



Τ.Ε.Ι ΚΡΗΤΗΣ – ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ



ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑΣ

***ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΕΣ
ΘΕΣΕΙΣ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΡΟΔΟΣ ΟΠΟΥ ΕΝΤΟΠΙΖΟΝΤΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ
ΡΥΠΑΝΣΗΣ***



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κόκκος Λαός

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2008



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



***ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΕΣ
ΘΕΣΕΙΣ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΡΟΔΟΣ ΟΠΟΥ ΕΝΤΟΠΙΖΟΝΤΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ
ΡΥΠΑΝΣΗΣ***

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κόκκος Λαός

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, η οποία διάθεσε χρόνο και εξοπλισμό που χρησιμοποιήθηκε για την λήψη και επεξεργασία δειγμάτων εδάφους. Επίσης 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. Θερμές ευχαριστίες οφείλω στον κύριο Μιγάλη Κουκιά Γεωλόγο για την βοήθεια του όσον αφορά τους γεωλογικούς χάρτες που χρησιμοποίησα. Ολοκληρώνοντας ευχαριστώ την εξεταστική επιτροπή για τον χρόνο που μου διέθεσε.

Περίληψη

Στόχος της συγκεκριμένης εργασίας είναι η μελέτη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της λειτουργίας του αεροδρόμιου, του εργοστάσιου της ΔΕΗ, του εργοστάσιου της Coca Cola, του εργοστάσιου παραγωγής τσιμέντου, του χώρου επεξεργασίας αστικών λυμάτων και του χώρου διάθεσης μη επικινδύνων αστικών αποβλήτων (Χ.Υ.Τ.Α.) στον Δήμο Πεταλούδων. Στα πλαίσια αυτά έγιναν δειγματοληψίες από το επιφανειακό στρώμα του εδάφους και στην συνέχεια αναλύσεις μαγνητικής επιδεκτικότητας. Τέλος μελετήθηκε η σχέση της γεωλογίας της περιοχής με την κατανομή της μαγνητικής επιδεκτικότητας.

Abstract

Main purpose of the present study is to investigate the suitability of magnetic susceptibility measurements as a pollution monitoring tool around local pollution sources in Rhodos Island. Surface soil samples have been collected in the study area and they were further analyzed in order to estimate the magnetic susceptibility in low and high frequencies. Thereinafter the relation between the geology and the high values of magnetic susceptibility is examined and some interested conclusions are outlined.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | |
|--|-----------|
| 1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΠΕΤΑΛΟΥΔΩΝ..... | 6 |
| 1.1 Εισαγωγή..... | 6 |
| 1.2 Γεωγραφική τοποθέτηση της περιοχής..... | 6 |
| 1.3 Κλιματολογικά στοιχεία..... | 11 |
| 1.4 Ιστορικά στοιχεία..... | 13 |
| 2. Η ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ..... | 18 |
| 2.1 Η στρωματογραφία της ευρύτερης περιοχής..... | 18 |
| 2.2 Γενικά για την τεκτονική της περιοχής..... | 19 |
| 2.3 Η τεκτονική της περιοχής..... | 22 |
| 2.4 Τα συστήματα διάρρηξης του φλοιού της γης και η θέση της Ελλάδας στο ηπειρωτικό σύστημα διάρρηξης..... | 24 |
| 2.5 Τοπογραφικά χαρακτηριστικά της τεκτονικής στην Ελλάδα..... | 26 |
| 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 | 34 |
| 3.5 Σχέση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με την θερμοκρασία..... | 36 |
| 3.6 Σχέση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με την συχνότητα..... | 37 |
| 3.7 Μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας..... | 38 |
| 3.8 Μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με το MS2 της Bartington..... | 39 |
| 3.9 Σχέση μαγνητικών ορυκτών και βαρέων μετάλλων..... | 46 |
| 3.10 Ο ρόλος και η επίδραση των βαρέων μετάλλων στα φυτά..... | 47 |
| 3.11 Ο ρόλος και η επίδραση των βαρέων μετάλλων στον άνθρωπο..... | 50 |
| 4. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ..... | 53 |
| 4.1 Περιγραφή της μεθοδολογίας εκπόνησης της παρούσας εργασίας..... | 53 |
| 4.2 Παρουσίαση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων..... | 54 |
| 4.3 Συμπεράσματα και αξιολόγηση της μεθοδολογίας..... | 72 |
| 4.4 Προτάσεις..... | 72 |
| 5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ..... | 73 |

1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΠΕΤΑΛΟΥΔΩΝ

1.1 Εισαγωγή

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η εφαρμογή της μεθόδου της μαγνητικής επιδεκτικότητας για να προκύψει μια συνοπτική αλλά ολοκληρωμένη εικόνα για την εξεταζόμενη περιοχή. 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 στο εξωτερικό για την παρακολούθηση της εξάπλωσης της ρύπανσης σε περιοχές που λειτουργούν βαριές βιομηχανίες, χώροι υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (Χ.Υ.Τ.Α.), αεροδρόμια κ.λπ.

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι:

- Ο εντοπισμός περιοχών ρύπανσης και ο συσχετισμός τους με τα αίτια που την προκαλούν.

Ειδικά, στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζονται γενικά γεωγραφικά, κλιματολογικά, περιβαλλοντικά και ιστορικά στοιχεία για την ευρύτερη περιοχή της λεκάνης του Δήμου Πεταλούδων στην Ρόδο.

1.2 Γεωγραφική τοποθέτηση της περιοχής

Η εξεταζόμενη περιοχή διοικητικά ανήκει στο Δήμο Πεταλούδων, που θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως Δήμος των αντιθέσεων. Συγχρόνως αποτελεί Δήμο της ανάπτυξης, αλλά και της έντονης περιβαλλοντικής ευαισθησίας και συνείδησης. Από τη μια πλευρά, υπάρχουν τα δάση, η γνωστή σε όλο τον κόσμο Κοιλιάδα των Πεταλούδων, ένας μοναδικός βιότοπος σπάνιας φυσικής ομορφιάς έχει χαρακτηριστεί ως οικοσύστημα ιδιαίτερου φυσικού κάλλους, ανήκει στο δίκτυο Natura 2000 (με site GR 4210006) και έχει πλέον περιέλθει οριστικά στην ιδιοκτησία του δήμου. Από την άλλη, εντός των διοικητικών (και γεωγραφικών) ορίων του Δήμου Πεταλούδων λειτουργεί το αεροδρόμιο της νήσου Ρόδου, το εργοστάσιο της ΔΕΗ, το εργοστάσιο της Coca Cola, ένα εργοστάσιο παραγωγής τσιμέντου και ο χώρος διάθεσης μη επικινδύνων αστικών αποβλήτων (Χ.Υ.Τ.Α.).

Ο Δήμος Πεταλούδων βρίσκεται στο ΒΔ τμήμα του νησιού της Ρόδου, έχει συνολική έκταση 893 τ.χλμ., η οποία χαρακτηρίζεται κατά κύριο λόγο ως πεδινή – ημιορεινή (οι δασικές εκτάσεις καλύπτουν το 39% του εμβαδού του), 12 χλμ. μήκος ακτών. Είναι ο δεύτερος σε μέγεθος δήμος του νησιού της Ρόδου, με 12000 κατοίκους. Εμφανίζει υψηλό δείκτη πληθυσμιακής πυκνότητας (11,9/ τ.χλμ) σε σχέση με το συνολικό δείκτη της Ρόδου (70,2/ τ.χλμ). Χαρακτηρίζεται από έντονες τάσεις αστικοποίησης λόγω της ανάπτυξης του τουρισμού, ο οποίος μετασχημάτισε τον, παραδοσιακά, αγροτικό πληθυσμό σε μικτό με κυρίαρχο το αστικό στοιχείο. Από άποψη γεωμορφολογική παρουσιάζει μεγάλη ποικιλία. Το μεγαλύτερο μέρος του είναι πεδινό. Συνορεύει με τους δήμους Ιαλυσού, Καλλιθέας και Καμείρου.

Είναι ένας νεοσύστατος (1998) καποδιστριακός δήμος (Νόμος 2539/1997) που δημιουργήθηκε από την ένωση 6 κοινοτήτων, τα σημερινά δημοτικά διαμερίσματα Κρεμαστής, Παραδεισίου, Μαρτισών, Παστίδας, Θεολόγου και Δαματριάς. Τα όρια του Δήμου φαίνονται στον παρακάτω χάρτη.



Σχήμα 1.1. Τα όρια του δήμου Πεταλούδων
(πηγή <http://hellas.teipir.gr/Thesis/Petaloudes/greek/dhmospetaloudwn.html>)

Ο Δήμος πήρε το όνομα του από την κοιλάδα Πεταλούδων, που βρίσκεται στα όρια του δήμου. Η κοιλάδα των πεταλούδων βρίσκεται κοντά στο χωριό Καλαμώνας

στον Δήμο Πεταλούδων και απέχει 25 χιλιόμετρα από την πόλη της Ρόδου. Είναι μια μικρή κοιλάδα η οποία εκτείνεται κατά μήκος του χειμάρρου "Πελεκάνος" και είναι γεμάτη ρυάκια, πεύκα, πλατάνια, συκίες, πολύχρωμα λουλούδια και χιλιάδες πεταλούδες! Οι κλίσεις του εδάφους κατά μήκος της ρεματιάς στην έκταση της κοιλάδας είναι ισχυρές και σε πολλά σημεία δημιουργούνται μικροί καταρράκτες.

Κάθε χρόνο, από τον Ιούνιο μέχρι και τον Σεπτέμβριο, εκατοντάδες χιλιάδες πεταλούδων εμφανίζονται σε αυτόν τον σημαντικό βιότοπο. Το πιο εντυπωσιακό θέαμα είναι οι χιλιάδες πεταλούδες που ξεκουράζονται ή κοιμούνται κατά τη διάρκεια της ημέρας πάνω στους κορμούς ή πετούν όλες μαζί δημιουργώντας όμορφους χρωματισμούς. Μετά το ζευγάριμα οι νυχτοπεταλούδες φεύγουν σταδιακά και στα τέλη του Σεπτεμβρίου εξαφανίζονται από την κοιλάδα. Σύμφωνα με τους ερευνητές, η παρουσία των χιλιάδων πολύχρωμων πεταλούδων οφείλεται στην ύπαρξη της ζητιάς, που κυριαρχεί στη γλωρίδα της περιοχής. Η ζητιά εκκρίνει ειδικές ουσίες και σε συνδυασμό με το κατάλληλο μικροκλίμα που δημιουργεί προσελκύει τις αγαπητές σε όλους πεταλούδες. Στην κοιλάδα, έχουν κατασκευασθεί γεφυράκια, τεχνητές λιμνούλες και δρόμοι που διευκολύνουν την περιήγησή των επισκεπτών σε αυτό το μοναδικό μέρος. Στον χώρο υπάρχουν επίσης εγκαταστάσεις εξυπηρέτησης του κοινού, όπως αναψυκτήρια, εστιατόρια, ενημερωτικά περίπτερα και μουσείο.

Η Κοιλάδα των Πεταλούδων αποτελεί μόνον μέρος των εξαιρετικού φυσικού κάλλους των τόπων του Δήμου - και αυτό έρχεται σε αντίθεση με το γεγονός πως η περιοχή χαρακτηρίζεται ως ενδιάμεση ζώνη απόσβεσης των πιέσεων του βόρειου υπερκορεσμένου αστικού τριγώνου του νησιού. Αυτό απεικονίζεται στη δημιουργία ζωνών αισθητικής και λειτουργικής υποβάθμισης, όπως κατά μήκος του παραλιακού άξονα της περιοχής, με κύριες πηγές όχλησης το εργοστάσιο της ΔΕΗ, το αεροδρόμιο «Διαγόρας», τους επαρχιακούς οδικούς άξονες Ρόδου – Αεροδρομίου και αεροδρομίου – Ανατολικών ακτών και της σχεδιαζόμενης Νέας Εισόδου της πόλης της Ρόδου.

Ο Δήμος Πεταλούδων, έχοντας στους «κόλπους» του την ομώνυμη Κοιλάδα έχει αναλάβει, μια ξεχωριστή και πολύ υπεύθυνη αποστολή, της προστασίας της βιώσιμης, και αειφορικής διαχείρισης και ανάπτυξης της, προβαίνοντας σε μια σειρά σημαντικών έργων και ενεργειών προς αυτή την κατεύθυνση. Από την άλλη, τα σύγχρονα ξενοδοχεία στην περιοχή του Δήμου Πεταλούδων, με τις 4000 κλίνες, συμβάλλουν στην οικονομία και την ανάπτυξη του τόπου. Ενός τόπου με φιλόξενους κατοίκους που περιμένει να μυήσει τον επισκέπτη στις φυσικές ομορφιές του, τα

ιστορικά και θρησκευτικά μνημεία του αλλά και στους ιδιαίτερους ρυθμούς της καθημερινότητας του.

Πρωτεύουσα του δήμου είναι η Κρεμαστή όπου στεγάζονται οι περισσότερες υπηρεσίες του Δήμου και ανάμεσά τους το Κέντρο Εξυπηρέτησης του Πολίτη, το Κέντρο Πληροφόρησης Νέων αλλά και η Δημοτική Βιβλιοθήκη της Κρεμαστής που επαναλειτούργησε το 1998 μετά από περίπου 16 χρόνια αδράνειας. Το Παραδείσι είναι το δεύτερο μεγαλύτερο δημοτικό διαμέρισμα του Δήμου, που βρίσκεται δίπλα από τον διεθνή αερολιμένα «Διαγόρας» της Ρόδου. Παλαιότερη, αλλά και σήμερα χρησιμοποιούμενη, ονομασία του ήταν Βιλλανόβα από το όνομα του Μεγάλου Μαγίστρου Villeuneuve. Τα Μαριτσά είναι ένα από τα γραφικότερα Δημοτικά Διαμερίσματα του Δήμου Πεταλούδων και σίγουρα το πιο ζωντανό με τις παραδοσιακές ταβέρνες του. Η Παστίδα είναι το πλησιέστερο προς την πόλη της Ρόδου Δημοτικό Διαμέρισμα, γεγονός που την έχει καταστήσει προσφιλή τόπο εξοχικής κατοικίας. Ένα από τα αρχαία χωριά του Δήμου Πεταλούδων, με ευρήματα από την πρωτομυκηναϊκή εποχή. Σήμερα η Δαματριά χαρακτηρίζεται από έμφαση στην αγροτική οικονομία, με παράλληλη διατήρηση της ταυτότητάς της. Ο Θεολόγος, ή και Θολός, είναι Δημοτικό Διαμέρισμα με ζωή από τα προϊστορικά χρόνια (Δήμος Ισταναίων). Είναι ιδιαίτερα γραφικό αλλά και με έντονη τουριστική ανάπτυξη στο επίνειό του, την παραλία Θεολόγου, ο οποίος απέχει 5χλμ. από τη η γνωστή σε όλο τον κόσμο Κοιλάδα των Πεταλούδων.

-- Πληθυσμιακά στοιχεία Δήμου Πεταλούδων --

Ο δήμος Πεταλούδων έχει (πραγματικό) πληθυσμό 12.133 κατοίκους. Η κατανομή του πληθυσμού ανά δημοτικό διαμέρισμα του Δήμου, είναι:

Δ.δ. Κρεμαστής [4.585]

- η Κρεμαστή [4.372]
- ο Αερολιμήν [213]

Δ.δ. Δαματρίας [477]

- η Δαματριά [477]
- ο Κάτω Καλαμών [0]

Δ.δ. Θεολόγου [856]

- ο Θεολόγος [606]

- ο Επάνω Καλαμών [250]

Δ.δ. Μαριτσών -- τα Μαριτσά [1.766]

Δ.δ. Παραδεισίου [2.646]

- το Παραδείσι [2.603]
- οι Βαγιές [43]

Δ.δ. Παστίδας -- η Παστίδα [1.803]

1.3 Κλιματολογικά στοιχεία

Το κλίμα επηρεάζει άμεσα τις χρήσεις γης μιας περιοχής, αφού καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τους τύπους εδαφών και βλάστησης. Προσδιορίζεται δε όχι μόνο από τις μέσες τιμές αλλά και από τις ακραίες, καθώς και από τις μακροχρόνιες τάσεις μεταβολής του συνόλου των ατμοσφαιρικών συνθηκών. Επιπλέον, οι κλιματολογικές συνθήκες επηρεάζουν και τη διασπορά των ρύπων στην ατμόσφαιρα.

Η εξέταση του κλίματος της περιοχής στηρίχθηκε στις κλιματικές μεταβλητές της θερμοκρασίας, της βροχόπτωσης, της σχετικής υγρασίας και των ανέμων. Τα δεδομένα αφορούσαν το σταθμό της Ρόδου.

Το κλίμα της Ρόδου είναι Μεσογειακό: τα καλοκαίρια παρατηρείται έντονη ηλιοφάνεια (και σχεδόν καθόλου βροχοπτώσεις), ενώ το χειμώνα τα καιρικά φαινόμενα είναι ήπια.

Το καλοκαίρι (Ιούλιος - Αύγουστος) φυσάνε βόρειοι άνεμοι, απαλύνοντας την έντονη ζέστη. Η υγρασία είναι έντονη και το φθινόπωρο / χειμώνα μπορεί να σημειωθούν δυνατές βροχοπτώσεις.

Στον Πίνακα 1, παρατίθενται αναλυτικά τα κλιματολογικά στοιχεία της περιοχής (Περιφέρεια Δωδεκανήσου) για ένα ημερολογιακό έτος.

Πίνακας 1: Κλιματολογικά στοιχεία της εξεταζόμενης περιοχής

| Σταθμός Ρόδου | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------|-------------|------------|------------------|---|---|-----------------|
| Γεωγραφικό μήκος/πλάτος | | | 28,07 | 36,23 | | | | | | | | |
| Ύψος σταθμού | | | 35 | | | | | | | | | |
| Μήνας | Ώρες ηλιοφάνειας | Βαρομετρική πίεση | Μέση θερμοκρασία αέρα | Απόλυτη μέγιστη θερμοκρασία | Απόλυτη ελάχιστη θερμοκρασία | Σχετική Υγρασία | Μέση Νέφωση | Βροχόπτωση | Διεύθυνση ανέμου | Ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επιπ. | Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επιπ. | Ταχύτητα ανέμου |
| | h | mm Hg | οC | οC | οC | % | 8 | σε mm | | | | m/sec |
| 1 | 135,7 | 1015,7 | 11,9 | 22 | -4 | 70,1 | 4,3 | 149,6 | Βορειοδυτ. | 54,91 | 25,44 | 3,4 |
| 2 | 142 | 1014,8 | 12,1 | 22 | -2,2 | 69,1 | 4,2 | 105,7 | Βορειοδυτ. | 65,56 | 29,69 | 3,6 |
| 3 | 206 | 1013,4 | 13,6 | 27,4 | 0,2 | 68,7 | 3,9 | 75,6 | Δυτική | 104,72 | 41,92 | 4 |
| 4 | 246,7 | 1012 | 16,6 | 30,6 | 5,2 | 66,5 | 3,5 | 27,8 | Δυτική | 128,61 | 48,22 | 4,4 |
| 5 | 314,5 | 1011,7 | 20,5 | 34,8 | 5 | 64,4 | 2,7 | 18,6 | Δυτική | 164,72 | 49,08 | 4,2 |
| 6 | 355,5 | 1009,8 | 24,7 | 37,4 | 12,6 | 58,5 | 1,1 | 2,3 | Δυτική | 183,06 | 42,17 | 5,7 |
| 7 | 387,1 | 1006,9 | 26,9 | 40 | 14,6 | 57,6 | 0,3 | 0,4 | Δυτική | 184,17 | 45,94 | 6,1 |
| 8 | 373,3 | 1007,5 | 27,1 | 42 | 17 | 59,9 | 0,3 | 0,2 | Δυτική | 176,11 | 39,36 | 5,7 |
| 9 | 313,6 | 1011,4 | 24,6 | 36,6 | 10,6 | 61,4 | 0,8 | 5,8 | Δυτική | 140,28 | 32,75 | 4,6 |
| 10 | 239,6 | 1014,7 | 20,8 | 33,2 | 7,2 | 67,5 | 2,4 | 65,5 | Δυτική | 99,72 | 31,36 | 3 |
| 11 | 184,4 | 1016,4 | 16,5 | 28,4 | 2,4 | 71,4 | 3,5 | 94,1 | Δυτική | 65,83 | 23,58 | 3,2 |
| 12 | 142,1 | 1015,8 | 13,4 | 22,8 | 1,2 | 72,4 | 4,2 | 157,4 | Βορειοδυτ. | 51,11 | 22,39 | 3,4 |
| Σύν. | 3041 | | | | | | | | | 1418,8 | 431,92 | |

1.4. Ιστορικά στοιχεία

Ο Δήμος Πεταλούδων όπως προαναφέρθηκε αποτελείται από 6 μικρότερα χωριά (Δημοτικά Διαμερίσματα). Η ιστορία των χωριών θα αναφερθεί παρακάτω ξεχωριστά για το καθένα.

