



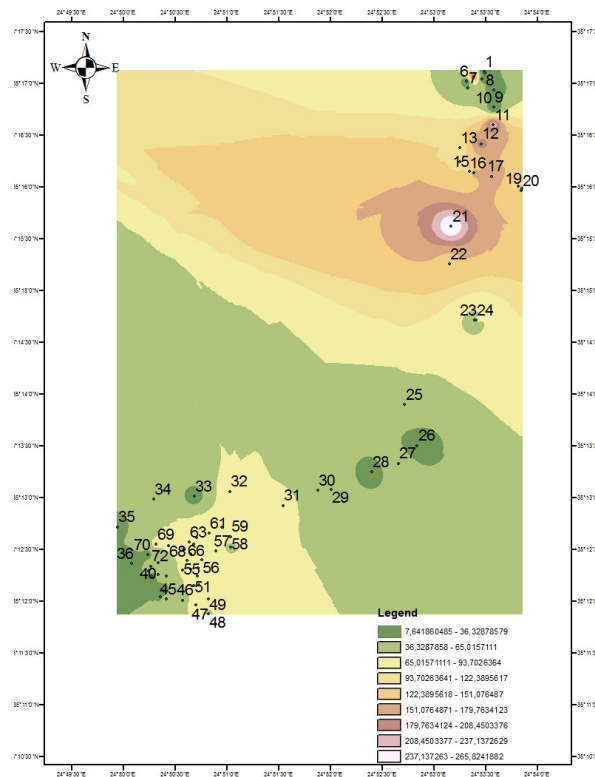
Τ.Ε.Ι ΚΡΗΤΗΣ – ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑΣ



ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΝΙΔΑΣ
ΣΤΟΝ ΨΗΛΟΡΕΙΤΗ (ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΚΡΗΤΗ)

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Βρέντζος Βασίλης



ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2009



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



ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΝΙΔΑΣ
ΣΤΟΝ ΨΗΛΟΡΕΙΤΗ (ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΚΡΗΤΗ)

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Βρέντζος Βασίλης

Επιβλέπων : *Δρ. Κόκκινου Ελένη*
Επίκουρος Καθηγήτρια

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

Ημερομηνία Παρουσίασης :

Αύξων Αριθμός Πτυχιακής Εργασίας :

Ευχαριστίες

Μέσα από αυτό το σημείωμα θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την καθηγήτριά μου, κυρία Ελένη Κόκκινου, για όλη την βοήθεια που μου προσέφερε στο διάστημα της επιμέλειας της πτυχιακής μου εργασίας. Αρχικά θέλω να την ευχαριστήσω για την επιλογή του θέματος, γιατί παρόλο που στην αρχή μου φάνηκε δύσκολο και ότι δεν θα τα κατάφερνα, τελικά μου δόθηκε η ευκαιρία να ασχοληθώ με τον τομέα της μαγνητικής επιδεκτικότητας 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, όπως και για πολλούς άλλους, θέλω να της εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου και να της πω ένα μεγάλο ευχαριστώ.

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 και που για μένα ήταν πολύτιμο.

Περίληψη

Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι να εξετάσει την κατανομή της μαγνητικής επιδεκτικότητας κατά στην περιοχή μεταξύ Ανωγείων και Νίδας και στο οροπέδιο της Νίδας στον Ψηλορείτη. Η συγκεκριμένη μεθοδολογία εφαρμόστηκε στην περιοχή μελέτης το έτος 2009. Έγιναν αρχικά δειγματοληψίες εδαφικού υλικού κατά μήκος του επαρχιακού δρόμου ανωγείων Νίδας και στην συνέχεια στο οροπέδιο. Μετέπειτα προσδιορίστηκε η τιμή της μαγνητικής επιδεκτικότητας σε χαμηλή και υψηλή συχνότητα. Διερευνήθηκε κυρίως η σχέση των γεωλογικών χαρακτηριστικών της περιοχής με τις διάφορες παραμέτρους της μαγνητικής επιδεκτικότητας.

Abstract

Main purpose of the present study is to investigate the distribution of the magnetic susceptibility along the road between Anogeia and Nida in the area of Psiloritis. Surface soil samples have been collected in 2009 using small sampling interval and the magnetic susceptibility in low and high frequencies was first estimated and mapped. Additionally coring, up to a depth of 1 m, has been done near to the sea. The relation of the magnetic susceptibility and the geological structure of the area is mainly investigated in the present work.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	<i>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</i> _____	- 5 -
	1.1 Σκοπός και αντικείμενο της εργασίας _____	- 5 -
	1.2 Μεθοδολογία εκπόνησης _____	- 5 -
	1.3 Γεωγραφική θέση και περιγραφή της ευρύτερης περιοχής _____	- 6 -
	1.4 Γενικά στοιχεία για το κλίμα της Κρήτης _____	- 12 -
2	<i>ΓΕΝΙΚΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ</i> - 14 -	
	2.1 Γεωμορφολογικά και Στρωματογραφικά στοιχεία _____	- 14 -
	2.2 Μεταλλική τεκτονική _____	- 16 -
3.	<i>ΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ</i> _____	- 19 -
	3.1 Εισαγωγή _____	- 19 -
	3.2 Βασικές μαγνητικές ιδιότητες _____	- 20 -
	3.3 Μαγνητική υστέρηση _____	- 20 -
	3.4 Μαγνητική επιδεκτικότητα _____	- 24 -
	3.5 Σχέση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με την θερμοκρασία - 26 -	
	3.6 Σχέση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με την συχνότητα ___ - 27 -	
	3.7 Μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας _____	- 28 -
	3.8 Μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με το MS2 της Bartington _____	- 29 -
	3.9 Σχέση μαγνητικών ορυκτών και βαρέων μετάλλων _____	- 35 -
	3.10 Ο ρόλος και η επίδραση των βαρέων μετάλλων στα φυτά ___ - 36 -	
	3.11 Ο ρόλος και η επίδραση των βαρέων μετάλλων στον άνθρωπο- 39 -	
4.	<i>ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΝΙΔΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ</i> _____	- 41 -
	4.1 Περιγραφή της μεθοδολογίας εκπόνησης της παρούσας εργασίας- 41 -	
	4.2 Περιγραφή του προγράμματος επεξεργασίας των δεδομένων - 42 -	
	4.3 Παρουσίαση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων _____	- 42 -
	4.5 Διερεύνηση της σχέσης μαγνητικής επιδεκτικότητας με το βάθος- 48 -	
5.	<i>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ</i> _____	- 51 -
	5.1 Εισαγωγή _____	- 51 -

5.2 Συμπεράσματα και αξιολόγηση της μεθοδολογίας	- 51 -
5.3 Προτάσεις	- 51 -
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	- 53 -
7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ –ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ	- 57 -

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Σκοπός και αντικείμενο της εργασίας

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η εφαρμογή της μεθόδου της μαγνητικής επιδεκτικότητας για να διερευνηθεί η σχέση της με τα γεωλογικά χαρακτηριστικά της υπό έρευνα περιοχής αλλά και να ανιχνευθεί πιθανή ρύπανση από βαρέα μέταλλα. Είναι γνωστό εδώ και αρκετά χρόνια ότι η μαγνητική επιδεκτικότητα μπορεί να αποτελέσει δείκτη υψηλών συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων. Τις τελευταίες δύο δεκαετίες η συγκεκριμένη μεθοδολογία εφαρμόζεται επιτυχώς για την παρακολούθηση της εξάπλωσης της ρύπανσης σε περιοχές που λειτουργούν βαριές βιομηχανίες, χώροι υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (Χ.Υ.ΤΑ), αεροδρόμια κ.λ.π.

Όμως πριν να γίνει αυτό, πρέπει να καθοριστεί η μαγνητική επιδεκτικότητα των γεωλογικών σχηματισμών που δομούν την περιοχή. Στην παρούσα περίπτωση επιλέχθηκε η περιοχή μεταξύ Ανωγείων και Νίδας στον Ψηλορείτη. Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι:

- **Να ερευνηθεί αν υπάρχει σχέση με κάποιο ή κάποια από τα γεωλογικά χαρακτηριστικά της υπό έρευνα περιοχής.**
- **Ο εντοπισμός πιθανών τμημάτων που είναι ρυπασμένα.**

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 γεωλογική έρευνα πεδίου και γεωφυσική χαρτογράφηση της εξεταζόμενης περιοχής με την μέθοδο της μαγνητικής επιδεκτικότητας.
- Την επεξεργασία και αξιολόγηση του συνόλου των δεδομένων χρησιμοποιώντας σύγχρονο λογισμικό.
- Σύνταξη της παρούσας εργασίας.

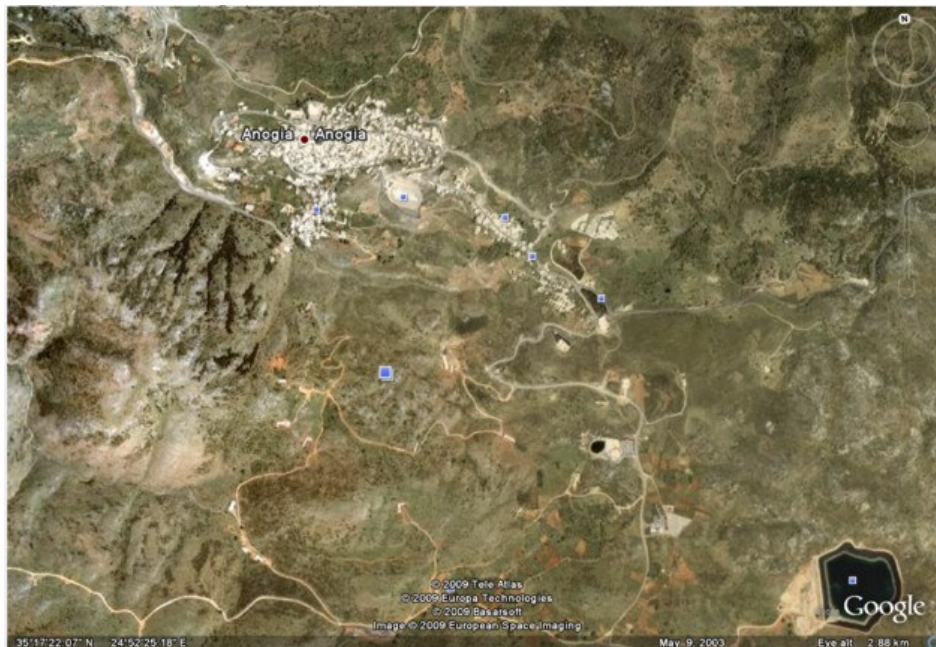
1.3 Γεωγραφική θέση και περιγραφή της ευρύτερης περιοχής

Ο νομός Ηρακλείου, έχει έκταση 2.641 τετρ. χλμ. και πληθυσμό 264906 κατοίκους και βρίσκεται ανάμεσα στους νομούς Ρεθύμνου και Λασιθίου. Βρέχεται από το Κρητικό πέλαγος προς βορρά και Ν. από το Λυβικό πέλαγος. Είναι ο πιο πυκνοκατοικημένος νομός της Κρήτης και η πρωτεύουσά του, η πόλη του Ηρακλείου, είναι η πρωτεύουσα του νησιού. Άλλες αναπτυγμένες πόλεις και χωριά είναι η Αγία Πελαγία, τα Μάλια, η Χερσόνησος, ένα πολύ καλά οργανωμένο τουριστικό θέρετρο, οι Επάνω Αρχανές, η Νέα Αλικαρνασσός, οι Μοίρες και η Αγία Βαρβάρα.

Ο Νομός Ηρακλείου έχει ορεινά συγκροτήματα και βουνά τα οποία είναι:

- Οροσειρά Δίκτης (2.148 μ.). Ψηλότερες κορυφές είναι ο Αφέντης (1.578 μ.), Μαδάρα (2141 μ.), Σαρακινό (1558 μ.), Τραύλος (1.416 μ.) κ.ά.
- Οροσειρά της Ίδης (Ψηλορείτης, 2.456 μ.) στα σύνορα με το νομό Ρεθύμνης με ψηλότερες κορυφές μέσα στο νομό το Κουδούνι (1.860 μ.), Λόρος (1.720 μ.), Ξεροσκάφη (1.500 μ.), Σαμάρι (1.417 μ.) κ.ά.

Η περιοχή που μελετήθηκε ανήκει στο ορεινό συγκρότημα της Ίδης (Ψηλορείτης, 2.456 μ.) και παρουσιάζεται στο σχήμα 1.1. Πρόκειται για την περιοχή μεταξύ Ανωγείων και οροπεδίου Νίδας .



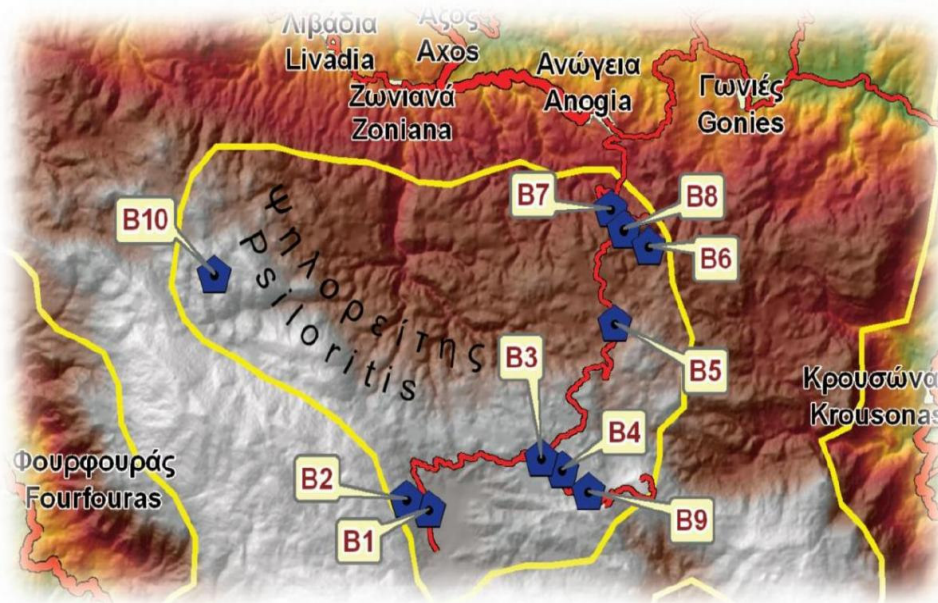
Σχήμα 1.1 Εικόνα της περιοχής μελέτης (<http://earth.google.com/>)

Οι πληροφορίες που ακολουθούν στην συνέχεια προέρχονται από τον ιστότοπο <http://www.psiloritis-natural-park.gr>.

