



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



Η ΘΕΡΜΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ
ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΗΜΙ-ΟΡΕΙΝΗ ΠΕΡΙΟΧΗ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Τριάντη Ευγενία

ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2010



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



Η ΘΕΡΜΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ
ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΔΥΤΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΤΟΥ ΟΡΟΥΣ ΓΙΟΥΧΤΑ
(ΑΡΧΑΝΕΣ-ΗΡΑΚΛΕΙΟ)

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Τριάντη Ευγενία

Επιβλέπουσα : ***Δρ. Κόκκινου Ελένη***
Επίκουρος Καθηγήτρια

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

Ημερομηνία Παρουσίας :

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 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 δυτική πλευρά του όρους Γιούχτα στις Αρχάνες του νομού Ηρακλείου 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	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	- 5 -
1.1	Σκοπός και αντικείμενο της εργασίας	- 5 -
1.2	Μεθοδολογία εκπόνησης	- 5 -
1.3	Γεωγραφική θέση και περιγραφή της ευρύτερης περιοχής	- 6 -
1.4	Ιστορικά στοιχεία για την περιοχή του Γιούχτα	- 9 -
1.5	Γενικά στοιχεία για το κλίμα της Κρήτης	- 10 -
2.	ΓΕΝΙΚΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	- 19 -
2.1	Εισαγωγή	- 19 -
2.2	Γεωμορφολογικά στοιχεία για την περιοχή του όρους Γιούχτα	- 19 -
2.3	Γεωλογικά στοιχεία για την περιοχή του όρους Γιούχτα	- 20 -
2.4	Στοιχεία από υδρογεωλογική έρευνα για την περιοχή των Αρχανών	- 24 -
3.	ΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ	- 28 -
3.1	Εισαγωγή	- 28 -
3.2	Βασικές μαγνητικές ιδιότητες	- 29 -
3.3	Μαγνητική υστέρηση	- 29 -
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.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΥ	- 45 -
4.1	Περιγραφή της μεθοδολογίας εκπόνησης της παρούσας εργασίας	- 45 -
4.2	Τα μαγνητικά ορυκτά	- 47 -
4.3	Παρουσίαση των αποτελεσμάτων	- 47 -
4.4	Ερμηνεία των αποτελεσμάτων	Error! Bookmark not defined.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	- 63 -
5.1 Συμπεράσματα και αξιολόγηση της μεθοδολογίας	- 63 -
5.2 Προτάσεις	- 64 -
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	- 65 -

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Σκοπός και αντικείμενο της εργασίας

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η εφαρμογή της μεθόδου της μαγνητικής επιδεκτικότητας και του θερμομαγνητισμού σε στην δυτική πλευρά του όρους Γιούχτα στις Αρχάνες του νομού Ηρακλείου για 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.

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.**

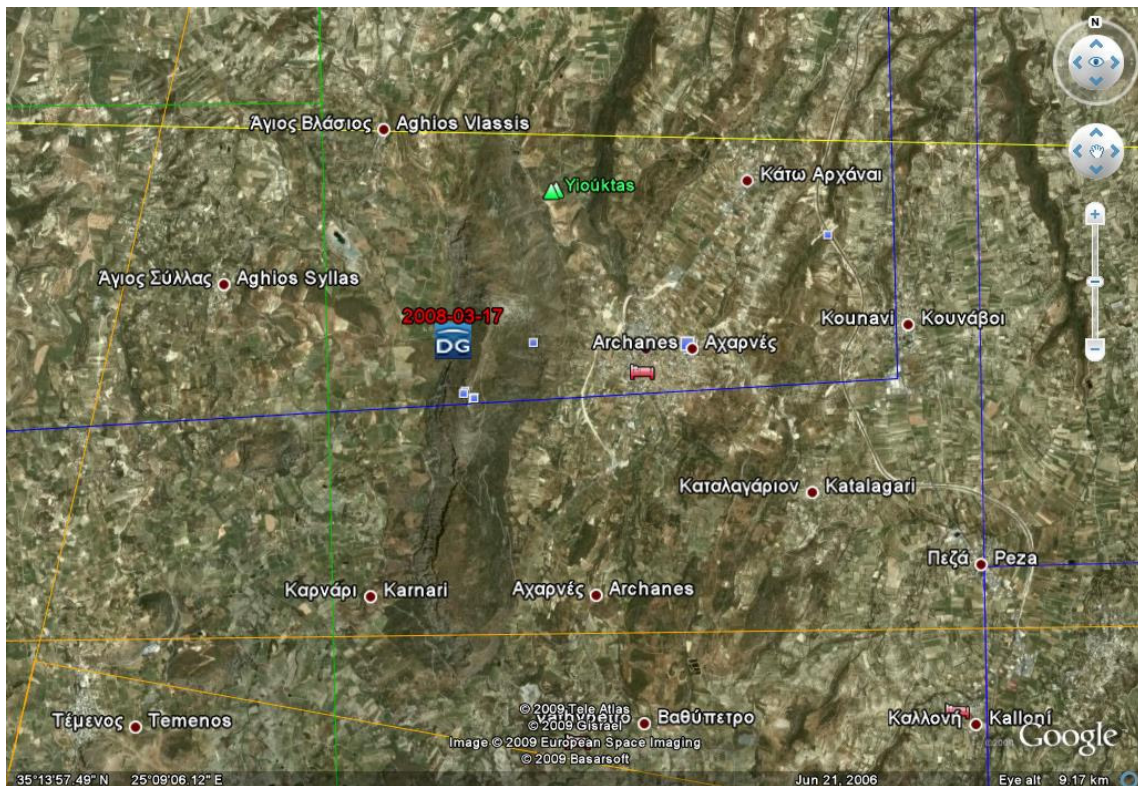
1.2 Μεθοδολογία εκπόνησης

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 και γεωλογική, τεκτονική και γεωφυσική χαρτογράφηση της εξεταζόμενης περιοχής.
- Την επεξεργασία και αξιολόγηση του συνόλου των δεδομένων χρησιμοποιώντας σύγχρονο λογισμικό.
- Σύνταξη της παρούσας εργασίας.

1.3 Γεωγραφική θέση και περιγραφή της ευρύτερης περιοχής

Οι περισσότερες από τις πληροφορίες που ακολουθούν έχουν υιοθετηθεί από τον δικτυακό τόπο του δήμου Αρχανών. Ο Γιούχτας είναι ένα εξ ολοκλήρου ασβεστολιθικό βουνό. Τα πετρώματά του είναι παλαιότερης ηλικίας από αυτά της ευρύτερης περιοχής. Δημιουργήθηκε πριν από εκατομμύρια χρόνια, κατά την Κρητιδική περίοδο (145-68 εκατ. χρόνια πριν), ενώ γύρω του υπάρχουν ιζήματα πιο πρόσφατα, της πλειοκαινικής περιόδου (5,3 - 1,6 εκατομμύρια χρόνια πριν). Βρίσκεται σε απόσταση 3 χλμ. δυτικά των Αρχανών και 18 χλμ. νότια από την πόλη του Ηρακλείου (Σχ. 1.1 και 1.2). Έχει συνολική έκταση 4.000 στρεμμάτων και το σχήμα του είναι επίμηκες με κατεύθυνση από Βορρά προς Νότο. Η υψηλότερη κορυφή του είναι 811 μέτρα. Οι δυτικές πλαγιές είναι απόκρημνες με κλίση μέχρι και 100%, ενώ οι ανατολικές ομαλότερες με κλίση έως 50%.



Σχήμα 1.1 Εικόνα της ευρύτερης περιοχής του δήμου Αρχανών (<http://earth.google.com/>)

Μέχρι σήμερα είναι γνωστά έντεκα σπήλαια στον Γιούχτα, από τα οποία έχουν εξερευνηθεί και χαρτογραφηθεί μερικώς μόνο τρία: τα Ανεμόσπηλια, το Χωστό Νερό και ο Σπήλιος του Στραβομύτη. Στις δύο ψηλότερες κορυφές του απαντούν ένας

τηλεπικοινωνιακός αναμεταδότης και μία εκκλησία. Στο βόρειο - βορειοανατολικό τμήμα της περιοχής εντοπίζεται ένας χείμαρρος με σχετικά πλούσια παρόχθια βλάστηση και ένα μικρό φαράγγι. Η περιοχή περιλαμβάνεται στο Ευρωπαϊκό Δίκτυο Φύση (Natura) 2000 για τη "Διατήρηση των φυσικών οικοτόπων, καθώς και της άγριας χλωρίδας και πανίδας" και θεωρείται Σημαντική Περιοχή για τα Πουλιά (ΣΠΠ) της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Προστατεύεται επίσης ως "Αρχαιολογικός Τόπος" και "Τοπίο Ιδιαιτέρου Φυσικού Κάλλους". Περιβάλλεται από εκτεταμένες καλλιέργειες αμπελιών και ελαιόδεντρων. Η επίδραση του ανθρώπου στο φυσικό περιβάλλον της περιοχής (υλοτομία, εκχέρσωση, καλλιέργειες, φωτιά) είχε ως αποτέλεσμα τη δραστική αλλαγή της φυσιογνωμίας της περιοχής, αν και κανείς δεν μπορεί να πει με βεβαιότητα πώς ήταν η περιοχή πριν αρχίσει τις επεμβάσεις του ο άνθρωπος. Οι μοναχικές βαλανιδιές, που υπάρχουν πολύ αραιά σκορπισμένες στο λεκανοπέδιο των Αρχανών, ίσως να αποτελούν τα υπολείμματα του είδους της βλάστησης που επικρατούσε. Γενικά οι ανθρώπινες επεμβάσεις ήταν και είναι λιγότερο έντονες στον Γιούχτα, και η βλάστηση, αν και έχει χλωριδικά διαφορετική ποσοτική και ποιοτική σύσταση από ό, τι είχε παλαιότερα, διατηρεί αρκετά από τα αρχέγονα χαρακτηριστικά της. Έχουν καταγραφεί περίπου 360 διαφορετικά είδη φυτών εκ των οποίων τα 18 είναι ενδημικά της Κρήτης ή και της Ελλάδας. Επικρατούν οι ξυλώδεις θάμνοι με μικρά χνουδωτά φύλλα και συχνά αγκαθωτούς βλαστούς (φρύγανα), φυτά χαρακτηριστικά της τυπικής μεσογειακής βλάστησης, όπως ο θύμιος, η αγκαραθιά, η αστοιβίδα, το χινοπόδι. Τοπικά, υπάρχουν αειφύλλα - πλατύφυλλα είδη, όπως το πρινάρι και η χαρουπιά, που σε μερικά σημεία έχουν ημιδενδρώδη μορφή. Πολλά ποώδη φυτά που εμφανίζονται με τις πρώτες βροχές κάνουν καταπράσινο το Γιούχτα μέχρι και την άνοιξη. Αρκετά είναι τα είδη που αναπτύσσονται στις απόκρημνες πλαγιές, όπως τα χασμόφιλα, και είναι τα μοναδικά που δεν έχουν επηρεαστεί από τον άνθρωπο. Ανάμεσά τους είναι και το δίκταμο, ο έβενος κ.ά. Η πανίδα του Γιούχτα δεν έχει μελετηθεί ιδιαίτερα, αν και παρουσιάζει ενδιαφέρον από πολλές απόψεις, καθώς υπάρχουν είδη που ολοκληρώνουν το βιολογικό τους κύκλο εκεί, είδη που τον επισκέπτονται περιστασιακά και είδη που τον χρησιμοποιούν ως τόπο φωλιάσματος. Ο αριθμός των ασπόνδυλων ανέρχεται σε αρκετές εκατοντάδες, ενώ αρκετά είναι και τα ενδημικά. Χοχλιοί, σαρανταποδαρούσες, αράχνες, έντομα φυτοφάγα, σαρκοφάγα ή σαπροφάγα υπάρχουν παντού, ακόμα και στα βάθη των σπηλιών. Από αμφίβια έχουν παρατηρηθεί, στους πρόποδες κυρίως, η κιτρινομπομπίνα και ο δενδροβάτραχος. Τα ερπετά αντιπροσωπεύονται από ένα είδος σαύρας (*Lacerta trilineata*) και δύο είδη ακίνδυνων φιδιών, το σπιτόφιδο που στην Κρήτη το ονομάζουν και όχεντρα (ενώ δεν έχει καμία σχέση με την οχιά) και το γατόφιδο. Από θηλαστικά έχει πιστοποιηθεί η ύπαρξη συνολικά οκτώ ειδών, εκ

των οποίων τρία είναι εντομοφάγα (η μικρορινολόφος νυχτερίδα, η μυγαλή, ο σκαντζόχοιρος) και τρία τρωκτικά (σπιτοποντικός, βραχοποντικός και αρουραίος), ένα λαγόμορφο (λαγός) τρία σαρκοφάγα (κρητικός ασβός ή άρκαλος, κρητικό κουνάβι ή ζουρίδα και κρητική νυφίτσα ή καλογιαννού).

Η ορνιθοπανίδα θεωρείται ιδιαίτερα σημαντική, καθώς έχουν παρατηρηθεί περίπου σαράντα είδη πουλιών και είναι σημαντική για την αναπαραγωγή του όρνιου. Επίσης απαντώνται και άλλα σπάνια ή/και απειλούμενα είδη όπως ο πετρίτης και ο μαυροπετρίτης.

Το "Οικολογικό-Αρχαιολογικό Πάρκο Γιούχτα" συνθέτουν το όρος Γιούχτα και τα φαράγγια Κνωσανό (Αγίας Ειρήνης), Ασπρακιανό και Κουναβιανό. Η μορφολογία της δυτικής πλευράς του όρους Γιούχτα σχηματίζει ένα τεράστιο ξαπλωμένο κεφάλι που ενισχύει το μύθο σύμφωνα με τον οποίο ο τάφος του Ολύμπιου θεού Δία βρίσκεται πάνω στο βουνό. Είναι το ιερό βουνό των Αρχανών από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα όπως φαίνεται από τα αρχαιολογικά ευρήματα. Στο βουνό βρίσκονται τέσσερα ιερά, τα δύο στις θέσεις Ψηλή Κορφή και Ανεμοσπηλιά και τα άλλα δύο στις σπηλιές Χωστό Νερό και Σπήλιος του Στραβομούτη, καθώς και το μινωικό νεκροταφείο στο Φούρνη. Ακόμα και σήμερα το σημαντικότερο κέντρο λατρείας των Αρχανών είναι η εκκλησία του Αφέντη Χριστού στην κορυφή του βουνού. Το φυσικό περιβάλλον του Γιούχτα έχει ιδιαίτερη σημασία με την παρουσία πολλών και σημαντικών ειδών χλωρίδας και πανίδας. Το Κνωσανό Φαράγγι αποτελεί φυσική συνέχεια του όρους Γιούχτα. Εκτείνεται νότια των Αρχανών (Άγιος Μάμας), διατρέχει τον οικισμό των Αρχανών στη θέση Κάτω Μύλος, την περιοχή Μυριστή, την υδατογέφυρα της Αγίας Ειρήνης (Σπηλιά), με συνολικό μήκος διαδρομής 6 χλμ. περίπου, και συνεχίζει βόρεια περνώντας από την Κνωσό. Το Κουναβιανό Φαράγγι ξεκινά από τον οικισμό Μυρτιά (Δήμου Ν. Καζαντζάκη) και από τον οικισμό των Κουνάβων (Δήμου Ν. Καζαντζάκη) δημιουργώντας δύο σκέλη. Και τα δύο σκέλη μαζί συμβάλλουν στο Ασπρακιανό Φαράγγι. Είναι δύσβατο λόγω βλάστησης και μορφολογίας του εδάφους και της κοίτης του, και έχει συνολικό μήκος διαδρομής 5 χλμ. Το Ασπρακιανό Φαράγγι είναι το εκτενέστερο της περιοχής, μήκους 12,5 χλμ. περίπου. Ξεκινά βορειοδυτικά από τη θέση Κολομόδι και διατρέχει την περιοχή Ασπρακών (Δήμου Ν. Καζαντζάκη), τις πηγές Μηλιάρά και τα όρια της κτηματικής περιφέρειας Καρτερού, σε μια διαδρομή πλούσια σε φυσικά, μορφολογικά και πολιτιστικά χαρακτηριστικά. Και στα τρία φαράγγια οι αρχαιολογικές και ιστορικές θέσεις είναι πολλές και σημαντικές (ενετική υδατογέφυρα στο Καρυδάκι και στην Αγία Ειρήνη στο Κνωσανό Φαράγγι, αρχαία

πόλη Ελτυνα στους Κουνάβους, μινωικό νεκροταφείο στους Αστράκους, μινωικός οικισμός στη Μυρτιά κ.ά.).

Στα φαράγγια επικρατεί μια πλούσια υδρόφιλη βλάστηση (πλατάνια, ιτιές, λυγαριές, βάτα κ.ά.). Η ποικιλότητα της χλωρίδας είναι μικρή λόγω της ύπαρξης σκίασης, ενώ υπάρχουν 11 ενδημικά είδη, από τα οποία τα δύο είναι σπάνια και τα εννέα κοινά για όλη την Κρήτη. Σε ό, τι αφορά την πανίδα, υπάρχουν πολλά είδη σπονδυλωτών, 44 είδη πουλιών και 7 είδη θηλαστικών.