Ιστορικά στοιχεία Κρεμαστής

Ο Μεγάλος Μαγίστρος **Fabrizio del Carretto** φέρεται να επισκέυασε το Κάστρο της Κρεμαστής στη δεκαετία του 1510 – 1520 αφού αυτό υπήρχε ήδη κατά το 14ο αι. και αξιοποιήθηκε από τους εκάστοτε Μεγάλους Μαγίστρους ως τόπος θερινής κατοικίας.

Κατά τη διάρκεια της ιπποτοκρατίας αλλά και αργότερα κατά την τουρκοκρατία το Κάστρο υπήρξε καταφύγιο για τους Κρεμαστενούς και τις οικογένειές τους. Σήμερα χρήζει εργασιών συντήρησης και αποκατάστασης. Στην περίοδο της τουρκοκρατίας, μετά από αυτή των Ιπποτών, η Κρεμαστή ακολούθησε τη μοίρα των υπόλοιπων τουρκοκρατούμενων περιοχών ζώντας με φτώχεια, εξαθλίωση καταπάτηση των βασικών ανθρωπίνων δικαιωμάτων. Κατά την περίοδο της ιταλοκρατίας η Κρεμαστή αντιστάθηκε: Στις αρχές του 1913 οργανώθηκαν συλλαλητήρια με το αίτημα της ένωσης με τον εθνικό κορμό. Τα συλλαλητήρια αυτά είχαν ως αποτέλεσμα να συλληφθούν ο δήμαρχος **Κ. Κεφαλάκης** και ο διευθυντής του δημοτικού σχολείου **Αναστ. Βρόντης** και να εξοριστούν στην Αθήνα. Μετά από σειρά διαδηλώσεων ακολούθησαν τα παλλαϊκά συλλαλητήρια του 1919 (γνωστά ως το *Αιματηρό Πάσχα* του 1919), με δύο νεκρούς στο γειτονικό Παραδείσι. Η αναγγελία των θανάτων αυτών στο εκκλησίασμα του Ιερού Ναού Κοιμήσεως της Θεοτόκου στην Κρεμαστή, οδήγησε το εκκλησίασμα σε ζητωκραυγές και συνθήματα υπέρ της ένωσης με την υπόλοιπη Ελλάδα. Η ιταλική καταπίεση διέτρεχε τη ζωή του χωριού με χαρακτηριστικότερη εκδήλωσή της αυτό που συνέβη στις 27 Απριλίου 1941 (ημέρα που η Ελλάδα καταλήφθηκε από τα γερμανικά στρατεύματα): Οι Ιταλοί κατασκεύασαν ένα φέρετρο με την επιγραφή «*La morte de la Grecia*» και το περιέφεραν στην Κρεμαστή απαιτώντας από τους κατοίκους να συμμετάσχουν στη «νεκρώσιμη ακολουθία». Όσοι αρνήθηκαν βασανίστηκαν και γρονθοκοπήθηκαν.

Την ιταλική κατοχή ακολουθεί η γερμανική η οποία ήταν ασυναγώνιστη σε βαρβαρότητα και επί πλέον συνοδευόταν από φοβερή πείνα. Τέλος η Κρεμαστή

υποδέχεται πανηγυρικά την ενσωμάτωση με τον εθνικό κορμό στις 7 Μαρτίου του 1948.

Ιστορικά στοιχεία Παραδεισίου

Σύμφωνα με την παράδοση, το χωριό Βιλανόβα (το σημερινό Παραδείσι) ιδρύθηκε απ' το Γάλλο Μεγάλο Μάγιστρο Ελιόν Βιλνέβ του Τάγματος των Ιπποτών, που ο λαός αποκαλούσε «Βιλανόβα» στη δεκαετία του 1330. Η περιοχή στην οποία έχτισε ο Βιλανόβα το κάστρο του ήταν και παραμένει παραδείσια, γι' αυτό και ονομαζόταν «*Παραδείσιοι Κήποι*».

Το κυριότερο ιστορικό γεγονός που σημάδεψε την ιστορία του χωριού, είναι το *Αιματηρό Πάσχα* του 1919, την εποχή της Ιταλοκρατίας. Τον καιρό αυτό η Δωδεκάνησος ήταν υπόδουλη στην Ιταλία. Το συλλαλητήριο του *Αιματηρού Πάσχα* ήταν οργανωμένο σε παλλαϊκή κλίμακα. Έγινε συγχρόνως σε όλα τα χωριά της Ρόδου, την ίδια ώρα, μέσα κι έξω απ' τις εκκλησίες, τη δεύτερη Ανάσταση, ζητώντας την ένωση όλης της Δωδεκανήσου με την Ελλάδα.

Το συλλαλητήριο πραγματοποιήθηκε παντού σύμφωνα με τις οδηγίες: Να διαβαστεί στις εκκλησίες έτοιμο ψήφισμα για την ένωση της Δωδεκανήσου με την Ελλάδα και να εγκριθεί δια βοής απ' τον κόσμο. Όσοι θέλησαν να βγουν απ' τον ιερό χώρο διαδηλώνοντας δημόσια την επιθυμία για ένωση με την Ελλάδα, αντίκρισαν την ωμή βία, που θύμιζε την εποχή της τουρκοκρατίας.

Αυτό συνέβη και στο Παραδείσι. Τα κυβερνητικά όργανα έχασαν την ψυχραιμία τους και χτύπησαν στο ψαχνό το πλήθος, με στόχο τον μπροστάρη και επικεφαλής *Παπαλουκά* και μια γυναίκα, την *Ανθούλα Ζερβού*. Όλη την ημέρα του Πάσχα κατά τη δεύτερη Ανάσταση, συνεχίστηκαν οι αψιμαχίες μεταξύ των Παραδεισιωτών και των Ιταλών στρατιωτών. Στα αιματηρά αυτά γεγονότα (της 7ης Απριλίου 1919) τραυματίστηκαν 18 Παραδεισιώτες. Επίσης συνελήφθησαν κι οι δυο δάσκαλοι του χωριού *Νικόλαος Μαγκαφάς* και *Κώστας Πανταζής*. Οι χωριανοί όμως συγκεντρώθηκαν κι απαιτούσαν ή να συλληφθεί όλο το χωριό από τους Ιταλούς ή ν' αφήσουν ελεύθερους τους δυο δασκάλους. Οι Ιταλοί, έντρομοι από τα διεθνή δυσμενή σε βάρος τους σχόλια, για να κατευνάσουν τα πνεύματα, έσπευσαν με τις επίσημες αρχές τους να συλληπθούν τις οικογένειες των θυμάτων για το «άτυχο» γεγονός, προσφέροντας μάλιστα και μεγάλες αποζημιώσεις.

Ιστορικά στοιχεία Θεολόγου

Στην αρχαιότητα η ευρύτερη περιοχή της *Θολού* (Θεολόγου) αποτελούσε έναν από τους μεγαλύτερους δήμους της *Ιαλυσίας* με το όνομα «Δήμος *Ισταναίων*». Η οργανωμένη ζωή στην περιοχή ξεκινά από την εποχή του Χαλκού. Στα ελληνιστικά χρόνια ακμάζει ο Ναός του *Ερεθιμίου Απόλλωνος* ενώ στα χριστιανικά η λατρεία του *Απόλλωνα* αντικαθίσταται με αυτή του *Αγίου Ιωάννη του Θεολόγου* και ο οικισμός μετονομάζεται σε από Δήμος *Ισταναίων* σε οικισμό *Αγίου Ιωάννη του Θεολόγου*. Οι κάτοικοι από την αρχαιότητα ασχολήθηκαν με τη γεωργία (εξ' ου και η λατρεία του *Ερεθιμίου Απόλλωνος*). Κατά τη διάρκεια της τουρκοκρατίας η περιοχή του Θεολόγου γίνεται τσιφλίκι ενός Αγά και οι κάτοικοι γίνονται δουλοπάροικοι στα ίδια τους τα κτήματα μέχρι που τα εξαγοράζουν στα 1920. Κατά την εποχή της ιταλοκρατίας στην ευρύτερη περιοχή της *Θολού* γίνονται έργα υποδομής όπως ο πρότυπος αγροτικός οικισμός του *Peveragno* και η αξιοποίηση της *Κοιλιάδας των Πεταλούδων*. Παράλληλα όμως σχηματίζονται και μικρές αντιστασιακές ομάδες ιδιαίτερα μετά το 1940. Στις 7 Μαρτίου του 1948 οι *Θολοενοί* πανηγυρίζουν μαζί με τους υπόλοιπους *Δωδεκανήσιους* την ενσωμάτωση.

Ιστορικά στοιχεία Δαματριάς

Η κατοίκηση του χώρου μαρτυρείται από την αρχαιοελληνική περίοδο. Η ιστορία της *Δαματριάς* είναι παράλληλη με την ιστορία του υπόλοιπου νησιού. Η *Δαματριά* πρέπει να ήταν το οικιστικό κέντρο του ευρύτερου δήμου *Δαματριέων* όπως μαρτυρείται από αρχαιολογικά ευρήματα στην *Κάρπαθο* και στη *Ρόδο*. Φέρεται το όνομά της να είναι δωρική εκδοχή του ονόματος *Δημητριάς*. Ο δήμος *Δαματριέων* ήταν μέρος της *Ιαλυσίας* πριν δημιουργηθεί το ενιαίο ροδιακό κράτος (408 π.Χ.). Ο υπόσκαφος ναός του *Αγίου Νικήτα* (περί τον 13ο αιώνα μ.Χ.) καθώς και διάφορα άλλα στοιχεία δηλώνουν ότι ο τόπος συνέχισε να κατοικείται κατά τη βυζαντινή περίοδο και τον μεσαίωνα. Είσοδος του αρχαιότερου παρεκκλησίου της *Δαματριάς* (*Αγ. Νικήτας*) Κατά την τουρκοκρατία η *Δαματριά* ακολούθησε την πορεία των υπόλοιπων χωριών όπως διαφαίνεται από τον «*Εκκλησιαστικό Κώδικα Αγίου Ιωάννου του Θεολόγου χωρίον Δαματριάς, έτη 1858*» από όπου αντλούμε στοιχεία αναφορικά με την εκκλησιαστική περιουσία και τη διαχείριση διαφόρων θεμάτων κοσμικού χαρακτήρα. Την ιταλική κατοχή που ακολούθησε μετά τη τουρκοκρατία διαδέχθηκε η περίοδος της γερμανικής κατοχής που σήμαινε εκδηλώσεις βαρβαρότητας και πείνα. Πείνα που περιόρισε το δικαιολόγιο των *Δαματριέων* σε

χόρτα χωρίς λάδι, τρωκτικά ακόμα και ψόφια ζώα χωρίς όμως να καμφθεί το αντιστασιακό τους φρόνημα που εκδηλώθηκε με διάφορες πατριωτικές δράσεις. Και εδώ η ενσωμάτωση πήρε τον χαρακτήρα της ανάστασης και πανηγυρίστηκε πάνδημος. Ηρωική ιστορική μορφή του Δ.Δ. Δαματριάς ήταν ο Γεώργιος Ρούσσος (δάσκαλος). Με κίνδυνο της ζωής του δίδασκε ελληνικά στα παιδιά κρυφά στον νάρθηκα της εκκλησιάς κατά την διάρκεια της ιταλικής κατοχής.

Ιστορικά στοιχεία Μαριτσών

Το όνομα του κατά τον διαπρεπή Έλληνα ακαδημαϊκό κ. **Αγαπητό Τσοπανάκη** προέρχεται από τον ιταλικό αξιωματικό τίτλο *Mareschiale* ο οποίος έδωσε το όνομα στην περιοχή. Έτσι φαίνεται τα Μαριτσά να είναι τα κτήματα ενός Μαριτζά.

Μια τοπική παράδοση ωστόσο, αναφέρει ότι το χωριό πήρε το όνομα του από μια βασίλισσα που διαφέντευε πρώτη την περιοχή, η οποία λεγόταν Μαρίτσα και διέμενε στο Φιλήρημο. Αυτή λέγεται πως έφερε και τα πρώτα ελάφια στη Ρόδο για να σκοτώσουν τα φίδια που αφθονούσαν στην περιοχή των Μαριτσών. Στην ευρύτερη περιοχή των Μαριτσών υπάρχουν ίχνη κατοίκησης από την αρχαιοελληνική και ελληνιστική περίοδο. Το χωριό ακολούθησε τη ζωή του υπόλοιπου νησιού, σε όλες τις ιστορικές της φάσεις. Ανέπτυξε αντιστασιακή δράση κατά την περίοδο της ιταλοκρατίας. Πολύ κοντά στο χωριό βρίσκεται το αεροδρόμιο Μαριτσών, το κυριότερο στρατιωτικό αεροδρόμιο του νησιού επί ιταλοκρατίας. Σήμερα, τα κτίρια του αεροδρομίου αυτού, εγκαταλελειμμένα, έμειναν να θυμίζουν την αρχιτεκτονική τεχνοτροπία της φασιστικής Ιταλίας του μεσοπολέμου, αλλά και το τι βίωσαν οι κάτοικοι της γύρω περιοχής οι οποίοι έζησαν από κοντά βομβαρδισμούς, αντιαεροπορικά κλπ.

Ιστορικά στοιχεία Παστίδας

Η Παστίδα κείται στις παρυφές του λόφου του Φιλήρημου από τη νοτιοδυτική πλευρά του. Αναφέρεται η ύπαρξή της ως αυτόνομου οικιστικού σχηματισμού από τον περιηγητή Guerin το 1854. Κάποιες δεκαετίες πριν πρέπει να αρχίζει και ιστορία της. Το όνομά της κατά πολλούς προέρχεται από τη λατινική λέξη *Bastida* που σημαίνει «φρούριο». Γεωμορφολογικά αυτό όμως δεν τεκμηριώνεται μια που η Παστίδα απλώνεται επί ενός πεδινού τμήματος που ονομάζεται Καμάρι. Η εκδοχή του Θεοφάνους Μπογιάννου θέλει το όνομα να προέρχεται από την ελληνική λέξη παστάς που δηλώνει τον επίπεδο χώρο, την κλίνη κλπ. Προσωπική άποψη είναι ότι

προέρχεται από τα τουρκικά και πιο συγκεκριμένα από το μόριο *ada* που σημαίνει «εις το, εις του κλπ» και το όνομα κάποιου τούρκου αξιωματούχου κτηματία με το όνομα Παστή Αλής. «Πηγαίνω εις του Παστή, δηλαδή Παστή *ada* Παστίδα».

Ίσως το πολύ κοινό όνομα Πάττας στην Παστίδα να έχει να κάνει με το όνομα Παστή Αλής, ετυμολογικά. Στο χωριό έχουν ανασκαφεί κεραμοσκεπείς τάφοι, όπου φαίνεται να ήταν θαμμένοι οι μη ελεύθεροι κάτοικοι της παρακείμενης Ιαλυσίας. Το γεγονός αυτό είναι δηλωτικό της μη ύπαρξης συγκροτημένου οικιστικού σχηματισμού κατά την αρχαιότητα.

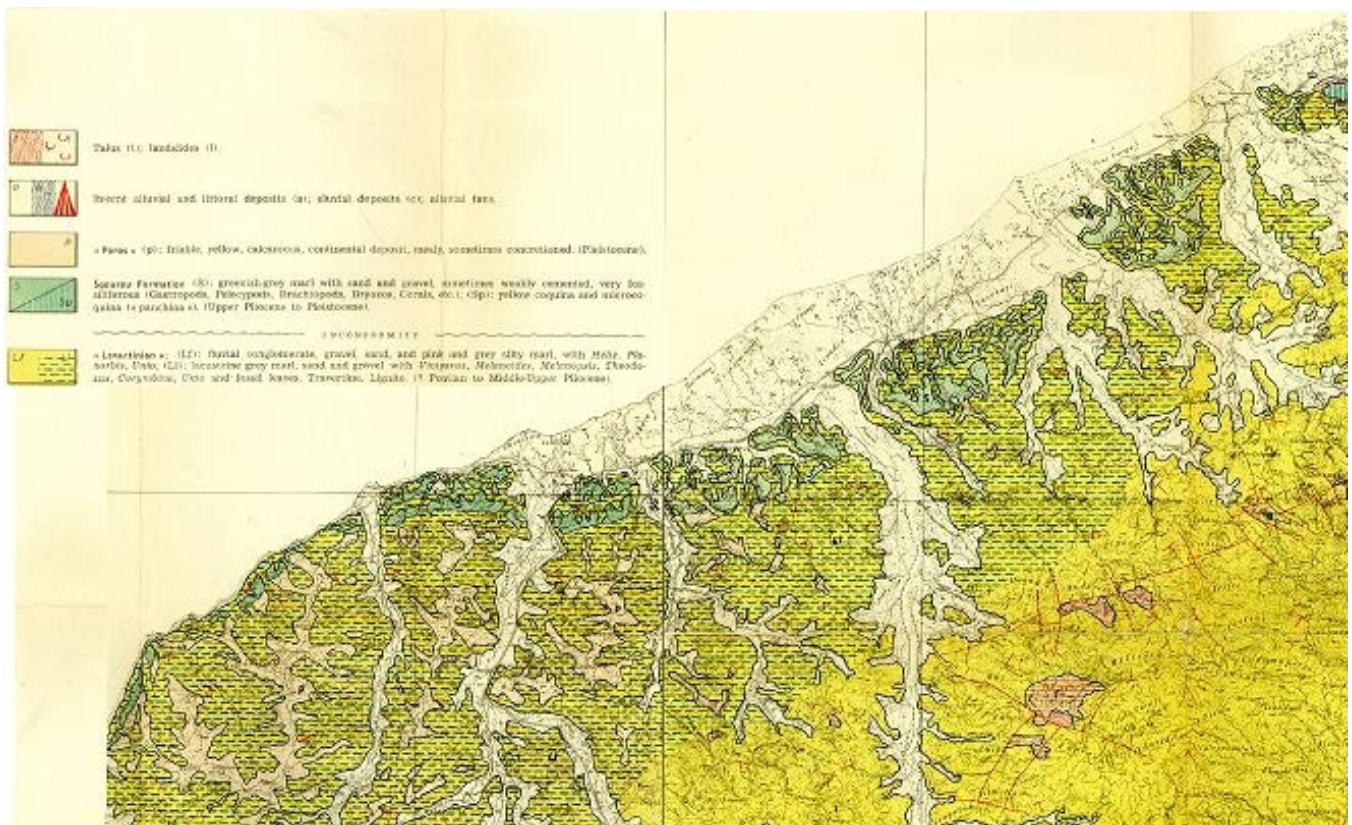
Οι Παστιδενοί υποστήριξαν με θέρμη τους Ιταλούς ως απελευθερωτές από τους Τούρκους στα 1912 και μέχρι να αποκαλυφθεί το απεχθές κατακτητικό τους πρόσωπο. Συμμετείχαν και αυτοί στις διαδηλώσεις του Αιματηρού Πάσχα του 1919 και στην εθνική αντίσταση που στη Δωδεκάνησο γενικότερα διήρκεσε 33 χρόνια.

