidocrocite	$\gamma FeOOH$	63	0.5-0.75, 0.69
Prochlorite	mica-like mineral		0.157
Vermiculite	complex silicate		0.152
Illite	$K1Al_4(Si,Al)_8O_2O(OH)_4$		0.15
Bentonite	complex silicate		0.058
Smectite	complex silicate		0.05, 0.027
Chalcopyrite	$CuFeS_2$	30	0.03
Attapulgite	complex silicate		0.02
Dolomite	$CaMg(CO_3)_2$		0.011

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.

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.

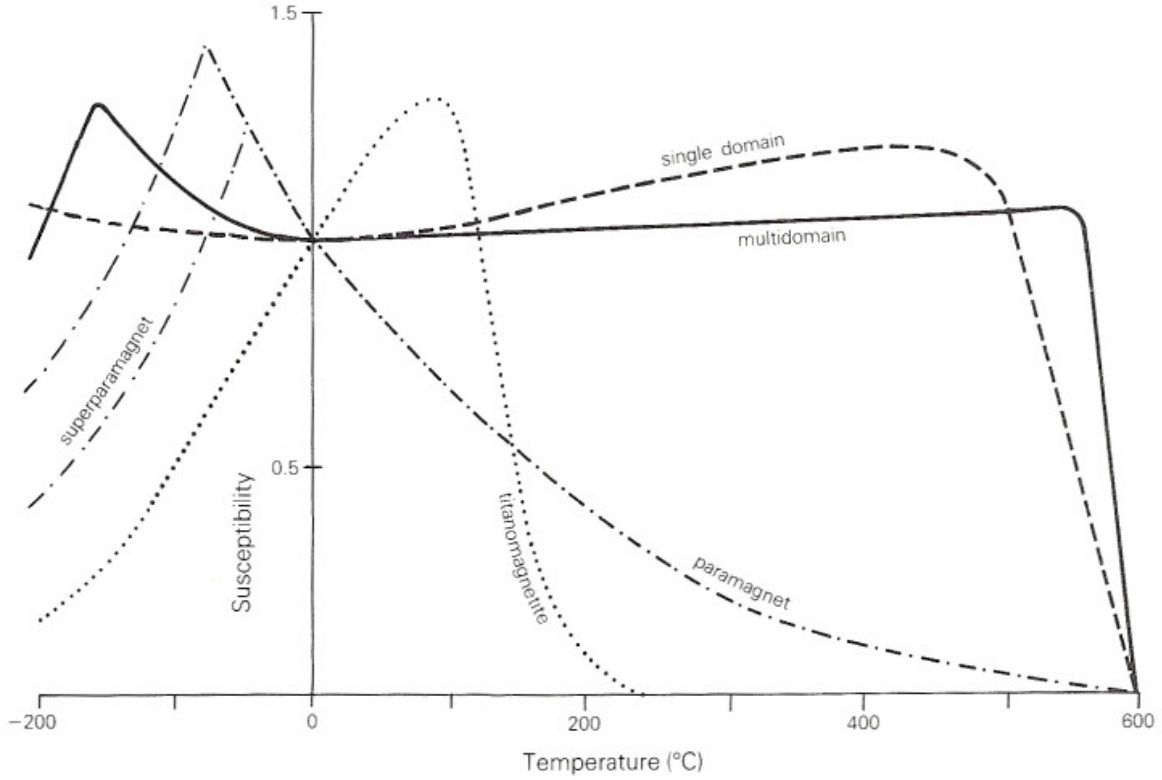
9. Υπερ-παραμαγνητισμός (superparamagnetism). Είναι το φαινόμενο της ταχύτατης μείωσης της παραμένουσας μαγνήτισης των σιδηρομαγνητικών υλικών, όταν οι κόκκοι τους

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°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.

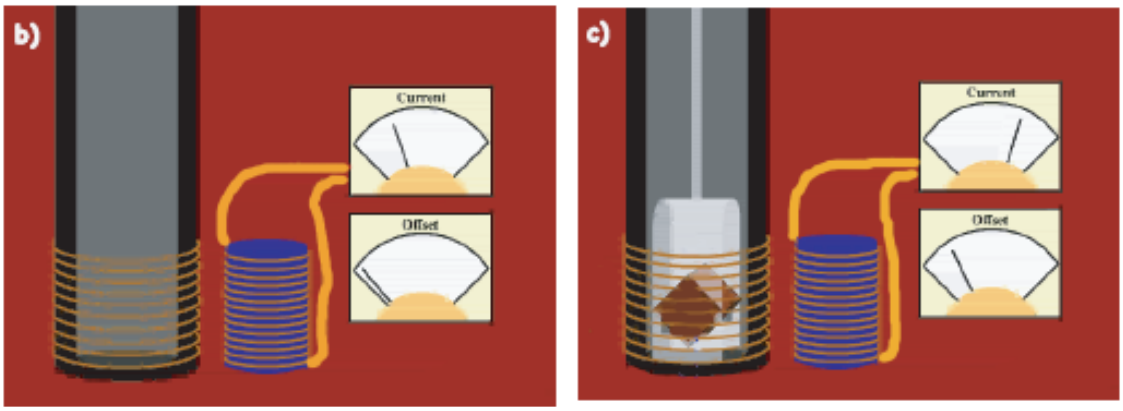
Στις χαμηλές συχνότητες η σε φάση συνιστώσα της μαγνητικής επιδεκτικότητας έχει τιμή πλησίον της πραγματικής. Καθώς όμως η συχνότητα αυξάνεται τα φαινόμενα αποκατάστασης γίνονται πιο σημαντικά και η σε φάση συνιστώσα μετά από μια μικρή αύξηση (Snoek, 1948), μειώνεται σταθερά ενώ η τιμή της φανταστικής 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 με τη χρήση πηνίου εναλλασσόμενου ρεύματος.

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

Σχήμα 3.5 Ο αισθητήρας MS2B της Bartington που χρησιμοποιήθηκε στις εργαστηριακές μετρήσεις.

Specification - *MS*2B 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/ºC/minute +0.006/ºC
Enclosure material	high impact ABS
Weight	0.8kg
Dimensions	200 x 145 x 110mm

Specification - *MS*2C 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 - *MS*2D 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 - *MS2*F 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 - *MS2*G 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 - *MS2*K Probe

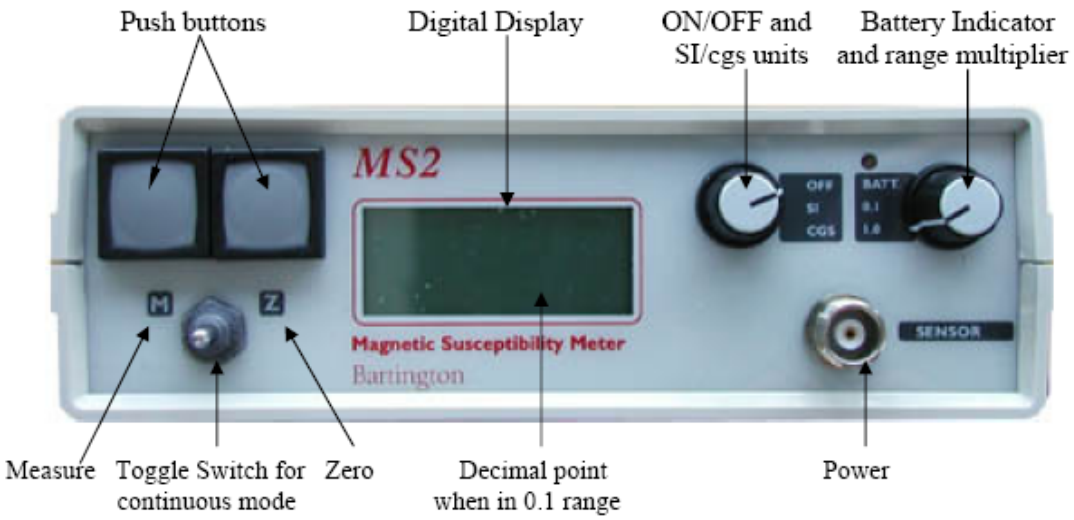
Area of response	25.4mm diameter full-width-half-maximum
Depth of response	50% at 3mm, 10% at 8mm
Measurement period - x 1 range - x 0.1 range	1 second 10 seconds
Drift at room temperature	$< \pm 2 \times 10^{-6}$ CGS in 5 minutes after 5 minutes operation
Operating frequency	930Hz
Weight	270gms; 1695g (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 3.6)

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.

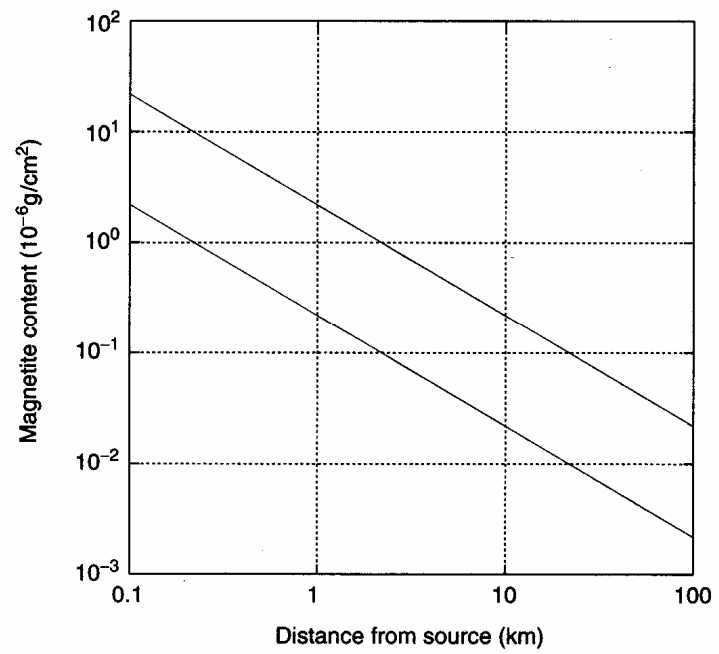


Σχήμα 3.6 Πρόσοψη του μετρητικού συστήματος MS2 του οίκου Bartington.