1.4 Ιστορικά στοιχεία για την περιοχή του Γιούχτα

Το τοπωνύμιο Αρχάνες φαίνεται ότι είναι νεότερος τύπος της αρχαίας πόλης Αχάρνα, όπου βρισκόταν τέμενος προς τιμήν του θεού Άρχου (ή ήρωα), τον οποίο τιμούσαν οι Κνώσιοι και οι Τυλίσιοι, σύμφωνα με επιγραφή που βρέθηκε στο Άργος και χρονολογείται στα 450 π.Χ.. Η ύπαρξη αρχαίας πόλης στη θέση των σημερινών Αχαρνών επιβεβαιώνεται και από τις ανασκαφές που έγιναν το 1957, το 1964 και τα επόμενα χρόνια. Μέσα στην κωμόπολη ανακαλύφθηκε ανάκτορο της Υστερομινωικής Εποχής με βωμούς αμφίκιλους και τοιχογραφικό διάκοσμο (Κρητ. Χρον. ΙΑ', 329, ΙΗ', 282). Επίσης, στη θέση Φουρνί βρέθηκε εκτεταμένη μινωική νεκρόπολη και σε τάφο βασιλέα βρέθηκαν πολύτιμα κτερίσματα, δακτυλίδια, σφραγίδες και άλλα. Όλα αυτά πιστοποιούν την ύπαρξη σπουδαίας μινωικής πόλης στο χώρο των σημερινών Αρχανών.

Η παλαιότερη μνεία του ονόματος του οικισμού βρίσκεται σε συμβόλαιο του 1271: Leonardus Blanco habitator in casali Pano Archani, Albertus de vito habitator in Pano Archanne (A. Lombardo, Documenti della colonia Veneziana di Creta, Torino, p. 120-162). Την εποχή εκείνη αποτελούνται από μεμονωμένες συνοικίες: Arcanes Petrea με 151 κατ. και Arcanes Abramochori με 361 κατ. το 1583 (Καστροφύλακας, Κ 101).

Η κωμόπολη έχει ωραίες οικοδομές από την εποχή της Τουρκοκρατίας, των οποίων η ωραιότερη ήταν του Μουσταφά Ναΐλη πασά, με σιντριβάνια και κήπους. Στη βόρεια πλευρά της κοιλάδας είναι το γραφικό φαράγγι Παραδείσι. Οι Τούρκοι την ονόμαζαν Ακάρ Σουλάρ Νταγ (βουνό των τρεχάμενων νερών). Εντός του ιδίου φαραγγιού βρίσκεται και πηγή της οποίας τα νερά διοχέτευσε το 1628 ο Φραγκίσκος Μοροζίνι στο Ηράκλειο. Η πηγή σήμερα αποξηράνθηκε εξαιτίας υπεράντλησης που έγινε στην περιοχή.

Στην τελευταία περίοδο της Τουρκοκρατίας, η κωμόπολη των Αρχανών έγινε στόχος των Τούρκων, επειδή ήταν προμαχώνας και στρατόπεδο των Χριστιανών. Το 1897 έγινε στις Αρχάνες παγκρήτια συνέλευση. Στην περιοχή διεξήχθησαν αιματηρές μάχες. Το τάγμα επιλέκτων Κρητών με αρχηγό τον Ιωάννη Νταφώτη με τη βοήθεια των κατοίκων απέκρουσε τις ορδές των Τούρκων, σώζοντας την κωμόπολη.

Στην περιοχή των Αρχανών υπάρχουν παλιοί ναοί, όπως η Αγία Τριάδα η καμαροσκέπαστη των αρχών του 14ου αιώνα με ενδιαφέρουσες τοιχογραφίες της Αναλήψεως, της Γεννήσεως κλπ. και της επίσης καμαροσκέπαστης Αγίας Παρασκευής της ίδιας περιόδου. Υπάρχει επίσης η καμαροσκέπαστη εκκλησία του Ασωμάτου με τοιχογραφίες του 1315, μεταξύ των οποίων και η προσωπογραφία του κτήτορα Μιχαήλ Πατσιδιώτη με τη σύζυγό του. Στην περιοχή της εκκλησίας σώζονται τα ερείπια του συνοικισμού, ο οποίος αναφέρεται το 1583 με 26 κατοίκους.

1.5 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.

1.6 Κλιματολογικά στοιχεία για την περιοχή μελέτης

Οι παράγοντες που επιδρούν στη διαμόρφωση του κλίματος της περιοχής είναι:

1. Θερμοκρασία του αέρα

Αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα κλιματικά στοιχεία και τη βασική παράμετρο σε όλες τις κλιματικές κατατάξεις. Στον πίνακα 1.1 παρουσιάζονται οι τιμές της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας αέρα, καθώς και άλλων παραμέτρων καταδεικτικών του κλίματος της περιοχής για την περίοδο 1955 – 1993 από το ΜΣ Ηρακλείου.

Βάσει του πίνακα 1.1. και σε ό,τι αφορά στη θερμοκρασία αέρα, ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος είναι οι δύο μήνες που εμφανίζουν τις ελάχιστες τιμές. Οι υπόλοιποι μήνες έχουν ανά ζεύγη παρεμφερείς τιμές θερμοκρασίας. Έτσι, κατά σειρά αυξανόμενης θερμοκρασίας παρατηρούνται τα εξής ζεύγη μηνών : Μάρτιος - Δεκέμβριος, Απρίλιος - Νοέμβριος, Μάιος - Οκτώβριος, Ιούνιος Σεπτέμβριος και το ζεύγος της μέγιστης τιμής Ιούλιος - Αύγουστος.

Το ετήσιο θερμομετρικό εύρος της περιόδου αυτής είναι 14,1° C και η μέση ετήσια θερμοκρασία 18,7° C. Η παρατηρούμενη μικρή και ομαλή αυξομείωση της θερμοκρασίας κατά τη διαδοχή των μηνών και την εναλλαγή των εποχών του έτους οφείλεται στη μεγάλη θερμοχωρητικότητα της θάλασσας, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι η επίδρασή της είναι ιδιαίτερα σημαντική.

Σχετικά με την μεταβολή της θερμοκρασίας κατά τη διάδοση των τεσσάρων εποχών του έτους, διαπιστώνεται ότι η τιμή της άνοιξης είναι χαμηλότερη από την αντίστοιχη του φθινοπώρου κατά $2,9^{\circ}\text{C}$ γεγονός που οφείλεται στην επίδραση της θάλασσας. Η μεταβολή της θερμοκρασίας κατά τη διαδοχή των μηνών του έτους παρουσιάζει διπλή κύμανση με δύο μέγιστα και δύο ελάχιστα.

Πίνακας 1.1. - Κλιματικά δεδομένα για την περίοδο 1955-1993 από το ΜΣ Ηρακλείου

ΜΗΝΕΣ	Μέση μηνιαία θερμοκρασία	Μέση μηνιαία βροχόπτωση	Μέση μηνιαία Μεγ. 24	Ατμ. Πίεση	Σχ. Υγρασία	Μέση Νέφωση
		Συν/κη ώρου	Μεγ. 24			
	$^{\circ}\text{C}$	mm		(millibar)	(%)	
Ιανουάριος	12,0	90,9	91,5		67,9	5,3
Φεβρουάριος	12,2	67,9	46,9	1015,9	66,1	5,1
Μάρτιος	13,5	53,4	66,7	1014,9	66,0	4,7
Απρίλιος	16,6	29,4	107,5	1013,2	61,9	3,9
Μάιος	20,2	15,0	73,8	1013,7	61,1	3,0
Ιούνιος	24,3	3,4	34,2	1012,7	56,5	1,4
Ιούλιος	26,1	1,0	12,8	1011,1	56,7	0,6
Αύγουστος	26,0	0,7	17,2	1011,4	58,2	0,7
Σεπτέμβριος	23,4	18,7	102,7	1014,7	61,2	1,7
Οκτώβριος	20,1	63,1	99,0	1016,7	65,4	3,6
Νοέμβριος	15,7	57,4	88,4	1017,6	67,5	4,5
Δεκέμβριος	13,7	79,8	62,4	1016,8	67,7	5,0

Οι μέσες μέγιστες και ελάχιστες τιμές της θερμοκρασίας του αέρα παρουσιάζουν απλή ετήσια κύμανση. Οι μεγαλύτερες τιμές εμφανίζονται το δίμηνο Ιουλίου - Αυγούστου και οι μικρότερες το δίμηνο Ιανουαρίου - Φεβρουαρίου.

Οι ακραίες τιμές της θερμοκρασίας αέρος (απολύτως μεγίστη - απολύτως ελαχίστη) σημειώθηκαν τον μήνα Ιούνιο $41,3^{\circ}\text{C}$ και τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο $0,2^{\circ}\text{C}$.

2. Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα

Το νερό που ενδιαφέρει άμεσα την ανάπτυξη και κατανομή των φυτών είναι εκείνο που πέφτει πάνω στη γη με τη μορφή ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων. Το νερό αποτελεί το αφθονότερο συστατικό της ζωντανής ύλης. Τα σπουδαιότερα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα είναι η βροχή, το χιόνι και το χαλάζι.

3. Βροχόπτωση

Η ετήσια βροχόπτωση (ή αλλιώς το βροχομετρικό σύστημα μιας περιοχής) αποτελεί θεμελιώδες κλιματικό στοιχείο, ιδιαίτερα στις περιοχές όπου το μέσο ύψος βροχόπτωσης είναι είτε πολύ χαμηλό είτε πολύ υψηλό.

Στην περιοχή μελέτης και βάσει του πίνακα 1.1. η ετήσια βροχόπτωση παρουσιάζει διακύμανση με μέγιστη τιμή τον Ιανουάριο και ελάχιστη το δίμηνο Ιουλίου - Αυγούστου. Η ξηρή περίοδος διαρκεί 5 - 6 μήνες. Το 85 - 90% των βροχοπτώσεων σημειώνονται από τον

Οκτώβριο μέχρι το Μάρτιο. Από το Μάρτιο και μετά παρατηρείται μείωση του συνολικού ύψους βροχόπτωσης, ενώ από τον Απρίλιο μέχρι και το Σεπτέμβριο πέφτει το 10 - 15% του συνόλου των βροχοπτώσεων. Με την αύξηση του υψομέτρου αυξάνεται το ύψος της βροχής.

4. Ημέρες καταιγίδας

Χαρακτηρίζονται από ογκώδη νέφη και ραγδαίες βροχές που πολλές φορές συνοδεύονται από χαλάζι, ισχυρούς ανέμους και ισχυρές ηλεκτρικές εκκενώσεις. Στον πίνακα 1.2 φαίνεται ο μέσος αριθμός ημερών καταιγίδας κατά μήνα για την περιοχή μελέτης από το ΜΣ Ηρακλείου. Γενικά παρουσιάζεται μια απότομη αύξηση στον αριθμό καταιγίδων τον μήνα Οκτώβριο, ενώ ο συνολικός ετήσιος αριθμός ημερών στις οποίες παρατηρήθηκε το φαινόμενο της καταιγίδας ανέρχεται σε 17,8.

Πίνακας 1.2 - Μέσος μηνιαίος αριθμός ημερών καταιγίδας από το ΜΣ Ηρακλείου (Πέννας, 1977)

ΜΗΝΕΣ													
ΣΤΑΘΜΟΙ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Ε
Ηρακλείου	2,1	1,8	1,7	1,2	1,2	0,7	0,2	0	0,9	3,1	2,3	2,6	17,8

5. Χαλάζι

Το φαινόμενο δημιουργείται πάντοτε σε νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης. Η χαλαζόπτωση είναι μικρής διάρκειας με αυστηρά τοπικό χαρακτήρα και παρακολουθεί την κίνηση του καταιγιδοφόρου νέφους. Η συχνότητα εμφάνισης του φαινομένου είναι μεγαλύτερη κατά τον χειμώνα. Γενικά η υπό μελέτη περιοχή δεν αναφέρεται στις περιοχές που χαρακτηρίζονται από συχνές χαλαζοπτώσεις.

6. Χιονόπτωση

Στον πίνακα 1.3. παρατίθενται οι μέσες μηνιαίες τιμές χιονόπτωσης για την Κρήτη. Ο συνολικός ετήσιος αριθμός ημερών χιονιού, βάσει των στοιχείων του Πίνακα, ανέρχεται σε 1,8. Πρέπει να σημειωθεί ότι το υψόμετρο επιδρά σημαντικά στον αριθμό ημερών χιονιού.

Πίνακας 1.3 – Μέσος μηνιαίος αριθμός ημερών χιονόπτωσης από το ΜΣ Ηρακλείου (Λιβαδάς, 1986)

ΜΗΝΕΣ									
ΣΤΑΘΜΟΙ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ε
Ηρακλείου	0,5	0,9	0,3	0,1	-	0,0	0,0	0,0	2,5

7. Σχηματισμός παγετών

Ο σχηματισμός παγετών δεν ευνοείται στην περιοχή μελέτης σε αντίθεση με άλλες περιοχές στις οποίες η εμφάνιση του φαινομένου είναι συχνή. Γενικά η πιθανότητα εμφάνισης του φαινομένου κυμαίνεται μεταξύ 40 - 90%. Βάσει των διαθέσιμων στοιχείων για την περιοχή μελέτης (Κοτίνης-Ζαμπάκας, 1983), όλοι οι μήνες του έτους εμφανίζονται ως ελεύθερη από παγετούς περιόδους.

8. Σχετική υγρασία αέρα (RH)

Το ατμοσφαιρικό νερό αποτελεί ουσιαστικό παράγοντα του κλίματος και των κλιματικών μεταβολών με σημαντικό ρόλο στον κύκλο της ατμοσφαιρικής ενέργειας. Από τις παραμέτρους που εκφράζουν την υγρομετρική κατάσταση του ατμοσφαιρικού αέρα θα εξετασθεί η σχετική υγρασία.

Από τους πίνακες 1.4 και 1.5 που ακολουθούν προκύπτει ότι η ετήσια πορεία της σχετικής υγρασίας παρουσιάζει απλή διακύμανση με μέγιστες τιμές τον Ιανουάριο (για την περίοδο 1915-1977) και το Δεκέμβριο (για την περίοδο 1977-1991) και ελάχιστες τιμές τους μήνες Ιούνιο-Ιούλιο και Ιούνιο για τις αντίστοιχες περιόδους. Οι 4 μήνες Νοέμβριος, Δεκέμβριος, Ιανουάριος, Φεβρουάριος εμφανίζουν τις υψηλότερες τιμές σχετικής υγρασίας με ελάχιστες διαφορές μεταξύ τους, ακολουθούμενοι από τους ανοιξιάτικους μήνες. Βάσει των στοιχείων, η μέση ετήσια σχετική υγρασία αέρα ανέρχεται σε 65,2% για το διάστημα 1915-1977 και σε 62,2% για το διάστημα 1977-91, παρατηρείται δηλαδή μια ελάττωση του κλιματικού αυτού παράγοντα με την πάροδο των ετών.

Σε ό,τι αφορά την ημερήσια πορεία του παράγοντα, αυτή παρουσιάζει απλή διακύμανση με μέγιστο και ελάχιστο που σημειώνονται αντίστοιχα γύρω από το ελάχιστο και μέγιστο της θερμοκρασίας του αέρα.

Πίνακας 1.4 - Μέσες μηνιαίες τιμές σχετικής υγρασίας του αέρα (%) για την περίοδο 1915 - 1977. Ώρες παρατηρήσεων 8, 14, 20 (Πέννας, 1977)

ΜΗΝΕΣ													
ΣΤΑΘΜΟΙ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Ε
Ηρακλείου	71	69	66	64	64	59	59	60	63	67	70	70	65

Πίνακας 1.5 - Μέσες μηνιαίες τιμές σχετικής υγρασίας του αέρα (%) για την περίοδο 1977 - 1991. Ώρες παρατηρήσεων 6, 12, 18

ΜΗΝΕΣ													
ΣΤΑΘΜΟΙ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Ε
Ηρακλείου	65,7	65,1	66	60,9	58,9	55,8	56,9	58,7	61	64,2	65,9	66,9	62,1

9. Ηλιοφάνεια

Ως περίοδος ηλιοφάνειας ορίζεται το χρονικό διάστημα που η άμεση ακτινοβολία φθάνει μέχρι την επιφάνεια του εδάφους, δηλαδή, η περίοδος κατά την οποία ο ήλιος είναι ορατός ανεμπόδιστα από την επιφάνεια της γης. Η ηλιοφάνεια αποτελεί χρήσιμο στοιχείο της εφαρμοσμένης κλιματολογίας γιατί πέρα από τις άμεσες εφαρμογές της χρησιμοποιείται για την έμμεση εκτίμηση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Στους πίνακες που ακολουθούν παρατίθενται στοιχεία μέσης μηνιαίας περιόδου ηλιοφάνειας για το διάστημα 1971-1980 και 1977 - 1990 καθώς και στοιχεία μέσης ημερήσιας περιόδου ηλιοφάνειας για το διάστημα 1971-1980. Από τα διαθέσιμα στοιχεία μπορούν να υπολογιστούν οι μέσες τιμές ηλιοφάνειας σε ετήσια βάση. Έτσι, η μέση μηνιαία ηλιοφάνεια ανέρχεται σε 230,61 ώρες για την περίοδο 1971-1980 και σε 228,53 για την περίοδο 1977-1990, ενώ η μέση ημερήσια ηλιοφάνεια ανέρχεται σε 7,56 ώρες για την περίοδο 1971-1980. Η ετήσια πορεία της περιόδου ηλιοφάνειας ακολουθεί απλή διακύμανση με μέγιστη τιμή τον Ιούλιο και ελάχιστη τιμή τους μήνες Δεκέμβριο-Ιανουάριο.

