



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



ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΤΟ
ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΩΝ ΠΟΤΑΜΩΝ
(ΡΕΘΥΜΝΟ)



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κουτελιδάκη Ελένη

ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2010



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



ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΤΟ
ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΩΝ ΠΟΤΑΜΩΝ
(ΡΕΘΥΜΝΟ)

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κουτελιδάκη Ελένη

Επιβλέπουσα : *Δρ. Κόκκινου Ελένη*
Επίκουρος Καθηγήτρια

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

Ημερομηνία Παρουσίασης :

Αύξων Αριθμός Πτυχιακής Εργασίας :

Ευχαριστίες

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

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

Περίληψη

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η εφαρμογή της μεθόδου της μαγνητικής επιδεκτικότητας και του θερμομαγνητισμού σε στην περιοχή γύρω από το φράγμα των Ποταμών στο Ρέθυμνο για να μελετηθούν οι μαγνητικές ιδιότητες των γεωλικών. Η μελέτη των μαγνητικών ιδιοτήτων των ορυκτών δίνει χρήσιμες πληροφορίες για τον τρόπο μαγνήτισης των υλικών και τους φορείς της μαγνήτισης. Οι γνώσεις αυτές βρίσκουν πλήθος εφαρμογών σε γεωλογικά προβλήματα που σχετίζονται με την τεκτονική και τις συνθήκες διαγένεσης.

Abstract

Main purpose of the present study is to apply magnetic susceptibility measurements and thermomagnetic analyses in order to find the magnetic properties of the soils in the study area.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	<i>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</i>	- 4 -
	1.1 Σκοπός και αντικείμενο της εργασίας	- 4 -
	1.2 Μεθοδολογία εκπόνησης	- 4 -
	1.3 Γεωγραφική θέση και περιγραφή της ευρύτερης περιοχής	- 5 -
	1.4 Γενικά στοιχεία για το κλίμα της Κρήτης	- 6 -
2	<i>ΓΕΝΙΚΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ</i>	- 7 -
	2.1 Γεωμορφολογικά στοιχεία	- 7 -
	2.2 Στρωματογραφικά στοιχεία	- 8 -
	2.3 Μεταλλική τεκτονική	- 10 -
	2.4 Υδρογεωλογικά στοιχεία	- 2 -
3.	<i>ΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ</i>	- 9 -
	3.1 Εισαγωγή	- 9 -
	3.2 Βασικές μαγνητικές ιδιότητες	- 10 -
	3.3 Μαγνητική υστέρηση	- 10 -
	3.4 Μαγνητική επιδεκτικότητα	- 25 -
	3.5 Σχέση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με την θερμοκρασία	- 27 -
	3.6 Σχέση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με την συχνότητα	- 29 -
	3.7 Μαγνήτιση των ιζημάτων και διαγένεση	- 30 -
	3.8 Μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας	- 34 -
	3.8 Μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με το MS2 της Bartington	- 35 -
	3.9 Σχέση μαγνητικών ορυκτών και βαρέων μετάλλων	- 43 -
4.	<i>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΥ</i>	- 45 -
	4.1 Περιγραφή της μεθοδολογίας εκπόνησης της παρούσας εργασίας	- 45 -
	4.2 Τα μαγνητικά ορυκτά	- 45 -
	4.3 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων	- 46 -
	4.4 Ερμηνεία των αποτελεσμάτων	- 70 -
5.	<i>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ</i>	- 71 -
	5.1 Συμπεράσματα και αξιολόγηση της μεθοδολογίας	- 71 -
	5.2 Προτάσεις	- 71 -
6.	<i>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</i>	- 73 -

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Σκοπός και αντικείμενο της εργασίας

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η εφαρμογή της μεθόδου της μαγνητικής επιδεκτικότητας και του θερμομαγνητισμού στην περιοχή γύρω από το φράγμα των Ποταμών στο Ρέθυμνο για να μελετηθούν οι μαγνητικές ιδιότητες των γεωολικών. Η μελέτη των μαγνητικών ιδιοτήτων των ορυκτών δίνει χρήσιμες πληροφορίες για τον τρόπο μαγνήτισης των υλικών και τους φορείς της μαγνήτισης. Οι γνώσεις αυτές βρίσκουν πλήθος εφαρμογών σε γεωλογικά προβλήματα που σχετίζονται με την τεκτονική και τις συνθήκες διαγένεσης.

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι:

- **Η λήψη εδαφικού υλικού από την εξεταζόμενη περιοχή, ο προσδιορισμός της μαγνητικής επιδεκτικότητας των δειγμάτων και στην συνέχεια η θερμομαγνητική ανάλυση τους. Τέλος η επεξεργασία των μετρήσεων με στόχο να προκύψει ένα πρότυπο για την περιοχή μελέτης.**

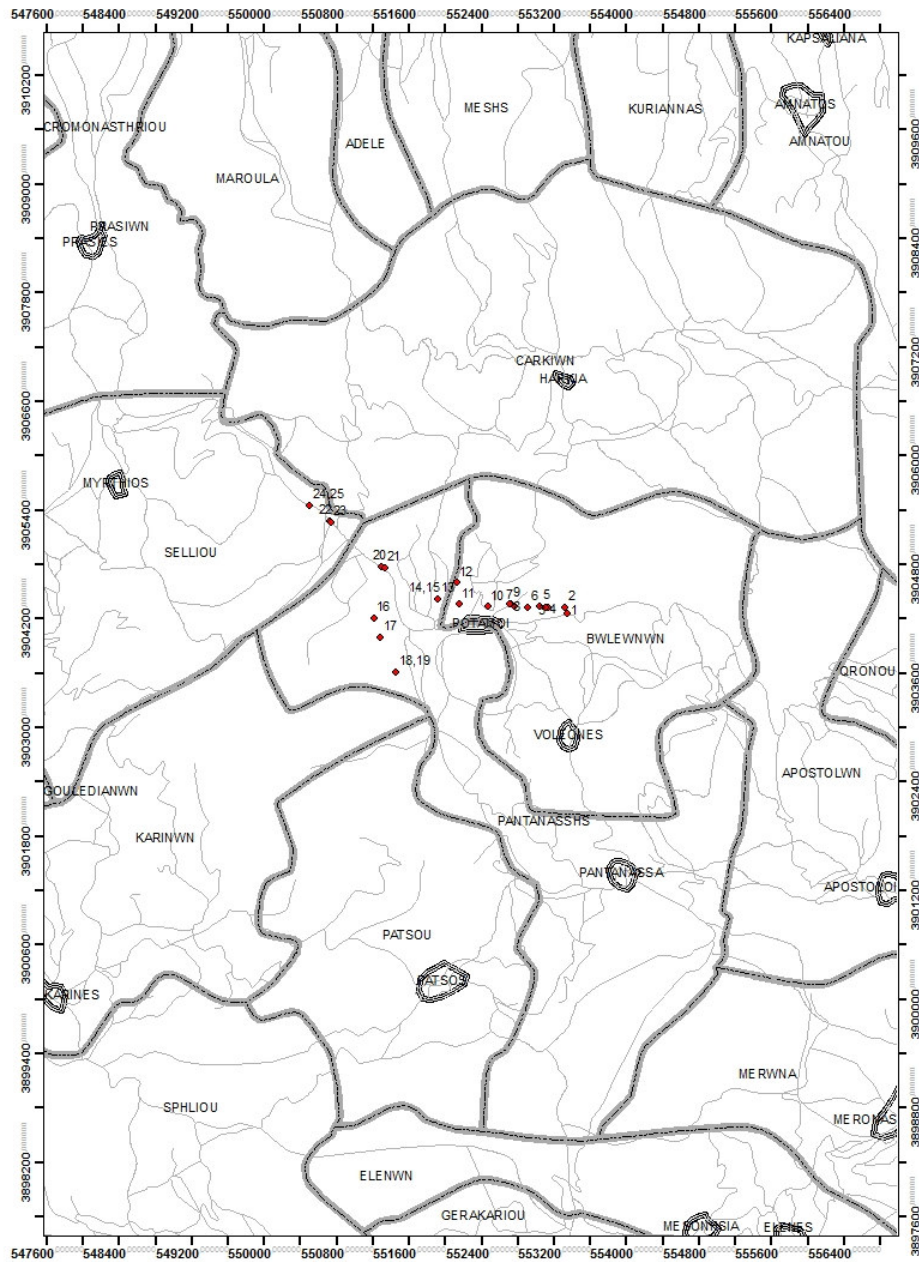
1.2 Μεθοδολογία εκπόνησης

Η μεθοδολογία εκπόνησης της εργασίας περιλαμβάνει:

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

1.3 Γεωγραφική θέση και περιγραφή της ευρύτερης περιοχής

Η περιοχή του φράγματος των Ποταμών (Σχ. 1.1), η οποία εξετάστηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, βρίσκεται στο κέντρο του νομού Ρεθύμνης, στους δήμους Βολεώνων και Παντάνασσας.



Σχήμα 1.1 Θέση της περιοχής που εξετάστηκε

1.4 Γενικά στοιχεία για το κλίμα της Κρήτης

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

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

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

Κύρια χαρακτηριστικά του κλίματος στο νησί είναι:

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

2 ΓΕΝΙΚΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 Γεωμορφολογικά στοιχεία

Η πλειονότητα των στοιχείων που παρατίθενται στο συγκεκριμένο κεφάλαιο προέρχεται από τον Οργανισμό Ανάπτυξης Δυτικής Κρήτης και συγκεκριμένα από την γεωλογική μελέτη του Φράγματος των Ποταμών.

Στην ευρύτερη περιοχή δεσπόζει ο ορεινός όγκος του Ψηλορείτη (2,456 μ.) και του Κέδρους (1,777 μ). Η λεκάνη απορροής αναπτύσσεται στους βόρειους πρόποδες των όγκων. Το ανάγλυφο της λεκάνης είναι ορεινό και τραχύ με κλίσεις φυσικών πρανών.

Πρόκειται γενικά για εσωτερική, σχεδόν κλειστή, λεκάνη, η οποία από τις Πρασσές και βορειότερα συνδέεται με τη θάλασσα μέσω στενής και απότομης χαράδρας (φαράγγι Σφακορούακο), μήκους 5χλμ. και βάθους 300μ. περίπου.

Από τη μορφολογική εικόνα της λεκάνης συνάγεται το συμπέρασμα ότι η περιοχή στη σχετικά πρόσφατη γεωλογική περίοδο (Τεταρτογενές) αποτέλεσε για βραχύ χρονικό διάστημα σχεδόν κλειστή λεκάνη, που στην συνέχεια συνδέθηκε με την θάλασσα μέσω του διανοιχθέντος από την διάβρωση φαραγγιού, το οποίο τέμνει παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθους.

Στο υψόμετρο 600-700μ. περίπου διαμορφώνεται –κυρίως στην ανατολική πλευρά (περιοχή Μονής Αρκαδίου) – αλλά και στο κέντρο της λεκάνης (περιοχή Μονής Βένης) επίπεδη διαβρωσιγενή επιφάνεια, η οποία πρέπει να σχηματίστηκε α) μετά την απόθεση των μειοκαινικών αποθέσεων και β) μετά την ανύψωση λόγω τεκτονικών κινήσεων των αποθέσεων αυτών σε υψόμετρο μεγαλύτερο των 600μ., περί το τέλος του Πλειόκαινου ή στις αρχές του Πλειστόκαινου. Γι' αυτό η δημιουργία του φαραγγιού των Πρασσών είναι νεότερη της παλαιομορφολογικής επιφάνειας των 600-700μ. Γενικά, η σημερινή μορφολογική εικόνα της λεκάνης είναι αποτέλεσμα κυρίως διαβρωτικών διεργασιών.

Η περιοχή του ταμιευτήρα είναι λοφώδης έως ορεινή και γενικά έχει ισχυρές κλίσεις φυσικών πρανών. Η κοιλάδα του ταμιευτήρα αποτελείται από δύο κυρίως κλάδους, τον νότιο στη ρεματιά των Κεφαλόβρυσσων και τον ανατολικό στην κυρίως ρεματιά της λεκάνης (Αποστολόρεμα), οι οποίοι περί τα 500 μέτρα ανάντη του άξονα του φράγματος ενώνονται μεταξύ τους, σχηματίζοντας μια ενιαία κοιλάδα. Η κοιλάδα στην περιοχή του ταμιευτήρα είναι σχετικά ανοιχτή, πράγμα που οφείλεται αφ' ενός στην σχετική ευαισθησία των γεωλογικών σχηματισμών (Νεογενές) στους παράγοντες της αποσάθρωσης και της

διάβρωσης και αφ' ετέρου στο γεγονός ότι προ της διάνοιξης του φαραγγιού στις Πρασσές (Σφακορούακο) η περιοχή αποτέλεσε μάλλον για μικρή χρονική περίοδο σχεδόν κλειστή λεκάνη που αποστραγγίστηκε με την διαβρωσιγενή διάνοιξη του φαραγγιού.

Στο γεγονός αυτό οφείλεται η σχετικά μικρή κατά μήκος κλίση των κυρίως ρεμάτων. Η μικρή αυτή κλίση συνεπάγεται και μικρή μεταφορική ικανότητα των νερών με φερτές ύλες (συρόμενες). Η εγκάρσια κλίση των φυσικών πρανών αντικατοπτρίζει τον βαθμό ανθεκτικότητας των πετρωμάτων στην αποσάθρωση-διάβρωση. Έτσι, οι ασβεστόλιθοι δίδουν σχεδόν κατακόρυφα πρανή, οι φυλλίτες-χαλαζίτες ελαφρώς ηπιότερα και τα κροκαλοπαγή του Μειόκαινου επίσης απότομα πρανή. Πολύ ηπιότερα πρανή δίδουν οι μάργες του Μειόκαινου.

Στη ρεματιά προς το χωριό Βολεώνες στην αριστερή όχθη, που αποτελείται από κροκαλοπαγή του Νεογενούς, υπάρχουν παλιές επιφανειακές καταπτώσεις που οφείλονται στην υποσκαφή του πρανούς από ρέοντα νερά της ρεματιάς σε παλαιότερη περισσότερο υγρή εποχή. Γενικά η λεκάνη του ταμειυτήρα, είναι αποτέλεσμα καθαρά μορφογενετικών (διαβρωσιγενών) διεργασιών και όχι τεκτονικών.

2.2 Στρωματογραφικά στοιχεία

Η γεωλογική- τεκτονική δομή της Κρήτης είναι πολύπλοκη. Γενικά, είναι αποδεκτό ότι η Κρήτη αποτελείται από:

- ένα αυτόχθονο σύστημα σχηματισμού
- ένα αλλόχθονο σύστημα, που είναι επωθημένο πάνω στο αυτόχθονο και
- νεότερες (μεταλπικές) αποθέσεις του Νεογενούς και Τεταρτογενούς.

Η διάκριση και τοποθέτηση των λιθολογικών σειρών σ' ένα από τα συστήματα αυτά είναι ιδιαίτερα δύσκολη λόγω της ομοιότητας των σχηματισμών π.χ. ασβεστόλιθοι, δολομίτες, με ελάχιστα απολιθώματα ή ημιμεταμορφωμένοι φυλλίτες, σχιστόλιθοι που μπορεί να ανήκουν από το Πέρμιο μέχρι και το Ιουρασικό.

Γενικά, πάντως, στο αυτόχθονο σύστημα τοποθετείται η ημιμεταμορφωμένη σειρά των “ πλακωδών” ασβεστολίθων γνωστή και σαν Ιόνιος ζώνη, σειρά Ίδης και πρόσφατα ενότητα Μάνης.

Λιθολογικά αποτελείται από μεσοστρωματώδεις έως και συμπαγείς ασβεστόλιθους, δολομίτες, ασβεστολιθικά κροκαλοπαγή και φυλλιτικές - χαλαζιτικές παρεμβολές.

Οι φυλλίτες και χαλαζίτες, στρωματογραφικά τοποθετούνται στο ανώτερο παλαιοζωικό (Πέρμιο), ενώ οι ασβεστόλιθοι στο Κατ. Ιουρασικό- Ηώκαινου.

Το αλλόχθονο σύστημα, που είναι επωθημένο πάνω στο προηγούμενο περιλαμβάνει μια σειρά από επιμέρους σειρές λεπίων, όπως :

- σειρά Τρυπαλίου: αποτελείται από μαζικούς ασβεστόλιθους και δολομίτες, οι οποίοι σαν τοπικός λιθοφασικός σχηματισμός των πλακωδών ασβεστόλιθων κατά την ορογέννεση αποκόπηκαν και επωθήθηκαν στους πλακώδεις ασβεστόλιθους. Πάντως η άποψη αυτή είναι ακόμη “ρευστή” και δεν γίνεται πλήρως αποδεκτή.
- Φυλλιτικοί –χαλαζιτικοί σειρά (λέπιο): περιλαμβάνει εναλλαγές φυλλιτών και χαλαζιτών Περιοτριάδικής ηλικίας.
- Σειρά Τριπόλεως: χαρακτηρίζεται από παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθους και δολομίτες Μεσοζωικής ηλικίας(τραδικό-Ηώκαινο).
- Σειρά Πίνδου: αποτελείται από σχιστόλιθους του Ιουρασικού ελαφρώς μεταμορφωμένους, σχιστόλιθους και κερατόλιθους, ασβεστόλιθους του Κρητιδικού και φλύσχη του τριτογενούς. Η ηλικία των σχηματισμών αυτών τοποθετείται από το Τριαδικό μέχρι και το Παλαιόκαινο.
- Σειρά οφιολίθων και κρυσταλλοσχιτοδών πετρωμάτων: περιλαμβάνει ακόμη φυλλίτες και σχιστόλιθους, ασβεστόλιθους και φλύσχη. Η ηλικία τους τοποθετείται στο Παλαιοζωικό και Μεσοζωικό.

Το αλλόχθονο σύστημα αποτελείται γενικά από σειρές (ενότητες) που αποκόπηκαν από ζώνες ανατολικότερα της ζώνης των πλακωδών ασβεστόλιθων (Ιόνιος ζώνη) – που αποτελεί το αλλόχθονο σύστημα- όπως π.χ. ζώνη Τριπόλεως, Πίνδου, Ανατολικής Ελλάδας, αλλά κι από την ίδια την αυτόχθονη Ιόνιο ζώνη, όπως η σειρά Τρυπαλίου και των Φυλλιτών-χαλαζιτών και επωθήθηκαν υπό μορφή τεκτονικών λεπίων πάνω στην αυτόχθονη σειρά.

Επειδή το παραπάνω μοντέλο της γεωλογικής δομής της Κρήτης δεν είναι οριστικά αποδεκτό, αλλά και επειδή α) ακόμα και αν αυτό σε γενικές γραμμές αληθεύει, είναι ιδιαίτερα δύσκολη η ακριβής τοποθέτηση μιας εμφάνισης ασβεστόλιθων ή σχιστολίθων σε κάποια από τις σειρές που αναφέρθηκαν, β) η μεταμόρφωση συνήθως επιζωνική είναι δυναμική και έχει επηρεάσει τους σχηματισμούς ανάλογα με την τοπική καταπόνηση που δέχτηκαν και όχι τόσο ανάλογα με την ηλικία τους και τη γεωτεκτονική ζώνη στην οποία ανήκουν.

