



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



ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ
ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥΣ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΠΟΥΛΟΥ ΑΘΑΝΑΣΙΑ

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2008



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



ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ
ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΠΟΥΛΟΥ ΑΘΑΝΑΣΙΑ

Επιβλέπων : *Δρ. Κόκκινου Ελένη*
Επίκουρος Καθηγήτρια

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

Ημερομηνία Παρουσίασης :

Αύξων Αριθμός Πτυχιακής Εργασίας :

Περίληψη

Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι να ερευνήσει την μαγνητική επιδεκτικότητα διαφόρων γεωλογικών σχηματισμών με στόχο τον χαρακτηρισμό τους. Σε αυτό το πλαίσιο έγινε συλλογή δειγμάτων και προσδιορίστηκε η μαγνητική τους επιδεκτικότητα σε χαμηλή και υψηλή συχνότητα αλλά και σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Επιπρόσθετα αναλύθηκαν δείγματα από γεωτρήσεις με στόχο να προσδιοριστεί η μεταβολή της μαγνητικής επιδεκτικότητας με το βάθος. Τέλος επιλεγμένα δείγματα θερμάνθηκαν σε θερμοκρασία μέχρι και 150°C για να μελετηθεί η μεταβολή της επιδεκτικότητας τους με την πτώση της θερμοκρασίας.

Abstract

In the framework of the development of new methods for soil characterization, this work deals with the use of magnetic susceptibility to characterize selected geological formations. Surface soil samples have been collected in 2008 from areas with different geological structure and the magnetic susceptibility in low and high frequencies was first estimated. Thereinafter magnetic susceptibility was estimated in an iterative manner in order to find out the variation of magnetic susceptibility versus time. Samples from boreholes were analyzed in order to estimate the variation of magnetic susceptibility with depth. Finally the cooling curves of selected samples heated to a temperature of 150°C were estimated.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
1.1	Σκοπός και αντικείμενο της εργασίας	6
1.2	Οι περιοχές από τις οποίες χρησιμοποιήθηκαν δείγματα	6
2	ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΣΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ	8
2.1	Εισαγωγή	8
2.2	Στρωματογραφικά στοιχεία	8
3.	ΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ	25
3.1	Εισαγωγή	25
3.2	Βασικές μαγνητικές ιδιότητες	26
3.3	Μαγνητική υστέρηση	26
3.4	Μαγνητική επιδεκτικότητα	- 31 -
3.5	Σχέση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με την θερμοκρασία	- 33 -
3.6	Σχέση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με την συχνότητα	- 34 -
3.7	Μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας	- 35 -
3.8	Μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με το MS2 της Bartington	- 36 -
3.9	Σχέση μαγνητικών ορυκτών και βαρέων μετάλλων	- 42 -
3.10	Ο ρόλος και η επίδραση των βαρέων μετάλλων στα φυτά	- 43 -
3.11	Ο ρόλος και η επίδραση των βαρέων μετάλλων στον άνθρωπο	- 46 -
4.	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΙΣΧΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	- 48 -
4.1	Περιγραφή της μεθοδολογίας εκπόνησης της παρούσας εργασίας	- 48 -
4.2	Παρουσίαση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων	- 48 -
5.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	- 61 -
5.1	Εισαγωγή	- 61 -
5.2	Συμπεράσματα και αξιολόγηση της μεθοδολογίας	- 61 -
6.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	- 62 -

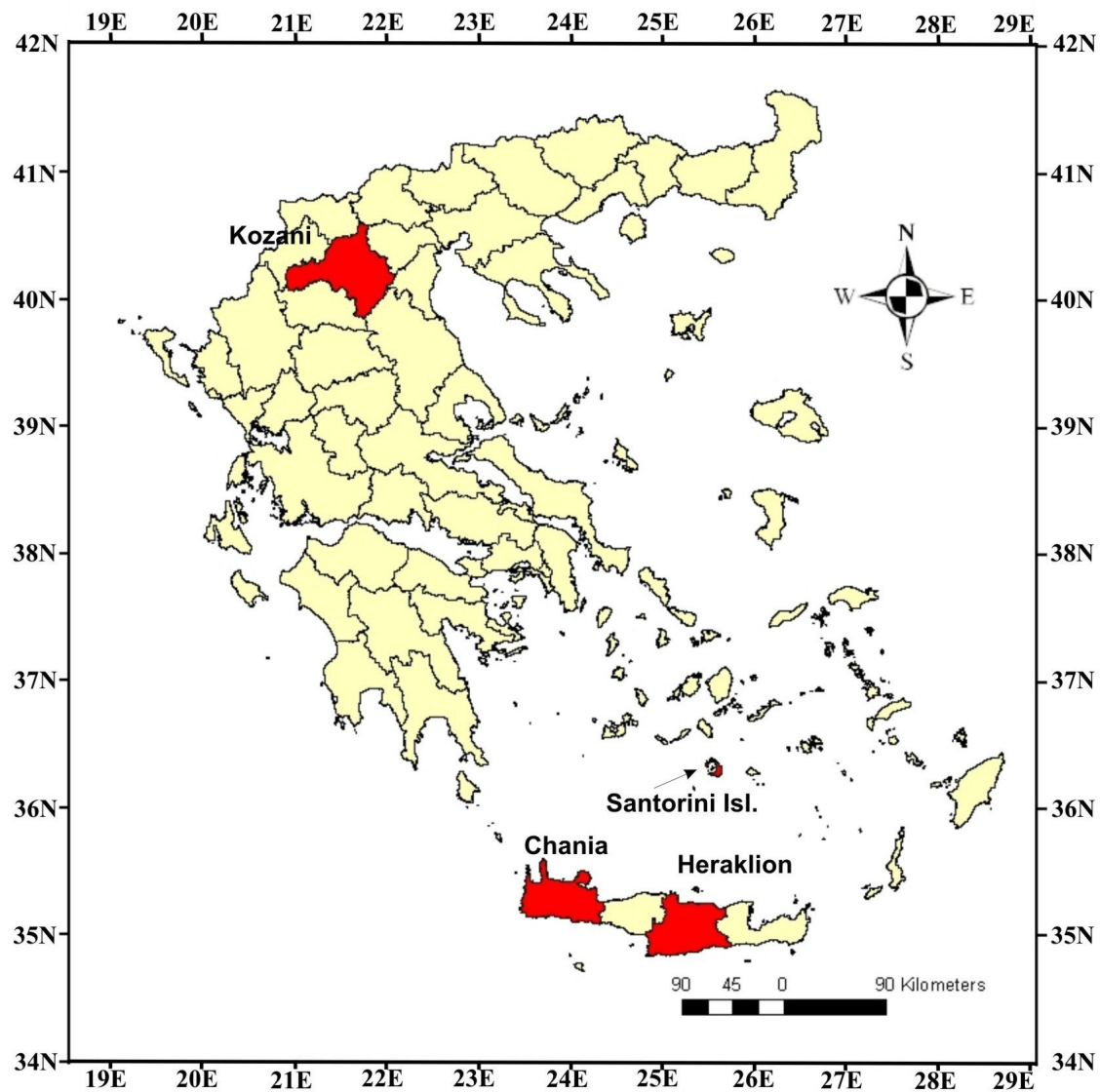
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Σκοπός και αντικείμενο της εργασίας

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση της μεθόδου της μαγνητικής επιδεκτικότητας σε εργαστηριακό επίπεδο για τον χαρακτηρισμό γεωλογικών σχηματισμών. Είναι γνωστό εδώ και αρκετά χρόνια ότι η μαγνητική επιδεκτικότητα μπορεί να αποτελέσει δείκτη παρουσίας υψηλών συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων. Τις τελευταίες δύο δεκαετίες η συγκεκριμένη μεθοδολογία εφαρμόζεται επιτυχώς στο εξωτερικό για την παρακολούθηση της εξάπλωσης της ρύπανσης σε περιοχές που λειτουργούν βαριές βιομηχανίες, χώροι υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (Χ.Υ.ΤΑ), αεροδρόμια κ.λ.π. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί παρουσιάζουν μαγνητική επιδεκτικότητα η οποία οφείλεται στις συνθήκες γένεσής τους. Η παρούσα εργασία κινείται ακριβώς σε αυτό το πλαίσιο. Δηλαδή αντικείμενο της αποτελεί η κατηγοριοποίηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας των σχηματισμών έτσι ώστε στην συνέχεια να είναι εύκολος ο διαχωρισμός τους από τα ρυπασμένα δείγματα. Γι' αυτό το λόγο οι σχηματισμοί που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από περιοχές που δεν είναι ρυπασμένες. Και από βάθος μεγαλύτερο από 30cm. Επιπρόσθετα χρησιμοποιήθηκαν δείγματα από γεωτρήσεις τόσο στο ίδιο σχηματισμό όσο και σε διαφορετικούς.

1.2 Οι περιοχές από τις οποίες χρησιμοποιήθηκαν δείγματα

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας έγινε δειγματοληψία γεωλογικών σχηματισμών από βάθος 30cm από την επιφάνεια του εδάφους από περιοχές των νομών Χανίων και Ηρακλείου, καθώς και από το επαρχείο Θήρας (σχ. 1.1). Επίσης χρησιμοποιήθηκαν υλικά από γεωτρήσεις από το λιγνιτικό πεδίο της Πτολεμαΐδας στο νομό Κοζάνης και από αρδευτική γεώτρηση στο νομό Ηρακλείου.



Σχήμα 1.1 Χάρτης που δείχνει τις περιοχές από τις οποίες χρησιμοποιήθηκαν γεωολογικοί σχηματισμοί

2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΣΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ

2.1 Εισαγωγή

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζεται το γεωλογικό πλαίσιο των περιοχών από όπου έγιναν οι δειγματοληψίες των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία. Φωτογραφίες των σχηματισμών παρουσιάζονται στο τέλος του κεφαλαίου οι φωτογραφίες.

2.2 Στρωματογραφικά στοιχεία

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν υλικά από την περιοχή των Χανίων, της Μεσσαράς Ηρακλείου, το λιγνιτικό πεδίο της Πτολεμαΐδας και την Σαντορίνη.

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

Η περιοχή της Μεσσαράς Ηρακλείου, από όπου συλλέχθηκε ο φλύσχης, μελετήθηκε από το γεωλογικό χάρτη Φύλλου Τυμπακίου έκδοσης Ι.Γ.Μ.Ε. 1:50000 (σχ. 2.2) και από βιβλιογραφική έρευνα (Παπανικολάου, 1986; Καρακίτσιος, 1986). Προκύπτει ότι η ευρύτερη περιοχή δομείται από τους παρακάτω αναφερόμενους γεωλογικούς σχηματισμούς (σχ. 3), οι οποίοι από τους παλαιότερους προς τους νεότερους είναι:

- **M_{3.c}: Αν. Μειόκαινο-Τορτόνιο.** Αποθέσεις θαλάσσιες, υφάλμυρες ή γλυκού νερού. Αποτελούνται από ανώμαλες εναλλαγές κροκαλοπαγών, ψαμμιτών, άμμων και μαργών ή αργίλων. Τοπικά λιγνίτες και λιμναίοι ασβεστόλιθοι.
- **Pl.Pt: Πλειο-Πλειστόκαινο.** Κροκαλοπαγή, άμμοι και άργιλοι. Γενικά αλλουβιακά ριπίδια και ποταμολιμναία ιζήματα, κίτρινου ή γκριζωπού χρώματος με παρεμβολές λιμναίων μαργαϊκών ασβεστόλιθων.
- **T-K₇: Ζώνη Πίνδου- Κάρνιο (αν. Τριαδικό).** Κλαστική σειρά Τριαδικού με εναλλαγές ψαμμιτών σε λεπτούς πάγκους με θραύσματα φυτών και σκοτεινότερων μαργών με “Filaments”. Υπάρχουν μερικοί πάγκοι

ανοιχτότεφρων ασβεστόλιθων με κίτρινο επίχρισμα που περιέχουν Κωνόδοντα.

- **T₄.fl: Ζώνη Πίνδου- Αν. Τριαδικό- Σενώνιο.** Ασβεστόλιθοι ροδόχρωμοι με ιάσπιδες, ραδιολαρίτες και «πρώτο φλύσχη». Περιλαμβάνει από πάνω προς τα κάτω: 1. Ψαμμίτες και ψαμμιτικούς ασβεστόλιθους με θραύσματα βασικών πετρωμάτων 2. ασβεστόλιθους ροδόχρωμους με ιάσπιδες.
- **Ft: Τεκτονικό κάλυμμα της Ζ. Τρίπολης** Φλύσχης, ο οποίος αποτελείται από εναλλαγές καστανών ερυθρών αργιλικών σχιστολίθων και ψαμμιτών με μικρές ενστρώσεις τεφρών ασβεστολιθικών τουρβιδιτών. Μέγιστο πάχος 100 m και ηλικία Ηώκαινο – Ολιγόκαινο.