Πίνακας 1.6 - Μέση μηνιαία διάρκεια ηλιοφάνειας (ώρες) περιόδου 1971 - 1980. (Μπλούτσος και Πέννας, 1986)

ΜΗΝΕΣ							
ΣΤΑΘΜΟΙ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	
Ηράκλειο	114	118	186,6	224,1	304,1	355,8	
	Ιουλ	Αυγ	Σεπτ	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ε
	375,1	345,3	281,1	192,8	153	117,4	2768,9
ΜΗΝΕΣ							
ΣΤΑΘΜΟΙ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	
Ηράκλειο	114	118	186,6	224,1	304,1	355,8	
	Ιουλ	Αυγ	Σεπτ	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ε
	375,1	345,3	281,1	192,8	153	117,4	2768,9

Πίνακας 1.7. - Μέση μηνιαία διάρκεια ηλιοφάνειας (ώρες) περιόδου 1977 - 1990.

ΜΗΝΕΣ							
ΣΤΑΘΜΟΙ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	
Ηράκλειο	120,9	119,8	178,3	229,1	292,7	351	
	Ιουλ	Αυγ	Σεπτ	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ε
	367,2	342,5	279,3	200	140,2	121,4	2743,1

Πίνακας 1.8. - Μέση ημερήσια διάρκεια ηλιοφάνειας (ώρες) περιόδου 1971 - 1980. (Μπλούτσος και Πέννας, 1986)

ΜΗΝΕΣ							
ΣΤΑΘΜΟΙ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	
Ηράκλειο	3,68	4,17	6,02	7,47	9,81	11,86	
	Ιουλ	Αυγ	Σεπτ	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ε
	12,1	11,14	9,37	6,22	5,1	3,79	7,58

10. Ηλιακή ακτινοβολία

Ηλιακή ακτινοβολία ή ηλιακή ενέργεια είναι η ακτινοβολία που φθάνει στη γη από τον ήλιο. Η ολική ενέργεια που δέχεται ένα στρέμμα γης κατά την διάρκεια του έτους υπολογίζεται σε $2.5 \cdot 10^{20}$ kcal ή 0,9 KWH.

Στον πίνακα 1.9 δίδονται οι μέσες τιμές ηλιακής ακτινοβολίας ανά μήνα. Από τα στοιχεία αυτά μπορεί να υπολογιστεί η μέση ετήσια ηλιακή ακτινοβολία, η οποία ανέρχεται σε 489,11. Επίσης από τον πίνακα προκύπτει ότι ο Ιούλιος εμφανίζει τις υψηλότερες τιμές ηλιακής ακτινοβολίας και ο Δεκέμβριος τις χαμηλότερες.

Πίνακας 1.9 - Μέσες μηνιαίες και ετήσιες τιμές της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας

ΜΗΝΕΣ							
ΣΤΑΘΜΟΙ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	
Ηράκλειο	216	256,5	397,7	530,7	699,7	789	
	Ιουλ	Αυγ	Σεπτ	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ε
	810	747,7	546,8	393,3	280,2	201,7	489

11. Νέφωση

Ως νέφωση ορίζεται το ποσοστό της έκτασης του ουράνιου θόλου που καλύπτεται από νέφη. Είναι σημαντικό στοιχείο του κλίματος μιας περιοχής και έχει άμεση επίδραση στις μεταβολές της θερμοκρασίας, στη διάρκεια της ηλιοφάνειας και στην ένταση της εξατμισοδιαπνοής. Ακολουθεί απλή ετήσια διακύμανση σε σχήμα U με μέγιστο κατά την ψυχρή περίοδο και ελάχιστο κατά τη θερμή.

Στον πίνακα 1.10 φαίνονται οι μέσες μηνιαίες τιμές νέφωσης (σε όγδοα). Τα μεγέθη αντιπροσωπεύουν το μέσο όρο των τριών (3) παρατηρήσεων που έχουν κατά συνθήκη υιοθετηθεί (8^{15} , 14^{15} και 20^{15} ώρας της ημέρας) σε κλίμακα 0-8. Από τις μέσες τιμές του Πίνακα προκύπτει ότι η μέση μηνιαία τιμή νέφωσης, η οποία ανέρχεται σε 3,3/8 για την περίοδο 1915-1975 στην περιοχή του Ηρακλείου.

Πίνακας 1.10 - Μέσες μηνιαίες τιμές νέφωσης (σε όγδοα) Περίοδου 1915 - 1975 (Πέννας, 1977)**ΜΗΝΕΣ**

ΣΤΑΘΜΟΙ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπτ	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ε
Ηρακλείου	5,3	5,1	4,8	3,7	2,9	1,4	0,6	0,7	1,8	3,6	4,7	5,1	3,3

12. Άνεμοι

Η Κρήτη βρίσκεται υπό την επίδραση, είτε των υφέσεων που διαδρομούν τη Μεσόγειο είτε των αντικυκλωνικών προεκτάσεων από Βορρά ή Νότο. Η εναλλαγή των συνοπτικών παραγόντων, σε συνδυασμό με το έντονο ανάγλυφο έχουν ως αποτέλεσμα τις συχνές μεταβολές της έντασης και διεύθυνσης των ανέμων. Κατά τη χειμερινή περίοδο, οι άνεμοι που παρουσιάζουν μεγάλη συχνότητα είναι οι νότιοι - νοτιοδυτικοί ενώ ακολουθούν με μικρή διαφορά οι βόρειοι - βορειοδυτικοί. Στη δυτική Κρήτη επικρατούν οι νότιες συνιστώσες ενώ στην ανατολική, οι βόρειες. Σε περιόδους ελεύθερης υφειακής δραστηριότητας λόγω επικράτησης των προεκτάσεων του Σιβηρικού αντικυκλώνα, δημιουργείται βόρειο ρεύμα που στην περιοχή του Κρητικού πελάγους διχάζεται και δίνει ανέμους Β στη δυτική Κρήτη και ΒΔ στην κεντρική και ανατολική και κατ' επέκταση και στην υπό μελέτη έκταση. Το χειμώνα, οι εντάσεις των ανέμων -ανεξαρτήτως διεύθυνσης- δεν είναι μεγάλες, με επικράτηση των μέτριων και ακολούθως των ασθενών ανέμων. Οι ισχυροί άνεμοι παρουσιάζουν μικρή συχνότητα, ενώ οι θυελλώδεις εμφανίζονται σε μικρά ποσοστά στην κεντρική και ανατολική Κρήτη.

Κατά την περίοδο της άνοιξης παρουσιάζεται μείωση της συχνότητας των νότιων ανέμων και ενίσχυση του ρεύματος των βόρειων. Κατά τους θερινούς μήνες παρατηρείται πλήρης επικράτηση του συστήματος των ετησίων (μελτέμια).

Κατά τη φθινοπωρινή περίοδο, οι συχνότητες των διευθύνσεων των ανέμων δεν διαφέρουν πολύ από εκείνες του καλοκαιριού. Οι ανεμολογικές συνθήκες του Σεπτεμβρίου είναι όμοιες με αυτές των θερινών μηνών. Γενικά παρατηρείται ελάττωση των ΒΔ ανέμων και αύξηση των Ν ενώ οι υπόλοιπες διευθύνσεις παρουσιάζουν μικρή συχνότητα. Οι εντάσεις που κυριαρχούν είναι μέτριες 3 - 5 Beaufort.

Στην περιοχή μελέτης επικρατούν άνεμοι βόρειας συνιστώσας και ακολουθούν οι νότιας, ενώ τα ποσοστά εμφάνισης ανέμων άλλων διευθύνσεων είναι χαμηλά. Ως προς τις εντάσεις των ανέμων στην περιοχή μελέτης, υπερέχουν οι μέτριες και ακολουθούν οι ασθενείς. Οι ισχυροί καθώς και οι θυελλώδεις άνεμοι είναι μικρής συχνότητας. Το ποσοστό των ημερών άπνοιας πλησιάζει το 25%.

Κλιματολογική κατάταξη

Βιοκλιματική κατάταξη κατά Μαυρομάτη.

Από καθαρή βιοκλιματική άποψη και με βάση το ομβροθερμικό πηλίκο του Emberger, η περιοχή Ηρακλείου κατατάσσεται στο ημίξηρο βιοκλιματικό όροφο με θερμό χειμώνα (Μαυρομάτης, 1980). Η κατάταξη αυτή αντιστοιχεί σε ήπιους χειμώνες με μέση ελάχιστη θερμοκρασία του ψυχρότερου μήνα $> 3^{\circ} \text{C}$, μέση ετήσια βροχόπτωση μεταξύ 400 - 600mm και βλάστηση που σε αδιατάρακτη μορφή χαρακτηρίζεται από τη συνένωση χαρουπιάς, σχίνου για το γεωγραφικό χώρο της ανατολικής Μεσογείου.

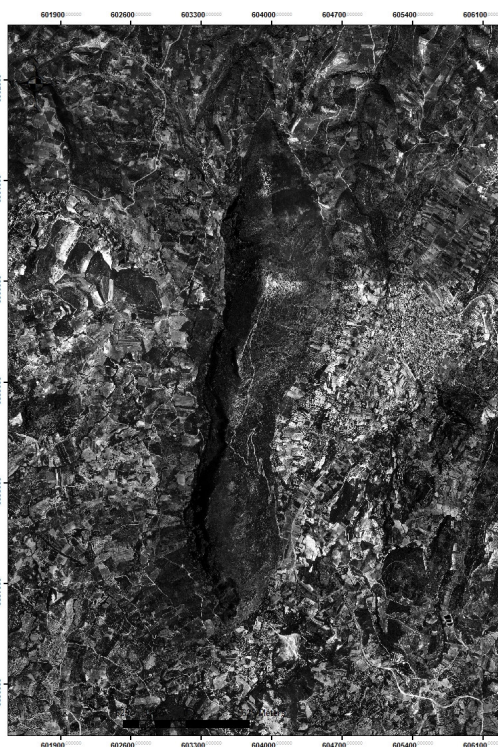
2. ΓΕΝΙΚΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 Εισαγωγή

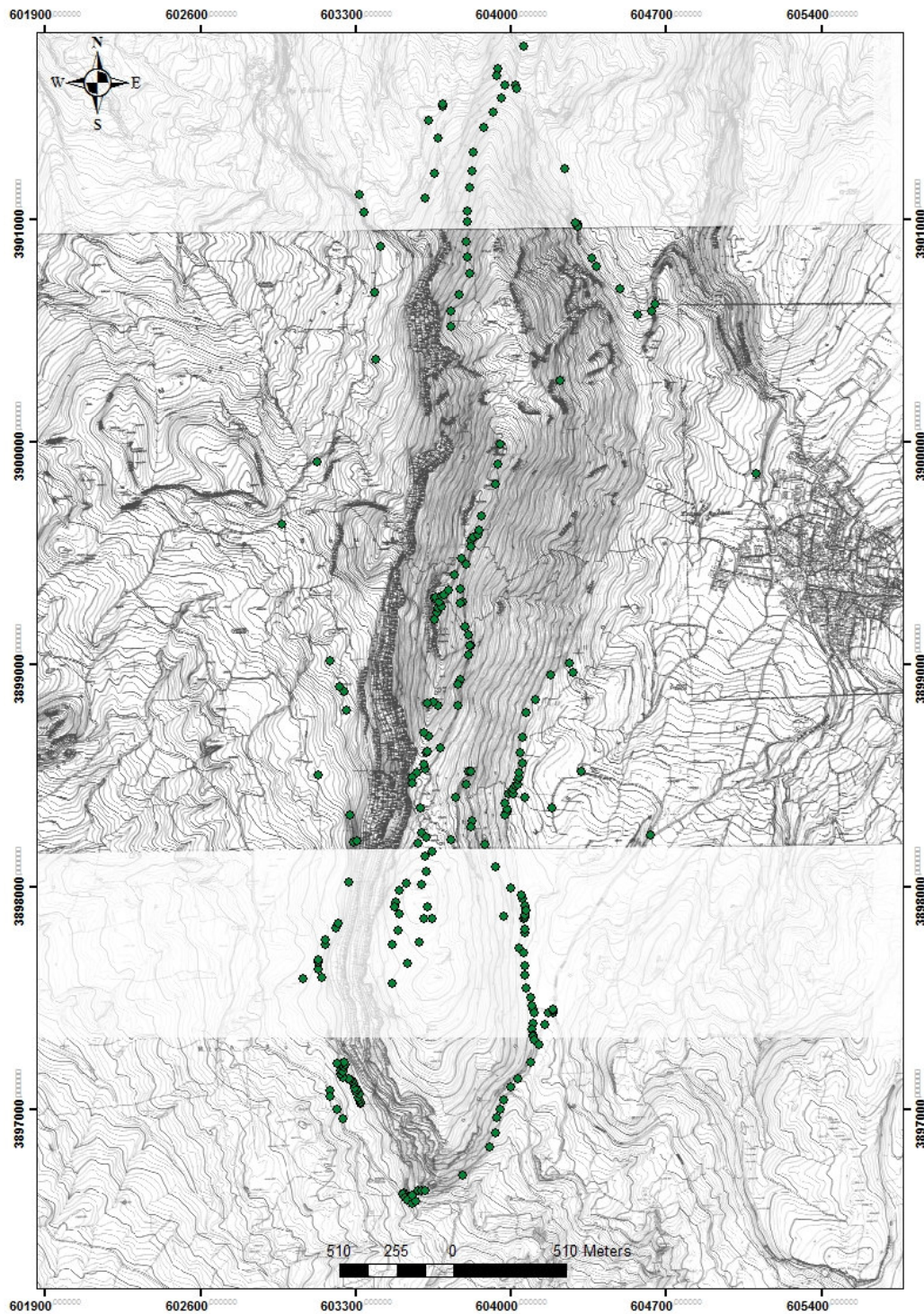
Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της γεωλογικής χαρτογράφησης του όρους Γιούχτα, τα οποία συνδυάστηκαν και με πληροφορίες από τους γεωλογικούς χάρτες Ηρακλείου και Αρχανών του ΙΓΜΕ. Αν και η τεκτονική θα παρουσιαστεί σε επόμενο κεφάλαιο, εντούτοις θεωρούμε απαραίτητο να συμπεριληφθούν οι ρηγματογενείς ζώνες και στους χάρτες του παρόντος κεφαλαίου.

2.2 Γεωμορφολογικά στοιχεία για την περιοχή του όρους Γιούχτα

Το όρος Γιούχτας έχει συνολική έκταση 4.000 στρεμμάτων και το σχήμα του είναι επίμηκες με κατεύθυνση από Βορρά προς Νότο (Σχ. 2.1, 2.2). Η υψηλότερη κορυφή του είναι 811 μέτρα. Οι δυτικές πλαγιές είναι απόκρημνες με κλίση μέχρι και 100%, ενώ οι ανατολικές ομαλότερες με κλίση έως 50%. Γεωλογικά αποτελεί ένα ασύμμετρο τεκτονικό κέρασ, το οποίο δομείται κυρίως από ασβεστολιθικό υλικό.



Σχήμα 2.1 Αεροφωτογραφία του όρους Γιούχτα (διατέθηκε από το Ινστιτούτο Μεσογειακών Σπουδών, Ι.Τ.Ε)

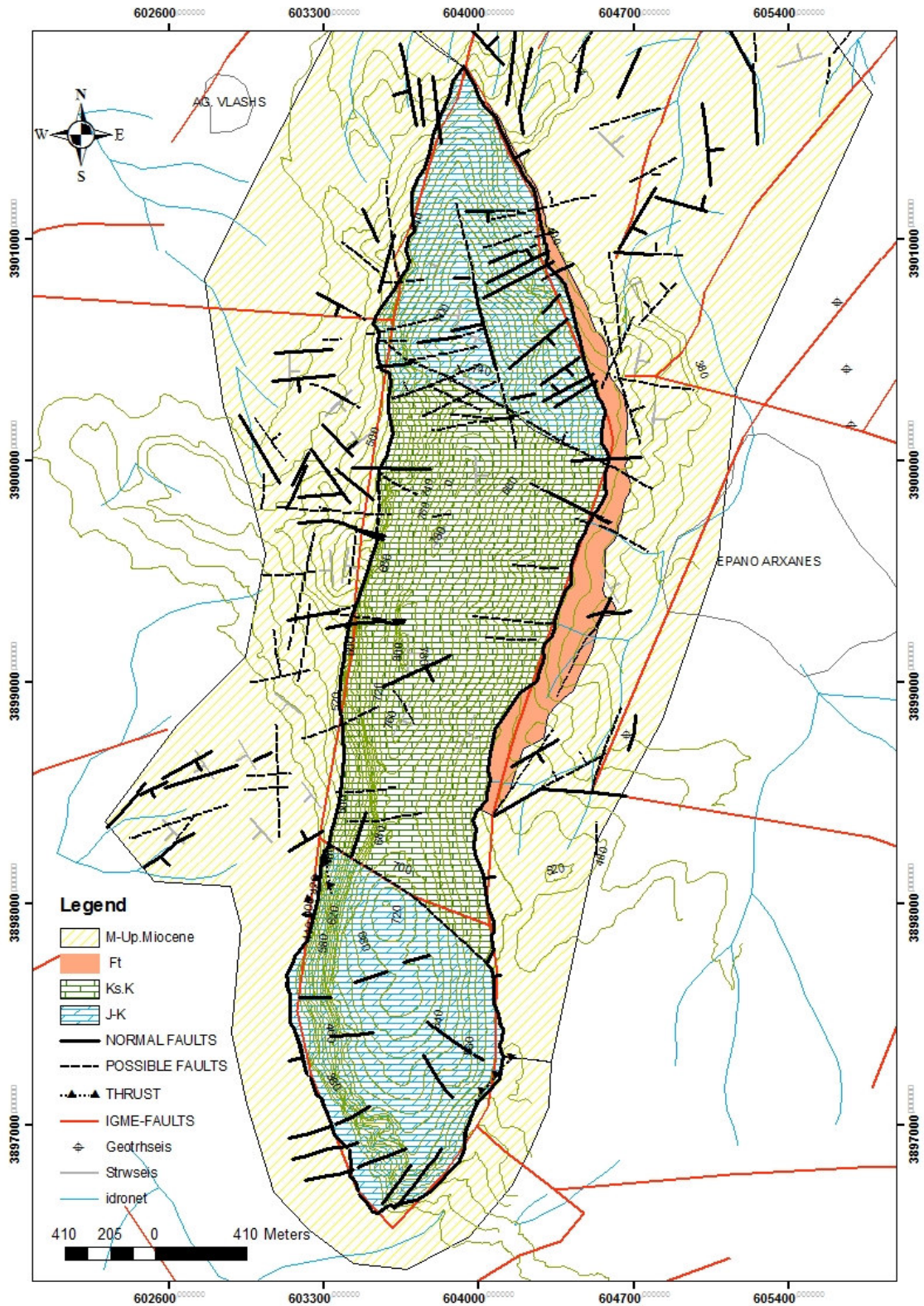


Σχήμα 2.2 Τοπογραφικός χάρτης της περιοχής μελέτης, όπου εμφανίζονται τα σημεία των μετρήσεων

2.3 Γεωλογικά στοιχεία για την περιοχή του όρους Γιούχτα

Η γεωλογική χαρτογράφηση του όρους Γιούχτας παρουσιάζεται στο σχήμα 2.3. Κατά την χαρτογράφηση δόθηκε έμφαση στους ασβεστολιθικούς σχηματισμούς και λιγότερο στα

νεογενή που δομούν την περιοχή. Πάνω στον χάρτη εμφανίζονται, το υπόβαθρο, οι γεωλογικοί σχηματισμοί που θα παρουσιαστούν με λεπτομέρεια στην συνέχεια, τα ρήγματα (μαύρο χρώμα) που αποτυπώθηκαν, τα ρήγματα κατά ΙΓΜΕ, οι στρώσεις, το υδρογραφικό δίκτυο κατά ΙΓΜΕ, οι γεωτρήσεις της περιοχής και οι οικισμοί.