Τέλος, κοντά στην κορυφή της κοιλάδας Πεταλούδων, υπάρχει ένα ιστορικό μοναστήρι που κατέχει σημαντική θέση στην νεότερη ιστορία της Ρόδου. Το μοναστήρι είναι αφιερωμένο στην Παναγία την Καλόπετρα και το έκτισε ο Αλέξανδρος Υψηλάντης το 1874, μετά από ένα θαύμα της Παναγίας, όπως λέει η παράδοση.

2. Η ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

2.1 Η στρωματογραφία της ευρύτερης περιοχής

Τα πετρώματα που περιβάλλουν τον Δήμο Πεταλούδων είναι τα εξής : (L1) ποταμίσιο κροκαλοπαγές , αμμοχάλικο, άμμος, ροζ και γκρι λασπώδες ασβεστολιθική άργιλος με Helix και σπυρωειδή Planorbis Unio, (Li) λιμνόβια γκρι ασβεστολιθική άργιλος, άμμος και αμμοχάλικο με Viviparus , Melanoidea, Melanopsis , Theodoxus, Corymbina , Unio και απολιθωμένα φύλλα και τέλος Ταβερτίνης και Λιγνίτης (Pontian στο μέσο ανώτερο πλειόκαινο).



Σχήμα 2.1: Γεωλογικός Χάρτης του Δήμου Πεταλούδων (I.G.M.E)
(Πηγή Κουκιάς Μιχάλης)

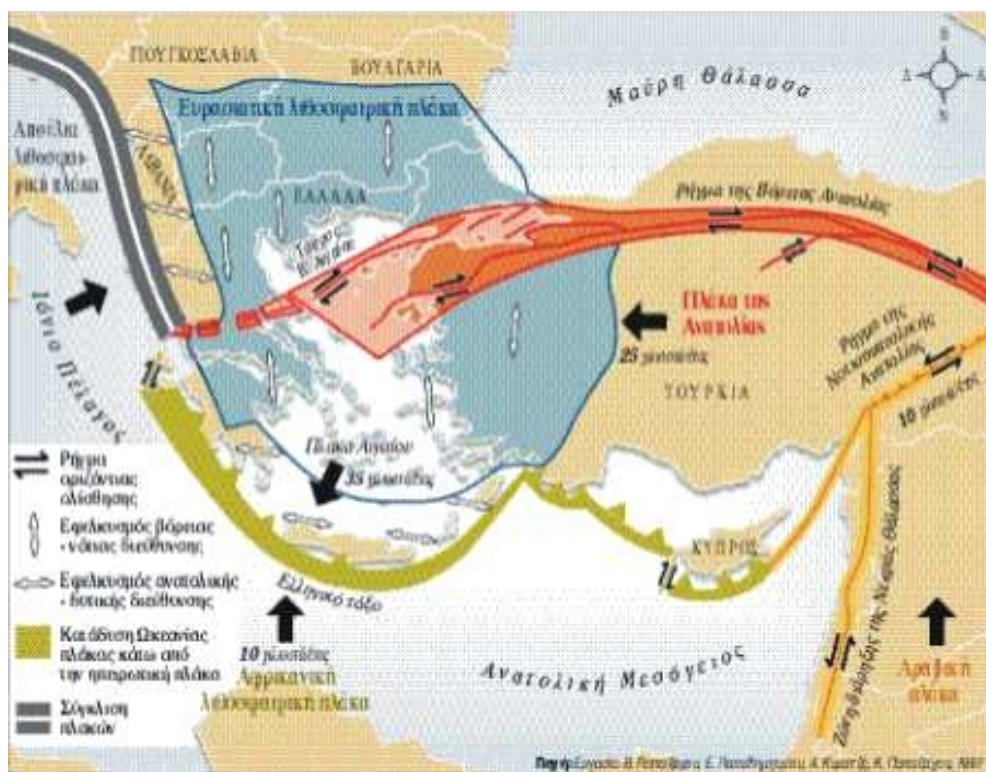
Στο γεωλογικό χάρτη του Δήμου Πεταλούδων (Σχ. 2.1) διακρίνονται στην περιοχή εναλλαγές μάργων, αργίλων, άμμων και ελαφρά συνεκτικών κροκαλοπαγών ποτάμιας φάσης. Αποτελούν την περιθωριακή βάση και πλευρική μετάβαση των στρωμάτων Μαραθούσας. Βόρεια και νότια του Δήμου συναντώνται προσχωσιγενείς

αποθέσεις από ασύνδετα αργιλοαμμώδη υλικά, χαλίγια και κροκάλες στις κοίτες των ποταμών και των χειμάρρων καθώς και μικρές αναβαθμίδες ενώ έχουμε και τους σχηματισμούς Θωκνίας-Ποτάμιας όπου έχουμε σύστημα αναβαθμίδων αδιαίρετο, ιλύς, άργιλοι, άμμοι, χαλαρά κροκαλοπαγή και πλευρικά κορήματα. Νοτιοδυτικά συναντώνται ο σχηματισμός Απιδίτσας με εναλλαγές ερυθρών αργιλο-αμμούχων στρωμάτων με ελαφρά συνεκτικά κροκαλοπαγή και πλευρικά κορήματα με ερυθρές αργίλους. Στα ανατολικά εμφανίζεται ο σχηματισμός Μακρυσίου όπου υπάρχουν άργιλοι, μάργες λιμναίας φάσης.

2.2 Γενικά για την τεκτονική της περιοχής

Το ελληνικό τόξο

Το ελληνικό τόξο (Σχ. 2.2) ξεκινώντας από την Κεφαλονιά, διασχίζει το νότιο Ιόνιο ανατολικά της Πελοποννήσου και περνώντας νότια της Κρήτης καταλήγει στη Ρόδο.



Σχήμα 2.2. Το Ελληνικό τόξο (Πηγή <http://www.earthquakenet.gr/toellinikotoxo.htm>)

Εδώ τα ρίχτερ χτυπούν με μεγέθη που φθάνουν ακόμη και τους 7,5 βαθμούς. Είναι το όριο επαφής και σύγκλισης της αφρικανικής με την Ευρασιατική λιθосφαιρική πλάκα, που η πρώτη βυθίζεται με ταχύτητα περίπου 4,5 εκατοστών τον χρόνο κάτω από τη δεύτερη, και είναι αυτή η titάνια «μάχη» των πλακών στο Νότιο

Αιγαίο η κύρια αιτία εκδήλωσης των περισσότερων σεισμών στην Ελλάδα. Η μεγαλύτερη σεισμική δραστηριότητα παρουσιάζεται στο δυτικό τμήμα του Ελληνικού Τόξου, όπου και σημειώθηκαν οι ισχυρές δονήσεις στον θαλάσσιο χώρο νοτίως της Καλαμάτας και μεταξύ Λευκάδας - Πρέβεζας. Στο δυτικότερο άκρο του Ελληνικού Τόξου, εντοπίζεται και το σεισμικό «τρίγωνο του διαβόλου», ένας χώρος με ιδιαίτερα τεκτονικά χαρακτηριστικά που τον κατατάσσουν στην πρώτη θέση της λίστας των περιοχών υψηλότερης σεισμικότητας στο Αιγαίο και στην Ευρώπη.

Κατά μήκος των ακτών της Δυτικής Ελλάδας από την Κέρκυρα ως τη Δυτική Κρήτη, η σεισμική δραστηριότητα μπορεί να διακριθεί γενικά σε τρεις περιοχές. Η πρώτη περιοχή βρίσκεται βορείως της Λευκάδας και η σεισμική δραστηριότητα εκεί οφείλεται σε συμπιεστικές δυνάμεις περίπου ανατολικής - δυτικής διεύθυνσης (κάθετες στη διεύθυνση των ακτών της Δυτικής Ελλάδας). Η δεύτερη περιοχή βρίσκεται νοτίως της Κεφαλονιάς και αποτελεί το δυτικό τμήμα του Ελληνικού Τόξου. Η σεισμική δραστηριότητα εκεί οφείλεται στη σύγκλιση μεταξύ της αφρικανικής πλάκας και του Αιγαίου και της κατάδυσης της πρώτης κάτω από τη δεύτερη. Αποτέλεσμα της κατάδυσης αυτής είναι και η εκδήλωση σεισμικής δραστηριότητας ενδιάμεσου βάθους (εστιακά βάθη σεισμών μεγαλύτερα των 60 χιλιομέτρων) κάτω από την Πελοπόννησο και ανατολικά αυτής περίπου ως τον χώρο των Κυκλάδων. Η τρίτη περιοχή βρίσκεται μεταξύ των δύο προηγούμενων, στον ευρύτερο χώρο της Κεφαλονιάς, από τη Ζάκυνθο ως τη Λευκάδα. Η σεισμική δραστηριότητα εδώ εκδηλώνεται κυρίως κατά μήκος ενός ρήγματος, το οποίο έχει διεύθυνση βορειοανατολική - νοτιοδυτική. Με άλλα λόγια, η σεισμική δραστηριότητα στον χώρο αυτό εκδηλώνεται επειδή έχουμε μια οριζόντια κίνηση του χώρου νοτίως του ρήγματος προς τα νοτιοδυτικά (προς τη Μεσόγειο) και του χώρου βορείως του ρήγματος προς τα βορειοανατολικά (προς την Πίνδο). Η συνολική σχετική κίνηση κοντά στο ρήγμα αυτό είναι της τάξεως των 25 χιλιοστών ανά έτος. Χαρακτηριστικό της σεισμικής δραστηριότητας στη Δυτική Ελλάδα που οφείλεται στις τεκτονικές ιδιότητες της περιοχής, είναι ο μεγάλος αριθμός μικρών και ενδιάμεσου μεγέθους σεισμών αλλά και η μεγαλύτερη συχνότητα γένεσης ισχυρών, καταστρεπτικών σεισμών. Έτσι παρά το γεγονός ότι στον χώρο αυτό τα μεγέθη των μεγαλύτερων σεισμών είναι λίγο μικρότερα από ότι σε άλλες περιοχές του ελληνικού χώρου, ο σεισμικός κίνδυνος είναι σαφώς μεγαλύτερος εξαιτίας της συχνότητας γένεσης σεισμών ικανών να προκαλέσουν καταστροφές.

Μετά τη γένεση του ισχυρού σεισμού στην Τουρκία είναι γεγονός ότι επηρεάστηκε η σεισμικότητα όλου του ελληνικού χώρου. Σε διάφορες περιοχές μάλιστα, συμπεριλαμβανομένης και της Δυτικής Ελλάδας, εκδηλώθηκε σεισμική δραστηριότητα αμέσως μετά την άφιξη των σεισμικών κυμάτων από την Τουρκία. Τέτοιες μεταβολές έχουν παρατηρηθεί αρκετές στο παρελθόν με βάση τόσο τις ενόργανες μετρήσεις όσο και τα ιστορικά δεδομένα. Έχει επίσης παρατηρηθεί ότι η σεισμική δραστηριότητα δεν εκδηλώνεται χρονικά πάντα με τον ίδιο τρόπο, αλλά διακρίνονται περίοδοι ύφεσης και έξαρσής της. Οι παρατηρήσεις αυτές αλλά και τα συμπεράσματα μελετών που αφορούν στη μεσοπρόθεσμη πρόγνωση σεισμών με τη χρήση σύγχρονων μεθοδολογιών μπορούν να δώσουν σημαντικά στοιχεία και να συμβάλουν αποτελεσματικά στη μείωση του σεισμικού κινδύνου.

Η μεγάλη σεισμικότητα της Ελλάδας (η χώρα μας κατέχει την έκτη θέση στην παγκόσμια κατάταξη και την πρώτη στην Ευρώπη) οφείλεται στα ιδιαίτερα γεωλογικά χαρακτηριστικά της, τα οποία έχουν διαμορφωθεί από τις κινήσεις των τεκτονικών πλακών στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου. Η Τουρκία κινείται δυτικά προς το Αιγαίο με ταχύτητα 25 χιλιοστά τον χρόνο κατά μήκος του ρήγματος της Βόρειας Ανατολίας. Το Αιγαίο ακολουθεί την κίνηση αυτή και κινείται με την ίδια ταχύτητα σε σχέση με την Ευρώπη κατά μήκος της τάφρου του Βορείου Αιγαίου προς τα δυτικά. Ταυτόχρονα όμως το Αιγαίο, λόγω εσωτερικής παραμόρφωσης, επεκτείνεται προς τα νότια (με μια ταχύτητα η οποία φθάνει περίπου τα 10 χιλιοστά ανά έτος). Με τον τρόπο αυτό, ο ρυθμός ολίσθησης στο νότιο τμήμα του φθάνει ως τα 35 χιλιοστά το έτος, περίπου, με διεύθυνση βορειοανατολικά - νοτιοδυτικά. Επειδή και η Αφρική κινείται προς τα βόρεια (με ταχύτητα 10 χιλιοστά ανά έτος), ο ρυθμός σύγκλισης μεταξύ της αφρικανικής λιθοσφαιρικής πλάκας με εκείνης του Αιγαίου είναι της τάξεως των 45 χιλιοστών το έτος, με αποτέλεσμα τη διαρκή επέκταση του Αιγαίου. Επιπλέον δυτικά του ελληνικού χώρου (στην περιοχή βόρεια της Κεφαλονιάς), η Απουλία μικροπλάκα (Βόρειο Ιόνιο - Αδριατική) εκτελεί μια αριστερόστροφη κίνηση και το ανατολικό της όριο συγκρούεται με την Πίνδο.

Όλες αυτές οι παραπάνω κινήσεις των λιθοσφαιρικών πλακών που σε γενικές γραμμές θα μπορούσαμε να πούμε ότι αποτελούν και την κύρια αιτία της σεισμικής δραστηριότητας που εκδηλώνεται στον ελληνικό χώρο «συναντώνται» στην περιοχή της Κεφαλονιάς, γεγονός που έχει αποτέλεσμα στον χώρο αυτό να παρουσιάζεται και η μεγαλύτερη σεισμικότητα της ευρύτερης περιοχής του Αιγαίου, ολόκληρης της Ελλάδας και κατ' επέκταση της Ευρώπης.

2.3 Η τεκτονική της περιοχής

Το νησιωτικό τόξο της Ελλάδας (που κάποιες φορές αναφέρεται και σαν "τόξο του Αιγαίου") είναι χαρακτηριστικό παράδειγμα νησιωτικού τόξου. Δημιουργείται λόγω της σύγκλισης της Αφρικανικής τεκτονικής πλάκας με την Ευρασιατική (με ρυθμό περίπου 2,5 cm/χρόνο) στην περιοχή νότια της Πελοποννήσου.

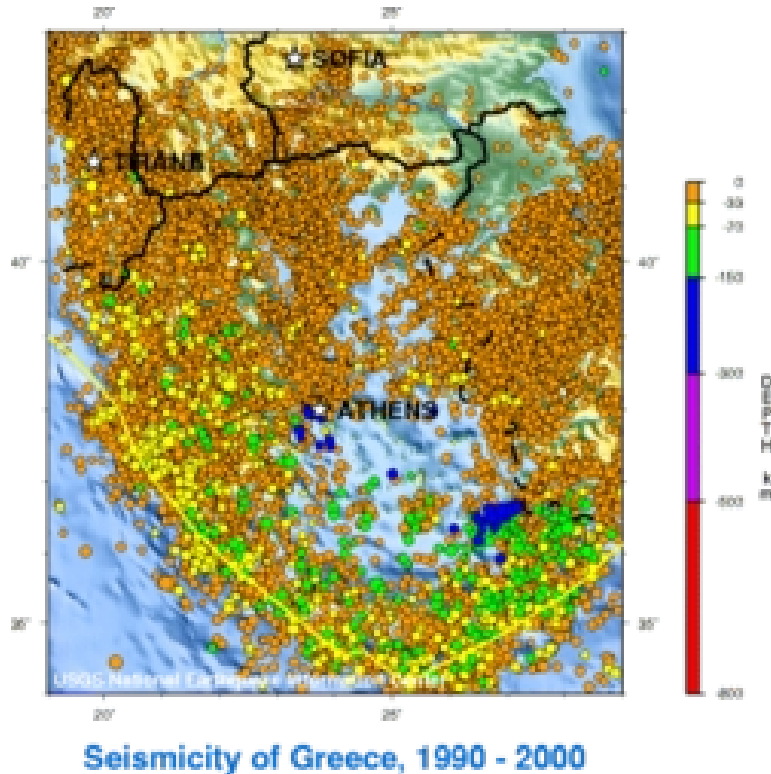
Η πρόταφος^f εκτείνεται από τη Ρόδο, περνά νότια της Κρήτης, ΝΔ της Πελοποννήσου και φτάνει μέχρι τα Ιόνια νησιά. Το βάθος της είναι αρκετά μεγάλο, και περιλαμβάνει και το βαθύτερο σημείο της Μεσογείου (ανοιχτά της Μάνης, με βάθος περίπου 5.200 μέτρα).

Το νησιωτικό τόξο περιλαμβάνει τα νότια Δωδεκάνησα, την Κρήτη, τμήματα της Νότιας και Δυτικής Πελοποννήσου και τα νότια Ιόνια Νησιά (Ζάκυνθος, Κεφαλονιά, Λευκάδα).

Βόρεια της Κρήτης παρατηρείται αβαθής θάλασσα, το Κρητικό και Καρπάθιο πέλαγος.

Τέλος, η εικόνα συμπληρώνεται από την ύπαρξη του ηφαιστειακού τόξου του νότιου Αιγαίου, που περιλαμβάνει τα νησιά Νίσυρος, Σαντορίνη, Μήλος, Κίμωλος, Κως, τα Μέθανα και το Σουσάκι Κορινθίας, όπου παρατηρείται ηφαιστειακή ή/και γεωθερμική δραστηριότητα. Παρατηρείται επίσης βαρυτομετρική και γεωμαγνητική ανωμαλία στην περιοχή.

^f Η πρόταφος, είναι μια στενή περιοχή όπου παρατηρούνται μεγάλα βάθη στη θάλασσα



Σχήμα 2.3: Χάρτης Αποτύπωσης Σεισμικότητας στην Ελλάδα για τη δεκαετία 1990-2000
(πηγή: www.wikipedia.gr)

Στον Χάρτη Αποτύπωσης Σεισμικότητας στην Ελλάδα κατά τη χρονική περίοδο 1990 – 2000 (Σχ. 2.3), διακρίνεται καθαρά ότι η περιοχή σύγκλισης της Αφρικανικής με την Ευρασιατική πλάκα (κίτρινη γραμμή) δίνει πληθώρα επιφανειακών σεισμών (κίτρινες και πορτοκαλί κουκίδες) κατά μήκος της ζώνης σύγκλισης. Βόρεια της Κρήτης κυριαρχούν οι σεισμοί μέσου βάθους (περ. 100km, πράσινες κουκίδες), ενώ η περιοχή του χάρτη με τις μπλε κουκίδες οριοθετεί την τρίτη ζώνη σεισμικότητας.