Η γενική εικόνα (Σχ. 2.1) που επικρατεί είναι η εξής (από τα παλαιότερα προς τα νεώτερα):

- φυλλίτες-χαλαζίτες με παρεμβολές σωμάτων ή οριζόντων (τεμάχη) ασβεστολίθων με ασαφή σχέση μεταξύ τους ως προς το εάν αυτοί είναι ιζηματογενής ή τεκτονική.

- ασβεστόλιθοι –δολομίτες που βρίσκονται συνήθως πάνω στους φυλλίτες-χαλαζίτες -κροκαλοπαγή, ψαμμίτες και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι του νεογενούς που βρίσκονται επικλυσιογενώς πάνω στους προηγούμενους σχηματισμούς.

- Σύγχρονες προσχωματικές αποθέσεις.

Ο ταμιευτήρας στο μεγαλύτερο μέρος του αποτελείται από αδρομερή, μετρίως συγκολλημένα κροκαλοπαγή του Μειόκαινου και σε μικρότερο από φυλλίτες-χαλαζίτες του Παλαιοζωικού. Στα δύο άκρα (ουρές) του ταμιευτήρα εμφανίζονται και μεσοζωικοί ασβεστόλιθοι, οι οποίοι μάλιστα στην περίπτωση του Αποστολορέματος δημιουργούν και κινδύνους διαφυγών. Τοπικά πάνω στα κροκαλοπαγή παρατηρούνται λεπτοστρωματώδεις ψαμμιτικοί ασβεστόλιθοι μικρού πάχους (1-2 μ.), που αποτελούν ένα είδος επίπαγου.

Στα χαμηλά τμήματα της μικρής κοιλάδας του ρέματος Κεφαλόβρυσσα κάτω από τα κροκαλοπαγή επικρατούν αργλικές μάργες και ιλύολιθοι χρώματος τεφροκύανου, στις οποίες περαμβάλλονται και λεπτές ενστρώσεις λιγνίτη.

Στη κοίτη των χειμάρων επικρατούν αδρομερείς αποθέσεις κροκαλών χαλικιών και άμμου, πάχους μέχρι 12μ. περίπου. Οι κροκάλες είναι ως επί το πλείστον γνευσιακές, χαλαζιτικές και προέρχονται από τη διάβρωση όχι μόνο της φυλλιτικής- χαλαζιτικής σειράς αλλά και των χαλαρών κροκαλοπαγών του Νεογενούς.

2.3 Μεταλλική τεκτονική

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

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

Η τεκτονική κατά την διάρκεια του Νεογενούς για την περιοχή της Κρήτης είναι κυρίως εφελκυστική με πιθανά διαλείμματα συμπιεστικών φάσεων. Από το Μειόκαινο έως

σήμερα δύο μεγάλα γεωδυναμικά γεγονότα καθορίζουν την γεωλογική εξέλιξη της Κρήτης: η σύγκλιση Αφρικής και Ευρασίας και της διαφυγής της μικροπλάκας της Ανατολίας προς τα νοτιοδυτικά. Τρεις μεγάλες ομάδες ρηγμάτων προέκυψαν από τις εφελκυστικές φάσεις που έπληξαν την Κρήτη από το Μειόκαινο έως σήμερα.

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

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

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

Όσον αφορά την περιοχή που μελετήθηκε (Σχ. 2.1):

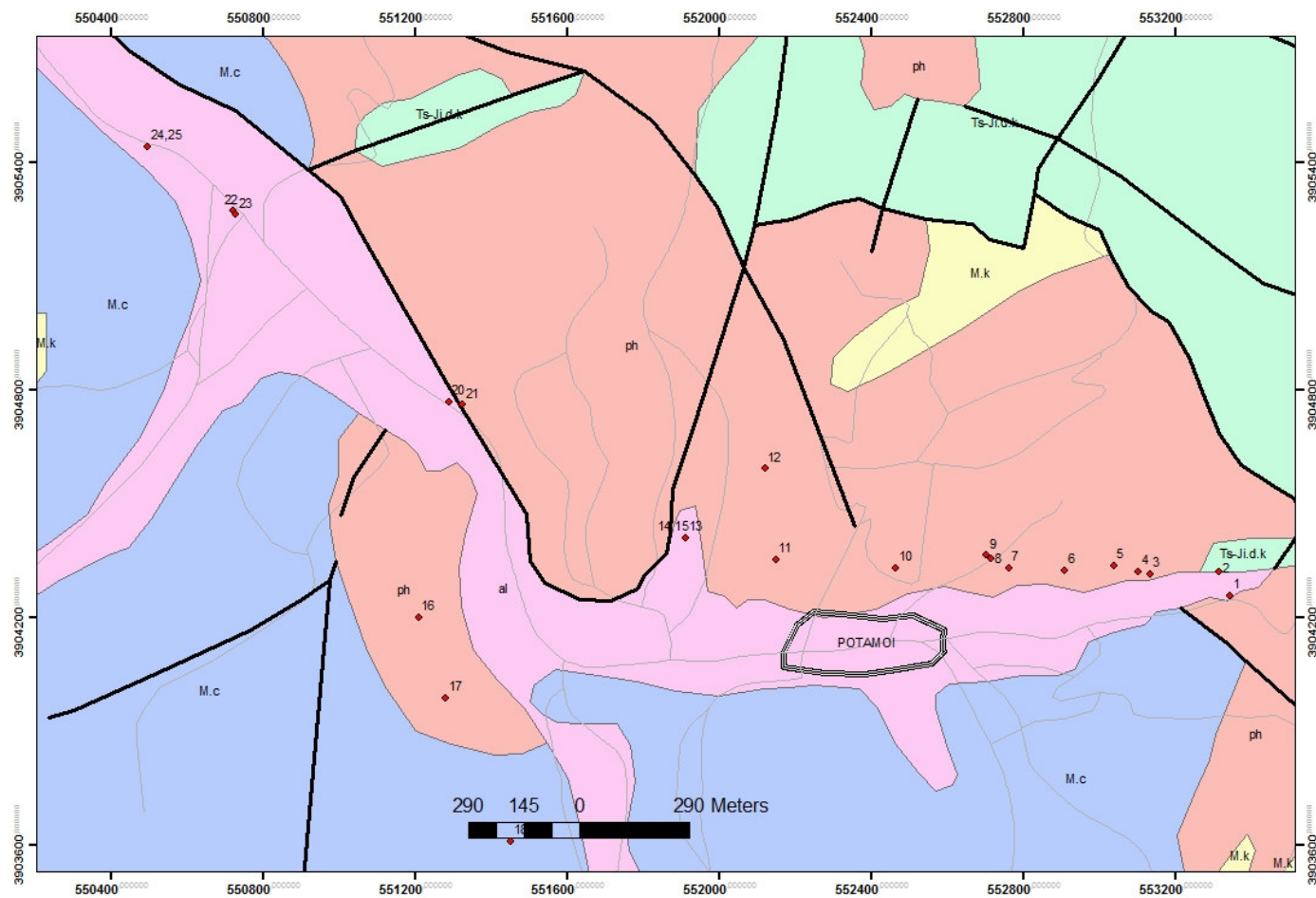
Η διεύθυνση της σχιστότητας της φυλλιτικής- χαλαζιτικής σειράς είναι γενικά Β-Ν έως ΒΑ-ΝΔ και η κλίση της γενικά ανατολική με γωνία 25° - 35° . Οι φυλλίτες-χαλαζίτες τέμνονται από δύο συστήματα διακλάσεων, από τα οποία το πρώτο έχει διεύθυνση Β-Ν και κλίση 66° προς Α και το δεύτερο έχει διεύθυνση Α-Δ και κλίση 74° προς Β.

Η σχιστότητα γενικά συμπίπτει με την αρχική στρώση των πετρωμάτων, τα οποία προτού υποστούν τη μεταμόρφωση αποτελούσαν ιζήματα και συγκεκριμένα αργιλικούς σχιστόλιθους, μάργες και ψαμμίτες. Με τη μεταμόρφωση οι ψαμμίτες μεταμορφώθηκαν σε χαλαζίτες και οι αργιλικοί σχιστόλιθοι και οι μάργες σε φυλλίτες.

Σύνηθες φαινόμενο αποτελεί η ύπαρξη μικροπτυχών, στολιδώσεων και μικροεπιπεύσεων, κυρίως στην επαφή των άκαμπτων στρωμάτων (χαλαζίτες) με τα εύκαμπτα (φυλλίτες και κυρίως γραφιτικοί σχιστόλιθοι).

Στις ζώνες αυτές το πέτρωμα γενικά είναι τεκτονικά καταπονημένο και διατμημένο και συνήθως μυλωνιτωμένο σε πάχος 2-10εκ. Τέτοιου είδους ευαίσθητες ζώνες, πάντως, συνήθως δεν έχουν μεγάλη ανάπτυξη, όχι μόνο σε πάχος αλλά ούτε και σε μήκος.

Ζώνες γραφιτικών σχιστολίθων έντονα αξαλλοιωμένων και μυλωνιτωμένων μπορεί να φθάσουν τοπικά και το πάχος των 2-3μ. Τα στρώματα των νεογενών βρίσκονται σχεδόν σε οριζόντια θέση.



Σχήμα 2.1 Γεωλογικός χάρτης της περιοχής του φράγματος των Ποταμών όπου παρουσιάζονται οι κυριότεροι γεωλογικοί σχηματισμοί, τα ρήγματα και το υδρογραφικό δίκτυο.

Επεξήγηση συμβόλων: al-Αλλουβιακές αποθέσεις, M.m and M.k-, Μειοκαινικές αποθέσεις, ph-φυλλίτες και χαλαζίτες, Ts-Ji.d.k-ασβεστόλιθοι

2.4 Υδρογεωλογικά στοιχεία

Υδρολιθολογία

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί από λιθολογικής άποψης διακρίνονται σε σχηματισμούς με :

- Πολύ χαμηλή περατότητα(υδροπερατοί)
- Μέτρια περατότητα(ημιπερατοί) και
- Χαμηλή έως μηδενική περατότητα(σχεδόν αδιαπέρατοι)

Στην κατηγορία με πολύ υψηλή υδροπερατότητα ανήκουν οι ασβεστόλιθοι και οι δολομίτες, που λόγω κερματισμού και κυρίως καρστικότητας, επιτρέπουν την ταχεία κυκλοφορία νερού μέσω διακλάσεων, διαρρήξεων, ρωγμών, εγκοίλων, σπηλαίων κλπ. Στο γεγονός αυτό οφείλεται η ύπαρξη σημαντικών καρστικών πηγών στην ευρύτερη περιοχή, όπως η πηγή Κεφαλόβρυσσα στην άκρη της ουράς του ταμιευτήρα, η πηγή Κόκκινη Ρίζα στα κατάντη του φράγματος και μια σειρά πηγών στ' ανάντη των χωριών Παντάνασσα και Πατσός.

Οι ασβεστόλιθοι της ευρύτερης περιοχής αποτελούν ένα “γυμνό Κάρστ”, ή “Ολοκάρστ” που χαρακτηρίζεται από μεγάλο αριθμό καταβοθρών και δολινών, κυρίως στο υψίπεδο της Μονής Αρκαδίου στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης.

Το επίπεδο βάσης της καρστικοποίησης διαφέρει από θέση σε θέση. Έτσι, π.χ. στους ασβεστολιθικούς ορεινούς όγκους – στο νότιο όριο του υδροκρίτη (νοτίως Πατσού και της Παντάνασσας) – επίπεδο βάσης αποτελούν οι αδιαπέρατοι σχιστόλιθοι και φυλλίτες πάνω στους οποίους αυτοί είναι επωθημένοι (ασβεστόλιθοι ζώνης Τριπόλεως). Το ίδιο ισχύει και για την νοτιοδυτική άκρη του ταμιευτήρα αλλά και για την ανατολική πλευρά της λεκάνης.

Η κλίση της επαφής των ασβεστολίθων με το αδιαπέρατο υποκείμενο σχιστολιθικό-φυλλιτικό σύστημα καθορίζει την κατεύθυνση της υπόγειας ροής των υπόγειων καρστικών υδάτων.

Στην περιοχή, βόρεια της εισόδου του φαραγγιού των Πρασσών (Σφακορύακο), επίπεδο της καρστικοποίησης αποτελεί γενικά το επίπεδο της θάλασσας. Βέβαια, οι καρστικοί αγωγοί μπορεί να βρίσκονται και σε υψόμετρο 80-100μ. χαμηλότερα λόγω της αυξομοίωσης της στάθμης κατά την διάρκεια του Τετερτογενούς, αλλά και λόγω τεκτονικών κινήσεων.

Γι' αυτό στους ασβεστόλιθους αυτούς η καρστική υδροφορία πρέπει να αναμένεται σε βάθος ακόμη μεγαλύτερο και από αυτό της θάλασσας.

Στους σχηματισμούς μεγάλης περατότητας ανήκουν και οι αλλουβιακές αποθέσεις ένθεν της κοίτης των χειμάρρων. Πρόκειται για χαλαρές αποθέσεις κροκαλών, χαλικών και άμμου. Βέβαια, το πάχος των αποθέσεων αυτών είναι μικρό και ως εκ τούτου η υδροαποθεματική τους ικανότητα είναι γενικά μικρή.

Πάντως, στις αποθέσεις αυτές στις οποίες αναπτύσσεται προσχωματικός υδροφορέας, στην περιοχή μεταξύ του φράγματος και της εισόδου του φαραγγιού Πρασών είναι διανοιγμένα οκτώ-εννιά (8-9) πηγάδια, από τα οποία αρδεύονται ετησίως περί τα 80,000-100,000μ³ νερό.

Στους σχηματισμούς μέτριας περατότητας εντάσσονται οι αποθέσεις του Νεογενούς, που αποτελούνται από κροκαλοπαγή, συνδεδεμένα με άμμο, ιλύ και άργιλο και από χαλαρούς ψαμμίτες.

Τα κροκαλοπαγή δίνουν κατ' αρχήν την εντύπωση ότι πρέπει να είναι σε μεγάλο βαθμό υδροπερατά, πράγμα όμως, που δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα κι αυτό γιατί α) η συμμετοχή αμμοϊλύος είναι μεγαλύτερη απ' ότι φαίνεται επιφανειακά, γιατί αποπλύνεται, επιτρέποντας έτσι την φαινομενική επικράτηση των αδρομερών συστατικών (κροκάλες) και β) συχνά και σε μικρό βάθος παρεμβάλλονται μάργες που ανακόπτουν την διήθηση.

Έτσι, παρά την φαινομενική αδρομερή σύσταση των κροκαλοπαγών, η υπόγεια υδροφορία είναι γενικά ασθενής, πράγμα επιβεβαιωμένο κι από την γεώτρηση στην περιοχή Βολεώνων, που έχει παροχή περί τα 10μ³/ώρα.

Εκεί όπου τα κροκαλοπαγή κάθονται στους φυλλίτες εκδηλώνονται τοπικά πηγές επαφής, όπως η πηγή Δάφνη και τα κατάντη της διακλάδωσης του δρόμου προς Μύρθιο.

Τέλος, το σύστημα των φυλλιτών-χαλαζιτών είναι σαν σύνολο σχεδόν αδιαπέρατο. Στους χαλαζίτες- όταν αυτοί είναι κερματισμένοι- είναι δυνατή η δημιουργία ασθενούς επικρεμάμενης υδροφορίας, συνήθως παροδικής. Η κλίση της επαφής των φυλλιτών-χαλαζιτών με τους υπερκείμενους ασβεστόλιθους ή και τα κροκαλοπαγή, καθορίζει την κατεύθυνση ροής(κυκλοφορία) των υπόγειων υδάτων.

Υδρολογία

Γενικά

Σκοπός της υδρολογικής ανάλυσης είναι βασικά ο υπολογισμός του υδατικού ισοζυγίου.

Ειδικότερα μ αυτήν επιδιώκεται η εκτίμηση της επιφανειακής απορροής και της υπόγειας διήθησης που τροφοδοτεί τους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες.

Βροχοπτώσεις

Βροχομετρικοί σταθμοί λειτουργούν στην πόλη του Ρεθύμνου και στο χωριό Βολεώνες μέσα σε λεκάνη, ενώ έχουν εγκατασταθεί από τη ΓΜΕ και στα χωριά Μελιδόνι, Αγ.Μάμμα (Επαρχία Μυλοποτάμου) και Ρούστικα και Μυριοκέφαλο (Επαρχία Ρεθύμνου). Είναι φανερό ότι ο σημαντικότερος σταθμός για την περιοχή είναι αυτός των Βολεώνων.

Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής έχει ως εξής:

Σταθμός	Υψόμετρο	Μέσο ετήσιο ύψος βροχής
1. Ρέθυμνο	16μ.	605 χιλιοστά
2. Βολεώνες	260μ.	1.170 χιλιοστά

Από τα υψόμετρα των σταθμών και τα ύψη βροχής των δύο σταθμών προκύπτει η εξής σχέση υψόμετρου/ ύψους βροχής:

$$\text{Ύψος βροχής} = 600 + 1,4 \cdot \text{Υψόμετρο}$$

Που σημαίνει ότι α) κάθε 100μ. αυξάνεται η βροχή κατά 140 χιλιοστά και β) στην λεκάνη μελέτης με μέσο υψόμετρο 500μ. αντιστοιχεί ύψος βροχής ίσο προς $600 + 1,4 \cdot 500 = 1.350$ χιλιοστά.

Φρονούμε ότι η συσχέτιση αυτή- που συνηθίζεται βέβαια στην υδρολογία- είναι κάπως παρακινδυνευμένη, γιατί στην Κρήτη – όπου η μορφολογία είναι ιδιαίτερα πολυσχιδής, τόσο οριζόντια όσο και κατακόρυφα – το ύψος βροχής επηρεάζεται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τις τοπικές ορογραφικές συνθήκες, με αποτέλεσμα την ύπαρξη “Ομβροπλευρών” και “Ομβροσκίων” σε μικρή απόσταση μεταξύ τους.

Το ύψος βροχής, εκτός από την ορογραφία, επηρεάζεται σημαντικά κι από τη γεωγραφική θέση, δεδομένου ότι είναι βεβαιωμένο ότι αυξάνεται προς τα δυτικά της Κρήτης και μειώνεται προς τα ανατολικά.