Η περιοχή, από την οποία συλλέχθηκε η θηραϊκή γη, δομείται από τους παρακάτω αναφερόμενους γεωλογικούς σχηματισμούς (σχ. 2.3), οι οποίοι **από τους νεότερους προς τους παλαιότερους** είναι:

- **Ηφαιστειακά πετρώματα - Ηφαίστεια Θήρας ηλικίας Τεταρτογενούς (σχ. 2, 3, 4) :**

1. Ρυοδακτιτική Ανώτερη σειρά Κίσσηρης (kl2): υπερκείμενη ενός παλαιοεδαφικού ορίζοντα. Η σειρά αποτελείται από τρεις ενότητες: στη βάση στρώματα χονδρόκοκκης εκσφενδονισμένης στον αέρα κίσσηρης (πάχους 1 – 5 μ.) που καλύπτονται από συγκεντρώσεις υπολεύκων αποθέσεων. Το ανώτερο (κύριο) μέρος της σειράς αποτελείται από χαοτικό ρεύμα τέφρας.

Ορυκτολογική σύσταση: πλαγιόκλαστα, υπερσθενής, κλινοπυρόξενοι.

Πάχος μέχρι 60 μ.

2. Διάφορα πυροκλαστικά υλικά (πρκ2): κυρίως καλά στρωμένα, τεφρά, μαύρα κιτρινωπά ή κοκκινωπά στρώματα από τέφρες και ηφαιστειακά λιθάρια. Ένας καθοδηγητικός ορίζοντας είναι η καλούμενη Μέση Σειρά Κίσσηρης (πάχους 4 – 5 μ.) που αποτελείται από κοκκινωπά λιθάρια κίσσηρης και σκωρίες κίσσηρης, τα οποία πλευρικά μεταβαίνουν σε ένα μαύρο καλά συγκολλημένο στρώμα ιγκνιμπρίτη. Το ανώτατο στρώμα αυτής της σειρά αποτελείται από μια

σημαντική ιγκνιμπριτική ενότητα πάρα πολύ ισχυρά συγκολλημένης (πάχους 2 – 12 μ.).

3. **Ρυοδακτική Κατώτερη σειρά Κίσηρης (kl1):** η σειρά αυτή αποτελείται από δύο κύριες ενότητες που υποδιαιρούνται με μια λεπτή απόθεση εκσφενδονισμένης στον αέρα κίσηρης στη βάση (πάχους 2- 3 μ.) η οποία καλύπτεται από χαώδεις αλλά ασυγκόλλητες σειρές κίσηρης, τέφρας ογκολίθων (30 – 50 μ.) Μεταξύ των δύο φάσεων των εκρήξεων έλαβε χώρα διάβρωση.

Ορυκτολογική σύσταση: πλαγιόκλαστα, υπερσθενής, κλινοπυρόξενι.

Πάχος μέχρι 70 μ. και ηλικία περίπου 100.000 χρ.

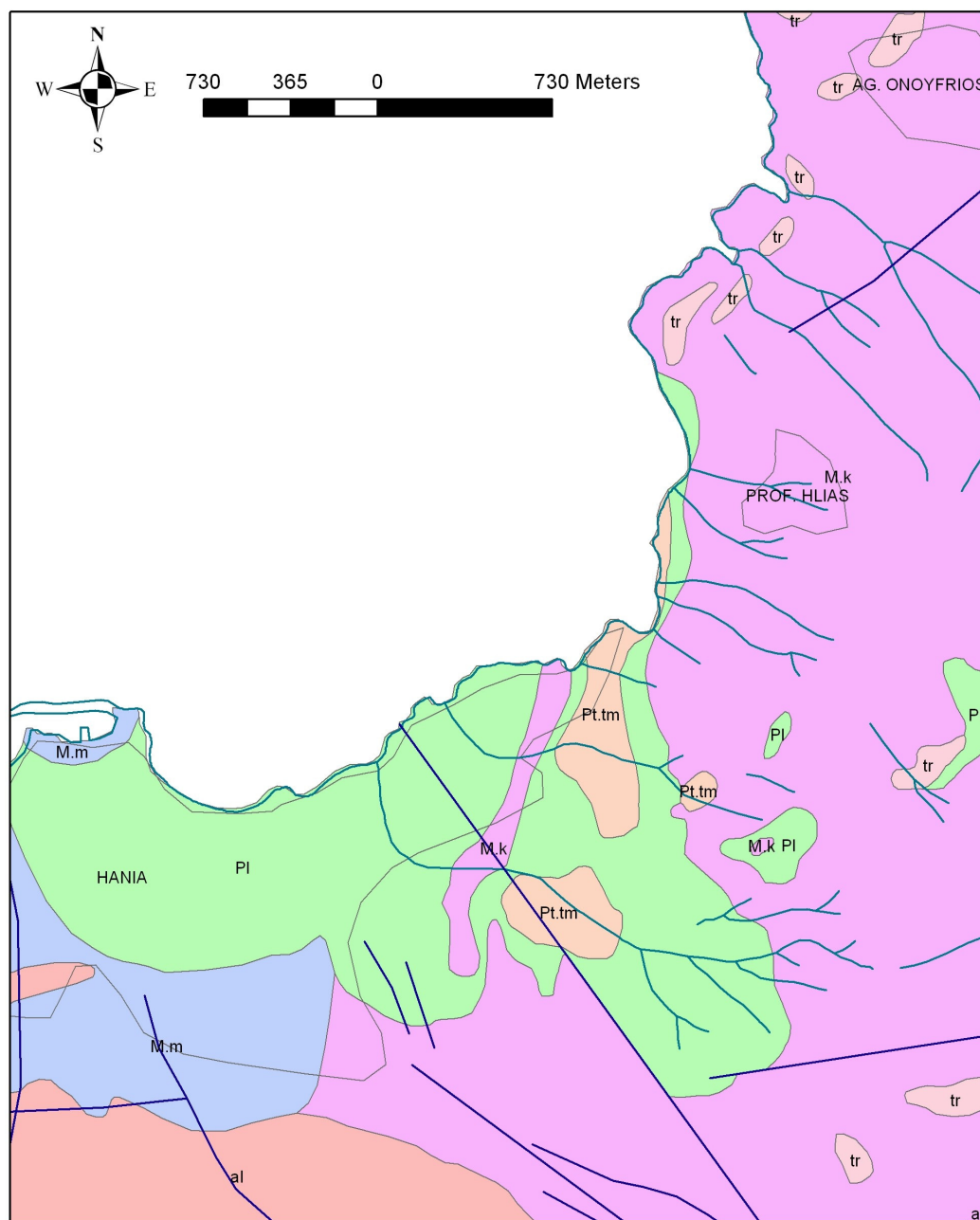
4. **Χαλαζιακά λατιτικά πυροκλαστικά ηλικά (πρκ1):** κοκκινωποί, συμπαγείς τόφοι, πλούσιοι σε σκωρίες. Η σειρά αποτελείται από τρία στρώματα τέφρο-τόφων που περιέχουν πολυάριθμες κόκκινες συγκολλημένες σκωρίες. Τοπικά υπάρχουν στρώματα ισχυρά συγκολλημένων σκωριών.

Πάχος 70 μ.

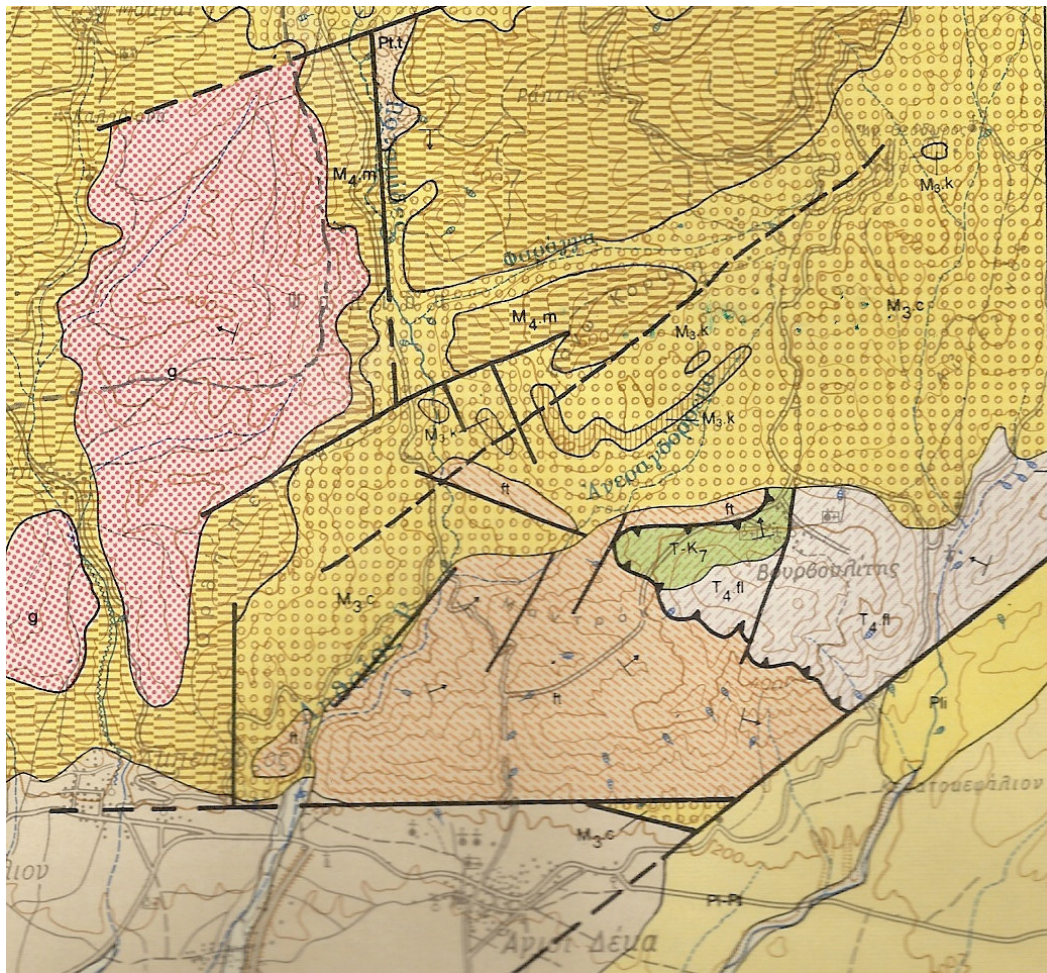
Ορυκτολογική σύσταση: πλαγιόκλαστα, υπερσθενής, κλινοπυρόξενι.

5. **Ημιμεταμορφωμένο σύστημα (Pg.ph):** φυλλίτες έως ασβεστιτικοί φυλλίτες με ενστρώσεις ελαφρά μεταμορφωμένου γραουβάκη, κροκαλοπαγών, και φακών κρυσταλλικών ασβεστολίθων.

Τέλος στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν δείγματα από γεώτρηση στο νότιο τμήμα του λιγνιτικού πεδίου της Πτολεμαΐδας. Στον πίνακα 2.1 παρουσιάζεται το δελτίο της γεώτρησης.



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



Σχήμα 2.2 Απόσπασμα του γεωλογικού χάρτη Φύλλον Τυμπάκι κλίμακας 1:50000, έκδοσης Ι.Γ.Μ.Ε

First explosive cycle

- rp3** **Lower Pumices.** Rhyodacitic pyroclastic deposits of the two Lower Pumice eruptions. Lower Pumice 1: Plinian pumice overlain by ignimbrite and red-brown lithic-rich coignimbrite lag breccias (20m). Lower Pumice 2: Plinian pumice overlain by ignimbrite and massive, yellowish phreatomagmatic ash (20m) capped by grey lithic breccias. Lower Pumice 2 acts as a distinctive marker horizon. K-Ar age 203 ± 24 ka (Lower Pumice 1).
- ap2** **Cape Therma 3 Tuff.** Andesitic pyroclastic deposits of the Cape Therma 3 eruption. Scoria flow deposits with lithic-rich and pink to red agglomeratic lag facies (25m).
- ra** **Rhyodacites of Cape Alonaki.** Lavas of Cape Alonaki and NE Thera, correlated on the basis of similar ages, stratigraphic positions, and chemical compositions. K-Ar ages 224 ± 5 ka (Alonaki) and 257 ± 31 ka (NE Thera).
- ap1** **Cape Therma 1 Tuff.** Andesitic pyroclastic deposits of the Cape Therma 1 eruption. Nonwelded to incipiently welded scoria-flow deposits (80m) with subordinate lithic-rich and agglomeratic lag facies. Unit includes stratified phreatomagmatic tuffs which underlie Cape Therma 1 near Cape Alonaki and the pumice-fall deposit (2.5m) of the Cape Therma 2 eruption which overlies Cape Therma 1.
- aa** **Andesites of Cape Alai.** K-Ar ages 364 ± 62 ka and 345 ± 88 ka. $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ age of 456 ± 138 ka.

Peristeria Volcano

- av3** **Andesites, basalts and dacites of Peristeria 3.** Dacitic to basaltic lavas and tuffs of the youngest parts of Peristeria Volcano. K-Ar ages 480 ± 5 ka, 464 ± 8 ka, and 433 ± 8 ka. K-Ar age of lava on the NE flank 308 ± 10 ka, $40\text{Ar} / 39\text{Ar}$ age 478 ± 3 ka.
- av2** **Andesites of Peristeria 2.** Massive andesitic lava flows and domes of Peristeria Volcano, probably contemporaneous. K-Ar age 496 ± 6 ka.
- av1** **Andesites of Peristeria 1.** Andesitic lavas, tuffs, and breccias of the core complex of Peristeria Volcano. K-Ar age of stratigraphically lowest flow 528 ± 23 ka.

