



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

" ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΕΡΕΣ ΒΟΛΟΥ"

ΤΣΑΚΑΛΑΚΗ ΕΥΘΥΜΙΑ - ΤΣΙΣΚΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Παπαδόπουλος Ηλίας

Καλησπέρη Δέσποινα

Σουπιός Παντελής

Σεπτέμβριος 2009

ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΕΡΕΣ ΒΟΛΟΥ

ΤΣΑΚΑΛΑΚΗ ΕΥΘΥΜΙΑ - ΤΣΙΣΚΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ

ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΕΡΕΣ ΒΟΛΟΥ

ΤΣΑΚΑΛΑΚΗ ΕΥΘΥΜΙΑ - ΤΣΙΣΚΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ

TECHNOLOGICAL INSTITUTE OF CRETE



DEPARTMENT OF CHANIA



NATURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT
SEISMOLOGY AND GEOPHYSICS LABORATORY



PREGRADUATE THESIS

GEOPHYSICAL MEASUREMENTS AT FERES AREA, VOLOS

ΤΣΑΚΑΛΑΚΙ ΕΥΘΥΜΙΑ – ΤΣΙΣΚΑΚΙ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Παπαδόπουλος Ηλίας

Καλησπέρη Δέσποινα

Σουπιός Παντελής

Σεπτέμβριος 2009

ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΕΡΕΣ ΒΟΛΟΥ

ΤΣΑΚΑΛΑΚΗ ΕΥΘΥΜΙΑ - ΤΣΙΣΚΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ

ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΕΡΕΣ ΒΟΛΟΥ

ΤΣΑΚΑΛΑΚΗ ΕΥΘΥΜΙΑ - ΤΣΙΣΚΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ

Αφιέρωση

*Θα θέλαμε να αφιερώσουμε
την εργασία αυτή στις οικογένειες μας.*

ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΕΡΕΣ ΒΟΛΟΥ

ΤΣΑΚΑΛΑΚΗ ΕΥΘΥΜΙΑ - ΤΣΙΣΚΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ

ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΕΡΕΣ ΒΟΛΟΥ

ΤΣΑΚΑΛΑΚΗ ΕΥΘΥΜΙΑ - ΤΣΙΣΚΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα θέλαμε να ευχαριστούμε θερμά όλους εκείνους που μας βοήθησαν να διεκπεραιώσουμε την συγκεκριμένη εργασία. Ευχαριστούμε πολύ τον κύριο Δρ. Σαρρή Απόστολο και την Σεφέρου Εύη για την συνεργασία που είχαμε κατά την διαδικασία λήψης των μετρήσεων στον αρχαιολογικό χώρο Φερών Βόλου καθώς και στην επεξεργασία των δεδομένων μας. Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον κύριο Ηλία Παπαδόπουλο που μας ανέλαβε ως επιβλέπων καθηγητής και μας βοήθησε στην διεκπεραίωση της πτυχιακής μας εργασίας. Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλουμε τόσο στις οικογένειες μας όσο και στους φίλους μας που στήριξαν στην προσπάθειά μας αυτή.

ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΕΡΕΣ ΒΟΛΟΥ

ΤΣΑΚΑΛΑΚΗ ΕΥΘΥΜΙΑ - ΤΣΙΣΚΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Με τη συγκεκριμένη εργασία παρουσιάζουμε την επεξεργασία και τα αποτελέσματα από τις γεωφυσικές διασκοπήσεις που πραγματοποιήθηκαν στον αρχαιολογικό χώρο των Φερών, που βρίσκεται στην ευρύτερη περιοχή του Βόλου, στον νομό Μαγνησίας. Η περιοχή αυτή αποτελεί αντικείμενο μελέτης για τους αρχαιολόγους. Ταυτόχρονα με την παρουσίαση της επεξεργασίας εντοπίζονται και οι κύριες πηγές θορύβου για την χαρτογράφηση στην συγκεκριμένη περιοχή.

ABSTRACT

This pregraduate thesis presents the processing, analysis and interpretation of geophysical prospecting occurred at the archaeological area of Feres, at the wider area of Volos, state of Magnisia. This area is a research project for archaeologists. Same time with the presentation of the results, we also locate the main noise sources during the cartography of the specific area.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	Σελ.12
ΚΕΦ.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟ ΓΕΩΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟ ΧΩΡΟ ΤΩΝ ΦΕΡΩΝ	
1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	Σελ.13
1.2. ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΕΙΣ.....	Σελ.13
1.3. ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΕΡΩΝ.....	Σελ.14
1.4. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ.....	Σελ.17
ΚΕΦ.2 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ	
2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	Σελ.19
2.2. ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ.....	Σελ.19
2.3. ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΕΙΣ.....	Σελ.20
2.4. ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ.....	Σελ.21
2.4.1. Τυπικές τιμές ηλεκτρικών σταθερών διαφόρων πετρωμάτων και ορυκτών	
2.4.2. Μέθοδος της ηλεκτρικής αντίστασης	
2.4.3. Αρχή μεθόδου	
2.4.4. Διατάξεις ηλεκτροδίων	
2.4.5. Οργάνωση μετρήσεων	
2.5. ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ.....	Σελ.31
2.5.1. Μαγνητικά Δίπολα	
2.5.2. Μαγνητική ροπή διπόλου	
2.5.3. Μαγνητική επαγωγή	
2.5.4. Το μαγνητικό πεδίο της Γης	
2.5.5. Μαγνητική διασκόπηση	
2.5.6. Μετρούμενα Μεγέθη στη Μαγνητική Διασκόπηση	
2.5.7. Ερμηνεία μαγνητικών ανωμαλιών	
ΚΕΦ.3 ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΕΙΣ ΣΤΟΝ ΦΕΡΕ ΒΟΛΟΥ.....	Σελ.43
3.1 Εισαγωγή	
3.2 Όργανα γεωφυσικής διασκόπησης	
3.2.1 Αρχή λειτουργίας του RM15	

ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΕΡΕΣ ΒΟΛΟΥ

ΤΣΑΚΑΛΑΚΗ ΕΥΘΥΜΙΑ - ΤΣΙΣΚΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ

3.2.2 Αρχή λειτουργίας του μαγνητόμετρου ρυθμιζόμενης ροής

ΚΕΦ. 4. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ SURFER.....Σελ.49

4.1 Βασικές εφαρμογές Surfer

4.2 Δημιουργία χωρικών κατανομών στο Surfer- Εφαρμογή σε Grid αρχείο

4.3 Επεξεργασία δεδομένων

4.4 Φίλτρα

4.4.1 Επεξεργασία με φίλτρα Low pass

ΚΕΦ.5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΕΩΝ.....Σελ. 58

5.1 Αποτελέσματα της έρευνας

ΚΕΦ.6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....Σελ.67

6.1 Ανάλυση δεδομένων

6.2 Εικόνες

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....Σελ.80

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Οι γεωφυσικές διασκοπήσεις διενεργήθηκαν σε διάφορα τμήματα της θέσης «Μπας - Μπαζέ» στο σημερινό Βελεστίνο Βόλου που βρίσκεται στην θέση της αρχαίας πόλης των Φερών. Η συγκεκριμένη θέση βρίσκεται ΒΑ της πόλης του Βελεστίνου και ΒΑ του λόφου Καστράκι, εκεί όπου τοποθετείται η «κάτω πόλη» των Φερών. Στην ευρύτερη περιοχή έχουν αποκαλυφτεί τμήματα οικοδομημάτων κλασικών και ελληνιστικών χρόνων και ο δωρικός ναός του Θαυλίου Διός (Δούλγερη - Ιντζεσίλογλου, 1990:38-39).

Στην συγκεκριμένη περιοχή και πιο συγκεκριμένα σε πρώην ιδιοκτησία του Θ.Ι. Σαμαρά, είχαν έρθει στο φως έπειτα από βαθιά άροση και δοκιμαστικές ανασκαφές που ακολούθησαν το 1982 και το 1983 από την ΙΓ' ΕΠΚΑ αρχιτεκτονικά λείψανα διαφορετικών χρονολογικών/οικοδομικών φάσεων, από την πρώιμη ελληνιστική περίοδο έως την πρώιμη ρωμαϊκή εποχή. Ένα από τα πιο σημαντικά ευρήματα ήταν τμήματα κτιρίου με στοά, της οποίας ο στυλοβάτης της κιονοστοιχίας διατρέχει με διεύθυνση Β-Ν για περίπου 12,50m και βρίσκεται περίπου 1m από την σημερινή επιφάνεια του εδάφους. Η κιονοστοιχία αποτελείται από ημίεργους κίονες δωρικού ρυθμού που έχουν διάμετρο (στο κάτω τμήμα) ίση με περίπου 50cm, ενώ σώζονται σε ύψος περίπου 55-90cm (Δούλγερη - Ιντζεσίλογλου, 1990).

Δυτικά της κιονοστοιχίας και σε απόσταση περίπου 8m από αυτήν εκτείνεται ένας παράλληλος τοίχος πλάτους 160cm καθώς και άλλοι μικρότεροι (πλάτος <1m) κάθετοι με αυτόν οι οποίοι ενδεχομένως ανήκουν σε κοινό κτιριακό συγκρότημα. Οι δοκιμαστικές τομές που έγιναν στην περιοχή υποδεικνύουν ότι το συγκρότημα ενδεχομένως να συνεχιζόταν τόσο προς τον νότο όσο και προς τον βορρά. Πιο συγκεκριμένα, σε δεύτερη τομή που έγινε περίπου 45m βόρεια της αρχικής (νοτιότερης) τομής βρέθηκε τμήμα του δυτικού τοίχου. Τα συγκεκριμένα ευρήματα μπορεί να σχετίζονται με την Αγορά της αρχαίας πόλης (Δούλγερη - Ιντζεσίλογλου, 1990, 1994).

Στην ίδια περιοχή και πιο συγκεκριμένα προς την ΒΑ πλαγιά του λόφου Καστράκι, υπάρχει πευκόφυτο άλσος το οποίο εκτείνεται σε επικλινές έδαφος με μία διαμόρφωση του εδάφους που σύμφωνα με την υπεύθυνη αρχαιολόγο της περιοχής κα. Δούλγερη-Ιντζεσίλογλου (Δούλγερη - Ιντζεσίλογλου, 1994:44) μπορεί να σχετίζεται με την παρουσία του αρχαίου θεάτρου των Φερών όπως μαρτυρείται από τα αρχαία κείμενα (Πλουτάρχου, Πελοπίδας, XXIX, 5).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΓΕΩΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΧΩΡΟΣ ΦΕΡΩΝ

1.1. Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί θα αναφερθούμε στην συσχέτιση της αρχαιολογίας με τις γεωφυσικές διασκοπήσεις καθώς επίσης στον αρχαιολογικό χώρο των Φερών και στην γεωμορφολογία της ευρύτερης περιοχής.

1.2. Αρχαιολογία και Γεωφυσικές Διασκοπήσεις

Στην ανάπτυξη της αρχαιολογίας συμβάλουν και οι εφαρμογές των θετικών επιστημών και ειδικότερα της Γεωφυσικής, της οποίας ο ρόλος έχει πλέον καθιερωθεί σαν αναπόσπαστο μέρος κάθε αρχαιολογικής έρευνας. Οι τεχνικές των γεωφυσικών διασκοπήσεων και της δορυφορικής τηλεπισκόπησης, οι οποίες αποβλέπουν στην αποτύπωση του επιφανειακού και του υπεδάφειου περιβάλλοντος και η ανάλυση βιο-αρχαιολογικών καταλοίπων, εμπλουτίζουν την αρχαιολογική έρευνα προσφέροντας πολύτιμες πληροφορίες τόσο στην αρχαιολογική κοινότητα όσο και σε άλλους ενδιαφερόμενους φορείς.