Τα καρστικά τοπία είναι ιδιαίτερες περιοχές της Γης με μοναδικό ανάγλυφο, συνήθως τραχύ και άγριο, όπου κυριαρχεί η πέτρα και η έλλειψη νερού και εδάφους. Τα περιβάλλοντα και οι οικότοποι είναι συνήθως ακραία και ξεχωριστά όπως και οι μορφές της ζωής που συναντιούνται σε αυτά. Είτε είναι επιφανειακές μορφές του αναγλύφου όπως τα οροπέδια, οι δολίνες, οι καταβόθρες και οι άλλες παρόμοιες μορφές, είτε είναι υπόγειες όπως τα σπήλαια και τα βάραθρα που συναρπάζουν τον επισκέπτη και ξεχωρίζουν για τα μοναδικά τοπία που προσφέρουν.

Η διάλυση των ασβεστολίθων, δολομιτών και μαρμάρων του Ψηλορείτη, ιδιαίτερα στην ορεινή του ζώνη, έχει δημιουργήσει ένα πλήθος τέτοιων μορφών και τοπίων που χαρακτηρίζουν το ανάγλυφο του βουνού και καθορίζουν στο μέγιστο βαθμό την εμφάνιση της ζωής σε όλες της τις εκφάνσεις: από το μικρό σκαθάρι μέχρι τον ίδιο τον άνθρωπο.

Τα «καρστικά τοπία του Ψηλορείτη» (σχ. 1.2), εάν αφήσουμε προς το παρόν τα σπήλαια και τα βάραθρα που υπάρχουν σε όλη την έκταση του πάρκου, αφορούν σε επιφανειακές κοιλότητες ποικίλων διαστάσεων όπως σε μικρά βαθουλώματα (αρόλιθοι και χύτρες), καταβόθρες και τάφκους μέχρι στα μεγάλα οροπέδια, της Νίδας και των Πετραδολακίων.



Σχήμα 1.2 Εικόνα της ευρύτερης περιοχής του Ψηλορείτη (<http://www.psiloritis-natural-park.gr>)

Σε πολλές περιοχές η πλήρης απουσία εδάφους και η καταδυνάστευση του τοπίου από το σκληρό ασβεστολιθικό βράχο σχηματίζουν τοπία απόκοσμα και εντυπωσιακά. Οι «κρατήρες» στην Κουρούνα και στην περιοχή του Σκίνακα έπλασαν και συνεχίζουν να πλάθουν μύθους για τα «ηφαίστεια» του Ψηλορείτη που όμως πολύ απέχουν από την πραγματικότητα.

Στα «καρστικά τοπία του Ψηλορείτη» ο επισκέπτης θα γνωρίσει όλες αυτές τις μορφές και θα εκστασιαστεί από το μοναδικό τοπίο και τον πλούτο της ζωής που θα συναντήσει.

B1. Οροπέδιο Νίδας

Το οροπέδιο της Νίδας είναι το ψηλότερο οροπέδιο της Κρήτης με ένα μέσο υψόμετρο στα 1360 μέτρα. Είναι στην ουσία μια πόλγη που δημιουργήθηκε εξαιτίας της καρστικής αποσάθρωσης και της συνένωσης γειτονικών, μικρότερων κοιλοτήτων. Όπως και τα γειτονικά οροπέδια στα Πετραδολάκια, έτσι και το οροπέδιο της Νίδας σχηματίζεται στην επαφή των δύο μεγάλων ανθρακικών ενοτήτων των «Πλακωδών ασβεστολίθων» και της «Τρίπολης», όπου εμφανίζονται με μικρά πάχη τα αδιαπέρατα πετρώματα του μεταφλύσχη των «Πλακωδών ασβεστολίθων» και μικρές εμφανίσεις των «Φυλλιτών-Χαλαζιτών».

Σημαντικό όμως ρόλο στη δημιουργία της έπαιξε το μεγάλο ρήγμα που οριοθετεί τις ανατολικές πλαγιές του Ψηλορείτη και το οροπέδιο ταυτόχρονα. Το ρήγμα βύθισε την περιοχή του οροπεδίου σε σχέση με τον Ψηλορείτη διαμορφώνοντας συνθήκες για τη συγκέντρωση περισσότερου νερού και τη μεγαλύτερη διάλυση των πετρωμάτων. Η είσοδος μάλιστα του σπηλαιίου Ιδαίου Άντρο βρίσκεται ακριβώς πάνω στο ρήγμα που είναι και η αιτία της αποκάλυψής του. Επίσης, πολλές καταβόθρες από τις οποίες το νερό χάνεται στο εσωτερικό της γης υπάρχουν στο βόρειο τμήμα του οροπεδίου που φαίνεται να έχει βυθιστεί περισσότερο εξαιτίας του ρήγματος.

Η εικόνα του οροπεδίου διαφέρει ανάλογα με την εποχή. Είτε καλυμμένη με χιόνια ή σύννεφα το χειμώνα, είτε καταπράσινη με διάφορες πόες και αγριολούλουδα την άνοιξη, είτε τα κόκκινα σφεντάμια το καλοκαίρι, είτε μόνο με το γκρι του ασβεστολιθικού βράχου το φθινόπωρο, η Νίδα συναρπάζει.

Στη Νίδα σήμερα υπάρχει κυρίως κτηνοτροφική δραστηριότητα, παλιότερα όμως η ερυθρογή του οροπεδίου αποτέλεσε γόνιμο έδαφος για τη σπορά δημητριακών. Η παρουσία του νερού είναι, αν και λίγη, ικανή να συντηρεί τα οικοσυστήματα, αλλά και τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Σημαντικότερες πηγές είναι του Βαρσάμου στο νότιο άκρο, του Αφέντη Χριστού δίπλα στο Ιδαίο Άντρο και της Ρωμάνας λίγο βορειότερα. Στις διάφορες γωνιές του οροπεδίου τα χαρακτηριστικά μητάτα των βοσκών δίνουν την ανθρώπινη, λιτή σε όλες της τις απόψεις, πινελιά στο παρθένο τοπίο του βουνού. Από τις

μικρές ρεματιές που ξεκινούν ή καταλήγουν στο οροπέδιο, μπορεί κανείς να σκαρφαλώσει στην κορυφή του Ψηλορείτη, να κατηφορίσει στο Δάσος του Ρούβα, ή να θαυμάσει, από το φυσικό μπαλκόνι, τον κάμπο της Μεσαράς.

B2. Ιδαίον Άντρον

Το Ιδαίο Άντρο βρίσκεται στις παρυφές του οροπεδίου της Νίδας, στην απότομη ανατολική πλαγιά του Ψηλορείτη που δημιουργεί το μεγάλο ρήγμα της περιοχής. Η είσοδος του είναι πάνω στο ρήγμα ενώ και εσωτερικά του σπηλαίου εμφανίζονται παράλληλες επιφάνειες του ρήγματος. Στην είσοδο του σπηλαίου, που είναι ελαφρά κατηφορική με μια μεγάλη αίθουσα στη συνέχεια, αλλά και στο εσωτερικό του εμφανίζονται πτυχώσεις των «Πλακωδών ασβεστολίθων».

Το σπήλαιο αν και γεωλογικά δεν είναι εντυπωσιακό αφού στερείται διάκοσμου και μεγάλης ανάπτυξης, έχει τεράστια αρχαιολογική και πολιτισμική αξία. Η μυθολογία φέρει τον Κρηταγενή Δία να βρίσκει καταφύγιο στο σπήλαιο ως νεογέννητο για να γλυτώσει από την οργή του πατέρα Κρόνου. Οι γηγενείς πολεμιστές Κουρήτες κάλυπταν με τις πολεμικές κραυγές τους το κλάμα του μωρού ενώ η κατσίκα Αμάλθεια το θήλαζε μέχρι να μεγαλώσει. Οι αρχαιολογικές έρευνες του καθ. Γ. Σακελαράκη επιβεβαίωσαν, με το πλήθος των ευρημάτων που έφερε στο φως, το γεγονός ότι το Ιδαίο ήταν ο μεγαλύτερος λατρευτικός χώρος της Κρήτης από τη Μινωική μέχρι και τη Ρωμαϊκή εποχή. Ακόμα και σήμερα στην είσοδο του σπηλαίου δεσπάζει ο λαξευτός, ορθογώνιος βωμός των τελετών της αρχαιότητας.

B3. Πετραδολάκια

Τα Πετραδολάκια αποτελούν ένα σπάνιο καρστικό τοπίο στο οποίο κυριαρχούν τα ασβεστολιθικά πετρώματα της ενότητας της «Τρίπολης» και οι επιφανειακές κοιλότητες. Μικρές και μεγάλες δολίνες, καταβόθρες, βάραθρα - κρατήρες που σαν να δημιουργήθηκαν από ηφαιστεια αποτελούν το τοπίο που κανείς μπορεί να απολαύσει από τη γειτονική κορυφή του Σκίνακα με το ομώνυμο αστεροσκοπείο.

Όμορφες πτυχές αναπτύσσονται κατά τόπους στους τυπικούς πλακώδεις ασβεστόλιθους του δυτικού τμήματος, με τα πολύχρωμα στρώματα που περιέχουν ενώ σε ορισμένες θέσεις αποκαλύπτονται άσπρα πυριτικά συσσωματώματα που σύμφωνα με κάποιες θεωρίες δημιουργήθηκαν από αποικίες σπόγγων του παλιού ωκεανού της Τηθύος.

Το λιγοστό έδαφος που υπάρχει στα οροπέδια φιλοξενεί μεγάλο αριθμό ειδών της χλωρίδας και πανίδας του Ψηλορείτη, με πιο χαρακτηριστικά τη χορστρίσεια των δολινών (*Horstrissea dolinicola*), ένα σπάνιο είδος που φύεται μόνο σε κάποιες δολίνες γύρω από το Σκίνακα και την πεταλούδα του Ψηλορείτη (*Kretania psylorita*) που θα τη συναντήσουμε στο

τέλος της άνοιξης σε μεγάλους αριθμούς μόνο στα οροπέδια του Ψηλορείτη.

B4. Κρητικό Ρήγμα Απόσπασης

Μια από τις καλύτερες θέσεις παρατήρησης του μεγάλου Κρητικού Ρήγματος Απόσπασης, το οποίο χωρίζει τα υψηλής πίεσης μεταμορφωμένα πετρώματα των «Πλακωδών ασβεστολίθων» και «Φυλλιτών – Χαλαζιτών» από τα αμεταμόρφωτα της «Τρίπολης» φαίνεται δίπλα από το εκκλησάκι του Άγιου Φανούριου στα Πετραδολάκια. Το ρήγμα αυτό ανασήκωσε πριν από αρκετά εκατομμύρια χρόνια τα πετρώματα των «Πλακωδών ασβεστολίθων» από τα βάθη των 30 – 40 χιλιομέτρων στην επιφάνεια της Γης.

Η δημιουργία της παρακείμενης πηγής οφείλεται στην ύπαρξη του ρήγματος αυτού που φέρνει σε επαφή τα περατά από το νερό πετρώματα της «Τρίπολης» με τον αδιαπέρατο μεταφλύσχη των «Πλακωδών ασβεστολίθων» που βρίσκεται από κάτω. Στους κατακόρυφους βράχους της περιοχής συναντάται ακόμη το χαρακτηριστικότερο αρωματικό φυτό της Κρήτης ο δίκταμος ή «έρωντας» (*Origanum dictamnus*).

B5. Μεταφλύσχης της Αγίας Μαρίνας

Αν και έχει τη μικρότερη ανάπτυξη από όλα τα πετρώματα του Ψηλορείτη, ο μεταφλύσχη των «Πλακωδών ασβεστολίθων», ένα μεταμορφωμένο σήμερα πέτρωμα, με αρκετή άργιλο και κροκάλες ασβεστολίθων, έχει τη μεγαλύτερη αξία για τη ζωή. Η ύπαρξη του μεταφλύσχη στο ανατολικό άκρο του Ψηλορείτη είναι η αιτία για την εμφάνιση πολλών πηγών, αφού εμποδίζουν τα νερά από τα πετρώματα της «Τρίπολης» που συνήθως τον σκεπάζουν να προχωρήσουν βαθύτερα στη γη. Στην περιοχή της Αγίας Μαρίνας, δίπλα στον αρχαιολογικό χώρο της Ζώμινθου, υπάρχει μια σημαντική εμφάνιση του μεταφλύσχη που σχηματίζει επίσης τις ομώνυμες πηγές.

B6. Φαράγγι και πτυχές της Μύγιας

Το φαράγγι της Μύγιας, ένας τόπος στενά συνδεδεμένος με τις παραδόσεις των Ανωγείων αναπτύσσεται μέσα στα τυπικά πλακάδη μάρμαρα που εμφανίζονται εντυπωσιακά στα κατακόρυφα πρανή του. Οι έντονες πιέσεις που δέχθηκαν τα πετρώματα αυτά αποτυπώνονται στις αμέτρητες γωνιώδεις, ζικ ζακ, πτυχές που καθρεφτίζονται στο νότιο πρανές του. Το φαράγγι δεν είναι ιδιαίτερα στενό, εκτός από κάποια τμήματά του στην αρχή και στο τέλος, είναι όμως αρκετά βαθύ και με απόκρημνα τοιχώματα σε αρκετά σημεία.

Μια περιπατητική διαδρομή που διασχίζει από ψηλά το βόρειο πρανές, περνώντας από παλιά και νέα μητάτα, συνδέει το φαράγγι με άλλους σημαντικούς γεώτοπους της περιοχής.

B7. Πτυχές Στεφάνας

Κατά μήκος του δρόμου από Ανώγεια προς Νίδα, στην περιοχή της Στεφάνας εμφανίζονται έντονες πτυχές με τη μορφή «N» μέσα στα τυπικά πλακώδη μάρμαρα. Οι πτυχές αυτές είναι από τις μεγαλύτερες της περιοχής και εμφανίζονται χαρακτηριστικά τόσο στα πρανή του δρόμου όσο και στο ανάγλυφο των γύρω πλαγιών.



Σχήμα 1.3 Πτυχές της Στεφάνας

B8. Καταβόθρες Στεφάνας

Ένα από τα πιο χαρακτηριστικά οροπέδια του Ψηλορείτη, όπου φαίνεται καθαρά η συνολική δράση του νερού πάνω στα πετρώματα των «Πλακωδών ασβεστολίθων», είναι αυτό στη Στεφάνα. Η εύκολη πρόσβασή του από την επαρχιακή οδό προς Νίδα διευκολύνει την άνετη περιήγηση της ευρύτερης περιοχής και την προσέγγιση του φαραγγιού της Μύγας.