Cinder cones of the Akrotiri Peninsula

- apa** **Andesites and basalts of Akrotiri.** Andesitic and basaltic cinder cones of the Akrotiri Peninsula with subordinate agglutinate and lava. Cape Balos (basaltic), Cape Kokkinopetra (basaltic), and Cape Mavrorachidi (andesitic). Phreatomagmatic deposits of cogenetic tuff ring underlie the cinder cone at Cape Balos. K-Ar ages 344 ± 25 ka (Balos) and 522 ± 104 ka (Mavrorachidi). $40\text{Ar} / 39\text{Ar}$ age 451 ± 27 ka on Mavrorachidi.

Early centres of the Akrotiri Peninsula

- rl** **Rhyodacites of Akrotiri.** Hornblende-bearing rhyodacitic lava domes and coulées of Cape Akrotiri and the Loumaravi-Arkhangelos massif. K-Ar ages 645 ± 92 ka, 586 ± 15 ka. $40\text{Ar} / 39\text{Ar}$ age 553 ± 10 ka and 582 ± 24 ka.
- rpl** **Tuffs of Akrotiri.** Hornblende-bearing rhyodacite pumice tuffs and submarine vitric tuffs of the Loumaravi-Arkhangelos massif. Intercalated lava and hyaloclastite.
- al** **Andesities of Mount Loumaravi.** Isolated lava of Loumaravi-Arkhangelos-Massif.
- dpm** **Dacites of Cape Mavros.** Dacitic phreatomagmatic tuffs and domes of Cape Mavros. K-Ar age 619 ± 35 ka.

Υπόμνημα 1 του σχήματος 5.

Second explosive cycle

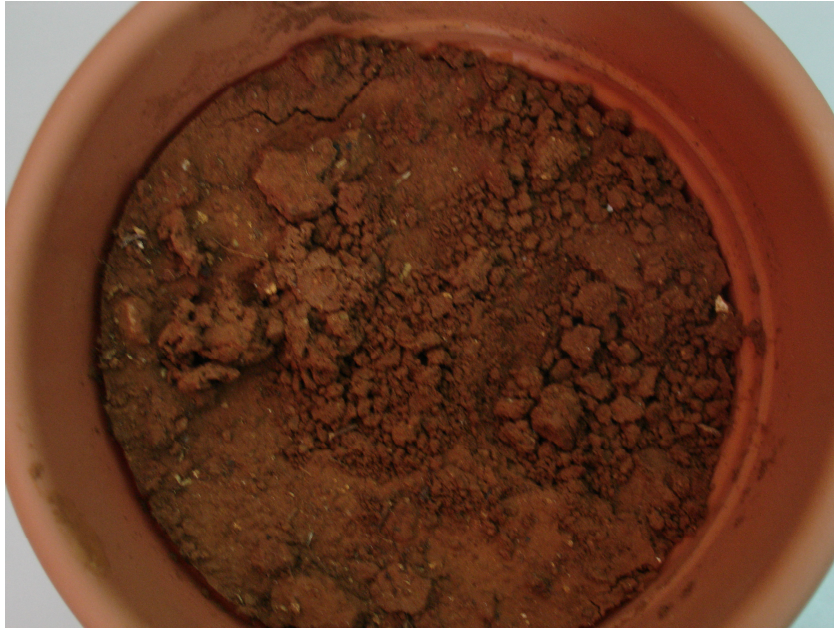
- rp7b** **Minoan Tuff (phase 4).** Rhyodacitic ignimbrite (40m) of the Minoan eruption interstratified with lithic - rich coignimbrite lag breccias and locally overlain by alluvium.
- rp7a** **Minoan Tuff (phases 1-3).** Rhyodacitic Plinian pumice overlain by base-surge deposits and thick, massive phreatomagmatic ash (55m) with multiple depositional facies. 14C age of 3.6ka (Freidrich et al. 1990).
- rp6** **Cape Riva Tuff.** Rhyodacitic Plinian pumice overlain by two thin welded ignimbrites, nonwelded ignimbrite, and lithic-rich coignimbrite lag breccias (40m). 14C age of 18ka (Pichler and Freidrich 1976), corresponding to a calibrated age of 21ka (Bard et al.1990).
- ao** **Andesites of Oia**
- rt** **Rhyodacites of Therasia.** Domes and coulées of Therasia dome complex, which crop out on Therasia and Thira.
- ap5** **Upper Scoriae 2.** Andesitic pyroclastic deposits of Upper Scoriae 2 eruption. Dominated in southern Thera by grey scoria-flow deposits (20m) which commonly occupy channels. Dominated in northern Thera and on Therasia by red agglomerates (65m) and subordinate lithic breccias laid down by scoria flows. Agglomerate densely welded at Cape Tourlos. K-Ar age 79 ± 8 ka, 40Ar/39Ar age 54 ± 3 ka.
- as2** **Andesites and basalts of Cape Skaros.** Andesitic and basaltic lavas of the dissected Skaros lava shield. Approximately 25 stacked flows.
- ds1** **Dacites of Cape Skaros.** Lava domes and coulées forming the base of the Skaros lava shield. 40Ar/39Ar age 67 ± 9 ka.
- ap4** **Middle Tuffs.** Andesitic to dacitic pyroclastic deposits of the Cape Thera, Middle Pumice, Vourvoulos, and Upper Scoriae 1 eruptions. Cape Thera: pumice-fall deposit, pyroclastic surge deposits, and pink scoria-flow deposits (60m). Middle Pumice: Plinian pumice (densely welded at Thira) overlain by lithic-lag breccias, ignimbrite and hydrothermal explosion breccias (60m). Vourvoulos: pumice-fall deposit overlain by pyroclastic surge and scoria-flow deposits (2.5m). Upper Scoriae 1: scoria-fall and base-surge deposits overlain by black to red agglomerates (15m) and subordinate lithic breccias laid down by scoria flows. Products of Megalo Vouno cinder cone, Kokkino Vouno cinder cone, and Cape Columbus tuff ring lie stratigraphically within unit ap4, but are of negligible thickness except in NE Thera.
- ap4c** Unit **ap4** phreatomagmatic tuffs of the Cape Columbus tuff ring.
- ap4b** Unit **ap4** agglutinated spatter and clastogenetic lava flows from Megalo Vouno and Kokkino Vouno cinder cones. K-Ar ages 54 ± 23 ka and 76 ± 28 ka.
- ap4a** Unit **ap4** black or red scoria of Megalo Vouno and Kokkino Vouno cinder cones.
- as** **Andesites and basalts of Cape Simandiri.** Andesites and basalts forming the remnant of a lava shield, the ancient summit of which lay in the present caldera. K-Ar age 172 ± 33 ka, 40Ar/39Ar age 172 ± 4 ka.

Υπόμνημα 2 του σχήματος 2.3

Πίνακας 2.1 Δελτίο της γεώτρησης από την οποία έγινε δειγματοληψία στα πλαίσια της παρούσας εργασίας.

Αριθμ. Γεωτρήσεως ΚΝΠ – 5/07
Αριθμ. Γεωτρύπανου ACKER P-4
Θέσις ΝΟΤΙΟ ΠΕΔΙΟ

ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΠΥΡΗΝΑ			ΜΕΧΡΙ ΒΑΘΟΣ (μ)	ΔΙΑΤΡΗΘΕΝ ΠΑΧΟΣ/μ		ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΤΡΗΘΕΝΤΟΣ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ
Από	Έως	Μέτρα		ΥΠΕΡΚΕΙΜΕΝΑ ΕΝΔΙΑΜΕΣΑ	ΛΙΓΝΙΤΗΣ	
0,00	9,00	9,00	8,50	8,50		ΑΡΓΙΛΟΣ καστανή αμμούχα
9,00	18,00	9,00	17,40	17,70		ΑΡΓΙΛΟΣ καστανέρυθρη κτθ conk
18,00	27,00	9,00	27,00	26,70		ΑΡΓΙΛΟΣ καστανέρυθρη κτθ conk
27,00	36,00	9,00	35,90	35,70		ΑΡΓΙΛΟΣ καστανοκίτρινη αμμούχα – ασβεστούχα
36,00	45,00	9,00	44,60	44,70		ΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΕΣ πολύμεικτο ασύνδετο χαλαρό κτθ
45,00	54,00	9,00	53,80	53,70		ΨΑΜΜΙΤΟΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΕΣ πολύμεικτο συνεκτικό σκληρό
54,00	63,00	9,00	63,00	62,70		ΑΡΓΙΛΟΣ γκριζοπράσινη αμμούχα – ασβεστούχα κτθ με conk
63,00	72,00	9,00	72,00	71,70		ΑΠΩΛΕΙΑ
72,00	81,00	9,00	80,70	80,70		ΑΠΩΛΕΙΑ
81,00	90,00	9,00	90,00	89,70		ΑΡΓΙΛΟΣ γκρι σκούρα
90,00	99,00	9,00	99,00	98,70		ΑΡΓΙΛΟΣ γκριζοπράσινη κτθ αμμούχα - ασβεστούχα
99,00	108,00	9,00	107,80	107,70		ΑΡΓΙΛΟΣ γκριζοπράσινη κτθ αμμούχα
108,00	117,00	9,00	117,00	116,70		ΑΡΓΙΛΟΣ γκριζοπράσινη κτθ αμμούχα
117,00	126,00	9,00	126,00	125,70		ΑΡΓΙΛΟΣ γκρι αμμούχα με χάλικες και κροκάλες πολύμεικτες 2 – 3 cm
126,00	135,00	9,00	135,00	134,70		ΑΠΩΛΕΙΑ
135,00	144,00	9,00	144,00	143,70	1,10	ΛΙΓΝΙΤΗΣ συμπαγής
144,00	153,00	9,00	153,00	152,70		ΑΠΩΛΕΙΑ
153,00	162,00	9,00	162,00	161,70	1,10	ΛΙΓΝΙΤΗΣ συμπαγής αργιλούχος
162,00	171,00	9,00	171,00	170,70	0,50	ΛΙΓΝΙΤΗΣ συμπαγής
171,00	180,00	9,00	180,00	179,70	5,80	ΛΙΓΝΙΤΗΣ συμπαγής με μία (1) ένστροψη αργίλου 15 cm
180,00	189,00	9,00	188,80	188,70	9,00	ΛΙΓΝΙΤΗΣ συμπαγής
189,00	198,00	9,00	198,00	197,70	1,70	ΛΙΓΝΙΤΗΣ συμπαγής
198,00	207,00	9,00	207,00	206,70	5,60	ΛΙΓΝΙΤΗΣ συμπαγής κτθ αργιλούχος
207,00	216,00	9,00	216,00	215,70	4,00	ΛΙΓΝΙΤΗΣ συμπαγής κτθ αργιλούχος
216,00	225,00	9,00	225,00	224,70		ΜΑΡΓΑ γκριζοπράσινη τελική
225,00	234,00	9,00	234,00	233,70		ΜΑΡΓΑ γκριζοπράσινη τελική
234,00	243,00	9,00	243,00	242,70		ΜΑΡΓΑ γκριζοπράσινη τελική
ΣΥΝΟΛΟ =			243,00		28,80	



Φωτ. 1 Πλειστοκαινικά ιζήματα



Φωτ. 2 Μάργα



Φωτ.3 Μαργαϊκός Ασβεστόλιθος



Φωτ.4 Ασβεστόλιθος



Φωτ.5 Άμμος



Φωτ.6 Σχιστόλιθος



Φωτ. 7 Θηραϊκή γη



Φωτ. 8 Φλύσχης



Φωτ. 9 Κροκαλοπαγές πολύμεικτο ασύνδετο (44-54m)



Φωτ. 10 Ψαμμιτοκροκαλοπαγές πολύμεικτο συνεκτικό (54-63m)



Φωτ. 11 Αμμούχα- ασβεστούχα άργιλος γκριζοπράσινη (99-107m)



Φωτ. 12 Αμμούχα άργιλος γκριζοπράσινη (117-126m)



Φωτ. 13 Συμπαγής Λιγνίτης (134 -170m)



Φωτ. 14 Συμπαγής αργιλούχος Λιγνίτης (207-225m)



Φωτ. 15 Γκριζοπράσινη μάργα (225-243m)

3. ΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

3.1 Εισαγωγή

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

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

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

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

Στις παραγράφους που ακολουθούν περιγράφονται αναλυτικά οι βασικές έννοιες του μαγνητισμού και της μαγνητικής επιδεκτικότητας, ο τρόπος που μετράται καθώς και η χρήση της μαγνητικής επιδεκτικότητας στην επίλυση περιβαλλοντικών προβλημάτων. Επιβάλλεται να αναφερθεί ότι η πλειονότητα των θεωρητικών στοιχείων προέρχεται από το βιβλίο των Thompson and Oldfield (1986), Environmental Magnetism. Επιπρόσθετα παρατίθενται και παραδείγματα από

περιπτώσεις περιοχών με περιβαλλοντικά προβλήματα, όπου χρησιμοποιήθηκε η μαγνητική επιδεκτικότητα ως δείκτης για τον εντοπισμό τους.