Από τον συσχετισμό του ύψους βροχής των δύο ζευγών σταθμών που εγκαταστάθηκαν από τη ΓΜΕ (1984-1988), προκύπτει ότι στην περιοχή του Περάματος (ανατολική περιοχή) ο σταθμός Μελιδόνι, με υψόμετρο 120μ., έχει μέσο ετήσιο ύψος βροχής 777 χιλιοστά και ο σταθμός Αγίου Μάμμα, με υψόμετρο 440μ., 894 χιλιοστά, δηλαδή ύψος βροχής $= 600 + 0,55 \cdot \text{υψόμετρο}$ (σε υψόμετρο 500μ. αντιστοιχεί βροχή ίση προς 870 χιλιοστά), ενώ στη δυτική περιοχή, στο σταθμό Ρούστικα, με υψόμετρο 300μ., η βροχή ανέρχεται σε 1,178 χιλιοστά και στο Μυριοκέφαλο, με υψόμετρο 500μ. σε 1,699 χιλιοστά, ήτοι ύψος βροχής $= 750 + 1,6 \cdot \text{υψόμετρο}$ (σε υψόμετρο αντιστοιχεί βροχή ίση προς 1,550 χιλιοστά). Είναι εντυπωσιακή η αύξηση της βροχής από τα ανατολικά προς τα δυτικά.

Δεδομένου ότι η λεκάνη του υπό μελέτη φράγματος βρίσκεται περίπου ενδιάμεσα των παραπάνω δύο περιοχών και έχει μέσο υψόμετρο 500μ. περίπου, προκύπτει μέσο ετήσιο ύψος βροχής ίσο προς $(870+1,550):2=1,210$ χιλιοστά.

Γενικά, από την παραπάνω ανάλυση, συνάγεται το συμπέρασμα ότι το μέσο ετήσιο ύψος βροχής για ολόκληρη τη λεκάνη είναι υψηλό και κυμαίνεται μεταξύ 1,210 και 1,427 χιλιοστών, ή μέσο όρο 1,300 χιλιοστά.

Το ετήσιο ελάχιστο ύψος βροχής στον σταθμό των Βολεώνων ανέρχεται σε 845 χιλιοστά, που για ολόκληρη τη λεκάνη με μέσο υψόμετρο 500μ. αντιστοιχεί σε: $1,210:1,170=1,034*845=873$ χιλιοστά και το ετήσιο μέγιστο, που είναι 1,945 χιλιοστά σε 2,011 χιλιοστά.

Σύμφωνα με τα παραπάνω έχουμε:

- μέσο ετήσιο ύψος βροχής για ολόκληρη τη λεκάνη: 1,300 χλς.
- Ελάχιστο “ “ “ “ “ “ : 8.73 “
- Μέγιστο “ “ “ “ “ “ : 2,011 “

Σ ότι αφορά την μηνιαία κατανομή των βροχοπτώσεων, το 93,5% του ετήσιου όγκου βροχής πέφτει στο εξάμηνο Νοεμβρίου- Απριλίου, ενώ η υπόλοιπη περίοδος είναι σχεδόν άνοβρη.

Συγκεκριμένα τα μηνιαία ύψη βροχής έχουν ως εξής:

													Π
,4	,0	2,2	8,4	3,8	4,8	2,1	,0	,8	,3	,1	,1	ΟΣΟΣ ΤΟ	
8,0	4,5	42,8	13,2	79,0	74,0	42,0	8,0	1,0	6,0	,0	,0	ΙΛΙΟΣ ΤΑ	Χ

Ο μέσος ετήσιος αριθμός ημερών βροχής φθάνει τις 69,7 μέρες. Το μέγιστο ύψος βροχής 24/ ώρου ανέρχεται σε 110 χιλιοστά.

Με εμβαδόν της λεκάνης του φράγματος $60,25\text{χλμ.}^2$ και με ετήσιο ύψος βροχής 1.300 χιλιοστά προκύπτει ετήσιος όγκος βροχής ίσος προς $60,25*10^6*1,3=78,32*10^6\text{μ}^3$.

Απορροή- Εξατμισοδιαπνοή-Κατείδυση

Η επιφανειακή απορροή μιας λεκάνης –πέρα από το ύψος βροχής εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό κι από την ένταση των βροχοπτώσεων, τη μορφολογία της λεκάνης (απότομες κλίσεις φυσικών πρανών), τη γεωλογία (υδροπερατοί, αδιαπέρατοι σχηματισμοί), τη βλάστηση, κ.α.

Στην λεκάνη ενδιαφέροντος η απορροή αποτελείται από αμιγή νερά πλημμυρών και από υπόγεια νερά (απορροή βάσης) και συγκεκριμένα από εκροές πηγών, τα νερά των οποίων καταλήγουν στην κοίτη.

Το τελευταίο αφορά βασικά τον κλάδο του ρέματος Κόκκινη Ρίζα που συνεχίζει, όμως, μέχρι κοντά την είσοδο του φαραγγιού των Πρασσών. Έτσι, η κοίτη στη θέση φράγματος έχει ροή σε όλη τη διάρκεια του έτους.

Σε θέση κοντά στο φράγμα γίνονται από το 1970 μηνιαίες μετρήσεις της παροχής του χειμάρρου. Η πυκνότητα των μετρήσεων κρίνεται ανεπαρκής γιατί δεν επιτρέπει τον ακριβή υπολογισμό της παροχής, επειδή ή δεν μετρούνται οι πολύ μεγάλες πλημμύρες – που συνήθως διαρκούν λίγες ώρες ή μία έως δύο μέρες – ή ενδεχομένως μετράται μια πλημμύρα και σύμφωνα με τον τρόπο υπολογισμού θεωρείται ότι ισχύει για ολόκληρο τον μήνα.

Ο ετήσιος όγκος απορροής (πλημμυρικό και βάσης) ανέρχεται σε $17,790 \cdot 10^6 \mu^3$ απορροές βάσης, δηλαδή υπογείων υδάτων, που τροφοδοτούν την κοίτη.

Με εμβαδό λεκάνης $60,250 \text{ χλμ}^2$ και μέσο ετήσιο ύψος βροχής $1,3 \mu$. ο ετήσιος όγκος νερού όλης της λεκάνης ανέρχεται σε $78,32$ και ο συντελεστής απορροής σε $17,8 \cdot 10^6 \mu^3$, από τον οποίο βάσει των διαγραμμάτων τα $11,8 \cdot 10^6 \mu^3$.

Αφορούν πλημμυρικές απορροές και τα $5,96 \cdot 10^6 \mu^3$ απορροές βάσης, δηλαδή υπογείων υδάτων, που τροφοδοτούν την κοίτη.

Η εξατμηση στην περιοχή από ελεύθερη επιφάνεια νερού εκτιμάται σε $1,000$ χιλιοστά. Στην Μύκονο και στον Μαραθώνα, όπου έγιναν σχετικές μετρήσεις ανέρχεται σε 910 και 814 χιλιοστά αντίστοιχα.

Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή με βάση τον ημιεμπειρικό τύπο του TURC:

$$E = P / 0.9(P^2/L^2) \quad \text{όπου : } P = \text{ετήσιο ύψος βροχής (1,300 χλς.)}$$

$$L = 300 + 25 \cdot T + 0,05 \cdot T^2$$

$$T = \text{θερμοκρασία (18}^0 \text{ C)}$$

Προκύπτει ίση προς 812 χιλιοστά, ήτοι το 63% των βροχοπτώσεων,

Σύμφωνα με τη μέθοδο GOUTAGNE η πραγματική πάντοτε εξατμισοδιαπνοή (E) σε μέτρα είναι ίση προς :

$$E = P - \lambda * P^2 \quad \text{όπου : } P = \text{βροχόπτωση σε } \mu (1,3 \mu.)$$

$$\lambda = 1/0,8 + 0,14T$$

$$T = \text{μέση ετήσια θερμοκρασία } 18^{\circ} \text{ C}$$

Ανέρχεται σε 0,793 μ . ή σε ποσοστό 70%.

Πάντως, οι τιμές εκ των δύο μεθόδων βρίσκονται πολύ κοντά μεταξύ τους, 812 και 793 χιλιοστά.

Με την εφαρμογή των δεικτών BURTON-PAPAKI, βάσει των οποίων στην εξατμισοδιαπνοή χάνεται το 50% της βροχής των μηνών Νοεμβρίου, Δεκεμβρίου, Ιανουαρίου, Φεβρουαρίου και Μαρτίου και το 100% των υπολοίπων μηνών, προκύπτει εξατμισοδιαπνοή ίση προς 696,5 χιλιοστά ή ποσοστό 0,59%. Η μέθοδος αυτή έχει εφαρμογή μόνο σε ασβεστολιθικές περιοχές, στις οποίες η απορροή ανέρχεται σε 10% και η κατείδυση σε 35%.

Γενικά, φρονούμε ότι το ποσοστό νερού ίσο προς 70 % των βροχοπτώσεων καταλήγει στην ατμόσφαιρα μέσω εξατμισοδιαπνοής. Η κατείδυση, στην οποία περιλαμβάνεται η αναπλήρωση της εδαφικής υγρασίας καθώς και η εδαφική συγκράτηση, σύμφωνα με τα παραπάνω ανέρχεται σε :

1,300 $\chi\lambda\varsigma$ (βροχή)-800 $\chi\lambda\varsigma$ (εξατμ/πνοή)-300 $\chi\lambda\varsigma$ (απορροή)-200 $\chi\lambda\varsigma$., που για ολόκληρη τη λεκάνη αντιστοιχεί σε όγκο νερού: $60 * 10^6 * 0,2 = 12 * 10^6 \mu^3$ νερό.

ΥΔΡΟΛΙΘΟΛΟΓΙΑ

Α) Ασβεστόλιθοι (νεοπαλαιοζωικοί- μεσοζωικοί)

Στο σύνολό τους είναι υδροπερατοί λόγω διάρρηξης και προχωρημένου βαθμού καρστίωσης. Έχουν μεγάλο υδρογεωολογικό ενδιαφέρον, κυρίως στις περιοχές που δεν ανέρχονται σ' επαφή με τη θάλασσα.

Β) Σχιστόλιθοι- φυλλίτες- χαλαζίτες (νεοπαλαιοζωικοί – μεσοζωικοί)

Στο σύνολό τους είναι αδιαπέρατοι. Τοπικά μόνο είναι υδροπερατοί λόγω κερματισμού.

Γ) Κροκαλοπαγή του Νεογεννούς

Είναι μετρίως υδροπερατά και τοπικά υδροπερατά ή και στεγανά ανάλογα με τη συμμετοχή ή παρεμβολή αργιλικών και μαργαϊκών συστατικών, όπου η συμμετοχή των μαργών υπερτερεί, ο σχηματισμός είναι αδιαπέρατος.

Δ) ΠΡΟΣΧΩΣΕΙΣ ΠΟΤΑΜΩΝ

Οι αποθέσεις των ποταμών της περιοχής της περιοχής της κοίτης είναι γενικά σε μεγάλο βαθμό υδροπερατές λόγω της επικράτησης των αδρομερών υλικών (ευμεγέθεις κροκάλες και χαλίκια). Η υδρογεωλογική τους σημασία όμως, είναι σχετικά μικρή λόγω του μικρού πάχους και κατ επέκταση της μικρής υδροαποθηκευτικής ικανότητας.

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 μαγνήτισής τους ακόμα και όταν αυτό παύσει να υφίσταται. Με θέρμανση πάνω από την θερμοκρασία Curie, την κρίσιμη θερμοκρασία μετατροπής ενός σιδηρομαγνητικού υλικού σε παραμαγνητικό, τα σιδηρομαγνητικά υλικά χάνουν το μόνιμο μαγνητισμό τους και μεταπίπτουν σε παραμαγνητικά. Φυσικά σιδηρομαγνητικά ορυκτά είναι ο μαγνητίτης, ο μαγνητοπυρίτης και ο μαγκεμίτης.

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

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

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

3.2 Βασικές μαγνητικές ιδιότητες

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

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

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

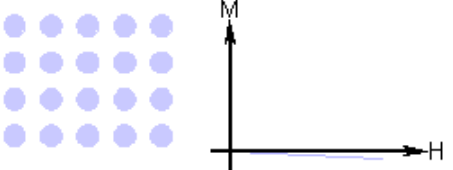
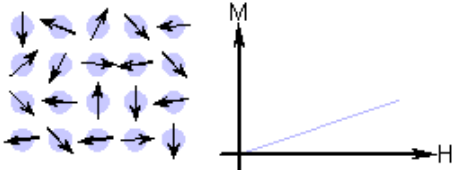
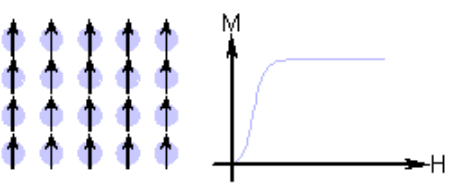
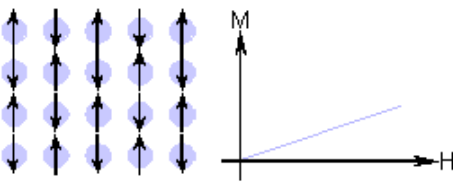
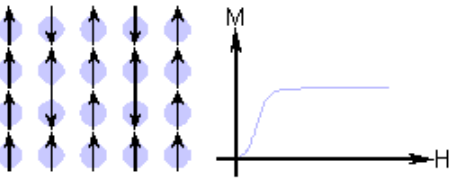
Παραμένουσα μαγνήτιση είναι η ιδιότητα των σιδηρομαγνητικών υλικών να διατηρούν τις μαγνητικές ιδιότητες τους ακόμη και κατά την απουσία εξωτερικού μαγνητικού πεδίου.

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

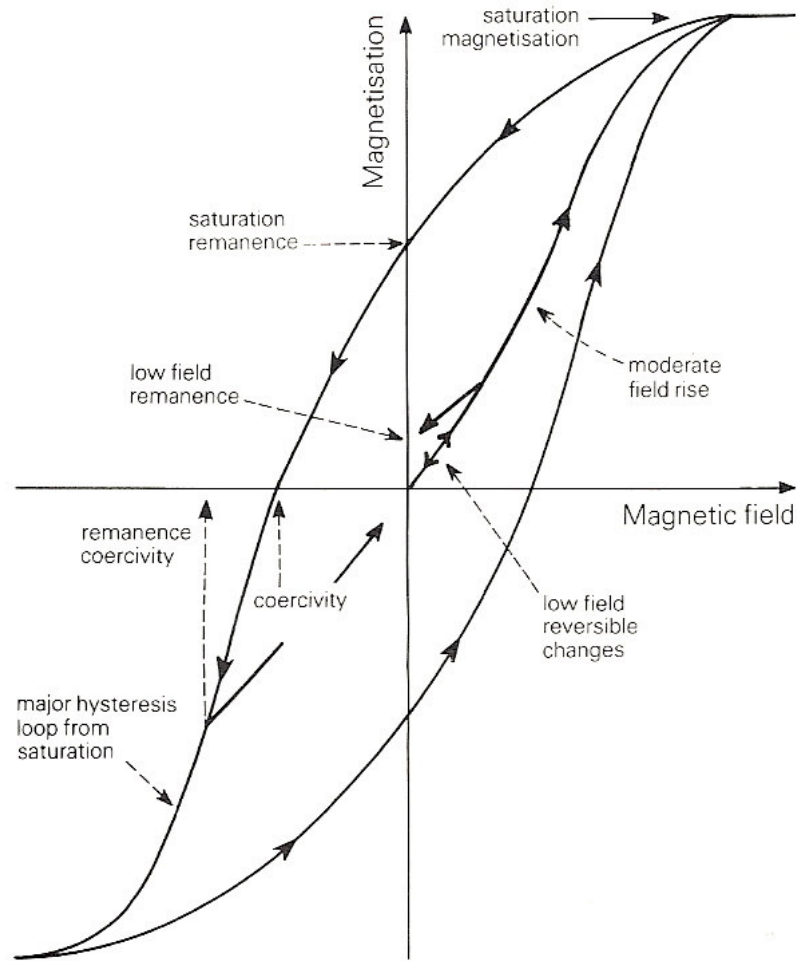
3.3 Μαγνητική υστέρηση

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

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

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

Πίνακας 3.1. Συγκεντρωτικός πίνακας όλων των τρόπων μαγνήτισης διάφορων υλικών



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

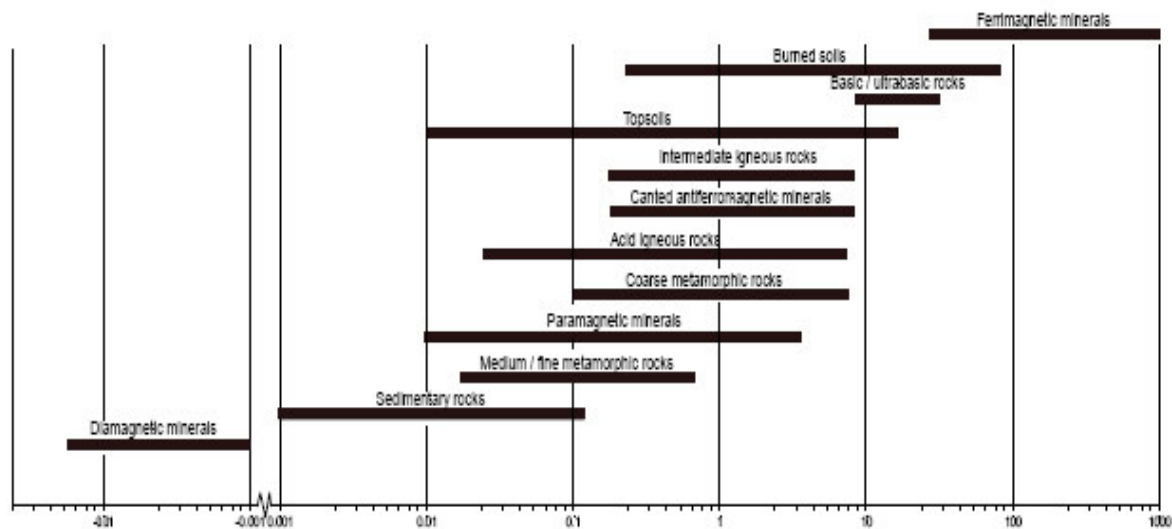
3.4 Μαγνητική επιδεκτικότητα

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

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

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

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



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

Remanence-carrying minerals ($10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$)		Other iron-bearing minerals ($10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$)		Other minerals and materials ($10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$)	
iron (∞Fe)	2×10^7	olivines ($\text{Mg, Fe}_2\text{SiO}_4$)	1→130	water (H_2O)	-0.9
magnetite (Fe_3O_4)	5×10^4	amphiboles (Mg, Fe, Al silicates)	16→100	halite (NaCl)	-0.9
maghaemite (Fe_2O_3)	4×10^4	siderite (FeCO_3)	~100	quartz (SiO_2)	-0.6
pyrrhotite (Fe_7S_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.