Το μικρό οροπέδιο συχνά κατακλύζεται από νερό σχηματίζοντας μικρές λίμνες με βατράχια, ενώ λειτουργούν και διάφορες καταβόθρες στο κεντρικό τμήμα και στο βόρειο άκρο δίπλα στο δρόμο, από τις οποίες το νερό χάνεται στο εσωτερικό της Γης. Στις διάφορες εποχές του χρόνου ο επισκέπτης θα συναντήσει διάφορα αγριολούλουδα, όπως κρόκους (*Crocus oreocreticus*), κολχικά (*Colchicum cretense*), λεγκούζιες (*Legousia* sp) και άλλα είδη της τοπικής χλωρίδας.

Από το μικρό μητάτο, με τη χαρακτηριστική μάντρα για το άρμεγμα, στα βόρεια του οροπεδίου ένα μικρό μονοπάτι οδηγεί στο μεγάλο πρίνο απ' όπου μπορεί κανείς να απολαύσει ένα πανόραμα του βόρειου τμήματος του πάρκου και τα δειλινά το ηλιοβασίλεμα πίσω από το Ακρωτήρι των Χανίων.

B9. Βάραθρο Σκίνακα

Στη διαδρομή από τα Πετραδολάκια προς την κορυφή του Σκίνακα υπάρχει ένα από τα πιο εντυπωσιακά και εύκολα προσεγγίσιμα βάραθρα του Ψηλορείτη. Το μικρό μονοπάτι που διασχίζει δολομίτες και ασβεστόλιθους της «Τρίπολης» σε ένα τοπίο που λίγο απέχει από το ερημικό, οδηγεί σε ένα ρηχό ρέμα και στη συνέχεια στην είσοδο του βάραθρου. Με βάθος 20 περίπου μέτρων και διάμετρο περίπου 10 μέτρων το βάραθρο εντυπωσιάζει με τα κατακόρυφα – και πολύ επικίνδυνα - τοιχώματά του, την πλούσια βλάστηση και τα πολλά πουλιά που φιλοξενεί. Στον πυθμένα του, που στη συνέχεια καταλήγει σε ένα πολύ στενό σπήλαιο, το χιόνι μπορεί να διατηρηθεί μέχρι και τα μέσα του καλοκαιριού.

B10. Δολίνες στην Κουρούνα

Η Κουρούνα, μια κορυφή βόρεια από την κεντρική οροσειρά του Ψηλορείτη, σχηματίζεται από τα τυπικά πλακώδη μάρμαρα, που λόγω των οριζόντιων στρωμάτων της μοιάζει σαν παιδική κατασκευή από τουβλάκια. Το μεγάλο της υψόμετρο εμποδίζει τη δενδρώδη βλάστηση με αποτέλεσμα να αναδεικνύονται όλες οι μορφές της επιφανειακής διάλυσης που δημιούργησε η καρστική αποσάθρωση. Πλήθος μικρών και μεγάλων δολινών σχηματίζονται με τη μορφή κρατήρων, που μπορεί όμως να θαυμάσει κανείς μόνο από τις κορυφές του Ψηλορείτη ή τμηματικά από το Λειβαδιώτικο ή Ζωνιανό αόρι (βοσκοτόπι).

1.4 Γενικά στοιχεία για το κλίμα της Κρήτης

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

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

Το κλίμα της Κρήτης είναι εύκρατο και πλησιάζει προς το θαλάσσιο. Σε υψηλά υψόμετρα, τείνει προς τον ορεινό τύπο κλίματος. Από την άποψη ηπιότητας και των μεταβολών, το κλίμα της Κρήτης θεωρείται προνομιούχο και οφείλεται στην κεντρική θέση που κατέχει το νησί στην ανατολική Μεσόγειο. Ο χειμώνας αρχίζει περίπου από τα μέσα

Δεκεμβρίου και είναι ήπιος. Ο ψυχρότερος μήνας του έτους είναι ο Ιανουάριος που διαφέρει ελάχιστα θερμομετρικά από το Φεβρουάριο. Η διαφορά τους όμως τόσο με το Δεκέμβριο όσο και με το Μάρτιο, είναι αισθητή. Γενικά τα πεδινά της Ανατολικής Κρήτης είναι από τις θερμότερες περιοχές της Ελλάδας με μακρά ηλιοφάνεια ακόμα και κατά τους μήνες Οκτώβριο μέχρι Απρίλιο. Η νέφωση είναι γενικά μικρή και μειώνεται από ανατολικά προς δυτικά. Το ανατολικό άκρο κατά τους χειμερινούς μήνες ανήκει σε περιοχή μεγίστου νεφώσεως. Οι βροχές αυξάνονται από τα ανατολικά προς δυτικά και από τα παράλια προς την ηπειρωτική χώρα.

Κύρια χαρακτηριστικά του κλίματος στο νησί είναι:

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

2 ΓΕΝΙΚΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 Γεωμορφολογικά και Στρωματογραφικά στοιχεία

Η περιοχή του Ψηλορείτη χαρακτηρίζεται από την παρουσία κυρίως ανθρακικών πετρωμάτων. Ολόκληρος ο ορεινός όγκος και οι παρυφές του αποτελούνται από ασβεστόλιθους, δολομίτες και μάρμαρα, τα οποία ταξινομούνται σε δύο γεωτεκτονικές ενότητες πετρωμάτων.

Η πρώτη ενότητα αποτελείται από μεταμορφωμένα πετρώματα και ονομάζεται ενότητα Πλακωδών ασβεστόλιθων ή Κρήτης – Μάνης, ή Ίδης, με πιο αποδεκτή την πρώτη ονομασία. Τα πετρώματα της ενότητας αυτής είναι κυρίως ανθρακικά, ασβεστόλιθοι και δολομίτες, που σχηματίστηκαν πριν από 250 έως 30 εκατ. χρόνια από σήμερα, και ακολούθως μεταμορφώθηκαν σχηματίζοντας τα σημερινά μάρμαρα. Το πιο χαρακτηριστικό πέτρωμα της ενότητας στην περιοχή είναι οι τυπικοί πλακώδεις ασβεστόλιθοι - μάρμαρα, με το χαρακτηριστικό αποχωρισμό σε λεπτές πλάκες πάχους από 30 έως 10 εκατοστά. Τα πετρώματα αυτά εμφανίζονται στο βόρειο κυρίως τμήμα της περιοχής, από τα Ανώγεια μέχρι και την κορυφή του Ψηλορείτη. Πάνω από αυτούς τους ασβεστόλιθους, εμφανίζεται στην περιοχή της Νίδας, της Αγ. Μαρίνας και στις νότιες παρυφές της κορυφής του Ψηλορείτη ένα λεπτό στρώμα από τον ασβεστο-αργιλικό μεταφλύσχη.

Η ενότητα των Πλακωδών ασβεστόλιθων είναι η κατώτερη μέχρι σήμερα γνωστή ομάδα πετρωμάτων στην Κρήτη και το συνολικό της πάχος εκτιμάται ότι ξεπερνά τα 3000 μέτρα.

Πάνω από την ενότητα των Πλακωδών ασβεστόλιθων στην περιοχή του Ψηλορείτη βρίσκεται η ενότητα της Τρίπολης. Αυτή αποτελείται από ασβεστόλιθους και δολομίτες ηλικίας 150 έως 60 εκατ. χρόνων, που εμφανίζονται περιμετρικά της κορυφής και κυρίως στα νότια και ανατολικά της. Οι ασβεστόλιθοι αυτοί είναι άστρωτοι έως μαζώδεις και σε μερικές μόνο θέσεις παχυστρωματώδεις.

Στο ανατολικό τμήμα της περιοχής και ιδιαίτερα στην περιοχή του Κρουσώνα, εμφανίζονται τα ανώτερα στρώματα του φλύσχη της ενότητας της Τρίπολης, που αποτελούνται από κροκαλοπαγή και ψαμμίτες.

Στην περιοχή αυτή απουσιάζουν σχεδόν παντελώς, λόγω τεκτονικών διεργασιών, τα μεταμορφωμένα πετρώματα των Φυλλιτών – χαλαζιτών που θα έπρεπε να παρεμβάλλονται ανάμεσα στις παραπάνω ενότητες. Πολύ μικρής έκτασης και πάχους εμφανίσεις υπάρχουν δυτικά του Κρουσώνα, στο οροπέδιο της Νίδας και βόρεια της Γέργερης. Όσον αφορά στον τεκτονισμό, οι πτυχές είναι σχετικά περιορισμένες και εμφανίζονται μόνο στα πετρώματα της ενότητας των Πλακωδών ασβεστόλιθων, με τη μορφή κλειστών έως υπό-ισοκλινών πτυχώσεων κυρίως στην περιοχή του οροπεδίου της Νίδας.

Τα ρήγματα όμως είναι πάρα πολλά και σχετικά μεγάλης κλίμακας. Όλες σχεδόν οι παρυφές της οροσειράς χαρακτηρίζονται και οφείλουν την δημιουργία τους στη δράση μεγάλων κανονικών ρηγμάτων. Πολύ εντυπωσιακά εμφανίζονται τα ρήγματα των ανατολικών παρυφών της οροσειράς στην περιοχή Κρουσώνα – Τυλίσσου που ουσιαστικά οριοθετούν την οροσειρά με τη λεκάνη του Ηρακλείου. Το ίδιο συμβαίνει με τις νότιες παρυφές όπου εκεί δύο μεγάλες ζώνες ρηγμάτων, της Γέργερης και του Φουρφουρά, οριοθετούν την οροσειρά με τη λεκάνη της Μεσαράς και του Αμαρίου, αντίστοιχα. Στο βόρειο περιθώριο υπάρχουν αρκετά ρήγματα, μικρότερης όμως έκτασης, που ταπεινώνουν σταδιακά το ανάγλυφο προς την περιοχή της λεκάνης του Μυλοποτάμου.

Εκτός από τα ρήγματα αυτά ένα μεγάλο ρήγμα που τέμνει διαγώνια όλη την οροσειρά, ξεκινώντας από την περιοχή της Γέργερης και φτάνοντας μέχρι την περιοχή του Γαράζου, εμφανίζεται στην περιοχή της Νίδας οριοθετώντας ουσιαστικά της κορυφογραμμές με το ομώνυμο οροπέδιο.

Το ανάγλυφο και η μορφολογία της περιοχής είναι ένα συνδυαστικό αποτέλεσμα της πετρολογικής σύστασης και της τεκτονικής. Όλα τα ανθρακικά πετρώματα εμφανίζουν δομές της καρστικής αποσάθρωσης, που δημιουργούνται με τη διάλυση του ανθρακικού ασβεστίου των πετρωμάτων από το νερό. Αυτή η διάβρωση δημιουργεί διαφόρων μεγεθών, από εκατοστά μέχρι χιλιόμετρα, επιφανειακά και υπόγεια έγκοιλα. Αυτά ανάλογα με το μέγεθος και τη φύση τους χαρακτηρίζονται ως χύτρες, τάφοι, δολίνες, και πόλγες όταν βρίσκονται στην επιφάνεια, καταβόθρες όταν διεισδύουν στο εσωτερικό των πετρωμάτων, και σιφώνια, βάραθρα και σπήλαια στο εσωτερικό των πετρωμάτων. Όλες οι παραπάνω δομές συναντώνται σε μεγάλους αριθμούς στην περιοχή του Ψηλορείτη και χαρακτηρίζουν το ανάγλυφο και τη μορφολογία της περιοχής. Η πόλγη της Νίδας και τα σπήλαια των Καμαρών, το Ιδαίον Άνδρο και το σπήλαιο-βάραθρο στα Πετραδολάκια είναι από τις πιο χαρακτηριστικές περιπτώσεις. Μάλιστα στην περιοχή βόρεια του οροπεδίου της Νίδας οι επιφανειακές δομές φαίνεται ότι ακολουθούν την ύπαρξη των ρηγμάτων σχηματίζοντας γραμμικές εμφανίσεις, με πολύ μεγάλη συχνότητα.

Εκτός από τις παραπάνω δομές επίσης χαρακτηριστική είναι η ανάπτυξη των φαραγγιών που είναι αποτέλεσμα της καρστικής αποσάθρωσης και της δράσης ρηγμάτων. Για το λόγο αυτό τα φαράγγια εμφανίζονται περιμετρικά της οροσειράς, κάθετα στη διεύθυνση των μεγάλων ρηγμάτων.

Όσον αφορά στον βαθμό αποσάθρωσης υπάρχει μια σαφής και εμφανής διαφορά ανάμεσα στις δύο ενότητες των πετρωμάτων. Τα πετρώματα της ενότητας των Πλακωδών ασβεστόλιθων, λόγω της μεταμόρφωσης τους, ανθίστανται περισσότερο στη διάβρωση, με αποτέλεσμα το ανάγλυφο στα πετρώματα αυτά να είναι ομαλό και ήπιο. Αντίθετα τα ιζηματογενή πετρώματα της ενότητας της Τρίπολης, διαβρώνονται ευκολότερα και ανομοιόμορφα με αποτέλεσμα να σχηματίζουν ένα τραχύ και ανώμαλο ανάγλυφο. Η εικόνα αυτή είναι πολύ χαρακτηριστική στην περιοχή από το οροπέδιο της Νίδας μέχρι και τη Ζώμινθο. Οι λόφοι και οι κορυφογραμμές αποτελούνται στη βάση τους από πετρώματα των πλακωδών ασβεστόλιθων και για το λόγο αυτό, έχουν ένα ομαλό και ήπιο ανάγλυφο, ενώ αντίθετα οι κορυφές είναι τραχιές και απότομες λόγω της ύπαρξης των πετρωμάτων της Τρίπολης.

Στο χάρτη του σχήματος 2.1, έκδοσης Ι.Γ.Μ.Ε. 1:50000, παρουσιάζεται το γεωλογικό τοπίο της περιοχής που μελετήθηκε.