3.2 Βασικές μαγνητικές ιδιότητες

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

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

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

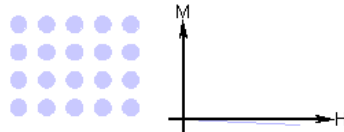
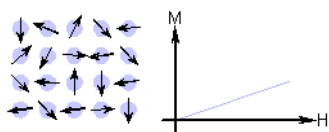
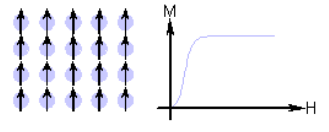
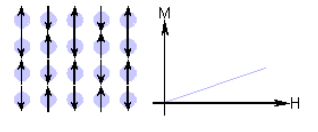
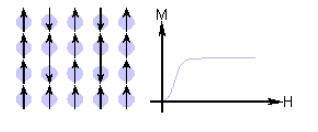
Παραμένουσα μαγνήτιση είναι η ιδιότητα των σιδηρομαγνητικών υλικών να διατηρούν τις μαγνητικές ιδιότητες τους ακόμη και κατά την απουσία εξωτερικού μαγνητικού πεδίου.

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

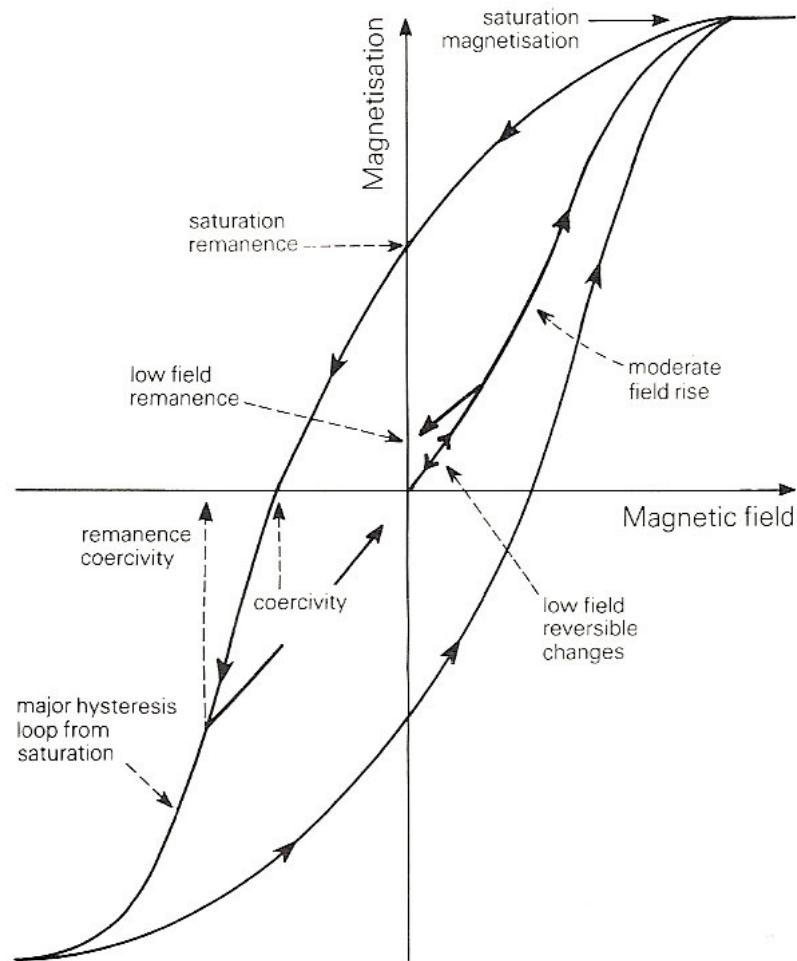
3.3 Μαγνητική υστέρηση

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

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

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

Πίνακας 3.1. Συγκεντρωτικός πίνακας όλων των τρόπων μαγνήτισης διάφορων υλικών



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

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

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

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

Κατά την απομάκρυνση τέτοιων πεδίων η μαγνήτιση δεν μηδενίζεται και ονομάζεται παραμένονσα μαγνήτιση κορεσμού (saturation remanent magnetization) M_{RS} .

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

Το ακόμη ισχυρότερο πεδίο που απαιτείται για να μηδενιστεί η παραμένουσα μαγνήτιση ονομάζεται *συνεκτικό πεδίο παραμένουσας μαγνήτισης* (Bo)CR.

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

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

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

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

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

Mineral	Composition	Curie temperature (°C)	Room temperature (20°C) saturation magnetisation M_s (A m ² kg ⁻¹)
magnetite	Fe ₃ O ₄	585	93
ulvospinel	Fe ₂ TiO ₄	-153	—
haematite	α -Fe ₂ O ₃	675	0.5
ilmenite	FeTiO ₃	-218	—
maghaemite	γ -Fe ₂ O ₃	~740	85
pyrrhotite	~Fe ₇ S ₈	~300	~20
iron	α -Fe	780	200
goethite	α -FeO.OH	120	~1
lepidocrocite	γ -FeO.OH	-196	—
magnesianoferrite	MgFe ₂ O ₄	440	21
jacobsite	MnFe ₂ O ₄	310	77

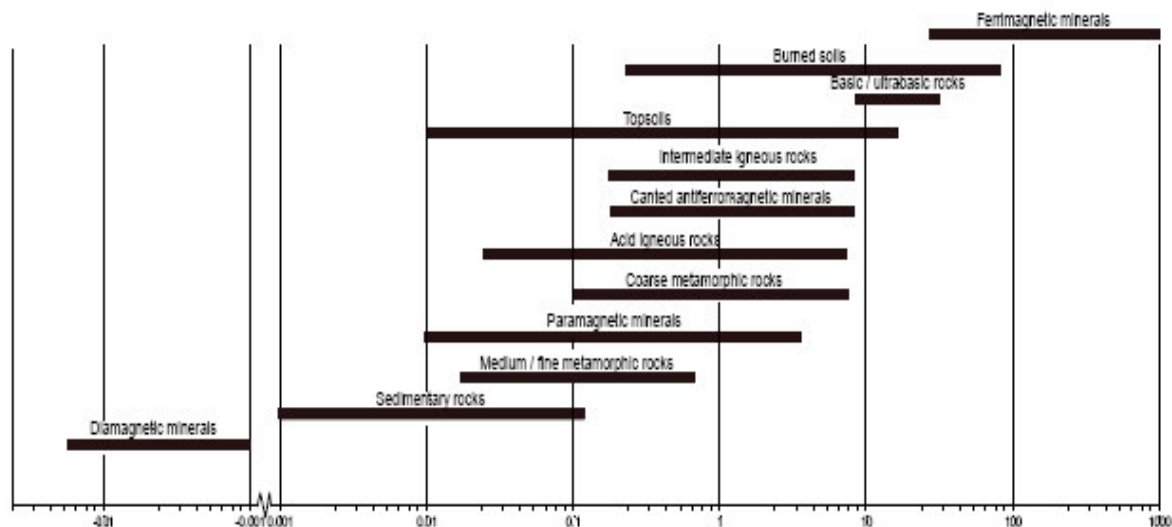
3.4 Μαγνητική επιδεκτικότητα

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

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

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

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



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

Remanence-carrying minerals ($10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$)		Other iron-bearing minerals ($10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$)		Other minerals and materials ($10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$)	
iron (∞Fe)	2×10^7	olivines ($\text{Mg, Fe}_2\text{SiO}_4$)	1→130	water (H_2O)	-0.9
magnetite (Fe_3O_4)	5×10^4	amphiboles (Mg, Fe, Al silicates)	16→100	halite (NaCl)	-0.9
maghaemite (Fe_2O_3)	4×10^4	siderite (FeCO_3)	~100	quartz (SiO_2)	-0.6
pyrrhotite (Fe_7S_9)	$\sim 5 \times 10^3$	pyroxenes ($\text{Mg, Fe}_2\text{Si}_2\text{O}_6$)	5→100	calcite (CaCO_3)	-0.5
ilmenite (FeTiO_3)*	~200	biotites (Mg, Fe, Al silicates)	5→95	feldspar (Ca, Na, K, Al silicate)	-0.5
lepidocrocite (FeOOH)*	70	nontronite (Fe-rich clay)	~90	kaolinite (clay mineral)	-2
goethite (∞FeOOH)	70	chamosite (Oxidised chlorite)	~90	montmorillonite (clay)	~5
haematite (Fe_2O_3)	60	epidote (Ca, Fe, Al silicate)	~30	illite (clay mineral)	~15
		pyrite (FeS_2)	~30	plastic (e.g. perspex, PVC)	~-0.5
		chalcopyrite (CuFeS_2)	~3		

* Only remanence carrying at temperatures well below room temperature.

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

1. Παραμένουσα μαγνήτιση εναπόθεσης (Detrital or depositional remanent magnetization, DRM) – αφορά την παραμένουσα μαγνήτιση που αποκτούν τα ιζήματα κατά την απόθεση τους.

2. Μέγιστη παραμένουσα μαγνήτιση (Saturation isothermal remanent magnetization, SIRM or MRS or σ_{RS}). Είναι η μέγιστη παραμένουσα μαγνήτιση που μπορεί να παρατηρηθεί και αποκτάται κατά την εφαρμογή και απομάκρυνση ενός ισχυρού μαγνητικού πεδίου.

3. Μέγιστη μαγνήτιση (saturation magnetization MS or σ_S). Είναι η μέγιστη μαγνήτιση που μπορεί να παρατηρηθεί σε ένα δείγμα κατά την εφαρμογή ισχυρού μαγνητικού πεδίου.

4. Θερμοπαραμένουσα μαγνήτιση (Thermoremanent magnetization, TRM). Αφορά την παραμένουσα μαγνήτιση που αποκτά ένα υλικό καθώς παγώνει κάτω από την θερμοκρασία Curie.

5. Η μεταβολή του μαγνητικού πεδίου με το χρόνο (Viscosity).

6. Χρονικά εξαρτώμενη παραμένουσα μαγνήτιση (viscous remanent magnetization VRM). Η παραμένουσα μαγνήτιση που αποκτά ένα υλικό, όταν εφαρμόζεται ασθενές μαγνητικό πεδίο για μεγάλο χρονικό διάστημα.

7. Ανισοτροπία της μαγνητικής επιδεκτικότητας (anisotropy of magn. Susceptibility). Η μεταβολή της μαγνητικής επιδεκτικότητας με την διεύθυνση.

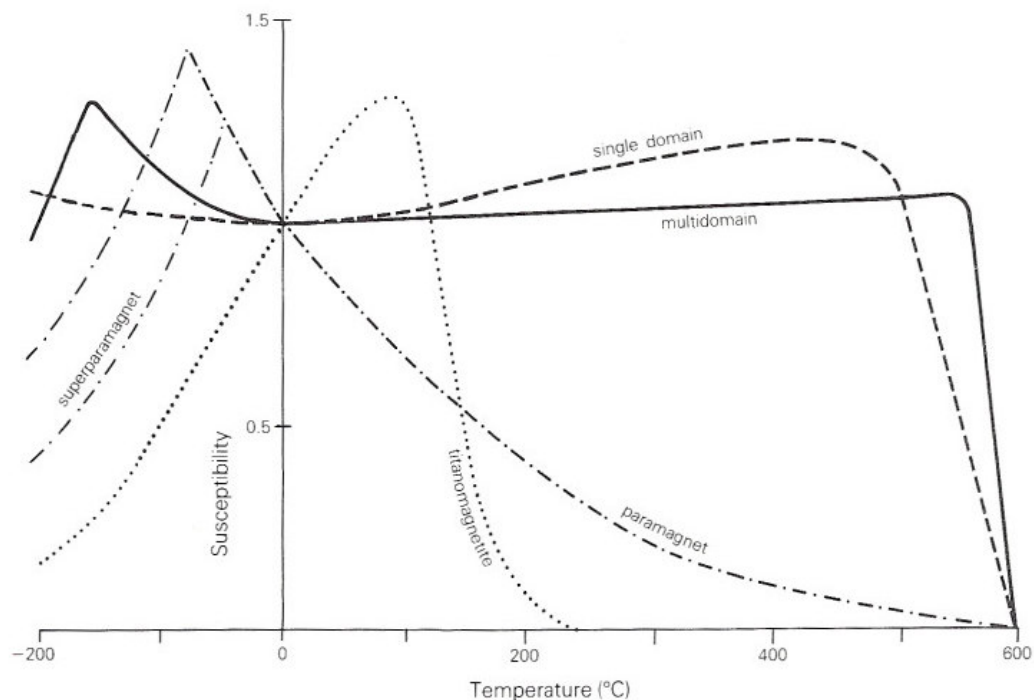
8. Anhysteretic remanent magnetization (ARM). Η παραμένουσα μαγνήτιση που δημιουργείται κατά την ομαλή απομείωση ενός ισχυρού εναλλασσόμενου μαγνητικού πεδίου, παρουσία ενός ασθενούς σταθερού πεδίου.

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 (χ_{fd}) από την συχνότητα. Η μεταβολή αυτή είναι γνωστή με τον όρο φάσμα της μαγνητικής επιδεκτικότητας. Στις υψηλές συχνότητες τα φαινόμενα αποκατάστασης (relaxation phenomena) προκαλούν ελάττωση της μαγνητικής επιδεκτικότητας και απώλειες ενέργειας με την μορφή θερμότητας.