Από τα πρώτα βήματα της αρχαιολογίας σαν επιστήμη, μερικοί αρχαιολόγοι γνώριζαν ότι οι φυσικές ιδιότητες του εδάφους είχαν την δυνατότητα να τους βοηθήσουν να ανακαλύψουν τι βρίσκεται κάτω από αυτό. Για παράδειγμα χτυπώντας το έδαφος με ένα λαστό και ακούγοντας τις μεταβολές της αντήχησης μπορούσαν να ανιχνεύσουν σε μεγάλο βαθμό τη διάταξη θαμμένων τάφων κάτω από ασβεστολιθικούς λόφους.

Η συστηματική όμως εφαρμογή σύγχρονων γεωφυσικών μεθόδων αρχίζει γύρω στα μέσα περίπου του περασμένου αιώνα με τις πρώτες μαγνητικές επισκοπήσεις, στις οποίες χρησιμοποιήθηκαν μαγνητόμετρα μικρής σχετικής ευαισθησίας. Ακολούθησε η μέτρηση της αντίστασης του εδάφους, η οποία σε συνδυασμό με εναέρια φωτογράφιση, μπορούσε να ανιχνεύσει τις αλλαγές της ποσότητας νερού που περιέχεται στο υπέδαφος. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στο ότι η παρουσία αρχαιολογικών όγκων στο υπέδαφος κοντά στην επιφάνεια όπως π.χ. ένα αδιαπέραστο πέτρινο τείχος ή ένα χαντάκι που διατηρεί υγρασία, μεταβάλλει τις ιδιότητες των γειτονικών εδαφών, άρα και την επιφανειακή βλάστηση. Για παράδειγμα, η βάση του πέτρινου τείχους θα οδηγήσει σε ελαττωμένη υγρασία η οποία μπορεί να εμφανιστεί σαν μια άνυδρη περιοχή ορατή από τον αέρα ή σαν μια ανωμαλία υψηλής ωμικής αντίστασης.

ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΕΡΕΣ ΒΟΛΟΥ

ΤΣΑΚΑΛΑΚΗ ΕΥΘΥΜΙΑ - ΤΣΙΣΚΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ

Οι γεωφυσικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται σήμερα στην αρχαιολογία έχουν προσαρμοστεί σε μικρότερη κλίμακα από τις αντίστοιχες μεθόδους που εφαρμόζονται για γεωλογικές απεικονίσεις, εξερεύνηση ορυκτών κοιτασμάτων, για την πολεοδόμηση περιοχών και για την περιβαλλοντική γεωφυσική. Αυτές οι μέθοδοι μπορούν να ταξινομηθούν είτε ως ενεργητικές είτε ως παθητικές. Οι ενεργητικές μέθοδοι στέλνουν ποσά ενέργειας προς το έδαφος, σαν το λοστό για παράδειγμα και μετρούν την απόκριση στην επιφάνεια. Τέτοιες μέθοδοι είναι η σεισμική επισκόπηση, οι ηλεκτρομαγνητικές τεχνικές και οι μετρήσεις της ωμικής αντίστασης του εδάφους. Αντίθετα οι παθητικές μέθοδοι μετρούν απλά τις υπάρχουσες φυσικές ιδιότητες του εδάφους και περιλαμβάνουν την μαγνητομετρία και την μελέτη τις επιτάχυνσης της βαρύτητας.

1.3. Αρχαιολογική περιοχή των Φερών

Η αρχαία πόλη των Φερών, μία από τις σημαντικότερες της Θεσσαλίας, κατοικήθηκε συνεχώς από την τελική νεολιθική (γύρω στο 3000 π. Χ.) ως και την πρώιμη ρωμαϊκή αυτοκρατορική περίοδο (1^{ος} αιώνας μ. Χ.), οπότε πιθανότατα εγκαταλείφθηκε. Ο νεώτερος οικισμός, με το όνομα Βελεστίνο, δημιουργήθηκε κατά την ύστερη βυζαντινή περίοδο (13^{ος} αιώνας) και κατέχει σημαντική θέση στη νεώτερη ελληνική ιστορία (πατρίδα του Ρήγα Φεραίου). Σήμερα αποτελεί μία ακμάζουσα κομόπολη, που εν μέρει είναι κτισμένη πάνω σε τμήμα της αρχαίας πόλης, ευτυχώς όχι στο πιο σημαντικό.



Εικόνα 1.1 Χάρτης ευρύτερης περιοχής

Οι πρώτες σημαντικές, αλλά περιορισμένης έκτασης ανασκαφικές έρευνες στην περιοχή Φερών Βελεστίνου, πραγματοποιήθηκαν κατά το πρώτο τέταρτο του 20^{ου} αιώνα στο ναό του "Θαυλίου Διός", σε συνεργασία της Ελληνικής Αρχαιολογικής Υπηρεσίας (Α. Αρβανιτόπουλος) με τη Γαλλική Αρχαιολογική Σχολή (Υ. Bequignon). Από το 1977 και εξής η ΙΓ' Εφορεία Προϊστορικών και Κλασικών Αρχαιοτήτων Βόλου διενεργεί συνεχώς

ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΕΡΕΣ ΒΟΛΟΥ

ΤΣΑΚΑΛΑΚΗ ΕΥΘΥΜΙΑ - ΤΣΙΣΚΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ

ανασκαφές, ελάχιστες συστηματικές (οχύρωση ακρόπολης) και κατά κανόνα σωστικές, που όμως αποκαλύπτουν αξιόλογα μνημεία. Πρόσφατα απαλλοτριώθηκαν αρκετά ακίνητα, προκειμένου να συνεχισθούν συστηματικές ανασκαφές και να αναδειχθούν τα υπάρχοντα μνημεία.

Ελάχιστες μέχρι τώρα αναστηλωτικές εργασίες πραγματοποιήθηκαν στο τείχος της ακρόπολης, ενώ καθημερινά συντηρούνται τα ευαίσθητα μνημεία. Από την ΙΓ' Εφορεία Προϊστορικών και Κλασικών Αρχαιοτήτων έχει προταθεί η οργάνωση ενός Αρχαιολογικού-Ιστορικού Πάρκου Φερών-Βελεστίνου, που θα περιλάβει όλα τα αρχαία και νεώτερα μνημεία, τα οποία βρίσκονται διάσπαρτα μέσα στον πολεοδομικό ιστό της σύγχρονης κομόπολης και γύρω από αυτόν. Η πρόταση προβλέπει και αναστηλωτικά έργα σε ορισμένα μνημεία. Η Ακρόπολη βρίσκεται στη ΝΔ πλευρά της αρχαίας πόλης και περιλαμβάνει δύο λόφους: τη λεγόμενη "Μαγούλα Μπακάλη", όπου και η θέση του προϊστορικού οικισμού-πυρήνα της μετέπειτα πόλης, και το λόφο του "Αγίου Αθανασίου" ή "της Παναγίας", όπου σώζεται η οχύρωση του 4^{ου} αιώνα π. Χ. Η Υπέρεια Κρήνη είναι μια πανάρχαια πηγή, "νάμα θεοφιλέστατον" (Σοφοκλής, αποσπ. 825N.), βρίσκεται στο κέντρο της αρχαίας πόλης και σχηματίζει μία μικρή λίμνη, που περιβάλλεται από πλατάνια. Μέσα και έξω από το νερό είναι ορατά τα λείψανα της αρχαιότητας. Ο ναός του Θαυλίου Διός βρίσκεται στο βόρειο άκρο της αρχαίας πόλης. Πρόκειται για έναν από τους ελάχιστους ανασκαμμένους αρχαίους ναούς της Θεσσαλίας. Ήταν περίπτερος, δωρικού ρυθμού, με 6 X 12 κίονες και χρονολογείται στα τέλη του 4ου αιώνα π. Χ. Σήμερα σώζεται μόνο το ΝΑ τμήμα της κρηπίδας του. Το κτίριο με στοά είναι τμήμα κτιρίου ελληνιστικών χρόνων, που εντάσσεται στο ΒΑ, πεδινό τμήμα της αρχαίας πόλης, όπου πιθανόν εκτεινόταν η Αγορά. Το κτίριο έχει κιονοστοιχία δωρικού ρυθμού, οι κατώτεροι σπόνδυλοι των κίωνων της οποίας σώζονται στη θέση τους και έχουν μείνει ημίεργοι.

Η πρώτη περίοδος ακμής των Φερών ανάγεται ήδη στη μέση εποχή του Χαλκού (1900 – 1600 π. Χ.), για να κορυφωθεί κατά τη μυκηναϊκή εποχή (1600 – 100 π. Χ.), με την οποία συνδέονται ο μυθικός ιδρυτής της Φέρης, ο γιός του Άδμητος με τη γυναίκα του Άλκηστη, πρότυπο συζυγικής αυτοθυσίας που ύμνησε ο Ευριπίδης στην ομώνυμη τραγωδία του, αλλά και ο γιος τους Εύμηλος, που έλαβε μέρος στην τρωική εκστρατεία (Ιλιάς β, 711 – 715). Από την αποχή αυτή διατηρείται μια συστάδα θαλαμοειδών τάφων, λαξευμένων στο φυσικό βράχο. Κατά την πρωτογεωμετρική και τη γεωμετρική αποχή (10^{ος} – 8^{ος} αι. π. Χ.) η πόλη των Φερών απομένει ο μοναδικός σημαντικός και δυναμικός οικισμός της περιοχής, στον οποίο ανήκουν οι μικροί κτιστοί θολωτοί τάφοι της Χλόης Βελεστίνου, που περιείχαν πλουσιότατα κτερίσματα. Οι αρχαϊκοί (7^{ος} – 6^{ος} π. Χ.) και οι κλασικοί (5^{ος} – 4^{ος} π. Χ.) αιώνες

ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΕΡΕΣ ΒΟΛΟΥ

ΤΣΑΚΑΛΑΚΗ ΕΥΘΥΜΙΑ - ΤΣΙΣΚΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ

υπήρξαν καθοριστικοί για τη μέγιστη ανάπτυξη της πόλης και για την εδραίωσή της ως πρώτης θεσσαλικής δύναμης κατά το πρώτο μισό του 4^{ου} αι. π. Χ., όταν τη διακυβέρνησή της ανέλαβαν κατά σειρά οι σημαντικοί φεραίοι τύραννοι Λυκόφρων, Ιάσων και Αλέξανδρος. Την εποχή αυτή πιθανότατα κατασκευάστηκε το ισχυρό τείχος πάνω στο λόφο «του Αγίου Αθανασίου» ή «της Παναγίας», ο οποίος μαζί με τη «Μαγούλα Μπακάλη» αποτελούσαν την ακρόπολη των Φερών. Στον 4^ο αι. π. Χ. ανάγεται και η τελευταία οικοδομική φάση του ναού του Θαυλίου Διός ή της Εννοδίας, δωρικού ρυθμού, από τον οποίο σώζεται σήμερα το νοτιοανατολικό τμήμα της κρηπίδας, καθώς και θεμέλια βάθρων αναθηματικών μνημείων.

Η πόλη των Φερών παρέμεινε για αρκετό διάστημα υπό μακεδονική κυριαρχία (δεύτερο μισό 4^{ου} -3^{ου} αι. π. Χ.), αλλά ανέκτησε τον ηγετικό της ρόλο στα θεσσαλικά πράγματα μετά τη μάχη στις Κυνός Κεφαλές 9197π.Χ.) και την επανίδρυση του Κοινού των Θεσσαλών, στο οποίο ως πρώτος στρατηγός εξελέγη ο Φεραίος Πausανίας Εχεκράτους. Κατά την ελληνιστική αποχή γνωρίζει τη μεγαλύτερη της έκταση και η Υπέρεια Κρήνη, το «νάμα θεοφιλέστατον» κατά τον Σοφοκλή (Αποσπ. 825 ν) βρισκόταν στο μέσον της, σύμφωνα με τον Στράβωνα (IX, 5, 18).