2.2 Μεταλλική τεκτονική

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

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

Η τεκτονική κατά την διάρκεια του Νεογενούς για την περιοχή της Κρήτης είναι κυρίως εφελκυστική με πιθανά διαλείμματα συμπιεστικών φάσεων. Από το Μειόκαινο έως σήμερα δύο μεγάλα γεωδυναμικά γεγονότα καθορίζουν την γεωλογική εξέλιξη της Κρήτης: η σύγκλιση Αφρικής και Ευρασίας και της διαφυγής της μικροπλάκας της Ανατολίας προς τα

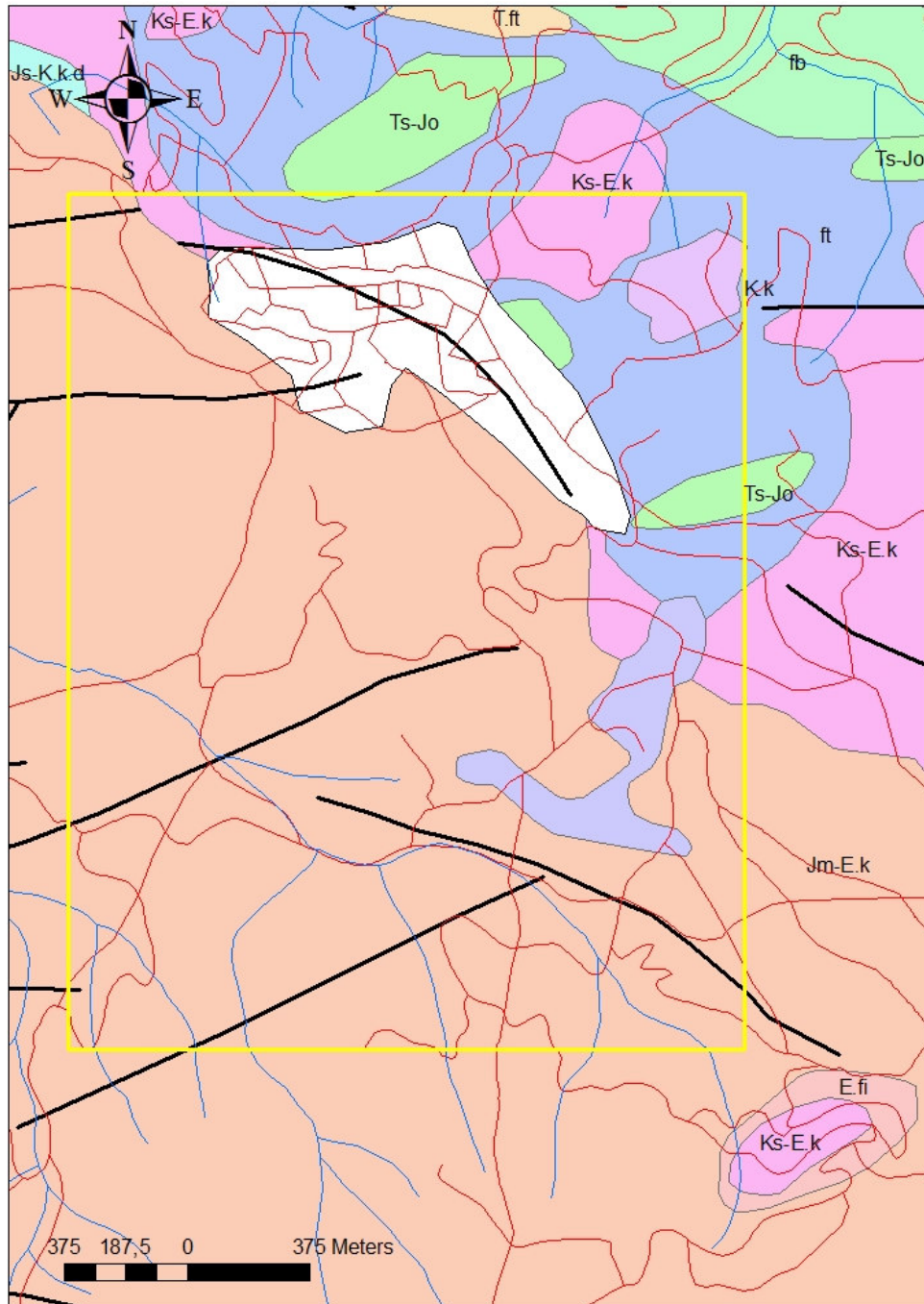
νοτιοδυτικά. Τρεις μεγάλες ομάδες ρηγμάτων προέκυψαν από τις εφελκυστικές φάσεις που έπληξαν την Κρήτη από το Μειόκαινο έως σήμερα.

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

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

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

Στην περιοχή που ερευνήθηκε εντοπίζονται τρεις ρηξιγενείς ομάδες διεύθυνσης Α-Δ, ΒΑ-ΝΔ και ΒΔ-ΝΑ.



Σχήμα 2.1 Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης όπου παρουσιάζονται οι κυριότεροι γεωλογικοί σχηματισμοί, τα ρήγματα και το υδρογραφικό δίκτυο. Επεξήγηση συμβόλων: ft – φλύσσης, Ks-E.k – Κρητιδικοί ασβεστόλιθοι, Ts-Jo, Jm-E.k, Js-K.k.d – Ιουρασικοί ασβεστόλιθοι

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.

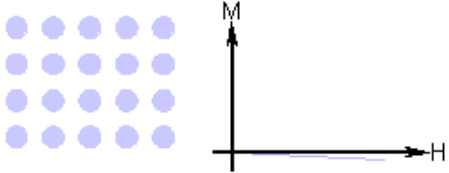
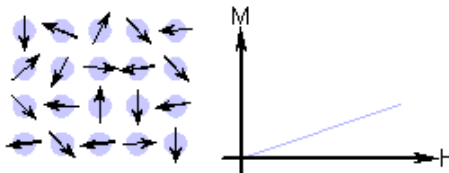
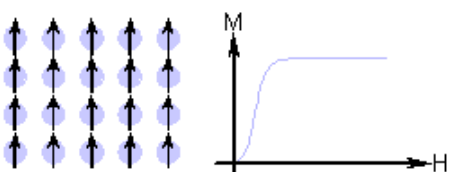
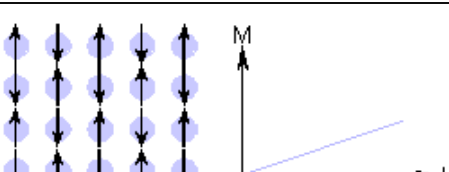
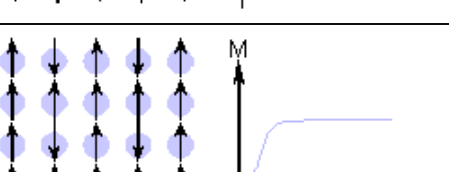
Παραμένουσα μαγνήτιση είναι η ιδιότητα των σιδηρομαγνητικών υλικών να διατηρούν τις μαγνητικές ιδιότητες τους ακόμη και κατά την απουσία εξωτερικού μαγνητικού πεδίου.

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

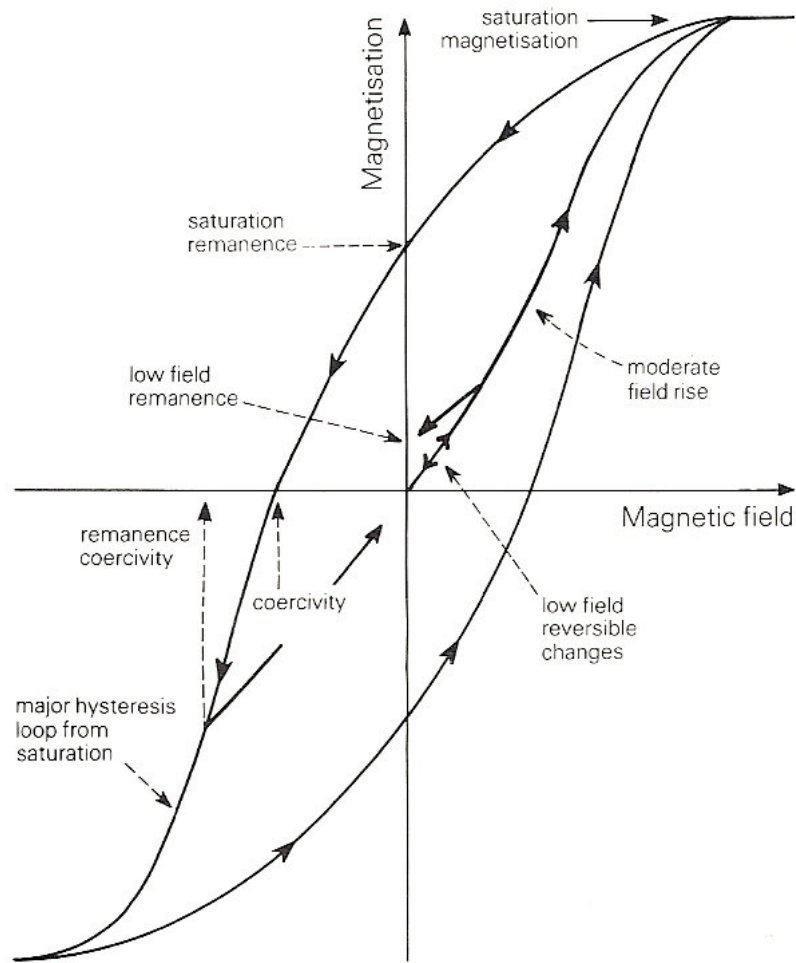
3.3 Μαγνητική υστέρηση

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

Πίνακας 3.1. Συγκεντρωτικός πίνακας όλων των τρόπων μαγνήτισης διάφορων υλικών



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

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

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

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

Κατά την απομάκρυνση τέτοιων πεδίων η μαγνήτιση δεν μηδενίζεται και ονομάζεται 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	$\alpha\text{FeO.OH}$	120	~1
lepidocrocite	$\gamma\text{FeO.OH}$	-196	—
magnesioferrite	MgFe_2O_4	440	21
jacobsite	MnFe_2O_4	310	77

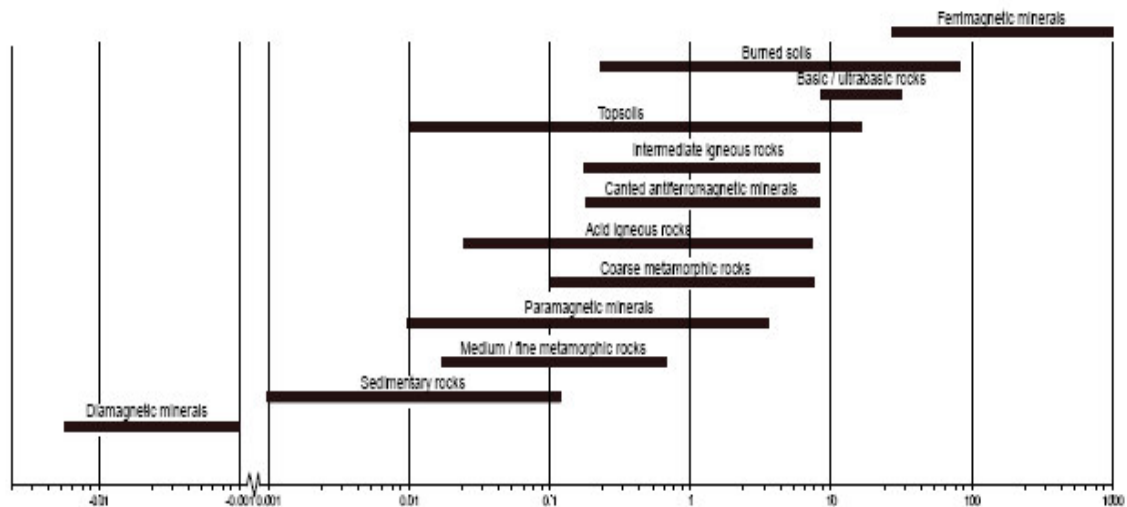
3.4 Μαγνητική επιδεκτικότητα

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

* Only remanence carrying at temperatures well below room temperature.

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

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

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

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

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

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

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

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

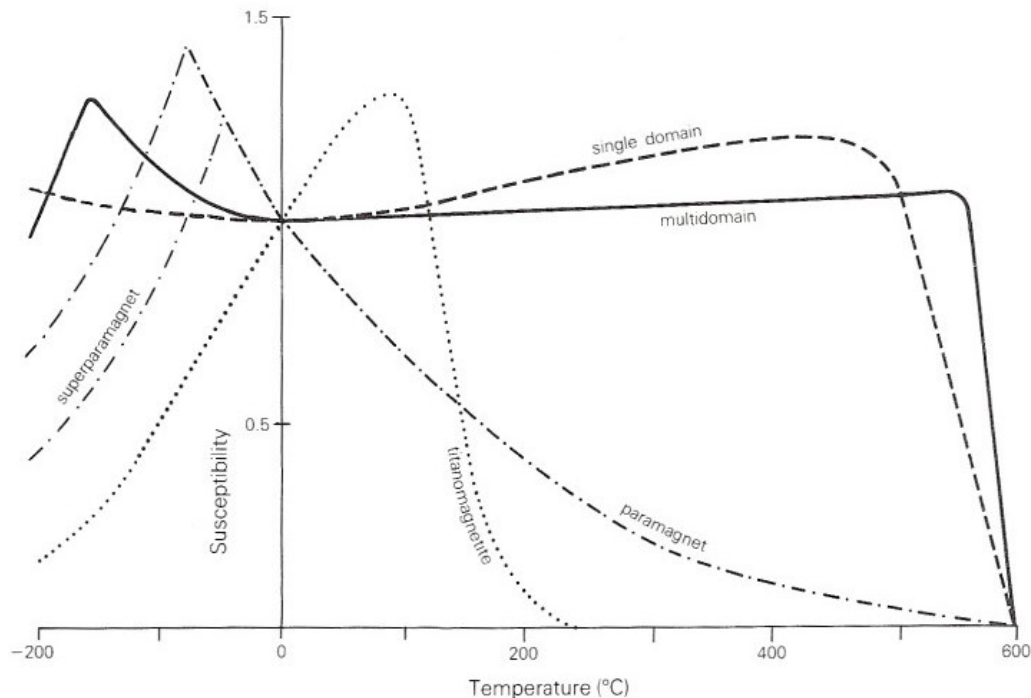
8. Anhysteretic remanent magnetization (ARM). Η παραμένουσα μαγνήτιση που δημιουργείται κατά την ομαλή απομείωση ενός ισχυρού εναλλασσόμενου μαγνητικού πεδίου, παρουσία ενός ασθενούς σταθερού πεδίου.

9. Υπερ-παραμαγνητισμός (superparamagnetism). Είναι το φαινόμενο της ταχύτατης μείωσης της παραμένουσας μαγνήτισης των σιδηρομαγνητικών υλικών, όταν οι κόκκοι τους είναι μικρότεροι από μια κρίσιμη διάμετρο (10-8 m). Τα υλικά αυτά χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας.