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

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

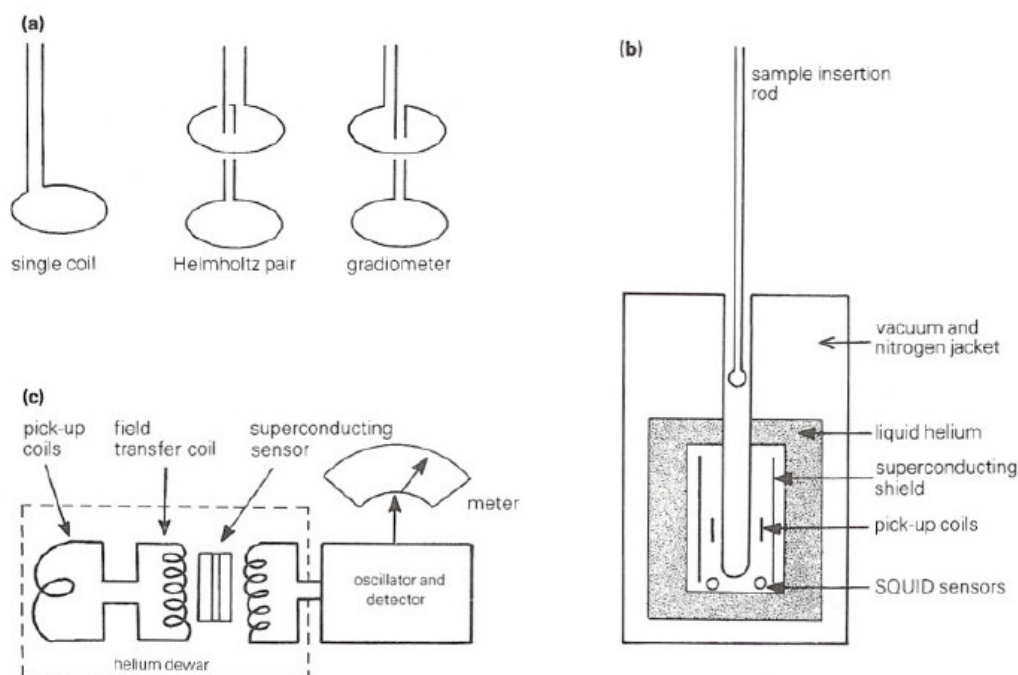
Στις χαμηλές συχνότητες η σε φάση συνιστώσα της μαγνητικής επιδεκτικότητας έχει τιμή πλησίον της πραγματικής. Καθώς όμως η συχνότητα αυξάνεται τα φαινόμενα αποκατάστασης γίνονται πιο σημαντικά και η σε φάση συνιστώσα μετά από μια μικρή αύξηση (Snoek, 1948), μειώνεται σταθερά ενώ η τιμή της φανταστικής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

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

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

3.7 Μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας

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



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

3.8 Μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με το MS2 της Bartington

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



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

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

Specification - MS2 Meter

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

**Specification - MS2B Sensor**

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



Specification - MS2C Sensor

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

**Specification - MS2D probe**

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



Specification - MS2E Sensor

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

**Specification - MS2F probe**

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



Specification - MS2G Sensor

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

**Specification - MS2K Probe**

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

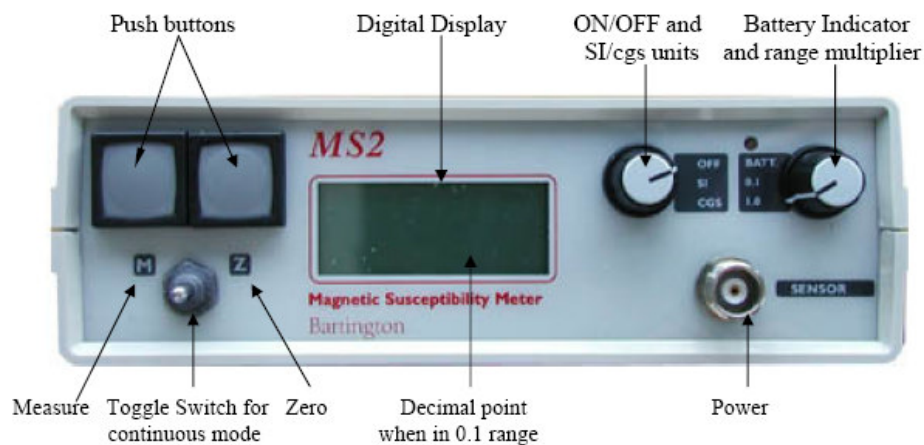
**Specification - MS2 Probe Handle**

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



Διαδικασία μέτρησης μαγνητικής επιδεκτικότητας δειγμάτων (Σχήμα 3.5)

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



Σχήμα 3.5 Πρόσωση του μετρητικού συστήματος MS2 του οίκου Bartington.

3.9 Σχέση μαγνητικών ορυκτών και βαρέων μετάλλων

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

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

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

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

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

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

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

3.10 Ο ρόλος και η επίδραση των βαρέων μετάλλων στα φυτά

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

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

Νικέλιο (Ni): Το Ni αποτελεί απαραίτητο συστατικό της ουρεάσης, του ενζύμου που υδρολύει την ουρία σε CO_2 και NH^{4+} . Η ουρία σχηματίζεται από την αποδόμηση των ουρεϊδίων, αζωτούχων ενώσεων που είναι προϊόντα της ενσωμάτωσης του αζώτου στα φυμάτια των ριζών των ψυχανθών και της αποδόμησης των πουρινών. Η έλλειψη Ni προκαλεί τη συσσώρευση ουρίας, η οποία είναι τοξική για το φυτό. Επίσης, έλλειψη Ni στους σπόρους των δημητριακών μειώνει τη βιωσιμότητα και τη βλάστησή τους (Brady, *et al*, 1999).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Νικέλιο (Ni): Το Ni μετακινείται εύκολα στους φυτικούς ιστούς σποροφύτων αραβοσίτου. Στα κύτταρα, ο πρωτοπλάστης εμφανίζει τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε Ni σε σχέση με το κυτταρικό τοίχωμα. Σε συγκεντρώσεις 15, 20, 25, and 35 μM $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ και 3 mM $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, το Ni προκαλεί σημαντική μείωση στη διακλάδωση των ριζών των σποροφύτων, λόγω αυξημένης συγκέντρωσής του στο περικύκλιο και την ενδοδερμίδα της ρίζας (Seregin, *et al*, 2003).

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

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

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

3.11 Ο ρόλος και η επίδραση των βαρέων μετάλλων στον άνθρωπο

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

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

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

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

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

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

Κάδμιο (Cd): Η έκθεση σε κάδμιο από το περιβάλλον μπορεί να οδηγήσει σε μαλάκυνση των οστών, ασθένεια άμεσα συνδεδεμένη με τη νεφρική ανεπάρκεια. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ασθένεια '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. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

4.1 Περιγραφή της μεθοδολογίας εκπόνησης της παρούσας εργασίας

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε ως εξής:

1. Αναζήτηση βιβλιογραφίας που να σχετίζεται με χαρτογράφηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας.
2. Συλλογή δειγμάτων εδαφικού υλικού χωρίς την χρήση μεταλλικών αντικειμένων και αποθήκευση σε πλαστικές σακούλες.
3. Συλλογή δειγμάτων από γεωτρήσεις.
4. Μεταφορά στο εργαστήριο όπου ξεκινάμε την διαδικασία της ταξινόμησης κατά αύξοντα αριθμό δείγματος εδάφους και στην συνέχεια κοσκινίζουμε τα δείγματα, χωρίς την παρουσία μεταλλικών αντικειμένων, έτσι ώστε τα αποτελέσματα που θα πάρουμε να είναι όσο το δυνατόν ομοιογενή στην διαδικασία προσδιορισμού της μαγνητικής επιδεκτικότητας όπως αναφέρουμε στο παραπάνω κεφάλαιο.
5. Επεξεργασία και απεικόνιση των δεδομένων.

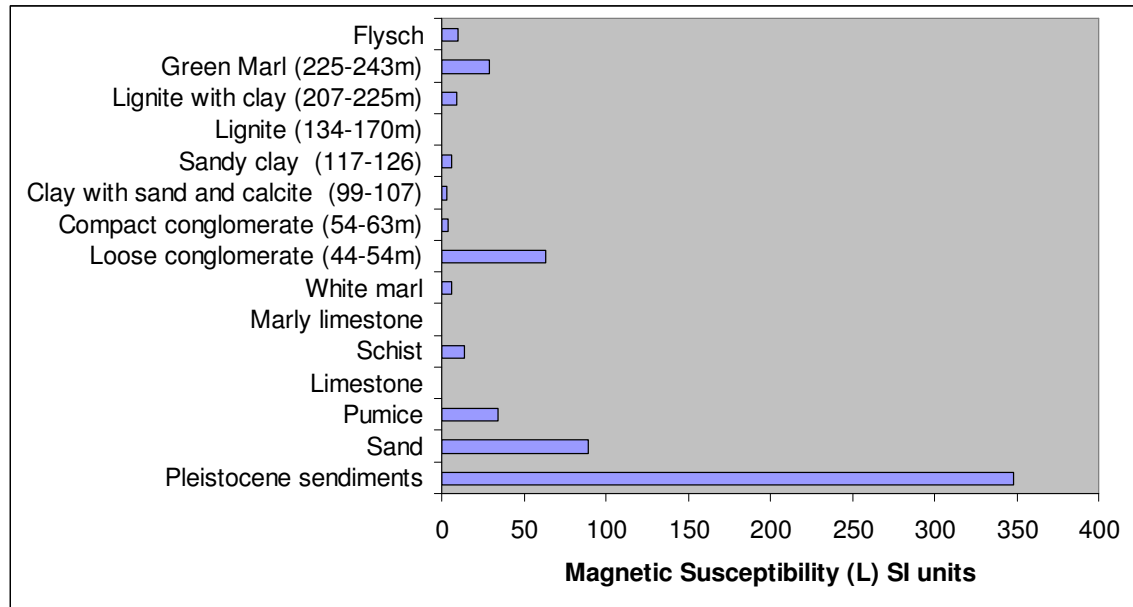
4.2 Παρουσίαση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων

Στον πίνακα που ακολουθεί και στο σχήμα 4.1 παρουσιάζονται οι μετρήσεις της μαγνητικής επιδεκτικότητας (SI units) διαφόρων γεωλογικών σχηματισμών (Πλειστοκαινικά ιζήματα, άμμος, θηραϊκή γη, ασβεστόλιθος, σχιστόλιθος, μαργαϊκός ασβεστόλιθος, μάργα, ασύνδετο κροκαλοπαγές, συνεκτικό κροκαλοπαγές, αμμούχα ασβεστούχα άργιλος, αμμούχα άργιλος, συμπαγής λιγνίτης, συμπαγής αργιλούχος λιγνίτης, γκριζοπράσινη μάργα). Για κάθε ένα από τους σχηματισμούς προσδιορίστηκαν η μαγνητική επιδεκτικότητα σε χαμηλή συχνότητα (LF), η μαγνητική επιδεκτικότητα σε υψηλή συχνότητα (HF), χαμηλή και υψηλή επιδεκτικότητα για κορεσμένο σε νερό δείγμα καθώς και δύο ημέρες μετά την διαβροχή των υλικών, και τέλος μετά από ρύπανση των υλικών με Pb και Ni.

Υψηλή τιμή μαγνητικής επιδεκτικότητας παρουσιάζουν τα Πλειστοκαινικά ιζήματα η άμμος και το ασύνδετο κροκαλοπαγές, γεγονός που σημαίνει την παρουσία ικανών ποσοτήτων οξειδίων του σιδήρου. Η μετρήσεις της επιδεκτικότητας αμέσως μετά την διαβροχή τους με νερό, παρουσιάζουν μεταβολές για τα υλικά στα οποία αναμένεται η παρουσία οξειδίων του σιδήρου, ενώ τα υλικά τα οποία δεν περιέχουν οξείδια σιδήρου δεν

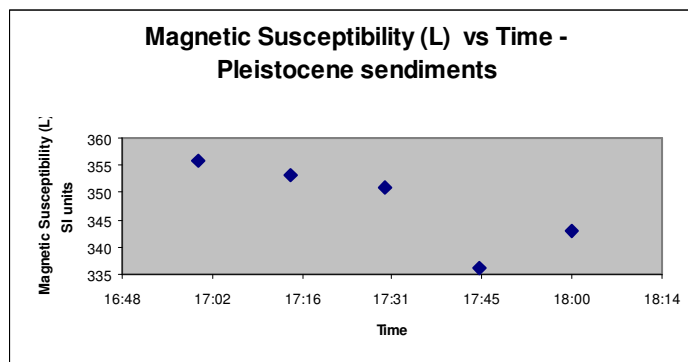
παρουσιάζουν αξιόλογες μεταβολές. Μετά την πάροδο δύο ημερών από τον κορεσμό τους σε νερό και την ξήρανση των δειγμάτων σε θερμοκρασία ατμόσφαιρας, φαίνεται να επανέρχεται η τιμή της επιδεκτικότητας στα φυσιολογικά επίπεδα. Ο σχηματισμός της άμμου παρουσιάζει γενικότερα μια ανώμαλη συμπεριφορά η οποία μπορεί να ερμηνευτεί από την μεγάλη ανομοιογένεια σε σύσταση και κοκκομετρική κατανομή που παρουσιάζει το συγκεκριμένο υλικό. Η ρύπανση με Pb και Ni που ακολούθησε για συγκεκριμένα υλικά δεν δίνει αξιόλογες μεταβολές της επιδεκτικότητας.