Εικόνα 1.2 Αρχαιολογικός χώρος Φερών Βόλου

1.4. Γεωμορφολογία της ευρύτερης περιοχής του Βόλου

Ο νομός Μαγνησίας καλύπτει έκταση 2.600 τετραγωνικά χιλιόμετρα, και ο συνολικός πληθυσμός του ανέρχεται σε 206.995 κατοίκους, σύμφωνα με την απογραφή του 2001. Στα ανατολικά - βορειοανατολικά όρια του νομού Μαγνησίας υψώνεται η οροσειρά του Πηλίου με υψόμετρο 1.445 μέτρα, νότια βρίσκεται το όρος Όθρυς με υψόμετρο 1.645 μέτρα και δυτικά το όρος Χαλκοδόνιο με υψόμετρο 725 μέτρα.



Εικόνα .1.3 Πολιτικός Χάρτης Ν. Μαγνησίας

Ο νομός συνορεύει με τους νομούς Λάρισας στα βόρεια - βορειοδυτικά και με το νομό Φθιώτιδας στα δυτικά - νοτιοδυτικά, ενώ το ανατολικό τμήμα του διαβρέχεται από τον Παγασητικό Κόλπο και εν γένει από το Αιγαίο Πέλαγος. Ο νομός διαρρέεται στο δυτικό σύνορο του με το νομό Λάρισας από τον Ενιπέα ποταμό ενώ σε όλη την έκταση του απαντούν και αρκετοί μικροί παραπόταμοι και χείμαρροι.

Το κλίμα του νομού είναι μεσογειακό και επηρεάζεται από τη γειννίαση με τη θάλασσα. Επιπλέον, οι ορεινοί όγκοι συμβάλλουν στη διαφοροποίηση των μετεωρολογικών και κλιματικών στοιχείων από περιοχή σε περιοχή.

ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΕΡΕΣ ΒΟΛΟΥ

ΤΣΑΚΑΛΑΚΗ ΕΥΘΥΜΙΑ - ΤΣΙΣΚΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ

Μορφολογικά, ο νομός Μαγνησίας διαιρείται σε τρία τμήματα: το ορεινό που καταλαμβάνει το 44,7 % της ολικής έκτασης του, το ημιορεινό σε ποσοστό 25,2 % και το πεδινό με 30,1 % της συνολικής έκτασης



Σχήμα 1 Ποσοστιαίο γράφημα μορφολογίας Ν. Μαγνησίας

Το ορεινό τμήμα του νομού καταλαμβάνεται από τμήματα των οροσειρών του Πηλίου και της Όθρυς, οι οποίες χωρίζονται μεταξύ τους από την πεδιάδα του Αλμυρού. Το ημιορεινό τμήμα, με ένα μέσο υψόμετρο τα 200 - 800 μέτρα και ανάλογα με τη χρήση γης διακρίνεται σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις, βοσκότοπους και σε μικρότερο βαθμό σε δάση και οικιστικές περιοχές. Το πεδινό τμήμα του νομού συγκεντρώνει και το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού και αποτελείται κυρίως από καλλιεργούμενες εκτάσεις. Πρόκειται για μια εύφορη περιοχή που καλλιεργείται στο σύνολο της και επιπλέον συγκεντρώνει τις περισσότερες βιομηχανικές και βιοτεχνικές μονάδες του νομού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ

2.1. Εισαγωγή

Στο παρακάτω κεφάλαιο, αναφερόμαστε στην επιστήμη της Γεωφυσικής και στις Γεωφυσικές διασκοπήσεις που εφαρμόσαμε στην υπό μελέτη περιοχή.

2.2. Γεωφυσική

Γεωφυσική, με την πλατιά έννοια του όρου, είναι η επιστήμη που εφαρμόζει τους νόμους της φυσικής για να μελετήσει την Γη. Με την έννοια αυτή η γεωφυσική μελετά τις φυσικές ιδιότητες της Γης από το κέντρο της μέχρι την εξωτερική ατμόσφαιρα. Η γεωφυσική είναι εφαρμοσμένη επιστήμη και συνεπώς η γεωφυσική έρευνα έχει βασικά ως άμεσο (εφαρμοσμένη γεωφυσική έρευνα) ή έμμεσο (βασική γεωφυσική έρευνα) στόχο την αξιοποίηση των γεωφυσικών γνώσεων για πρακτικούς σκοπούς. Παρόλα αυτά πολλά από τα συμπεράσματα της βασικής γεωφυσικής έρευνας παρουσιάζουν μεγάλο θεωρητικό ενδιαφέρον.

Η μεγάλη πρακτική σημασία της γεωφυσικής οφείλεται, βασικά, στο ότι με γεωφυσικές μεθόδους:

- εντοπίζονται στα επιφανειακά στρώματα του φλοιού της Γης γεωλογικές δομές οικονομικής σημασίας, δηλαδή, δομές που σχετίζονται με κοιτάσματα πετρελαίου, φυσικών αέριων, μεταλλευμάτων, ορυκτού άλατος, ορυκτών ανθράκων, ουράνιου και πηγών γεωθερμικής ενεργείας και
- μελετάται η δομή και γεωδυναμικές διαδικασίες στον φλοιό και στον πάνω μανδύα της Γης που καθορίζουν τις θέσεις πολλών δομών οικονομικής σημασίας.

Η μελέτη των φυσικών ιδιοτήτων της στερεάς Γης πραγματοποιείται με τρεις βασικούς τρόπους, που, κατά σειράς σπουδαιότητας είναι η συλλογή και ερμηνεία επιστημονικών παρατηρήσεων που γίνονται απευθείας στην φύση, η θεωρητική (φυσικομαθηματική) έρευνα και η πραγματοποίηση πειραμάτων στο εργαστήριο. Σπάνια, όμως, κάθε ένας από αυτούς τους γενικούς τρόπους έρευνας εφαρμόζεται μόνος του. Συνήθως εφαρμόζονται δυο ή τρεις μαζί.

Η γεωφυσική έρευνα βασίζεται, κατά κύριο λόγο, στη συλλογή, επεξεργασία και ερμηνεία γεωφυσικών παρατηρήσεων που γίνονται απευθείας στη φύση με γεωφυσικά όργανα. Κατά τη διαδικασία αυτή πραγματοποιείται μέτρηση διαφόρων φυσικών ποσοτήτων και η ερμηνεία αυτών σε συνάρτηση με άλλες φυσικές ποσότητες που περιγράφουν αμεσότερα τις ιδιότητες της Γης και τις φυσικές διαδικασίες στο εσωτερικό της.

2.3. Γεωφυσικές Διασκοπήσεις

Η εφαρμοσμένη γεωφυσική έρχεται σήμερα να συμπληρώσει όλα τα ερωτήματα που έχουν να κάνουν με το υπέδαφος, δίνοντας στους πολιτικούς μηχανικούς, στους αρχιτέκτονες, στους project managers μια γρήγορη και ακριβή εικόνα με ταυτόχρονα χαμηλό κόστος. Το μεγάλο πλεονέκτημά της είναι ότι δίνει πληροφορίες χωρίς καμία μηχανική παρέμβαση επί του εδάφους (εκσκαφή, διάτρηση κ.α.) καθώς επίσης και συνεχή δεδομένα σε αντίθεση με εκείνα των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων που αναφέρονται μόνο σε ένα σημείο

Οι μέθοδοι της γεωφυσικής διαρκώς κερδίζουν έδαφος στον τομέα της αρχαιολογίας. Οι δύο πιο σημαντικοί λόγοι είναι η εξέλιξη των οργάνων μέτρησης αλλά και η χρήση των Η/Υ. Τα δεδομένα που έχουν περισυλλέγει ψηφιακά μπορούν να φορτωθούν σε Η/Υ όπου με ειδικό λογισμικό φιλτράρεται ο θόρυβος, βελτιώνεται η αντίθεση και έτσι αποκαλύπτονται υπόγειες δομές που σε αντίθετη περίπτωση θα ήταν δύσκολο να εμφανισθούν.

► ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ:

- Έλεγχος μεγαλύτερων εκτάσεων. Ακριβής τεχνικός και οικονομικός προγραμματισμούς των μελλοντικών ανασκαφών αφού δίνεται γρήγορα μια συνολική εικόνα των χώρων.
- Οι υπόγειες δομές φαίνονται με μεγαλύτερη ακρίβεια.
- Το βάθος έρευνας είναι μεγαλύτερο.
- Τα αποτελέσματα δίνονται οπτικά, δίνοντας στους ειδικούς αξιολογητές καλύτερο υλικό για μετέπειτα επεξεργασία.
- Προσδιορισμός περιοχών με το μεγαλύτερο ενδιαφέρον και συνεπώς εξοικονόμηση του συνολικού κόστους ανασκαφών.
- Οι μέθοδοι γεωφυσικής δεν επηρεάζουν καθόλου το υπέδαφος (non-destructive), με συνέπεια την αειφόρο διαχείριση της πολιτιστικής μας κληρονομιάς.

2.4. Ηλεκτρική μέθοδος

Οι μέθοδοι της ηλεκτρικής διασκόπησης βασίζονται στη μελέτη του τρόπου διάδοσης ηλεκτρικών ρευμάτων στο υπέδαφος με μετρήσεις που γίνονται στην επιφάνεια.

Οι περισσότερες από τις ηλεκτρικές μεθόδους βασίζονται στη διαφορετική ηλεκτρική αγωγιμότητα που παρουσιάζουν τα διάφορα πετρώματα της ανώτερης λιθόσφαιρας, ανάλογα με το είδος και τη φυσική τους κατάσταση. Σε σχέση με το είδος, τα μεταλλοφόρα κοιτάσματα παρουσιάζουν μεγάλη αγωγιμότητα ενώ τα εκρηξιγενή πετρώματα ή τα μάρμαρα παρουσιάζουν μικρή αγωγιμότητα. Σε σχέση με τη φυσική κατάσταση, τα συμπαγή πετρώματα και τα ξηρά εδάφη δείχνουν μικρή αγωγιμότητα, ενώ τα πορώδη πετρώματα και τα υγρά εδάφη δείχνουν μεγάλη αγωγιμότητα.

Με τις ηλεκτρικές μεθόδους γεωφυσικής διασκόπησης επιδιώκεται ο καθορισμός των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της Γης με μετρήσεις ηλεκτρικών ποσοτήτων στην επιφάνεια της Γης (Παπαζαχος, 1986). Η ποσότητα που μετράμε είναι, συνήθως, η ηλεκτρική τάση, ενώ η ποσότητα η οποία παρουσιάζει περισσότερο ενδιαφέρον και της οποίας επιδιώκεται ο καθορισμός της και η μελέτη της κατανομής των τιμών της μέσα στα επιφανειακά στρώματα του φλοιού της Γης είναι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση.

Οι ηλεκτρικές μέθοδοι εφαρμόζονται συχνότερα στην περίπτωση αναζήτησης μετάλλων και ορυκτών και λιγότερο στην περίπτωση αναζήτησης πετρελαίου. Αυτό συμβαίνει γιατί η διακριτική ικανότητα των περισσότερων από τις ηλεκτρικές μεθόδους περιορίζεται αισθητά καθώς αυξάνει το βάθος.

Γενικά οι ηλεκτρικές μέθοδοι μπορούν να καταταγούν σε δύο κατηγορίες: στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι μέθοδοι που χρησιμοποιούν φυσικά πεδία και στη δεύτερη εκείνες που προϋποθέτουν τη δημιουργία τεχνητών πεδίων.

Στην πρώτη κατηγορία υπάγονται:

- (α) η μέθοδος του φυσικού δυναμικού και
- (β) η μέθοδος των γήινων ηλεκτρικών ρευμάτων.