3.5 Σχέση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με την θερμοκρασία

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

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



Σχήμα 3.2 Καμπύλες μαγνητικής επιδεκτικότητας (ασθενές εφαρμοζόμενο μαγνητικό πεδίο) σε σχέση με την θερμοκρασία για διαφορετικού μεγέθους και σύστασης κρυστάλλους μαγνητίτη: Τιτανομαγνητίτης (στικτή), μικρού μεγέθους κόκκοι <20μm (διακεκομμένη), μεγάλου μεγέθους κόκκοι >20μm (συμπαγής), υπερ-μαγνητικοί κόκκοι (διακεκομμένη με τελείες) (Thompson and Oldfield 1986).

3.6 Σχέση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με την συχνότητα

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

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

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

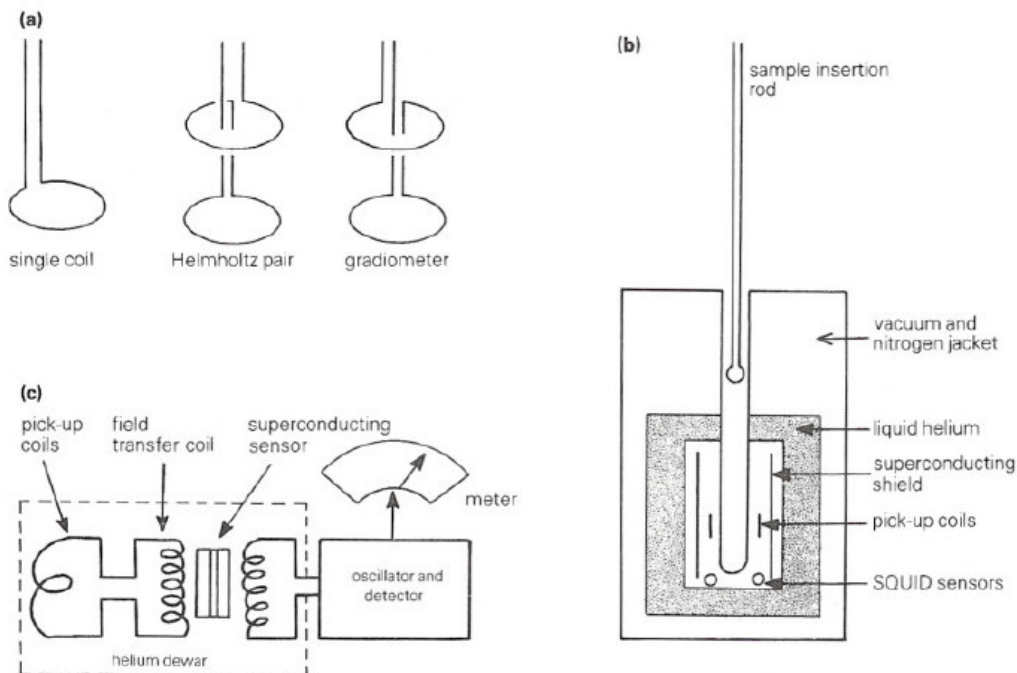
Στις χαμηλές συχνότητες η σε φάση συνιστώσα της μαγνητικής επιδεκτικότητας έχει τιμή πλησίον της πραγματικής. Καθώς όμως η συχνότητα αυξάνεται τα φαινόμενα αποκατάστασης γίνονται πιο σημαντικά και η σε φάση συνιστώσα μετά από μια μικρή αύξηση (Spoek, 1948), μειώνεται σταθερά ενώ η τιμή της φανταστικής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

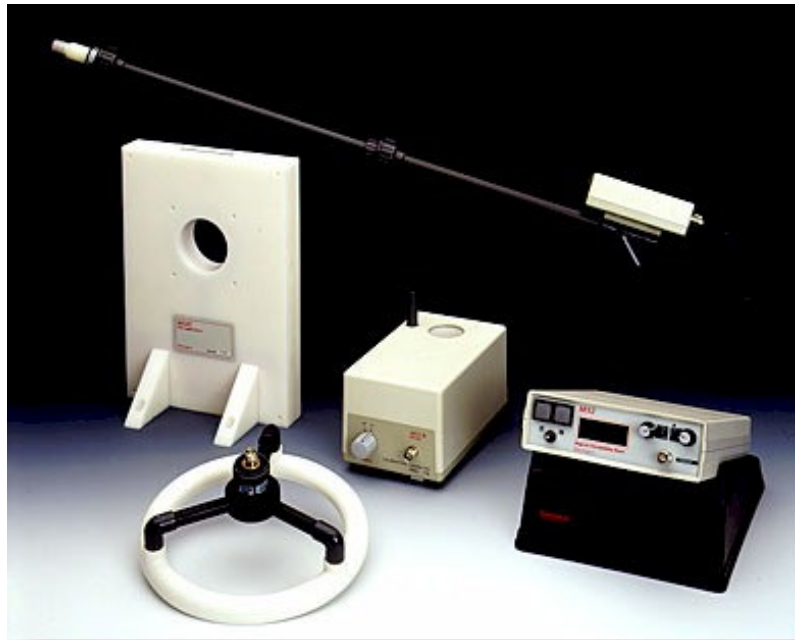
Συνήθως η μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας γίνεται με την μέθοδο a.c (σχ. 3.3). Το δείγμα τοποθετείται σε ένα μαγνητικό πεδίο που παράγεται από ένα πηνίο. Ένα δεύτερο πηνίο χρησιμοποιείται για την ανίχνευση της επαγόμενης μαγνήτισης, που είναι ανάλογη της επιδεκτικότητας του δείγματος. Το σήμα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



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

3.8 Μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με το MS2 της Bartington

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



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

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

Specification - MS2 Meter

Measuring range - volume specific - mass specific	1-9999 x 10 ⁻⁵ SI (x10 ⁻⁶ CGS) 1-9999 x 10 ⁻⁸ SI (x10 ⁻⁶ CGS)
Resolution - volume specific	2 x 10 ⁻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

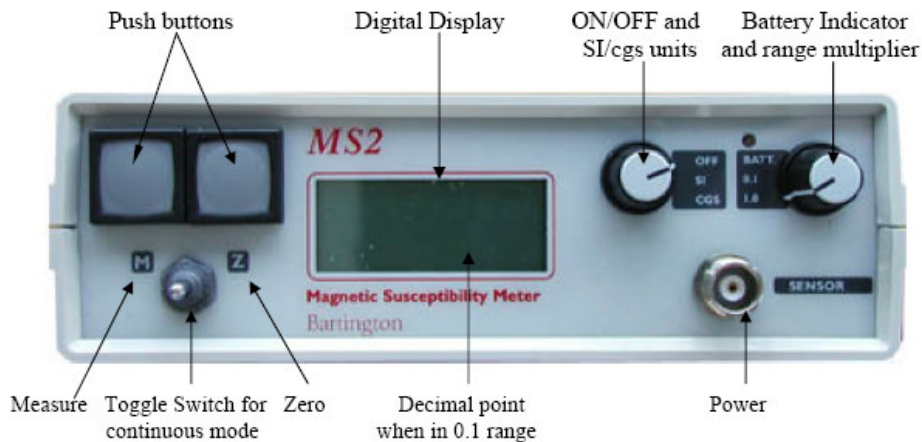
**Specification - MS2 Probe Handle**

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 Πρόσοψη του μετρητικού συστήματος MS2 του οίκου Bartington.

3.9 Σχέση μαγνητικών ορυκτών και βαρέων μετάλλων

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

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

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

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

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

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

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

3.10 Ο ρόλος και η επίδραση των βαρέων μετάλλων στα φυτά

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

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

Νικέλιο (Ni): Το Ni αποτελεί απαραίτητο συστατικό της ουρεάσης, του ενζύμου που υδρολύει την ουρία σε CO_2 και NH_4^+ . Η ουρία σχηματίζεται από την αποδόμηση των ουρεϊδίων, αζωτούχων ενώσεων που είναι προϊόντα της ενσωμάτωσης του αζώτου στα φυτά των ριζών των ψυχανθών και της αποδόμησης των πουρινών. Η έλλειψη Ni προκαλεί τη συσσώρευση ουρίας, η οποία είναι τοξική για το φυτό. Επίσης, έλλειψη Ni στους σπόρους των δημητριακών μειώνει τη βιωσιμότητα και τη βλάστησή τους (Brady, *et al*, 1999).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Νικέλιο (Ni): Το Ni μετακινείται εύκολα στους φυτικούς ιστούς σποροφύτων αραβοσίτου. Στα κύτταρα, ο πρωτοπλάστης εμφανίζει τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε Ni σε σχέση με το κυτταρικό τοίχωμα. Σε συγκεντρώσεις 15, 20, 25, and 35 μM $Ni(NO_3)_2$ και 3 mM $Ca(NO_3)_2$, το Ni προκαλεί σημαντική μείωση στη διακλάδωση των ριζών των σποροφύτων, λόγω αυξημένης συγκέντρωσής του στο περικύκλιο και την ενδοδερμίδα της ρίζας (Seregin, *et al*, 2003).

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

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

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

3.11 Ο ρόλος και η επίδραση των βαρέων μετάλλων στον άνθρωπο

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

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

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

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

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

συνδέονται με αυτά τα μέταλλα ίσως να προέρχονται από οξειδωτική καταστροφή των ανθρώπινων ιστών. Τα οξειδοαναγωγικά μέταλλα, όπως ο σίδηρος (Fe), ο χαλκός (Cu) και το χρώμιο (Cr) υφίστανται οξειδοαναγωγή, επειδή τα μη οξειδοαναγωγικά μέταλλα όπως ο μόλυβδος (Pb), το κάδμιο (Cd), ο υδράργυρος (Hg) κ.α., μειώνουν τη δράση των αντιοξειδωτικών που βρίσκονται στα κύτταρα, καθώς επίσης και των ενζύμων. Τα κύτταρα υπό την επίδραση οξειδωτικού στρες εμφανίζουν διάφορες δυσλειτουργίες, λόγω κακώσεων που οφείλονται στην επίδραση των χημικών ενώσεων HO^\cdot , O_2^\cdot και H_2O_2 στα λιπίδια, στις πρωτεΐνες και στο DNA. Συνεπώς, το οξειδωτικό στρες που λαμβάνει χώρα στα κύτταρα και σχετίζεται με τα βαρέα μέταλλα, μπορεί να είναι υπεύθυνο για τα φαινόμενα τοξικότητας των βαρέων μετάλλων στον άνθρωπο (Ercal, *et al*, 2001).

Κάδμιο (Cd): Η έκθεση σε κάδμιο από το περιβάλλον μπορεί να οδηγήσει σε μαλάκυνση των οστών, ασθένεια άμεσα συνδεδεμένη με τη νεφρική ανεπάρκεια. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ασθένεια 'Itai - Itai' και ήταν ενδημικό του πληθυσμού της Ιαπωνίας. Η έκθεση σε κάδμιο από το περιβάλλον συνδέεται με μια αυξημένη μείωση της πυκνότητας των οστών και στα δύο φύλα, η οποία οδηγεί σε οστεοπόρωση (κυρίως στις γυναίκες) και σε υψηλό κίνδυνο καταγμάτων κυρίως σε άτομα μεγάλης ηλικίας (Zhu, *et al*, 2004). Επίσης, η χρόνια έκθεση σε κάδμιο από το περιβάλλον, μπορεί να συσχετισθεί με βλάβες στον προστάτη των ανδρών (Zeng, *et al*, 2004).

Το κάπνισμα αποτελεί την υψηλότερη πηγή καδμίου. Σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες, μπορεί να προκληθούν σοβαρά προβλήματα υγείας (όπως βλάβες στα νεφρά και κατάγματα στα κόκαλα), ακόμη και σε χαμηλά επίπεδα έκθεσης καδμίου (Lars, 2003).

Νικέλιο (Ni): Το Ni και το Co, με τις μορφή μείγματος NiCl_2 και CoCl_2 δρουν συνεργιστικά και έχουν αρνητικές επιδράσεις στην βιωσιμότητα των κυττάρων στον άνθρωπο και δημιουργούν επιπλοκές κατά την αναπνοή (Cross, *et al*, 2001).

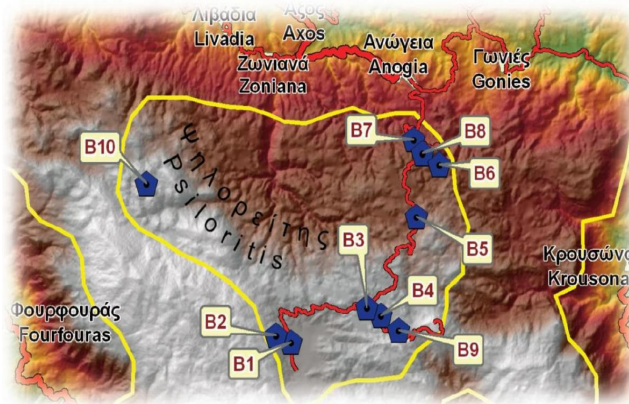
Μόλυβδος (Pb): Ο Pb, μια πιθανή καρκινογόνος ουσία, βρίσκεται στο περιβάλλον και απειλεί την ανθρώπινη υγεία. Ο τοξικός μόλυβδος μπορεί να διαφοροποιήσει το ανοσοποιητικό σύστημα τόσο των ανθρώπων όσο και των ζώων και σε κάποιες περιπτώσεις είναι εξαιρετικά ευαίσθητο σε σχέση με άλλους τοξικούς παράγοντες (Singh, 2003).

4. ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΝΙΔΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

4.1 Περιγραφή της μεθοδολογίας εκπόνησης της παρούσας εργασίας

Για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία:

1. Αναζήτηση βιβλιογραφίας που να σχετίζεται με την μαγνητική επιδεκτικότητα.
2. Επιλογή της περιοχής έρευνας (στην παρούσα περίπτωση είναι η περιοχή της Νίδας στον Δήμο Ανωγείων Κρήτης και η συλλογή οτιδήποτε πληροφοριών αφορούν την περιοχή). Στο σχήμα 4.1 παρουσιάζεται χάρτης της ευρύτερης περιοχής. Δειγματοληψίες έγιναν κατά μήκος της επαρχιακής οδού από ανώγεια προς Νίδα και στο οροπέδιο της Νίδας.
3. Συλλογή δειγμάτων εδάφους χωρίς την χρήση μεταλλικών αντικειμένων και αποθήκευση σε πλαστικές σακούλες.
4. Μεταφορά στο εργαστήριο όπου ξεκινάμε την διαδικασία της ταξινόμησης κατά αύξοντα αριθμό 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. Επεξεργασία και απεικόνιση των δεδομένων με τη χρήση του λογισμικού ARCGIS.
6. Συσχετισμός της μαγνητικής επιδεκτικότητας με τα γεωλογικά στοιχεία της περιοχής.