Σχηματισμός	LF	HF	LF (Κορεσ. σε νερό)	HF (Κορεσ. σε νερό)	LF (Μετά από δύο μέρες)	HF (Μετά από δύο μέρες)	Ρύπ. με Pb	Ρύπ. με Ni
Πλειστοκαινικά ιζήματα	348	303	270	236	300	272		
Άμμος	89	119	187	184	140	60		
Θηραϊκή γη	34	36	24	22	25	30	33	34
Ασβεστόλιθος	1	1	2	1	1	1		
Σχιστόλιθος	14	13	18	10	14	13		
Μαργαϊκός Ασβεστόλιθος	1	1	1	1	0	1		
Μάργα	6	4	2	2	6	5		6
Κροκαλοπαγές ασύνδετο (44-54m)	63	60	63	61				
Κροκαλοπαγές συνεκτικό (54-63m)	4	3	4	2				
Αμμούχα ασβεστούχα άργιλος (99-107)	3	3	4	3				
Αμμούχα άργιλος (117-126)	6	6	7	5				
Λιγνίτης συμπαγής (134-170m)	0,5	0,5	0,5	0,5				
Λιγνίτης συμπαγής αργιλούχος (207-225m)	9	7	9	9				
Μάργα γκριζοπράσινη (225-243m)	29	25	29	26				

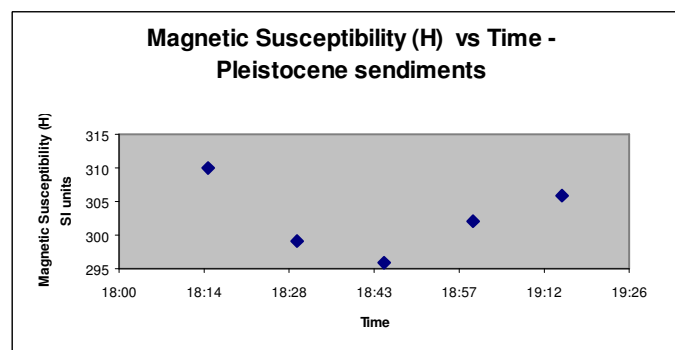


Σχήμα 4.1 Η μαγνητική επιδεκτικότητα διαφόρων γεωλογικών σχηματισμών

Στην δεύτερη φάση της παρούσας εργασίας μετρήθηκε η τιμή της μαγνητικής επιδεκτικότητας σε χαμηλή και υψηλή συχνότητα, για επιλεγμένα υλικά του σχήματος 4.1 στην διάρκεια μιας ώρας και περίπου ανά 15 λεπτά, για ποσότητα 10 γραμμαρίων του υλικού το οποίο ανανεωνόταν σε κάθε μέτρηση. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα σχήματα 4.2-4.8. Υλικά, τα οποία αναμένεται να παρουσιάσουν υψηλή περιεκτικότητα σε οξείδια (Πλειστοκαινικά ιζήματα και άμμοι), εμφανίζουν αντίστοιχα μεγάλες μεταβολές στις μετρήσεις επιδεκτικότητας. Αντίθετα τα υλικά με μικρές περιεκτικότητες οξειδίων παρουσιάζουν ασήμαντες μεταβολές.

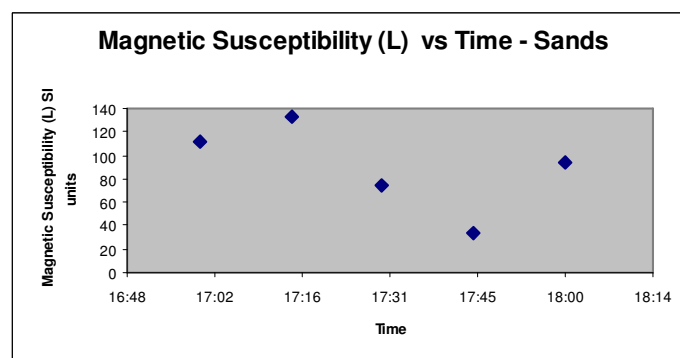


(α)

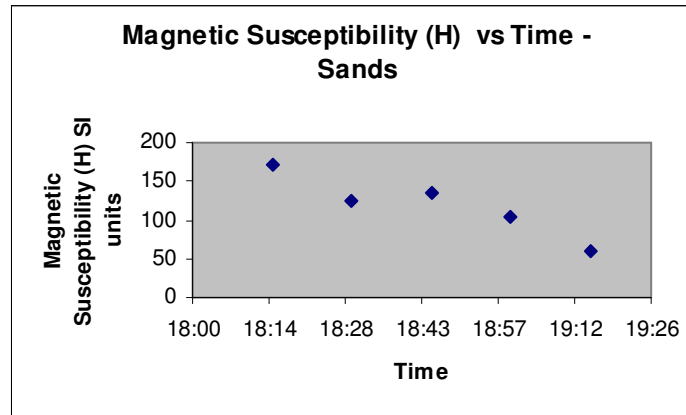


(β)

Σχήμα 4.2 Η μεταβολή της μαγνητικής επιδεκτικότητας των πλειστοκαινικών ιζημάτων σε σχέση με το χρόνο για (α) χαμηλή συχνότητα (β) υψηλή συχνότητα

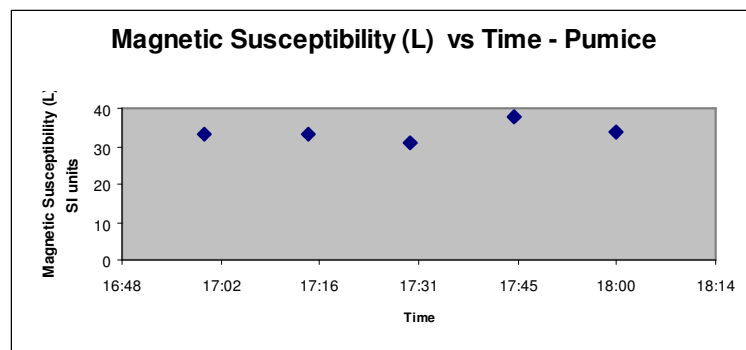


(α)

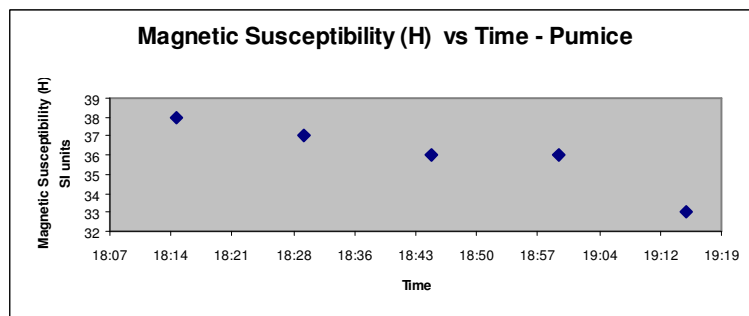


(β)

Σχήμα 4.3 Η μεταβολή της μαγνητικής επιδεκτικότητας της άμμου σε σχέση με το χρόνο για (α) χαμηλή συχνότητα (β) υψηλή συχνότητα

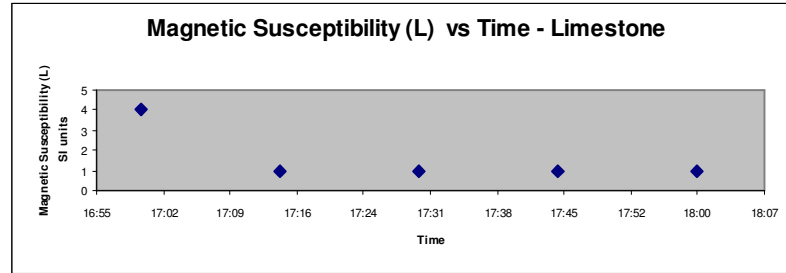


(α)

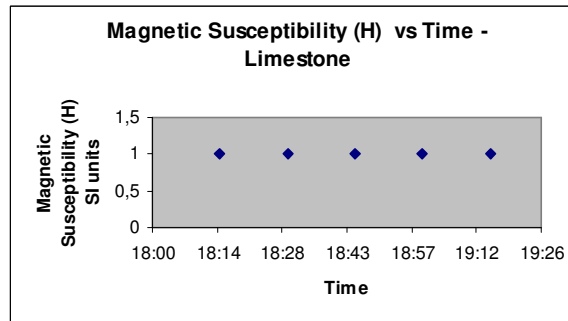


(β)

Σχήμα 4.4 Η μεταβολή της μαγνητικής επιδεκτικότητας της άμμου σε σχέση με το χρόνο για (α) χαμηλή συχνότητα (β) υψηλή συχνότητα

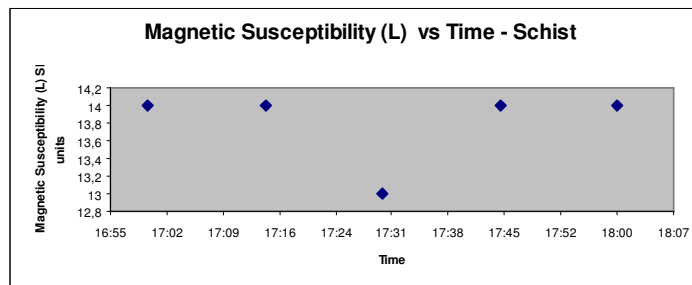


(α)

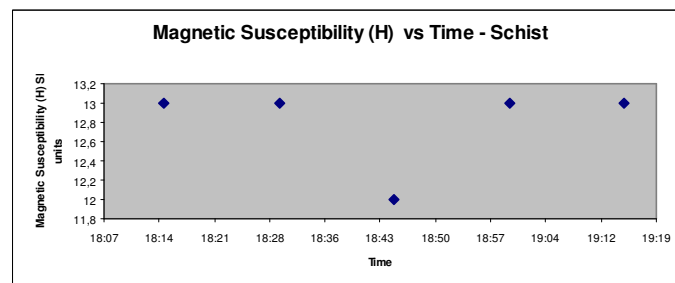


(β)

Σχήμα 4.5 Η μεταβολή της μαγνητικής επιδεκτικότητας του ασβεστόλιθου σε σχέση με το χρόνο για (α) χαμηλή συχνότητα (β) υψηλή συχνότητα

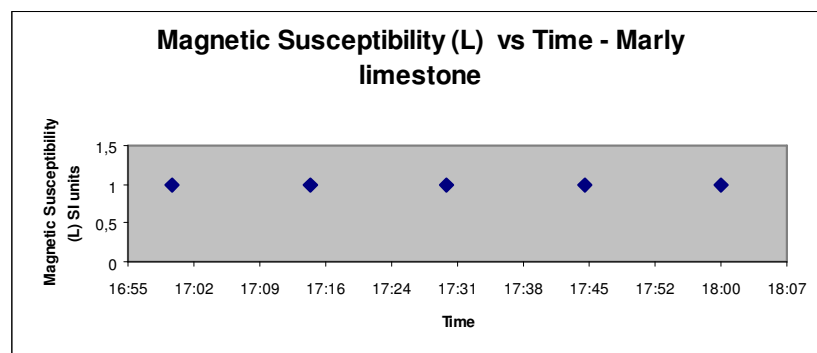


(α)

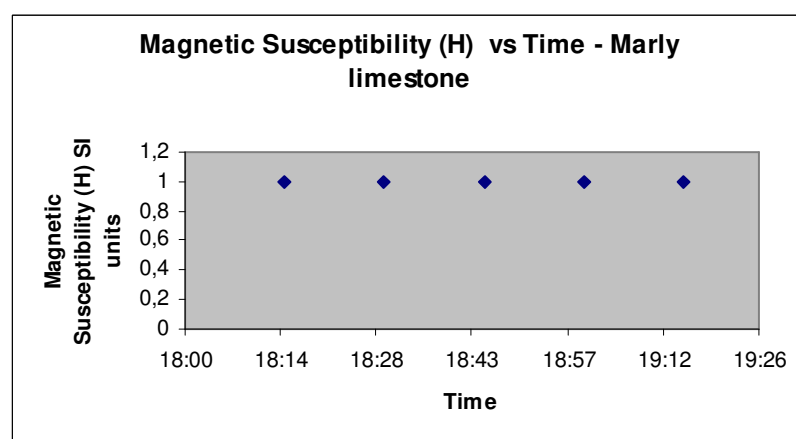


(β)

Σχήμα 4.6 Η μεταβολή της μαγνητικής επιδεκτικότητας του ασβεστόλιθου σε σχέση με το χρόνο για (α) χαμηλή συχνότητα (β) υψηλή συχνότητα

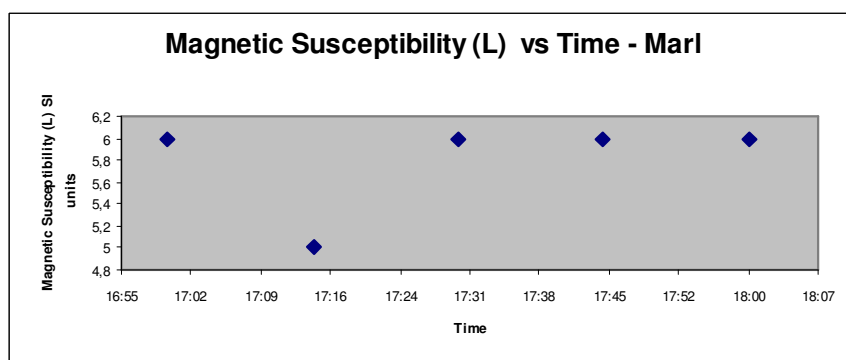


(α)