Σχήμα 2.3 Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης.

Οι Νεογενείς αποθέσεις (M-Up. Miocene) που δομούν την περιοχή του Γιούχτα είναι :

1. Σχηματισμός Φοινικιάς- Κατώτερο - Μέσο Πλειόκαινο

Ο σχηματισμός Φοινικιάς αποτελείται κυρίως από ομοιογενείς μάργες και στα σταχτιές αργίλους που παρουσιάζουν συχνά λεπτές καφέ ενστρώσεις. Επίσης εντός του σχηματισμού αυτού συναντώνται άσπρες έως υποκίτρινες απολιθωματοφόρες μάργες ενίοτε φυλλώδεις που περιέχουν απολιθώματα φυτών, ψαριών καθώς και σπόγγων. Το κατώτερο τμήμα του γεωλογικού σχηματισμού της Φοινικιάς αποτελείται από ένα όχι καλά σχηματισμένο μαργαϊκό λατυποπαγές αποτελούμενο από λευκές ομοιογενείς μάργες, ασβεστόλιθους καθώς επίσης και μάργες του σχηματισμού Αγίας Βαρβάρας. Ο σχηματισμός αυτός δεν εμφανίζεται στην στενότερη περιοχή της έρευνας, εμφανίζεται όμως στην ευρύτερη περιοχή.

2. Σχηματισμός Αγίας Βαρβάρας, Ανώτερο Τορτόνιο - Μεσσήνιο

Ο σχηματισμός της Αγίας Βαρβάρας αποτελείται κυρίως από καλοστρωμένους μαργαϊκούς ασβεστόλιθους. Τοπικά παρατηρούνται κροκαλοπαγή η λατυτοπαγή, με ενστρώσεις μαργών και ψαμιτών. Εντός του σχηματισμού αυτού παρατηρούνται και γύψη που παρεμβάλλονται στην κορυφή (περιοχή Πρ. Ηλία Τσαγκαράκη) ή εντός των καλοστρωμένων μαργών σε βάθος. Οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι είναι πλούσιοι σε απολιθώματα. Ο σχηματισμός αυτός είναι ηλικίας Ανώτερο Τορτόνιο - Μεσσήνιο και παρατηρείται στην περιοχή γύρω από τον δήμο Αρχανών καθώς και στην περιοχή μεταξύ Αγιο Σύλλα - Πρ. Ηλία.

3. Σχηματισμός Αμπελούζου - Τορτόνιο

Ο σχηματισμός Αμπελούζου αποτελείται κυρίως από ανώμαλες διαδοχές θαλάσσιων υφάλμυρων και γλυκών φάσεων, κροκαλοπαγών, ψαμιτών, αργίλων και μαργών. Στην περιοχή έρευνας παρατηρείται νότια του δήμου Αρχανών και η ηλικία του είναι Τορτόνιο του Νεογενούς.

4. Σχηματισμός Ηλία - Ανώτερο - Μέσο Μειόκαινο

Ο σχηματισμός Ηλίας αποτελείται κυρίως από νεογενής κιτρινωπές μάργες με παρεμβολές από ενστρώσεις γκρι μαργών, ψαμιτών και άμμων. Καταλαμβάνουν μεγάλη έκταση στην περιοχή και το πάχος τους σε μερικές περιοχές είναι πολύ μεγάλο, φτάνουν και σε βάθος περίπου 500 μέτρα.

Ο φλύσσης και οι ασβεστόλιθοι που δομούν τον κύριο ασβεστολιθικό όγκο του Γιούχτα ανήκουν στην Ζώνη Τρίπολης:

Φλύσχη - Ανώτερο Ηώκαινο – Ολιγόκαινο (ft)

Ο σχηματισμός του φλύσχη της ζώνης Τρίπολης είναι εναλλαγές σοκολατοχρόων αργιλικών σχιστόλιθων και ψαμμιτών με μικρές ενστρώσεις τεφρών ασβεστολιθικών Τουρβιδιτών ηλικίας Ανώτερο Ιόκαινο έως Ολιγόκαινο. Ο φλύσχη αποτελεί το ανώτερο γεωλογικό σχηματισμό του τεκτονικού καλύμματος της ζώνης Τρίπολης και εμφανίζεται βορειοανατολικά του όρους Γιούχτα.

Ασβεστόλιθοι Παλαιόκαινο έως Ανώτερο Ιουρασικό

Οι ασβεστόλιθοι της ζώνης Τρίπολης ανάλογα με την ηλικία τους χωρίζονται σε τρία στρώματα:

- Το στρώμα ηλικίας Ανώτερο Κρητιδικό (Ks.k) είναι τεφρόμαυροι ασβεστόλιθοι μεσοπαχυστρωματώδεις μέχρι άστρωτοι, βιτουμενιούχοι με πλούσια νηριτική πανίδα.
- Το κατώτερο στρώμα των ασβεστόλιθων της ζώνης Τρίπολης ηλικίας Άνω Τριοδικό Ανώτερο Ιουρασικό (J-K) είναι δολομιτικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες σε τεκτονική επαφή με την υποκείμενη φυλλιτική - χαλαζιακή σειρά, με αποτέλεσμα στην βάση τους να είναι κατά θέσεις μυλονιτιωμένοι λόγω τεκτονισμού. Τα κατώτερα μέλη τους αποτελούνται από ημικρυσταλλικούς δολομιτικούς ασβεστόλιθους και δολομίτες παχυστρωματώδεις μέχρι άστρωτους, τεφρόμαυρους, ενώ τα ανώτερα μεταπίπτουν σε ασβεστόλιθους και δολομιτικούς ασβεστόλιθους μεσοστρωματώδεις, τεφρόλευκους μέχρι τεφρόμαυρους καρστικούς. Οι ασβεστόλιθοι της Τρίπολης αποτελούν συνήθως τα υψώματα της ευρύτερης περιοχής, έτσι εμφανίζονται στο όρος Γιούχτα. στον μικρό Γιούχτα και στην περιοχή της κοινότητας του Πρ. Ηλία.

2.4 Στοιχεία από υδρογεωλογική έρευνα για την περιοχή των Αρχανών

Οι πληροφορίες που ακολουθούν προέρχονται από γεωφυσική έρευνα στην περιοχή μελέτης πριν αρκετά χρόνια και διατέθηκαν από τον δήμο Αρχανών. Η υδρογεωλογική έρευνα της περιοχής του δήμου Αρχανών Κεντρικής Κρήτης από πλευράς Γεωφυσικής βασίστηκε στην μέθοδο των γεωηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων. Οι γεωηλεκτρικές διασκοπήσεις με την μέθοδο της ειδικής αντίστασης έγιναν με διάταξη ηλεκτροδίων κατά Schlumberger. Το ανάπτυγμα της γραμμής ρεύματος κυμαινόταν από 1600 έως 2600 μέτρα ανάλογα με το ζητούμενο βάθος και τις δυνατότητες πρόσβασης. Συνολικά έγιναν 4

γεωηλεκτρικές τομές με διεύθυνση περίπου Βοράς - Νότος, η δε διεύθυνση ανάπτυξης γραμμής ρεύματος είναι περίπου παράλληλη προς την κύρια διεύθυνση τεκτονισμού της περιοχής. Οι αποστάσεις μεταξύ των βυθοσκοπήσεων κυμαίνονται από 350 μέτρα έως 600 μέτρα με τις δυνατότητες πρόσβασης. Τα γεωηλεκτρικά όργανα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν το Terrameter SAS300B της ABEM και ο Booster της ABEM. Επίσης έγιναν παραμετρικές βυθοσκοπήσεις στον ασβεστόλιθο της Τρίπολης και στον φυλλίτη για να βρεθούν οι διακυμάνσεις των τιμών της ειδικής αντίστασης.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η περιοχή των γεωφυσικών μετρήσεων βρίσκεται στα Ανατολικά και Δυτικά του ορεινού συγκροτήματος του Γιούχτα του δήμου Αρχανών κεντρικής Κρήτης. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που απαντώνται στην περιοχή (από πάνω προς τα κάτω) είναι: Νεογενή (Μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, Μάργες κ.λ.π.), ασβεστόλιθος Τρίπολης, φυλλίτης, πλακώδεις ασβεστόλιθοι.)

ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΓΙΟΥΧΤΑ

Στην περιοχή αυτή εμφανίζονται γεωηλεκτρικοί σχηματισμοί με τιμές ειδικής αντίστασης που κυμαίνεται από 10-790 $\Omega m \cdot m$. Ειδικότερα γεωηλεκτρικοί σχηματισμοί με τιμές ειδικής από 10-45 $\Omega m \cdot m$ αντιστοιχούν σε νεογενή μεγάλου. πάχους (Μάργες, Μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι). Ο ασβεστόλιθος της Τρίπολης υπόκεινται των νεογενών και εμφανίζεται με τιμές ειδικής αντίστασης της τάξης των 250 $\Omega m \cdot m$. Ο γεωηλεκτρικός σχηματισμός που εμφανίζεται κάτω από τον ασβεστόλιθο της Τρίπολης πιστεύεται ότι ανήκει στους φυλλίτες με τιμές ειδικής αντίστασης από 63-78 $\Omega m \cdot m$. Στο συμπέρασμα αυτό καταλήξαμε διότι η τιμή της ειδικής αντίστασης που προέκυψε από την in situ μέτρηση στους φυλλίτες (βόρειο τμήμα του Γιούχτα) συμπίπτει 60-70 $\Omega m \cdot m$. Τέλος υπάρχει το γεωηλεκτρικό υπόβαθρο με τιμές ειδικής αντίστασης από 650 - 790 $\Omega m \cdot m$ που πιστεύεται ότι αντιστοιχούν στους πλακώδεις ασβεστόλιθους της Ιονίου ζώνης.

ΔΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΓΙΟΥΧΤΑ

Το υπέδαφος της περιοχής αυτής μέχρι του διασκοπηθέντος βάθους των 400-500 μέτρων περίπου, παρουσιάζει ως επί το πλείστον τιμές ειδικών αντιστάσεων από 5-60 $\Omega m \cdot m$ και για το έντονα τεκτονισμένο ασβεστολιθικό υπόβαθρο τιμές της τάξης των 250 $\Omega m \cdot m$. Γεωηλεκτρικοί σχηματισμοί που υπέρκειται το ασβεστόλιθου της Τρίπολης με τιμές ειδικής αντίστασης που κυμαίνονται από 5-60 $\Omega m \cdot m$ αντιστοιχούν σε νεογενή, το πάχος των οποίων εμφανίζεται της τάξης των 300-400 μέτρων.

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η περιοχή της έρευνας ανήκει δυτικά στην λεκάνη Γιόφυρου και ανατολικά στο βόρειο τμήμα της λεκάνης Κατσαμπαδιανού ή Κνωσσάνου. Οι βροχοπτώσεις στην περιοχή αυτή φτάνουν στο μέσο ετήσιο ύψος βροχής στα 750mm, τα στοιχεία πάρθηκαν από δύο βροχομετρικούς σταθμούς της ΥΕΒ που βρίσκεται στις περιοχές του Πρ. Ηλία και Φοινικιάς αντίστοιχα. Από τα σχεδιαγράμματα (βλέπε σχ. 1,2) φαίνεται ότι το μεγαλύτερο ύψος βροχής παρατηρείται κατά τους μήνες Νοέμβριο μέχρι Φλεβάρη, τους καλοκαιρινούς μήνες μέχρι και τέλος Σεπτεμβρίου δεν έχουμε σχεδόν καθόλου βροχοπτώσεις. Το ίδιο επίσης παρατηρείται και στις επιφανειακές απορροές των χειμάρρων Κνωσσανού και Γιόφυρου δηλαδή τους χειμερινούς μήνες παρατηρείται μια αυξημένη παροχή που σταδιακά μειώνεται και τους καλοκαιρινούς μήνες μηδενίζεται μέχρι και τον Οκτώβρη μήνα.

Σημειώνουμε ότι στην περιοχή έρευνας που ανήκει στην λεκάνη Γιόφυρου οι γεωτρήσεις που έγιναν δεν έδωσαν θετικά αποτελέσματα γιατί διέτρησαν μόνο μάργες. Σε αυτή την περιοχή εκφορτίζουν μόνο μερικές μικροπηγές στην επαφή των μαργαϊκών ασβεστόλιθων με την υποκείμενη μάργα όπως είναι οι πηγές Π8, Π9, Π10, Π12 και οι δύο πηγές τοπικού χαρακτήρα Π6, Π7 στην επαφή των ασβεστόλιθων του όρους Γιούχτα με τις μάργες. Οι πηγές αυτές ανήκουν στον δήμο Αρχανών γι' αυτό και έγινε συστηματική μέτρηση της παροχής τους που όπως βλέπουμε και από το σχεδιάγραμμα (σχήμα 3) σταδιακά μειώνεται τους καλοκαιρινούς μήνες.

Στην περιοχή έρευνας που ανήκει στην λεκάνη Κνωσσανού οι υδρολογικές συνθήκες αλλάζουν λόγω των σχηματισμών των πετρωμάτων που καλύπτουν την περιοχή αυτή. Έτσι έχουμε εδώ τις πηγές Π1, Π2, Π3, Π4, Π5 οι οποίες εκφορτίζουν τα πετρώματα του σχηματισμού Αμπελούζου. Οι πηγές αυτές έχουν συνολική παροχή περίπου 15-25 m^3/h , η παροχή τους δηλαδή έχει σχέση με τις βροχοπτώσεις γι' αυτό έχουμε αυτές τις διακυμάνσεις από ξηρά σε υγρά περίοδο.

Στην περιοχή που καλύπτεται από τον σχηματισμό Αγ. Βαρβάρας που έχει την δυνατότητα να αναπτύσσει υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες, έχουν ανορυχθεί αρκετές γεωτρήσεις (βλέπε τοπογραφικό χάρτη Γ1, Γ2, Γ3, Γ4, Γ5, Γ6, Γ7) με παροχές που κυμαίνονται από 30 - 60 m^3/h στον υδροφόρο όμως αυτό ορίζοντα πιστεύουμε ότι δεν έχουμε άλλες δυνατότητες διάνοιξης νέων γεωτρήσεων επειδή και αυτές οι ποσότητες νερών που αντλούνται είναι μεγαλύτερες από την δυνατότητα της μέσης ετήσιας αναπλήρωσης των νερών στο συγκεκριμένο υδροφόρο ορίζοντα. Στο συμπέρασμα αυτό μας οδήγησε η μεγάλη πτώση στάθμης που παρατηρήθηκε στις γεωτρήσεις αυτές από την ημερομηνία διάνοιξης τους μέχρι σήμερα. Παραθέτουμε μερικά ενδεικτικά στοιχεία.

Α.Α Γεώτρησης	Αρχική στάθμη ηρεμίας	Σημερινή στάθμη ηρεμίας	Πτώση στάθμης
Γ3	30 μέτρα 1971	53 μέτρα	23 μέτρα
Γ4	50 μέτρα 1985	62 μέτρα	12 μέτρα

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.