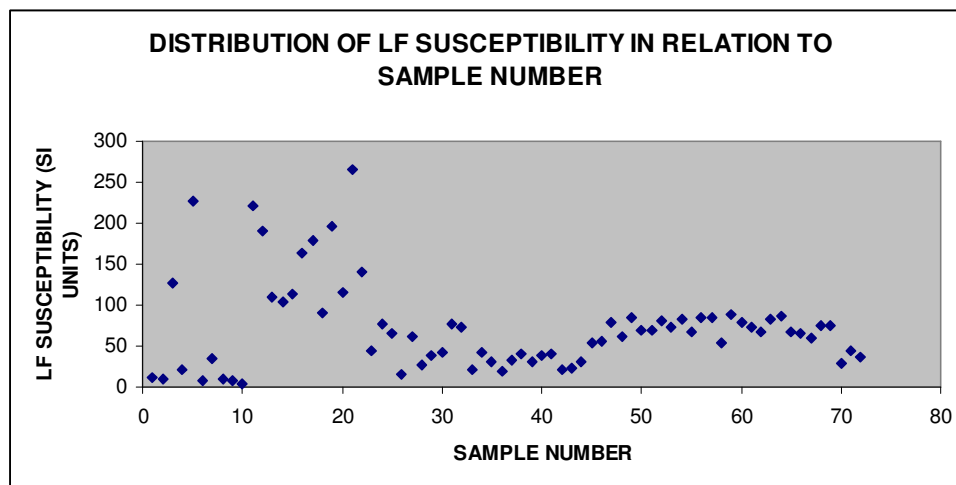
Σχήμα 4.1 Χάρτης με την διαδρομή προς Νίδα (<http://www.psiloritis-natural-park.gr>)

4.2 Περιγραφή του προγράμματος επεξεργασίας των δεδομένων

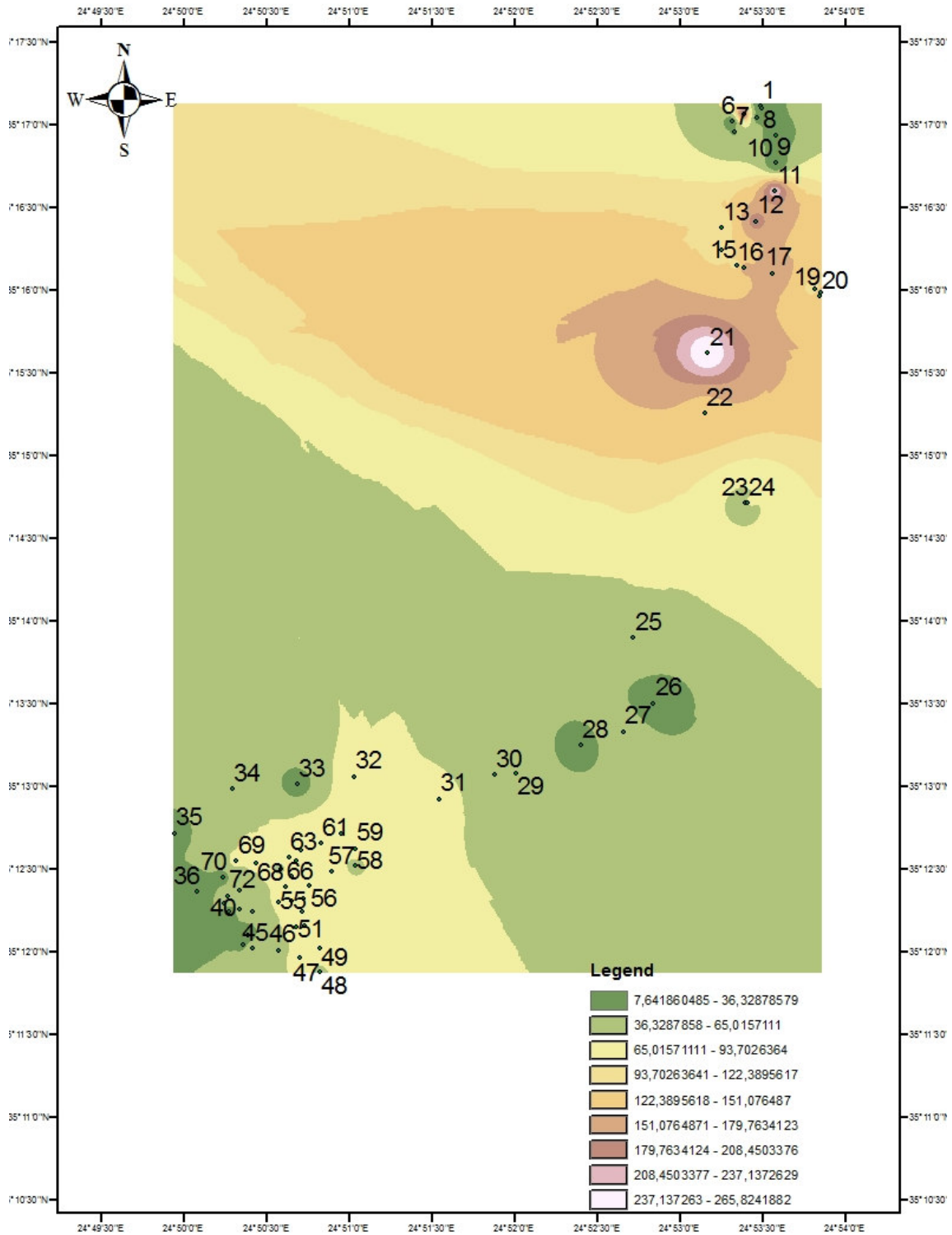
Οι χάρτες που θα παρουσιαστούν στην συνέχεια έχουν προκύψει από επεξεργασία των παραπάνω χαρτών με την βοήθεια του προγράμματος GIS (Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών). Αφού δημιουργήθηκαν τα αρχεία των δεδομένων εφαρμόστηκε η διαδικασία της παρεμβολής (inverse distance weighted, IDW), η οποία επιλέχθηκε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

4.3 Παρουσίαση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων

Στο σχήμα 4.2α παρουσιάζεται το διάγραμμα κατανομής της μαγνητικής επιδεκτικότητας σε χαμηλή συχνότητα σε σχέση με τον αριθμό δείγματος. Γενικά η πλειονότητα των τιμών συσσωρεύεται στο διάστημα 5-75 (SI UNITS), ενώ λίγες σχετικά τιμές εντοπίζονται στο διάστημα 80-250. Στο σχήμα 4.2β 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 βαρέων μετάλλων, εμφανίζονται μέχρι το μέσο της διαδρομής προς το οροπέδιο της Νίδας.

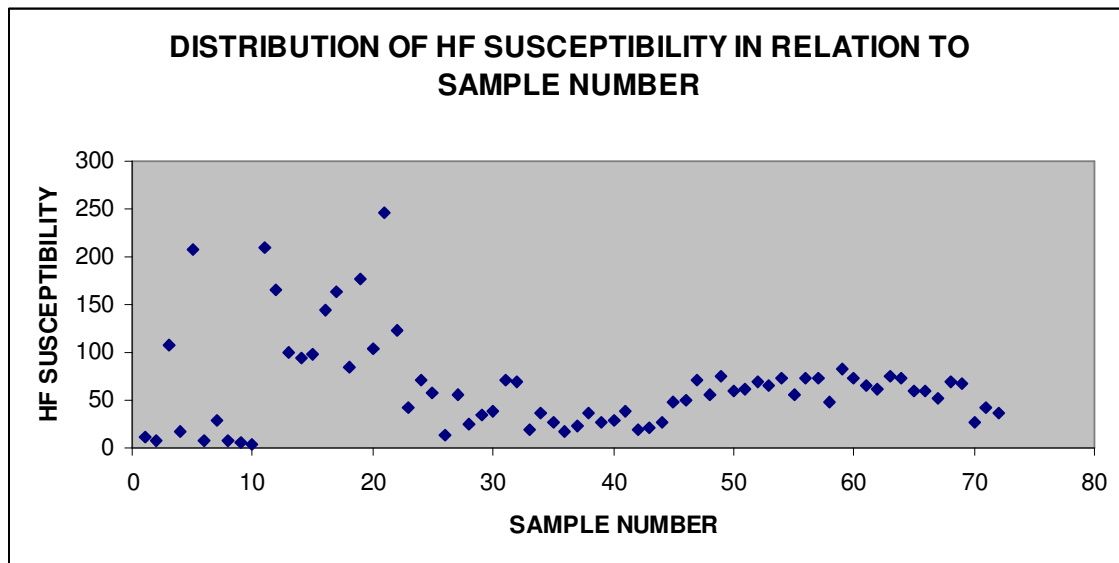


Σχήμα 4.2α. Κατανομή της μαγνητικής επιδεκτικότητας (SI units) σε χαμηλή συχνότητα σε σχέση με τον αριθμό των δειγμάτων

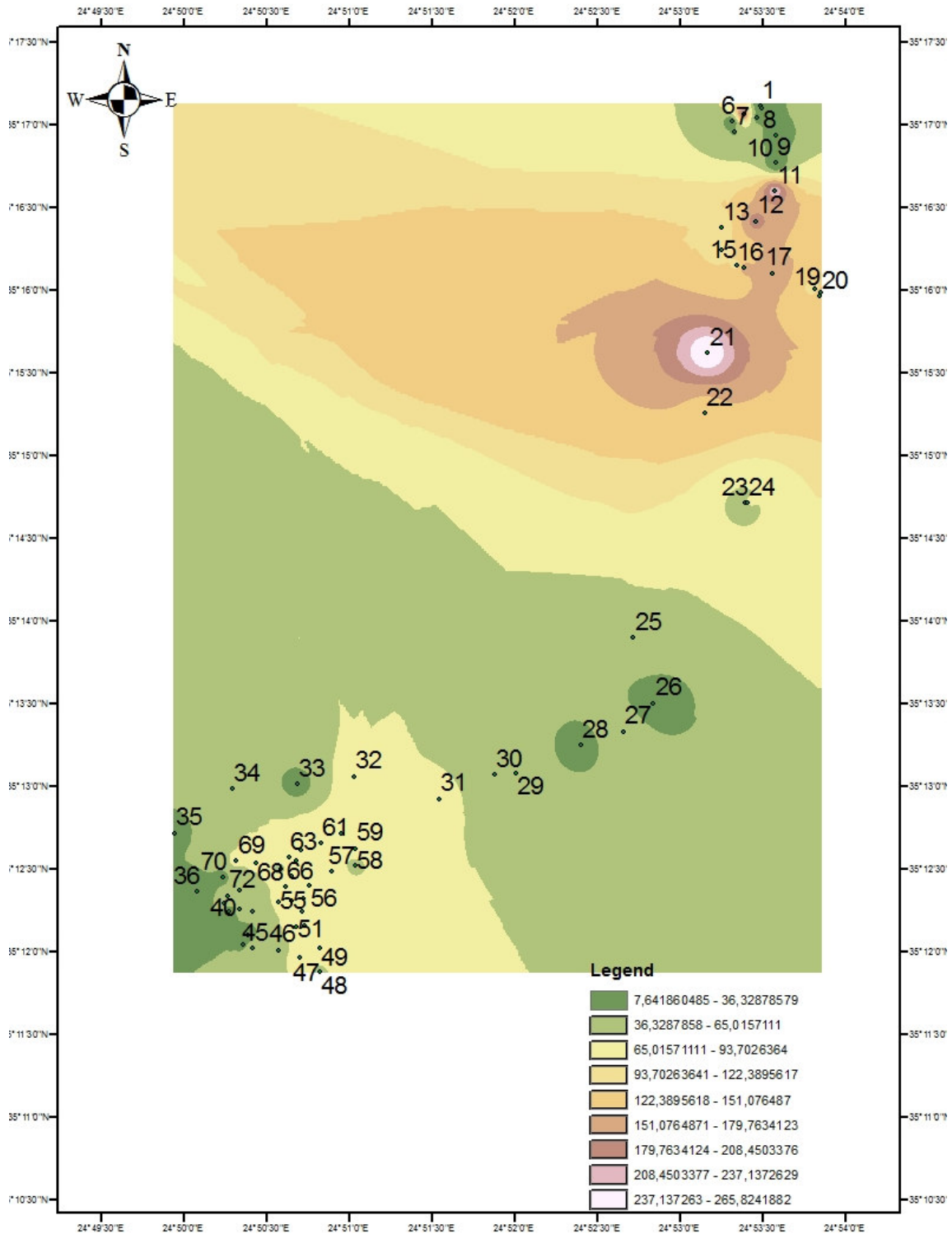


Σχήμα 4.2β Κατανομή της μαγνητικής επιδεκτικότητας (SI units) σε χαμηλή συχνότητα με την μέθοδο παρεμβολής IDW

Στο σχήμα 4.2γ παρουσιάζεται το διάγραμμα κατανομής της μαγνητικής επιδεκτικότητας σε υψηλή συχνότητα σε σχέση με τον αριθμό δείγματος. Γενικά οι τιμές της εμφανίζονται ελαφρώς χαμηλότερες από τις αντίστοιχες της μαγνητικής επιδεκτικότητας σε χαμηλή συχνότητα. Στο σχήμα 4.2δ 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 προηγουμένως.