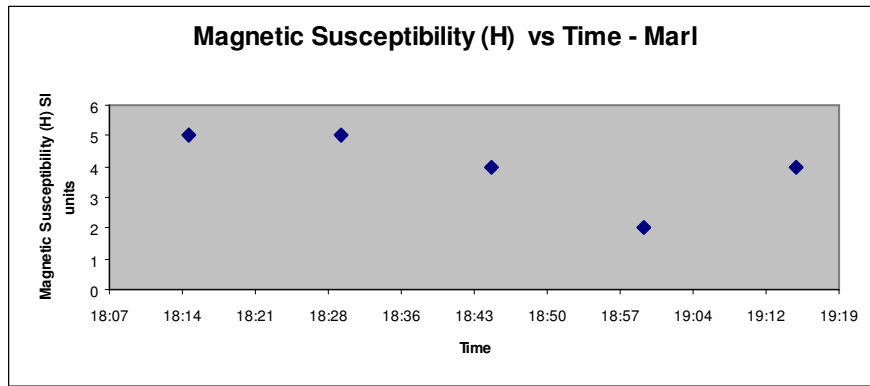


(β)

Σχήμα 4.7 Η μεταβολή της μαγνητικής επιδεκτικότητας του μαργαϊκού ασβεστόλιθου σε σχέση με το χρόνο για (α) χαμηλή συχνότητα (β) υψηλή συχνότητα



(α)

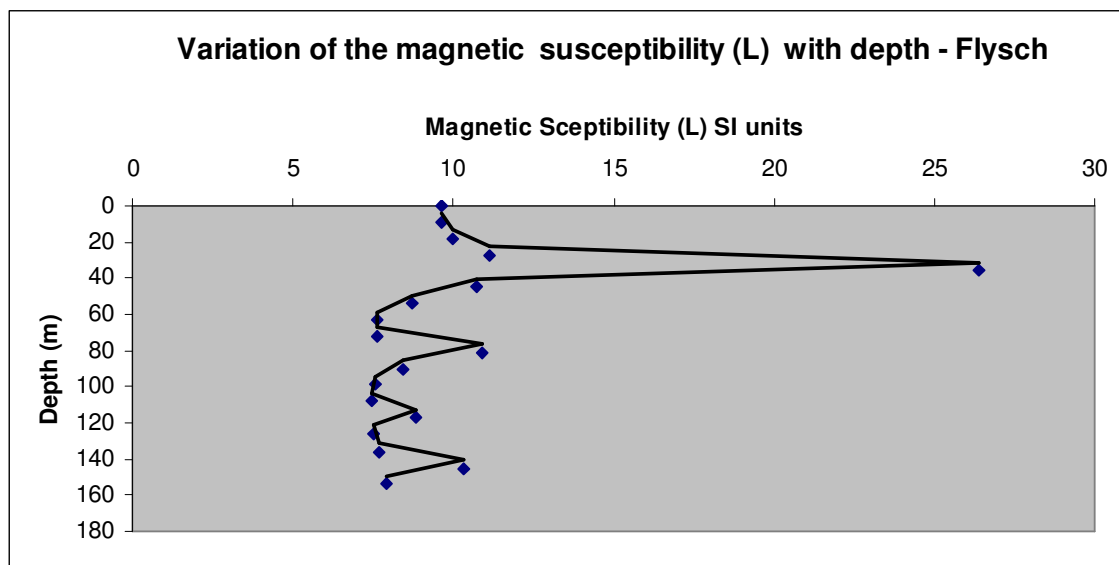
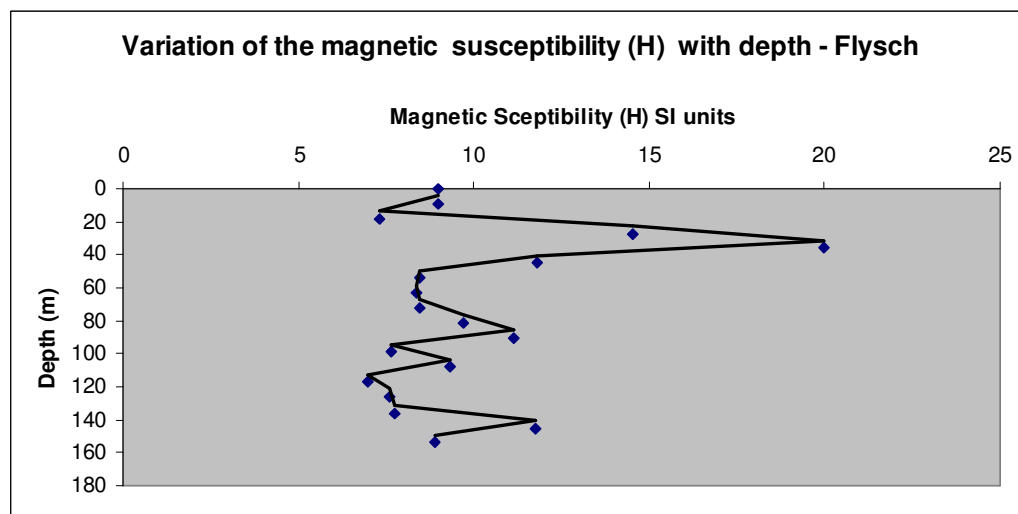


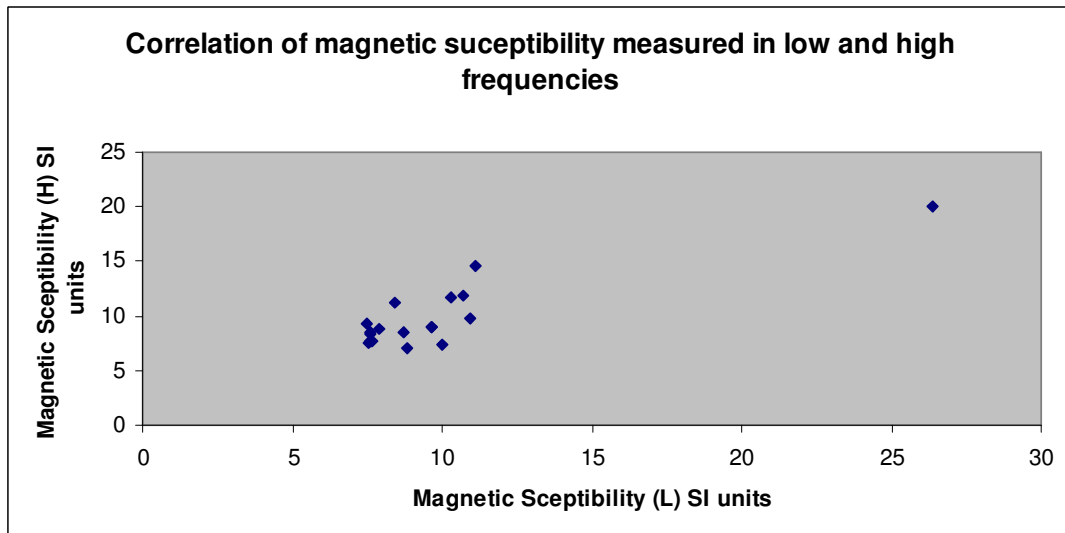
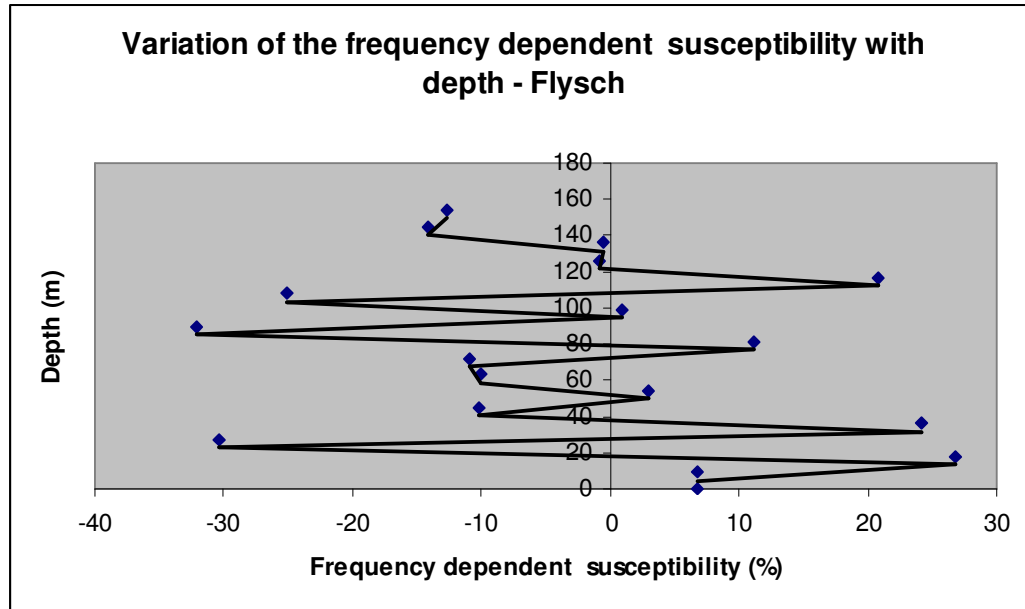
(β)

Σχήμα 4.8 Η μεταβολή της μαγνητικής επιδεκτικότητας της μάργας σε σχέση με το χρόνο για (α) χαμηλή συχνότητα (β) υψηλή συχνότητα

Στην τρίτη φάση της παρούσας εργασίας προσδιορίστηκε η τιμή της μαγνητικής επιδεκτικότητας σε υλικό από την διάνοιξη αρδευτικής γεώτρησης μέχρι βάθους 160m. Ο γεωλογικός σχηματισμός που διατρήθηκε ανήκει στην κατηγορία του φλύσχη η δειγματοληψία του υλικού γινόταν κάθε 9m. Η κατανομή της επιδεκτικότητας παρουσιάζεται στο σχήμα 4.9 α,β. Επίσης προσδιορίστηκε και η μαγνητική επιδεκτικότητα που εξαρτάται από την συχνότητα με βάση την σχέση $FD \text{ susceptibility} = [MS(\text{Low}) - MS(\text{High})] / MS(\text{Low})$. Γενικά η κατανομή της επιδεκτικότητας παρουσιάζει πολύ μικρές μεταβολές (7.5-11 SI units) για το σύνολο της διάτρησης εκτός από το βάθος των 35-40m. Στο βάθος αυτό παρατηρήθηκε αυξημένη περιεκτικότητα του φλύσχη σε οφιολιθικό υλικό, γεγονός στο οποίο πιθανότατα οφείλεται η μεταβολή της επιδεκτικότητας. Επίσης το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα εντοπίστηκε περίπου στα 82 m, όπου και παρατηρείται μια ελαφριά μετατόπιση των τιμών της επιδεκτικότητας σε χαμηλότερα επίπεδα. Η μετατόπιση αυτή παρατηρείται και πέραν του βάθους των 82 m, στο οποίο εντοπίζεται η παρουσία του υδροφόρου στρώματος.

Η εξαρτημένη από την συχνότητα επιδεκτικότητα (σχ. 4.9γ) δεν παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την παρούσα περίπτωση. Επίσης ο συσχετισμός (σχ. 4.9δ) της χαμηλής και υψηλής επιδεκτικότητας παρουσιάζεται χαμηλότερος σε σχέση με άλλες περιπτώσεις.