Η ζώνη Benioff^f του ελληνικού τόξου εκτείνεται σε όλο το νότιο και κεντρικό Αιγαίο. Χωρίζεται σε τρεις περιοχές:

- ➔ Μια περιοχή που δίνει επιφανειακούς σεισμούς βάθους 0-60 km και περιλαμβάνει την Κρήτη, τη Ρόδο, τη Νότια Πελοπόννησο και τα Νότια Επτάνησα.
- ➔ Μια δεύτερη ζώνη, που συμπίπτει με το ηφαιστειακό τόξο και δίνει σεισμούς επικεντρικού βάθους περίπου 100 km.

^f Καθώς η λιθοσφαιρική πλάκα βυθίζεται μέσα στην ασθενόσφαιρα στη ζώνη καταβύθισης ασκούνται πάνω της δυνάμεις που έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία σεισμών βάθους και ενδιάμεσου βάθους. Η διασπορά των σεισμών στο χώρο δείχνει ότι οι εστίες τους βρίσκονται σε γενικές γραμμές πάνω σε ένα επίπεδο που κλίνει προς τα κάτω, από την ωκεάνεια τάφρο προς την ήπειρο. Αυτό το επίπεδο είναι γνωστό ως ζώνη Benioff. Το πάχος της ζώνης αυτής κυμαίνεται μεταξύ 20 - 100 km και έχει γωνία κλίσεως 30 - 70. (<http://www.seismos.gr/>)

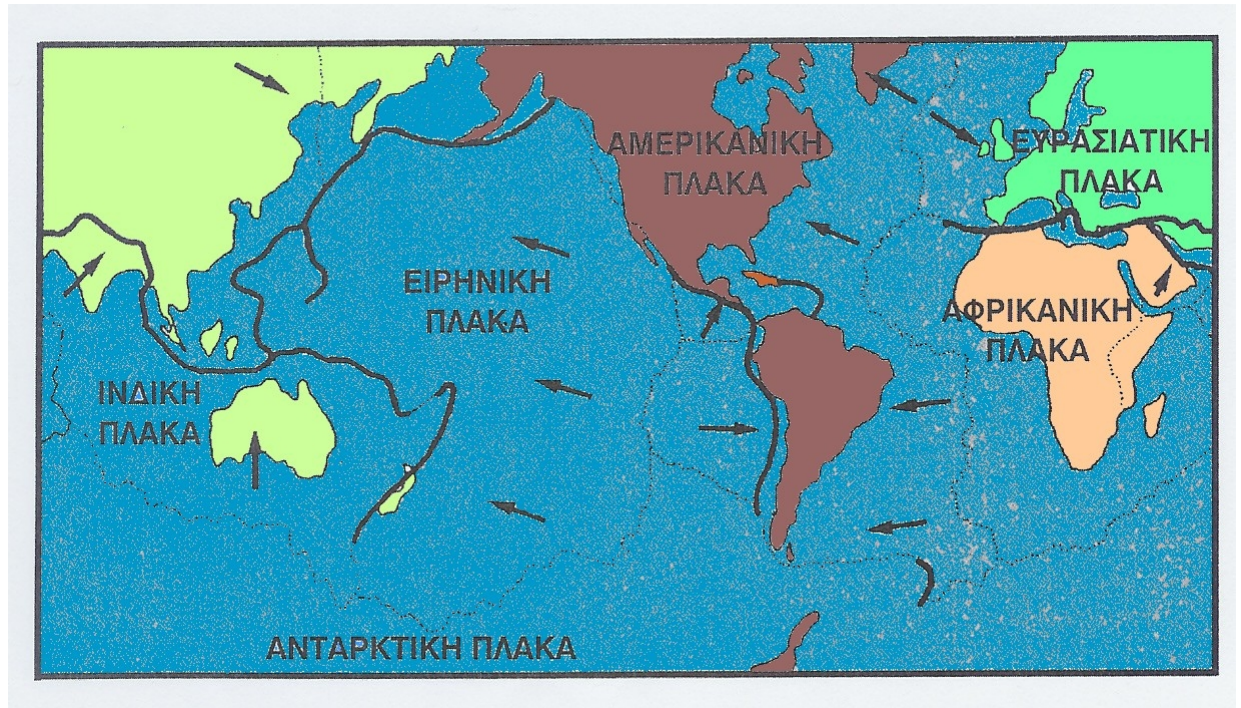
- ↳ Τέλος, μια τρίτη ζώνη, που αντιστοιχεί στο κάτω μέρος της Αφρικανικής πλάκας, περίπου στο κεντρικό Αιγαίο και δίνει σεισμούς με μέσο βάθος περίπου 160 km.

Από τα βάθη των εστιών και τη θέση των επικέντρων των σεισμών συμπεραίνεται ότι η Αφρικανική πλάκα καταβυθίζεται με γωνία περίπου 15 μοιρών κοντά στην Κρήτη, ενώ στο χώρο του ηφαιστειακού τόξου-κεντρικού Αιγαίου η καμπυλότητα αυξάνεται και φτάνει περίπου στις 35-38 μοίρες με το οριζόντιο.

Οι σεισμοί που δίνει η πρώτη ζώνη, λόγω του μικρού βάθους τους, έχουν ιδιαίτερα μεγάλη ένταση και ανάλογα καταστροφικά αποτελέσματα.

2.4 Τα συστήματα διάρρηξης του φλοιού της γης και η θέση της Ελλάδας στο ηπειρωτικό σύστημα διάρρηξης

Η σεισμική δράση σε μια περιοχή και τα άλλα γεωδυναμικά φαινόμενα τα οποία συνδέονται άμεσα με τη δράση αυτή είναι αποτέλεσμα σχετικά πρόσφατης γεωλογικής διαδικασίας που συνήθως ονομάζεται ενεργός τεκτονική της περιοχής. Η ηλικία αυτής της διαδικασίας είναι σχετικά μικρή (<10 εκατομμύρια χρόνια) σε σχέση με την ηλικία της Γης (4.6 δισεκατομμύρια χρόνια) και με την ηλικία γένεσης του πρώτου ηπειρωτικού φλοιού (3.8 δισεκατομμύρια χρόνια). Τα αίτια των σεισμών και των άλλων γεωδυναμικών φαινομένων βρίσκονται στο εσωτερικό της Γης και ειδικά μέσα στο φλοιό, ο οποίος έχει ένα μέσο πάχος ίσο προς 35km κάτω από τις ηπείρους και 7km κάτω από τους ωκεανούς, καθώς και κάτω από το φλοιό στο μανδύα της Γης. Η ένταση και η μορφή της ενεργού τεκτονικής διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή. Υπάρχουν περιοχές όπου η τεκτονική δράση είναι υψηλή σήμερα και σε άλλες περιοχές που είναι ασθενής σήμερα αλλά σ' ορισμένες απ' αυτές ήταν υψηλή στο γεωλογικό παρελθόν. Τα σημαντικότερα γεωδυναμικά φαινόμενα που παρατηρούνται σήμερα στην επιφάνεια της Γης είναι αποτέλεσμα της ενεργού τεκτονικής δράσης που λαμβάνει χώρα σε ορισμένες ζώνες της Γης. Αυτές οι ζώνες χωρίζονται σε δύο συστήματα διάρρηξης (Εικόνα 5) και ορίζουν τα όρια των μεγάλων λιθοσφαιρικών πλακών. Αυτά είναι: το ηπειρωτικό σύστημα διάρρηξης (παχιές γραμμές στην Εικόνα 5) και το σύστημα μεσοωκεάνιων ράχων (στιγμένες γραμμές στο σχήμα 2.4).



Σχήμα 2.4: Τα δυο συστήματα των ζωνών διάρρηξης της Γης.

Η Ελλάδα βρίσκεται στο τμήμα του ηπειρωτικού συστήματος διάρρηξης που χωρίζει την Ευρασιατική λιθосφαιρική πλάκα από Αφρικανική λιθосφαιρική πλάκα.

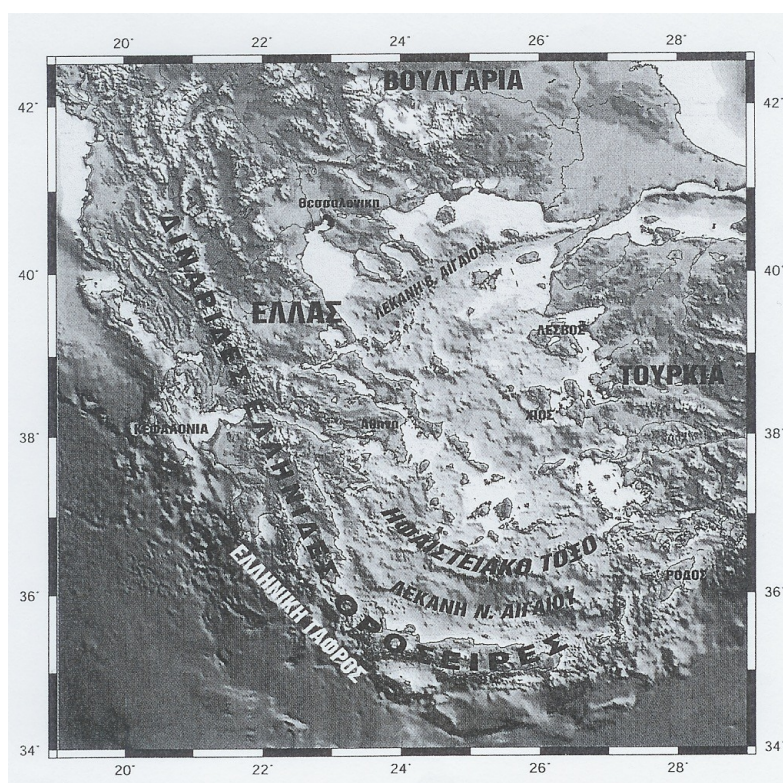
Το ηπειρωτικό σύστημα διάρρηξης αποτελείται από την Ευρασιατική – Μελανησιακή Ζώνη Διάρρηξης (Γιβραλτάρ – Άλπεις – Βαλκάνια – Ιράν – Ιμαλία – Βιρμανία – Ινδονησία) και την Περιερινική Ζώνη Διάρρηξης (οι Περιερινικές παράκτιες περιοχές με εξαίρεση της παράκτιες περιοχές της Βόρειας Αμερικής). Στο σύστημα αυτό βρίσκονται όλες οι νέες οροσειρές, τα νησιωτικά τόξα, τα ανδεσιτικά ηφαίστεια, οι εστίες όλων σχεδόν των σεισμών βάθους ($h > 300\text{km}$) και οι περισσότερες εστίες των επιφανειακών σεισμών. Το σύστημα αυτό αποτελεί περιοχή σύγκλισης των λιθосφαιρικών πλακών και καταστροφής του φλοιού της Γης.

Οι μεσο-ωκεάνιες ράχες είναι ανυψώσεις του ωκεάνιου φλοιού οι οποίες διατρέχουν τον Ατλαντικό ωκεανό από βορρά προς νότο και διασχίζουν τον Ινδικό και τον Ειρηνικό Ωκεανό. Σε μερικές θέσεις τα ύψη αυτών των ράχων (από τον πυθμένα της θάλασσας) είναι μεγαλύτερα από 3000m. Αυτό το σύστημα διάρρηξης διασχίζει και ηπειρωτικές περιοχές, όπως είναι η ανατολική Αφρική και η δυτική βόρεια Αμερική. Στο σύστημα διάρρηξης των μεσοωκεάνιων ράχων συμβαίνουν μόνο επιφανειακοί σεισμοί ($h < 60\text{km}$). Σ' αυτό το σύστημα διάρρηξης πραγματοποιείται απόκλιση λιθосφαιρικών πλακών και γένεση νέου φλοιού. Η Ελλάδα βρίσκεται στην Ευρασιατική – Μελανησιακή ζώνη του ηπειρωτικού συστήματος διάρρηξης και το Ελληνικό τόξο (Ιόνια νησιά – Κρήτη – Ρόδος) είναι

ένα από τα πιο χαρακτηριστικά νησιωτικά τόξα του συστήματος αυτού. Δηλαδή η Ελλάδα βρίσκεται στο όριο σύγκλισης δύο μεγάλων λιθοσφαιρικών πλακών, της Ευρασιατικής και της Αφρικανικής. Αυτός είναι ο κύριος λόγος για τον οποίο η ενεργός τεκτονική είναι υψηλή στην περιοχή της Ελλάδας.

2.5 Τοπογραφικά χαρακτηριστικά της τεκτονικής στην Ελλάδα

Τα πιο ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά τεκτονικής προέλευσης στην περιοχή αυτή είναι η Ελληνική Τάφρος, το Ελληνικό Τόξο και η λεκάνη του βόρειου Αιγαίου. Το σχήμα 2.6 δείχνει την Ελληνική Τάφρο, τον κύριο άξονα της Αλπικής πτύχωσης στην περιοχή της Ελλάδας (Διναρίδες – Ελληνίδες οροσειρές), το ηφαιστειακό τμήμα του Ελληνικού τόξου, τη λεκάνη του νότιου Αιγαίου (Κρητικό πέλαγος) και τη λεκάνη του βορείου Αιγαίου.



Σχήμα 2.6: Κύρια τοπογραφικά χαρακτηριστικά τεκτονικής προέλευσης στην Ελλάδα και τις γύρω περιοχές

Η Ελληνική Τάφρος αποτελείται από σειρά γραμμικών τάφρων μικρότερου μήκους (τάφροι του Πλινίου και του Στράβωνα νοτιοανατολικά της Κρήτης). Αυτή είναι παράλληλη προς το Ελληνικό Τόξο και παρόμοια, ως προς πολλές ιδιότητες, με

τις ωκεάνιες τάφρους που βρίσκονται στα κυρτά μέρη των νησιωτικών τόξων όπου πραγματοποιείται σύγκλιση λιθοσφαιρικών πλακών.

Το Ελληνικό Τόξο αποτελείται από το εξωτερικό ιζηματογενές τόξο, το οποίο συνδέει τις Διναρικές Άλπεις με τις Τουρκικές Ταυρίδες, και το εσωτερικό ηφαιστειακό τόξο, το οποίο είναι παράλληλο προς το ιζηματογενές τόξο και βρίσκεται σε μια μέση απόσταση 120km απ' αυτό (Parazachos and Comninakis 1971). Το ιζηματογενές τόξο (νότια οροσειρά των Ελληνίδων, Ιόνια νησιά, Κρήτη, Κάρπαθος, Ρόδος) αποτελείται από Παλαιοζωικά μέχρι Τριτογενή πετρώματα, ενώ το ηφαιστειακό τόξο από διάφορα ηφαιστειακά νησιά, ενεργά ανδεδιτικά ηφαίστεια (Μέθανα, Σαντορίνη, Νίσυρος), θειονίες και ατμίδες (Σουσάκι, Μήλος, Κως). Μεταξύ του ιζηματογενούς και του ηφαιστειακού τόξου υπάρχει το κρητικό πέλαγος (λεκάνη του Νότιου Αιγαίου) με μέγιστο βάθος θάλασσας περίπου 2000 μέτρα. Το πιο ενδιαφέρον τοπογραφικό χαρακτηριστικό τεκτονικής προέλευσης στο βόρειο Αιγαίο είναι η λεκάνη του βορείου Αιγαίου με μέγιστο βάθος θαλάσσιου πυθμένα περίπου 1500 μέτρα. Συνέχιση της λεκάνης αυτής προς τα ανατολικά αποτελούν οι μικρές λεκάνες της θάλασσας του Μαρμαρά.

3. ΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

3.1 Εισαγωγή

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

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

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

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

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

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

3.2 Βασικές μαγνητικές ιδιότητες

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

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

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

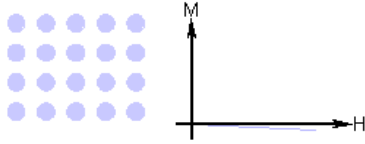
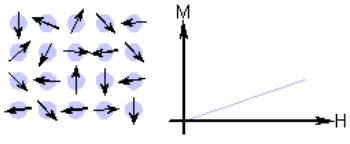
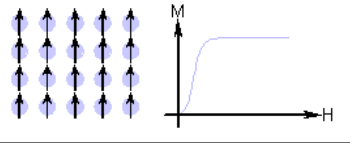
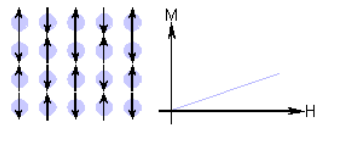
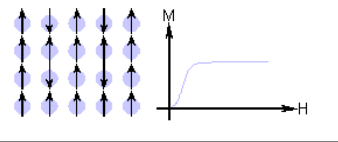
Παραμένουσα μαγνήτιση είναι η ιδιότητα των σιδηρομαγνητικών υλικών να διατηρούν τις μαγνητικές ιδιότητες τους ακόμη και κατά την απουσία εξωτερικού μαγνητικού πεδίου.

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

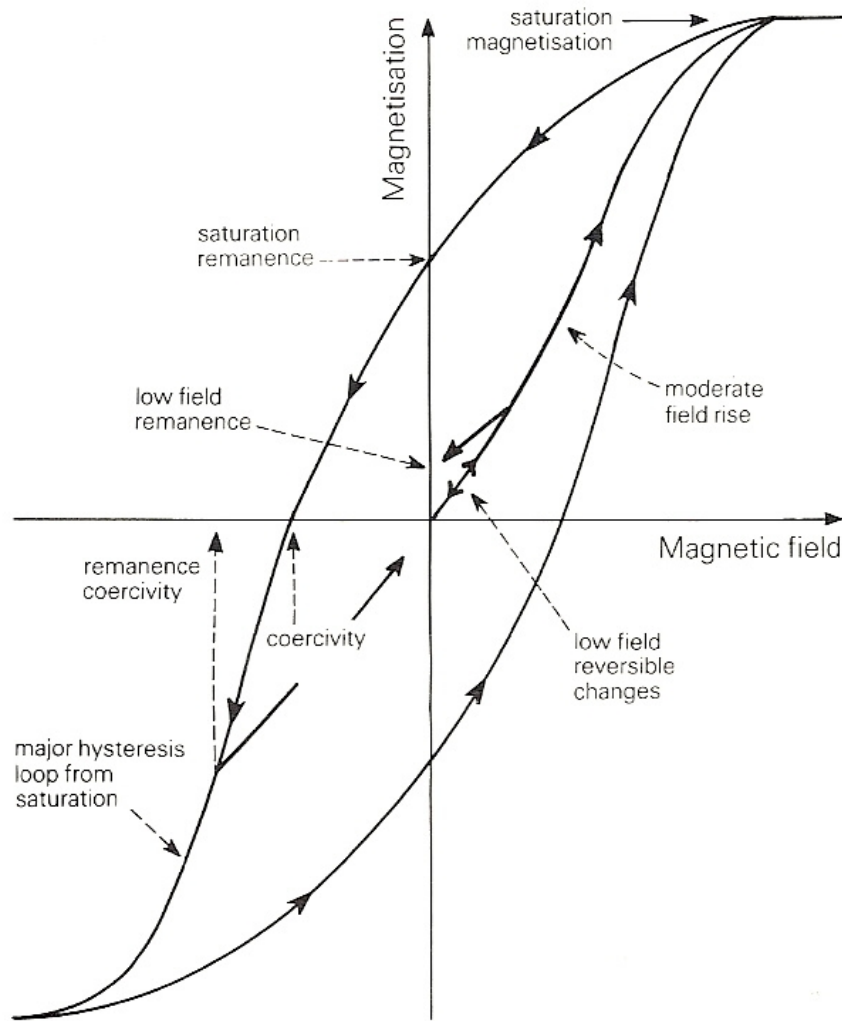
3.3 Μαγνητική υστέρηση

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

Αν θεωρήσουμε μια μη μαγνητισμένη ράβδο, η οποία εισάγεται σε ένα ασθενές μαγνητικό πεδίο, από το σχήμα 3.1 φαίνεται ότι η μαγνήτιση αυξάνει αργά. Όταν παύσει η δράση του μαγνητικού πεδίου, η μαγνήτιση της ράβδου μηδενίζεται. Αν στην συνέχεια εφαρμοστεί ισχυρότερο μαγνητικό πεδίο, η μαγνήτιση της ράβδου δεν είναι πλέον αντιστρεπτή και εμφανίζεται το φαινόμενο της υστέρησης. Εφόσον απομακρυνθεί το μαγνητικό πεδίο η ράβδος σιδήρου διατηρεί 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 3.2 παρουσιάζονται οι μονάδες που χρησιμοποιούνται στον μαγνητισμό και στον πίνακα 3.3 η μαγνήτιση κορεσμού για διάφορα φυσικά υλικά.