3.9 Σχέση μαγνητικών ορυκτών και βαρέων μετάλλων

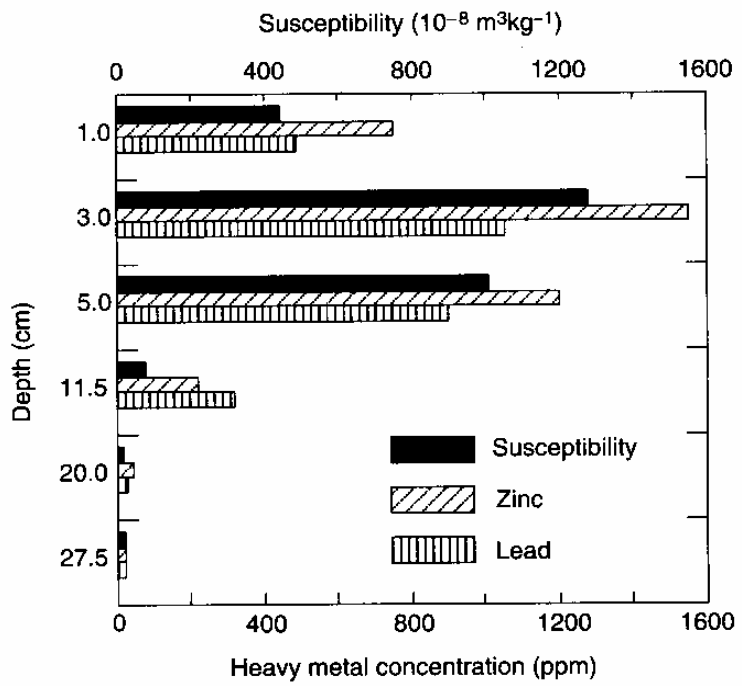
Πολλές βιομηχανικές δραστηριότητες, όπως η παραγωγή σιδήρου και τσιμέντου παράγουν αιωρούμενα μαγνητικά σωματίδια, με πιο σημαντική πηγή ωστόσο τα εργοστάσια παραγωγής ρεύματος που χρησιμοποιούν κάρβουνο. Ακόμα και με τη χρήση ηλεκτροφίλτρων απόδοσης 98%, ένα εργοστάσιο 1 GW εκπέμπει κάθε ώρα 2 τόννους ιπτάμενης τέφρας. Ανάλογα δε με τις μετεορολογικές συνθήκες, τα αιωρούμενα αυτά σωματίδια μπορεί να ταξιδέψουν εκατοντάδες χιλιόμετρα πριν εναποτεθούν στο έδαφος. Πριν την καύση του, το κάρβουνο είναι βασικά μη μαγνητικό υλικό. Η διαδικασία της καύσης προκαλεί τη διάσπαση του σιδηροπυρίτη (FeS_2) και το σχηματισμό πυροτίτη (Fe_7S_8) και S. Σε θερμοκρασία υψηλότερη των 1350 K, ο πυροτίτης διασπάται σε σίδηρο και θείο. Ως αποτέλεσμα, σχηματίζονται σφαιρικά σωματίδια σιδήρου, διαστάσεων 20μm, τα οποία στη συνέχεια οξειδώνονται σε μαγνητίτη (Fe_3O_4). Τα μαγνητικά αιωρούμενα σωματίδια, μπορεί στη συνέχεια να αποτεθούν σε φυτά, κτίρια, ή πάνω στο έδαφος.

Έχει παρατηρηθεί (Flanders, 1994) ότι το ποσό του μαγνητικού υλικού που αποτίθεται σε κτίρια και δέντρα μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα με την απόσταση από την πηγή. Ισορροπία επιτυγχάνεται, καθώς τα παλαιότερα σωματίδια παρασύρονται μακρυά (π.χ. με τη βροχή), ενώ αποτίθενται νέα. Όπως προκύπτει και από το σχήμα 3.7, σε απόσταση 1 km από την πηγή, η ποσότητα του μαγνητικού υλικού ανέρχεται σε 1 μg / cm^2.



Σχήμα 3.7 Μεταβολή της ποσότητας μαγνητίτη (σε μg / cm^2) σε συνάρτηση της απόστασης από την πηγή προέλευσης.

Μετρήσεις μαγνητικής επιδεκτικότητας σε δείγματα εδάφους σε διαφορετικά βάθη, έχουν δώσει υψηλές τιμές για τα πρώτα εκατοστά του εδάφους. Επιλέον μετρήσεις διαφόρων βαρέων μετάλλων, έχουν δώσει υψηλούς συσχετισμούς της συγκέντρωσης τους με τις υψηλές τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας (Σχήμα 3.8). Οι μετρήσεις λοιπόν της μαγνητικής επιδεκτικότητας, προσφέρουν έναν γρήγορο τρόπο και ένα φθηνό πρώτο βήμα για την ταυτοποίηση της ρύπανσης του εδάφους από βιομηχανικές δραστηριότητες.



Σχήμα 3.8. Συσχετσιμός της μαγνητικής επιδεκτικότητας με τη συγκέντρωση ψευδάργυρου και μόλυβδου σε εδαφικά δείγματα πλησίον εργοστασίου παραγωγής ενέργειας.

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.

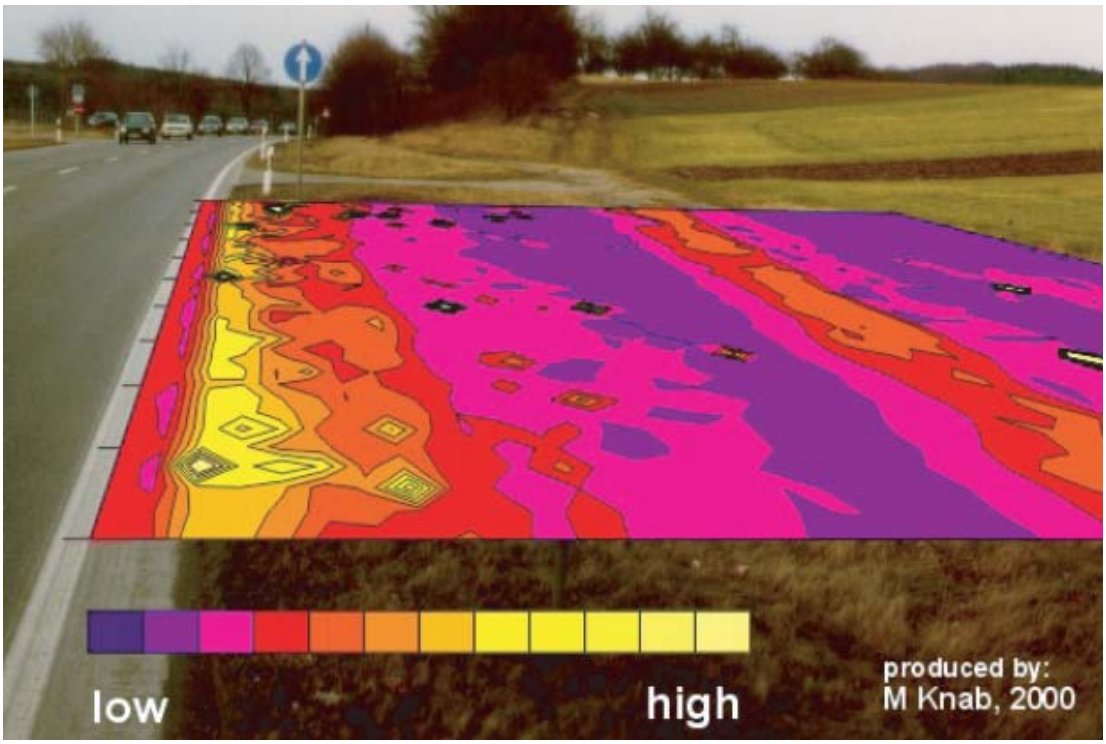
Οι Petrovsky et al. (2001) ανέλυσαν δείγματα από αλλουβιακό έδαφος γύρω από μια περιοχή που λειτουργούσε χυτήριο μόλυβδου, για να καθορίσουν την μαγνητική επιδεκτικότητα αλλά και τις συγκεντρώσεις μόλυβδου, ψευδαργύρου και καδμίου. Κατέληξαν ότι υπάρχει σχέση ανάμεσα στην μαγνητική επιδεκτικότητα και 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.

Υψηλές τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας έχουν μετρηθεί δίπλα σε οδικά δίκτυα, οφειλόμενες σε μαγνητικά σωματίδια προερχόεμνα από τα αυτοκίνητα. Παρά την χρήση της αμόλυδης βενζίνης, έχουν ανιχνευθεί μαγνητικά σωματίδια πλούσια σε σίδηρο, τα οποία προκύπτουν από το σκούριασμα του σώματος του αυτοκινήτου, τη φθορά των κινούμενων μερών και την αποκόλληση από το εσωτερική της εξάτμισης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα, όπου απεικονίζεται η χωρική κατανομή της μαγνητικής επιδεκτικότητας σε μία μικρή περιοχή πλησίον δημόσιου δρόμου, δίνεται στο σχήμα 3.9.

Η ρύπανση λόγω της κυκλοφορίας αυτοκινήτων σε αστικές περιοχές, επηρεάζει επιπλέον τις μαγνητικές ιδιότητες των φυτών, στα οποία επικάθονται αιωρούμενα σωματίδια.



Σχήμα 3.9. Χαρτογράφηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας σε περιοχή πλησίον κεντρικού δρόμου (από http://www.uni-tuebingen.de/geo/gpi/ag-appel/projekte/envmag/pollution/index.html)

Μετρήσεις μαγνητικής επιδεκτικότητας σε φύλλα δέντρων από αγροτικές περιοχές έχουν δώσει υποπολλαπλάσιες τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας ή άλλων μαγνητικών παραμέτρων, σε σχέση με τα φύλλα αστικών περιοχών. Έχει λοιπόν υιοθετηθεί από πολλές ευρωπαικές πόλεις η παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης με τη χρήση μαγνητικών μετρήσεων σε φύλλα δέντρων.

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 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 $Ni(NO_3)_2$ 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 ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΜΗΛΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

4.1 Περιγραφή της μεθοδολογίας εκπόνησης της παρούσας εργασίας

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στις εξής φάσεις:

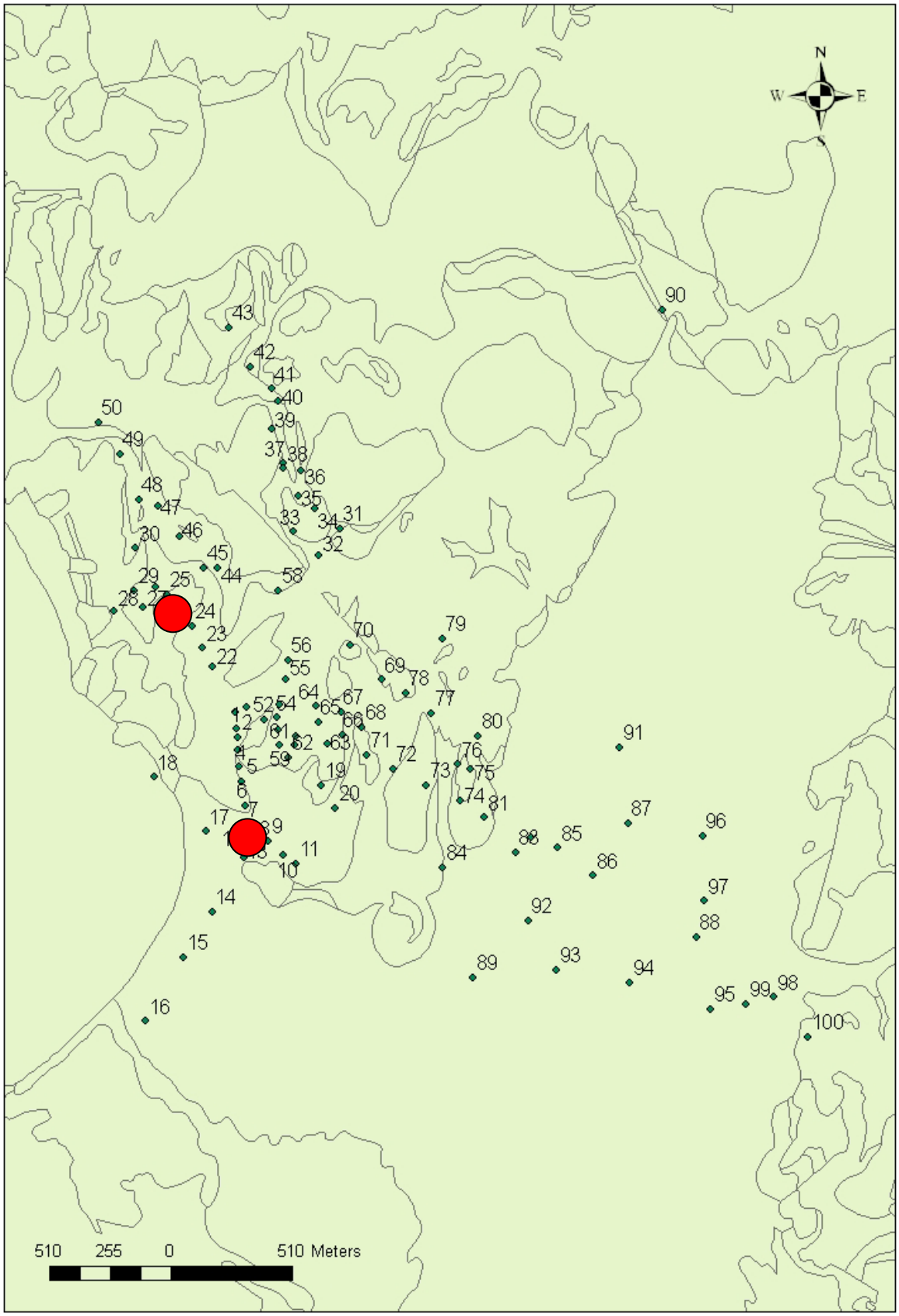
1. Αναζήτηση βιβλιογραφίας που να σχετίζεται με χαρτογράφηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας.
2. Επιλογή της περιοχής έρευνας
3. Συλλογή δειγμάτων εδάφους χωρίς την χρήση μεταλλικών αντικειμένων και αποθήκευση σε πλαστικές σακούλες.
4. Μεταφορά στο εργαστήριο όπου ξεκινάμε την διαδικασία της ταξινόμησης 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. Τα δείγματα ξηράνθηκαν στον ήλιο για αρκετές ημέρες, προκειμένου να αφαιρεθεί η πιθανή υγρασία τους, δεδομένου ότι το νερό επηρεάζει τις μετρήσεις μαγνητικής επιδεκτικότητας.
5. Επεξεργασία και απεικόνιση των δεδομένων με τη χρήση του λογισμικού πακέτου ARCGIS.