 (α)  (β)

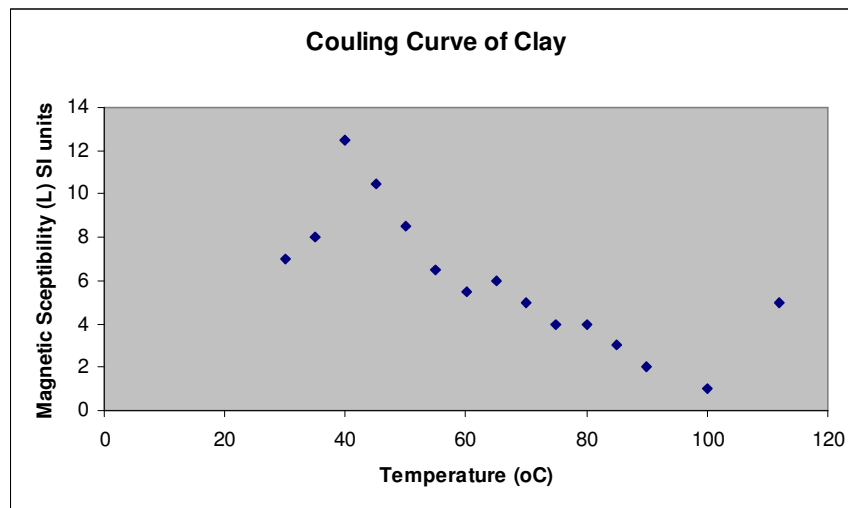


Σχήμα 4.9 Η μεταβολή με το βάθος σε γεώτρηση φλύσχη (α) της μαγνητικής επιδεκτικότητας σε χαμηλή συχνότητα (β) της μαγνητικής επιδεκτικότητας σε υψηλή συχνότητα σε σχέση με το χρόνο για (γ) της εξαρτημένης από την συχνότητα μαγνητικής επιδεκτικότητας (δ) συσχετισμός της μαγνητικής επιδεκτικότητας μετρημένης σε χαμηλή και υψηλή συχνότητα

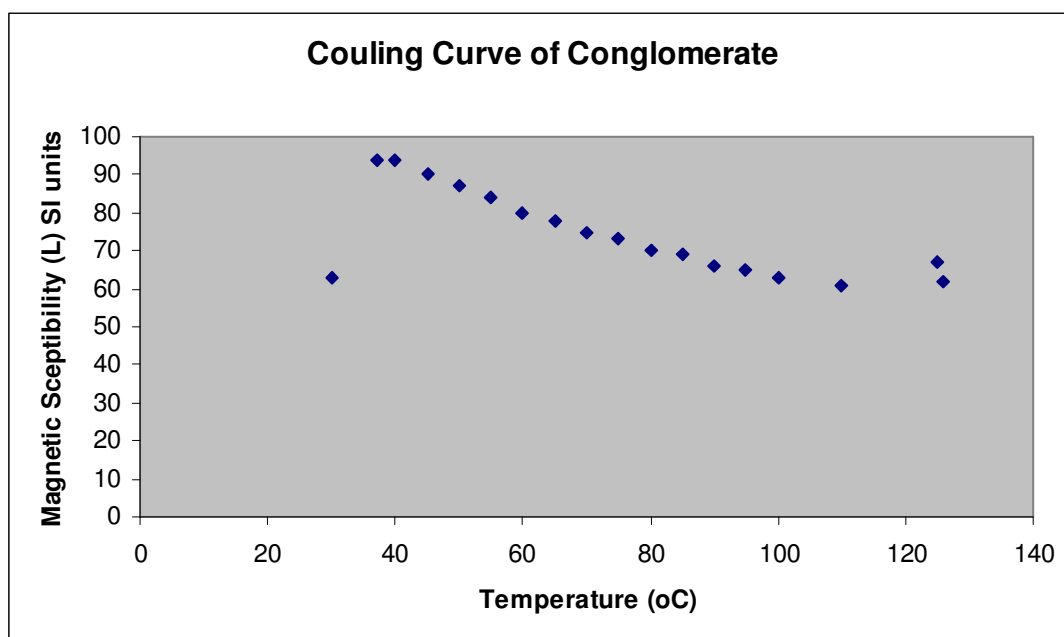
Στην τέταρτη και τελευταία φάση της παρούσας εργασίας μελετήθηκε η μεταβολή της μαγνητικής επιδεκτικότητας με την θερμοκρασία για επιλεγμένους γεωλογικούς

σχηματισμούς. Η μαγνητική επιδεκτικότητα γενικά μεταβάλλεται με την θερμοκρασία με ένα αρκετά πολύπλοκο τρόπο, διότι αποτελεί μια παράμετρο αρκετά ευαίσθητη σε διάφορες παραμέτρους, όπως οι εσωτερική τάση και η ανισοτροπία. Γενικά τα υλικά που είναι πλούσια σε σιδηρομαγνητικά ορυκτά παρουσιάζουν καμπύλες κ-Τ με χαμηλές θερμοκρασίες Curie και συνεχή πτώση της επιδεκτικότητας κατά την ψύξη τους. Παρόμοια περίπτωση είναι αυτή των Πλειστοκαινικών ιζημάτων που παρουσιάζεται παρακάτω. Αντίθετα η επιδεκτικότητα των παραμαγνητικών υλικών ακολουθεί τον νόμο των Curie-Weiss ($k=C/T$), όπου C σταθερά, δηλαδή αναμένεται αύξηση της επιδεκτικότητας με την πτώση της θερμοκρασίας. Η περίπτωση της αργίλου, του κροκαλοπαγούς και της θηραϊκής γης παρακάτω, φαίνεται να ακολουθούν αυτό το νόμο.

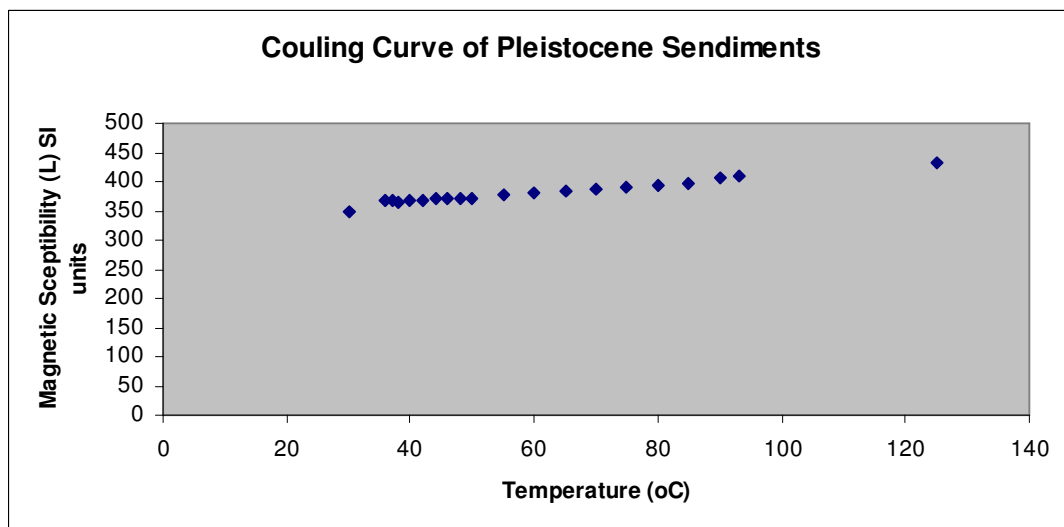
Τα υλικά που μελετήθηκαν θερμάνθηκαν μέχρι τους 150°C και στην συνέχεια ακολούθησαν μετρήσεις της μαγνητικής τους επιδεκτικότητας σε τακτά χρονικά διαστήματα. Οι θερμοκρασιακές καμπύλες παρουσιάζονται στα σχήματα 4.10-4.13, οι οποίες αφορούν την άργιλο, το κροκαλοπαγές, τα Πλειστοκαινικά ιζήματα και την θηραϊκή γη. Η άργιλος παρουσιάζει μια αύξηση της επιδεκτικότητας με την πτώση της θερμοκρασίας, με ένα μέγιστο στους 40°C και στην συνέχεια επαναφορά της τιμής της επιδεκτικότητας στα φυσιολογικά επίπεδα. Την ίδια ακριβώς σχέση επιδεκτικότητας – θερμοκρασίας παρουσιάζει το κροκαλοπαγές και παρόμοια η θηραϊκή γη. Αντίθετα τα Πλειστοκαινικά ιζήματα παρουσιάζουν μια σταδιακή ελάττωση της επιδεκτικότητας με την θερμοκρασία. Για την ακρίβεια η τιμή της επιδεκτικότητας ξεκινά από ένα μέγιστο (~450 SI units) στους 125°C και σταδιακά ελαττώνεται μέχρι την κανονική τιμή (~350 SI units).



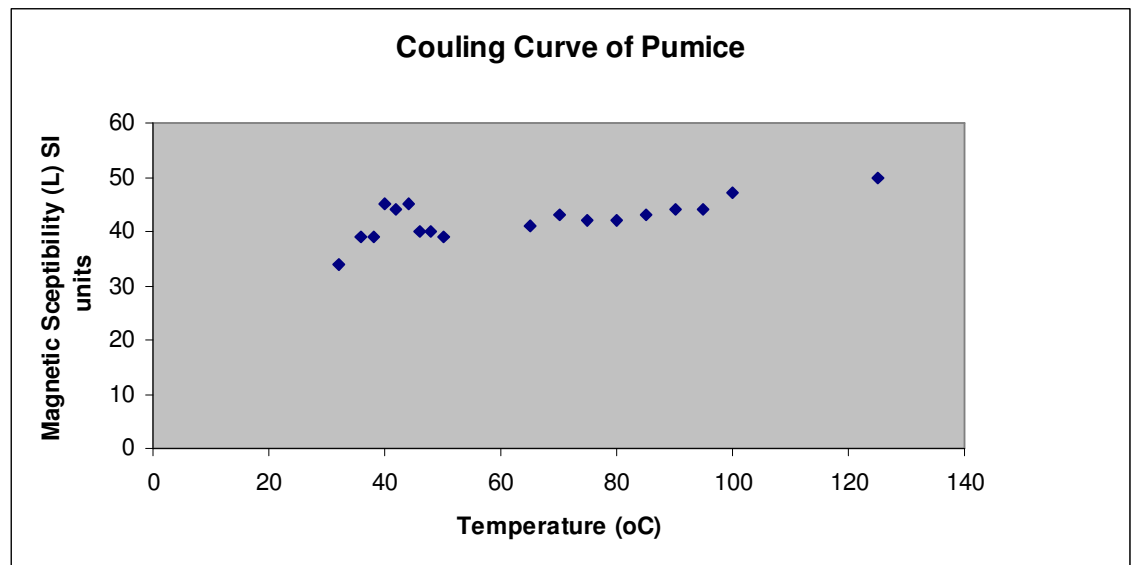
Σχήμα 4.10 Καμπύλη ψύξης της αργίλου



Σχήμα 4.11 Καμπύλη ψύξης του κροκαλοπαγούς



Σχήμα 4.12 Καμπύλη ψύξης των πλειστοκαινικών ιζημάτων



Σχήμα 4.13 Καμπύλη ψύξης της Θηραϊκής γης

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

5.1 Εισαγωγή

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης εργασίας πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις μαγνητικής επιδεκτικότητας σε διάφορους γεωλογικούς σχηματισμούς και με στόχο τον χαρακτηρισμό τους.

5.2 Συμπεράσματα και αξιολόγηση της μεθοδολογίας

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

- Η μετρήσεις της επιδεκτικότητας αμέσως μετά την διαβροχή τους με νερό, παρουσιάζουν μεταβολές για τα υλικά στα οποία αναμένεται η παρουσία οξειδίων του σιδήρου, ενώ τα υλικά τα οποία δεν περιέχουν οξείδια σιδήρου δεν παρουσιάζουν αξιόλογες μεταβολές. Μετά την πάροδο δύο ημερών από τον κορεσμό τους σε νερό και την ξήρανση των δειγμάτων σε θερμοκρασία ατμόσφαιρας, φαίνεται να επανέρχεται η τιμή της επιδεκτικότητας στα φυσιολογικά επίπεδα.
- Υλικά, τα οποία αναμένεται να παρουσιάσουν υψηλή περιεκτικότητα σε οξείδια (Πλειστοκαινικά ιζήματα και άμμοι), εμφανίζουν αντίστοιχα μεγάλες μεταβολές σε επαναληπτικές μετρήσεις επιδεκτικότητας με το χρόνο. Αντίθετα τα υλικά με μικρές περιεκτικότητες οξειδίων παρουσιάζουν ασήμαντες μεταβολές.
- Η μαγνητική επιδεκτικότητα φαίνεται να αποτελεί μια παράμετρο που μπορεί να αξιοποιηθεί για τον χαρακτηρισμό των γεωλογικών σχηματισμών μέσα σε γεωτρήσεις.
- Γενικά τα υλικά που είναι πλούσια σε σιδηρομαγνητικά ορυκτά παρουσιάζουν καμπύλες $k-T$ με χαμηλές θερμοκρασίες Curie και συνεχή πτώση της επιδεκτικότητας κατά την ψύξη τους. Παρόμοια περίπτωση είναι αυτή των Πλειστοκαινικών ιζημάτων που παρουσιάζεται παρακάτω. Αντίθετα η επιδεκτικότητα των παραμαγνητικών υλικών ακολουθεί τον νόμο των Curie-Weiss ($k=C/T$), όπου C σταθερά, δηλαδή αναμένεται αύξηση της επιδεκτικότητας με την πτώση της θερμοκρασίας. Η περίπτωση της αργίλου, του κροκαλοπαγούς και της θηραϊκής γης παρακάτω, φαίνεται να ακολουθούν αυτό το νόμο.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Kiliyas, A., Fassoulas, C., Mountrakis, D., 1993, Tertiary extension of continental crust and uplift of Psiloritis metamorphic core complex at the central part of the Hellenic arc, Bull. Geol. Soc. Greece, XXVIII, 297-314.
2. Fytrolakis, N., 1980, The geological structure of Crete: Problems, observations and conclusions, Habil. Thesis, Nat. Tech. Univ., Athens.
3. Alloway, B.J. (ed), 1990. Heavy metals in soils, Glasgow, *Blackie*, 1-339.
4. Bhathal, R.S. and Stacey F.D., 1969, Frequency independence of low field susceptibility of rocks, J. Geophys. Res. 74, 2025-7.
5. 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.
6. Brady, N.C., Weil, R.R., 1999. The Nature and Properties of Soils. 12th Edition, Prentice Hall, ISBN 0-13-852444-0..
7. Gawlik, B.M. and Bidoglio, G., 2006, Background Values in European Soils and Sewage Sledges – Results of a JRG coordinated study on background values, Part III Conclusions, Comments and Recommendations, European Commission, Directorate General, Joint Research Centre.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. Snoek, J.L., 1948, Dispersion and absorption in magnetic ferrites at frequencies above one megacycle, Physica 14, 207-17.

13. 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.
14. Thompson, R. and Oldfield, F., 1986, Environmental Magnetism, Allen &Unwin Ltd.