Πίνακας 3.2: 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 | $\sigma = M/\rho$ $\text{A m}^2 \text{ kg}^{-1}$ | $\sigma = I/\rho$ $\text{G cm}^3 \text{ g}^{-1}$ | $1 \text{ A m}^2 \text{ kg}^{-1} = 1 \text{ G cm}^3 \text{ g}^{-1}$ |
| | $\rho = \text{density}$ | | |
| 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 3.3: 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 |

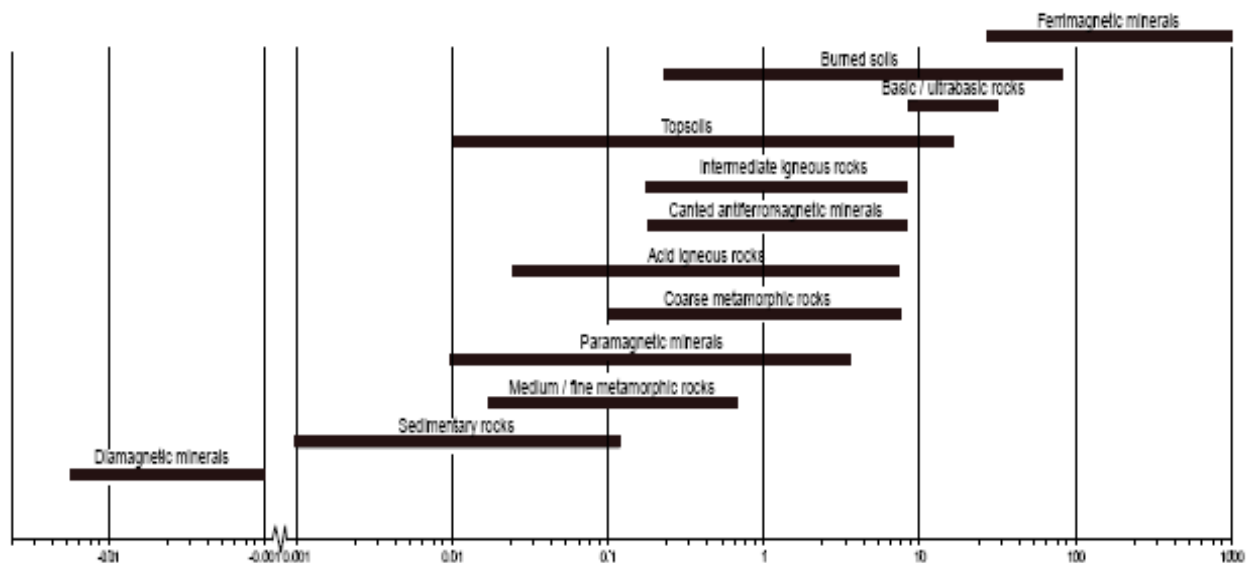
3.4 Μαγνητική επιδεκτικότητα

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 3.4 και 3.5.

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: $k_e = k_i / (1+N^*k_i)$ όπου N^* ο παράγοντας απομαγνήτισης. Για ένα ισχυρό μαγνητικό ορυκτό (μαγνητίτης) $N^*k_i > 1$, 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 3.4: Τιμές της μαγνητικής επιδεκτικότητας για διάφορες κατηγορίες υλικών.



Πίνακας 3.5: 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_8) | $\sim 5 \times 10^3$ | 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.

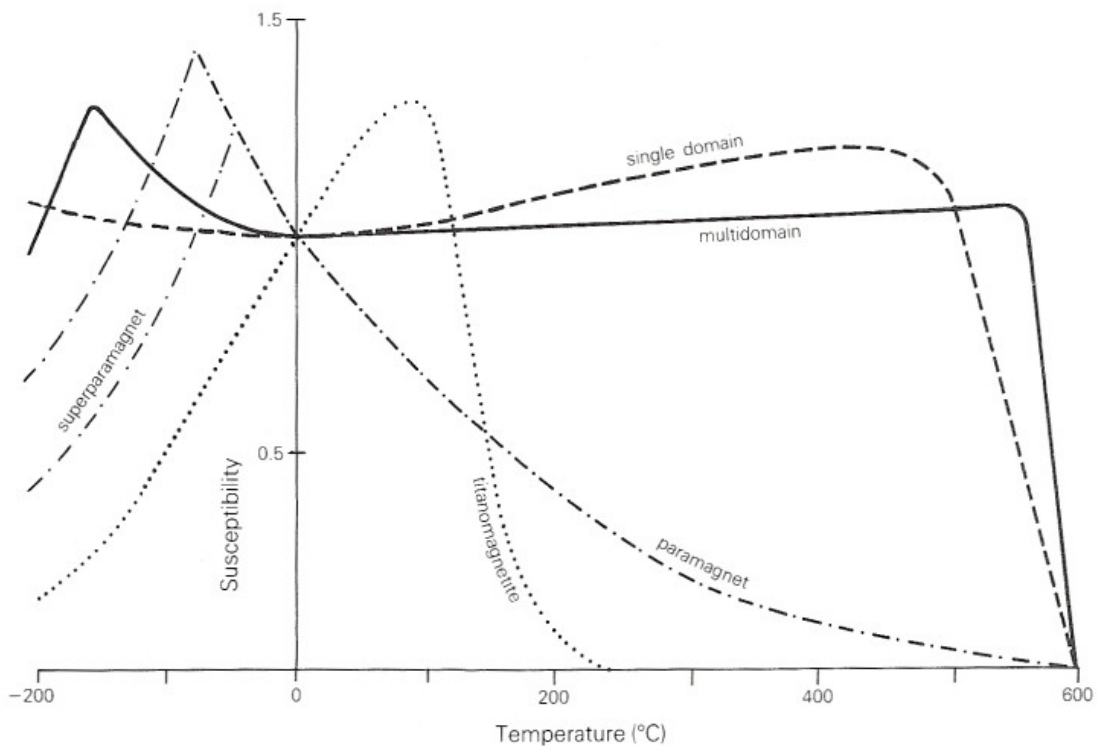
8. Anhyseretic remanent magnetization (ARM). Η παραμένουσα μαγνήτιση που δημιουργείται κατά την ομαλή απομείωση ενός ισχυρού εναλλασσόμενου μαγνητικού πεδίου, παρουσία ενός ασθενούς σταθερού πεδίου.

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 μαγνήτιτη 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 $<20\mu\text{m}$ (διακεκομμένη), μεγάλου μεγέθους κόκκοι $>20\mu\text{m}$ (συμπαγής), υπερ-μαγνητικοί κόκκοι (διακεκομμένη με τελείες) (Thompson and Oldfield 1986).

3.6 Σχέση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με την συχνότητα

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

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

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

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

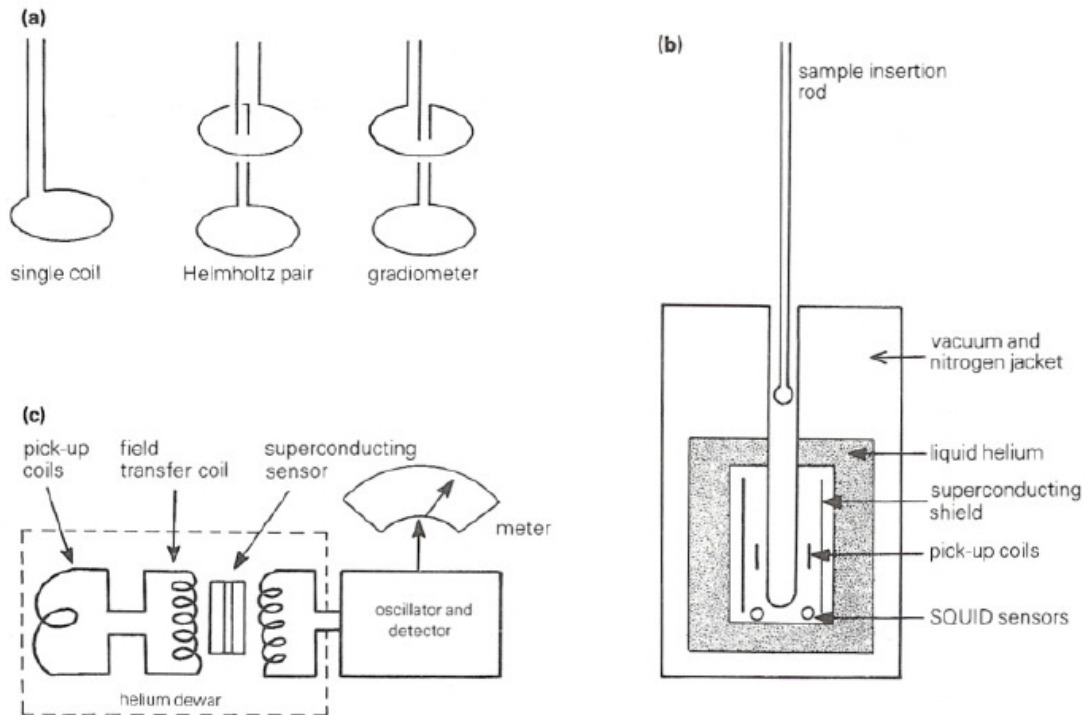
Με προσεκτική επιλογή της συχνότητας είναι δυνατόν να διερευνηθεί το φάσμα της επιδεκτικότητας, κάνοντας απλά και μόνο δύο μετρήσεις. Το όργανο της Bartington, που χρησιμοποιήθηκε και στην συγκεκριμένη περίπτωση μετράει σε συχνότητες 1 και 10KHz και σε μια μέγιστη ένταση εναλλασσόμενου μαγνητικού πεδίου 3×10^{-4} T (30e). 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 ίζημάτων.

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

**Specification - MS2B Sensor**

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



Specification - MS2C Sensor

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



Specification - MS2D probe

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



Specification - MS2E Sensor

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

**Specification - MS2F probe**

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



Specification - MS2G Sensor

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

**Specification - MS2K Probe**

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

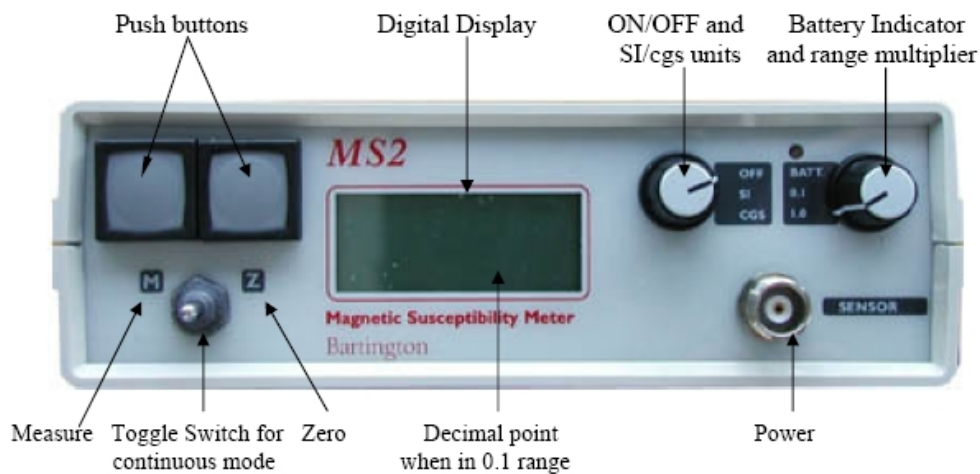
**Specification - MS2 Probe Handle**

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



Διαδικασία μέτρησης μαγνητικής επιδεκτικότητας δειγμάτων (Σχήμα 3.5)

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



Σχήμα 3.5 Πρόσωση του μετρητικού συστήματος MS2 του οίκου Bartington.

3.9 Σχέση μαγνητικών ορυκτών και βαρέων μετάλλων

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

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

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

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

Οι Lecoanet et al. (2003) μελέτησαν δείγματα εδάφους από μια περιοχή της νότιας Γαλλίας η οποία περικλείει αυτοκινητόδρομο, αεροδρόμιο και βιομηχανίες σιδήρου και χάλυβα με στόχο να καθορίσουν τους συνδυασμούς των μαγνητικών παραμέτρων που απαιτούνταν για τον χαρακτηρισμό τους. Για την ακρίβεια μελέτησαν τις σχέσεις SIRM-χ, IRM_{200mT}/SIRM-IRM_{20mT}/SIRM και ARM_{40mT}/SARM-χ και κατάφεραν να καθορίσουν τις πηγές ρύπανσης αλλά και να παρακολουθήσουν την μεταβολή της μαγνητικής επιδεκτικότητας με το βάθος.

Οι Boyko et al. (2004) προσπάθησαν να παρακολουθήσουν την χρονική μεταβολή της μαγνητικής επιδεκτικότητας σε ένα κάναβο 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 CO₂ και NH⁴⁺. Η ουρία σχηματίζεται από την αποδόμηση των ουρεϊδίων, αζωτούχων ενώσεων που είναι προϊόντα της ενσωμάτωσης του αζώτου στα φυμάτια των ριζών των ψυχανθών και της αποδόμησης των πουρινών. Η έλλειψη Ni προκαλεί τη συσσώρευση ουρίας, η οποία είναι τοξική για το φυτό. Επίσης, έλλειψη Ni στους σπόρους των δημητριακών μειώνει τη βιωσιμότητα και τη βλάστησή τους (Brady, *et al*, 1999).

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

Ο σίδηρος είναι το κύριο στοιχείο στο μεταβολισμό και σε πολλές κυτταρικές διεργασίες. Επίσης, τα αρχικά στάδια της σύνθεσης πυρολίου απαιτούν Fe²⁺ για την

αντίδραση. Η συγκέντρωση Fe στα φύλλα είναι μεγάλη τόσο στα πράσινα, όσο και στα χλωρωτικά φύλλα. Μικρό μέρος του Fe είναι μεταβολικά ενεργό (Θερίος, 1996).

Χαλκός (Cu): Ο Cu αποτελεί συστατικό της πλαστοκυανίνης, μιας πρωτεΐνης που παίρνει μέρος στους χλωροπλάστες στη μεταφορά ηλεκτρονίων μεταξύ των δύο φωτοχημικών συστημάτων που εμπλέκονται στη φωτοσύνθεση. Επίσης, εμπλέκεται στο σχηματισμό των νουκλεϊνικών οξέων και στο μεταβολισμό των γλυκιδίων, των πρωτεϊνών και των λιπιδίων (Τσικαλάς, 2003).

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

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

Έχει αποδειχθεί ότι η βιολογική διαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων στο έδαφος εξαρτάται από τη χημική τους σχέση και τη διαλυτότητα συγκεκριμένων ανόργανων ουσιών που υπάρχουν (Kambata – 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 κολοκυθίου κατά 50-60 %, ενώ η εφαρμογή 50 M Cu κατά 30%. Παρ' όλα αυτά, η φωτοσυνθετική αναλογία και η αγωγιμότητα των στοματίων στα φύλλα σε 50 μM Cu ή Cd μειώνεται επίσης κατά 50-60 %, ενώ ο Cu εμφανίζεται

τοξικότερος σε σχέση με το Cd και τον Pb για τη φωτοσύνθεση στα φύλλα των φυτών κολοκυθιάς (Burzyski, *et al*, 2004).

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

3.11 Ο ρόλος και η επίδραση των βαρέων μετάλλων στον άνθρωπο

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

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

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

Ψευδάργυρος (Zn): Συμμετέχει στην ανάπτυξη, στις ορμονικές λειτουργίες, στη διαδικασία της αναπαραγωγής και στην καλή λειτουργία του ανοσοποιητικού συστήματος. Η ανεπάρκειά του μειώνει την αντίσταση του οργανισμού στις μικροβιακές και ιογενείς λοιμώξεις. Συμπτώματα έλλειψής του μπορεί να είναι:

μειωμένη όρεξη, υψηλές τιμές της ολικής και της LDL χοληστερίνης στο αίμα και χαμηλές τιμές της HDL χοληστερίνης. Για το λόγο αυτό η ανεπάρκεια ψευδαργύρου αυξάνει τον κίνδυνο καρδιαγγειακών παθήσεων. Έχει επίσης αποδειχθεί ότι επιδρά στη ρύθμιση των επιπέδων σακχάρου στο αίμα, γι' αυτό και οι ομοιοπαθητικοί γιατροί το χρησιμοποιούν σε προδιαβητικές καταστάσεις (Παπαγεωργίου Μελομένη, 1998).

Τοξικά βαρέα μέταλλα, όπως ο μόλυβδος (Pb), το κάδμιο (Cd), ο υδράργυρος (Hg) και το αρσενικό (As) υπάρχουν παντού στο περιβάλλον. Ο άνθρωπος εκτίθεται σε αυτά τα μέταλλα από διάφορες πηγές, στις οποίες συμπεριλαμβάνονται ο αέρας, το νερό, το έδαφος και η τροφή. Πρόσφατες μελέτες δείχνουν ότι τα μεταβατικά στοιχεία δρουν καταλυτικά στις οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις των βιολογικών μακρομορίων, συνεπώς οι τοξικότητες που συνδέονται με αυτά τα μέταλλα ίσως να προέρχονται από οξειδωτική καταστροφή των ανθρώπινων ιστών. Τα οξειδοαναγωγικά μέταλλα, όπως ο σίδηρος (Fe), ο χαλκός (Cu) και το χρώμιο (Cr) υφίστανται οξειδοαναγωγή, επειδή τα μη οξειδοαναγωγικά μέταλλα όπως ο μόλυβδος (Pb), το κάδμιο (Cd), ο υδράργυρος (Hg) κ.α., μειώνουν τη δράση των αντιοξειδωτικών που βρίσκονται στα κύτταρα, καθώς επίσης και των ενζύμων. Τα κύτταρα υπό την επίδραση οξειδωτικού στρες εμφανίζουν διάφορες δυσλειτουργίες, λόγω κακώσεων που οφείλονται στην επίδραση των χημικών ενώσεων 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. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 Περιγραφή της μεθοδολογίας εκπόνησης της παρούσας εργασίας

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε ως εξής:

1. Αναζήτηση βιβλιογραφίας που να σχετίζεται με χαρτογράφηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας.
2. Επιλογή της περιοχής έρευνας (στην παρούσα περίπτωση είναι 4 περιοχές της Ρόδου, από τις οποίες πάρθηκαν δείγματα εδάφους (Πίνακας 4.1).
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.