4.2 Χρήση του ArcGIS

Οι χάρτες που θα παρουσιαστούν στην συνέχεια έχουν προκύψει από επεξεργασία των παραπάνω χαρτών με την βοήθεια του προγράμματος ArcGIS (Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών).

Πληροφορίες για τα Γωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) δίνονται στο Παράρτημα Β.

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. Ο βαθμός βαρύτητας κάθε σημείου που συμμετέχει στον υπολογισμό της μέσης τιμής μιας κυψέλης εξαρτάται από την απόσταση του.



Σχήμα 4.1 Χάρτης με τις θέσεις των δειγματοληψιών και τη θέση του υποσταθμού της ΔΕΗ Μήλου και του αεροδρομίου.

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 χρησιμοποιεί τον «κλασσικό» πλέον τρόπο απεικόνισης των ισότιμων καμπύλων. Η δεύτερη δίνει έμφαση στην μέτρηση του κάθε σημείου.

Στο σχήμα 4.2 απεικονίζεται η χωρική κατανομή της μαγνητικής επιδεκτικότητας σε χαμηλή συχνότητα, όπως αυτή προέκυψε με τη χρήση της μεθόδου παρεμβολής IDW. Η κατανομή της μαγνητικής επιδεκτικότητας μετρούμενη σε υψηλή συχνότητα, απεικονίζεται στο σχήμα 4.3.

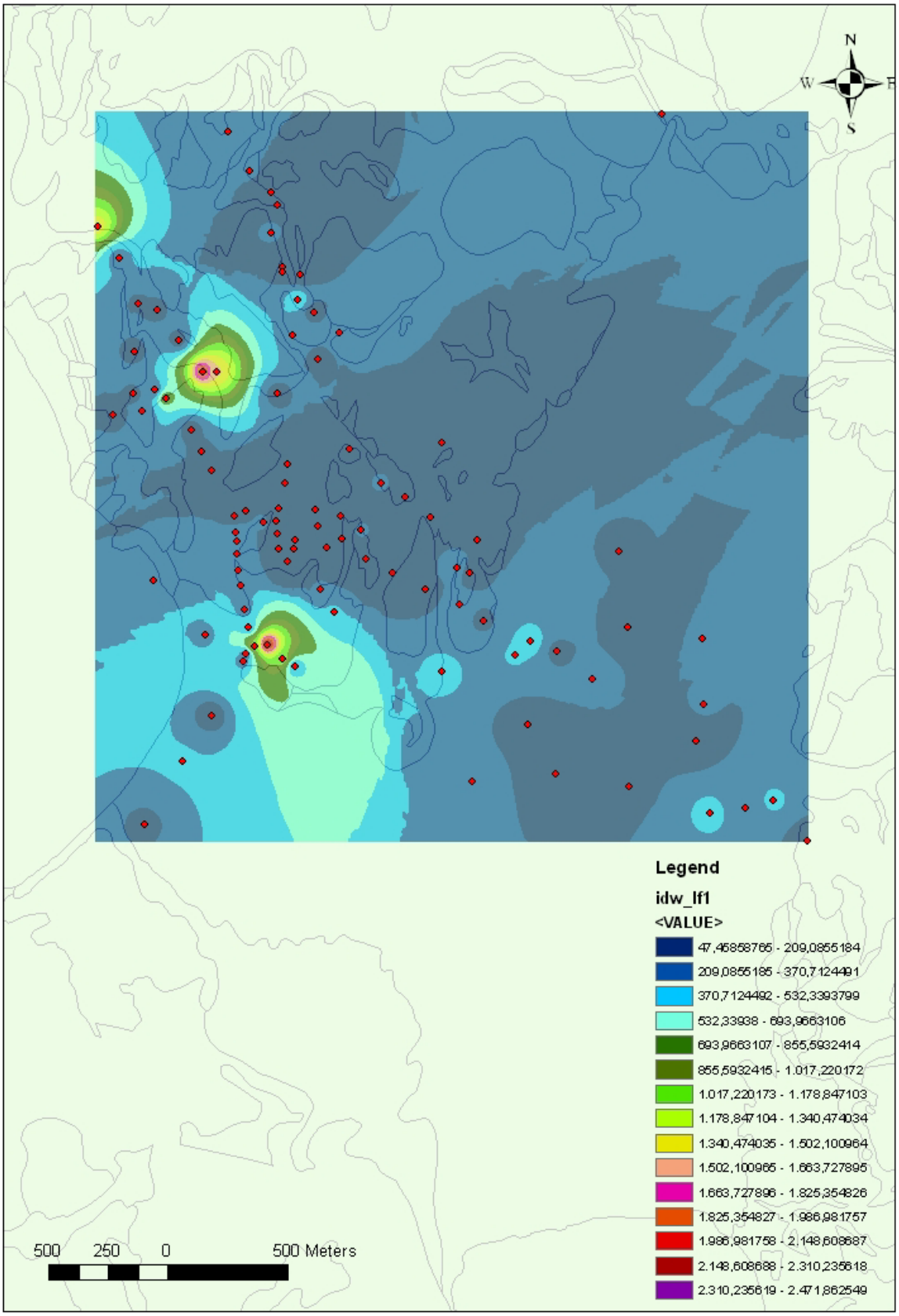
Ο συχετισμός των μετρήσεων της μαγνητικής επιδεκτικότητας σε χαμηλή και υψηλή συχνότητα, δίνεται στο σχήμα 4.4. Παρατηρείται μεγάλη συσχέτιση των δύο μεγεθών (ο συντελεστής συσχέτισης R είναι 0.96). Ως εκ τούτου, η πληροφορία που παίρνουμε από τις δύο απεικονίσεις είναι η ίδια. Πράγματι, η μετρούμενη μαγνητική επιδεκτικότητα τόσο σε χαμηλή όσο και σε υψηλή συχνότητα, παρουσιάζει τις ίδιες διακυμάνσεις και στις δύο περιπτώσεις (Σχήματα 4.2 και 4.3).

Παρατηρώντας τους χάρτες κατανομής της επιδεκτικότητας στην υπό μελέτη περιοχή, παρουσιάζονται ηψηλές τιμές (σημεία που υποδηλώνονται με χρώμα κόκκινο και μωβ στη χρωματική κλίμακα) πλησίον του εργοστασίου της ΔΕΗ, στην περιοχή του αεροδρομίου, καθώς και στο εργοστάσιο εξόρυξης και επεξεργασίας μπερλίτη – μπεντονίτη. Οι υψηλές αυτές παρατηρούμενες τιμές πιθανώς να συνδέονται με τις διεργασίες εξόρυξης και επεξεργασίας των ορυκτών του εργοστασίου καθώς και της καύσης για την παραγωγή ενέργειας όπου στα αιωρούμενα σωματίδια υπάρχει παρουσία βαρέων μετάλλων.

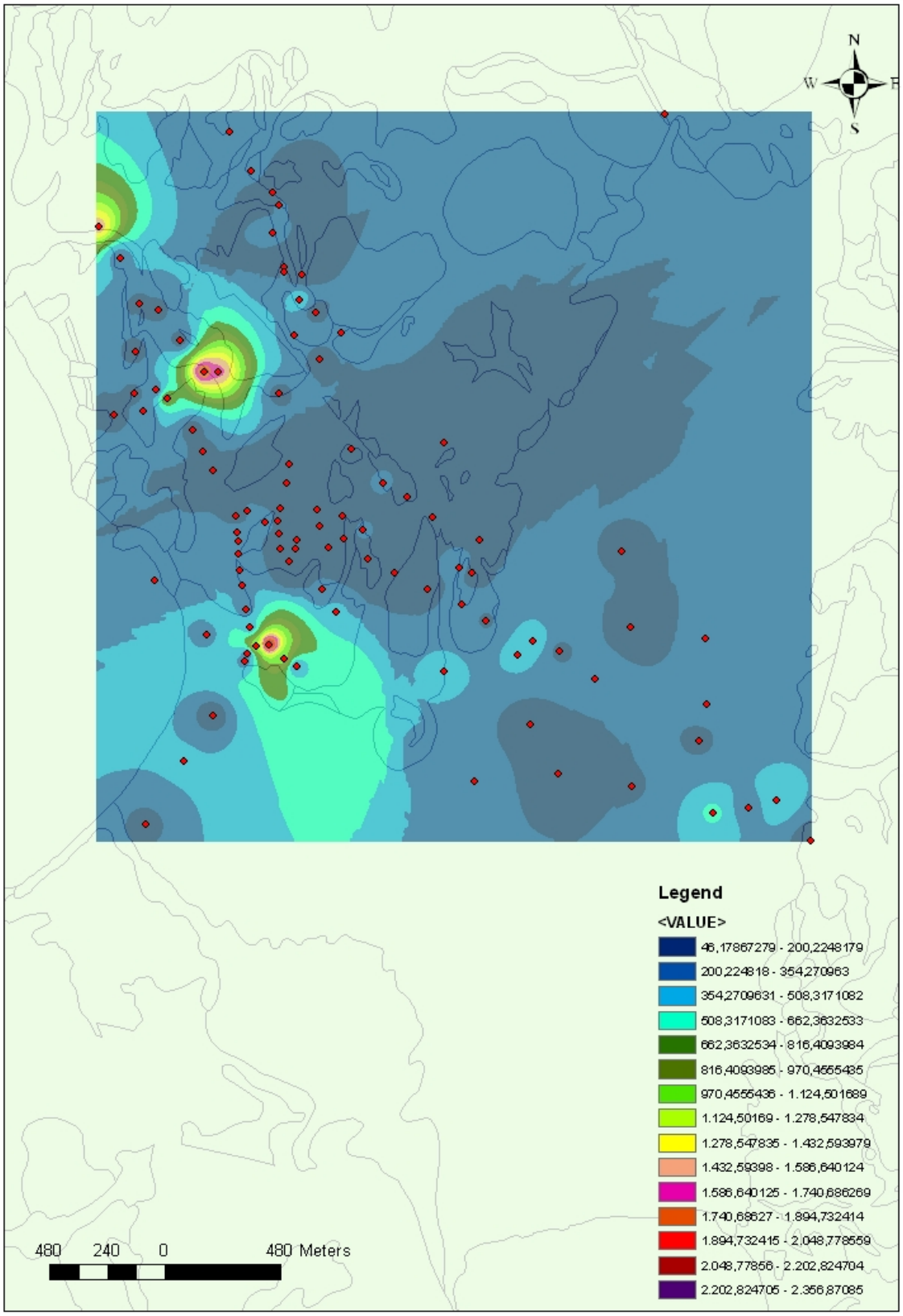
Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η δειγματοληψία έγινε σε θέσεις που βρίσκονταν πλησίον του οδικού δικτύου και οι οποίες ήταν προσβάσιμες. Δειγματοληψίες δεν ήταν δυνατό να πραγματοποιηθούν εντός των εγκαταστάσεων των εργοστασίων και του χώρου του αεροδρομίου.