Στη δεύτερη κατηγορία υπάγονται:

- (α) η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.
- (β) η μέθοδος των ηλεκτρικών δυναμικών γραμμών.
- (γ) η μέθοδος της επαγόμενης πόλωσης και
- (δ) οι ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι.

Οι ηλεκτρικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται κυρίως, στην αναζήτησή μεταλλευμάτων και γεωθερμικών πεδίων, στην Υδρογεωλογία, και στην Τεχνική Γεωλογία για την ανεύρεση του βάθους του μητρικού πετρώματος σε τοποθεσίες κατασκευής τεχνητών φραγμάτων, στην χαρτογράφηση αρχαιολογικών χώρων κλπ. Οι μέθοδοι αυτές χρησιμοποιούνται πολύ λιγότερο στη διασκόπηση πετρελαίου, γιατί μ' αυτές μπορούμε να μελετήσουμε μόνο τα επιφανειακά στρώματα του φλοιού της γης. Σε λίγες περιπτώσεις οι γεωηλεκτρικές μέθοδοι μπορούν να δώσουν πληροφορίες για βάθη μεγαλύτερα των 2000m.

2.4.1. Θεμελιώδη ηλεκτρικά μεγέθη

1. Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση

Σαν ειδική αντίσταση ενός υλικού ορίζεται η ηλεκτρική αντίσταση ενός κυλίνδρου από το υλικό αυτό, που έχει μήκος ίσο με τη μονάδα και επιφάνεια τομής κάθετης στον άξονα του κυλίνδρου ίση με τη μονάδα. Αν η ηλεκτρική αντίσταση ενός κυλίνδρου που έχει μήκος l και επιφάνεια κάθετης τομής S είναι R , τότε η ειδική αντίσταση ρ του υλικού του κυλίνδρου είναι:

$$\rho = \frac{RS}{l} \quad (2.1)$$

Μονάδες μέτρησης της ειδικής αντίστασης είναι το ohm/m ή το ohm/cm.

Η ειδική αγωγιμότητα σ είναι το αντίστροφο της ειδικής αντίστασης, δηλ. ίση με $1/\rho$.

Η σχέση ανάμεσα στο ρεύμα I , την αντίσταση R και την τάση V δίνεται από το νόμο του Ohm:

$$I = \frac{V}{R} \quad (2.2)$$

2. Η ηλεκτροχημική δράση

Η ηλεκτροχημική δράση των πετρωμάτων εξαρτάται από τη χημική τους σύσταση και από τη σύσταση και την πυκνότητα των ηλεκτρολυτών που είναι διαλυμένοι στα υδροφόρα στρώματα με τα οποία τα πετρώματα αυτά βρίσκονται σε επαφή. Η ηλεκτροχημική δράση ρυθμίζει το μέγεθος και την πολικότητα της τάσης που αναπτύσσεται όταν ένα πέτρωμα βρίσκεται σε ισορροπία με ένα ηλεκτρολύτη.

3. Η διηλεκτρική αγωγιμότητα - Διηλεκτρική σταθερά

Με τον όρο διηλεκτρική αγωγιμότητα (Ράμπελος, 1991) εννοούμε την ηλεκτρική αγωγιμότητα που παρατηρείται όταν ένα υλικό, που είναι κακός αγωγός του ηλεκτρισμού, βρεθεί κάτω από την επίδραση μεταβαλλόμενου με το χρόνο εξωτερικού ηλεκτρικού πεδίου. Η διηλεκτρική σταθερά ενός υλικού είναι ένα μέτρο της πόλωσης του υλικού κάτω από την επίδραση ηλεκτρικού πεδίου. Σε αναλογία με τις μαγνητικές ποσότητες J , H , k , B και μ έχουμε τις ποσότητες: ηλεκτρική πόλωση P (ηλεκτρική διπολική ροπή ανά μονάδα όγκου), ένταση του ηλεκτρικού πεδίου E , ηλεκτρική επιδεκτικότητα η , ηλεκτρική μετατόπιση D (ροή ανά μονάδα επιφάνειας), και διηλεκτρική σταθερά ϵ . Η σχέση μεταξύ των παραμέτρων αυτών σε ηλεκτροστατικές μονάδες είναι:

$$P = \eta E, D = E + 4\pi P = E(1 + 4\pi\eta) = \epsilon E \quad (2.3)$$

Σε ηλεκτροστατικές μονάδες τα μεγέθη P , E και D εκφράζονται σε Volts cm^{-1} και τα η και ϵ είναι αδιάστατα μεγέθη.

2.4.2. Τυπικές τιμές ηλεκτρικών σταθερών πετρωμάτων και ορυκτών

Από όλες τις φυσικές ιδιότητες των πετρωμάτων και των ορυκτών, η ειδική αντίσταση παρουσιάζει τις μεγαλύτερες μεταβολές. Τα μέγιστα όρια των μεταβολών αυτών είναι 1.6×10^{-8} έως 10^{16} Ohm. Ένα υλικό με ειδική αντίσταση μικρότερη από 10^5 Ohm χαρακτηρίζεται σαν αγωγός, ενώ ένα υλικό με ειδική αντίσταση μεγαλύτερη από 10^7 Ohm χαρακτηρίζεται σαν μονωτής. Μεταξύ των ορίων αυτών βρίσκονται οι λεγόμενοι ημιαγωγοί. Τα πετρώματα και τα ορυκτά θεωρούνται (α) καλοί, (β) μέτριοι και (γ) κακοί αγωγοί σύμφωνα με την κλίμακα:

(α) ορυκτά με ειδική αντίσταση 10^{-8} - 1 Ohm.

(β) ορυκτά και πετρώματα με ειδική αντίσταση 1 - 10^7 Ohm.

(γ) ορυκτά και πετρώματα με ειδική αντίσταση μεγαλύτερη από 10^7 Ohm.

Η αγωγιμότητα των πετρωμάτων (πίνακας 1 και 2) οφείλεται κυρίως στο νερό που περιέχεται σε αυτά και για το λόγο αυτό η ειδική αντίσταση εξαρτάται από την ειδική αντίσταση και την ποσότητα του περιεχόμενου νερού καθώς και από τον τρόπο που κατανέμεται αυτή η ποσότητα του νερού μέσα στο πέτρωμα. Για το λόγο αυτό η ειδική αντίσταση των πετρωμάτων είναι μια παράμετρος, της οποίας η τιμή διαφέρει όχι μόνο για τα διάφορα πετρώματα αλλά και για το ίδιο πέτρωμα κυμαίνεται μέσα σε μεγάλα όρια. Κατά συνέπεια για κάθε είδος πετρώματος δεν μπορεί να δοθεί μια χαρακτηριστική τιμή ειδικής αντίστασης αλλά περιοχές τιμών.

ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΕΡΕΣ ΒΟΛΟΥ

ΤΣΑΚΑΛΑΚΗ ΕΥΘΥΜΙΑ - ΤΣΙΣΚΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ

ΤΥΠΟΣ	ΕΥΡΟΣ ΤΙΜΩΝ ΕΙΔΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ (Ohm)
Γρανίτης	$3 \times 10^2 - 10^6$
Συηνίτης	$10^2 - 10^6$
Διορίτης	$10^4 - 10^5$
Διοριτικός πορφύρης	1.9×10^3 (Y) - 2.8×10^4 (Ξ)
Πορφυρίτης	$10 - 5 \times 10^4$ (Y) - 3.3×10^3 (Ξ)
Ανθρακικός πορφύρης	2.5×10^3 (Y) - 6×10^4 (Ξ)
Χαλαζιακός πορφύρης	$3 \times 10^2 - 9 \times 10^5$
Χαλαζιακός διορίτης	$2 \times 10^4 - 2 \times 10^6$ (Y) - 1.8×10^5 (Ξ)
Πορφύρης	$6 - 10^4$
Λακίτης	2×10^4 (Y)
Ανδεσίτης	4.5×10^4 (Y) - 6×10^4 (Ξ)
Διαβάσης	$20 - 5 \times 10^7$
Λάβες	$10^2 - 5 \times 10^4$
Γάββρος	$10^3 - 10^6$
Βασάλτης	$10 - 1.3 \times 10^7$
Περιδοίτης	3×10^3 (Y) - 6.5×10^3 (Ξ)
Γνεύσιος	6.8×10^4 (Y) - 3×10^6 (Ξ)
Μάρμαρα	$10^2 - 2.5 \times 10^8$ (Ξ)

Πίνακας 1: Ειδική ηλεκτρική αντίσταση εκρηξιγενών και μεταμορφωμένων πετρωμάτων (Ράμπελος, 1991)

Από τον πίνακα 1 φαίνεται πόσο μπορεί να μεταβάλλεται η ειδική ηλεκτρική αντίσταση ενός πετρώματος από την υγρή κατάσταση (Y) στην ξηρή κατάσταση (Ξ).

ΤΥΠΟΣ	ΕΥΡΟΣ ΤΙΜΩΝ ΕΙΔΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ (ohm)
Συνεκτικοί σχιστόλιθοι	$20 - 2 \times 10^3$
Αργιλίτης	$10 - 8 \times 10^2$
Ψαμμίτης	$1 - 6.4 \times 10^2$
Ασβεστόλιθος	$50 - 10^7$
Δολομίτης	$3.5 \times 10^2 - 5 \times 10^3$
Μη συνεκτική υγρή άργιλλος	20
Μάργες	3 - 70
Άργιλλος	1 - 100
Αλλούβια και άμμοι	10 - 800

Πίνακας 2 Ειδική αντίσταση διαφόρων ιζηματογενών πετρωμάτων (Ράμπελος, 2001)

Σε γενικές γραμμές, τα εκρηξιγενή πετρώματα παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη ειδική αντίσταση, τα ιζηματογενή (πίνακας 2) τη μικρότερη και τα μεταμορφωμένα ενδιάμεση. Τις μικρότερες τιμές ειδικής αντίστασης εμφανίζουν οι άργιλοι και οι μάργες, επειδή από την αρχή του σχηματισμού τους, συγκρατούν στους πόρους τους νερό με μεγάλη περιεκτικότητα σε ηλεκτρολύτη. Οι μεγαλύτερες τιμές ειδικής αντίστασης συναντώνται στα συνεκτικά, μη πορώδη ιζηματογενή πετρώματα, όπως ο δολομίτης, οι συνεκτικοί ασβεστόλιθοι, τα κρυσταλλικά και εκρηξιγενή πετρώματα. Τα πορώδη ιζήματα όπως άμμοι, ψαμμίτες κλπ. όταν είναι σε ξηρή κατάσταση και δεν περιέχουν αργλικές προσμίξεις παρουσιάζουν μεγάλες τιμές ειδικής αντίστασης, οι οποίες ελαττώνονται καθώς αυξάνει η περιεκτικότητα τους σε νερό ή άργιλλο.

Τα πετρογενετικά ορυκτά, όπως π.χ. ο χαλαζίας, ο ασβεστίτης, ο μαρμαρυγίας κλπ. είναι κακοί αγωγοί του ηλεκτρισμού. Εξαιρέση αποτελούν τα θειούχα ορυκτά, όπως π.χ. ο σιδηροπυρίτης, ο γαληνίτης κ.α., ορισμένα οξειδία, όπως ο μαγνητίτης και ο γραφίτης, που έχουν ηλεκτρονική αγωγιμότητα.

2.4.3. Μέθοδος της ηλεκτρικής αντίστασης

Η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (Ράμπελος, 1991) είναι η περισσότερο χρησιμοποιούμενη μέθοδος. Βασίζεται στην ύπαρξη διαφορών στην ηλεκτρική αγωγιμότητα των πετρωμάτων. Βρίσκει εφαρμογή σε πολλούς τομείς της γεωλογικής και μεταλλευτικής έρευνας. Ιδιαίτερα χρησιμοποιείται:

- στην τεχνική γεωλογία για τη μελέτη φραγμάτων και μεγάλων τεχνικών έργων, για τον προσδιορισμό του βάθους και της μορφολογίας του στερεού υπόβαθρου και για τον εντοπισμό μεταπτώσεων ή άλλων τεκτονικών ανωμαλιών.