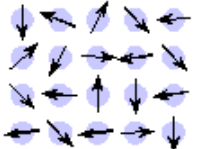
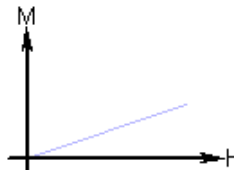

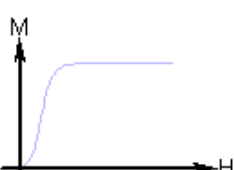
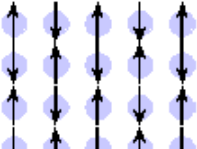
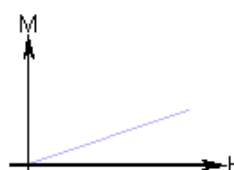
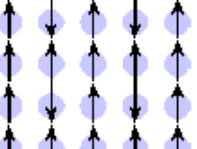
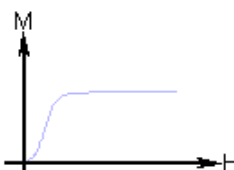
Παραμένουσα μαγνήτιση είναι η ιδιότητα των σιδηρομαγνητικών υλικών να διατηρούν τις μαγνητικές ιδιότητες τους ακόμη και κατά την απουσία εξωτερικού μαγνητικού πεδίου.

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

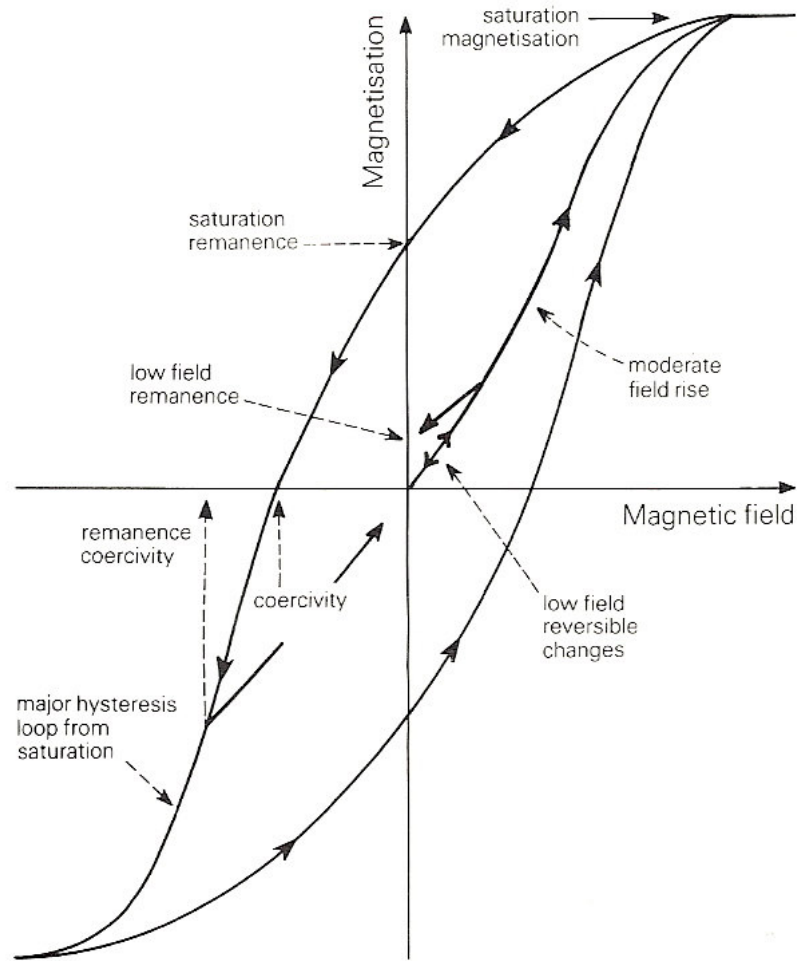
3.3 Μαγνητική υστέρηση

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	—
magnesioferrite	MgFe_2O_4	440	21
jacobsite	MnFe_2O_4	310	77

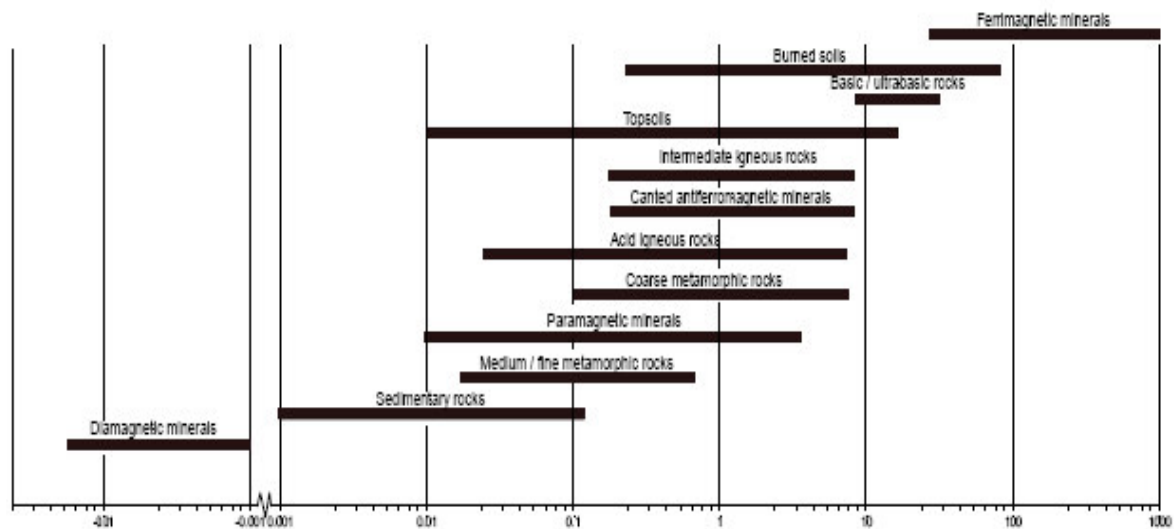
3.4 Μαγνητική επιδεκτικότητα

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 (Mg, Fe) $_2$ SiO $_4$	1→130	water (H $_2$ O)	-0.9
magnetite (Fe $_3$ O $_4$)	5×10^4	amphiboles (Mg, Fe, Al silicates)	16→100	halite (NaCl)	-0.9
maghaemite (Fe $_2$ O $_3$)	4×10^4	siderite (FeCO $_3$)	~100	quartz (SiO $_2$)	-0.6
pyrrhotite (Fe $_7$ S $_9$)	$\sim 5 \times 10^3$	pyroxenes (Mg, Fe) $_2$ Si $_2$ 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 (I $_2$ O $_3$)	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.

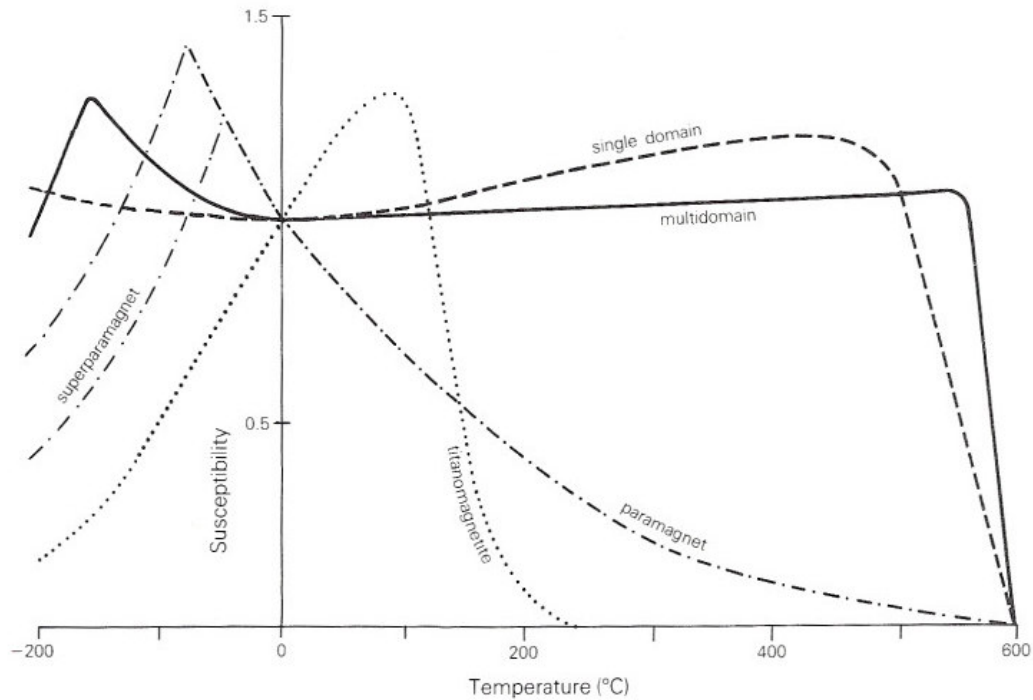
3.5 Σχέση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με την θερμοκρασία

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 αντανακλά 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 αργιλικοί 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

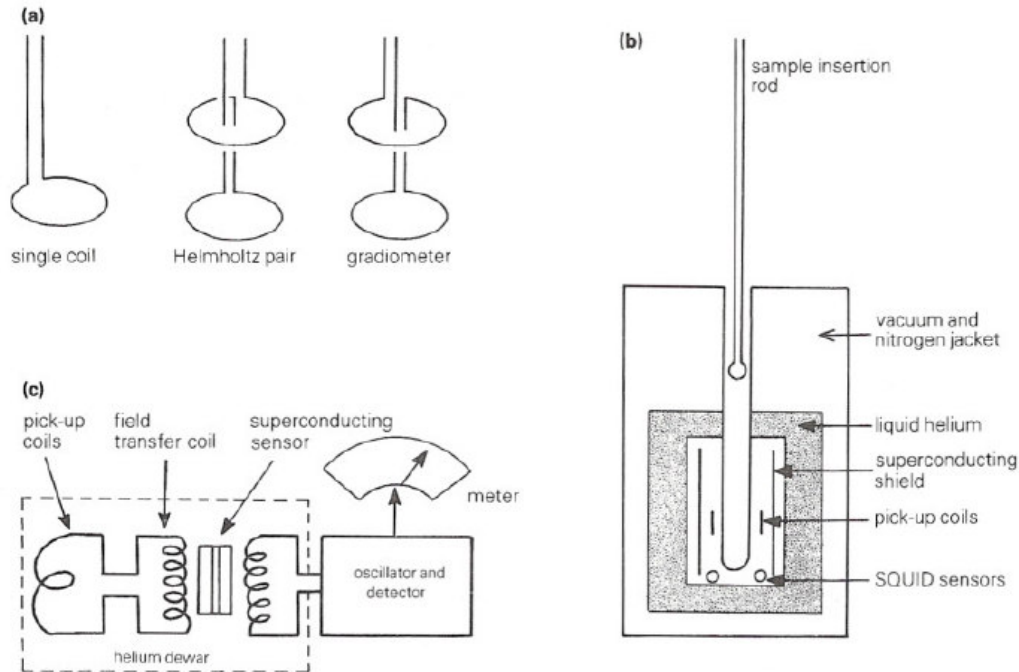
σχετικά με το μέγεθος της επίδρασης αυτών των βακτηρίων είναι φτωχή, αλλά είναι πιθανόν να υπάρχουν σημαντικοί παράγοντες σε διάφορες διαγενετικές διεργασίες σε αναγωγικά ή υπο-οξειδωτικά περιβάλλοντα ακόμα και σε βάθη κάτω από 6-7 km. Παρόλα αυτά, στα περισσότερα οξειδωτικά περιβάλλοντα τέτοιοι βιογενετικοί 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 ⁻⁵ 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

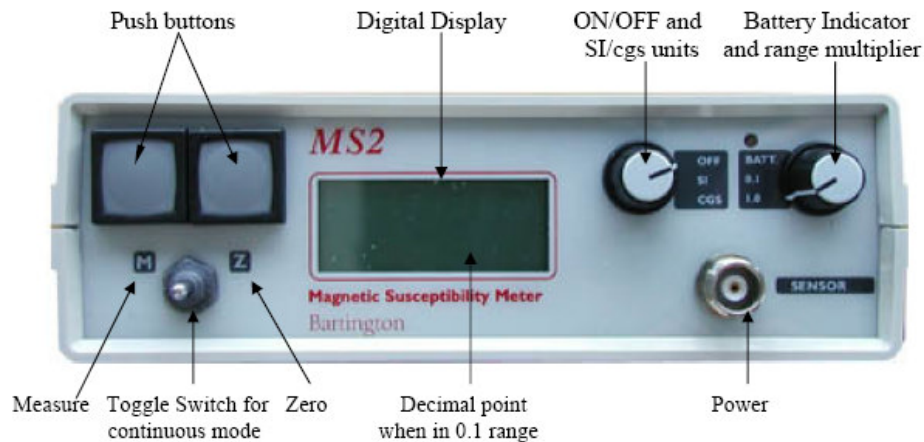
**Specification - MS2 Probe Handle**

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

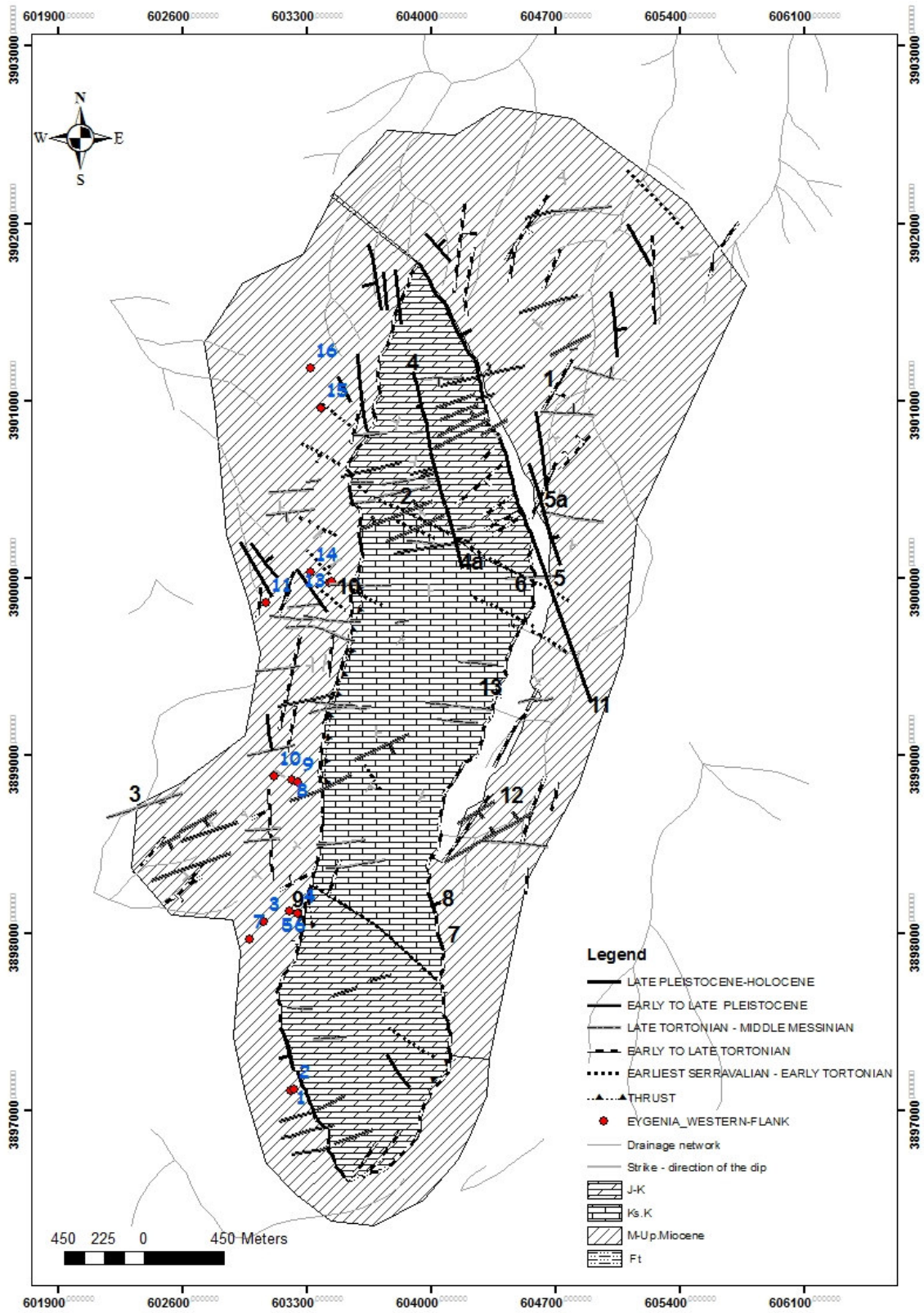
εδάφους, του σημείου μέτρησης, την ακρίβεια καθορισμού της θέσης, τον εξοπλισμό την βλάστηση και τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

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 δυτική πλευρά του όρους Γιούχτας στις Αρχάνες)
3. Δειγματοληψίες σε επιλεγμένες θέσεις (σχ. 4.1) 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.



Σχήμα 4.1 Χάρτης που απεικονίζει τις θέσεις λήψης των δειγμάτων

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- $\text{greigite-Fe}_3\text{S}_4$ 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 ανίχνευσής τους αποτελεί και ο θερμομαγνητισμός.