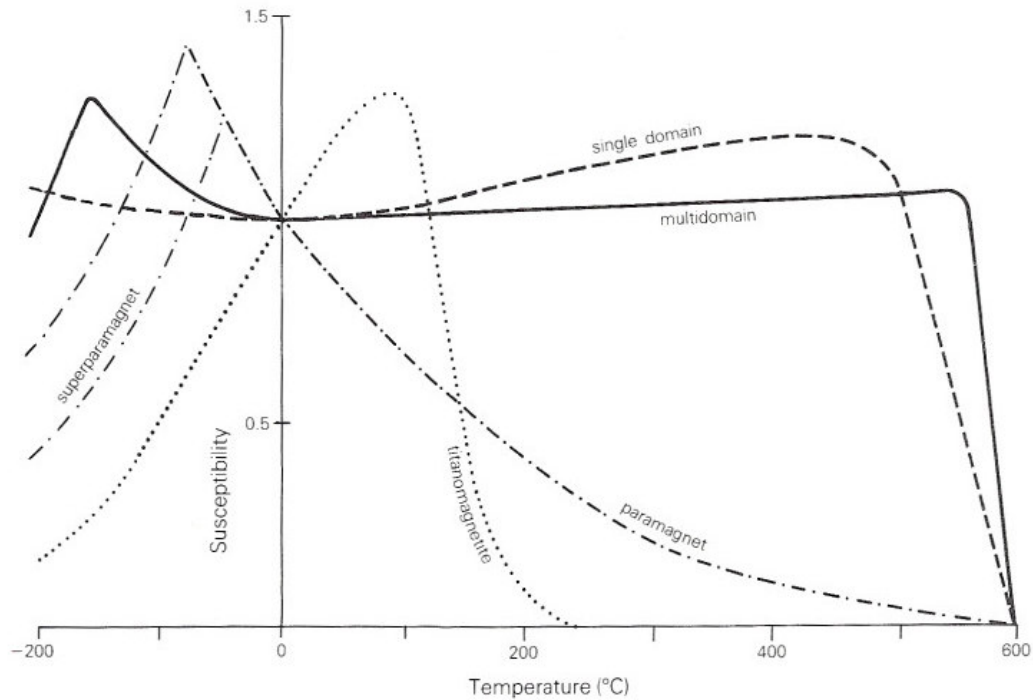
3.5 Σχέση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με την θερμοκρασία

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

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

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

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



(α)



(β)

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

3.6 Σχέση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με την συχνότητα

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

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

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

Στις χαμηλές συχνότητες η σε φάση συνιστώσα της μαγνητικής επιδεκτικότητας έχει τιμή πλησίον της πραγματικής. Καθώς όμως η συχνότητα αυξάνεται τα φαινόμενα αποκατάστασης γίνονται πιο σημαντικά και η σε φάση συνιστώσα μετά από μια μικρή αύξηση (Spoek, 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 Μαγνήτιση των ιζημάτων και διαγένεση

Οι πρώτες παλαιομαγνητικές μελέτες πραγματοποιήθηκαν σε πυριγενή πετρώματα (Delesse, 1849; Folgerhaite, 1894) και σε ψημένες αργίλους (Melloni, 1853) καθώς τα ιζήματα είναι, σχεδόν πάντα, ασθενέστερα μαγνητισμένα από τα πυριγενή πετρώματα. Τεταρτογενή ιζήματα και θαλάσσια δείγματα αναφέρονται από τους McNish και Johnson (1938) και αργότερα από τον Ising (1943). Στη συνέχεια ο Granar (1958) ανέπτυξε τις πρώτες θεωρίες σχετικά με τη διάταξη των κόκκων κατά την απόθεσή τους μέσα σε μαγνητικό πεδίο και με το γεγονός ότι αυτή η διάταξη διατηρείται και μετά την απόθεση.

Μελέτες πάνω σε χαλαρά ιζήματα πραγματοποιήθηκαν στις Ην. Πολιτείες από τους Johnson et al. (1948) και για τις Σουηδικές βάρβες από τους Griffiths (1953) και Griffiths et al. (1960). Πρωτοποριακές μαγνητικές μελέτες έγιναν από τους King (1955), Griffiths et al. (1957), Rees (1961), Griffiths et al. (1962) και Hamilton (1963) οι οποίες εδραίωσαν τις βασικές γνώσεις σχετικά με την προέλευση και τη φύση των μαγνητικών δομών στα ιζήματα. Οι παραπάνω ερευνητές έδειξαν ότι οι επιμηκυσμένοι κόκκοι, κατά την απόθεσή τους, 'επιπεδοποιούνται' στο επίπεδο στρώσης. Καθώς αυτοί οι κόκκοι τείνουν να μαγνητισθούν κατά μήκος του μεγάλου άξονά τους, η κλίση της απόθεσης αναγκαστικά περιστρέφει και την αρχική μαγνήτιση προς το επίπεδο στρώσης και με αυτό τον τρόπο ελαττώνεται η έγκλιση και δημιουργείται το 'σφάλμα της έγκλισης' με περισσότερο από 4°-5°.

Βελτιώσεις στα συστήματα δειγματοληψίας από τον Mackereth (1958, 1969) επέτρεψαν τη συλλογή αδιατάρακτων δειγμάτων γεγονός το οποίο οδήγησε στη ραγδαία εξάπλωση των παλαιομαγνητικών ερευνών και στην έρευνα των διαδικασιών που συντελούνται σε λιμναία και θαλάσσια ιζήματα καθώς και στον καθορισμό του παλαιοπεριβάλλοντος (Thompson and Oldfield, 1986). Οι πρώτες μελέτες ιζηματογενών πετρωμάτων πραγματοποιήθηκαν από τους Graham (1949) στην Αμερική και Khramov (1958) στη Ρωσία. Παρόλα αυτά η εξάπλωση των μαγνητικών μελετών συμπαγών ιζηματογενών πετρωμάτων πραγματοποιήθηκε μετά τη δημιουργία, από τον Blackett (1952), ενός νέου αστατικού μαγνητομέτρου το οποίο ήταν κατάλληλο για τη μέτρηση των ασθενώς μαγνητισμένων ιζημάτων. Έτσι, οι πρώτες μελέτες έγιναν πάνω στους κόκκινους ψαμμίτες της Μ. Βρετανίας και της Ευρώπης, ενώ στη συνέχεια οι μελέτες εξαπλώθηκαν τόσο σε

διαφορετικά γεωλογικά πετρώματα όσο και γεωγραφικά, στις διάφορες ηπείρους. Οι μελέτες αυτές αποδεικνύουν ότι αυτά τα ιζήματα περιέχουν μία μαγνήτιση την οποία αποκτούν κατά την απόθεσή τους και η οποία είναι δυνατόν να απομονωθεί από τις μεταγενέστερες μαγνητίσεις όπως είναι η ιξώδης, είτε με θερμική είτε με εναλλασσόμενου πεδίου απομαγνήτιση. Γενικά θεωρήθηκε ότι οι διαγενετικές αλλαγές ήταν πολύ μικρές ή ελάμβαναν χώρα πολύ συχνά μετά την απόθεση και έτσι δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές στο χρόνο μεταξύ της απόθεσης και της διαγένεσης. Νεότερες έρευνες αφορούσαν στο κατά πόσο η παραμένουσα μαγνήτιση της απόθεσης επηρεάζεται από το 'σφάλμα της έγκλισης'. Σύγκριση των μαγνητικών ιδιοτήτων ιζηματογενών πετρωμάτων με ίδιας ηλικίας πυριγενή πετρώματα απέδειξε ότι δεν υπάρχει τέτοια συσχέτιση, αλλά πιστεύεται ότι είναι πιθανή στα μή συνεκτικά ιζήματα. Η απουσία αυτής της επίδρασης σε πετρώδη ιζήματα υποδηλώνει ότι κάθε 'σφάλμα της έγκλισης' εξαλείφεται κατά τη διάρκεια των μετα-αποθετικών διαδικασιών κυρίως κατά τη διάρκεια της διαγένεσης. Υπάρχουν διάφοροι ορισμοί για τη διαγένεση. Οι περισσότεροι από αυτούς ικανοποιούν μερικώς τις βιο-χημικο-φυσικές διαδικασίες που περιλαμβάνει ο όρος. Θεωρητικά, οι διαγενετικές διαδικασίες περιλαμβάνουν όλα τα φυσικά και χημικά γεγονότα που επηρεάζουν τα ιζήματα από τη στιγμή της αρχικής τους απόθεσης μέχρι και τα τελευταία στάδια της τεκτονικής μεταμόρφωσής τους. Παρόλα αυτά τα όρια είναι ασαφή. Όταν οι κόκκοι αποτίθενται, αντιδρούν με το περιβάλλον τους και φυσικά και χημικά και έτσι μπορεί να θεωρηθεί ότι η διαγένεση έχει αρχίσει πριν από την απόθεση. Παρομοίως, ο διαχωρισμός μεταξύ βαθιάς διαγένεσης και των φυσικο-χημικών αλλαγών που συνοδεύουν την έναρξη της τεκτονικής παραμόρφωσης είναι περισσότερο σημασιολογικός παρά αληθινός. Και οι δύο διαδικασίες συνήθως συντελούνται ταυτόχρονα. Οι περισσότεροι ιζηματολόγοι αναγνωρίζουν δυο φάσεις διαγένεσης. Τη Νέο-διαγένεση (ή συν-διαγένεση) που περιλαμβάνει όλες τις διαδικασίες που συνοδεύουν την απόθεση και το επιφανειακό βάθος ταφής και την Ύστερη-διαγένεση (ή ανα-διαγένεση) η οποία συνδέεται με τα μεγαλύτερα βάθη ταφής. Δυστυχώς το μικρό και το μεγάλο βάθος ταφής δεν μπορεί να ποσοτικοποιηθεί γιατί είναι αδύνατον να γίνει οποιαδήποτε γενίκευση: η διαφορά μεταξύ επιφανειακής και βαθιάς διαδικασίας εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των ιζημάτων και το περιβάλλον τους. Για παράδειγμα, ανθρακικά ιζήματα μπορούν να σχηματιστούν σε βάθος λίγων εκατοστών, ενώ οι άμμοι αντίστοιχα μπορεί να φτάνουν και σε βάθη που ξεπερνούν το χιλιόμετρο.

Στα κλαστικά ιζήματα όπως είναι οι αργιλικόι σχιστόλιθοι και οι ψαμμίτες υπάρχουν τρεις διαγενετικές φάσεις. **Η πρώτη**, η οξειδοαναγωγή, συνδέεται με τη συμπαγοποίηση και την αποβολή του νερού σε ζώνες που είναι είτε αναγωγικές είτε οξειδωτικές. Πάνω από την

επιφάνεια του νερού οι συνθήκες είναι πολύ οξειδωτικές με αποτέλεσμα οργανικά και θειούχα συστατικά να αντιδρούν με το σίδηρο καταστρέφοντας κάποια από τα σιδηρομαγνητικά ορυκτά και σχηματίζοντας σουλφίδια σιδήρου τα οποία μπορεί να αντιδράσουν και να αποτεθούν ξανά κάπου αλλού. Κάτω από αυτές τις συνθήκες πολλοί μαγνητικοί κόκκοι είναι δυνατόν να χαθούν κατά τη διάρκεια παρατεταμένης διαγένεσης και η αρχική τους παραμένουσα μαγνήτιση μπορεί να μεταφέρεται από εγκλείσματα μαγνητικών κόκκων μέσα σε σχετικά αδρανείς κόκκους όπως χαλαζία και ιλμενίτη (Hounslow et al., 1995). Κάτω από την επιφάνεια, η χαμηλή συγκέντρωση οξυγόνου επιτρέπει τη διατήρηση των οργανικών ενώσεων και ο σίδηρος ενώνεται με το θείο για να σχηματίσει σιδηροπυρίτη. Συνήθως κάτω από αυτή τη φάση συντελείται η **δεύτερη φάση** της διαγένεσης η *locomorphic* όπου λαμβάνει χώρα και η κύρια διαγενετική συγκόλληση. Αυτή η συγκόλληση γίνεται συνήθως από άργιλο ή άνθρακα. Και οι δύο αυτές χημικά καθορισμένες φάσεις συνοδεύονται από αλλαγές των φυσικών ιδιοτήτων και ειδικότερα αλλαγές στο πορώδες. Γενικά η συγκόλληση μειώνει τη διαπερατότητα, ενώ κάποιες ορυκτολογικές αλλαγές όπως η δολομιτίωση, μπορεί να οδηγήσουν σε αύξηση της διαπερατότητας. Μέσα σε αυτό το σύμπλεγμα των φυσικών επιδράσεων και των ανόργανων αντιδράσεων η παρουσία οργανισμών και οργανικών υλικών παίζει πολύ σημαντικό ρόλο. Μακρο-οργανισμοί όχι μόνο διαταράσσουν τα ιζήματα με τις κινήσεις τους, αλλά συγχρόνως θρυμματίζουν τα υλικά τα οποία διαλύονται. Ζωντανοί οργανισμοί μπορούν επίσης να οδηγήσουν στο σχηματισμό και σε αλλαγές της μαγνητικής ορυκτολογίας. Για παράδειγμα το βακτηρίδιο *Desulfovibrio* προωθεί το σχηματισμό σουλφιδίων σιδήρου σε αναγωγικές συνθήκες και έχει σημαντική επίδραση στη μαγνητική ορυκτολογία λιμναίων και θαλασσίων ιζημάτων ιδιαίτερα όταν είναι παρόντα οργανικά υλικά. Οι γνώσεις μας για τη μαγνητική ορυκτολογία είναι σχετικά καινούριες. Η ύπαρξη του ορυκτού γκρεϊκίτη έγινε γνωστή μετά τις μελέτες των Skinner et al. (1964) λόγω της αστάθειας του ορυκτού κατά την έκθεσή του στον αέρα. Η βιοχημική σημασία μεγάλου ποσοστού τέτοιων οργανισμών παραμένει ακόμα άγνωστη, ακόμα και στις περιπτώσεις που η επίδρασή τους στη μαγνητική ορυκτολογία είναι άμεση. Τα μαγνητοστατικά βακτηρίδια είναι πια γνωστό ότι παράγουν αλυσίδες από μονοφασικές συμφύσεις μαγνητίτη στην επιφάνεια μεταξύ του νερού και του ιζήματος (Blakemore, 1975; Kirschvink and Lowenstam, 1979; Frakel and Blakemore, 1990). Στο βάθος, τέτοιες αλυσίδες ή μεμονωμένοι κόκκοι είναι δυνατόν να διατηρούνται και να παρέχουν έτσι υψηλής σταθερότητας μαγνητικά ορυκτά τα οποία και διατηρούν τη μαγνήτισή τους και μετά τη συμπαγοποίησή τους. Παρόλα αυτά, τα βακτήρια μπορούν να απορροφήσουν μέσα τους ορυκτά του σιδήρου με διάφορους τρόπους (Vali and Kirschvink 1990). Η σημερινή γνώση

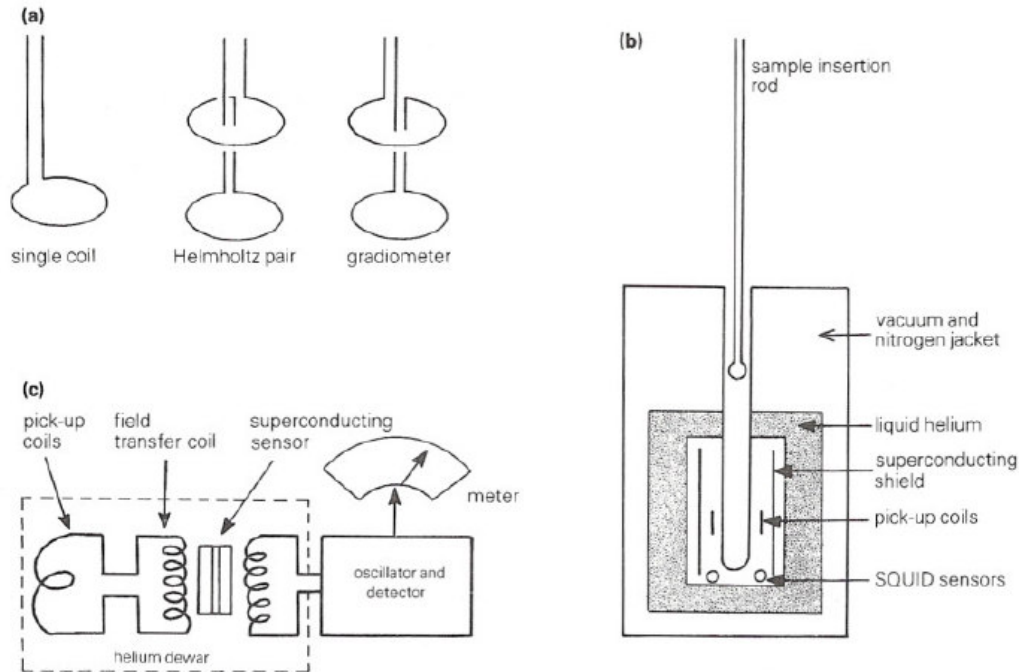
σχετικά με το μέγεθος της επίδρασης αυτών των βακτηρίων είναι φτωχή, αλλά είναι πιθανόν να υπάρχουν σημαντικοί παράγοντες σε διάφορες διαγενετικές διεργασίες σε αναγωγικά ή υπο-οξειδωτικά περιβάλλοντα ακόμα και σε βάθη κάτω από 6-7 km. Παρόλα αυτά, στα περισσότερα οξειδωτικά περιβάλλοντα τέτοιοι βιογενετικοί κόκκοι συνήθως οξειδώνονται. Στα ανθρακικά ιζήματα οι διαγενετικές διεργασίες είναι περισσότερο πολύπλοκες και γρήγορες γιατί τα αρχικά αποθέματα έχουν υψηλό πορώδες 40-70%, και γιατί αρχικά σχηματίζονται ανθρακικά ιζήματα με εξαγωνική μορφή - αραγωνίτης - ο οποίος είναι μετασταθής κάτω από ηπειρωτικές συνθήκες και μετατρέπεται γρήγορα σε πιο σταθερούς ορθορομβικής μορφής, ασβεστίτες. Αυτή η κρυσταλλοποίηση οδηγεί και σε μείωση του αρχικού πορώδους. Σε συνθήκες υψηλής αλμυρότητας όπως σε περιορισμένες θαλάσσιες λεκάνες, η υψηλή συγκέντρωση μαγνησίου στα κατώτερα στρώματα του νερού μπορεί να οδηγήσει σε αντίδραση με τη λάσπη του αραγωνίτη σχηματίζοντας έτσι διαγενετικό δολομίτη (συν-διαγενετικό). Αυτές οι πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των αραγωνίτη, ασβεστίτη και δολομίτη συνοδεύονται επίσης από ανακρυστάλλωση, διάσπαση και ανάπτυξη προϋπαρχόντων ανθρακικών οι οποίοι σχηματίζουν τη νεομορφική φάση της διαγένεσης. Τέτοιες αντιδράσεις λαμβάνουν χώρα σε διάφορες περιοχές ανάλογα με την προέλευση των ρευστών που είναι εμπλουτισμένα σε μαγνήσιο, τα οποία συνήθως συναντώνται σε μικρά βάθη κάτω από συνθήκες υψηλής αλμυρότητας σε περιορισμένες λεκάνες. Τα ρευστά αυτά μπορούν να εισαχθούν αργότερα στο σύστημα και να προκαλέσουν νέα δολομιτίωση. Ο νέος αυτός δολομίτης, ο οποίος θεωρείται και αυτός συν-διαγενετικός, αναγνωρίζεται εύκολα γιατί συνήθως συνδέεται ή με περισσότερο διαπερατούς ορίζοντες, όπως είναι οι ασυνέχειες, ή με τεκτονικές δομές που κόβουν κάθετα τις επιφάνειες απόθεσης. Όπως στα κλαστικά ιζήματα έτσι και στα ανθρακικά ο ρόλος των μικροοργανισμών είναι κεφαλαιώδης, εφόσον μπορούν να αυξήσουν και τη δολομιτίωση. Είναι πιθανό τα βακτήρια που σχετίζονται με το μαγνητίτη να έχουν μεγαλύτερη επίδραση στα ανθρακικά από ότι στα κλαστικά ιζήματα. Αυτό συμβαίνει λόγω κυρίως της μικρής συγκέντρωσης άλλων μαγνητικών ορυκτών (που συνήθως είναι διαμαγνητικά) στα ανθρακικά ιζήματα, αλλά μπορεί να οφείλεται και στο γεγονός ότι στα ανθρακικά οι χημικές αντιδράσεις είναι περισσότερες με αποτέλεσμα περισσότεροι κόκκοι να συμπαγοποιούνται πολύ γρήγορα μετά το θάνατο των οργανισμών. Έτσι, όχι μόνο κλειδώνουν κάθε μαγνητικό προσανατολισμό, αλλά και το διατηρούν σε μεταγενέστερες οξειδώσεις. Τέλος, δραστικές χημικές αλλαγές μπορούν να πραγματοποιηθούν ως αποτέλεσμα της μετανάστευσης ρευστών υδρογονανθράκων (Machel, 1995). Όσο το βάθος ταφής αυξάνεται, τόσο στα κλαστικά όσο και στα ανθρακικά ιζήματα, η αύξηση της πίεσης και της θερμοκρασίας προκαλεί επιπλέον διαγενετικές διεργασίες που καταλήγουν **στην**