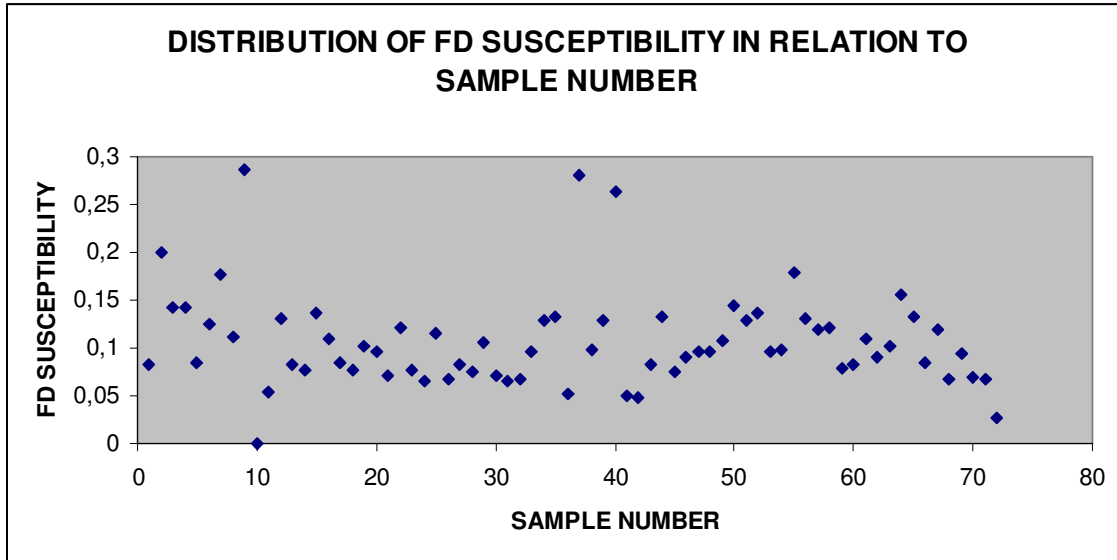


Σχήμα 4.2γ Κατανομή της μαγνητικής επιδεκτικότητας (SI units) σε υψηλή συχνότητα σε σχέση με τον αριθμό των δειγμάτων



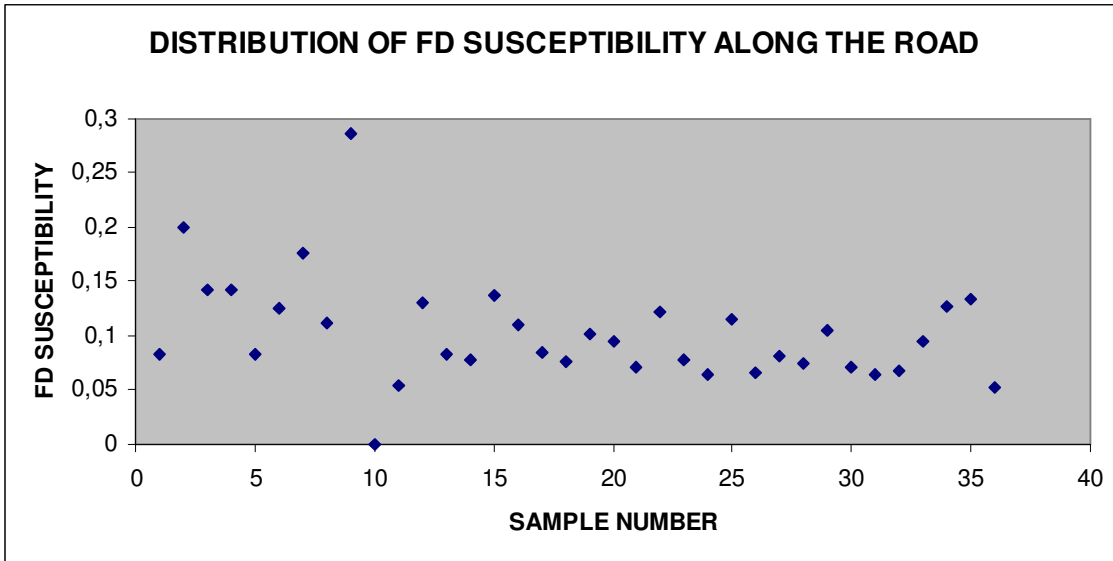
Σχήμα 4.2δ Απεικόνιση της κατανομής της μαγνητικής επιδεκτικότητας (SI units) σε υψηλή συχνότητα σε με την μέθοδο παρεμβολής IDW

Επίσης προσδιορίστηκε και η μαγνητική επιδεκτικότητα που εξαρτάται από την συχνότητα με βάση την σχέση $FD\ susceptibility = [MS(Low)-MS(High)] / MS(Low)$. Στο σχήμα 4.3 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 – 0.2, με εξαίρεση μονάχα τρεις τιμές που πλησιάζουν το 0.3.

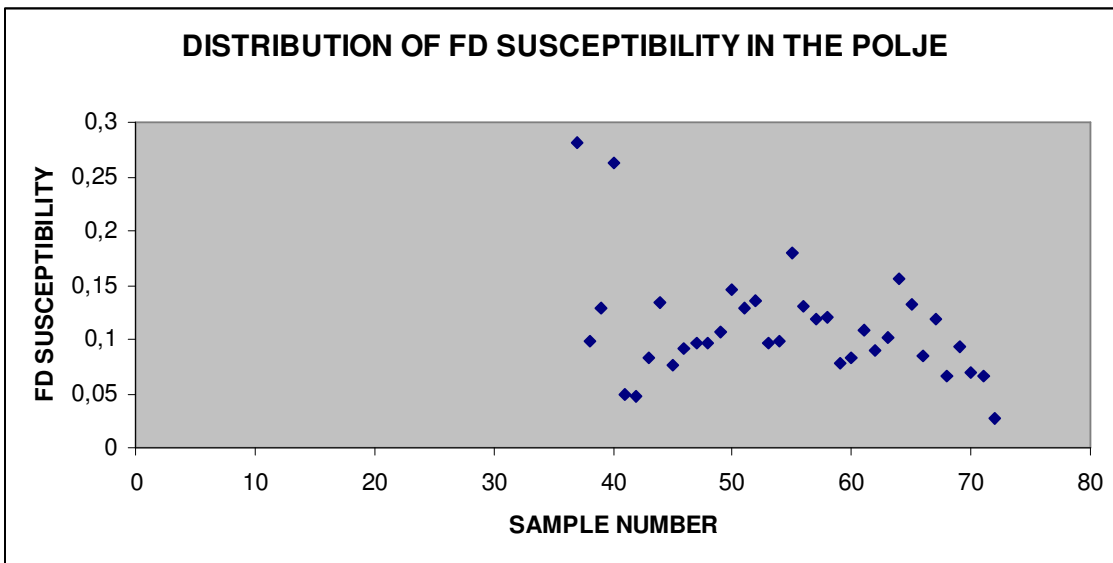


Σχήμα 4.3 Απεικόνιση της κατανομής της εξαρτώμενης από την συχνότητα μαγνητικής επιδεκτικότητας σε σχέση με τον αριθμό δείγματος

Με αφορμή τα παραπάνω, διαχωρίσαμε τις μετρήσεις που έγιναν κατά μήκος του δρόμου (σχ. 4.4) από αυτές που έγιναν στην πόλη της Νίδας (σχ. 4.5). Ενώ δεν παρατηρείται διαφοροποίηση στο εύρος των τιμών, εντούτοις παρουσιάζουν διαφορετική κατανομή οι τιμές στις δύο περιοχές. Το γεγονός αυτό πιθανότατα να εξηγείται με βάση την ομοιομορφία των ιζημάτων. Δηλαδή κατά μήκος του δρόμου προς την Νίδα αναμένεται μεγαλύτερη ανομοιομορφία στα ιζήματα, με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν και μεγαλύτερη διασπορά. Αντίθετα μέσα στην πόλη της Νίδας τα ιζήματα παρουσιάζουν μεγαλύτερη ομοιομορφία και είναι πιο αδιατάρακτα σε σχέση με αυτά του δρόμου.



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



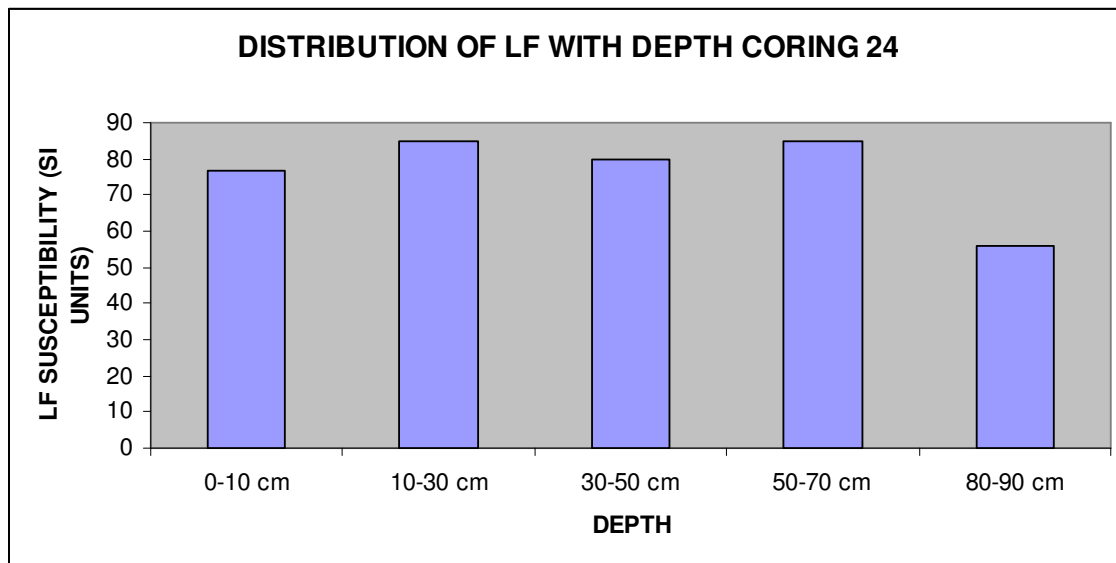
Σχήμα 4.5 Απεικόνιση της κατανομής της εξαρτώμενης από την συχνότητα μαγνητικής επιδεκτικότητας στην πόλγη

4.5 Διερεύνηση της σχέσης μαγνητικής επιδεκτικότητας με το βάθος

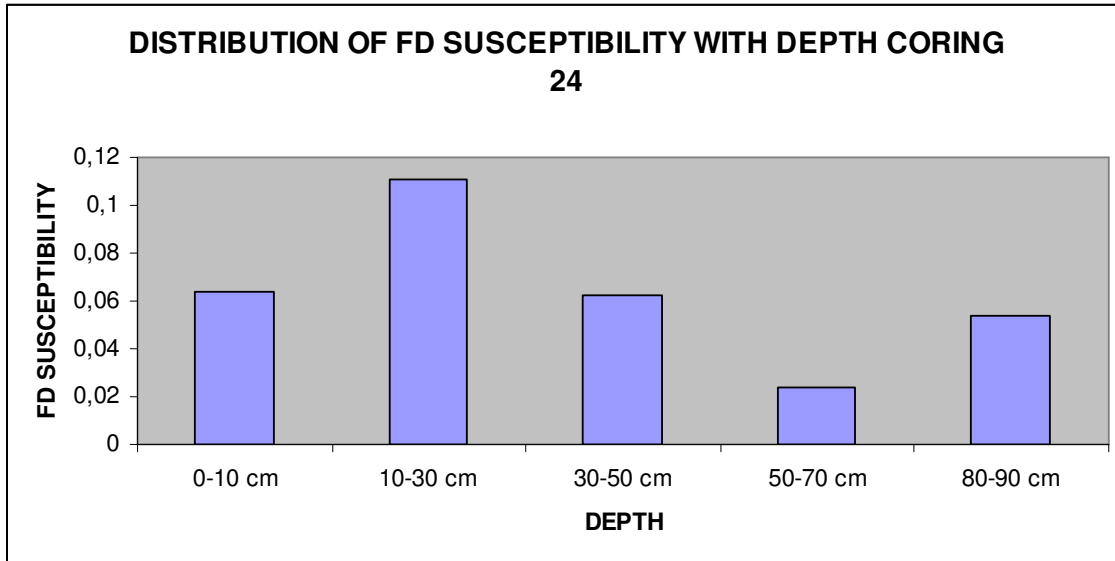
Στην παρούσα παράγραφο διερευνάται η σχέση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με το βάθος. Έγιναν δύο δειγματοληψίες, μέχρι βάθος 1 μέτρο, στην διαδρομή προς το οροπέδιο της Νίδας. Τα αποτελέσματα της επιδεκτικότητας παρουσιάζονται στα σχήματα 4.6 – 4.9.

Στην πρώτη περίπτωση (σχ. 4.6, 4.7), η επιδεκτικότητα μετρημένη σε χαμηλή συχνότητα (σχ. 4.6) παρουσιάζει σχεδόν σταθερές τιμές (70-80 SI Units) μέχρι βάθος 70 cm και στην συνέχεια ελαττώνεται. Η εξαρτώμενη από την συχνότητα επιδεκτικότητα (σχ. 4.7), η οποία επηρεάζεται πιο πολύ από την δομή του εδάφους παρουσιάζει υψηλότερες σχετικά τιμές σε βάθος 10-30 cm και στα υπόλοιπα διαστήματα είναι χαμηλή.

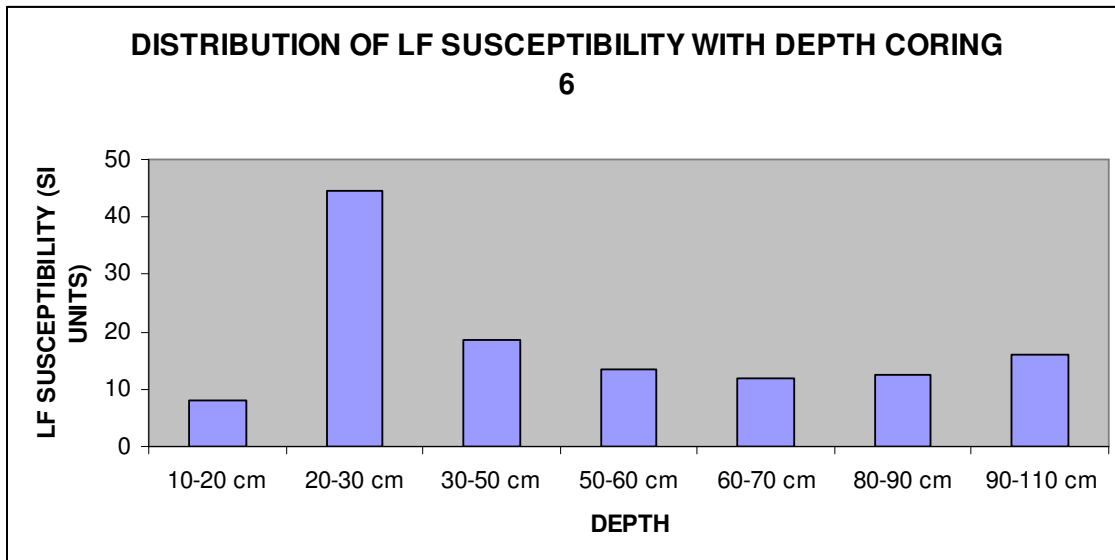
Στην δεύτερη περίπτωση (σχ. 4.8, 4.9), η επιδεκτικότητα μετρημένη σε χαμηλή συχνότητα (σχ. 4.8) παρουσιάζει σχεδόν σταθερές τιμές (μέχρι 20 SI Units) στην πλειονότητα των διαστημάτων εκτός από βάθος 20-30 cm που παρουσιάζει αυξημένες τιμές. Η εξαρτώμενη από την συχνότητα επιδεκτικότητα (σχ. 4.9) παρουσιάζει γενικά ανομοιομορφία στην κατανομή των τιμών.