- στην υδρογεωλογία για τη διερεύνηση της ανάπτυξης και τον προσδιορισμό του πάχους υπόγειων υδροφόρων στρωμάτων και για τη διαπίστωση διείσδυσης θαλασσινού νερού σε παράκτιους σχηματισμούς.

- στην χαρτογράφηση αρχαιολογικών χώρων.

Ακόμη, βρίσκει εφαρμογή στον εντοπισμό ορισμένων κοιτασμάτων, όπως γύψου, ορυκτού αλατιού, στη διερεύνηση λιγνιτοφόρων λεκανών, στον προσδιορισμό του πάχους φερτών σχηματισμών, υπερκειμένων στρωμάτων οικονομικού ενδιαφέροντος κλπ.

2.4.4. Αργή μεθόδου

Η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης βασίζεται στον προσδιορισμό της κατανομής της ειδικής αντίστασης στο υπέδαφος με κατάλληλες μετρήσεις. Από την κατανομή αυτή μπορούν να προκύψουν συμπεράσματα σχετικά με τη γεωλογική δομή της περιοχής που γίνεται η διασκόπηση. Η πλέον συνηθισμένη μέθοδος για να γίνουν τέτοιες μετρήσεις είναι να διοχετευθεί συνεχές ή εναλλασσόμενο ρεύμα πολύ χαμηλής συχνότητας στο έδαφος. Για τις μετρήσεις γενικά χρειάζονται τέσσερα ηλεκτρόδια: δύο για να διοχετευθεί το ρεύμα και δύο για να μετρηθεί το δυναμικό που συνεπάγεται η ροή του ρεύματος αυτού.

Το δυναμικό V σε ένα σημείο ομογενούς και ισοτρόπου μέσου, που οφείλεται σε σημειακή ηλεκτρική πηγή, είναι ανάλογο του ρεύματος I , της ειδικής αντίστασης ρ του μέσου και αντίστροφα ανάλογο της απόστασης r της πηγής από το θεωρούμενο σημείο. Αν θεωρήσουμε το υπέδαφος σαν ηλεκτρικά ομογενή χώρο άπειρης έκτασης και τη σημειακή πηγή στην επιφάνεια, τότε ο συντελεστής αναλογίας αποδεικνύεται ότι είναι $\frac{1}{2\pi}$, δηλαδή

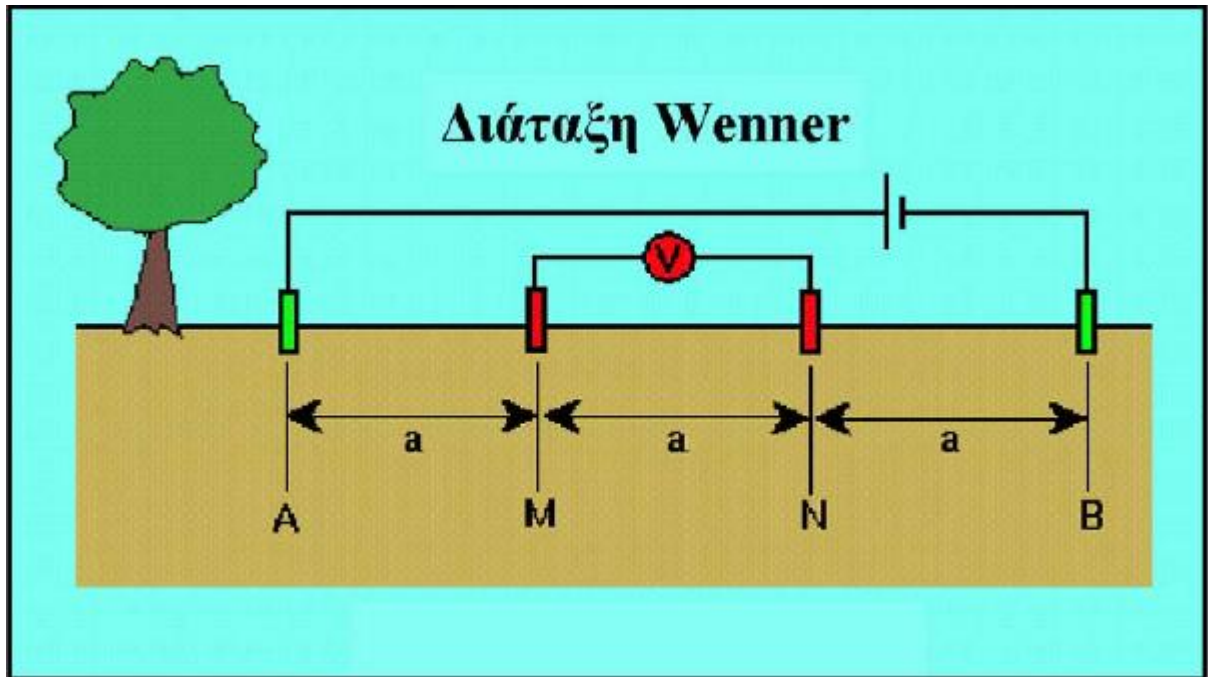
$$V = \frac{I\rho}{2\pi r} \quad (2.4)$$

2.4.5 Διατάξεις ηλεκτροδίων

Στην πράξη χρησιμοποιούνται διάφορες διατάξεις των ηλεκτροδίων ρεύματος και δυναμικού (Ράμπελος, 1991). Στις περισσότερες περιπτώσεις τα ηλεκτρόδια ρεύματος και τα ηλεκτρόδια δυναμικού τοποθετούνται στην ίδια ευθεία γραμμή. Τα ηλεκτρόδια ρεύματος συνήθως τοποθετούνται εξωτερικά των ηλεκτροδίων δυναμικού. Στα επόμενα αναφέρονται οι διατάξεις που είναι περισσότερο σε χρήση.

- **Διάταξη WENNER**

Για μία διασκόπηση με τη μέθοδο Wenner, τα δύο ηλεκτρόδια ρεύματος (πράσινο) και τα δυο ηλεκτρόδια δυναμικού (κόκκινο) τοποθετούνται σε μία ευθεία, συμμετρικά σε σχέση με το κέντρο της διάταξης που είναι το μέσο της απόστασης AB . Κάθε ηλεκτρόδιο δυναμικού απέχει από το παρακείμενο ηλεκτρόδιο ρεύματος απόσταση a , ίση με το $1/3$ της μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος απόσταση. Η μεταξύ των ηλεκτροδίων δυναμικού απόσταση είναι επίσης a . Όλα τα παραπάνω φαίνονται στο Σχήμα 2.



Σχήμα 2 Διάταξη Wenner στην ηλεκτρική μέθοδο

Η φαινόμενη ειδική αντίσταση που υπολογίζεται από τις μετρήσεις της τάσης, ΔV , και του ρεύματος, I , δίνεται από την απλή εξίσωση

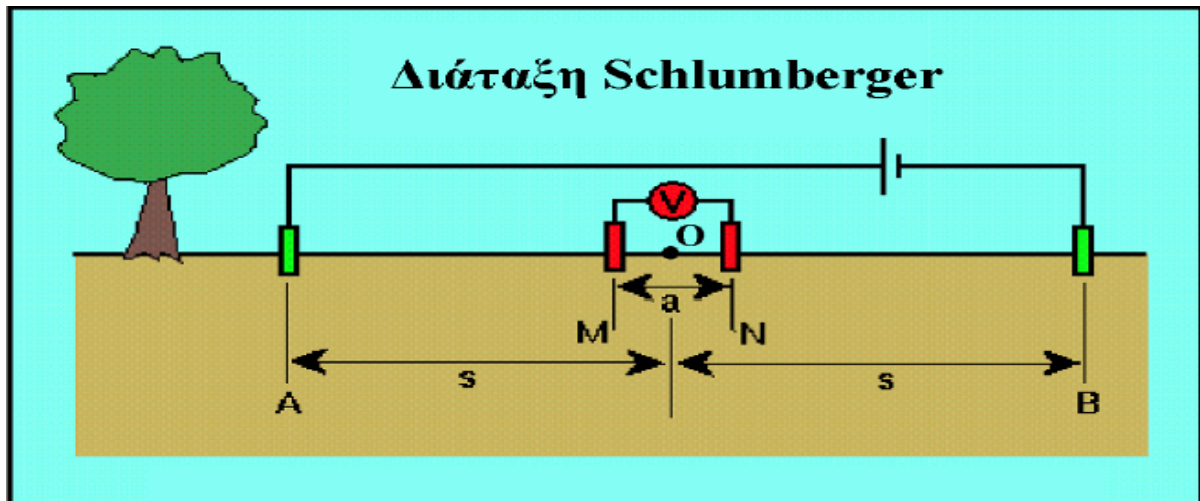
$$\rho_a = 2\pi a \frac{\Delta V}{I} \quad (2.5)$$

Η εξίσωση αυτή δεν είναι τίποτε περισσότερο από την έκφραση της φαινόμενης ειδικής αντίστασης που είδαμε προηγουμένως, όπου οι αποστάσεις των ηλεκτροδίων είναι σταθερές και ίσες με a . Για να δημιουργήσουμε ένα διάγραμμα της φαινόμενης ειδικής αντίστασης συναρτήσει της απόστασης των ηλεκτροδίων, από το οποίο θα ερμηνεύσουμε τη μεταβολή της ειδικής αντίστασης με το βάθος, πρέπει να υπολογίσουμε την φαινόμενη ειδική αντίσταση για διαφορετικές τιμές της απόστασης των ηλεκτροδίων, a . Δηλαδή, αφού ολοκληρώσουμε μια μέτρηση, πρέπει να μετακινήσουμε και τα τέσσερα ηλεκτρόδια σε νέες θέσεις.

- **Διάταξη SCHLUMBERGER**

Για την διενέργεια μιας ηλεκτρικής βυθομέτρησης Schlumberger στο πεδίο, τα ηλεκτρόδια ρεύματος και δυναμικού (Σχήμα 3) διατάσσονται στο έδαφος κατά μήκος ευθείας γραμμής σε συγκεκριμένες μεταξύ τους αποστάσεις. Τα ηλεκτρόδια ρεύματος όσο και τα ηλεκτρόδια δυναμικού είναι συμμετρικά τοποθετημένα ως προς το κέντρο συμμετρίας, O , το οποίο ονομάζεται κέντρο της διάταξης. Όμως, τα τέσσερα ηλεκτρόδια ρεύματος και δυναμικού δεν ισαπέχουν μεταξύ τους όπως στη διάταξη Wenner.

Διεξάγοντας βυθομετρήσεις με διάταξη ηλεκτροδίων κατά Schlumberger η απόσταση των ηλεκτροδίων δυναμικού M, N πρέπει πάντοτε να διατηρείται μικρότερη του 40% της απόστασης AB/2. Στις μετρήσεις πεδίου απομακρύνουμε διαδοχικά τα ηλεκτρόδια ρεύματος (αυξάνουμε την απόσταση AB) ενώ διατηρούμε σταθερή την απόσταση MN. Με αυτό το τρόπο έχουμε μια γρήγορη μείωση της διαφοράς δυναμικού στα άκρα των ηλεκτροδίων δυναμικού MN, όπου από κάποια στιγμή και μετά ο θόρυβος γίνεται μεγαλύτερος του μετρούμενου σήματος ΔV στα άκρα M, N και η μέτρηση του ΔV καθίσταται αδύνατη. Σ' αυτό το σημείο μία αύξηση της απόστασης MN θεωρείται απαραίτητη, τέτοια όμως ώστε να ισχύει ο περιορισμός η MN να παραμένει μικρότερη του 40% της απόστασης AB/2, και η εργασία συνεχίζεται.