τρίτη φάση τη φυλλομορφική, η οποία περιέχει την ανακρυστάλλωση των αργίλων και την επανακρυστάλλωση των λιγότερο σταθερών φυλλοπυριτικών ορυκτών, όπως ο μοσχοβίτης και ο βιοτίτης, σε μορφές του χλωρίτη. Όταν ο προσανατολισμός αυτών των λεπιωδών ορυκτών παραμένει κοντά στο οριζόντιο επίπεδο, αυτές οι αλλαγές χαρακτηρίζονται ως διαγενετικές, αν όμως οι κρύσταλλοι αναπτύσσονται κάτω από την επίδραση τεκτονικών δυνάμεων υπό γωνία προς το οριζόντιο επίπεδο, τότε χαρακτηρίζονται σαν μεταμορφική διεργασία. Στην πραγματικότητα, τα όρια της διαγένεσης και της μεταμόρφωσης δεν είναι καλά καθορισμένα και κυρίως εξαρτώνται από τη λιθολογία.

Μεγάλης σημασίας είναι και η εισαγωγή ρευστών στην ιζηματογενή λεκάνη λόγω τεκτονικών κινήσεων στα όρια της. Αυτά τα ρευστά μπορεί να καταστρέψουν όλα τα προυπάρχοντα ορυκτά του σιδήρου, μολονότι νέα σιδηρομαγνητικά ορυκτά μπορούν να χρονολογήσουν την εποχή που τα ρευστά πέρασαν από το ίζημα. Αν τα ρευστά αυτά έχουν θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 200-300°C οι χημικές αλλαγές αυξάνονται. Και αν αυτές οι θερμοκρασίες διατηρηθούν για λίγα εκατομμύρια χρόνια, είναι δυνατόν να προκαλέσουν ολοκληρωτική επαναμαγνήτιση των σιδηρομαγνητικών ορυκτών στη λεκάνη, ανεξάρτητα από τις άλλες χημικές επιδράσεις που τοπικά μπορεί να είναι και πολύ επιβλαβείς (Tarling, 1999).

3.8 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.

Η μελέτη της μαγνητικής επιδεκτικότητας συνεισφέρει σημαντικά στη διερεύνηση του είδους των μαγνητικών κόκκων των διαφόρων πετρωμάτων και κατά συνέπεια η εφαρμογή της στις διάφορες μαγνητικές μελέτες θεωρείται απαραίτητη. Η μεταβολή της μαγνητικής επιδεκτικότητας με τη συχνότητα του επαγόμενου μαγνητικού πεδίου, είναι γνωστή ως “φάσμα” της επιδεκτικότητας. Η μαγνητική επιδεκτικότητα αποτελείται από δύο συνιστώσες που σε σχέση με το εφαρμοζόμενο μαγνητικό πεδίο χαρακτηρίζονται η μία “σε φάση” (in phase) και η άλλη “εκτός φάσης” (quadrature). Για χαμηλές συχνότητες του εναλλασσόμενου μαγνητικού πεδίου η μαγνήτιση παραμένει σε συμφωνία “φάσης” με το

πεδίο. Έτσι η “σε φάση” επιδεκτικότητα έχει μία τιμή που είναι ανάλογη της επιδεκτικότητας, ενώ η “εκτός φάσης” αυξάνεται μέχρι ένα μέγιστο για να μηδενισθεί στη συνέχεια.

Η μέγιστη “εκτός φάσης” επιδεκτικότητα και η “ταχύτερη μείωση” της “σε φάση” θεωρητικά συμπίπτουν. Γενικά η επιδεκτικότητα μειώνεται όσο αυξάνεται η συχνότητα. Η μαγνητική επιδεκτικότητα των πετρωμάτων και του εδάφους μετρήθηκε με το Bartington MS2 Susceptibility System με το μετρητή διπλής συχνότητας MS2B (σχήμα 3.4). Ο μετρητής αυτός δέχεται δείγματα όγκου 10cm³ σε πλαστικά δοχεία ή 25.40 mm μάζας πυρήνες πετρωμάτων. Είναι ένας φορητός μετρητής που έχει την ικανότητα να μετράει δύο διαφορετικές συχνότητες με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η ανίχνευση των λεπτόκοκκων σιδηρομαγνητικών ορυκτών των εδαφών ή των πετρωμάτων.



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

Ο MS2B αισθητήρας έχει εσωτερική διάμετρο 36mm και δέχεται 1” (25.40 mm) και 23 mm κυβικά κουτιά, 20cc και 10cc κυλινδρικά μπουκαλάκια και 1” πυρήνες πετρωμάτων, ανάλογα με την εκάστοτε υποδοχή. Η υψηλή ακρίβεια του δέκτη προέρχεται από τη χρήση καλά καθορισμένων μεγεθών των δειγμάτων. Τα δείγματα τοποθετούνται μέσα στο όργανο με έναν απλό μηχανισμό. Το όργανο μπορεί να λειτουργήσει σε δύο συχνότητες για τη μελέτη της εξαρτώμενης από τη συχνότητα επιδεκτικότητας. Η χαμηλή συχνότητα επιλέγεται

όταν θέλουμε να μετρήσουμε μόνο σε μία συχνότητα. Το ακριβές βάρος των δειγμάτων επιτρέπει και την ακριβή μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας μάζας. Ο δέκτης είναι ειδικά κατασκευασμένος για τη χρήση 10cc όγκου δοχείων με εσωτερικές διαστάσεις 24mm διάμετρο, 23mm ύψος και εξωτερική βάση μέγιστης διαμέτρου 26mm. Τα χαρακτηριστικά του δέκτη δεν επηρεάζονται από την αγωγιμότητα του δείγματος ακόμα και σε 25% αλατούχο διάλυμα. Μεταλλικά αγωγία υλικά μπορούν να μετρηθούν αφού παρέχεται η δυνατότητα να μειωθεί η φαινόμενη διαμαγνητική συνεισφορά η οποία μπορεί να οφείλεται στη δημιουργία δινορευμάτων. Η διαδικασία των μετρήσεων αρχίζει με τη βαθμονόμηση του οργάνου με ένα δείγμα 10cm³ ανθρακικού μαγγανίου το οποίο είναι παραμαγνητικό υλικό με υψηλή και σταθερή μαγνητική επιδεκτικότητα. Όταν μετράμε ασθενώς μαγνητισμένα δείγματα παίρνουμε πριν και μετά τη μέτρηση δύο μετρήσεις ελεύθερου αέρα (χωρίς να υπάρχει δείγμα στο δέκτη) για να διορθώσουμε τη μέτρηση ως εξής:

$$K(\text{διορθωμένο}) = K(\text{δείγματος}) - \left\{ K(\text{πρώτου αέρα}) + K(\text{δεύτερου αέρα}) / 2 \right\}$$

Όταν τα δείγματα είναι ασθενώς μαγνητισμένα, οι διαμαγνητικές ιδιότητες του δοχείου που βρίσκεται το δείγμα και του εσωτερικού του μηχανήματος, μπορεί να συνεισφέρουν σημαντικά στην επιδεκτικότητα, μειώνοντας την πραγματική τιμή της. Για την αποφυγή τέτοιων επιδράσεων προτείνεται η μέτρηση των δοχείων όσο είναι άδεια έτσι ώστε να υπολογισθεί η μέση διαμαγνητική τιμή κ. Μία τυπική τιμή του κ θεωρείται η -0.4×10^{-5} SI για δοχείο 10cm³. Αυτή η τιμή πρέπει να προστίθεται σε όλα τα δείγματα. Υπάρχει δυνατότητα σύνδεσης του μετρητή επιδεκτικότητας με ηλεκτρονικό υπολογιστή για τον άμεσο υπολογισμό των παραμέτρων και την αποθήκευση των δεδομένων. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων το όργανο είναι έτσι προγραμματισμένο ώστε να δίνει απευθείας τις τιμές επιδεκτικότητας θεωρώντας τον όγκο του δείγματος σταθερό και ίσο με 10 cm³. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα επιλογής του συστήματος μονάδων που θα χρησιμοποιηθούν. Στην παρούσα εργασία η επιδεκτικότητα μετρήθηκε σε μονάδες SI.

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

Specification - MS2 Meter

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

**Specification - MS2B Sensor**

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



Specification - MS2C Sensor

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

**Specification - MS2D probe**

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



Specification - MS2E Sensor

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

**Specification - MS2F probe**

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



Specification - MS2G Sensor

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

**Specification - MS2K Probe**

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

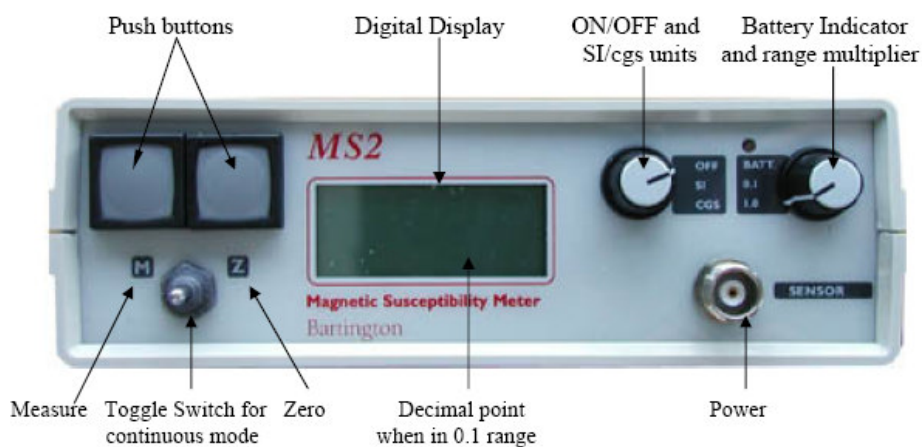
**Specification - MS2 Probe Handle**

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



Διαδικασία μέτρησης μαγνητικής επιδεκτικότητας δειγμάτων (Σχήμα 3.5)

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



Σχήμα 3.5 Πρόσωση του μετρητικού συστήματος MS2 του οίκου Bartington.

3.9 Σχέση μαγνητικών ορυκτών και βαρέων μετάλλων

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

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

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

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

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

Οι Boyko et al. (2004) προσπάθησαν να παρακολουθήσουν την χρονική μεταβολή της μαγνητικής επιδεκτικότητας σε ένα κάρναβο 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.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΥ

4.1 Περιγραφή της μεθοδολογίας εκπόνησης της παρούσας εργασίας

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε ως εξής:

1. Αναζήτηση βιβλιογραφίας που να σχετίζεται με την μαγνητική επιδεκτικότητα και το θερμομαγνητισμό.
2. Επιλογή της περιοχής έρευνας (στην παρούσα περίπτωση είναι η περιοχή του φράγματος των Ποταμών)
3. Δειγματοληψίες σε επιλεγμένες θέσεις και αποθήκευση σε πλαστικές σακούλες.
4. Μεταφορά στο εργαστήριο όπου ξεκινάμε την διαδικασία της ταξινόμησης κατά αύξοντα αριθμό δείγματος εδάφους και στην συνέχεια κοσκινίζουμε τα δείγματα, χωρίς την παρουσία μεταλλικών αντικειμένων, έτσι ώστε τα αποτελέσματα που θα πάρουμε να είναι όσο το δυνατόν ομοιογενή στην διαδικασία της μαγνητικής επιδεκτικότητας όπως αναφέρουμε στο παραπάνω κεφάλαιο.
5. Προσδιορισμός της μαγνητικής επιδεκτικότητας σε χαμηλή και υψηλή συχνότητα.
6. Αναλύσεις θερμομαγνητισμού.
7. Στατιστική επεξεργασία, απεικόνιση και ερμηνεία των δεδομένων.

4.2 Τα μαγνητικά ορυκτά

Η παρουσία των μαγνητικών ορυκτών, η συγκέντρωσή τους και το μέγεθός τους στα ιζήματα των ποτάμιων και λιμναίων ιζημάτων, εξαρτάται από τις συνθήκες απόθεσης των ιζημάτων αλλά και τις μετα-αποθετικές διεργασίες. Το αλλογενές κλάσμα στα ιζήματα έχει ως πηγές τροφοδοσίας την λεκάνη απορροής και τον άνεμο, που μεταφέρουν διάφορα μαγνητικά ορυκτά (οξειδία του σιδήρου: μαγνητίτη (Fe_3O_4), μαγκεμίτη ($\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$), αιματίτη ($\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$) και υδροξείδια του σιδήρου όπως γκαιτίτη (FeOOH)). Επίσης μεταφέρονται παραμαγνητικά (σιδηρούχοι άργιλοι) υλικά και διαμαγνητικά υλικά (Ca/Mg ανθρακικά άλατα, χαλαζία οργανικό υλικό κ.λ.π). Οι μετα-αποθετικές διεργασίες περιλαμβάνουν διάλυση των σιδηρούχων ορυκτών, την παραγωγή σουλφιδίων του σιδήρου (π.χ. γκραιγκίτης-greigite- Fe_3S_4 και πυρίτης FeS_2), οξειδίων (μαγνητίτης), ανθρακικών αλάτων (σιδηρίτης- FeCO_3) και των ένυδρων φωσφορικών ορυκτών (όπως βιβιανίτης-vivianite ($\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$)). Τα παραπάνω ορυκτά αποτελούν δείκτες για τις περιβαλλοντικές και

κλιματικές μεταβολές στα ηπειρωτικά υδάτινα περιβάλλοντα και ένας από τους τρόπους ανίχνευσης τους αποτελεί και ο θερμομαγνητισμός.

4.3 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων

Στον πίνακα του σχήματος 4.1 που ακολουθεί παρουσιάζεται κατανομή της μαγνητικής επιδεκτικότητας μετρημένη 1. σε χαμηλή συχνότητα (LF), 2. σε υψηλή συχνότητα (HF) καθώς και 3. η εξαρτώμενη από την συχνότητα επιδεκτικότητα. Γενικά η μαγνητική επιδεκτικότητα των υλικών που συλλέχθηκαν είναι θετική και χαμηλή, γεγονός που δείχνει ότι επικρατούν τα παραμαγνητικά υλικά στα ιζήματα (όπως για παράδειγμα τα ορυκτά της αργίλου, πλούσια σε σίδηρο). Εξαιρέση αποτελούν τα δείγματα 1 και 23, των οποίων η συμπεριφορά θα εξεταστεί περαιτέρω στον θερμομαγνητισμό.

Αριθμός δείγματος	LF	HF	$[(LF-HF)/LF]100$
1	121	108	10,74380165
2	28	21	25
3	2	1	50
4	1	1	0
5	7	6	14,28571429
6	14	12	14,28571429
7	9,5	8	15,78947368
8	4,5	4	11,11111111
9	22	14	36,36363636
10	24	24	0
11	52	42	19,23076923
12	10	9	10
13	3	1	66,66666667
14	7	7	0
15	27	24	11,11111111
16	4	4	0
17	17	13	23,52941176
18	3	2	33,33333333
19	5	4	20
20	44	34	22,72727273
21	19	18	5,263157895
22	5	4	20
23	158	143	9,493670886
24	9	9	0
25	12	12	0

Σχήμα 4.1 Πίνακας των αποτελεσμάτων για την μαγνητική επιδεκτικότητα

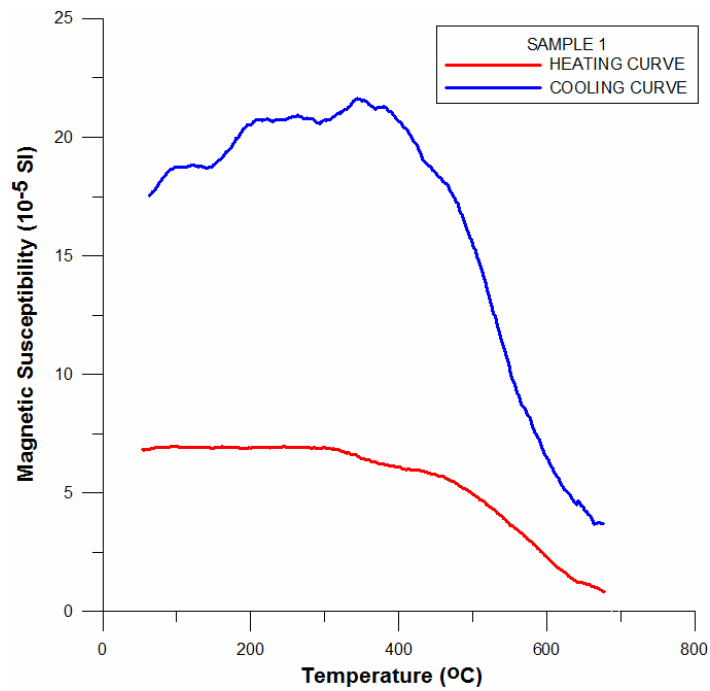
Στα επόμενα σχήματα παρουσιάζονται οι καμπύλες θέρμανσης και ψύξης των δειγμάτων από τους 40°C έως τους 700°C στον αέρα και αντίστροφα. Τρία από τα 25 δείγματα εξαιρέθηκαν διότι παρουσίασαν ανώμαλη συμπεριφορά.