Επιπλέον, προσδιορίστηκε η μαγνητική επιδεκτικότητα που εξαρτάται από την συχνότητα, βάση της σχέσης :

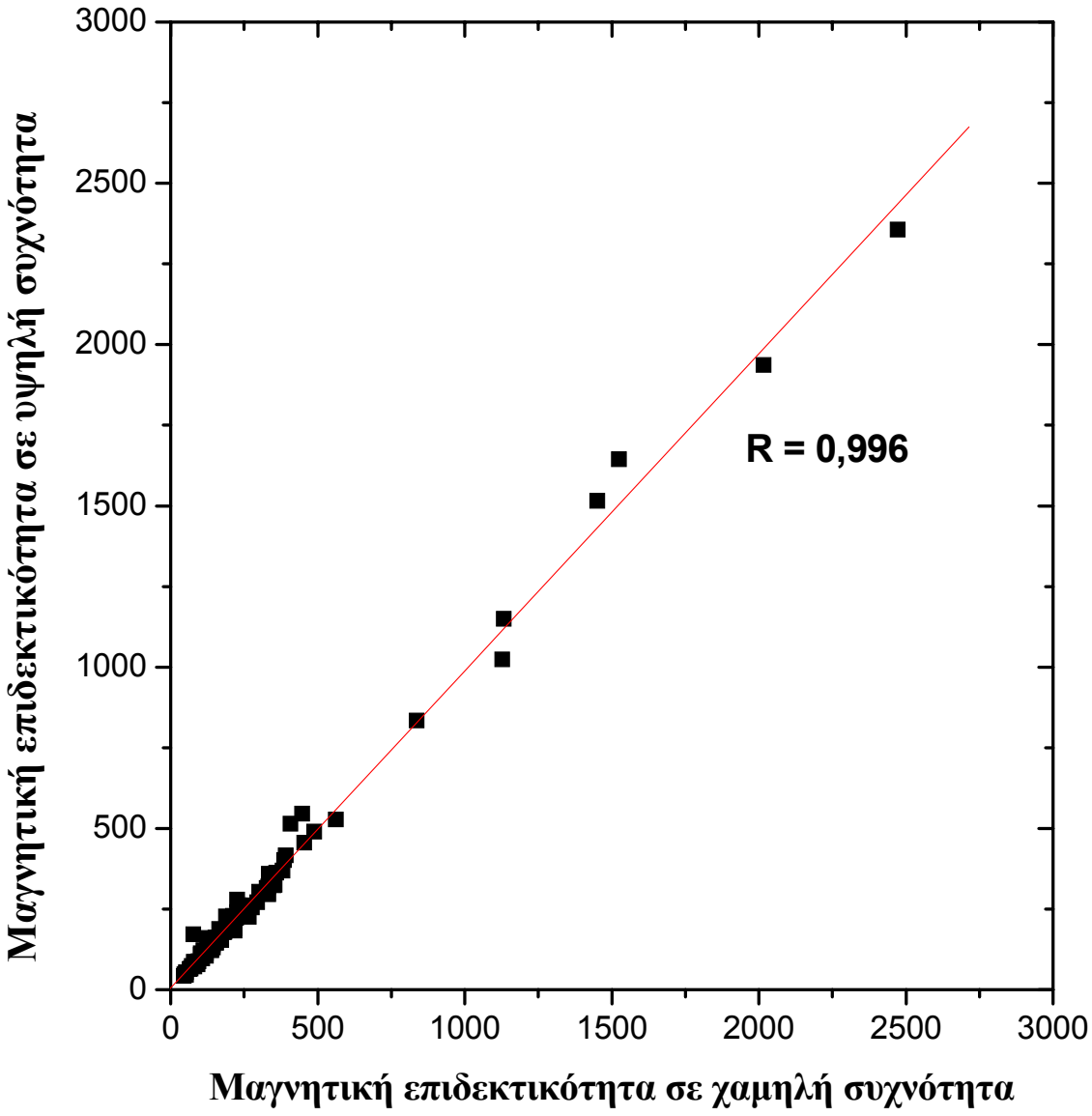
$$\chi_{fd} = \frac{\chi_{low} - \chi_{high}}{\chi_{low}}$$



Σχήμα 4.2 Απεικόνιση της κατανομής της μαγνητικής επιδεκτικότητας σε χαμηλή συχνότητα με την μέθοδο παρεμβολής IDW.

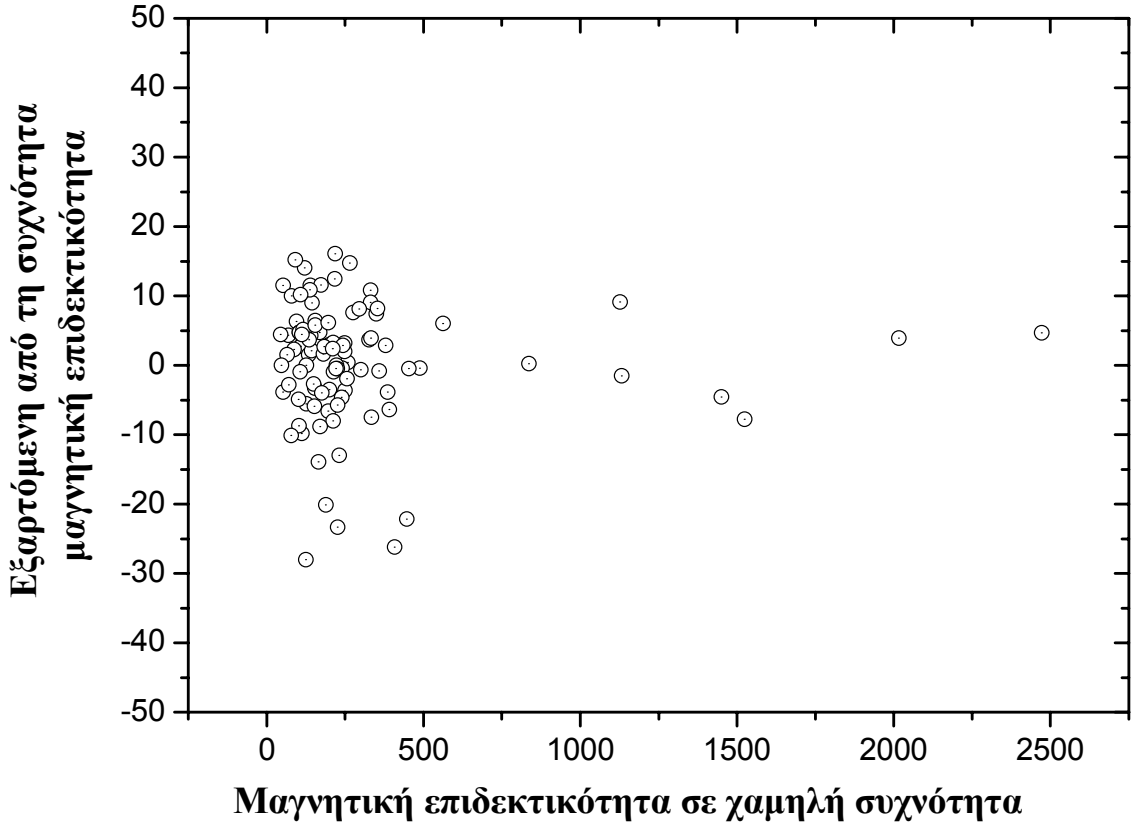


Σχήμα 4.3. Απεικόνιση της κατανομής της μαγνητικής επιδεκτικότητας σε υψηλή συχνότητα με την μέθοδο παρεμβολής IDW



Σχήμα 4.4 Συσχετισμός της μετρούμενης σε υψηλή συχνότητα μαγνητικής επιδεκτικότητας με αυτή σε χαμηλή συχνότητα.

και της οποίας ο συσχετισμός με τις τιμές της μαγνητικής επιδεκτικότητας σε χαμηλή και υψηλή συχνότητα παρουσιάζεται στο σχήμα 4.5. Όπως προκύπτει από το σχήμα, συσχετισμός παρατηρείται μόνον για κάποιες από τις μετρήσεις, ενώ για κάποιες άλλες δεν υπάρχει καθόλου συσχετισμός.



Σχήμα 4.5 Συσχετισμός της εξαρτώμενης από την συχνότητα μαγνητικής επιδεκτικότητας και της επιδεκτικότητας σε χαμηλή συχνότητα.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

5.1 Εισαγωγή

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης εργασίας πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις μαγνητικής επιδεκτικότητας σε εδαφικά δείγματα από επιλεγμένη περιοχή της νήσου Μήλου, προκειμένου να καταγραφεί η χωρική της κατανομή που πιθανώς συσχετίζεται με τα επίπεδα ρύπανσης από βαρέα μέταλλα της υπό μελέτη περιοχής. Για το σκοπό αυτό ελήφθησαν εκατό εδαφικά δείγματα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού του 2007 και στα δείγματα αυτά μετρήθηκε η μαγνητική τους επιδεκτικότητα σε συνθήκες εργαστηρίου.

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 υψηλό βαθμό συσχετισμού.
- Η κατανομή μαγνητικής επιδεκτικότητας που μετρήθηκε σε υψηλή συχνότητα σε σχέση με την επιδεκτικότητα που εξαρτάται από την συχνότητα παρουσιάζει συσχετισμό για τις περισσότερες μετρούμενες θέσεις. .
- Υψηλές τιμές επιδεκτικότητας εντοπίζονται πλησίον του χώρου του εργοστασίου της ΔΕΗ, στην περιοχή του αεροδρομίου, καθώς και στο εργοστάσιο επεξεργασίας εξόρυξης και επεξεργασίας μπερλίτη - μπεντονίτη.