Πίνακας 4.1: Περιγραφή περιοχών λήψης δειγμάτων εδάφους

| α/α | Περιγραφή περιοχής και δυνητικών ρυπογόνων εγκαταστάσεων |
|-----------|---|
| Περιοχή 1 | Από την Κρεμαστή έως Σορωνή που υπάρχουν: ο βιολογικός καθαρισμός, το αεροδρόμιο και το εργοστάσιο της ΔΕΗ. |
| Περιοχή 2 | Περιοχή Μαρितσάς που υπάρχει το εργοστάσιο της Coca Cola |
| Περιοχή 3 | Κρεμαστή που υπάρχει εργοστάσιο παρασκευής τσιμεντόλιθων και οικοδομικών υλικών |
| Περιοχή 4 | Παστίδα που υπάρχουν εγκαταστάσεις ΧΥΤΑ και εργοστάσιο παρασκευής τσιμέντου |

Οι περιοχές στις οποίες συναντήθηκαν δυσκολίες ως προς τις μετρήσεις ήταν σχεδόν όλες. Στο αεροδρόμιο η πρόσβαση ήταν σχεδόν αδύνατη παρά μόνο περιμετρικά αυτού. Στο εργοστάσιο της ΔΕΗ η πρόσβαση και πάλι ήταν περιορισμένη. Ο χώρος φυλάσσεται σε μεγάλη ακτίνα. Στην περιοχή στην οποία βρίσκεται ο χώρος επεξεργασίας των αστικών λυμάτων (βιολογικός καθαρισμός) ήταν επίσης αδύνατη η πρόσβαση. Έτσι οι μετρήσεις έγιναν σε περιοχή σε μικρή σχετικά απόσταση, έξω από τις εγκαταστάσεις.

4.2 Παρουσίαση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων

Περιοχή 1: Κρεμαστή έως Σορωνή

Η διαδρομή παρουσιάζεται στο σχήμα 4.1. Οι μετρήσεις καλύπτουν περιοχή 17 χιλιομέτρων σε ευθεία διαδρομή με πιθανές περιοχές ρύπανσης α) το βιολογικό καθαρισμό της Κρεμαστής (σχ. 4.2, 4.3) β) το αεροδρόμιο Ρόδου (σχ. 4.4, 4.5) και γ) το εργοστάσιο της ΔΕΗ (4.6α). Στο σχήμα 4.6β παρουσιάζεται ο γεωλογικός χάρτης που δείχνει τους σχηματισμούς που καλύπτουν τις περιοχές όπου έγιναν δειγματοληψίες. Στην περιοχή 1 συναντώνται σχεδόν στο σύνολο προσχωσιγενείς αποθέσεις από ασύνδετα αργιλοαμμώδη υλικά, χαλίκια και κροκάλες. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων μαγνητικής επιδεκτικότητας παρουσιάζονται στον πίνακα 4.2. Το γράφημα 4.7 παρουσιάζει την κατανομή της μαγνητικής επιδεκτικότητας μετρημένη σε χαμηλή συχνότητα. Οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 100 και 200 SI units. Ο γεωλογικός σχηματισμός που καλύπτει την περιοχή δεν δικαιολογεί τόσο υψηλές τιμές, γεγονός που παραπέμπει στην αναζήτηση πηγών ρύπανσης. Τέτοιες πηγές μπορεί να είναι ο βιολογικός καθαρισμός, το αεροδρόμιο και το εργοστάσιο της ΔΕΗ. Η περιοχή που παρουσιάζουν κάποιο ενδιαφέρον για περαιτέρω έρευνα είναι η περιοχή περιμετρικά του βιολογικού καθαρισμού αλλά και του αεροδρομίου. Παραδόξως η περιοχή του εργοστασίου της ΔΕΗ φαίνεται να είναι καθαρή. Το σχήμα 4.8 παρουσιάζει την κατανομή της μαγνητικής επιδεκτικότητας μετρημένη σε υψηλή συχνότητα, η οποία δείχνει την ίδια διακύμανση με την αντίστοιχη της χαμηλής συχνότητας. Επομένως αναμένεται ο συσχετισμός (σχ. 4.9) των δύο συνιστωσών της επιδεκτικότητας να είναι πολύ υψηλός.

Ως βλαβερά συστατικά των αποβλήτων θεωρούνται τα ογκώδη στερεά αντικείμενα, η άμμος, τα μικρού μεγέθους στερεά που αιωρούνται στη μάζα των αποβλήτων (αιωρούμενα στερεά), τα οργανικά-φυσικά συστατικά (π.χ. υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λίπη), οι παθογόνοι μικροοργανισμοί και τα θρεπτικά στοιχεία (P,N).

Η δίχως επεξεργασία διοχέτευση των αποβλήτων σε έναν υδάτινο αποδέκτη, δημιουργεί διάφορα προβλήματα. Έτσι τα ογκώδη στερεά, η άμμος και τα αιωρούμενα στερεά προκαλούν περισσότερο αισθητική δυσαρέσκεια παρά ουσιαστική ρύπανση του υδάτινου φορέα. Οι παθογόνοι μικροοργανισμοί είναι υπεύθυνοι για τη μετάδοση ασθενειών στον άνθρωπο και σε άλλους οργανισμούς. Η παρουσία τους διαπιστώνεται από τα αποτελέσματα που επιφέρουν στον άνθρωπο,

όπως π.χ. δερματικές και άλλες μολύνσεις. Αυτοί χρησιμοποιούνται συχνά ως το βασικότερο κριτήριο για την ακαταλληλότητα ή όχι μιας ακτής για κολύμβηση. Τα οργανικά συστατικά, το άζωτο και ο φώσφορος, είναι τα περισσότερο υπεύθυνα για τις δυσάρεστες καταστάσεις ρύπανσης. Κι αυτό γιατί κάθε υδάτινος φορέας, αλλά και τα ίδια τα απόβλητα, περιέχουν μικροοργανισμούς που καταναλώνουν τα οργανικά συστατικά των αποβλήτων, καθώς και το άζωτο και το φώσφορο, για να τραφούν και να πολλαπλασιαστούν, καταναλώνοντας παράλληλα το οξυγόνο (αναπνέοντας), που βρίσκεται διαλυμένο στο νερό του φορέα μέχρι να τα εξαφανίσουν τελείως. Το άζωτο και ο φώσφορος μπορεί να δημιουργήσουν το λεγόμενο φαινόμενο του ευτροφισμού, που εκδηλώνεται με την υπερβολική ανάπτυξη των φυκιών στον υδάτινο φορέα.



Σχήμα 4.1. Απεικόνιση της περιοχής μελέτης από Κρεμαστή έως Σορωνή (πηγή goggle earth)



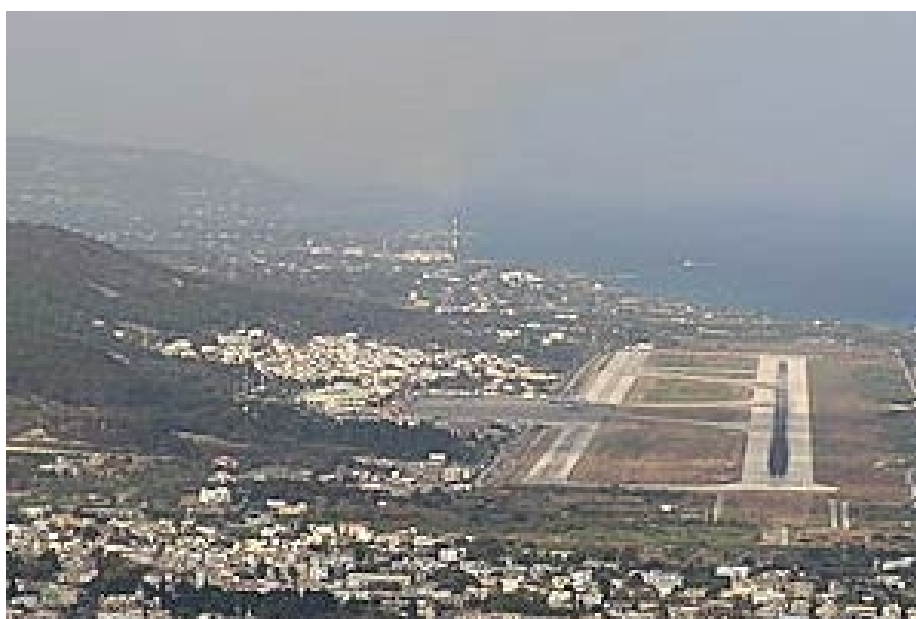
Σχήμα 4.2: Βιολογικός καθαρισμός (πηγή goggle earth)



Σχήμα 4.3: Βιολογικός Κρεμαστής (πηγή www.dimospetaloudon.gr)



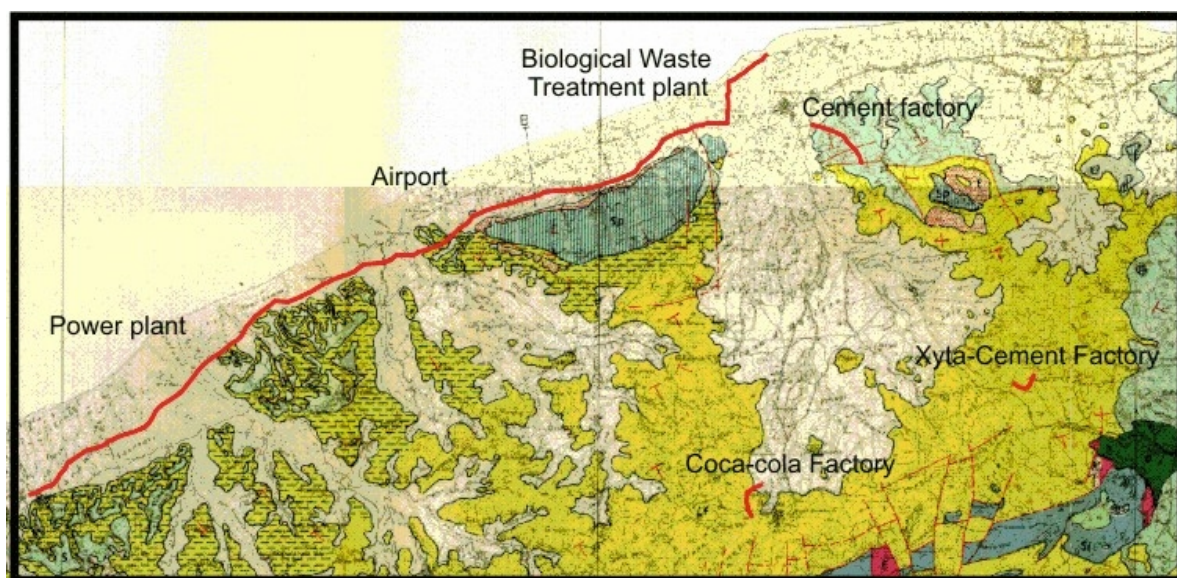
Σχήμα 4.4: Αεροδρόμιο Ρόδου (πηγή goggle earth)



Σχήμα 4.5: Αεροδρόμιο Ρόδου (πηγή www.dimospetaloudon.gr)



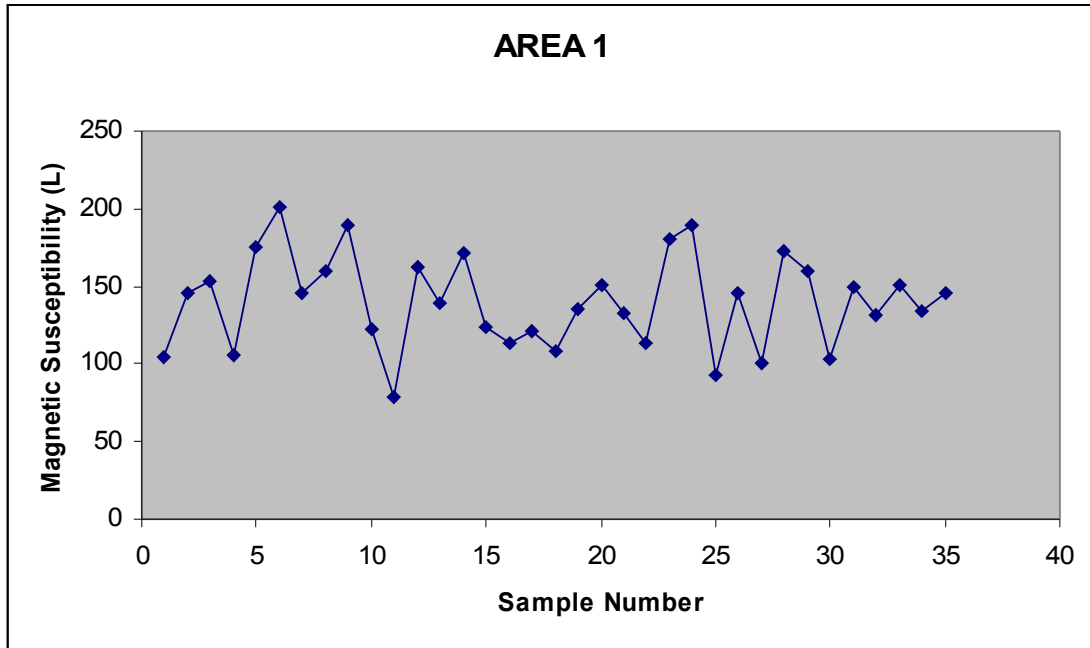
Σχήμα 4.6α: Το εργοστάσιο της ΔΕΗ (πηγή goggle earth)



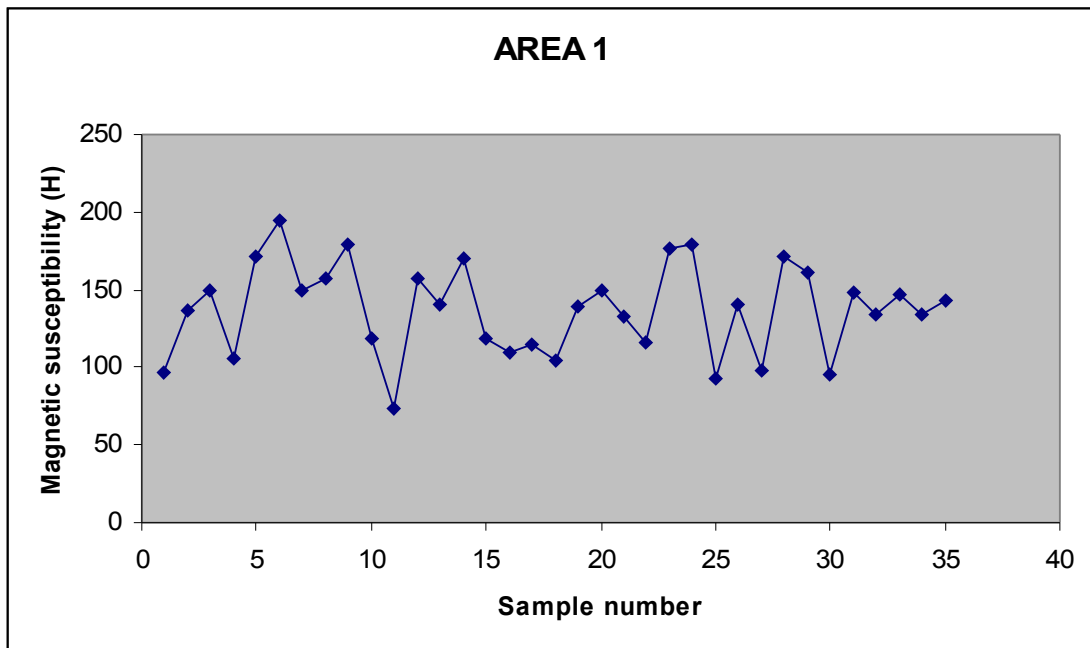
Σχήμα 4.6β: Ο γεωλογικός χάρτης με τις διαδρομές (έκδοση Ι.Γ.Μ.Ε.)

Πίνακας 4.2: Αποτελέσματα μετρήσεων δειγμάτων εδάφους περιοχής 1

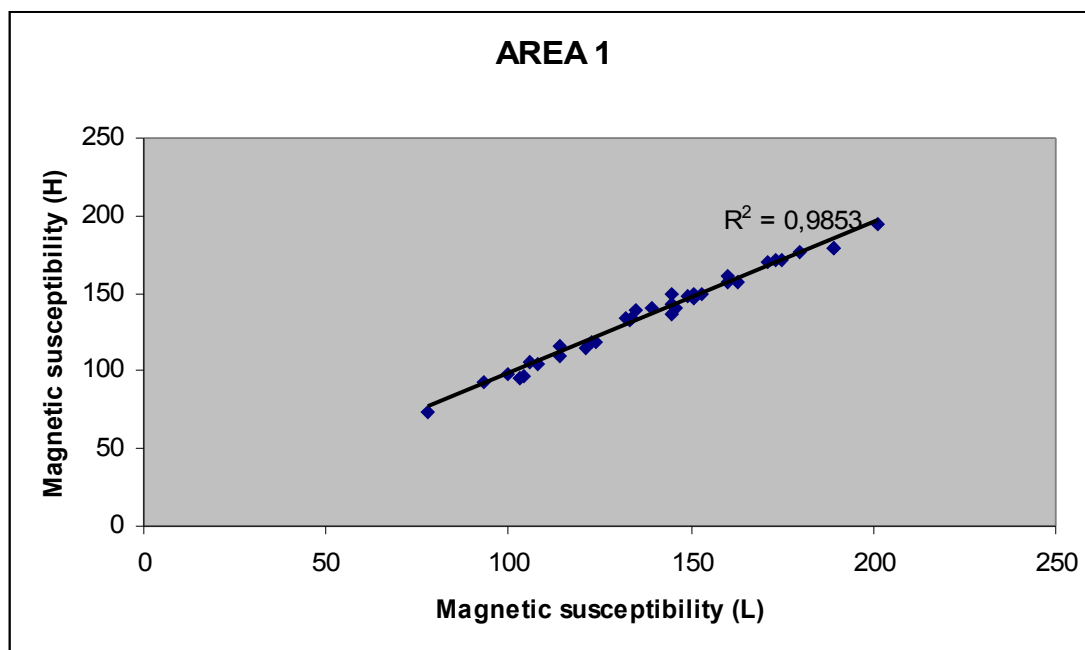
| Κωδικός | Περιγραφή περιοχής | Low Frequency of 10gr | High Frequency of 10gr |
|---------|--------------------------------------|-----------------------|------------------------|
| P1 | Αρχικό σημείο | 104 | 97 |
| P2 | Παραλία Κρεμαστής | 145 | 137 |
| P3 | Παραλία Κρεμαστής | 153 | 150 |
| P4 | Παραλία Κρεμαστής | 106 | 106 |
| P5 | Λίγο πριν το βιολογικό | 175 | 172 |
| P6 | Έξω από το βιολογικό | 201 | 195 |
| P7 | Μετά το βιολογικό | 145 | 149 |
| P8 | Οδικό δίκτυο | 160 | 157 |
| P9 | Οδικό δίκτυο | 189 | 179 |
| P10 | Οδικό δίκτυο - περίφραξη αεροδρομίου | 123 | 119 |
| P11 | Οδικό δίκτυο - περίφραξη αεροδρομίου | 78 | 74 |
| P12 | Οδικό δίκτυο - περίφραξη αεροδρομίου | 163 | 157 |
| P13 | Οδικό δίκτυο - περίφραξη αεροδρομίου | 139 | 141 |
| P14 | Οδικό δίκτυο - περίφραξη αεροδρομίου | 171 | 170 |
| P15 | Οδικό δίκτυο - περίφραξη αεροδρομίου | 124 | 119 |
| P16 | Οδικό δίκτυο - περίφραξη αεροδρομίου | 114 | 110 |
| P17 | Οδικό δίκτυο - περίφραξη αεροδρομίου | 121 | 115 |
| P18 | Οδικό δίκτυο | 108 | 105 |
| P19 | Οδικό δίκτυο | 135 | 139 |
| P20 | Οδικό δίκτυο | 151 | 149 |
| P21 | Οδικό δίκτυο | 133 | 133 |
| P22 | Οδικό δίκτυο | 114 | 116 |
| P23 | Οδικό δίκτυο | 180 | 177 |
| P24 | Οδικό δίκτυο | 189 | 179 |
| P25 | Οδικό δίκτυο | 93 | 93 |
| P26 | Οδικό δίκτυο | 146 | 140 |
| P27 | Έξω από το εργοστάσιο της ΔΕΗ | 100 | 98 |
| P28 | Περιμετρικά του εργοστασίου | 173 | 172 |
| P29 | Περιμετρικά του εργοστασίου | 160 | 161 |
| P30 | Περιμετρικά του εργοστασίου | 103 | 95 |
| P31 | Περιμετρικά του εργοστασίου | 149 | 148 |
| P32 | Περιμετρικά του εργοστασίου | 132 | 134 |
| P33 | Περιμετρικά του εργοστασίου | 151 | 147 |
| P34 | Οδικό δίκτυο | 134 | 134 |
| P35 | Οδικό δίκτυο | 145 | 143 |



Σχήμα 4.7: Κατανομή μαγνητικής επιδεκτικότητας (SI units) εδαφικού υλικού, μετρημένη σε χαμηλή συχνότητα στην περιοχή 1



Σχήμα 4.8: Κατανομή μαγνητικής επιδεκτικότητας(SI units) εδαφικού υλικού, μετρημένη σε υψηλή συχνότητα στην περιοχή 1



Σχήμα 4.9 : Συσχετισμός της μαγνητικής επιδεκτικότητας(SI units) εδαφικού υλικού, μετρημένη σε χαμηλή και υψηλή συχνότητα στην περιοχή 1

Περιοχή 2: Μαρितσά

Στο σχήμα 4.10 παρουσιάζεται η περιοχή στην οποία βρίσκεται το εργοστάσιο εμφιάλωσης και επεξεργασίας της Coca Cola στην Ρόδο. Τα δείγματα πάρθηκαν περιμετρικά του εργοστασίου. Η περιοχή δομείται από ποταμοχειμάρριο κροκαλοπαγές, χαλίκια, άμμους και μάργες (σχ. 4.6β). Στον πίνακα 4.3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων της μαγνητικής επιδεκτικότητας.