Τέσσερις χαρακτηριστικοί τύποι συμπεριφοράς εντοπίστηκαν κατά τα πειράματα του θερμομαγνητισμού.

1. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα δείγματα (3, 5, 12, 13, 14, 16, 18, 19, 21, 24, 25) τα οποία παρουσιάζουν μείωση της μαγνήτιση τους μέχρι τους 700°C και σταδιακή επαναμαγνήτιση κατά την ψύξη τους μέχρι τους 40°C χωρίς σαφή καθορισμό της θερμοκρασίας Curie για κάποιο ορυκτό. Η συμπεριφορά αυτή δείχνει ότι επικρατούν τα παραμαγνητικά ορυκτά στα συγκεκριμένα δείγματα. Τα συγκεκριμένα ορυκτά δεν υφίσταται κάποιο χημικό μετασχηματισμό κατά την αντίστροφη διαδικασία της ψύξης. Τέτοια συμπεριφορά παρουσιάζουν οι άμμοι, η άργιλος, τα αργιλοαμμώδη υλικά και το οργανικό υλικό.
2. Στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν τα δείγματα 1, 9, 17, 22 τα οποία παρουσιάζουν την τυπική θερμομαγνητική συμπεριφορά του μαγνητίτη ή του μαγκεμίτη. Δηλαδή παρουσιάζουν σταδιακή μείωση της μαγνήτισης τους μέχρι τους 700°C, αλλά κατά την διάρκεια της ψύξης παρατηρείται μια αύξηση της μαγνήτισης κάτω από τους 580°C, που είναι η θερμοκρασία Curie του μαγνητίτη.
3. Στην τρίτη κατηγορία ανήκουν τα δείγματα (2, 6, 10, 11, 15, 20), των οποίων οι καμπύλες θέρμανσης και ψύξης παρουσιάζουν πολύ καλή σύγκλιση. Τέτοια συμπεριφορά είναι χαρακτηριστική για τον αιματίτη ή τον γκαιτίτη.
4. Στην τέταρτη κατηγορία ανήκει το δείγμα 7, το οποίο παρουσιάζει πολύ ιδιαίτερη συμπεριφορά. Δηλαδή κατά την θέρμανση και μέχρι τους 300°C παρουσιάζει την τυπική συμπεριφορά παραμαγνητικού υλικού. Μετά τους 300°C εμφανίζεται αύξηση της μαγνήτισης μέχρι και τους 400°C, όπου συμβαίνει μια πρώτη μείωση της μαγνήτισης και στην συνέχεια μια δεύτερη μείωση στους 580°C. Κατά την ψύξη το υλικό παρουσιάζει αύξηση της μαγνήτισης κάτω από τους 580°C. Εάν επαναληφθεί το πείραμα στο ίδιο υλικό παρατηρείται η τυπική συμπεριφορά του μαγνητίτη. Επομένως στους 300°C το υλικό από παραμαγνητικό γίνεται σιδηρομαγνητικό και αμέσως μετά μετασχηματίζεται σε μαγνητίτη. Τέτοια συμπεριφορά παρουσιάζουν τα μονοσουλφίδια του σιδήρου όπως ο γκρεγκίτης- greigite (Tric et al., 1991; Snowball, 1991; Hoffman, 1992; Roberts and Turner; 1993; Reynolds et al., 1994; Jelinowska et al. 1995) και ο σμυθίτης - smythite (Fe_9S_{11}) (Krs et al., 1992; Hoffman, 1993), τα οποία είναι ασταθή και μετασχηματίζονται σε μαγνητίτη.



(α)

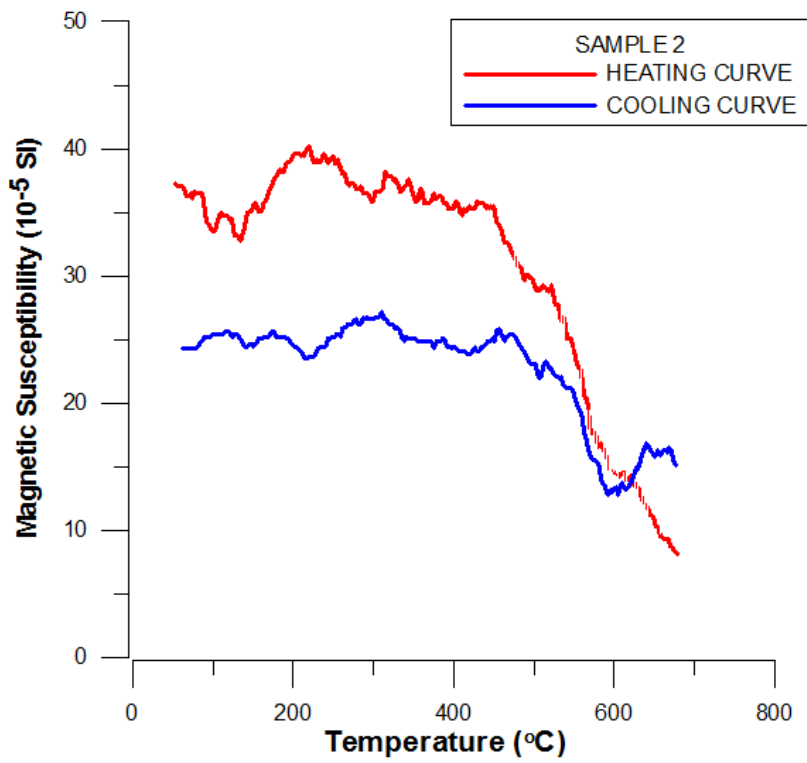


(β)

Σχήμα 4.2 (α) Φωτογραφία και (β) θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 1



(α)

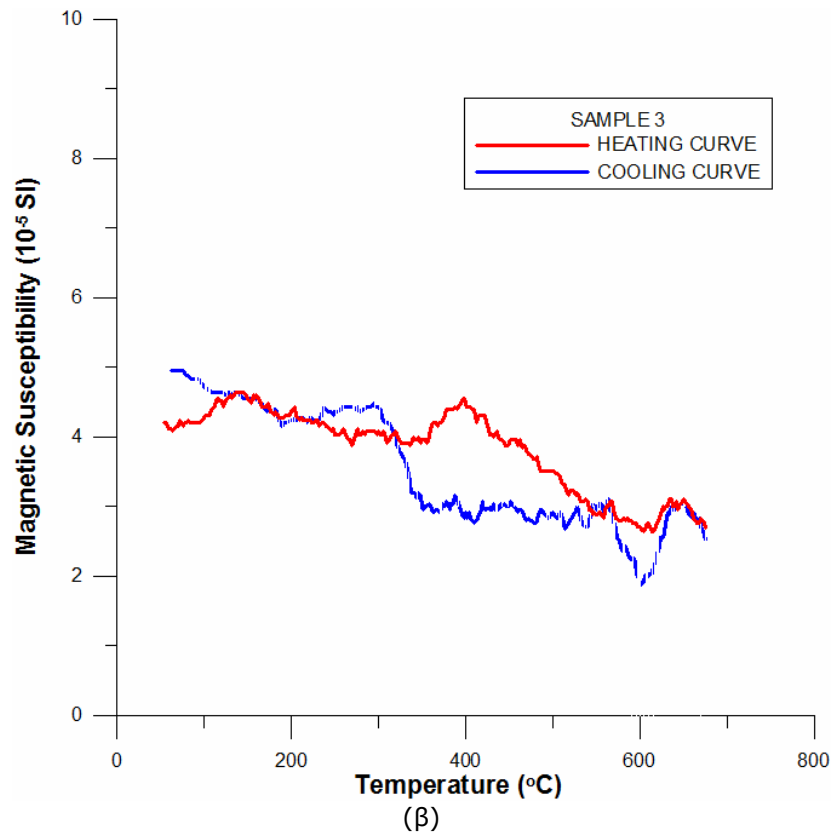


(β)

Σχήμα 4.3 (α) Φωτογραφία και (β) θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 2



(α)

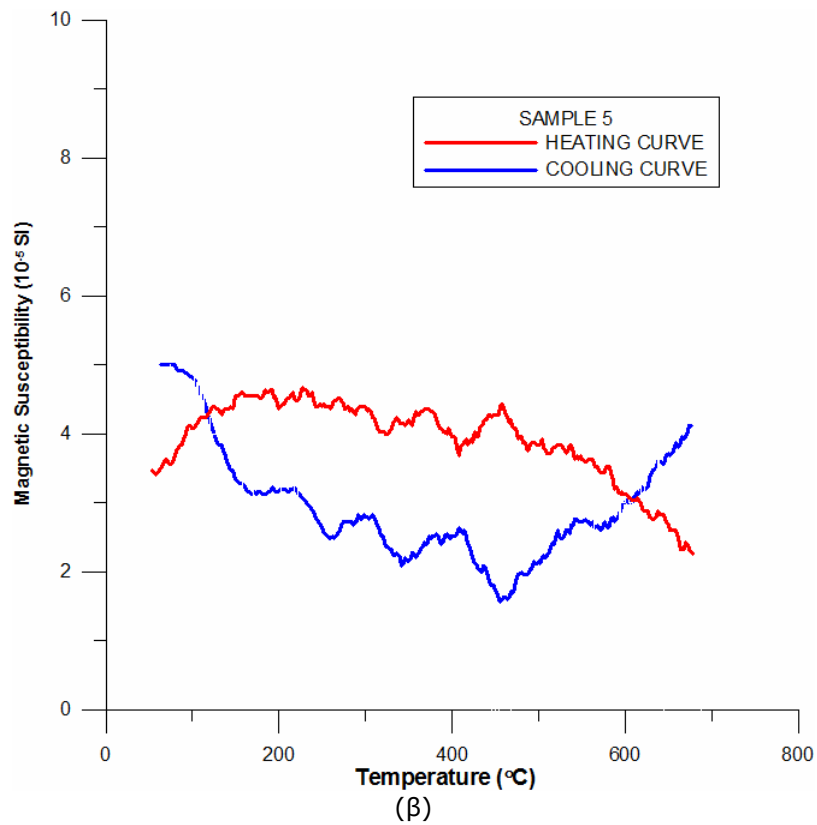


(β)

Σχήμα 4.4 (α) Φωτογραφία και (β) θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 3



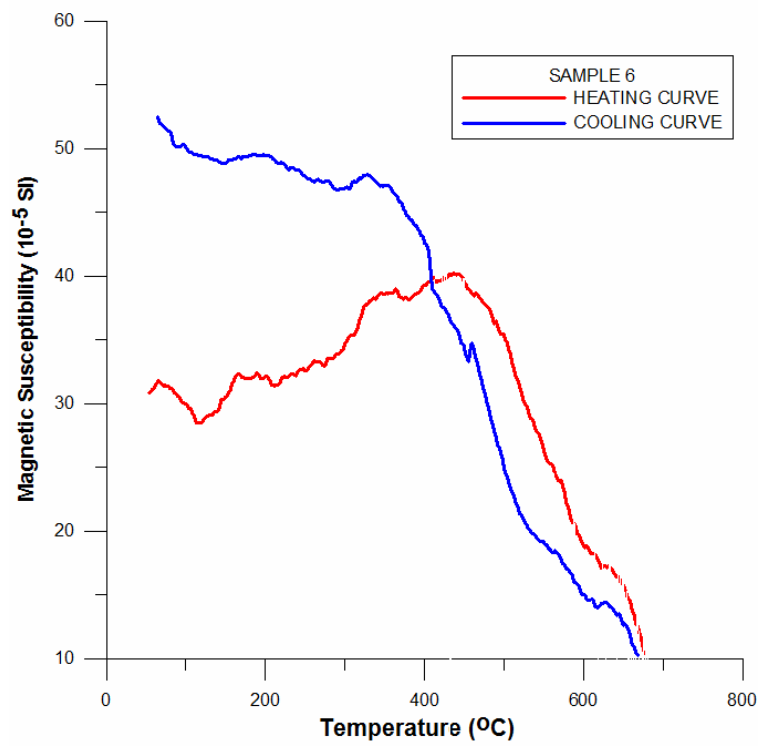
(α)



Σχήμα 4.5 (α) Φωτογραφία και (β) θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 5



(α)

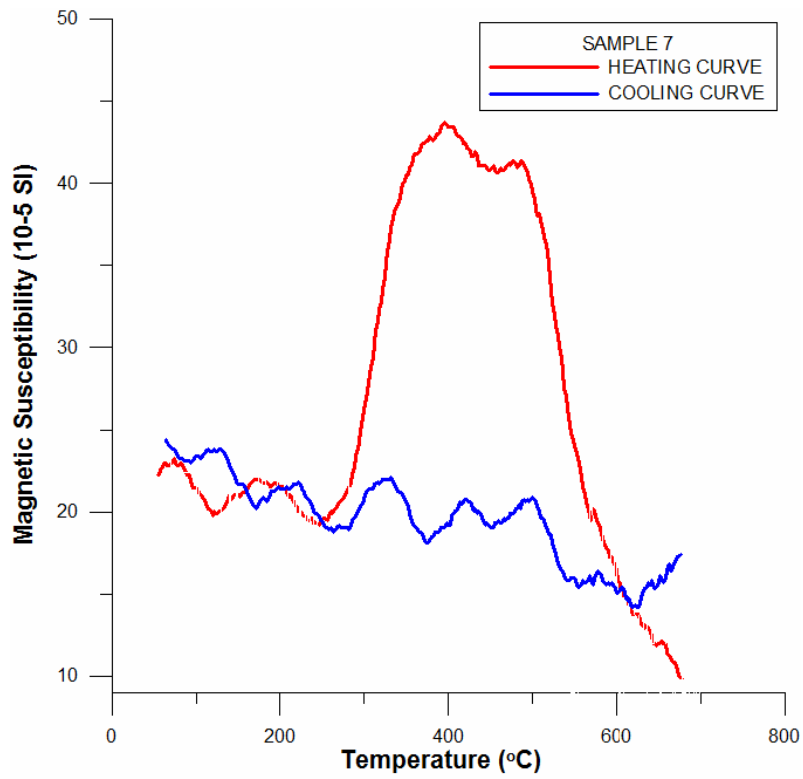


(β)

Σχήμα 4.6 (α) Φωτογραφία και (β) θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 6



(α)

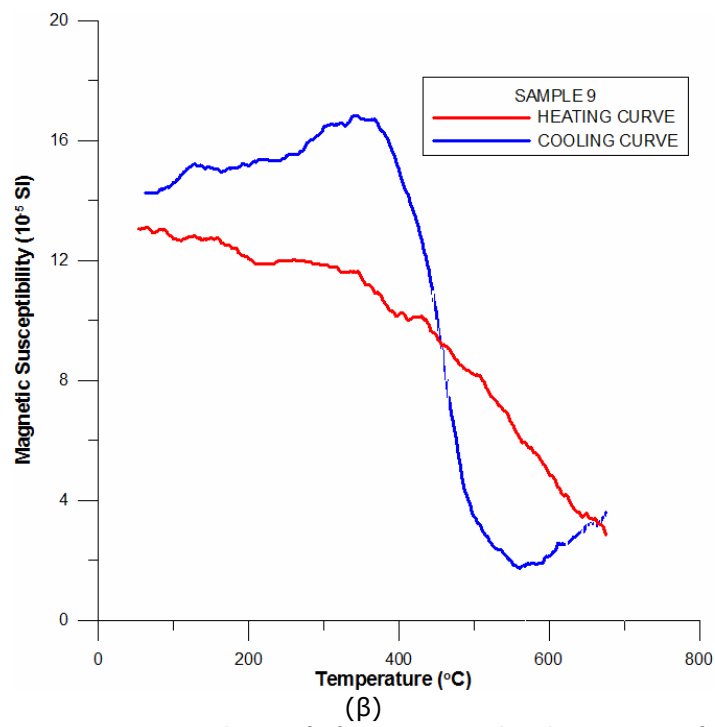


(β)

Σχήμα 4.7 (α) Φωτογραφία και (β) θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 7



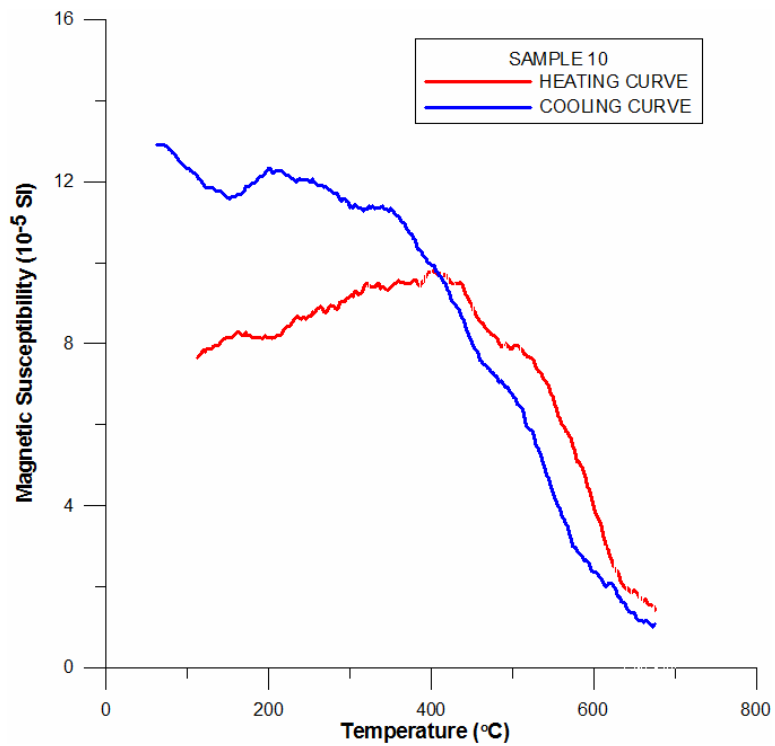
(α)



Σχήμα 4.8 (α) Φωτογραφία και (β) θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 9



(α)