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 διαφόρων βαρέων μετάλλων 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 μέταλα 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

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

α/α	γεωγραφικο μηκος(χ)	γεωγραφικο πλατος(ψ)	Μαγνητική επιδεκτικότητα, MS_L (Low f)	Μαγνητική επιδεκτικότητα, MS_H (High f)	$\frac{MS_L - MS_H}{MS_L}$
1	542035,114	4062512,122	259	258	0,0038
2	542035,296	4062475,144	214	216	-0,0093
3	542038,036	4062422,772	359	362	-0,0083
4	542043,348	4062351,924	241	242	-0,0041
5	542056,057	4062290,356	327	315	0,0366
6	542068,95	4062191,812	265	226	0,1471
7	542086,698	4062114,862	334	359	-0,0748
8	542109,424	4062034,855	1133	1150	-0,015
9	542166,444	4062044,381	2472	2357	0,0465
10	542226,297	4061983,048	1127	1024	0,0913
11	542281,05	4061949,423	332	296	0,1084
12	542077,321	4062003,881	200	207	-0,035
13	542062,586	4061972,993	249	244	0,02
14	541929,711	4061747,389	69	66	0,0434
15	541811,55	4061555,755	380	369	0,0289
16	541651,562	4061289,962	169	161	0,0473
17	541903,247	4062083,143	276	255	0,076
18	541686,273	4062310,11	249	241	0,0321
19	542388,597	4062276,597	222	222	0
20	542446,137	4062181,356	386	401	-0,0388
21	542029,802	4062582,97	141	135	0,0425
22	541934,585	4062773,555	112	123	-0,0982

23	541889,534	4062853,452	144	131	0,0902
24	541846,92	4062942,606	95	89	0,0631
25	541739,593	4063074,585	837	835	0,0011
26	541692,291	4063108,25	201	195	0,0298
27	541643,111	4063018,645	217	190	0,1244
28	541521,609	4063005,726	105	100	0,0476
29	541605,537	4063092,418	139	123	0,1151
30	541609,641	4063268,084	117	113	0,0341
31	542465,126	4063349,344	350	324	0,0742
32	542378,851	4063237,98	121	104	0,1404
33	542271,688	4063336,056	331	301	0,0906
34	542358,024	4063435,093	105	100	0,0476
35	542290,784	4063487,145	562	528	0,0604
36	542302,667	4063591,975	45	43	0,0444
37	542230,574	4063622,433	110	107	0,0272
38	542228,201	4063600,85	189	227	-0,201
39	542180,243	4063767,015	225	226	-0,0044
40	542209,431	4063884,257	196	209	-0,0663
41	542179,404	4063936,494	134	132	0,0149
42	542092,126	4064028,507	221	222	-0,0074
43	542002,02	4064191,383	212	229	-0,0801
44	541954,879	4063186,577	1525	1644	-0,078
45	541895,34	4063186,284	2016	1937	0,0391
46	541792,976	4063318,286	103	112	-0,0873
47	541703,05	4063444,187	143	140	0,0209
48	541623,531	4063471,532	173	153	0,1156

49	541543,216	4063662,193	295	271	0,0813
50	541453,267	4063794,26	1450	1516	-0,0455
51	542076,85	4062601,691	212	205	0,033
52	542146,561	4062552,732	227	280	-0,2334
53	542213,242	4062614,692	218	183	0,1605
54	542203,593	4062559,177	181	178	0,0165
55	542240,013	4062719,596	125	160	-0,28
56	542247,059	4062799,751	52	46	0,1153
57	542206,318	4062509,887	170	185	-0,0882
58	542208,394	4063092,302	126	133	-0,0555
59	542211,601	4062445,201	121	115	0,0495
60	542280,901	4062479,441	126	126	0
61	542273,642	4062442,427	138	123	0,1086
62	542251,557	4062393,013	102	107	-0,049
63	542412,548	4062449,281	154	159	-0,0324
64	542364,627	4062606,199	135	130	0,037
65	542377,354	4062541,551	92	78	0,1521
66	542479,351	4062486,591	116	110	0,0517
67	542473,913	4062582,091	52	54	-0,0384
68	542558,574	4062520,883	250	259	-0,036
69	542639,46	4062718,505	239	250	-0,046
70	542507,248	4062862,675	80	72	0,1
71	542579,008	4062403,888	71	73	-0,0281
72	542685,985	4062345,875	107	108	-0,0093
73	542827,761	4062275,711	155	145	0,0645
74	542969,509	4062211,713	256	261	-0,0195

75	543011,018	4062344,428	112	107	0,0446
76	542958,823	4062362,653	333	320	0,039
77	542848,572	4062577,804	79	87	-0,1012
78	542738,992	4062660,455	87	85	0,0229
79	542894,144	4062889,266	150	154	-0,2933
80	543045,053	4062483,268	184	179	0,0271
81	543071,592	4062141,354	176	183	-0,0397
82	543265,556	4062056,054	488	490	-0,004
83	543201,344	4061997,18	391	416	-0,0639
84	542896,488	4061930,928	454	456	-0,0044
85	543377,427	4062013,482	152	161	-0,0592
86	543524,413	4061897,133	243	236	0,0288
87	543672,163	4062116,677	155	146	0,058
88	543957,474	4061640,509	78	171	-1,1923
89	543022,864	4061472,42	354	325	0,0819
90	543814,944	4064265,23	301	303	-0,0066
91	543635,802	4062433,887	196	184	0,0612
92	543252,421	4061710,858	65	64	0,0153
93	543372,587	4061501,926	47	47	0
94	543678,055	4061451,1	165	188	-0,1393
95	544018,583	4061338,836	447	546	-0,2214
96	543982,573	4062065,887	211	206	0,0236
97	543991,432	4061791,678	227	240	-0,0572
98	544281,35	4061389,501	408	515	-0,2622
99	544167,352	4061361,176	231	261	-0,1298
100	544426,134	4061223,852	108	97	0,1018

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β
Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS)

Εισαγωγή

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.) ή Geographic Information Systems (G.I.S) είναι μια τεχνολογία συνεχώς αναπτυσσόμενη, άμεσα εξαρτώμενη από την αλματώδη ανάπτυξη της τεχνολογίας και με ένα ευρύ πεδίο εφαρμογών σε παγκόσμιο επίπεδο.

Μια προσπάθεια καθορισμού των Γ.Σ.Π. γίνεται με τους παρακάτω ορισμούς. Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών είναι:

μια δυναμική ομάδα εργαλείων για τη συλλογή, αποθήκευση, ανάκτηση, το μετασχηματισμό και την παρουσίαση χωρικών δεδομένων από τον πραγματικό κόσμο.” [Burrough, 1986]

μια ειδική περίπτωση πληροφοριακών συστημάτων στα οποία η βάση δεδομένων αποτελείται από χωρικά διανεμημένα χαρακτηριστικά, δραστηριότητες ή γεγονότα τα οποία προσδιορίζονται στο χώρο σαν σημεία, γραμμές ή πολύγωνα. Ένα Γ.Σ.Π. διαχειρίζεται επιδέξια τα δεδομένα τα σχετικά με αυτά τα σημεία, γραμμές ή πολύγωνα με σκοπό την απόκτηση απαντήσεων για συγκεκριμένα ερωτήματα και αναλύσεις.” [Dueker, 1979]

Το κοινό χαρακτηριστικό των ορισμών είναι η αναφορά στην γεωγραφική – χωρική πληροφορία. Στα Γ.Σ.Π., ο κόσμος που ζούμε, απεικονίζεται σα μια σειρά γεωγραφικών πληροφοριών αποτελούμενων από δύο ειδών δεδομένα:

τα χωρικά δεδομένα (spatial data, γραφική πληροφορία) αποτελούμενα από τον προσδιορισμό της θέσης των γεωγραφικών οντοτήτων με βάση ένα σύστημα αναφοράς (π.χ. καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων χ-ψ), τον προσδιορισμό των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των γεωγραφικών οντοτήτων (π.χ. μήκος δρόμου, έκταση οικοπέδου) και τις χωρικές σχέσεις που αναπτύσσονται με άλλες γεωγραφικές οντότητες (π.χ. ποια τμήματα δρόμου ενώνονται με το κεντρικό τμήμα). Παραδείγματα είναι: οι θέσεις των πινακίδων κυκλοφορίας, το οδικό δίκτυο, όρια νομών.

τα περιγραφικά δεδομένα (aspatial, attribute data) αποτελούμενα από τα χαρακτηριστικά των γεωγραφικών οντοτήτων που έχουν σχέση με τις ποιοτικές και ποσοτικές ιδιότητες του γεωγραφικού χώρου. Παραδείγματα είναι: το είδος της πινακίδας κυκλοφορίας, η κατηγορία του δρόμου και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του, η ονομασία του νομού, ο πληθυσμός του, στατιστικά στοιχεία κ.α.) Τα περιγραφικά δεδομένα αποθηκεύονται στο σύστημα υπό την μορφή πίνακα, ο οποίος, είτε είναι επέκταση του βασικού πίνακα που συνοδεύει τα δομικά στοιχεία των χωρικών δεδομένων και ενσωματώνεται στη βάση δεδομένων του λειτουργικού

προγράμματος, είτε έχει δημιουργηθεί με χρήση κάποιας εξωτερικής βάσης δεδομένων (π.χ. oracle, access) και συνδέεται εξωτερικά με τον πίνακα των δομικών στοιχείων.
Η μεγάλη αλλαγή που επιτεύχθηκε με τη δημιουργία των Γ.Σ.Π. βρίσκεται στη σύνδεση που επιτυγχάνεται μεταξύ των χωρικών – γραφικών δεδομένων με μη γραφικά δεδομένα (με τη βοήθεια ενός μοναδικού αριθμού που χαρακτηρίζει το δομικό στοιχείο και ο οποίος είτε βρίσκεται ο ίδιος στον πίνακα της εξωτερικής βάσης, είτε η σύνδεση γίνεται με κάποιες άλλες κοινές πληροφορίες), στη δυνατότητα δημιουργίας καινούργιων επιπέδων γεωγραφικής πληροφορίας από την επεξεργασία τους, καθώς και στη διεξαγωγή συμπερασμάτων από την ανάλυση όλων των παραπάνω.
Το βασικό γνώρισμα τους από άλλα πληροφοριακά συστήματα είναι η επικέντρωση τους στη χωρική πληροφορία και στις σχέσεις που δημιουργούνται στο χώρο, σε συνδυασμό με την χωρική ανάλυση και τη δημιουργία μοντέλων.

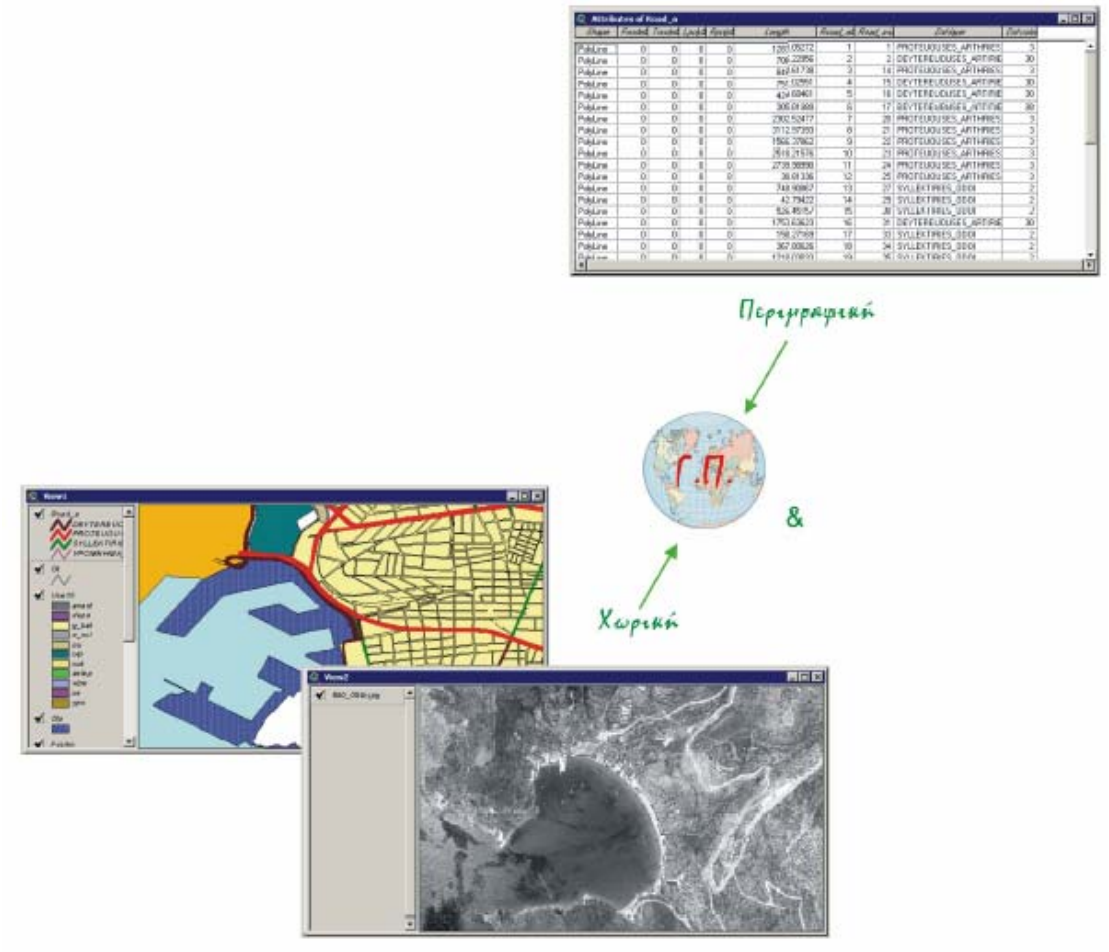
Γεωγραφική Πληροφορία

Γεωγραφική ή Χωρική πληροφορία είναι η πληροφορία η οποία συνδέεται με μία θέση στο χώρο και αναφέρεται σε φυσικά φαινόμενα και ανθρώπινες δραστηριότητες. Οι υφιστάμενες αλλά και δυνατές χρήσεις της ίδιας της Γεωγραφικής Πληροφορίας (Γ.Π.) είναι πολλές και ποικίλες. Μερικά παραδείγματα είναι:

> Η Γ.Π. χρησιμοποιείται στις κρατικές υπηρεσίες, από την τοπική αυτοδιοίκηση μέχρι την ίδια την Ευρωπαϊκή Ένωση, σε τομείς όπως η δημόσια διοίκηση, οι μεταφορές, η γεωργία και η προστασία του περιβάλλοντος, τόσο για την καταγραφή της υπάρχουσας κατάστασης όσο και για πρόβλεψη και σωστό σχεδιασμό.
>
> Στο δημόσιο και ιδιωτικό τομέα, η Γ.Π. σχετίζεται με το σχεδιασμό κατάλληλης εθνικής πολιτικής και άμυνας, καθώς και με τη μελέτη για την αντιμετώπιση κρίσεων και επικίνδυνων καταστάσεων.
>
> Η Γ.Π. χρησιμοποιείται εκτενώς στις δημόσιες και ιδιωτικές επιχειρήσεις που παρέχουν υπηρεσίες κοινής ωφέλειας μέσα από φυσικές υποδομές όπως το ηλεκτρικό, το φυσικό αέριο, η ύδρευση – αποχέτευση και οι τηλεπικοινωνίες.

Η γνώση και αξιοποίηση της Γεωγραφικής Πληροφορίας , μέσα από μια υποδομή γεωγραφικών πληροφοριών, συνεπάγεται μια σειρά από οφέλη, πολύ περισσότερα εκείνων της αξιοποίησης παραδοσιακών συστημάτων Γ.Σ.Π.. Στην εικόνα 1.1 παρουσιάζονται οι δύο τρόποι με τους οποίους αποθηκεύεται η χωρική πληροφορία (κάτω αριστερά: γραμμές –

πολύγωνα – σημεία, εικόνες – grid) και οι αντίστοιχες περιγραφικές τους πληροφορίες (πάνω δεξιά). Όλες οι πληροφορίες αυτές όταν συνδυαστούν συνθέτουν τον κόσμο.



Σχήμα Β1.

Η χωρική πληροφορία των θεματικών επιπέδων μπορεί να είναι είτε σε ψηφιδωτή, είτε σε διανυσματική μορφή (εικόνα 1.1), είτε να χρησιμοποιηθεί συνδυασμός τους. Η επιλογή εξαρτάται από την επεξεργασία που θα επακολουθήσει, δηλαδή από την κλίμακα από την οποία προήρθαν τα στοιχεία και στην οποία γίνεται η επεξεργασία τους καθώς επίσης και από τα ζητούμενα των εφαρμογών που έχουν δημιουργηθεί. Ο γενικός κανόνας είναι ότι τα ψηφιδωτά είναι καλύτερα όταν τα δεδομένα που θα αναπαραστήσουν αντιπροσωπεύουν συνεχείς επιφάνειες, όπως είναι η υψομετρία, ή οι χρήσεις γης ενώ τα διανυσματικά αναπαριστούν με μεγαλύτερη ακρίβεια τα συνθετικά στοιχεία του χώρου (π.χ. δίκτυα – γραμμικά, πηγές – σημειακά) που έχουν διακριτά όρια.

Η περιγραφική πληροφορία κάθε θεματικού επιπέδου μπορεί να αποτελείται από πάρα πολλά στοιχεία. Για παράδειγμα σε ένα θεματικό επίπεδο που αφορά στις καλλιέργειες μπορεί να υπάρξει αναφορά στο είδος των καλλιεργειών π.χ. εσπεριδοειδή, αμπέλι κ.α., αλλά θα

μπορούσε να γίνει λεπτομερέστερη αναφορά και να υπάρχουν υποκατηγορίες που να αφορούν το είδος του δέντρου, την ποικιλία του σταφυλιού και επίσης ακόμα πληροφορίες και υποκατηγορίες ανάλογα με τα συμπεράσματα στα οποία θέλουμε να καταλήξουμε.

Τα λογισμικά Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών που υπάρχουν σήμερα είναι πολλά με διάφορες δυνατότητες (Raster – Vector) και διάφορες επεκτάσεις (add on προγράμματα). Πολλές εταιρείες δημιουργίας λογισμικού που δραστηριοποιούνταν σε υποδεέστερους τομείς, όπως σχεδιαστικά πακέτα προγραμμάτων, επεκτείνανε τις δυνατότητες των προγραμμάτων, ή δημιούργησαν καινούργια, με βάση τη λογική δημιουργίας των Γ.Σ.Π. (π.χ. η εταιρεία Autodesk που φτιάχνει το σχεδιαστικό πακέτο AutoCad, έχει δημιουργήσει το πρόγραμμα Γ.Σ.Π. Autodesk Map).

Εκτός όμως από το λογισμικό των Γ.Σ.Π. υπάρχει μια σειρά άλλων λογισμικών τα οποία είναι συγγενή ή συμπληρωματικά όπως είναι:

- Το λογισμικό διαχείρισης της βάσης δεδομένων.
- Το λογισμικό διανυσματοποίησης (μετατροπής ψηφιδωτών σε διανυσματικά δεδομένα).
- Το λογισμικό ψηφιακής φωτογραμμετρίας.
- Το λογισμικό επεξεργασίας τηλεπισκοπικών δεδομένων.
- Το λογισμικό στατιστικής ανάλυσης.

Ένα τυπικό εμπορικό πακέτο Γ.Σ.Π. αποτελείται από ένα πρόγραμμα, το οποίο έχει ενσωματωμένο ένα σύστημα διαχείρισης της βάσης δεδομένων (DBMS Database Management System) των χωρικών και περιγραφικών πληροφοριών, καθώς και τη δυνατότητα επέκτασης του με την προσθήκη εφαρμογών και προγραμματισμού των δυνατοτήτων του μέσω μιας γλώσσας προγραμματισμού (π.χ. aml,). Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις όπου εκτός από την ενσωματωμένη βάση δεδομένων του συστήματος χρειάζεται να χρησιμοποιηθεί και μια εξωτερική βάση (π.χ. Oracle, Dbase, Informix, Access), στην οποία περιέχονται οι περιγραφικές πληροφορίες. Τα λογισμικά Γ.Σ.Π. μέσω της δυνατότητας σύνδεσης της βάσης των χωρικών τους πληροφοριών με μία εξωτερική βάση δεδομένων μπορούν να διαχειριστούν μεγάλο όγκο δεδομένων και σε σύντομο χρονικό διάστημα.

Βασικό στοιχείο σε ένα Γ.Σ.Π. είναι τα **δεδομένα**, τα οποία διαχωρίζονται σε χωρικά – χαρτογραφικά και περιγραφικά δεδομένα, τα οποία με τη σειρά τους μπορούν να δημιουργηθούν με τους παρακάτω τρόπους:

- Εξ αρχής δημιουργία ψηφιακών αρχείων.
- Ψηφιοποίηση υπαρχόντων αναλογικών δεδομένων και συμβατικών αρχείων.

Η διαδικασία δημιουργίας των δεδομένων αποτελεί το νευραλγικό κέντρο κάθε Γ.Σ.Π. και αποτελείται από τέσσερα στάδια. Το στάδιο Εισόδου, όπου τα χωρικά και μη χωρικά στοιχεία κωδικοποιούνται και αποθηκεύονται στον Η/Υ, το στάδιο της Διαχείρισης όπου τα χωρικά στοιχεία διαμορφώνονται κατάλληλα (Βάση Δεδομένων) για το επόμενο στάδιο της Ανάλυσης. Στο τελικό στάδιο, της Παρουσίασης, η χωρική πληροφορία που προέκυψε από τη διαδικασία ανάλυσης παρουσιάζεται σε κάποια από τις γνωστές μορφές (χάρτες, πίνακες, κ.α.).

Για τα χαρτογραφικά δεδομένα πρέπει να γίνει ο διαχωρισμός μεταξύ των πρωτογενών υποβάθρων και των παράγωγων θεματικών χαρτών. Ο όρος "πρωτογενής υπόβαθρο" παραπέμπει στο σύνολο των γεωμετρικών δεδομένων που αναπαριστούν βασικά φυσικά χαρακτηριστικά αφενός (το ανάγλυφο του εδάφους, το υδρογραφικό δίκτυο κ.α.) και βασικά ανθρωπογενή χαρακτηριστικά αφετέρου (διοικητικά όρια, οδικό δίκτυο κ.α.), ενώ η έννοια του παράγωγου θεματικού χάρτη αφορά στην αναπαράσταση επί του βασικού υπόβαθρου περιγραφικών μεταβλητών που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά του (π.χ. τάξεις μεγέθους πληθυσμού, κατηγορία και φόρτος οδικού δικτύου κ.α.).

Δομή δεδομένων

Τα χωρικά δεδομένα πρέπει να μετατραπούν σε ψηφιακή μορφή κατάλληλη για χρήση από τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών . Η διαδικασία αυτή καλείται γεωκωδικοποίηση (geocoding), γιατί κατά την ψηφιοποίηση διατηρούνται τα τοπολογικά χαρακτηριστικά των δεδομένων. Τα ψηφιακά δεδομένα καταχωρούνται είτε σε μορφή κανάβου (raster) είτε σε μορφή διανύσματος ή πολυγώνου (vector).

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών ταξινομούνται κατα επέκταση σε μια από τις δυο κατηγορίες ανάλογα με το ποια μορφή δεδομένων σχεδιάστηκαν για να επεξεργάζονται.