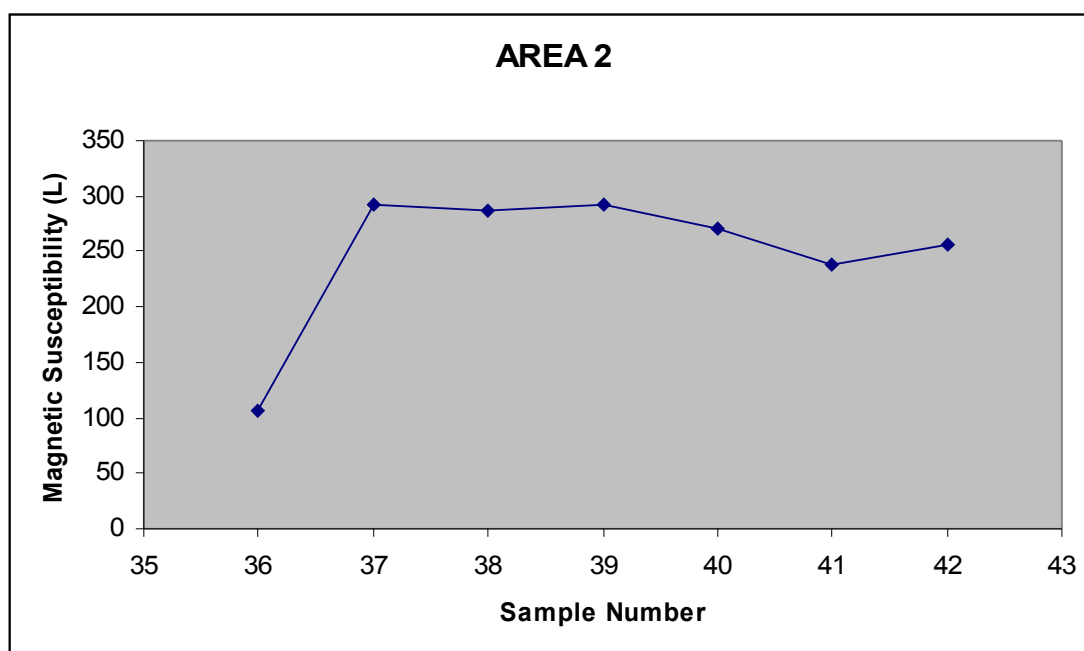
Σχήμα 4.10. Εργοστάσιο Coca cola (πηγή goggle earth (πηγή goggle earth))

Πίνακας 4.3: Αποτελέσματα μετρήσεων δειγμάτων εδάφους περιοχής 2

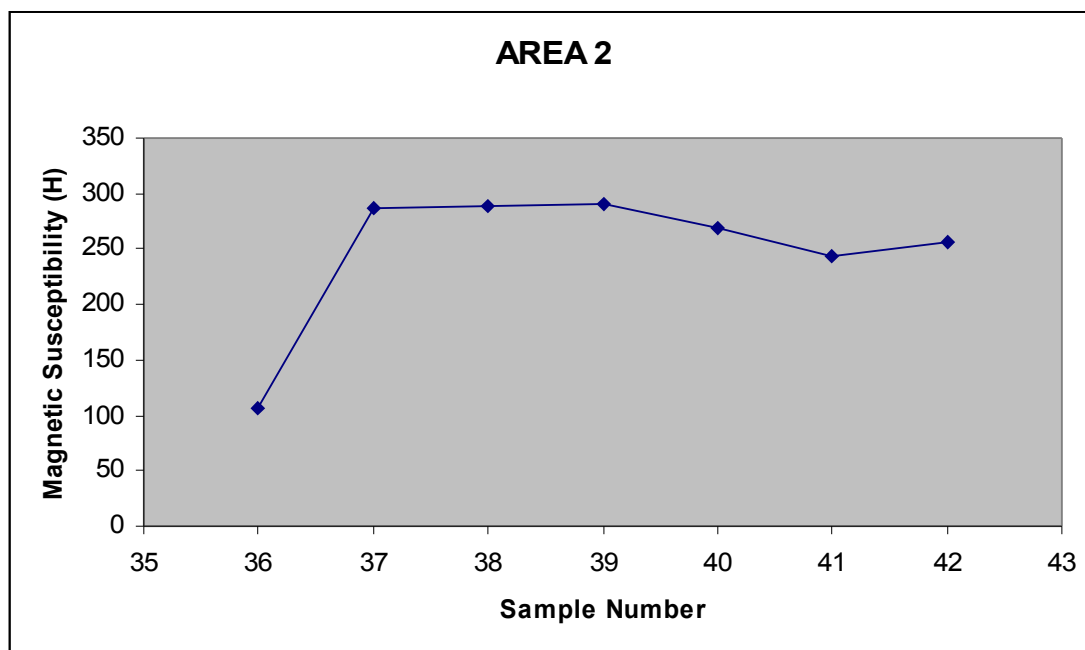
| Κωδικός | Low Frequency of 10gr | High Frequency of 10gr |
|---------|-----------------------|------------------------|
| P36 | 107 | 107 |
| P37 | 293 | 286 |
| P38 | 287 | 288 |
| P39 | 292 | 290 |
| P40 | 271 | 269 |
| P41 | 239 | 244 |
| P42 | 257 | 256 |

Το γράφημα 4.11 παρουσιάζει την κατανομή της μαγνητικής επιδεκτικότητας μετρημένη σε χαμηλή συχνότητα. Οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 100 και 300 SI units. Ο γεωλογικός σχηματισμός που καλύπτει την περιοχή δεν δικαιολογεί τόσο υψηλές τιμές, γεγονός που προβληματίζει και οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το εργοστάσιο Coca Cola πιθανόν να αποτελεί πηγή ρύπανσης.

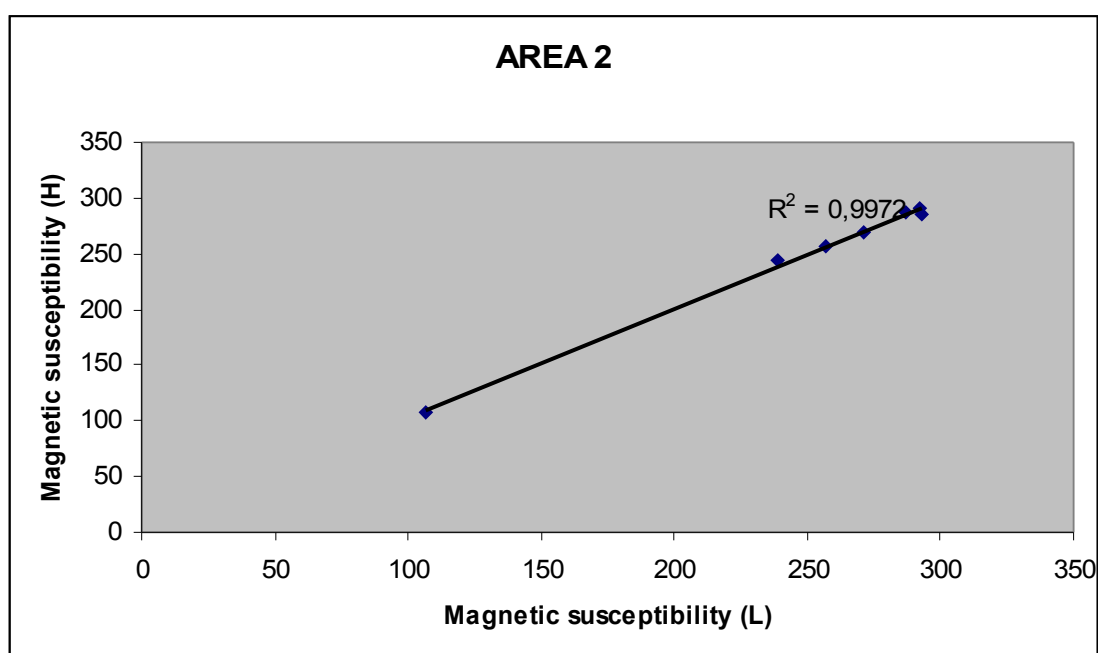
Το σχήμα 4.12 παρουσιάζει την κατανομή της μαγνητικής επιδεκτικότητας μετρημένη σε υψηλή συχνότητα, η οποία παρουσιάζει την ίδια διακύμανση με την αντίστοιχη της χαμηλής συχνότητας αλλά σε ελαφρώς χαμηλότερο εύρος. Επομένως αναμένεται ο συσχετισμός (σχ. 4.13) των δύο συνιστωσών της επιδεκτικότητας να είναι πολύ υψηλός.



Σχήμα 4.11: Κατανομή μαγνητικής επιδεκτικότητας (SI units) εδαφικού υλικού, μετρημένη σε χαμηλή συχνότητα στην περιοχή 2



Σχήμα 4.12: Κατανομή μαγνητικής επιδεκτικότητας (SI units) εδαφικού υλικού, μετρημένη σε υψηλή συχνότητα στην περιοχή 2



Σχήμα 4.13 : Συσχετισμός της μαγνητικής επιδεκτικότητας(SI units) εδαφικού υλικού, μετρημένη σε χαμηλή και υψηλή συχνότητα στην περιοχή 2

Περιοχή 3: Κρεμαστή

Στο σχήμα 4.14 παρουσιάζεται η περιοχή στην οποία βρίσκεται το εργοστάσιο κατασκευής τσιμεντόλιθων στην περιοχή τις Κρεμαστής. Τα δείγματα πάρθηκαν κατά μήκος του εργοστασίου. Η περιοχή δομείται από πρασινόγκριζες μάργες, άμμους και χαλίκια, ελαφρά τσιμεντοποιημένα. (σχ. 4.6β). Στον πίνακα 4.4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων της μαγνητικής επιδεκτικότητας.

Το γράφημα 4.15 παρουσιάζει την κατανομή της μαγνητικής επιδεκτικότητας μετρημένη σε χαμηλή συχνότητα. Οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 85 και 150 SI units. Ο γεωλογικός σχηματισμός των μαργών που καλύπτει την περιοχή δεν δικαιολογεί τόσο υψηλές τιμές. Πιθανότατα τα χαλίκια όμως να παρουσιάζουν αυτό το εύρος. Πάντως οι τιμές της μαγνητικής επιδεκτικότητας παρουσιάζουν αυξητική τάση για τα δείγματα κοντά στο εργοστάσιο.

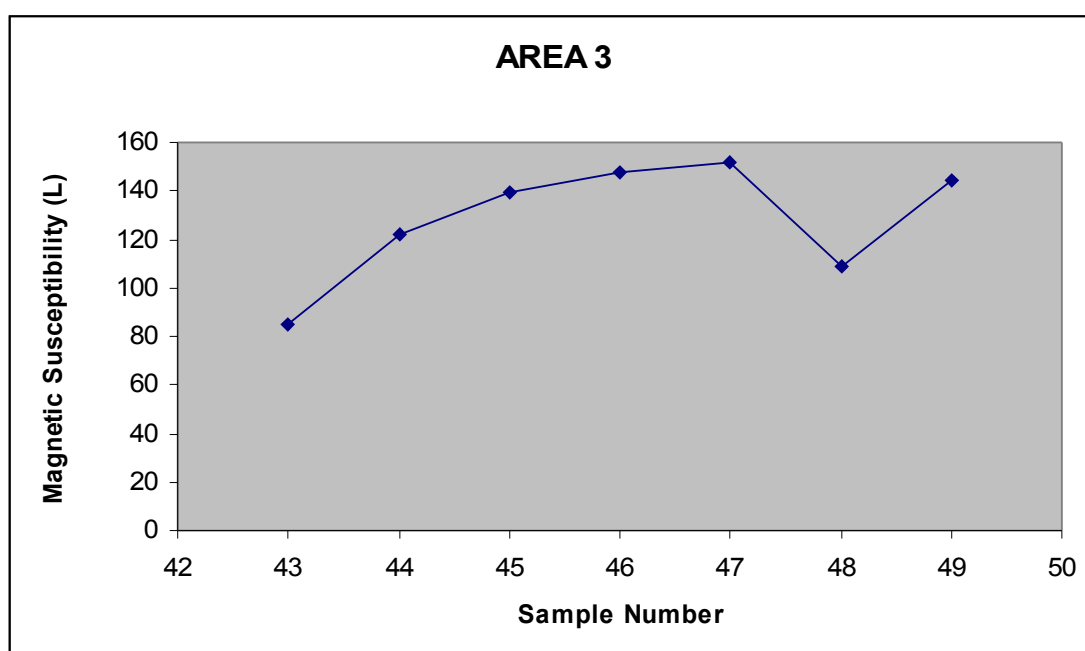
Το σχήμα 4.16 παρουσιάζει την κατανομή της μαγνητικής επιδεκτικότητας μετρημένη σε υψηλή συχνότητα, η οποία παρουσιάζει την ίδια διακύμανση με την αντίστοιχη της χαμηλής. Ο συσχετισμός (σχ. 4.17) των δύο συνιστωσών της επιδεκτικότητας είναι περίπου 0,83, σχετικά χαμηλότερος σε σύγκριση με τις άλλες περιοχές.



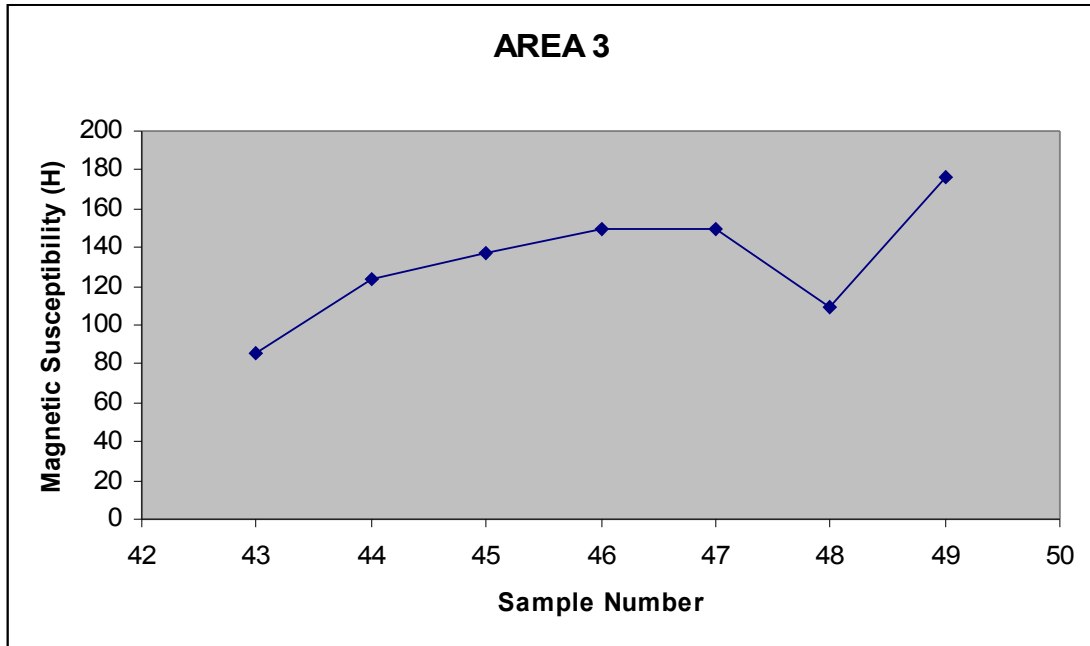
Σχήμα 4.14: Εργοστάσιο παραγωγής τσιμεντόλιθων ((πηγή google earth)

Πίνακας 4.4: Αποτελέσματα μετρήσεων δειγμάτων εδάφους περιοχής 3

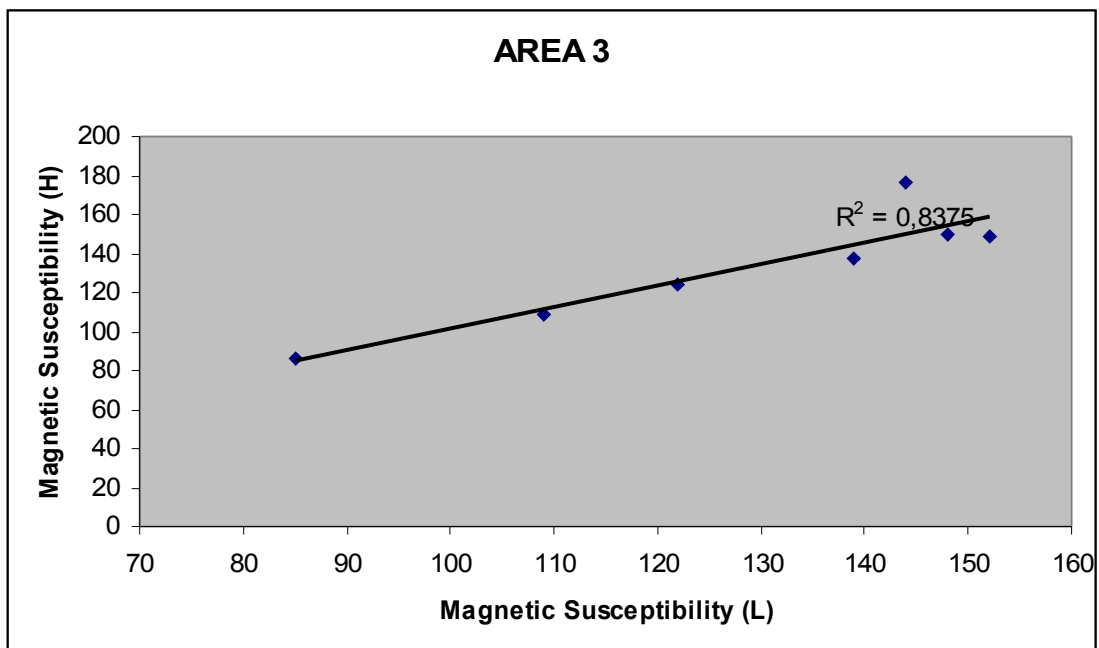
| Κωδικός | Low Frequency of 10gr | High Frequency of 10gr |
|---------|-----------------------|------------------------|
| P43 | 85 | 86 |
| P44 | 122 | 124 |
| P45 | 139 | 137 |
| P46 | 148 | 150 |
| P47 | 152 | 149 |
| P48 | 109 | 109 |
| P49 | 144 | 176 |



Σχήμα 4.15: Κατανομή μαγνητικής επιδεκτικότητας (SI units) εδαφικού υλικού, μετρημένη σε χαμηλή συχνότητα στην περιοχή 3



Σχήμα 4.16: Κατανομή μαγνητικής επιδεκτικότητας (SI units) εδαφικού υλικού, μετρημένη σε υψηλή συχνότητα στην περιοχή 3



Σχήμα 4.17 : Συσχετισμός της μαγνητικής επιδεκτικότητας (SI units) εδαφικού υλικού, μετρημένη σε χαμηλή και υψηλή συχνότητα στην περιοχή 3

Περιοχή 4: Παστίδα

Στο σχήμα 4.18 παρουσιάζεται η περιοχή στην οποία βρίσκονται οι εγκαταστάσεις ασφαλούς διάθεσης αστικών στερεών αποβλήτων (απορρίμματα) Ρόδου (Χώρος Υγειονομικής Ταφής) και μια τσιμεντοβιομηχανία. Τα δείγματα πάρθηκαν μόνο όπου υπήρχε πρόσβαση. Η περιοχή δομείται από ποταμοχειμάρριο κροκαλοπαγές, χαλίκια, άμμους και μάργες (σχ. 4.6β). Στον πίνακα 4.5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων της μαγνητικής επιδεκτικότητας.