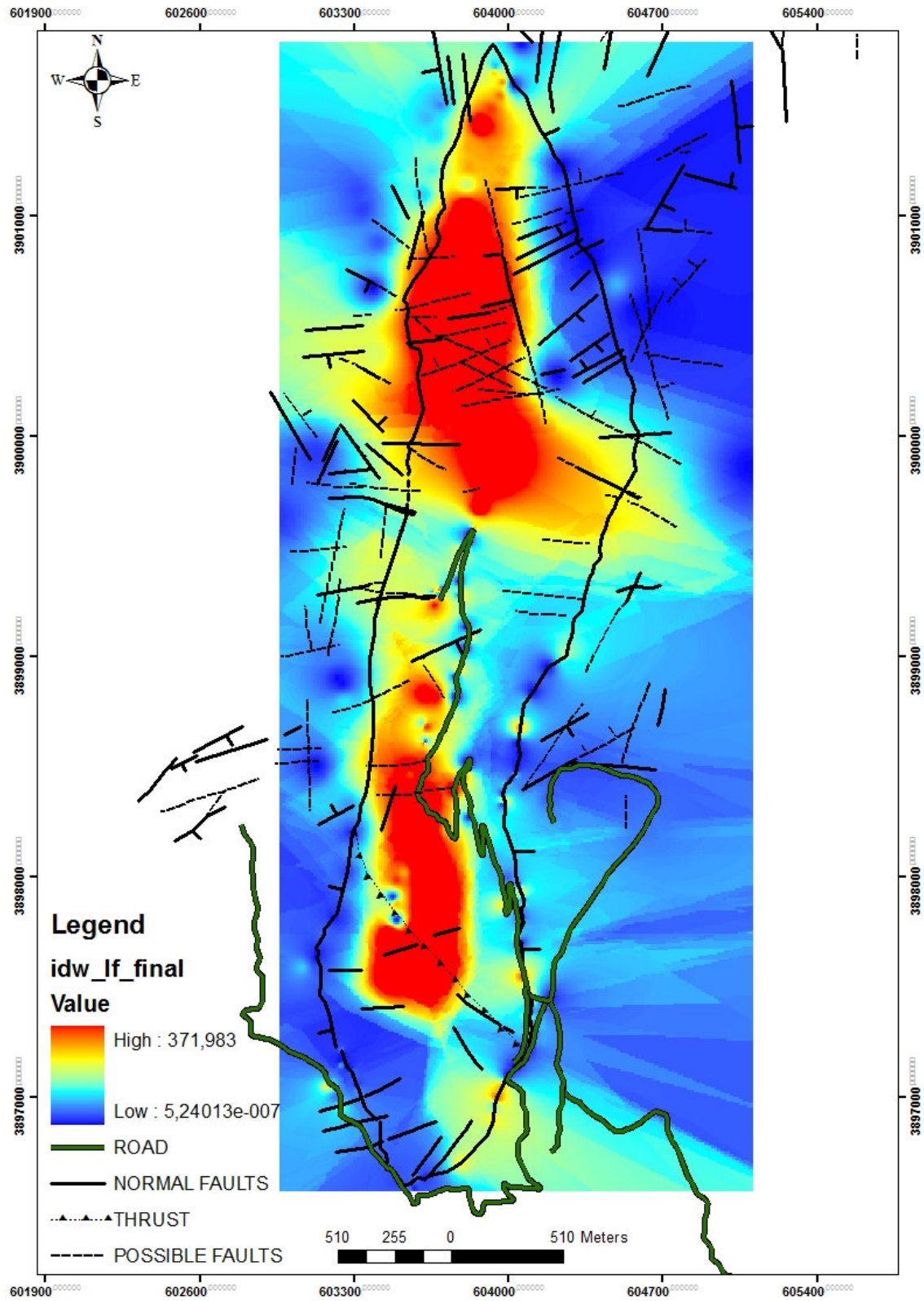
4.3 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων

Οι χάρτες που θα παρουσιαστούν στην συνέχεια έχουν προκύψει από επεξεργασία των παραπάνω χαρτών με την βοήθεια του προγράμματος GIS (Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών). Αφού δημιουργήθηκαν τα αρχεία των δεδομένων εφαρμόστηκε η διαδικασία της παρεμβολής (inverse distance weighted, IDW), η οποία επιλέχθηκε μετά από αρκετές δοκιμές μεθόδων παρεμβολής. Με την συγκεκριμένη μέθοδο καθορίζεται η τιμή σε κάθε κυψέλη, από το μέσο όρο των γειτονικών σημείων. Η βαθμός βαρύτητας κάθε σημείου που συμμετέχει στον υπολογισμό της μέσης τιμής μιας κυψέλης εξαρτάται από την απόστασή του.

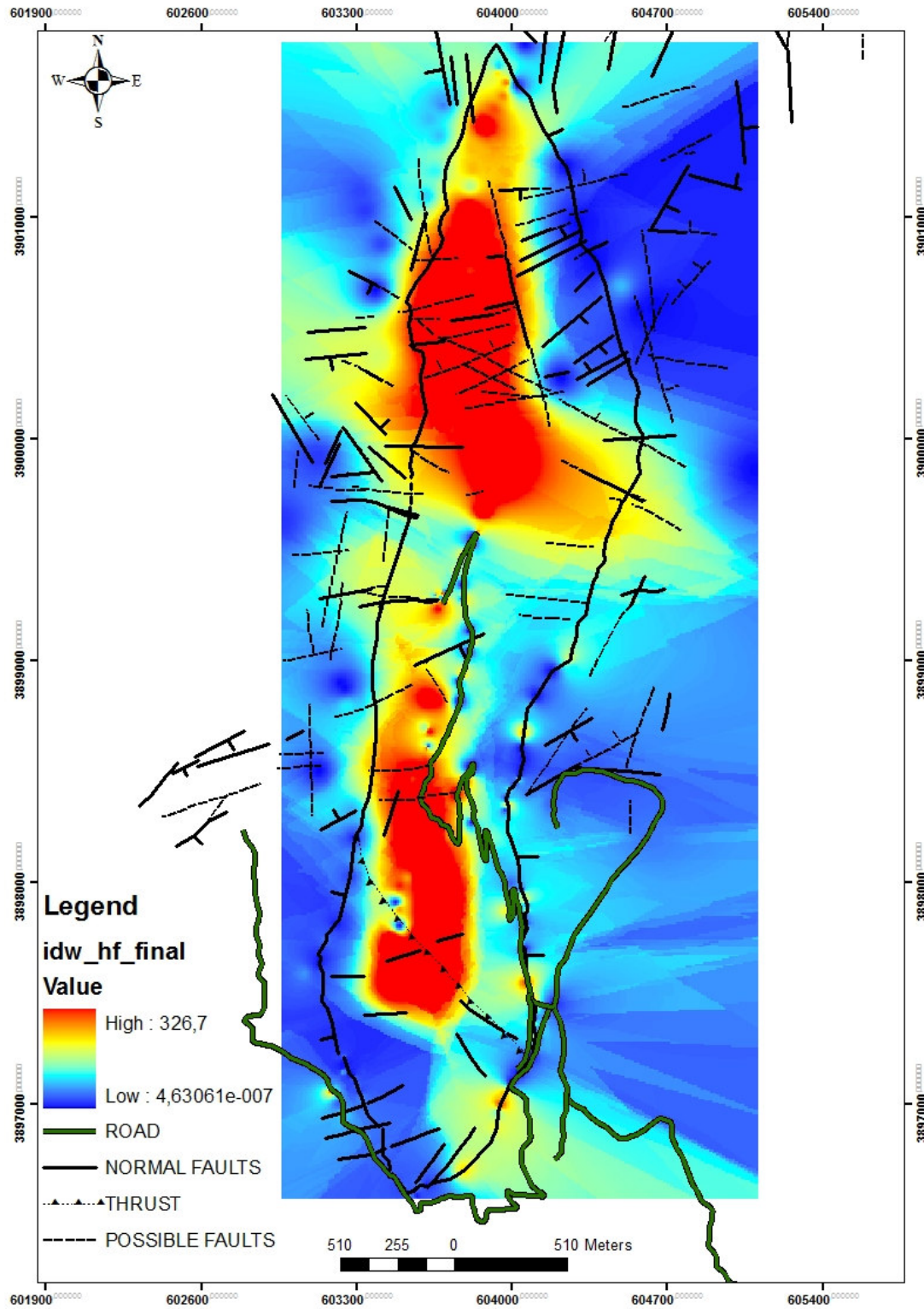
Στο σχήμα 4.2 παρουσιάζεται η απεικόνιση της κατανομής της μαγνητικής επιδεκτικότητας σε χαμηλή συχνότητα, η οποία αντιπροσωπεύει την πραγματική επιδεκτικότητα. Υψηλές τιμές, που προβληματίζουν για την πιθανή παρουσία αυξημένων συγκεντρώσεων οξειδίων του σιδήρου και κατά συνέπεια ανθρωπογενούς παρέμβασης, εμφανίζονται στις περιοχές με τα μεγαλύτερα υψόμετρα στον Γιούχτα. Στο σχήμα 4.3 παρουσιάζεται η απεικόνιση της κατανομής της μαγνητικής επιδεκτικότητας σε υψηλή συχνότητα, η οποία αντιπροσωπεύει την φανταστική συνιστώσα της επιδεκτικότητας και παρουσιάζει την ίδια κατανομή με την πραγματική επιδεκτικότητα που παρουσιάστηκε

προηγούμενως. Η χωρική κατανομή των ρηγματογενών ζωνών δεν φαίνεται να σχετίζεται με τις δύο προηγούμενες παραμέτρους.

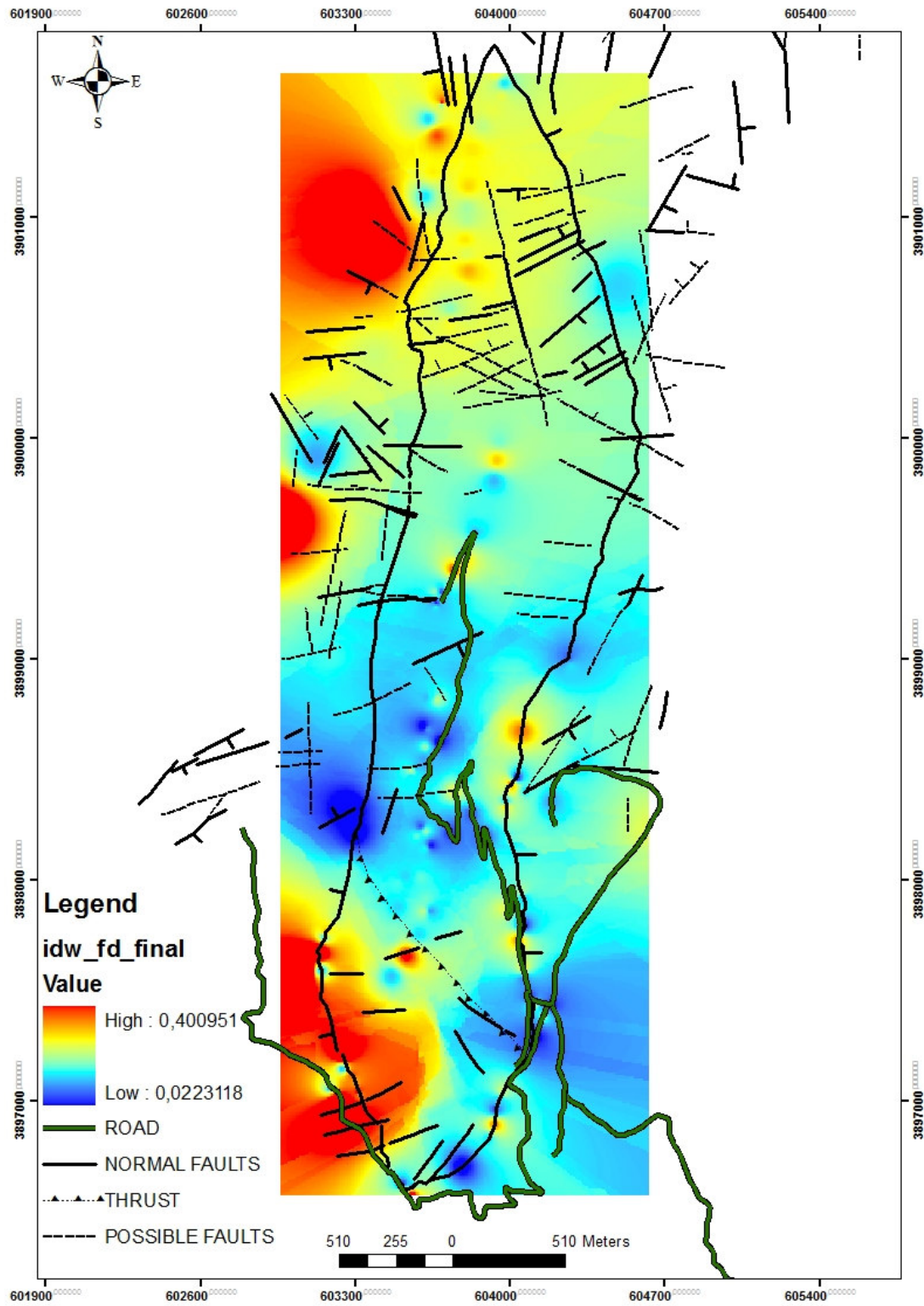
Επίσης προσδιορίστηκε και η μαγνητική επιδεκτικότητα που εξαρτάται από την συχνότητα με βάση την σχέση $FD \text{ susceptibility} = [MS(\text{Low})-MS(\text{High})]/ MS(\text{Low})$. Στο σχήμα 4.4 παρουσιάζεται η κατανομή της εξαρτώμενης από την συχνότητα επιδεκτικότητας, η οποία πιθανόν να σχετίζεται με τα γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Γενικά η συγκεκριμένη παράμετρος λαμβάνει τιμές στο διάστημα 0.05 – 0.4. Η χωρική κατανομή των ρηγματογενών ζωνών πιθανότατα σχετίζεται με την κατανομή των τιμών της συγκεκριμένης παραμέτρου. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζονται περιοχές με πολύ υψηλές τιμές που φαίνεται να περιορίζονται από τις ρηγματογενείς ζώνες.



Σχήμα 4.2 Κατανομή της μαγνητικής επιδεκτικότητας (SI units) σε χαμηλή συχνότητα με την μέθοδο παρεμβολής IDW



Σχήμα 4.3 Κατανομή της μαγνητικής επιδεκτικότητας (SI units) σε υψηλή συχνότητα με την μέθοδο παρεμβολής IDW



Σχήμα 4.4 Απεικόνιση της κατανομής της εξαρτώμενης από την συχνότητα μαγνητικής επιδεκτικότητας

Στον πίνακα 4.1 που ακολουθεί παρουσιάζεται κατανομή της μαγνητικής επιδεκτικότητας μετρημένη 1. σε χαμηλή συχνότητα (LF) και 2. σε υψηλή συχνότητα (HF) καθώς. Γενικά η μαγνητική επιδεκτικότητα των υλικών που συλλέχθηκαν είναι υψηλή και θετική, γεγονός που δείχνει ότι επικρατούν τα μαγνητικά υλικά στα ιζήματα. Εξαιρέση αποτελούν τα δείγματα 4, 8, 11, 14, 15, 16, των οποίων η συμπεριφορά δείχνει παραμαγνητικό χαρακτήρα.

Πίνακας 4.1

A/A	Βάρος (gr)	LF	Βάρος (gr)	HF	Βάρος (gr)	LF MS	HF MS
1	4,05	31	3,96	25	10	76,54320988	63,13131313
2	4,03	28	5,87	32,5	10	69,47890819	55,36626917
3	4,5	54	6,61	70	10	120	105,9001513
4	4,05	3,5	4,05	3,5	10	8,641975309	8,641975309
5	5,59	9	5,46	8	10	16,10017889	14,65201465
6	4,26	23	4,81	25	10	53,99061033	51,97505198
7	5,32	53	7,81	76	10	99,62406015	97,31113956
8	6,28	6,5	7,24	7,5	10	10,35031847	10,35911602
9	5,65	73	6,34	77	10	129,2035398	121,4511041
10	4,58	20	6,7	27	10	43,66812227	40,29850746
11	7,11	8,5	6,64	9	10	11,95499297	13,55421687
12	4,7	61	4,02	48,5	10	129,787234	120,6467662
13	4,92	43	5,56	42	10	87,39837398	75,53956835
14	8,65	15,5	6,29	10	10	17,91907514	15,89825119
15	5,27	5	9,5	11	10	9,487666034	11,57894737
16	6,74	5,5	7,71	6	10	8,160237389	7,782101167

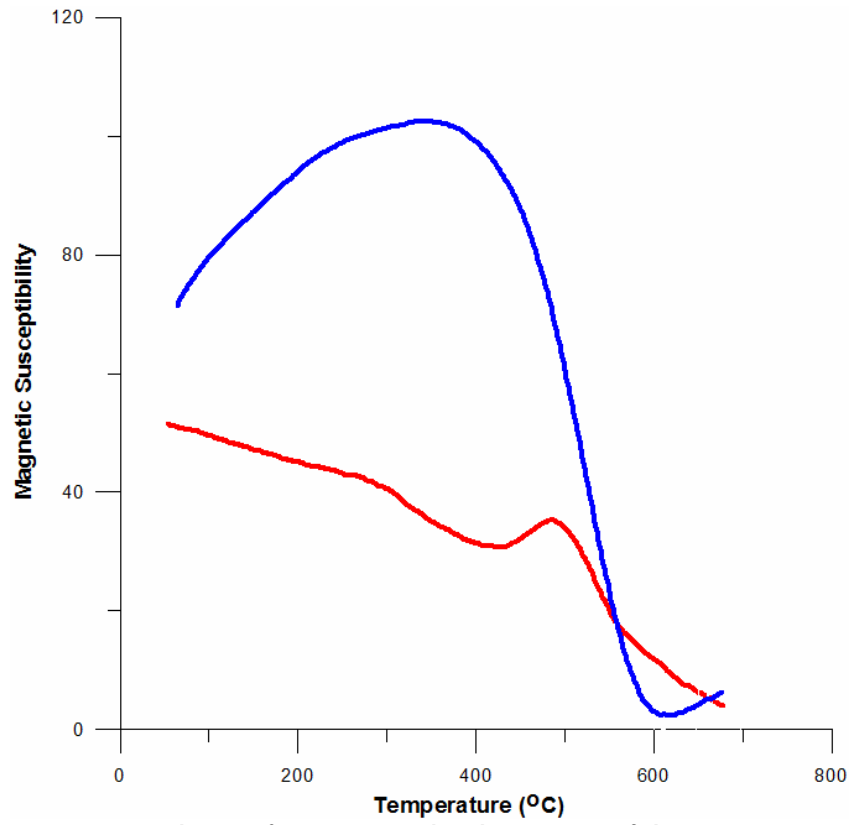
Στα επόμενα σχήματα παρουσιάζονται οι καμπύλες θέρμανσης και ψύξης των δειγμάτων από τους 40°C έως τους 800°C στον αέρα και αντίστροφα.