Σχήμα 3 Διάταξη Schlumberger στην ηλεκτρική μέθοδο

Για κάθε θέση των ηλεκτροδίων η φαινόμενη ειδική αντίσταση ρ_a υπολογίζεται από την σχέση:

$$\rho_a = \frac{\pi s^2}{a} \cdot \frac{\Delta V}{I} \quad (2.6)$$

Οι τιμές της ρ_a προβάλλονται ως συνάρτηση του ημι-αναπτύγματος AB/2 των ηλεκτροδίων ρεύματος σε διλογαριθμικούς άξονες δημιουργώντας έτσι την ηλεκτρική καμπύλη της βυθομέτρησης (sounding curve) η οποία αποτελεί το βασικό τεκμήριο για την ερμηνεία.

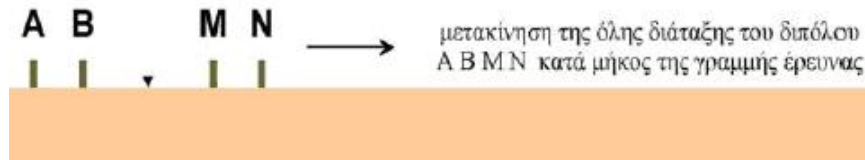
Καθώς η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος αυξάνει ο συνολικός όγκος της γης που ελέγχεται από την μέτρηση αυξάνει επίσης, τόσο σε βάθος όσο και πλευρικά. Δεδομένου ότι το κέντρο της διάταξης παραμένει σταθερό και εκείνο που αλλάζει είναι οι διαδοχικά διευρυνόμενες αποστάσεις AB είναι φανερό ότι οι διαδοχικά διευρυνόμενοι γήινοι όγκοι που ελέγχονται από τις μετρήσεις αλληλεπικαλύπτονται.

ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΕΡΕΣ ΒΟΛΟΥ

ΤΣΑΚΑΛΑΚΗ ΕΥΘΥΜΙΑ - ΤΣΙΣΚΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ

- **Διάταξη διπόλου**

Στη διάταξη δίπολου (Σχήμα 4) τα ηλεκτρόδια ρεύματος A, B και δυναμικού M, N διατάσσονται κατά τη σειρά ABMN κατά μήκος της διεύθυνσης (γραμμής) που πρόκειται να ερευνηθεί. Εν γένει τα μήκη AB και MN είναι ίσα μεταξύ τους.



Σχήμα 4 Διάταξη διπόλου στην ηλεκτρική μέθοδο

Η απόσταση BM επιλέγεται να είναι είτε ίση με την απόσταση MN ή με κάποιο πολλαπλάσιο αυτής. Εφόσον η διάταξη είναι συμμετρική το σημείο μέτρησης (κέντρο διάταξης) θεωρείται ότι είναι το μέσον της απόστασης BM. Εφόσον διερευνούμε πλευρικές μεταβολές της ειδικής αντίστασης των σχηματισμών σε μία ζώνη συγκεκριμένου πάχους η διάταξη ABMN κινείται ως έχει κατά μήκος της διεύθυνσης που διερευνούμε χωρίς να μεταβάλλονται οι μεταξύ των A, B, M, N αποστάσεις. Η απόσταση μεταξύ των διαδοχικών κέντρων της διάταξης είναι συνήθως ίση με την απόσταση MN.

Σε κάθε θέση της διάταξης μετράται η διαφορά δυναμικού ΔV μεταξύ των M, N και η φαινόμενη ειδική αντίσταση ρ_a υπολογίζεται από την σχέση (2.6) όπου η ποσότητα K είναι ο γεωμετρικός παράγοντας για την διάταξη του δίπολου. Εφόσον επιθυμούμε να διερευνήσουμε πλευρικές μεταβολές της ρ για ζώνες μεγαλύτερου πάχους επαναλαμβάνουμε την παραπάνω διαδικασία αυξάνοντας την απόσταση BM διότι, όπως είναι γνωστό, το βάθος έρευνας αυξάνει καθώς αυξάνει η απόσταση BM.

Το κύριο πλεονέκτημα της τεχνικής του δίπολου είναι η ελαχιστοποίηση του κινδύνου εμφάνισης σύζευξης ή διαρροής στα κυκλώματα ρεύματος (AB) και δυναμικού (MN) καθώςον είναι πλήρως απομακρυσμένα μεταξύ τους.

2.4.6. Οργάνωση μετρήσεων

Το πρόβλημα του προσδιορισμού της κατανομής της ειδικής αντίστασης από τις μετρούμενες μεταβολές της φαινόμενης ειδικής αντίστασης έχει μονοσήμαντη λύση μόνο για την περίπτωση που η ειδική αντίσταση παραμένει σταθερή κατά την οριζόντια έννοια και μεταβάλλεται μόνο με το βάθος. Το απλούστερο πρότυπο που θα συμφωνούσε με τις παραπάνω απαιτήσεις είναι αυτό που περιλαμβάνει ένα μικρό αριθμό διακριτών στρωμάτων, καθένα από τα οποία χωρίζεται από τα παρακείμενα στρώματα με οριζόντιες επιφάνειες ασυνέχειας, και έχει σταθερή ειδική αντίσταση,

ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΕΡΕΣ ΒΟΛΟΥ

ΤΣΑΚΑΛΑΚΗ ΕΥΘΥΜΙΑ - ΤΣΙΣΚΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ

διαφορετική από την ειδική αντίσταση των άλλων στρωμάτων. Στο απλό αυτό πρότυπο ανταποκρίνονται με ικανοποιητική προσέγγιση ιζηματογενείς σχηματισμοί, ενώ οι περισσότεροι πραγματικά οικονομικού ενδιαφέροντος σχηματισμοί προσεγγίζονται με συνθετότερα πρότυπα.

Ανεξάρτητα από τη διάταξη των ηλεκτροδίων, η διαδικασία εφαρμογής της μεθόδου στο πεδίο έχει σχέση με το ερώτημα, ποιες μεταβολές της ειδικής αντίστασης ενδιαφέρουν: οι μεταβολές κατά την οριζόντια έννοια ή οι μεταβολές μετά του βάθους. Στην πρώτη περίπτωση εφαρμόζεται η γεωηλεκτρική χαρτογράφηση (electric mapping - electric trenching - continuous profiling) και στη δεύτερη περίπτωση η γεωηλεκτρική βυθοσκόπηση (electric drilling - vertical electric sounding) (Ράμπελος, 1991).

A) Με τη γεωηλεκτρική χαρτογράφηση εντοπίζονται ασυνέχειες κατά την οριζόντια ανάπτυξη των σχηματισμών, όπως π.χ. μεταπτώσεις. Η μέθοδος είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στην περίπτωση αναζήτησης μεταλλευμάτων και στην χαρτογράφηση αρχαιολογικών χώρων. Η τιμή της φαινόμενης ειδικής αντίστασης ρ_a για σταθερή τιμή του k προσδιορίζεται σε σημεία που ανήκουν σε τομές κατά το δυνατό κάθετες στην παράταξη των σχηματισμών. Οι τιμές αυτές της ρ_a παριστάνονται γραφικά σε συνάρτηση με τις θέσεις των σημείων πάνω στην αντίστοιχη τομή. Από τη μορφή της γραφικής αυτής παράστασης μπορούν να προκύψουν συμπεράσματα σχετικά με τη δομή στο υπέδαφος. Η εκλογή της απόστασης των ηλεκτροδίων ρεύματος έχει μεγάλη σημασία για την επιτυχία της μεθόδου, αφού από την απόσταση αυτή εξαρτάται το βάθος μέχρι του οποίου οι σχηματισμοί στο υπέδαφος επιδρούν στη διαμόρφωση της τιμής της ρ_a .

B) Με τη γεωηλεκτρική βυθοσκόπηση προσδιορίζεται η φαινόμενη ειδική αντίσταση ρ_a σε ένα σταθερό σημείο της επιφάνειας για διαδοχικά αυξανόμενες τιμές του γεωμετρικού συντελεστή k . Στην περίπτωση δηλ. αυτή η απόσταση AB των ηλεκτροδίων ρεύματος αυξάνει διαδοχικά, ενώ το κέντρο O της διάταξης και η διεύθυνση AB, που θα πρέπει να είναι κατά το δυνατό παράλληλη με την παράταξη των γεωλογικών σχηματισμών, παραμένουν σταθερά. Η προσδιοριζόμενη μεταβολή της ρ_a αντικατοπτρίζει τη μεταβολή της κατανομής της ειδικής αντίστασης με το βάθος, αφού με κάθε αύξηση της απόστασης AB, διαδοχικά βαθύτεροι ορίζοντες επιδρούν στη διαμόρφωση της αντίστοιχης τιμής της ρ_a . Τις τιμές της ρ_a παριστάνουμε γραφικά σε συνάρτηση με την απόσταση σε λογαριθμική κλίμακα.

Αν το υπέδαφος είναι ομογενές, τότε η γραφική αυτή παράσταση της

συνάρτησης:

$$\rho_a = f \left(\frac{AB}{2} \right) \quad (2.7)$$

ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΕΡΕΣ ΒΟΛΟΥ

ΤΣΑΚΑΛΑΚΗ ΕΥΘΥΜΙΑ - ΤΣΙΣΚΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ

ή καμπύλη γεωηλεκτρικής βυθοσκόπησης θα είναι ευθεία γραμμή, παράλληλη προς τον άξονα των αποστάσεων. Στην περίπτωση δηλ. αυτή η ρ_a παραμένει σταθερή και ίση με την τιμή ρ της ειδικής αντίστασης του υπεδάφους.

2.5. Μαγνητική μέθοδος

Οι μαγνητικές διασκοπήσεις έχουν στόχο την ανίχνευση της αλλαγής των μαγνητικών ιδιοτήτων του υπεδάφους λόγω της παρουσίας δομών που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Κατά την διεξαγωγή μιας μαγνητικής διασκόπησης μετρείται το τοπικό μαγνητικό πεδίο της γης σε κάποια απόσταση από την επιφάνεια αυτής. Το ύψος που μπορεί να πραγματοποιηθεί μία μαγνητική διασκόπηση κυμαίνεται από 0.5 μέτρο, στην περίπτωση εντοπισμού θαμμένων αρχαιοτήτων, έως και μερικές εκατοντάδες μέτρα πάνω από το τοπογραφικό ανάγλυφο μιας περιοχής, στην περίπτωση εντοπισμού ανωμαλιών που σχετίζονται με την γεωλογία της περιοχής.

Για την μέτρηση του μαγνητικού πεδίου χρησιμοποιούνται συνήθως μαγνητόμετρα μέτρησης της ολικής έντασης του μαγνητικού πεδίου (πρωτονιακά μαγνητόμετρα) ή διαφορικά μαγνητόμετρα (πρωτονιακά ή ροής), τα οποία μετρούν την κατακόρυφη βαθμίδα του μαγνητικού πεδίου. Η ακρίβεια που παρουσιάζουν αυτά τα όργανα είναι της τάξης του 0.1 - 1 nT. Στην περίπτωση εντοπισμού αρχαιολογικών λειψάνων οι μετρήσεις λαμβάνονται με ένα σταθερό βήμα δειγματοληψίας σε ορθογώνιους καννάβους, μικρών σχετικά διαστάσεων (10x10 ή 20x20), τοποθετώντας τον αισθητήρα (ή μετρητή) σε μία σταθερή και μικρή απόσταση από την επιφάνεια της γης.