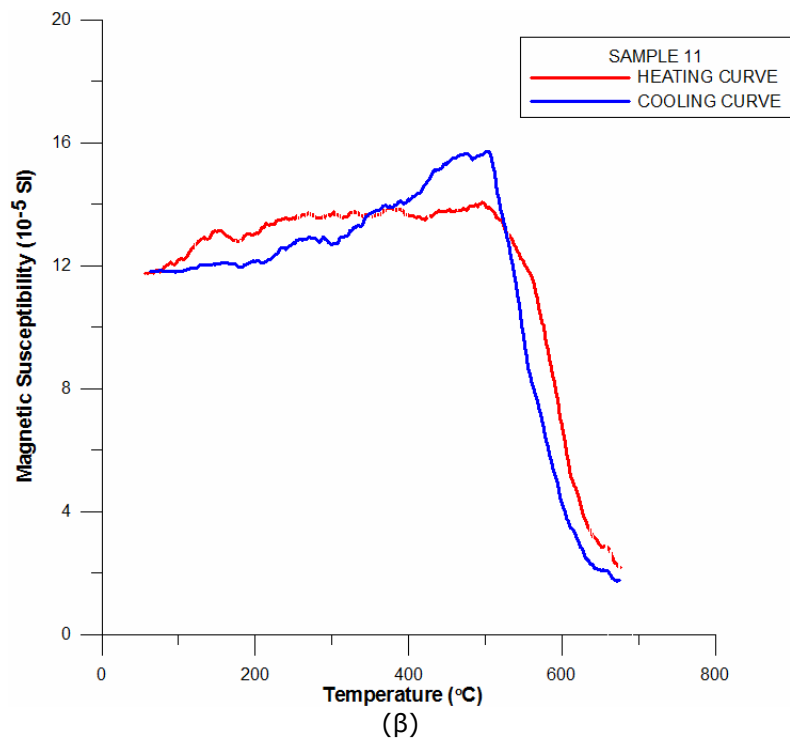


(β)

Σχήμα 4.9 (α) Φωτογραφία και (β) θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 10



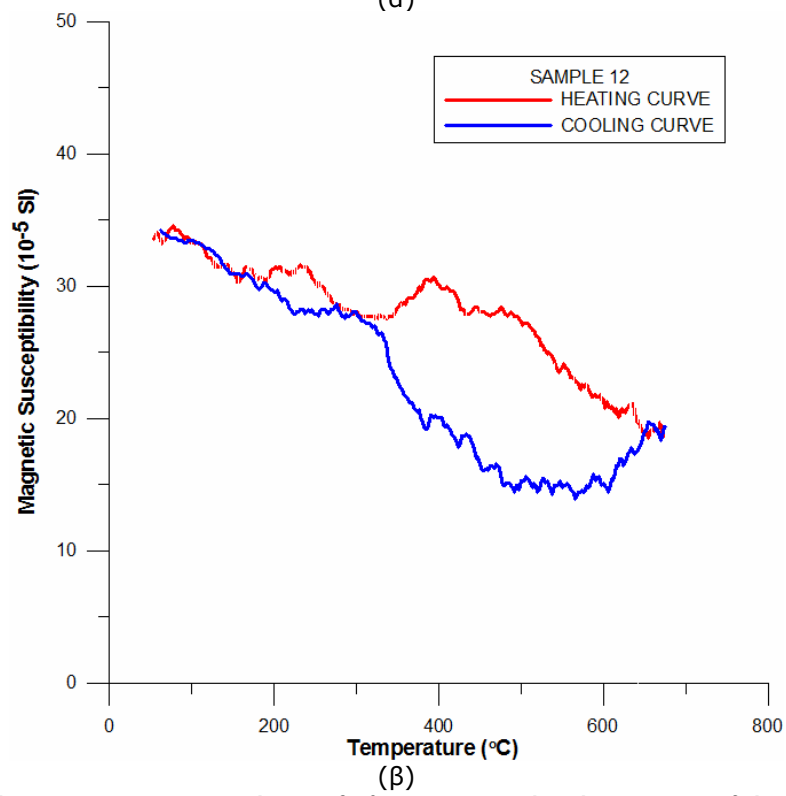
(α)



Σχήμα 4.10 (α) Φωτογραφία και (β) θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 11



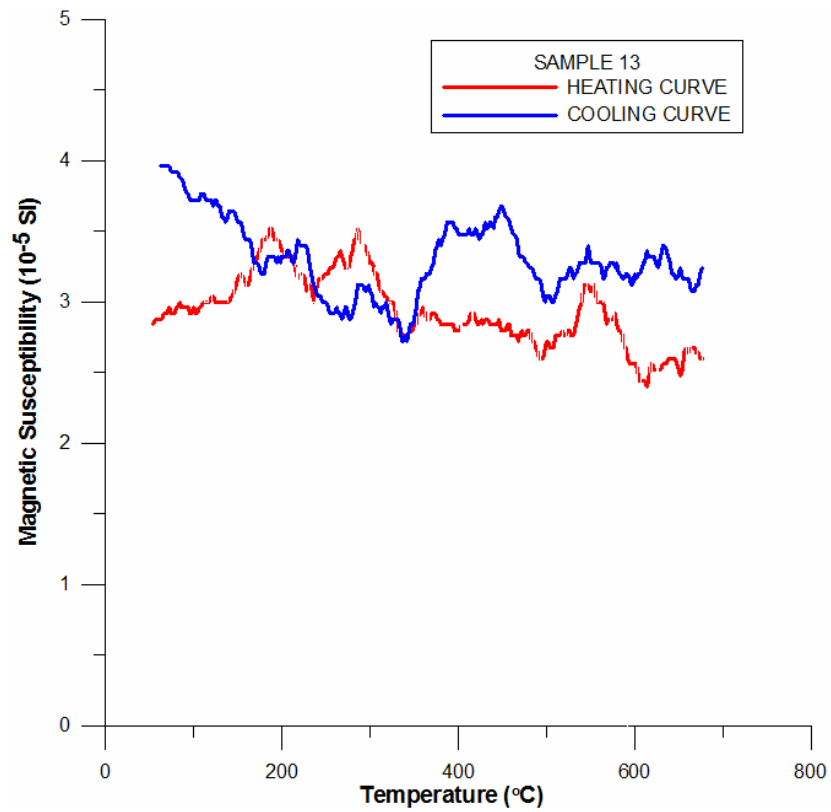
(α)



Σχήμα 4.11 (α) Φωτογραφία και (β) θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 12



(a)

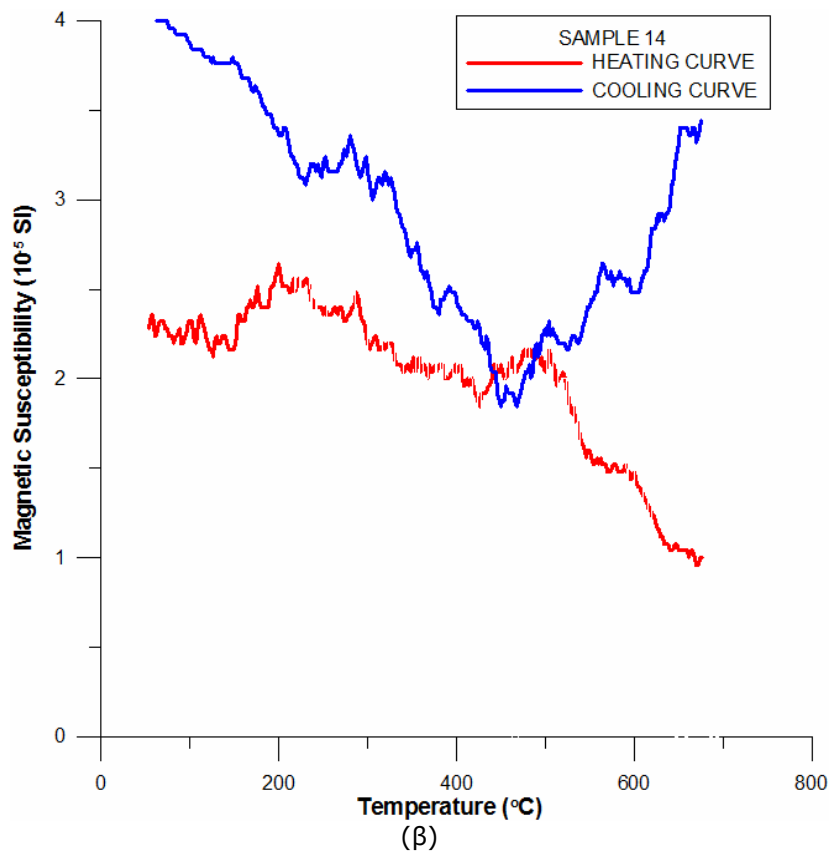


(β)

Σχήμα 4.12 (α) Φωτογραφία και (β) θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 13



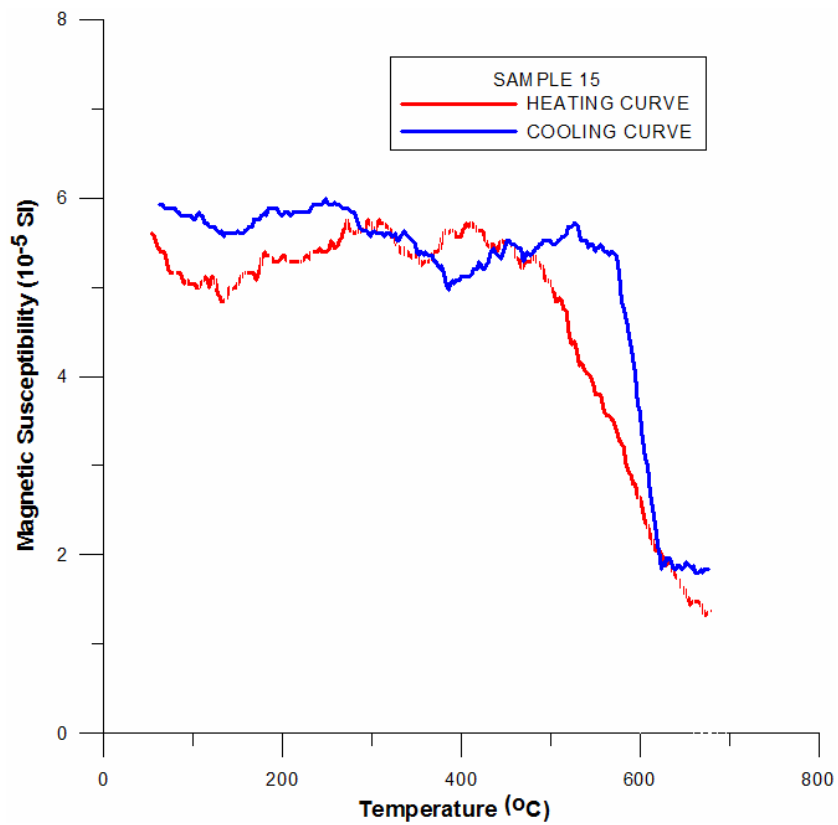
(α)



Σχήμα 4.13 (α) Φωτογραφία και (β) θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 14



(α)

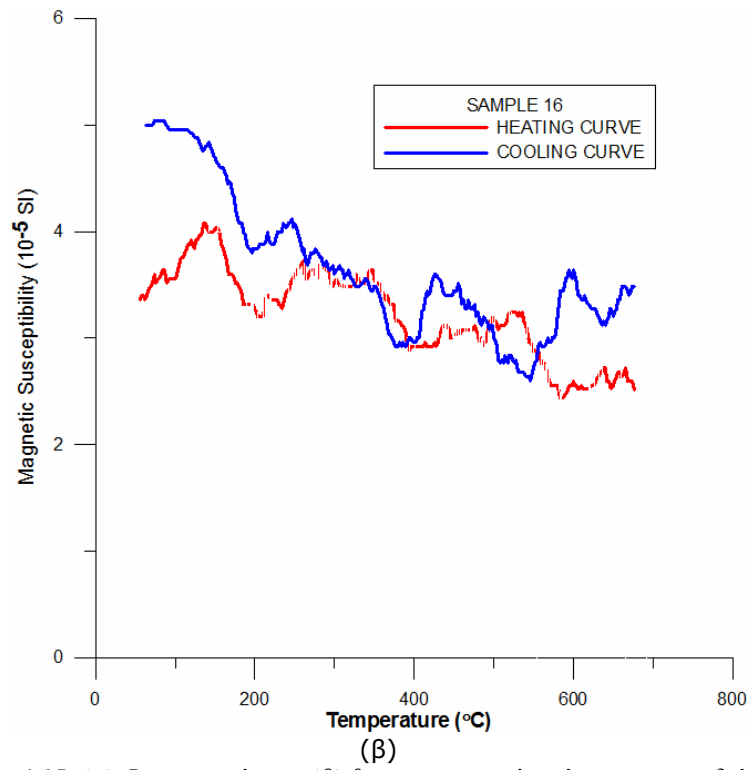


(β)

Σχήμα 4.14 (α) Φωτογραφία και (β) θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 15



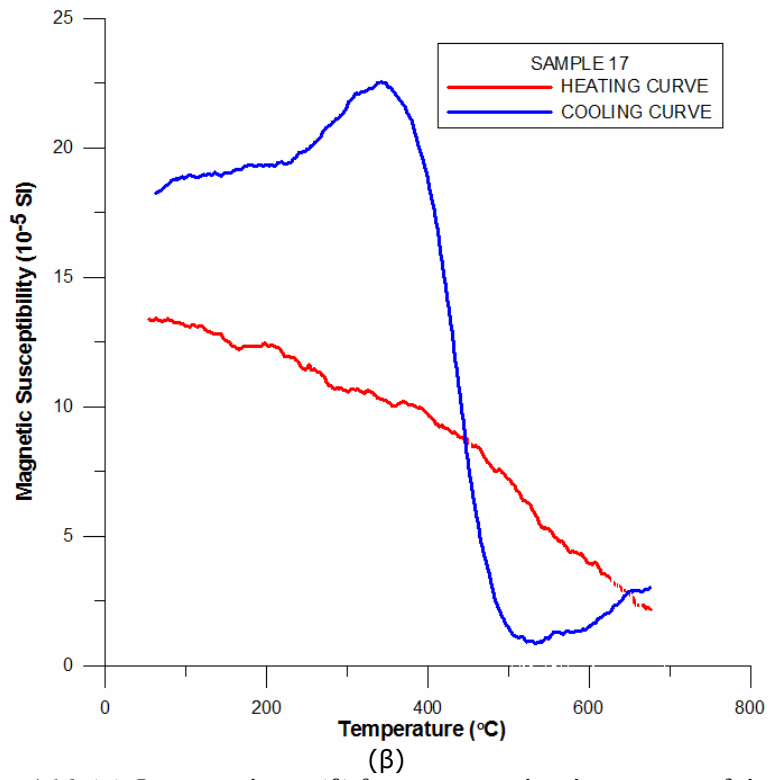
(α)



Σχήμα 4.15 (α) Φωτογραφία και (β) θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 16



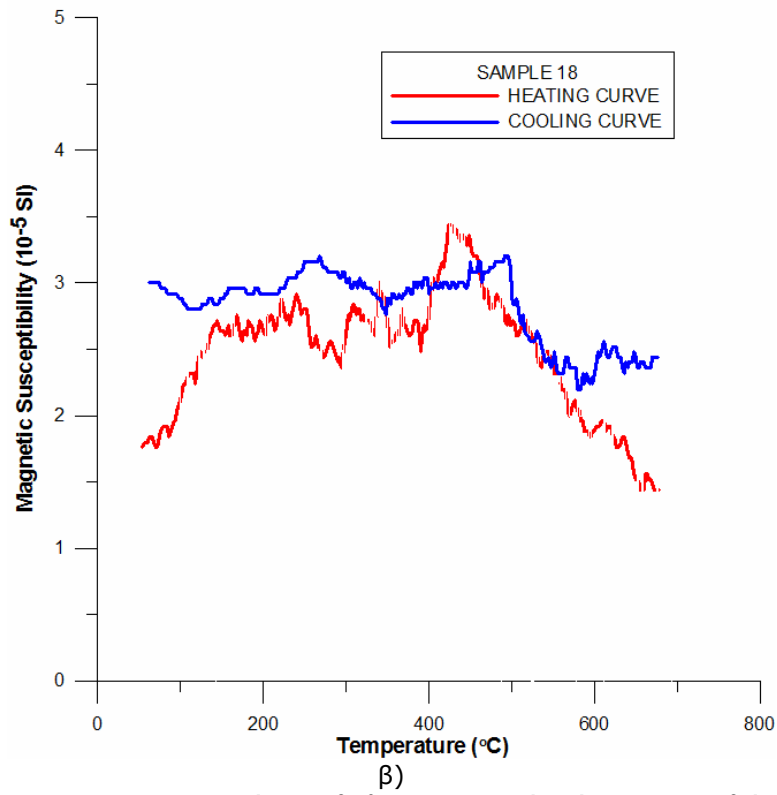
(α)



Σχήμα 4.16 (α) Φωτογραφία και (β) θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 17



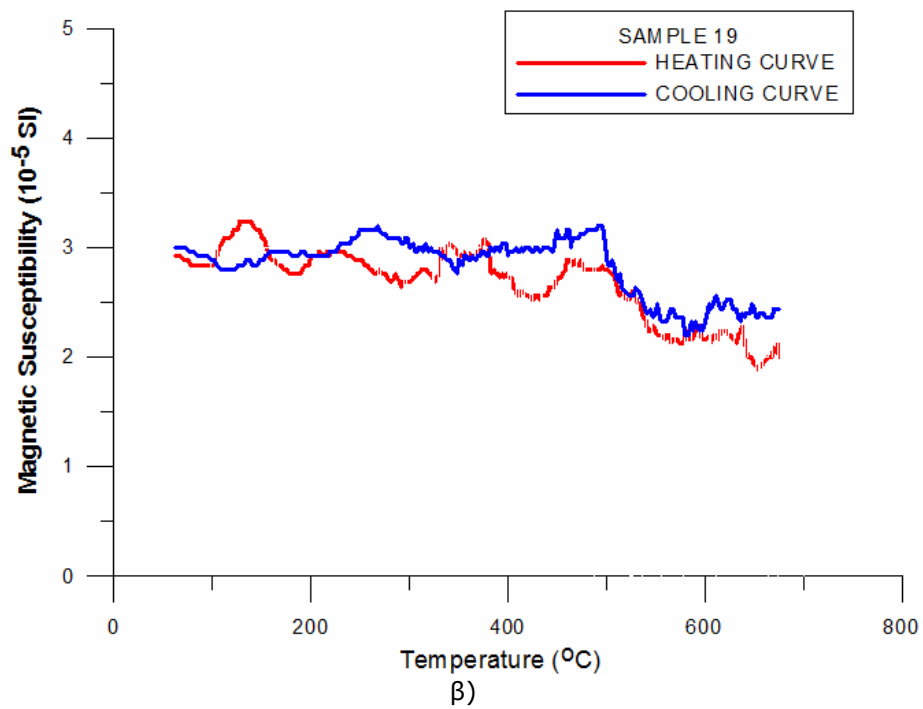
(α)