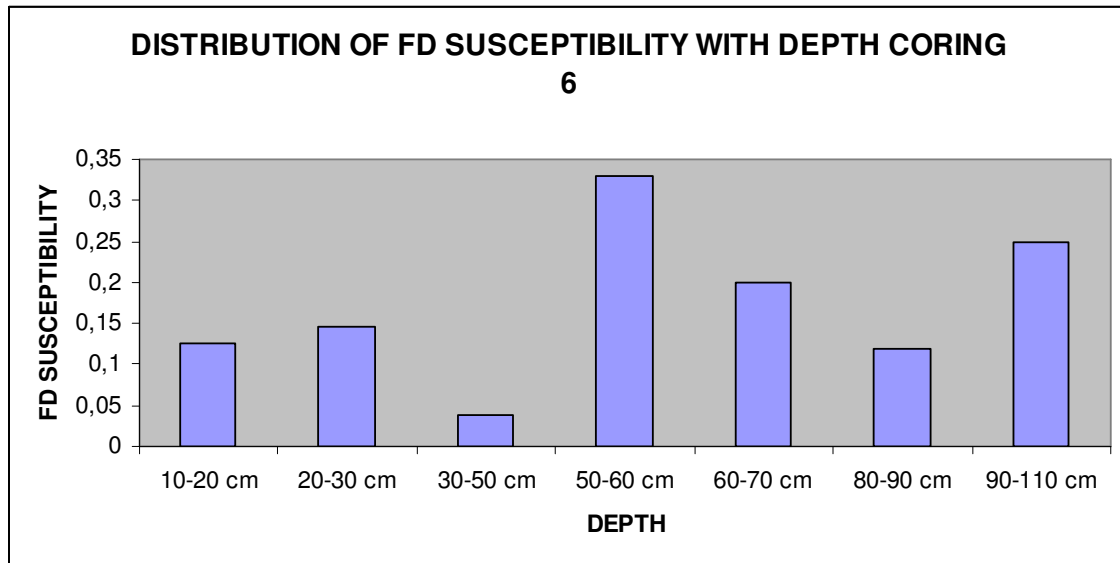
Σχήμα 4.6 Κατανομή της μαγνητικής επιδεκτικότητας σε χαμηλή συχνότητα με το βάθος (δειγματοληψία 24)



Σχήμα 4.7 Κατανομή της εξαρτώμενης από την συχνότητα μαγνητικής επιδεκτικότητας με το βάθος (δειγματοληψία 24)



Σχήμα 4.8 Κατανομή της μαγνητικής επιδεκτικότητας σε χαμηλή συχνότητα με το βάθος (δειγματοληψία 6)



Σχήμα 4.9 Κατανομή της εξαρτώμενης από την συχνότητα μαγνητικής επιδεικτικότητας με το βάθος (δειγματοληψία 6)

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

5.1 Εισαγωγή

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης εργασίας πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις μαγνητικής επιδεκτικότητας σε εδαφικά δείγματα από την περιοχή μεταξύ των Ανωγείων και της Νίδας. Στόχος ήταν κατά πρώτον η διερεύνηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με τα γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής, αλλά και ο εντοπισμός ενδείξεων ρύπανσης από βαρέα μέταλλα.

5.2 Συμπεράσματα και αξιολόγηση της μεθοδολογίας

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

- Υψηλές τιμές της πραγματικής επιδεκτικότητας, που δεν δικαιολογούνται από την γεωλογική δομή της περιοχής, εντοπίζονται στο πρώτο μισό της διαδρομής προς το οροπέδιο της Νίδας.
- Η εξαρτώμενη από την συχνότητα επιδεκτικότητα, η οποία επηρεάζεται πιο πολύ από την δομή του εδάφους παρουσιάζει μεγάλη διασπορά στις τιμές της για τα δείγματα που συλλέχθηκαν από το δρόμο. Αντίθετα οι τιμές της εξαρτώμενης από την συχνότητα επιδεκτικότητας, για τα δείγματα που συλλέχθηκαν μέσα στην πόλγη της Νίδας είναι πιο οργανωμένες και ομοιόμορφες.
- Η μελέτη της κατανομής της πραγματικής επιδεκτικότητας με το βάθος παρουσιάζει ενδιαφέρον, διότι εντοπίζονται αυξημένες τιμές σε βάθη μεγαλύτερα των 10 cm.

5.3 Προτάσεις

Με βάση την εμπειρία που συλλέχθηκε κατά την υλοποίηση της συγκεκριμένης εργασίας προτείνονται τα παρακάτω σε μία μελλοντική περιβαλλοντική επανέξεταση της περιοχής:

- Οι γεωχημικές αναλύσεις των δειγμάτων για τον εντοπισμό υψηλών συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων κρίνονται απαραίτητες, προκειμένου να διαπιστωθεί ο συσχετισμός τους με τη μετρούμενη μαγνητική επιδεκτικότητα.

- Διενέργεια επί τόπου μετρήσεων μαγνητικής επιδεκτικότητας με τη χρήση των αισθητήρων MS2D και MS2F του μετρητικού συστήματος MS2 της Bartington, προκειμένου να συσχετιστούν με τις εργαστηριακές μετρήσεις και να ελαχιστοποιηθεί ο χρόνος που απαιτείται για την χαρτογράφηση της υπό μελέτη περιοχής.
- Αναλύσεις των δειγμάτων για την παραμένουσα μαγνήτιση και την θερμομαγνήτιση προκειμένου να διερευνηθεί υπό ποια μορφή τα βαρέα μέταλλα προσροφώνται στο έδαφος.
- Θεωρείται απαραίτητο να διερευνηθεί περισσότερο η εξαρτώμενη από την συχνότητα επιδεκτικότητα.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Θεριός, Ι., 1996. Ανόργανη θρέψη και λιπάσματα. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Εκδόσεις Δεδούση, ISBN 960-7411-01-3.
2. Καράταγλης, Σ., 1999. Φυσιολογία Φυτών. Εκδόσεις Art of Text, ISBN 960-312-009-X.
3. Kiliyas, A., Fassoulas, C., Mountrakis, D., 1993, Tertiary extension of continental crust and uplift of Psiloritis metamorphic core complex at the central part of the Hellenic arc, Bull. Geol. Soc.Greece, XXVIII, 297-314.
4. Παπαγεωργίου, Μελπομένη, 1998. "Πέντε ιχνοστοιχεία που έχουμε ανάγκη", Περιοδικό Vita, τεύχος 10, σελ. 48.
5. Παπαδάκη, Αναστασία, 2003. Επίδραση εδαφοβελτιωτικών στη συγκέντρωση βαρέων μετάλλων στα φυτικά μέρη του ραπανιού (*Raphanus sativus*). Πτυχιακή διατριβή, ΣΤΕΓ, Τ.Ε.Ι. Ηρακλείου (αρ. πρωτ. 1492).
6. Ρουμπελάκη – Αγγελάκη, Καλλιόπη, 2003. Φυσιολογία Φυτών – από το μόριο στο περιβάλλον. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, ISBN 960-524-168-4.
7. Τσικαλάς, Π., 2003. Θρέψη φυτών – Γονιμότητα εδαφών. ΣΤΕΓ, Τ.Ε.Ι. Ηρακλείου.
8. Φουκαράκη, Σοφία 2005. Διακύμανση της συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων σε οργανικά υλικά ανάλογα με την τοποθέτησή τους στο έδαφος. Πτυχιακή διατριβή, ΣΤΕΓ, Τ.Ε.Ι. Ηρακλείου.
9. Fytrolakis, N., 1980, The geological structure of Crete: Problems, observations and conclusions, Habil. Thesis, Nat. Tech. Univ., Athens.
10. Alloway, B.J. (ed), 1990. Heavy metals in soils, Glasgow, *Blackie*, 1-339.
11. Bhathal, R.S. and Stacey F.D., 1969, Frequency independence of low field susceptibility of rocks, J. Geophys. Res. 74, 2025-7.
12. Boyko, T., Scholger, R., Stanjek, H., MAGPROX Team, 2004, Topsoil magnetic susceptibility mapping as a tool for pollution monitoring repeatability of in situ measurements, Journal of Applied Geophysics 55, 249-259.
13. Brady, N.C., Weil, R.R., 1999. The Nature and Properties of Soils. 12th Edition, Prentice Hall, ISBN 0-13-852444-0.
14. Burzyski, M., Kobus, G., 2004. Changes of photosynthetic parameters in cucumber leaves under Cu, Cd, and Pb stress, *Photosynthetica*, vol. 42, no. 4, pp. 481-486(6) Kluwer Academic Publishers.

15. Cross, D.P., Ramachandran, G., Wattenberg, E.V., 2001. Mixtures of nickel and cobalt chlorides induce synergistic cytotoxic effects: implications for inhalation exposure modeling, *Annals of Occupational Hygiene*, vol. 45, no. 5, pp. 409-418(10) Oxford University Press.
16. Ercal, N., Gurer-Orhan H., Aykin-Burns N., 2001. Toxic metals and oxidative stress Part 1: Mechanisms involved in metal oxidative damage, *Current topics in Medicinal Chemistry*, vol. 1, no. 6, pp. 529-539(12).
17. Fergusson, J.E., 1990. The Heavy Elements: Chemistry, environmental impact and health effects. Pergamon Press. ISBN 8-08-040275-5.
18. Gawlik, B.M. and Bidoglio, G., 2006, Background Values in European Soils and Sewage Sledges – Results of a JRG coordinated study on background values, Part III Conclusions, Comments and Recommendations, European Commission, Directorate General, Joint Research Centre.
19. Hansen, L.D., Silberman, D. and Fischer, G.L., 1981, Crystalline components of stack-collected, size-fractionated coal fly ash, *Environ. Sci. Technol.* 15, 1057-62.
20. Havlin, J.L., Beaton, J.D., Tisdale, S.L., Nelson, W.L., 1999. Soil Fertility and Fertilizers – An Introduction to Nutrient Management. 6th edition. Prentice Hall, New Jersey. ISBN 0-13-626806-4.
21. Gee, C., Ramsey, M.H., and Thornton I., 2001. Buffering from secondary minerals as a migration limiting factor in lead polluted soils at historical smelting sites, *Appl. Geochem.*, 16, 1193-1199.
22. Lecoanet, H., Leveque, F., Ambrosi, J.-P., 2003, Combination of magnetic parameters: an efficient way to discriminate soil-contamination sources, *Environmental Pollution* 122, 229-234.
23. Kambata-Pendias, A. and Pendias, H., 1984. Trace elements in soils and plants, *Boca Raton, FL, CRC Press*, 1-380.
24. Lars, J., 2003. Hazards of heavy metal contamination . *British Medical Bulletin*, vol. 68, no. 1, pp. 167-182(16), Oxford University Press.
25. Linton, R.W., Natusch, D.F.S., Soloman, R.L. and Evans, J., 1980, Physiochemical character of lead in urban dusts: a microanalytical approach to lead tracing, *Environ. Sci. Technol.* 14, 159-64.
26. Moles, N.R, Smyth, D., Maher, C.E., Beattie, E.H., Kelly, M., 2004. Dispersion of cerussite-rich tailings and plant uptake of heavy metals at historical lead mines near

- Newtownards, Northern Ireland, *Applied Earth Science*, vol. 113, no. 1, pp. 21-30(10), Maney Publishing.
27. Parveen, G., 2004. Influence of cadmium on penetration of the root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* and plant growth parameters of tomato, *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, vol. 37, no. 2, pp. 103-109(7), Taylor and Francis Ltd.
28. Petrovsky, E., Kapicka, A., Jordanova, N., Borucka, L., 2001, Magnetic Properties of alluvial soils, contaminated with lead, zinc and cadmium, *Journal of Applied Geophysics* 48, 127-136.
29. Schoof, R.A., Butcher, M.K., Sellstone, C., Wayne-Ball, R., Fricke, J.R., Keller, V., *et al*, 1995. An assessment of lead absorption from soil affected by smelter emissions, *Environ. Geochem. Health*, 17, 189-199.
30. Shevchenko, A., I., Budzanivska, T., Shevchenko, V., Polischuk, D., Spaar., 2004. Plant virus infection development as affected by heavy metal stress, *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, vol. 37, no. 2, pp. 139-146(8) , Taylor and Francis Ltd.
31. Shukla, U.C., Singh, J., Joshi, P.C., Kakkar, P., 2003. Effect of Bioaccumulation of Cadmium on Biomass Productivity, Essential Trace Elements, Chlorophyll Biosynthesis, and Macromolecules of Wheat Seedlings, *Biological Trace Element Research*, vol. 92, no. 3, pp. 257-274(18), Humana Press.
32. Singh, Vijay K., Mishra, Kamla P., Rani, Reena, Yadav, Virendra S., Awasthi, Sudhir K., Garg, Satyendra K., 2003. Immunomodulation by Lead. *Immunologic Research*, vol. 28, no. 2, pp. 151-166(16), Humana Press.
33. Snoek, J.L., 1948, Dispersion and absorption in magnetic ferrites at frequencies above one megacycle, *Physica* 14, 207-17.
34. Theis, T.L. and Wirth, J.L., 1977, Sorptive behaviour of trace metals on fly ash in aqueous systems, *Environ. Sci. Technol.* 11, 1095-100.
35. Thompson, R. and Oldfield, F., 1986, *Environmental Magnetism*, Allen &Unwin Ltd.
36. Zeng, X., Jin, T., Jiang, X., Kong, Q., Ye, T., Nordberg, G.F., 2004. Effects on the prostate of environmental cadmium exposure – A cross-sectional population study in China, *BioMetals*, vol. 17, no. 5, pp. 559-566(8), Kluwer Academic Publishers.
37. Zhu, G., Wang, H., Shi, Y., Weng, S., Jin, T., Kong, Q., Nordberg, G.F., 2004. Environmental cadmium exposure and forearm bone density, *BioMetals*, vol. 17, no.5, pp. 499-503(5), Kluwer Academic Publishers.

38. <http://eed.stef.teicrete.gr/labs/eps1/lignitis.htm>

7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ –ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ



Φωτο. 4.



Φωτο. 5.



Φωτο. 6.



Φωτο. 7.



Φωτο. 8.



Φωτο. 9.



Φωτο. 10.



Φωτο. 11.



Φωτο. 12.



Φωτο. 13.



Φωτο. 14.