Δομή κανάβου

Στη δομή αυτή ο χώρος υποδιαιρείται σε όμοια τετράγωνα (μονάδες κανάβου) όπως στην περίπτωση των δορυφορικών δεδομένων. Η θέση ενός σημείου ορίζεται από τη γραμμή και τη στήλη του κανάβου στην οποία εμπίπτει. Το μέγεθος των τετραγώνων ορίζει και τη χωρική διακριτική ικανότητα εμφάνισης των δεδομένων. Τα συστήματα κανάβου παρουσιάζουν ορισμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Δομή διανύσματος

Η δομή αυτή έχει ως βασική μονάδα το διάνυσμα, δηλαδή είναι κατάλληλη στις περιπτώσεις όπου:Κατά χώρο δεδομένα ή χαρακτηριστικά είναι δυνατόν να οριστούν ακριβώς με τη χρησιμοποίηση γραμμών. Απαιτείται η κατά το δυνατόν ακριβής παρουσίαση του σχήματος

ενός αντικειμένου και επιδιώκεται ο ακριβής εντοπισμός του αντικειμένου στο χώρο. Όπως στην περίπτωση του κανάβου, έτσι και το σύστημα διανύσματος παρουσιάζει ορισμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Λογικές πράξεις μεταξύ επιπέδων πληροφοριών

Οι διαδικασίες ανάλυσης δεδομένων, είτε αφορούν χωρικά είτε περιγραφικά δεδομένα, ακολουθούν τους βασικούς λογικούς κανόνες της άλγεβρας του Bool (AND, NOT, OR, XOR). Η γνώση και η ορθολογική χρήση αυτών των λογικών πράξεων (κανόνων), είναι απαραίτητη στους χρήστες της τεχνολογίας των ΓΣΠ, για να παραχθούν νέα θεματικά επίπεδα πληροφοριών, με νέες χωρικές σχέσεις που θα οδηγήσουν στην κατασκευή (ανάπτυξη) μοντέλων, με τελικό σκοπό τη λήψη αποφάσεων για την ορθολογική διαχείριση του περιβάλλοντος.

Τεχνικές – Εργαλεία που χρησιμοποιούνται στα Γ.Σ.Π.

Χωρική ανάλυση

Η ανάλυση χώρου ορίζεται ως μια συνολική δυνατότητα διαχείρισης – μετασχηματισμού των χωρικών στοιχείων σε διαφορετικές μορφές, δίνοντας τους, σαν αποτέλεσμα, διαφορετική έννοια και στοχεύει:

(α) Στη σωστή περιγραφή γεγονότων στο χώρο, που περιλαμβάνει κυρίως την περιγραφή των χωρικών πρότυπων.

(β) Στη συστηματική διερεύνηση των χωρικών πρότυπων και των χωρικών σχέσεων με σκοπό την καλλίτερη κατανόηση των χωρικών διαδικασιών που ευθύνονται για τα χωρικά πρότυπα και τις σχέσεις που παρατηρούμε.

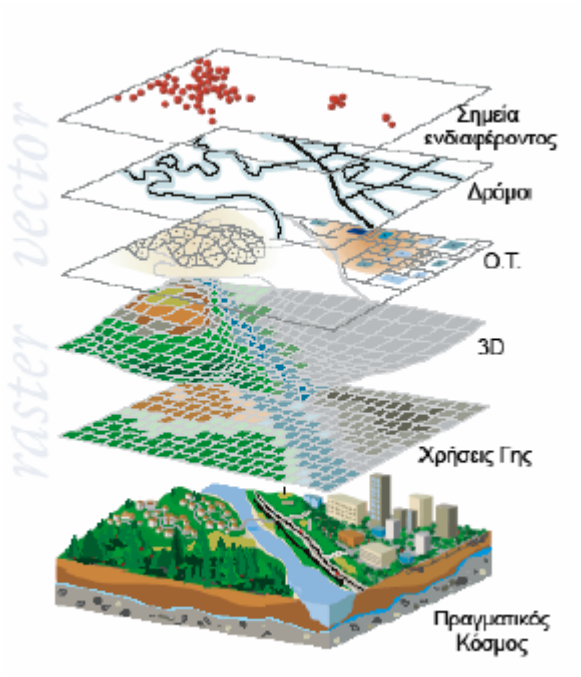
(γ) Στην αύξηση της ικανότητας πρόβλεψης και ελέγχου γεγονότων που συμβαίνουν στο γεωγραφικό χώρο και

(δ) και στη χρήση των παραπάνω τεχνικών και μεθόδων σαν εργαλεία λήψης αποφάσεων για το χώρο.

Η κλασική προσέγγιση των Γ.Σ.Π. είναι συγκεκριμένα θεματικά επίπεδα πληροφοριών με τη βοήθεια κατάλληλων αναλυτικών εργαλείων να μετατρέπονται σε νέα επίπεδα, που με τη σειρά τους μπορούν με τον ίδιο τρόπο να δημιουργήσουν νέα επίπεδα, μέχρι να επιτευχθεί ο τελικός στόχος που είναι η δημιουργία ενός επιπέδου που περιέχει τις προτεινόμενες περιοχές για το έργο.

Στη συνέχεια αναφέρονται μερικά από αυτά τα εργαλεία καθώς και μια συνοπτική περιγραφή της λειτουργίας τους.

Υπέρθεση επιπέδων πληροφορίας (overlay)



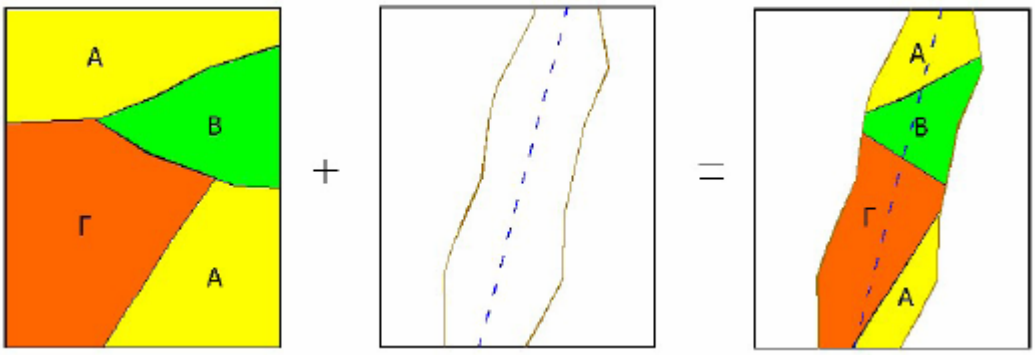
Σχήμα Β2.

Τα στοιχεία του πραγματικού κόσμου βρίσκονται μέσα σε ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών με τη μορφή ομοειδών θεματικών επιπέδων πληροφορίας. Είναι δηλαδή σαν να έχουμε πολλούς αναλογικούς χάρτες που ο κάθε ένας να περιλαμβάνει μόνο ίδια χαρακτηριστικά (οδικό δίκτυο, υδρογραφικό δίκτυο, κτίσματα, αρχαιολογικοί χώροι κ.α.) της περιοχής μελέτης. Ένα παράδειγμα παρουσιάζεται στην εικόνα 1.3 όπου σε διαφορετικά επίπεδα υπάρχουν οι πληροφορίες των σημείων ενδιαφέροντος, των δρόμων, των οικοδομικών τετραγώνων, το τρισδιάστατο μοντέλο του εδάφους και οι χρήσεις γης. Μετά την εισαγωγή των επιπέδων πληροφορίας στο σύστημα, την μετατροπή τους σε ψηφιακή μορφή και τη δόμηση της τοπολογίας έχουμε τη δυνατότητα πράξεων μεταξύ αυτών των επιπέδων τα οποία οριοθετούνται όλα στην περιοχή μελέτης.

Οι πράξεις αυτές περιλαμβάνουν:

- την ένωση δύο ή περισσοτέρων επιπέδων πληροφορίας με βάση κάποια χαρακτηριστικά τους.
- τον τεμαχισμό ενός επιπέδου με βάση τα στοιχεία ενός άλλου.

- τη διαγραφή στοιχείων ενός επιπέδου με βάση τα στοιχεία ενός άλλου.
- τη δημιουργία ενός επιπέδου από το συνδυασμό κάποιων άλλων κ.α.



Εικόνα Β3. Υπέρθεση 2 θεματικών επιπέδων (χρήσεις γης και περιοχή κατάληψης οδικού έργου) και δημιουργία ενός (ποιες χρήσεις και πόσο απαλλοτριώνονται από το έργο).

Το αποτέλεσμα των πράξεων είναι η δημιουργία νέων επιπέδων πληροφορίας, τα οποία έχουν φυλαγμένα στη βάση δεδομένων τα περιγραφικά χαρακτηριστικά που τους αντιστοιχούσαν και που με τη σειρά τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε άλλες πράξεις μέχρι να φτάσουμε στον επιδιωκόμενο στόχο.

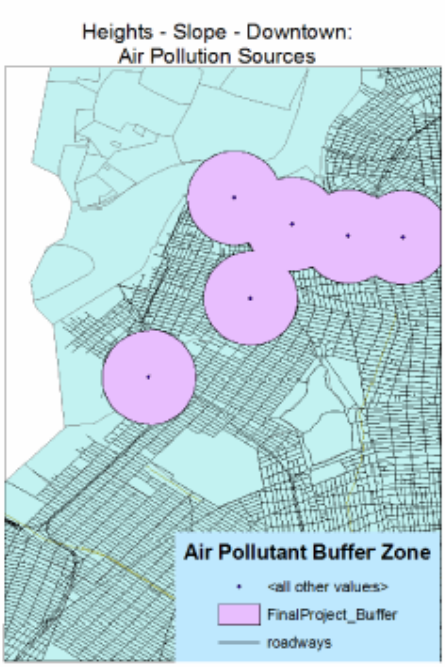
Ζώνη Buffer

Το εργαλείο "Buffer" δημιουργεί νέα επίπεδα πληροφορίας υπολογίζοντας ζώνες ίσων αποστάσεων από συγκεκριμένες χωρικές οντότητες (παράδειγμα η εικόνα 2.3.4.3 η οποία δείχνει σημειακές πηγές ρύπανσης και τη διασπορά τους σε συγκεκριμένες αποστάσεις λαμβάνοντας υπόψη την τοπογραφία της περιοχής). Το πλάτος της ζώνης τους μπορεί να είναι ίδιο για όλες τις επιλεγμένες οντότητες ή ανάλογο με κάποιο χαρακτηριστικό τους π.χ. στο επίπεδο πληροφορίας των δρόμων μιας περιοχής να προσδιοριστεί η ζώνη που απέχει απόσταση 200 μέτρων από τον άξονα του κεντρικού δρόμου και 100 μέτρων από τους άξονες των υπόλοιπων δρόμων.

Με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται διάφορες ζώνες – περιοχές όπως:

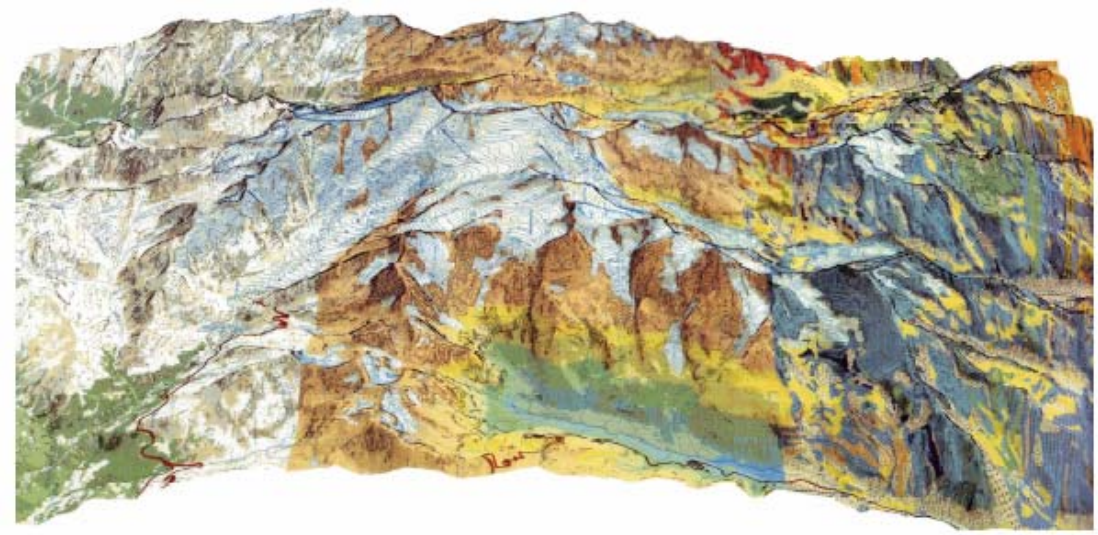
- Ζώνες αποκλεισμού, δηλαδή ζώνες οι οποίες πληρούν ή όχι κάποιο κριτήριο (π.χ. ζώνες που απέχουν 200 μέτρα από την κοίτη ρεμάτων),
- Ζώνες καταλληλότητας εδάφους, δηλαδή περιοχές όπου το έδαφος είναι κατάλληλο για μια συγκεκριμένη χρήση (π.χ. περιοχές με κλίσεις μικρότερες του 20%, που απέχουν περισσότερο από 500 μέτρα από την ακτογραμμή),

- Ζώνες επιρροής, δηλαδή περιοχές που σύμφωνα με κριτήρια που εμείς θέτουμε στο σύστημα επηρεάζονται από κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά.
- Ισοθορυβικές καμπύλες.