Σχήμα 4.17 (α) Φωτογραφία και (β) θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 18



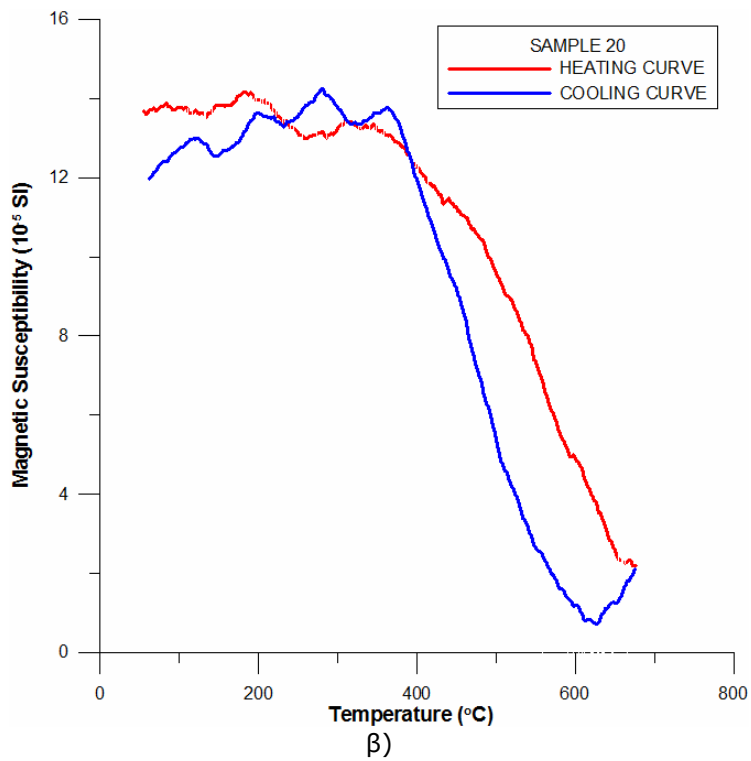
(α)



Σχήμα 4.18 (α) Φωτογραφία και (β) θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 19



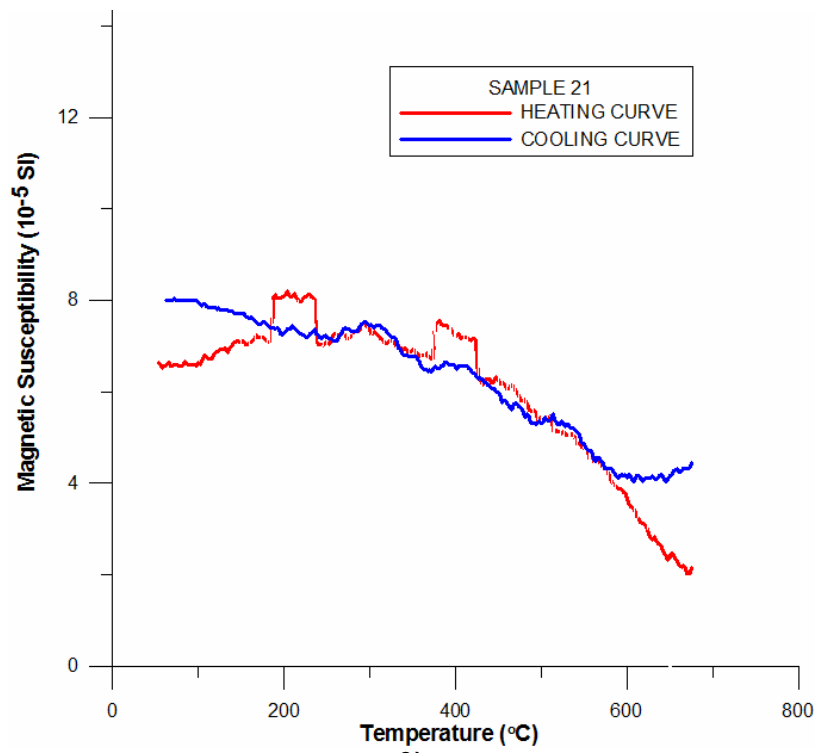
(α)



Σχήμα 4.19 (α) Φωτογραφία και (β) θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 20



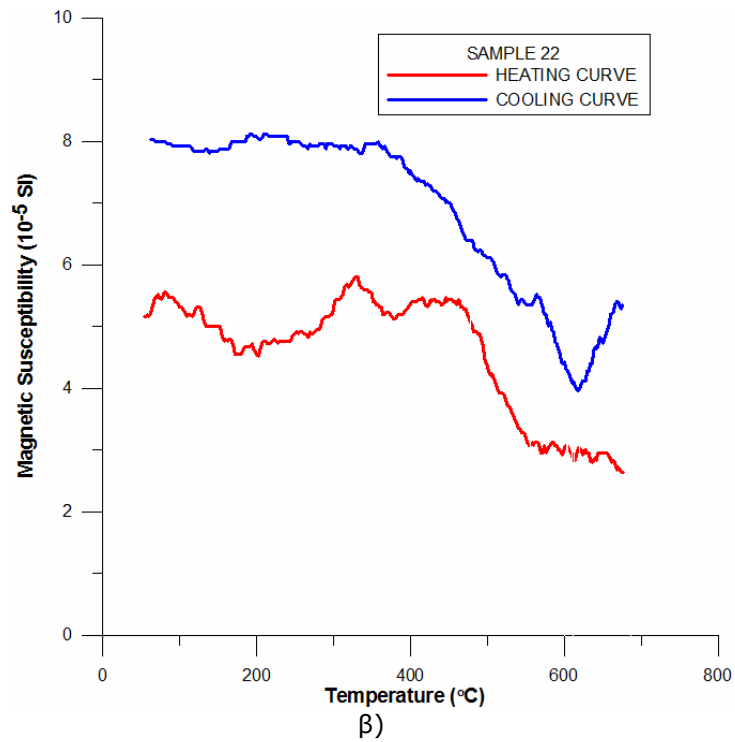
(α)



Σχήμα 4.20 (α) Φωτογραφία και (β) θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 21



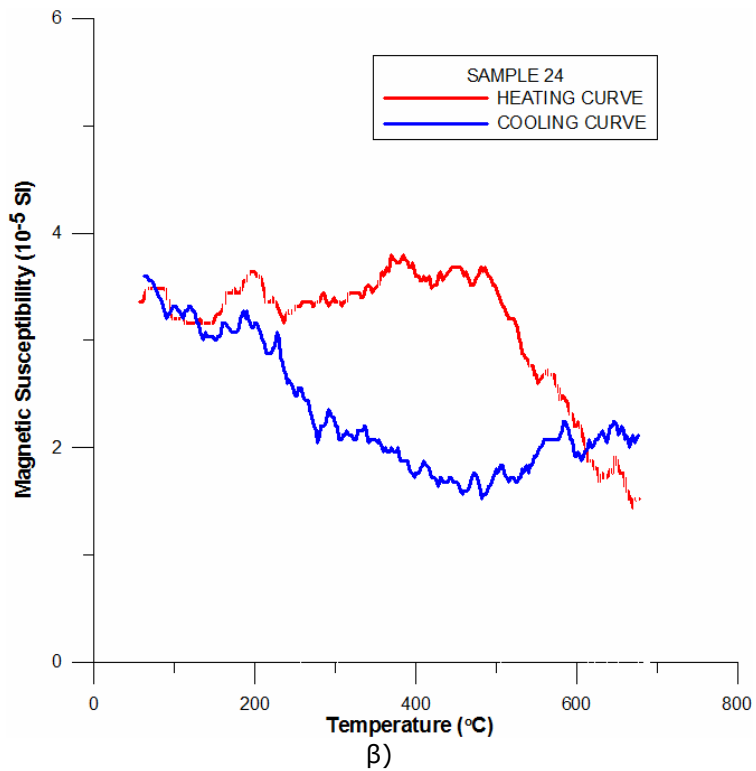
(α)



Σχήμα 4.21 (α) Φωτογραφία και (β) θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 22



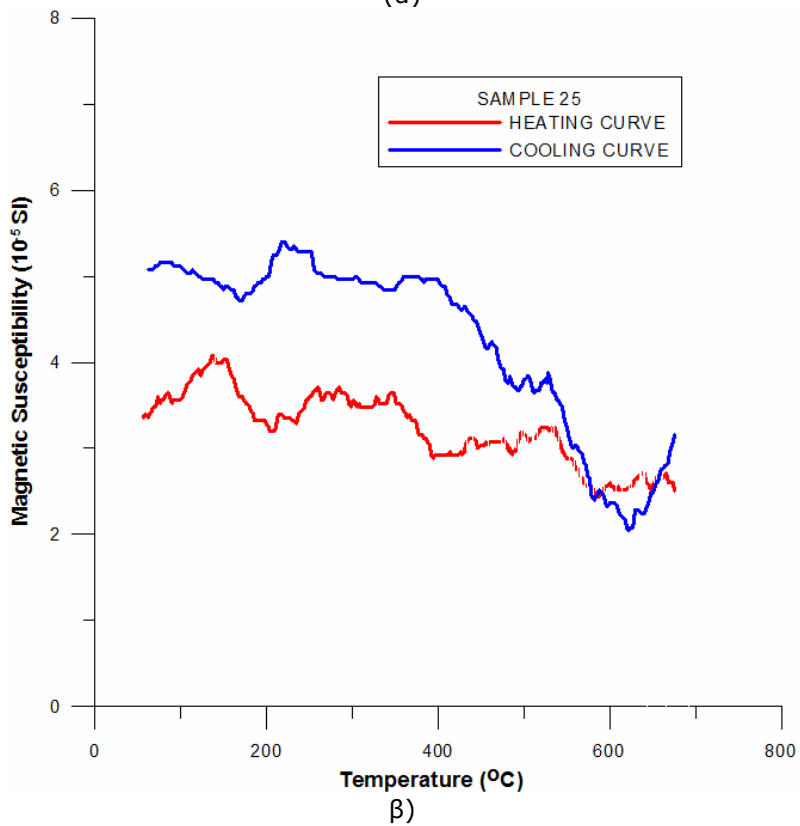
(α)



Σχήμα 4.22 (α) Φωτογραφία και (β) θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 24



(α)



β)

Σχήμα 4.23 (α) Φωτογραφία και (β) θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 25

4.4 Ερμηνεία των αποτελεσμάτων

Στην προηγούμενη παράγραφο παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα των πειραμάτων της μαγνητικής επιδεκτικότητας και του θερμομαγνητισμού. Όσον αφορά την μαγνητική επιδεκτικότητα συνάγεται ότι η πλειονότητα των υλικών είναι παραμαγνητικά. Τα αποτελέσματα του θερμομαγνητισμού κατηγοριοποιούν τα υλικά ως εξής: I) το παραμαγνητικό υλικό παραμένει σταθερό κατά την ψύξη και θέρμανση, II) το παραμαγνητικό υλικό μετασχηματίζεται σε μαγνητίτη ή μαγκεμίτη σε υψηλές θερμοκρασίες, III) το παραμαγνητικό υλικό μετασχηματίζεται σε αιματίτη ή γκαιτίτη σε υψηλές θερμοκρασίες, IV) το παραμαγνητικό υλικό μετασχηματίζεται σε μονοσουλφίδιο του σιδήρου κατά την θέρμανση (στους 300°C) γεγονός που παραπέμπει σε μετα-αποθετικές διεργασίες. Αυτό σημαίνει ότι δεν υπήρχαν αρκετά ιόντα θείου για να σχηματίσουν πυρίτη (FeS_2), επομένως η λεκάνη ήταν φτωχή σε άλατα ή πλούσια σε ιόντα σιδήρου.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα δείγματα 2, 6, 10, 11, 15, 20, τα οποία παρουσιάζουν συμπεριφορά αιματίτη κατά τον θερμομαγνητισμό συλλέχθηκαν από περιοχές όπου εντοπίζονται ρηγματογενείς ζώνες ή οι προεκτάσεις αυτών.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

5.1 Συμπεράσματα και αξιολόγηση της μεθοδολογίας

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η εφαρμογή της μεθόδου της μαγνητικής επιδεκτικότητας και του θερμομαγνητισμού στην περιοχή γύρω από το φράγμα των Ποταμών στο Ρέθυμνο με στόχο να μελετηθούν οι μαγνητικές ιδιότητες των γεωυλικών. Η μελέτη των μαγνητικών ιδιοτήτων των ορυκτών δίνει χρήσιμες πληροφορίες για τον τρόπο μαγνήτισης των υλικών και τους φορείς της μαγνήτισης. Οι γνώσεις αυτές βρίσκουν πλήθος εφαρμογών σε γεωλογικά προβλήματα που σχετίζονται με την τεκτονική και τις συνθήκες διαγένεσης.

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

Όσον αφορά την μαγνητική επιδεκτικότητα συνάγεται ότι η πλειονότητα των υλικών είναι παραμαγνητικά. Τα αποτελέσματα του θερμομαγνητισμού κατηγοριοποιούν τα υλικά ως εξής: I) το παραμαγνητικό υλικό παραμένει σταθερό κατά την ψύξη και θέρμανση, II) το παραμαγνητικό υλικό μετασχηματίζεται σε μαγνητίτη ή μαγκεμίτη σε υψηλές θερμοκρασίες, III) το παραμαγνητικό υλικό μετασχηματίζεται σε αιματίτη ή γκαιτίτη σε υψηλές θερμοκρασίες, IV) το παραμαγνητικό υλικό μετασχηματίζεται σε μονοσουλφίδιο του σιδήρου κατά την θέρμανση (στους 300°C) γεγονός που παραπέμπει σε μετα-αποθετικές διεργασίες. Αυτό σημαίνει ότι δεν υπήρχαν αρκετά ιόντα θείου για να σχηματίσουν πυρίτη (FeS_2), επομένως η λεκάνη ήταν φτωχή σε άλατα ή πλούσια σε ιόντα σιδήρου.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα δείγματα 2, 6, 10, 11, 15, 20, τα οποία παρουσιάζουν συμπεριφορά αιματίτη κατά τον θερμομαγνητισμό συλλέχθηκαν από περιοχές όπου εντοπίζονται ρηγματογενείς ζώνες ή οι προεκτάσεις αυτών.

5.2 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 προκειμένου να διαπιστωθεί ο συσχετισμός συγκεκριμένων ορυκτών με τη μετρούμενη μαγνητική επιδεκτικότητα και τα αποτελέσματα του θερμομαγνητισμού.

- 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.
- Θεωρείται απαραίτητο να διερευνηθεί περισσότερο η εξαρτώμενη από την συχνότητα επιδεκτικότητα.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Fytrolakis, N., 1980, The geological structure of Crete: Problems, observations and conclusions, Habil. Thesis, Nat. Tech. Univ., Athens.
2. Hansen, L.D., Silberman, D. and Fischer, G.L., 1981, Crystalline components of stack-collected, size-fractionated coal fly ash, Environ. Sci. Technol. 15, 1057-62.
3. 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.
4. 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.
5. Snoek, J.L., 1948, Dispersion and absorption in magnetic ferrites at frequencies above one megacycle, Physica 14, 207-17.
6. 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.
7. Thompson, R. and Oldfield, F., 1986, Environmental Magnetism, Allen & Unwin Ltd.
8. Υδροσύστημα-Σύμβουλοι μηχανικοί ΕΠΕ, Βασίλειος Παρασχούσης, 1990, Προμελέτη και οριστική μελέτη φράγματος Ποταμών-Αμαρίου Ρεθύμνης.
9. Αηδονά Ε., 2002, Παλαιομαγνητικές και μαγνητικές ιδιότητες ιζημάτων και υποβάθρου σε πυρήνες γεωτρήσεων από τον Β. Ελλαδικό χώρο: συμβολή στην διερεύνηση των συνθηκών διαγένεσης, Διδακτορική Διατριβή, Α.Π.Θ.
10. Berner R. A., 1971, Principles of chemical sedimentology. McGraw Hill, New York.
11. Berner R. A., 1980, Early diagenesis_ a theoretical approach. Princeton Series in Geochemistry, Princeton University Press
12. Berner R. A., 1981, J. Sed. Petrol., 51, 359-366.
13. Berner R. A., Baldwin T., Holder G. R., J. Sed. Petrol., 49, 1346-1350.
14. Curtis C., 1987. In: Marine Clastic Sedimentology, J. K. Legett and G. G. Zuffa eds. Graham and Trotman, London, 108-123.
15. Dekkers M. J., 1988, Geologica Ultraiectina, 51.
16. Hoffman V., 1992, Phys. Earth Planet. Inter., 70, 288-301.
17. Hoffman V., 1993, Studia geoph. et geod., 37, 366-381.
18. Hus J. J., 1990, Phys. Earth Planet. Inter., 63, 41-57.

19. Jelinowska A., Tucholka P., Gasse F., Fontes J-Ch., 1995, *Geophys. Res. Lett.*, 22, 953-956.
20. Jelinowska A., Tucholka P., Wieckowski K., 1997, *Geophys. J. Int.*, 129, 727-736.
21. Jelinowska A. Tucholka P., Guichard F., Chalie F., Gasse F., Lefevre I., Tribovillard N., Desprairies A., Badaut-Trauth D., 1998, *Geophys. J. Int.*, 133, 499-509.
22. Jones B. F., Bowser C. J., 1978, In: *Chemistry, Geology, Physics*. Lerman and Springer eds., New York, 179-227.
23. Kohlbeck F., Szarka L., Wesztergom V., Jelinowska A., Menvielle M., Tucholka P., Schott J. J., 1998, *Limitations in identification of lake sediment layers by using precise geoelectric sounding*. XXIII EGS, Nice.
24. Kohlbeck F., Szarka L., Jelinowska A., Menvielle M., Schott J. J., Tucholka P., Wesztergom V., 2000, *Geophysical Transactions*, 43, 33-45.
25. Krs M., Novak F., Krsova M., Pruner P., Jansa J., 1992, *Geologica Carpathica*, 43, 156-157.
26. Mann S., Sparks N. H. C., Frankel R. B., Bazylinski D. A., Jannasch H. W., 1990, *Nature*, 346, 258-261.
27. Reynolds R. L., Tuttle F., Rice C. A., Fishman N. S., Karaszewski J. A., Sherman D.M. *Am. J. Sci.*, 294, 485-528.
28. Roberts A. P., Turner G. M., 1993, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 115, 247-273.
29. Schwarz E. J., 1975, *Geol. Surv. Can., Paper*, 74-59, 1-24.
30. Snowball I. F., 1991, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 68, 32-40.
31. Thompson R., Oldfield F., 1986, *Environmental magnetism*. Allen and Unwin, London.
32. Tric E., Laj C., Jehanno C., Valet J. P., Kissel C., Mazaud A., Iaccarini S., 1991, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 65, 319-336.
33. Verosub K. L., Roberts A. P., 1995, *J. Geophys., Res.*, 100, 2175-2192.