Το γράφημα 4.19 παρουσιάζει την κατανομή της μαγνητικής επιδεκτικότητας μετρημένη σε χαμηλή συχνότητα. Οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 116 και 652 SI units. Ο γεωλογικός σχηματισμός των που καλύπτει την περιοχή δεν δικαιολογεί τόσο υψηλές τιμές. Η διακύμανση των τιμών είναι εξαιρετικά ανώμαλη γεγονός που προβληματίζει.

Το σχήμα 4.20 παρουσιάζει την κατανομή της μαγνητικής επιδεκτικότητας μετρημένη σε υψηλή συχνότητα, η οποία παρουσιάζει την ίδια διακύμανση με την αντίστοιχη της χαμηλής συχνότητας αλλά σε ελαφρώς χαμηλότερο εύρος. Επομένως αναμένεται ο συσχετισμός (σχ. 4.21) των δύο συνιστωσών της επιδεκτικότητας να είναι πολύ υψηλός.

Η Υγειονομική Ταφή είναι η μέθοδος κατά την οποία τα απορρίμματα διαστρώνονται, συμπιέζονται και καλύπτονται συστηματικά με κατάλληλο αδρανές υλικό (ως επί το πλείστον χώμα) επί ή υπό του εδάφους, υπό συνθήκες παρακολούθησης & αντιμετώπισης, με σκοπό την ελαχιστοποίηση των δυνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων στην ατμόσφαιρα, το έδαφος, τα υπόγεια και επιφανειακά ύδατα. Τα απορρίμματα εντός του Χ.Υ.Τ.Α., αποδομούνται και εκλύουν κάποια υγρά-διασταλλάγματα, τα στραγγίσματα και κάποια αέρια, κυρίως μεθάνιο και διοξείδιο άνθρακα, το λεγόμενο βιοαέριο. Τα στραγγίσματα και το βιοαέριο συλλέγονται μέσω διατάξεων με σωληνώσεις και διαχειρίζονται ή/και επεξεργάζονται με ειδικούς τρόπους.

Τα απορρίμματα που δέχεται ένας Χ.Υ.Τ.Α. είναι τα λεγόμενα Αστικά δημοτικά απορρίμματα. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν τα οικιακά απορρίμματα και όλα εκείνα που προσομοιάζουν με αυτά και παράγονται από τα εμπορικά καταστήματα, τα ιδρύματα και τις βιοτεχνίες. Τα οικιακά απορρίμματα αποτελούν ένα ιδιαίτερος ανομοιογενές συνοθύλευμα υλικών - για παράδειγμα περιέχουν: χαρτί, χαρτόνι, πλαστικά, υφάσματα, λάστιχα, δέρματα, ξύλα, απορρίμματα κήπων, γυαλί, κουτιά κασιτιέρου και αλουμινίου, κ.λπ.

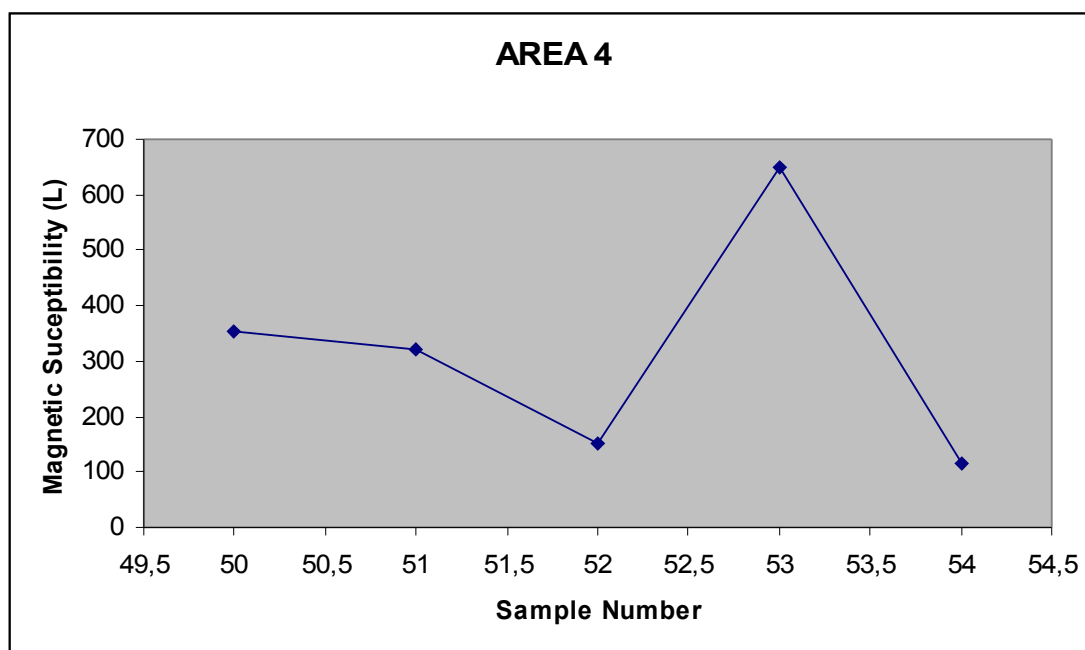
Επιπλέον, τα αστικά δημοτικά απορρίμματα περιέχουν μικροποσότητες επικίνδυνων υλικών (για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον) όπως: μπαταρίες και μικροί συσσωρευτές που περιέχουν, μεταξύ άλλων, βαρέα μέταλλα, διαλυτικά, χρώματα, βερνίκια, σκόνες και υγρά καθαρισμού, ζιζανιοκτόνα, μελάνια, κόλλες, ρητίνες, φωτογραφικά χημικά, φάρμακα, σωλήνες φθορισμού, αεροζόλ, άλλα απόβλητα που περιέχουν υδράργυρο, κ.λπ. Τα υλικά αυτά, των οποίων η ποικιλία αυξάνει συνεχώς με ραγδαίο ρυθμό, επηρεάζουν τη συμπεριφορά και την επίδοση των διεργασιών παραγωγής διασταλλαγμάτων και βιοαερίου και κυρίως την ποιοτική σύσταση των διασταλλαγμάτων.



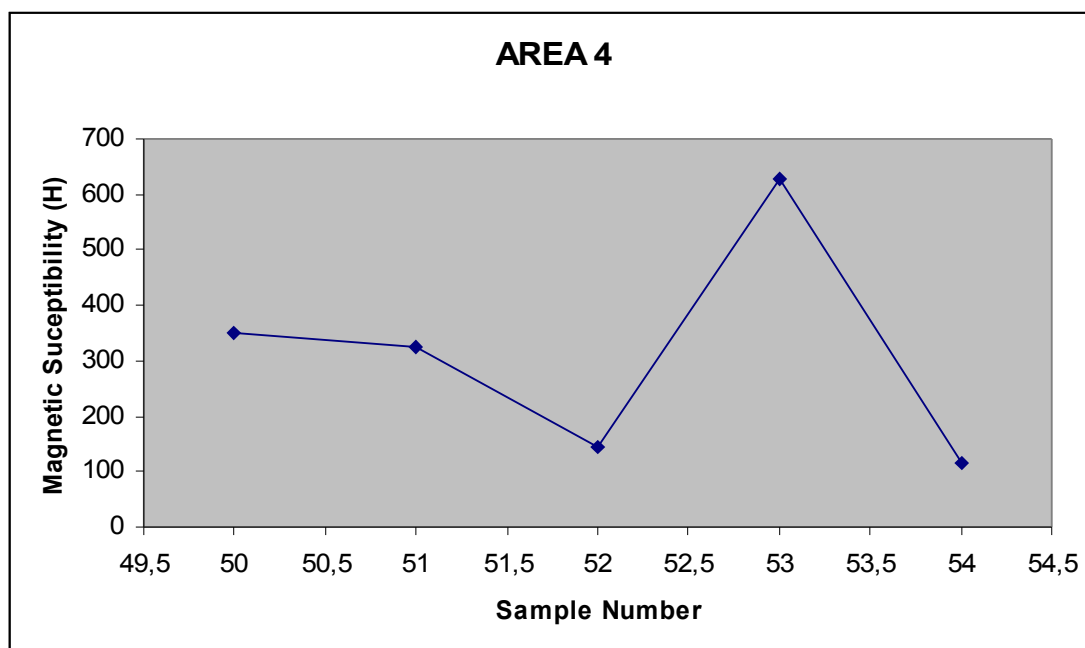
Σχήμα 4.18: ΧΥΤΑ Ρόδου και εργοστάσιο παραγωγής τσιμέντου (πηγή goggle earth)

Πίνακας 4.5: Αποτελέσματα μετρήσεων δειγμάτων εδάφους περιοχής 4

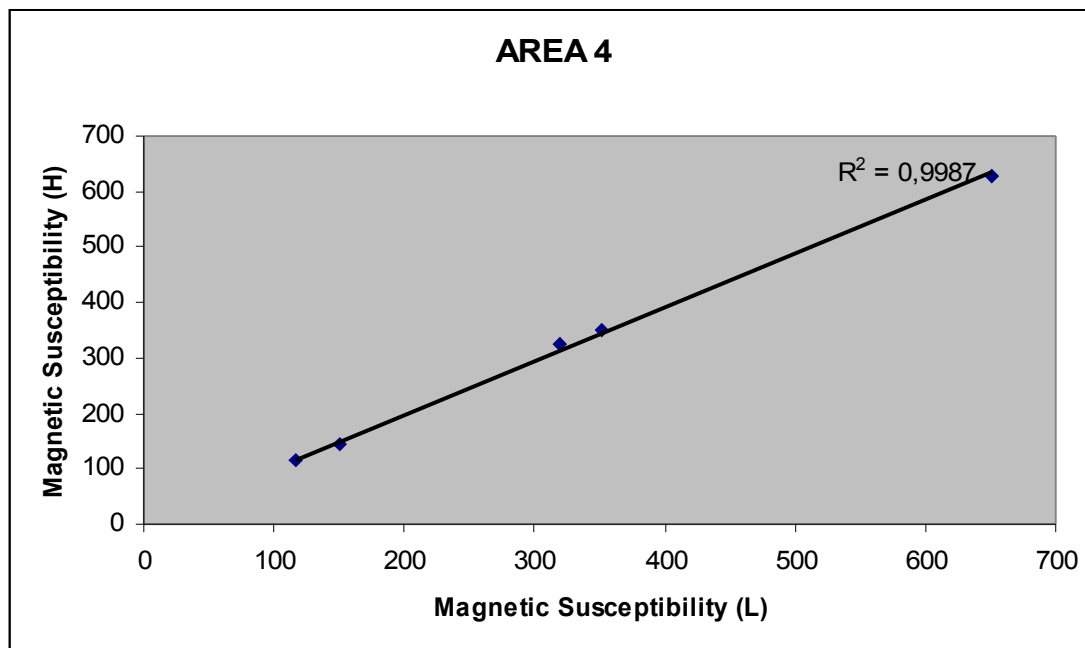
| Κωδικός | Low Frequency of 10gr | High Frequency of 10gr |
|---------|-----------------------|------------------------|
| P50 | 352 | 349 |
| P51 | 320 | 325 |
| P52 | 151 | 143 |
| P53 | 651 | 629 |
| P54 | 116 | 115 |



Σχήμα 4.19: Κατανομή μαγνητικής επιδεκτικότητας (SI units) εδαφικού υλικού, μετρημένη σε χαμηλή συχνότητα στην περιοχή 4



Σχήμα 4.20: Κατανομή μαγνητικής επιδεκτικότητας (SI units) εδαφικού υλικού, μετρημένη σε υψηλή συχνότητα στην περιοχή 4



Σχήμα 4.21 : Συσχετισμός της μαγνητικής επιδεκτικότητας(SI units) εδαφικού υλικού, μετρημένη σε χαμηλή και υψηλή συχνότητα στην περιοχή 4

4.3 Συμπεράσματα και αξιολόγηση της μεθοδολογίας

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

- Η μέθοδος της μαγνητικής επιδεκτικότητα για την ανίχνευση επιφανειακής ρύπανσης εφαρμόστηκε σε εδαφικό υλικό για το βόρειο τμήμα του νησιού της Ρόδου και σε περιοχές όπου εντοπίστηκαν πηγές πιθανής ρύπανσης.
- Εντοπίστηκαν υψηλές τιμές μαγνήτισης γύρω από την περιοχή του βιολογικού καθαρισμού, το αεροδρόμιο, δύο τσιμεντοβιομηχανίες και τον Χ.Υ.Τ.Α. Η γεωλογική δομή της περιοχής δεν δικαιολογεί τόσο υψηλές τιμές για τα υλικά που την δομούν, γεγονός που προβληματίζει.
- Ο συσχετισμός των δύο συνιστωσών της επιδεκτικότητας είναι πολύ υψηλός (0,99) για τις περιοχές 1, 2 και 4, εκτός από την περιοχή της Κρεμαστής (περίπου 0,83) που βρίσκεται το εργοστάσιο τσιμεντόλιθων.

4.4 Προτάσεις

Με βάση την εμπειρία που συλλέχθηκε κατά την υλοποίηση της συγκεκριμένης εργασίας προτείνονται τα παρακάτω σε μία μελλοντική περιβαλλοντική επανεξέταση 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.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Γεωλογικός χάρτης της Ρόδου, έκδοση Ι.Γ.Μ.Ε.
2. Θεριός, Ι., 1996. Ανόργανη θρέψη και λιπάσματα. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Εκδόσεις Δεδούση, ISBN 960-7411-01-3.
3. Καράταγλης, Σ., 1999. Φυσιολογία Φυτών. Εκδόσεις Art of Text, ISBN 960-312-009-X.
4. 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.
5. Παπαγεωργίου, Μελπομένη, 1998. "Πέντε ιχνοστοιχεία που έχουμε ανάγκη", Περιοδικό Vita, τεύχος 10, σελ. 48.
6. Παπαδάκη, Αναστασία, 2003. Επίδραση εδαφοβελτιωτικών στη συγκέντρωση βαρέων μετάλλων στα φυτικά μέρη του ραπανιού (*Raphanus sativus*). Πτυχιική διατριβή, ΣΤΕΓ, Τ.Ε.Ι. Ηρακλείου (αρ. πρωτ. 1492).
7. Ρουμπελάκη – Αγγελάκη, Καλλιόπη, 2003. Φυσιολογία Φυτών – από το μόριο στο περιβάλλον. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, ISBN 960-524-168-4.
8. Τσικαλάς, Π., 2003. Θρέψη φυτών – Γονιμότητα εδαφών. ΣΤΕΓ, Τ.Ε.Ι. Ηρακλείου.
9. Φουκαράκη, Σοφία 2005. Διακύμανση της συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων σε οργανικά υλικά ανάλογα με την τοποθέτηση τους στο έδαφος. Πτυχιική διατριβή, ΣΤΕΓ, Τ.Ε.Ι. Ηρακλείου.
10. Fytrolakis, N., 1980, The geological structure of Crete: Problems, observations and conclusions, Habil. Thesis, Nat. Tech. Univ., Athens.
11. Alloway, B.J. (ed), 1990. Heavy metals in soils, Glasgow, Blackie, 1-339.
12. Bhathal, R.S. and Stacey F.D., 1969, Frequency independence of low field susceptibility of rocks, J. Geophys. Res. 74, 2025-7.
13. 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.
14. Brady, N.C., Weil, R.R., 1999. The Nature and Properties of Soils. 12th Edition, Prentice Hall, ISBN 0-13-852444-0.

15. 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.
16. 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.
17. 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).
18. Fergusson, J.E., 1990. The Heavy Elements: Chemistry, environmental impact and health effects. Pergamon Press. ISBN 8-08-040275-5.
19. 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.
20. 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.
21. 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.
22. 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.
23. 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.
24. Kambata-Pendias, A. and Pendias, H., 1984. Trace elements in soils and plants, *Boca Raton, FL*, CRC Press, 1-380.
25. Lars, J., 2003. Hazards of heavy metal contamination . *British Medical Bulletin*, vol. 68, no. 1, pp. 167-182(16), Oxford University Press.
26. 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.

27. 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.
28. 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.
29. 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.
30. 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.
31. 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.
32. 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.
33. 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.
34. Snoek, J.L., 1948, Dispersion and absorption in magnetic ferrites at frequencies above one megacycle, *Physica* 14, 207-17.
35. 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.
36. Thompson, R. and Oldfield, F., 1986, *Environmental Magnetism*, Allen &Unwin Ltd.
37. 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.
38. 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.
39. <http://eed.stef.teicrete.gr/labs/eps1/lignitis.htm>
40. <http://www.earthquakenet.gr/toellinikotoxo.htm>
41. <http://hellas.teipir.gr/Thesis/Petaloudes/greek/dhmospetaloudwn.html>
42. <http://el.wikipedia.org/wiki>
43. www.dimospetaloudon.gr