Πέντε χαρακτηριστικοί τύποι συμπεριφοράς εντοπίστηκαν κατά τα πειράματα του θερμομαγνητισμού.

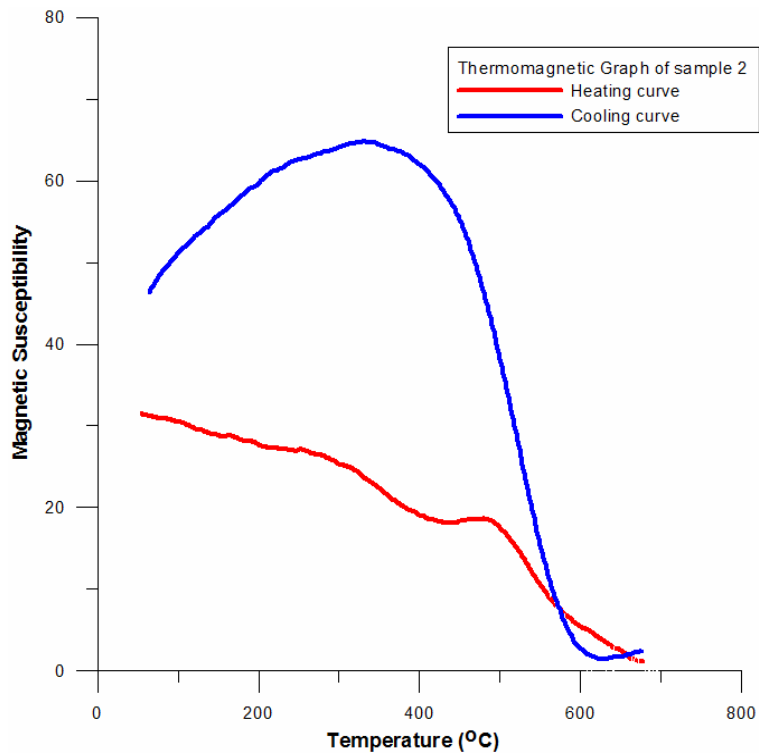
1. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα δείγματα (4, 8, 10, 11, 14, 15, 16) τα οποία παρουσιάζουν μείωση της μαγνήτιση τους μέχρι τους 800°C και σταδιακή επαναμαγνήτιση κατά την ψύξη τους μέχρι τους 40°C χωρίς σαφή καθορισμό της θερμοκρασίας Curie για κάποιο ορυκτό. Η συμπεριφορά αυτή δείχνει ότι επικρατούν τα παραμαγνητικά ορυκτά στα συγκεκριμένα δείγματα. Τα συγκεκριμένα ορυκτά δεν υφίσταται κάποιο χημικό μετασχηματισμό κατά την αντίστροφη διαδικασία της ψύξης. Η συμπεριφορά αυτή πιθανότατα αντιπροσωπεύει τα μαργαϊκά υλικά.
2. Στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν τα δείγματα 1, 2, 3, 5, 6, 9, 13 τα οποία παρουσιάζουν την τυπική θερμομαγνητική συμπεριφορά του μαγνητίτη ή του

μαγκεμίτη. Δηλαδή παρουσιάζουν σταδιακή μείωση της μαγνήτισης τους μέχρι τους 800°C, αλλά κατά την διάρκεια της ψύξης παρατηρείται μια αύξηση της μαγνήτισης κάτω από τους 580°C, που είναι η θερμοκρασία Curie του μαγνητίτη.

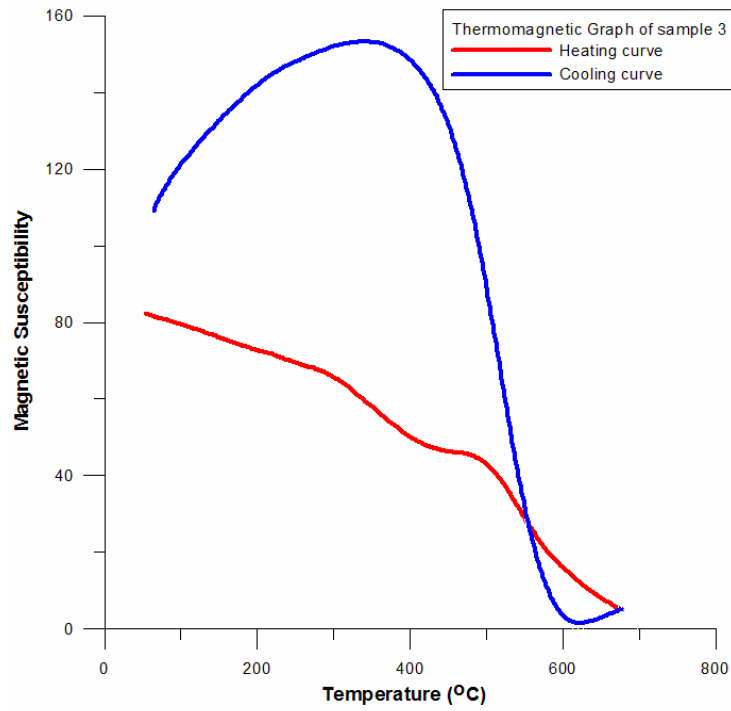
3. Στην τρίτη κατηγορία ανήκει το δείγμα 7), του οποίου οι καμπύλες θέρμανσης και ψύξης παρουσιάζουν πολύ καλή σύγκλιση. Τέτοια συμπεριφορά είναι χαρακτηριστική για τον αιματίτη ή τον γκαιτίτη.
4. Στην τέταρτη κατηγορία ανήκει το δείγμα 12, το οποίο παρουσιάζει πολύ ιδιαίτερη συμπεριφορά. Δηλαδή κατά 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. 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 μετασχητίζονται σε μαγνητίτη.



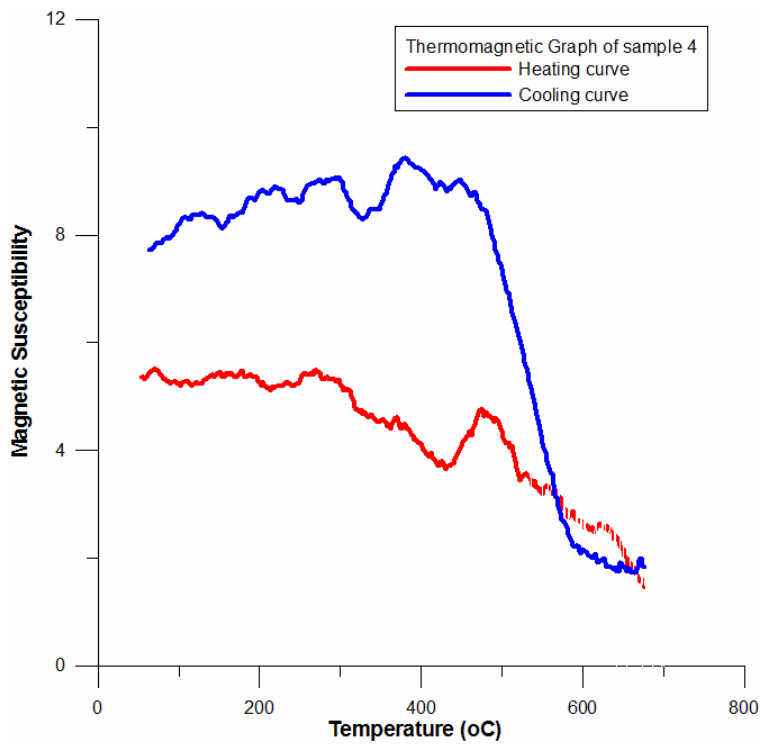
Σχήμα 4.5 θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 1



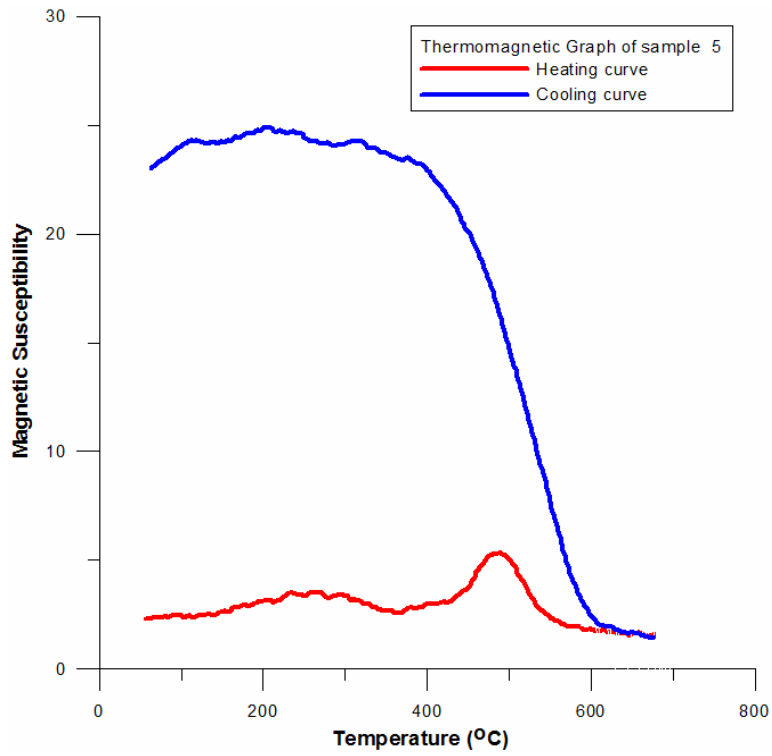
Σχήμα 4.6 θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 2



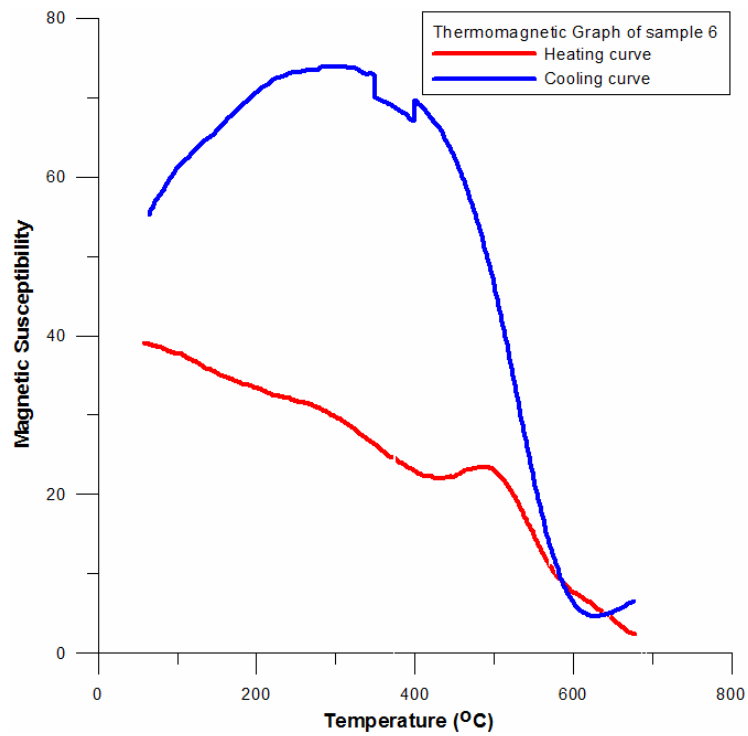
Σχήμα 4.7 θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 3



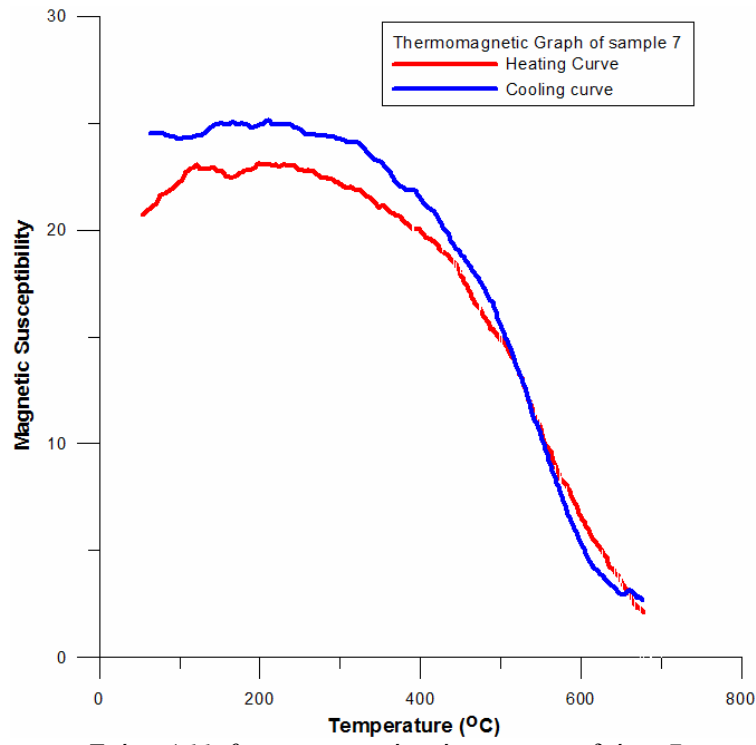
Σχήμα 4.8 θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 4



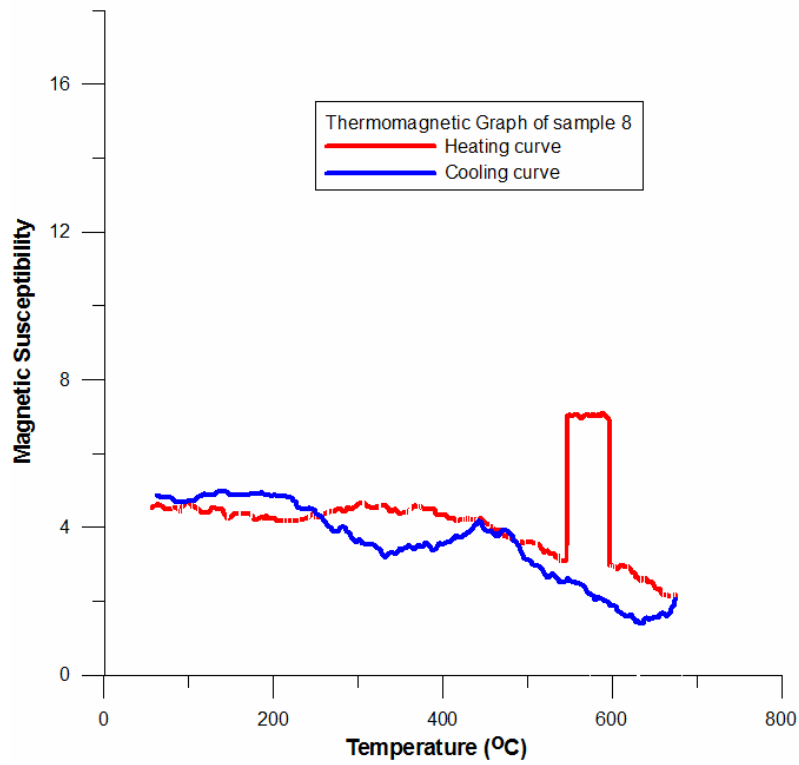
Σχήμα 4.9 θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 5



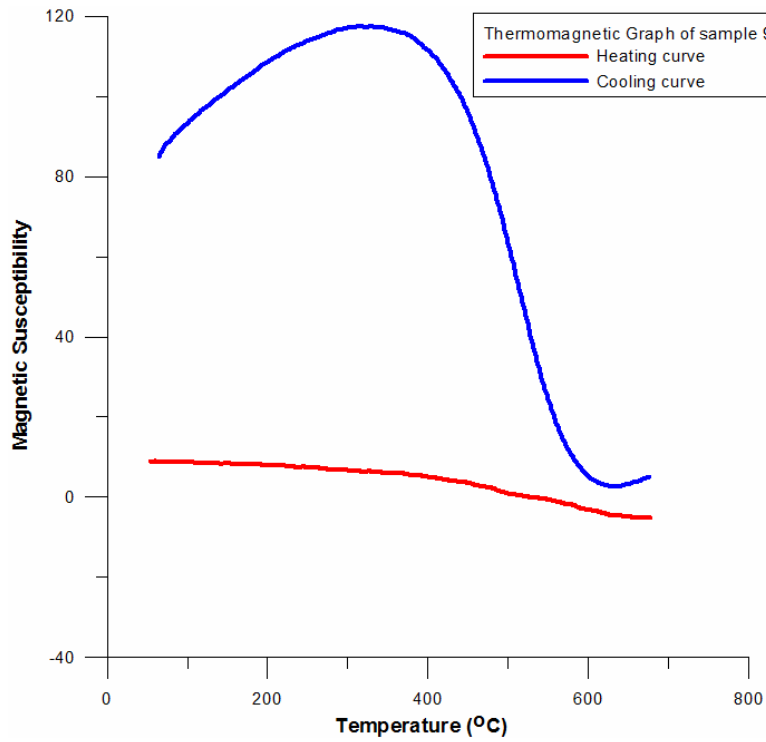
Σχήμα 4.10 θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 6