Υπεδάφειοι στόχοι με μαγνητικές ιδιότητες διαφορετικές από αυτές του περιβάλλοντος αλλάζουν κατά μικρό ή μεγάλο βαθμό το τοπικό μαγνητικό πεδίο. Η παραμόρφωση αυτή του μαγνητικού πεδίου παρατηρείται σαν "ανωμαλία" στις μετρήσεις. Οι ανωμαλίες αυτές μπορεί να οφείλονται σε διαφορετικά αίτια και διαφοροποιούνται βάση της έντασης του μαγνητικού πεδίου και του γεωμετρικού σχήματος αυτών. Τάφροι, εστίες καύσης, φούρνοι, αρχιτεκτονικές δομές ή συγκεντρώσεις οργανικού υλικού μπορούν να δημιουργήσουν ισχυρές μαγνητικές ανωμαλίες. Οι μαγνητικές ανωμαλίες εξαρτώνται τόσο από την διεύθυνση του μαγνητικού πεδίου της γης όσο και από την διεύθυνση της μαγνήτισης. Για τον λόγο αυτό οι μαγνητικές ανωμαλίες είναι κυρίως διπολικού χαρακτήρα. Οι μαγνητικές ανωμαλίες σχετίζονται άμεσα με την μαγνητική επιδεκτικότητα του εδάφους. Περιοχές με αυξημένη μαγνητική επιδεκτικότητα (πάντα σε σχέση με το περιβάλλον) εμφανίζονται ως θετικές μαγνητικές ανωμαλίες ενώ αντίθετα περιοχές με μειωμένη μαγνητική επιδεκτικότητα παρουσιάζονται ως αρνητικές ανωμαλίες. Και τα δύο αυτά είδη

ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΕΡΕΣ ΒΟΛΟΥ

ΤΣΑΚΑΛΑΚΗ ΕΥΘΥΜΙΑ - ΤΣΙΣΚΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ

μαγνητικών ανωμαλιών παρουσιάζουν ενδιαφέρον στην διαδικασία ερμηνείας των μαγνητικών δεδομένων.

Γενικά η ύπαρξη αρχαιολογικών ερειπίων στο υπέδαφος συνοδευόμενη συνήθως από μία αύξηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας στο υπέδαφος, προκαλεί ένα ασθενές μαγνητικό πεδίο το οποίο μεταβάλλει το τοπικό μαγνητικό πεδίο της γης. Τα πυρηνικά μαγνητόμετρα μετρούν την συνισταμένη του ασθενούς τοπικού μαγνητικού πεδίου και του πιο ισχυρού γήινου μαγνητικού πεδίου. Τα διαφορικά μαγνητόμετρα (μαγνητόμετρα ροής) μετρούν την κάθετη ή την οριζόντια συνιστώσα του μαγνητικού πεδίου. Τα δύο αυτά είδη μαγνητομέτρων αποτελούν τα πιο αποτελεσματικά όργανα μέτρησης του τοπικού μαγνητικού πεδίου και των μεταβολών αυτού λόγω παρουσία ανθρωπογενών λειψάνων.

Γενικά η μεταβολή του τοπικού μαγνητικού πεδίου λόγω της ύπαρξης υπεδάφειων αρχαιολογικών λειψάνων είναι σχετικά μικρή, εξαιτίας της ασθενούς παραμένουσας μαγνήτισης. Η μεταβολή αυτή αυξάνεται με την αύξηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας των αρχαιολογικών στόχων (φαινόμενα καύσης, πυκνότητα σε σιδηρούχα συστατικά κ.α.) Τα όργανα τα οποία απαιτούνται για τον εντοπισμό αρχαιολογικών ερειπίων πρέπει να έχουν υψηλή ακρίβεια, μεγάλη ευαισθησία και αξιοπιστία μετρήσεων. Τα όργανα αυτά μετρούν το μαγνητικό πεδίο με μία ακρίβεια της τάξεως των 0.1 - 1 nT (δηλαδή 0.1 - 1 x 10⁻⁹ T). Ακόμα μεγαλύτερη ακρίβεια, της τάξεως του pT (0.001 - 0.01 nT) είναι εφικτή με τα μαγνητόμετρα Καισίου, αλλά υπάρχει ο κίνδυνος εισαγωγής αυξημένων επιπέδων εξωτερικού θορύβου.

Πρέπει να σημειωθεί ότι το μαγνητικό πεδίο της γης δεν είναι στάσιμο αλλά μεταβάλλεται με τον χρόνο. Από όλες τις μεταβολές του μαγνητικού πεδίου αυτή που παρουσιάζει μεγαλύτερο ενδιαφέρον είναι η ημερήσια μεταβολή. Οι παροδικές αυτές μεταβολές επηρεάζουν τις μαγνητικές μετρήσεις υπαίθρου και δεν είναι προβλέψιμες.

Υπό κανονικές συνθήκες, η ένταση του μαγνητικού πεδίου παρουσιάζει διακυμάνσεις της τάξεως των 50 - 100 nT. Στις περιπτώσεις των μαγνητικών καταιγίδων το μαγνητικό πεδίο παρουσιάζεται πιο ενεργητικό και οι αλλαγές που εντοπίζονται είναι της τάξεως των 100 - 500 nT. Για τον λόγο αυτό είναι επιτακτική η ανάγκη της παρακολούθησης της αλλαγής του μαγνητικού πεδίου καθ' όλο το διάστημα των μαγνητικών διασκοπήσεων, χρησιμοποιώντας ένα δεύτερο μαγνητόμετρο ολικής έντασης. Η χρήση διαφορικών μαγνητομέτρων έχει το πλεονέκτημα της εξαλείψις των δραστικών αλλαγών του μαγνητικού πεδίου, καθώς και της άμβλυνσης των γεωλογικών επιδράσεων.

ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΕΡΕΣ ΒΟΛΟΥ

ΤΣΑΚΑΛΑΚΗ ΕΥΘΥΜΙΑ - ΤΣΙΣΚΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ

Ιστορική αναδρομή



Πριν από 500 χρόνια και μετά από μακροχρόνια έρευνα ο Gilbert Williams κατάφερε να συλλάβει την έννοια του μαγνητικού πεδίου της γης, λέγοντας ότι η Γη είναι ένα μαγνητικό πεδίο το οποίο πηγάζει στο κέντρο του άξονα της γης. Τη θεωρία του αυτή διατύπωσε στη διατριβή *De magnete*. Επιπλέον υποστήριξε ότι

το πεδίο αυτό είναι ισοδύναμο με αυτό που θα προκαλούσε ο ραβδόμορφος μαγνήτης τοποθετημένος επάνω στον άξονα περιστροφής της Γης.

Στα μέσα του 19^{ου} αιώνα ο Karl Frederick Gauss επιβεβαίωσε τις θεωρίες του Gilbert και έδειξε ότι το μαγνητικό της Γης προέρχεται από το εσωτερικό της και όχι από το διάστημα. Ο von Werde ανίχνευσε κοιτάσματα μετάλλων το 1843 μελετώντας ανώμαλες μεταβολές του γήινου πεδίου.

Ο Thalen το 1879 δημοσίευσε την πρώτη γεωφυσική εργασία με τίτλο *The Examination of Iron Ore Deposits by Magnetic Measurements*.

Νόμος του Coulomb



Ο Coulomb το 1785 απέδειξε ότι η ελκτική ή απωστική δύναμη μεταξύ δύο μαγνητικών πόλων είναι αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της απόστασης των πόλων

$$F = \frac{1}{\mu\mu_0} \frac{P_1 P_2}{r^2} \quad (2.8)$$

όπου μ ονομάζεται μαγνητική διαπερατότητα και εξαρτάται από το υλικό που υπάρχει μεταξύ των δύο σημειακών μαγνητικών ποσοτήτων P_1 και P_2 και r είναι η απόσταση των δύο αυτών ποσοτήτων.

(Η σταθερή μ_0 έχει τιμή ίση με τη μονάδα στο ηλεκτρομαγνητικό σύστημα μονάδων (emu) και τιμή $4\pi \cdot 10^{-7}$ V sec/Am στο SI).

$$H = \frac{F}{P_2} \quad (2.9)$$

Ένταση του Μαγνητικού πεδίου λέγεται ένα διανυσματικό μέγεθος, H , που έχει τη διεύθυνση και φορά της μαγνητικής δύναμης που ασκείται πάνω σε θετική μαγνητική ποσότητα, P_2 , η οποία βρίσκεται στο σημείο αυτό.

ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΕΡΕΣ ΒΟΛΟΥ

ΤΣΑΚΑΛΑΚΗ ΕΥΘΥΜΙΑ - ΤΣΙΣΚΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ

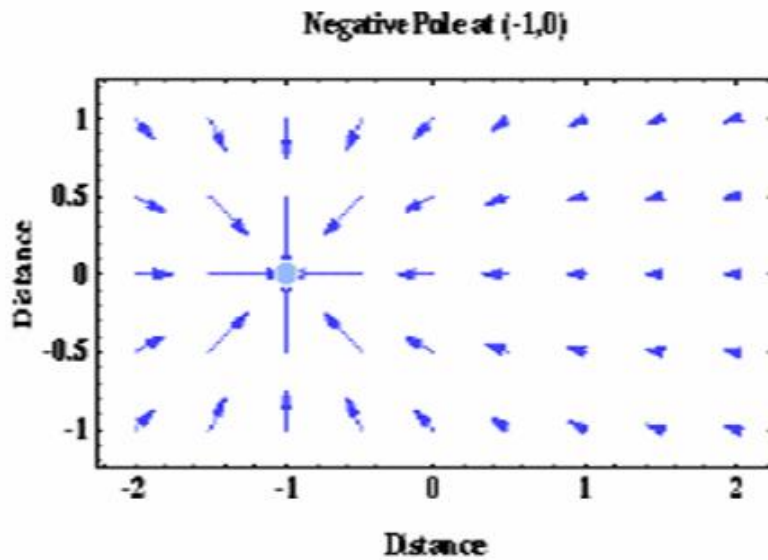
Εφ' όσον το πεδίο προκαλείται από την ποσότητα P_1 , έχουμε

$$H = \frac{F'}{P_2} = \frac{1}{\mu\mu_0} \frac{P_1}{r^2} \quad (2.10)$$

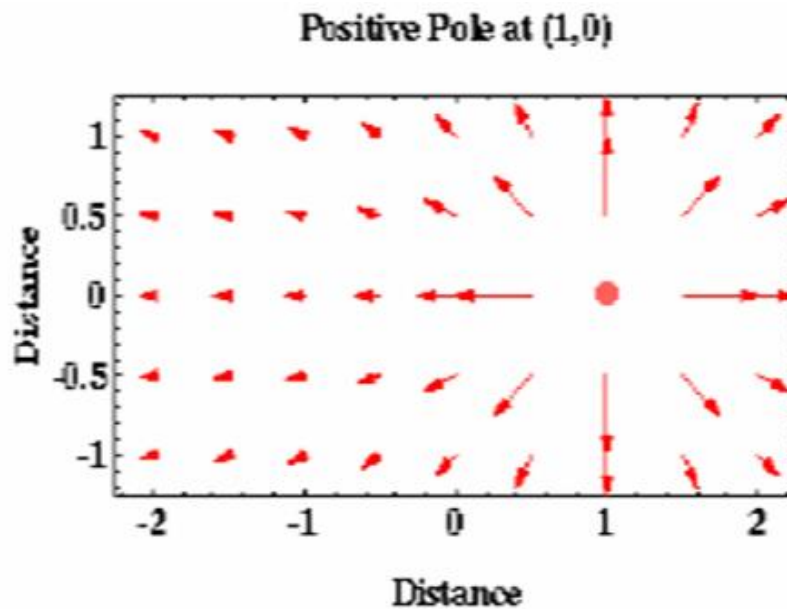


(Μονάδες έντασης: emu \rightarrow Oe, SI \rightarrow A/m = $4\pi/1000$ Oe)

Hans Christian Oersted (1777-1851)



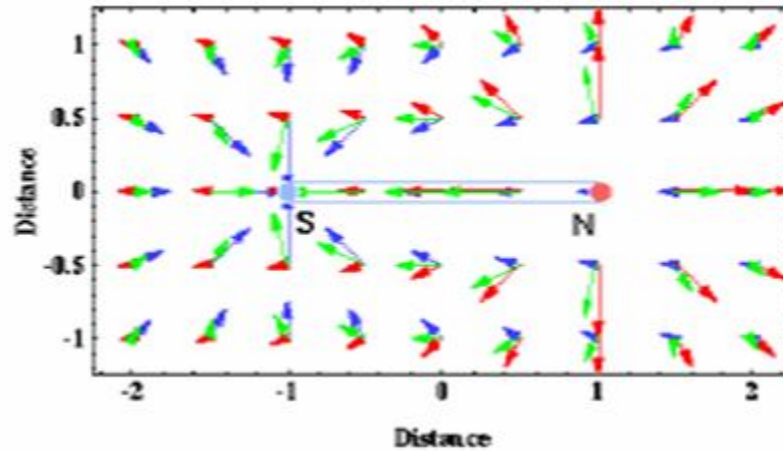
Σχήμα 5 Αρνητικός Μαγνητικός Πόλος



Σχήμα 6 Θετικός Μαγνητικός Πόλος

Ο αρνητικός μαγνητικός πόλος (σχήμα 5) βρίσκεται στην θέση (-1,0) ενώ ο θετικός μαγνητικός πόλος (σχήμα 6) βρίσκεται στην θέση (1,0).