Εικόνα Β4.

Τρισδιάστατη παρουσίαση

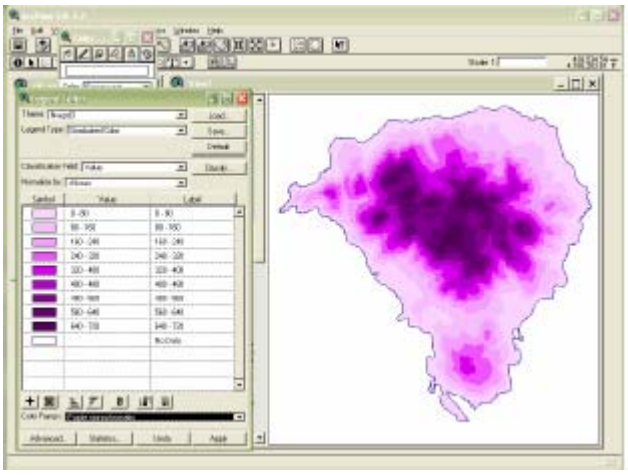


Εικόνα Β5. Τρισδιάστατο μοντέλο εδάφους, Γεωλογική Υπηρεσία Αυστρίας

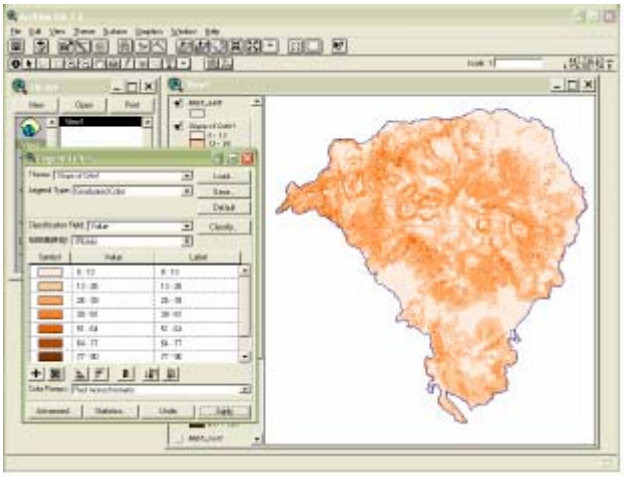
Η επιφάνεια σε ένα Γ.Σ.Π. αποτυπώνεται σαν ένα συνεχόμενο πεδίο άπειρου αριθμού σημείων που το καθένα από αυτά περιέχει την πληροφορία του υψομέτρου. Υπάρχουν δύο

τρόποι επεξεργασίας και παρουσίασης τους, σαν ψηφιδωτό (raster, grid) ή σαν T.I.N. (Triangulated Irregular Network). Στο ψηφιδωτό (grid), (Εικόνα 1.7) η επιφάνεια παρουσιάζεται σαν ένας κάναβος γραμμών και στηλών που σε κάθε κελί περιέχεται ο μέσο όρος των σημειακών υψομέτρων που περιέχει το στοιχειώδες κελί. Οι γραμμές και οι στήλες του κανάβου είναι παράλληλες στους άξονες του καρτεσιανού συστήματος συντεταγμένων. Η διαβάθμιση του χρώματος δίνει την αίσθηση του διαφορετικού υψομέτρου. Το Grid που έχει δημιουργηθεί είναι ένα καινούργιο επίπεδο πληροφορίας, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για περαιτέρω ανάλυση.

Από ένα Grid μπορούν να παραχθούν τριών ειδών διαφορετικά επίπεδα πληροφορίας.



Εικόνα Β6.

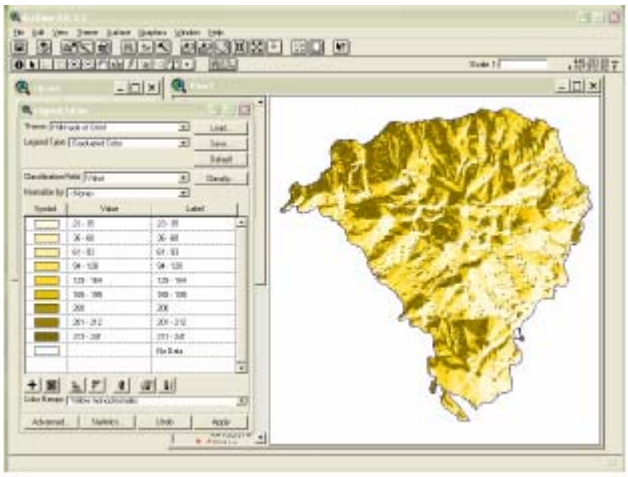


Εικόνα Β7.

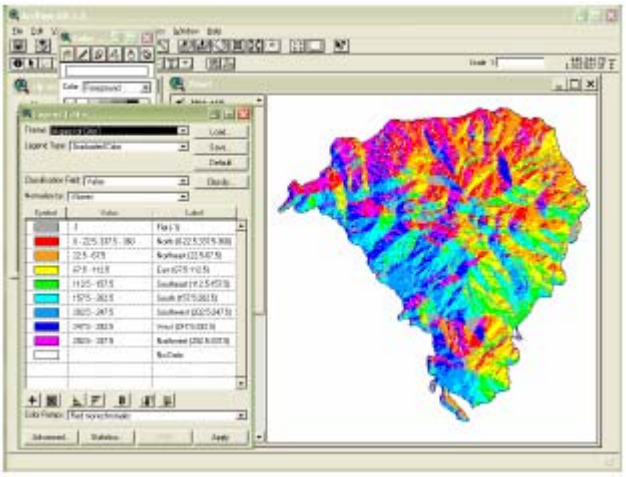
Το πρώτο επίπεδο πληροφορίας (Slope) παρουσιάζει τις κλίσεις της περιοχής π.χ. στην εικόνα 1.8 όσο πιο ανοιχτόχρωμη απόχρωση έχει το πορτοκαλί χρώμα τόσο μικρότερες είναι οι κλίσεις της περιοχής.

Στο πινακάκι παρουσιάζεται η γκάμα των χρωμάτων που χρησιμοποιείται δίπλα στις κλίσεις που αντιστοιχούν.

Το δεύτερο παραγόμενο επίπεδο (Hillshade) (εικόνα 1.9) παρουσιάζει τον υποθετικό φωτισμό που θα είχε μια τρισδιάστατη επιφάνεια από μια συγκεκριμένη πηγή φωτός.



Εικόνα Β8.



Εικόνα Β9.

Το τρίτο παραγόμενο επίπεδο (Aspect) (εικόνα 1.10) παρουσιάζει την πιο απότομη κατηφορική κατεύθυνση του κάθε κελιού σε σχέση με τα διπλανά του και οι τιμές που παίρνει αντιπροσωπεύουν τις διευθύνσεις μιας πυξίδας μετρώντας 0 όταν η πιο απότομη κατεύθυνση είναι προς το βορρά και συνεχίζοντας δεξιόστροφα (π.χ. 90 όταν είναι ανατολικά).

Πλεονεκτήματα των ΓΣΠ.

- Τα δεδομένα διατηρούνται σε ψηφιακή μορφή (π.χ. σε σκληρό δίσκο, δισκέτες κλπ.) με αποτέλεσμα αφενός μεν να καταλαμβάνουν μικρό χώρο, αφετέρου δε να είναι εύχρηστα.
- Οι γεωγραφικές βάσεις δεδομένων είναι ποσοτικές πληροφορίες οι οποίες είναι δυνατόν να καταχωρούνται κατά οποιαδήποτε γεωγραφική μονάδα ή διάταξη π.χ. κατά νομό, κατά κοινοτική ή δημοτική περιφέρεια, κατά τοπογραφικό ή γεωλογικό φύλλο χάρτη, κατά συγκεκριμένο δίκτυο κανάβου κλπ.
- Γεωγραφικές βάσεις δεδομένων είναι δυνατόν να δημιουργηθούν για οποιοδήποτε αντικείμενο, χαρακτηριστικό, ιδιότητα ή συνδυασμούς αυτών. Υπάρχοντα δεδομένα είναι δυνατόν να ενσωματωθούν, με ή χωρίς αλλαγές και επεξεργασία, στη βάση δεδομένων, εφόσον είναι κατά χώρο προσανατολισμένα.
- Τα υπάρχοντα ηλεκτρονικά όργανα και λογισμικά, επιτρέπουν διάφορες μορφές επεξεργασίας, όπως μετρήσεις, χαρτογραφικές επικαλύψεις, μετατροπές κλπ.
- Γρήγορος και επαναλαμβανόμενος αναλυτικός έλεγχος ή εξέταση θεωρητικών μοντέλων για την εκτίμηση επιστημονικών κριτηρίων.
- Οι διάφορες μορφές εξαγόμενων αποτελεσμάτων παράγονται πολύ γρήγορα, αποτελούνται από μεμονωμένα ή σύνθετα θέματα, για οποιαδήποτε γεωγραφική θέση της βάσης δεδομένων και σε οποιαδήποτε κλίμακα.
- Εύκολη ενημέρωση της βάσης δεδομένων η οποία επιτρέπει τον αποτελεσματικό εντοπισμό και ανάλυση των αλλαγών που έγιναν σε δύο ή περισσότερες περιόδους.
- Πολλές μορφές ανάλυσης πραγματοποιούνται με πολύ μικρότερο κόστος από ότι με τις κλασσικές μεθόδους. Παραδείγματος χάρη, στην περίπτωση συνδυασμού πολλών θεματικών χαρτών ή του υπολογισμού των εκθέσεων και κλίσεων από έναν τοπογραφικό χάρτη.
- Όλες οι αναλύσεις γίνονται κατά αντικειμενικό τρόπο, τα δε αποτελέσματα παράγονται αυτόματα.

Μειονεκτήματα των ΓΣΠ.

- Το αρχικό κόστος απόκτησης του συστήματος καθώς και της τεχνικής υποστήριξης και συντήρησης αυτού, είναι αρκετά υψηλό.
- Η αποτελεσματική χρήση του συστήματος προϋποθέτει την άρτια εκπαίδευση του

κατάλληλου προσωπικού.

- Υπάρχουν προβλήματα κατά τη μετατροπή και καταχώρηση ορισμένων προϋπαρχόντων δεδομένων σε συγκεκριμένη βάση δεδομένων.