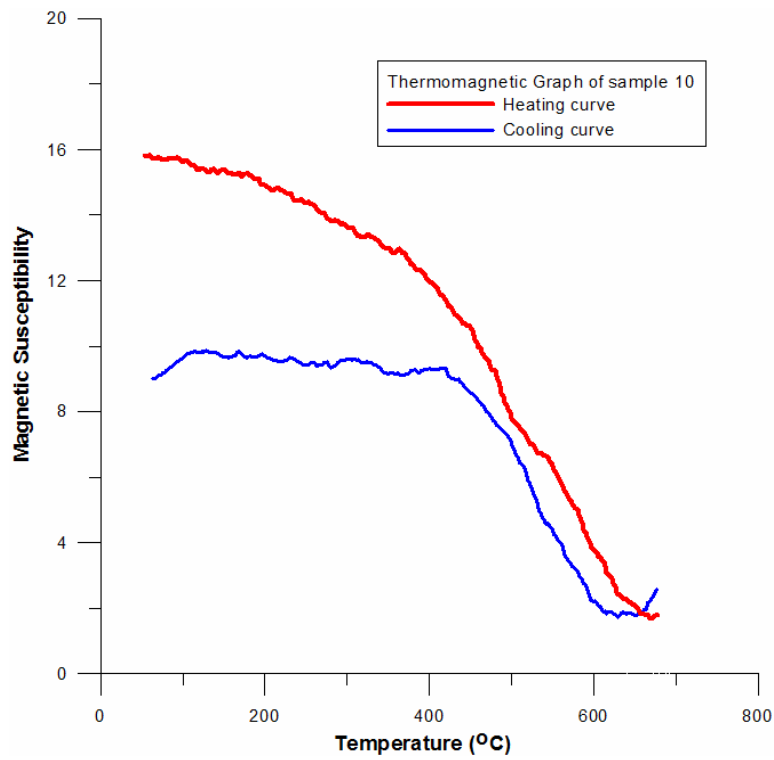
Σχήμα 4.11 θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 7



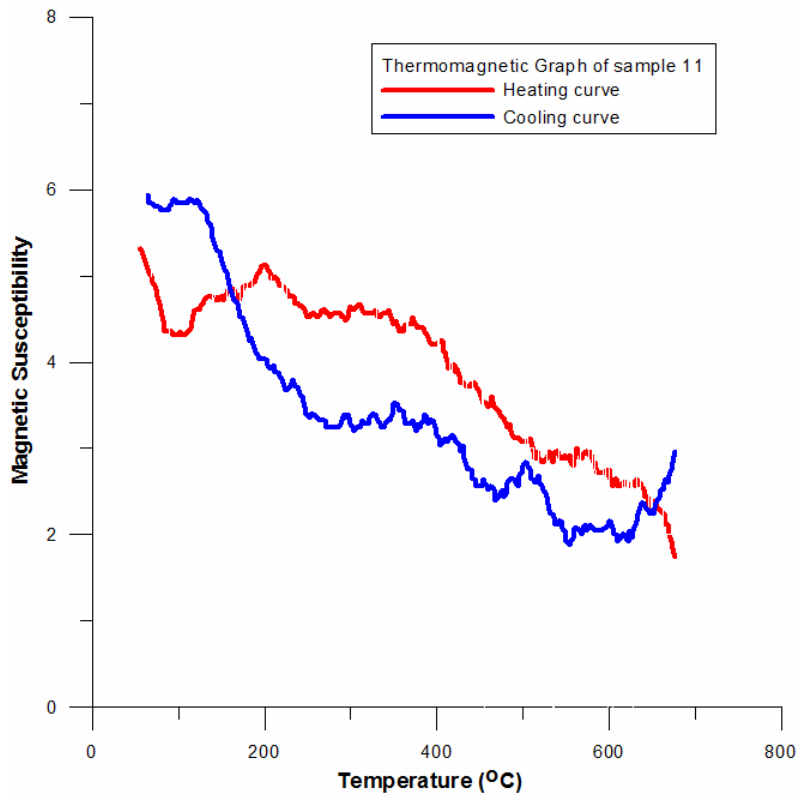
Σχήμα 4.12 θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 8



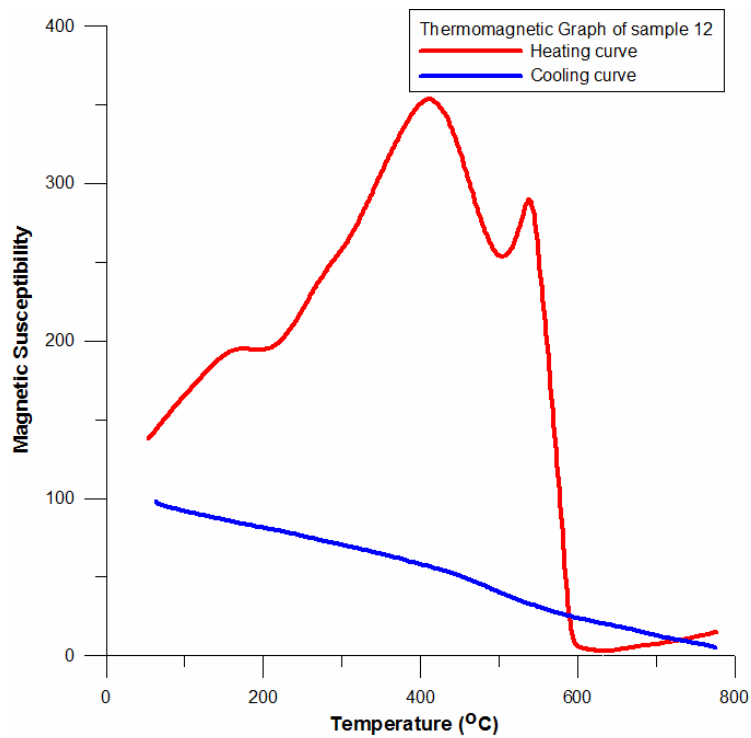
Σχήμα 4.13 θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 9



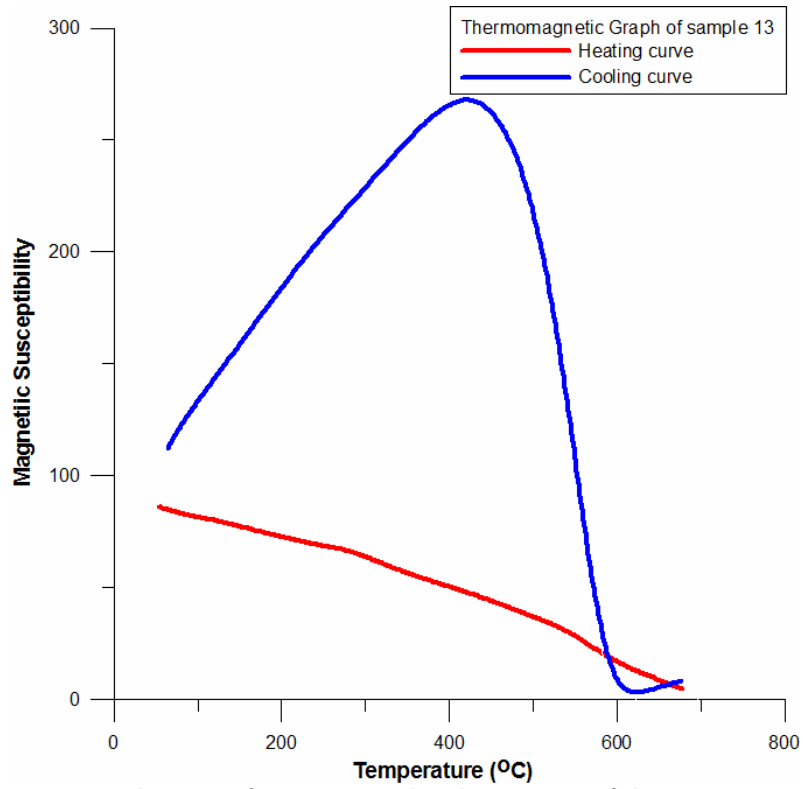
Σχήμα 4.14 θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 10



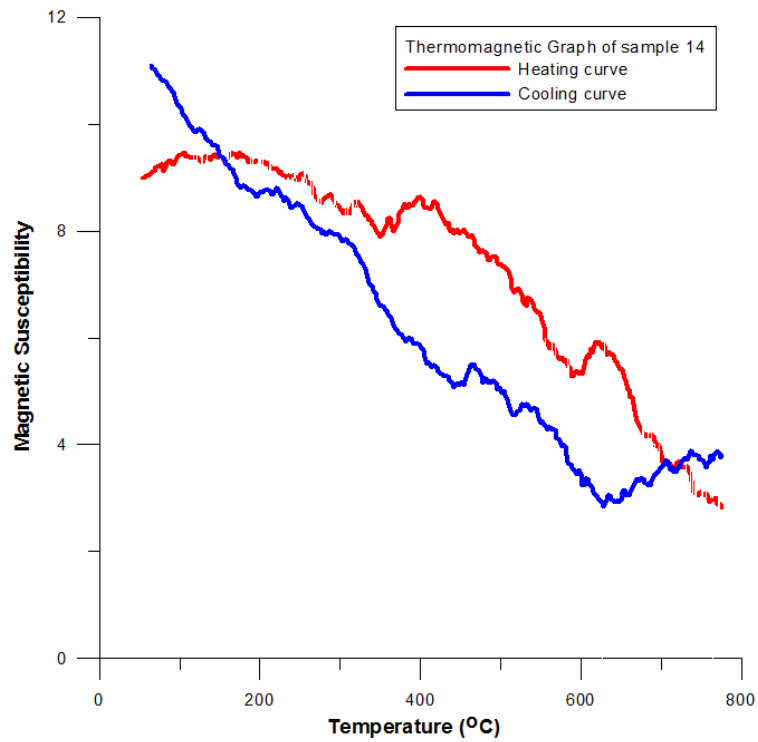
Σχήμα 4.15 θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 11



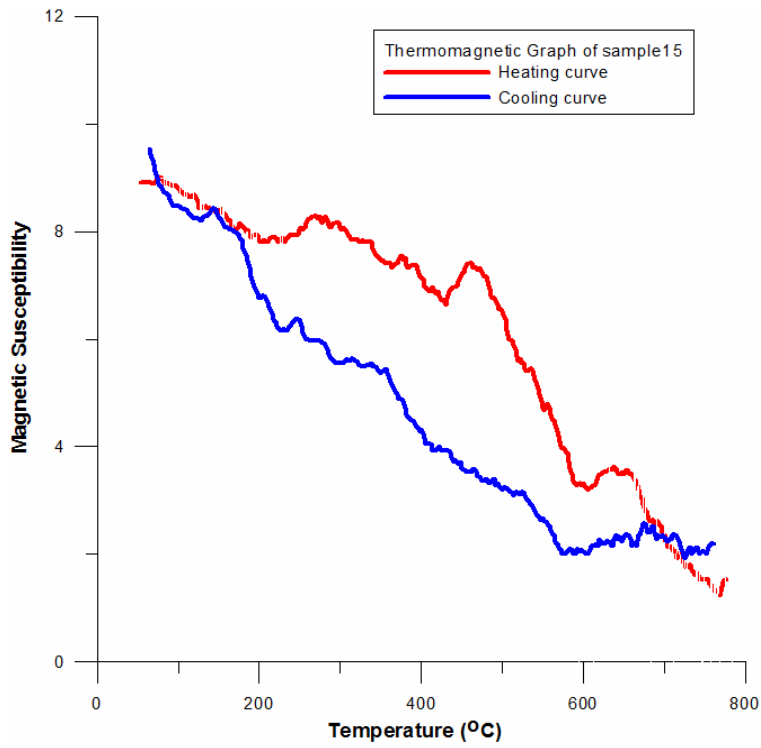
Σχήμα 4.16 θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 12



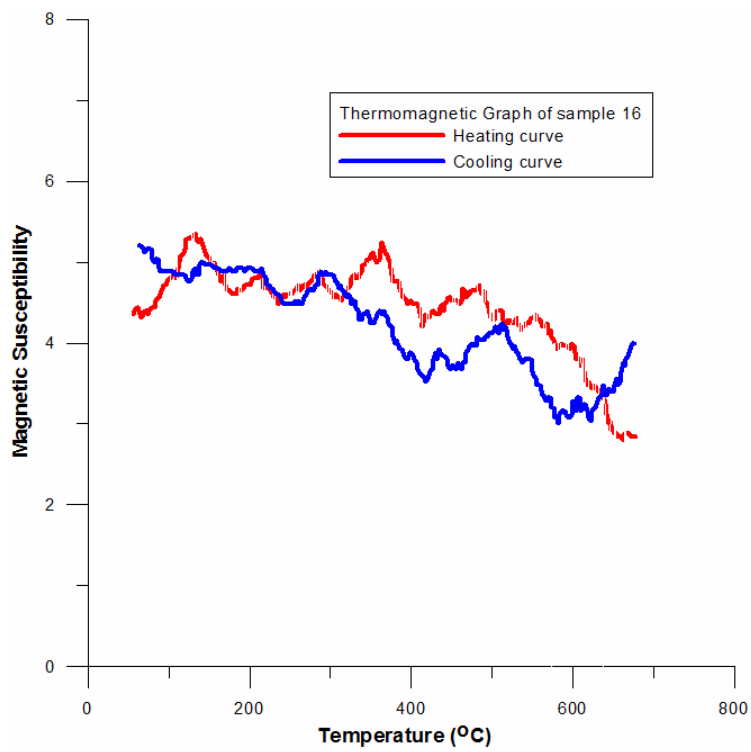
Σχήμα 4.17 θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 13



Σχήμα 4.18 θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 14



Σχήμα 4.19 θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 15



Σχήμα 4.20 θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 16

4.4 Ερμηνεία των αποτελεσμάτων

Στην προηγούμενη παράγραφο παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα των πειραμάτων της μαγνητικής επιδεκτικότητας και του θερμομαγνητισμού. Γενικά η μαγνητική επιδεκτικότητα των υλικών που συλλέχθηκαν στα 7 από τα 16 δείγματα είναι υψηλή και θετική, γεγονός που δείχνει ότι επικρατούν τα μαγνητικά υλικά στα ιζήματα. Στα υπόλοιπα είναι χαμηλή και θετική, συμπεριφορά που δείχνει παραμαγνητικό χαρακτήρα, ο οποίος συνάδει και με την φύση του γεωλογικού σχηματισμού (μάργα) που καλύπτει την περιοχή.

Τα αποτελέσματα του θερμομαγνητισμού κατηγοριοποιούν τα υλικά ως εξής:

- I) Το παραμαγνητικό υλικό παραμένει σταθερό κατά την ψύξη και θέρμανση,
- II) Το υλικό παρουσιάζει την τυπική συμπεριφορά του μαγνητίτη ή μαγκεμίτη,
- III) Το υλικό παρουσιάζει την τυπική συμπεριφορά του αιματίτη ή γκαϊτίτη σε υψηλές θερμοκρασίες,
- IV) Το υλικό μετασχηματίζεται σε μονοσουλφίδιο του σιδήρου κατά την θέρμανση (στους 300°C) γεγονός που παραπέμπει σε μετα-αποθετικές διεργασίες, και σημαίνει ότι δεν υπάρχουν αρκετά ιόντα θείου για να σχηματίσουν πυρίτη (FeS₂), επομένως η λεκάνη είναι φτωχή σε άλατα ή πλούσια σε ιόντα σιδήρου. Η παρουσία του μονοσουλφιδίου υποδηλώνει την τροφοδοσία της λεκάνης νερό χαμηλής αλατότητας.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί ότι η πλειονότητα των δειγμάτων που παρουσιάζουν συμπεριφορά σιδηρομαγνητικού υλικού 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 σε 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.

Γενικά η μαγνητική επιδεκτικότητα των υλικών που συλλέχθηκαν είναι υψηλή και θετική, γεγονός που δείχνει ότι επικρατούν τα μαγνητικά υλικά στα ιζήματα. Εξαιρέση αποτελούν τα δείγματα 4, 8, 11, 14, 15, 16, των οποίων η συμπεριφορά δείχνει παραμαγνητικό χαρακτήρα.

Τα αποτελέσματα του θερμομαγνητισμού κατηγοριοποιούν τα υλικά ως εξής:

- V) Το παραμαγνητικό υλικό παραμένει σταθερό κατά την ψύξη και θέρμανση,
- VI) Το υλικό παρουσιάζει την τυπική συμπεριφορά του μαγνητιτή ή μαγκεμίτη,
- VII) Το υλικό παρουσιάζει την τυπική συμπεριφορά του αιματίτη ή γκαιτίτη σε υψηλές θερμοκρασίες,
- VIII) Το υλικό μετασχηματίζεται σε μονοσουλφίδιο του σιδήρου κατά την θέρμανση (στους 300°C) γεγονός που παραπέμπει σε μετα-αποθετικές διεργασίες, και σημαίνει ότι δεν υπάρχουν αρκετά ιόντα θείου για να σχηματίσουν πυρίτη (FeS_2), επομένως η λεκάνη είναι φτωχή σε άλατα ή πλούσια σε ιόντα σιδήρου. Η παρουσία του μονοσουλφιδίου υποδηλώνει την τροφοδοσία της λεκάνης νερό χαμηλής αλατότητας.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί ότι η πλειονότητα των δειγμάτων που παρουσιάζουν συμπεριφορά σιδηρομαγνητικού υλικού 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.