2.5.1. Μαγνητικά Δίπολα

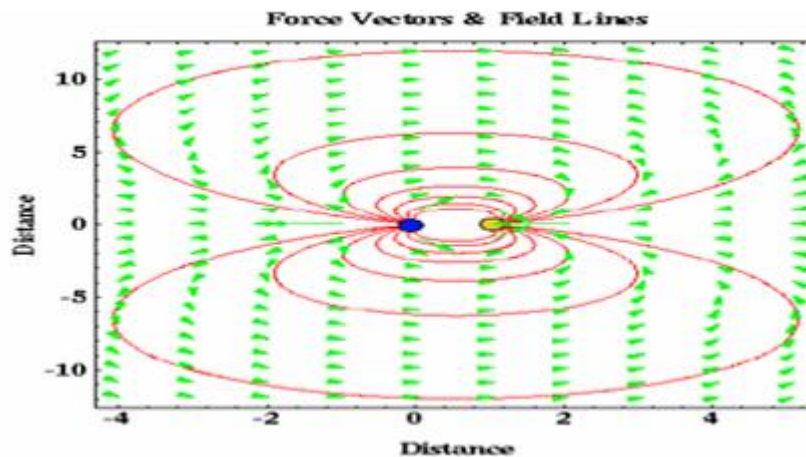


Σχήμα 7 Μαγνητικό Δίπολο

Μαγνητικό δίπολο ονομάζουμε την ύπαρξη ενός θετικού και ενός αρνητικού πόλου. Τα κόκκινα βελάκια εκφράζουν την επιρροή του θετικού πόλου. Τα μπλε βελάκια εκφράζουν την επιρροή του αρνητικού πόλου. Τα πράσινα βελάκια εκφράζουν την φορά των μαγνητικών γραμμών (σχήμα 7).

Οι Μαγνητικές γραμμές σ' ένα Δίπολο:

Έχουμε δύο διαφορετικούς μαγνητισμένους πόλους όπου οι κόκκινες γραμμές δεν τέμνονται μεταξύ τους. Τα πράσινα βελάκια εκφράζουν την φορά των μαγνητικών γραμμών. Η πυκνότητα των γραμμών είναι ενδεικτική της έντασης του πεδίου.



Σχήμα 8 Μαγνητικές γραμμές σε ένα δίπολο

2.5.2. Μαγνητική ροπή διπόλου

$$M^* = P \cdot l \quad (2.11)$$

Όπου P η μαγνητική ποσότητα κάθε πόλου και l η απόστασή τους. Είναι διανυσματικό μέγεθος που έχει τη διεύθυνση του l, φορά από τον αρνητικό προς τον θετικό πόλο και μέτρο το οποίο δίνεται από την παραπάνω σχέση.

$$J = \frac{M^*}{V} \quad (2.12)$$

Συνολική μαγνητική ροπή M* ενός σώματος είναι το σύνολο των μαγνητικών ροπών των διπόλων από τα οποία υποθέτουμε ότι συνίσταται. Ονομάζουμε μαγνήτιση την ποσότητα όπου V είναι όγκος του σώματος. Η μαγνήτιση έχει τις ίδιες μονάδες με την ένταση.

Η μαγνήτιση που αποκτάει ένα μαγνητικό σώμα όταν τοποθετείται σε μαγνητικό πεδίο που δεν είναι πολύ ισχυρό συνδέεται με την ένταση του μαγνητικού πεδίου με τη σχέση

$$\vec{J} = \kappa \vec{H} \quad (2.13)$$

όπου κ η μαγνητική επιδεκτικότητα.

Η μαγνητική επιδεκτικότητα είναι καθαρός αριθμός και εξαρτάται από το υλικό του μαγνητικού σώματος. Ακόμη συνδέεται με την μαγνητική διαπερατότητα με την σχέση σώματος

$$\mu = 1 + 4\pi\kappa \quad (2.14)$$

Θετικές τιμές σημαίνουν ότι μαγνήτιση, J, είναι ομόρροπη προς το πεδίο H.

Αρνητικές τιμές δείχνουν ότι αυτή είναι αντίρροπη προς το πεδίο H.

Όταν σώμα μαγνητικής επιδεκτικότητας μ τοποθετηθεί μέσα σε πεδίο έντασης H τότε δημιουργείτε εξ' επαγωγής πρόσθετο μαγνητικό πεδίο H'.

Το νέο πεδίο που αποτελεί σύνθεση των δύο χαρακτηρίζεται από ολική ένταση B.

Αυτή ονομάζεται μαγνητική επαγωγή και είναι μ φορές μεγαλύτερη της έντασης αν δεν βάζαμε το σώμα στο χώρο, δηλαδή

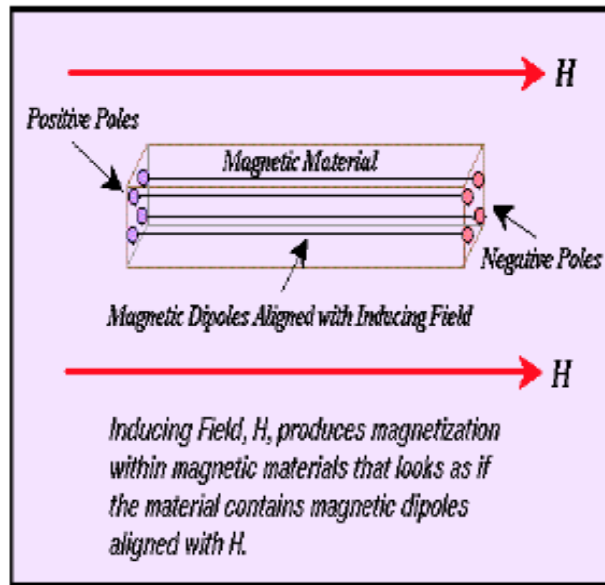
$$B = \mu\mu_0 H \quad (2.15)$$

$$1\text{T} = 10^4 \text{ gauss (G)} \quad (2.16)$$

$$1\gamma = 1\text{nT} = 10^{-5} \text{ gauss (G)} \quad (2.17)$$

(Μονάδες μαγνητικής επαγωγής: emu → Gauss (G), SI → tesla (T))

2.5.3. Μαγνητική επαγωγή



Σχήμα 9 Μαγνητικό υλικό

Όταν ένα μαγνητικό υλικό (σίδηρος) τοποθετείται σε ένα μαγνητικό πεδίο H , το μαγνητικό υλικό θα παράγει το δικό του μαγνητισμό.

Το δυναμικό, W , ορίζεται :

$$W = \int_r^{\infty} \vec{H} \cdot dr \quad (2.18)$$

Και από τις προηγούμενες σχέσεις :

$$W = \frac{1}{\mu\mu_0} \frac{P}{r} \quad (2.19)$$

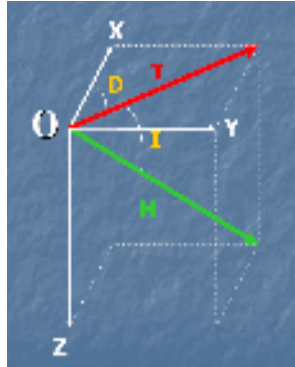
Οι συνιστώσες της έντασης ως προς ορθογώνιο σύστημα αξόνων, δίνονται από τις σχέσεις :

$$X = \frac{\partial w}{\partial x} \quad (2.20)$$

$$Y = \frac{\partial w}{\partial y} \quad (2.21)$$

$$Z = \frac{\partial w}{\partial z} \quad (2.22)$$

2.5.4. Το μαγνητικό πεδίο της Γης



Σχήμα 10 Σύστημα αναφοράς

- X,Y,Z → Τρισσορθογώνιο σύστημα αναφοράς
- HOZ → μαγνητικός μεσημβρινός
- XOZ → γεωγραφικός μεσημβρινός
- Γωνία D → μαγνητική απόκλιση (ανατολική ή δυτική) (γωνία μεταξύ βορρά και οριζόντιας προβολής του H)
- Γωνία I → μαγνητική έγκλιση (θετική ή αρνητική) (γωνία μεταξύ επιφάνειας γης και H)

Γενικά οι ποσότητες X,Y,Z,T,H,I,D λέγονται γεωμαγνητικά στοιχεία.

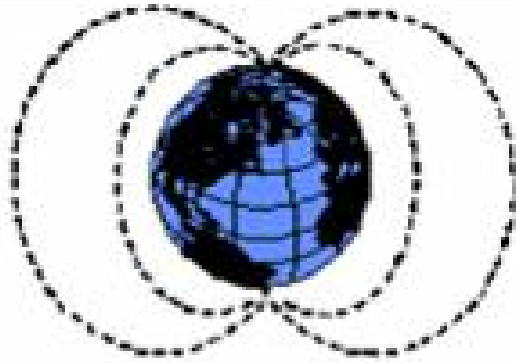
$$\begin{aligned} H^2 &= T^2 + Z^2 \\ T^2 &= X^2 + Y^2 \end{aligned} \quad (2.23)$$

$$H^2 = X^2 + Y^2 + Z^2 \quad (2.24)$$

$$\begin{aligned} T &= H \sigma \nu \nu I \\ Z &= H \eta \mu I \\ Z &= T \varepsilon \phi I \\ X &= T \sigma \nu \nu D \\ Y &= T \eta \mu D \end{aligned} \quad (2.25)$$

Οι μαγνητικοί πόλοι δεν ταυτίζονται με τους γεωγραφικούς πόλους.

Οι επαγωγές που αναπτύσσονται στους μαγνητικούς πόλους είναι της τάξεως των 60.000 nT.



Σχήμα 11 Μαγνητικό πεδίο της Γης

Μεταβολές του Μαγνητικού Πεδίου της Γης:

➤ ΤΟΠΙΚΕΣ:

- ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΜΗΚΟΣ ΚΑΙ ΠΛΑΤΟΣ.
- ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΙ ΠΟΛΟΙ ΟΠΟΥ ΕΓΚΛΙΣΗ = 90
- ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΣ ΙΣΗΜΕΡΙΝΟΣ ΟΠΟΥ ΕΓΚΛΙΣΗ = 0
- ΙΣΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟΙ ΧΑΡΤΕΣ (ΙΣΟΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ)

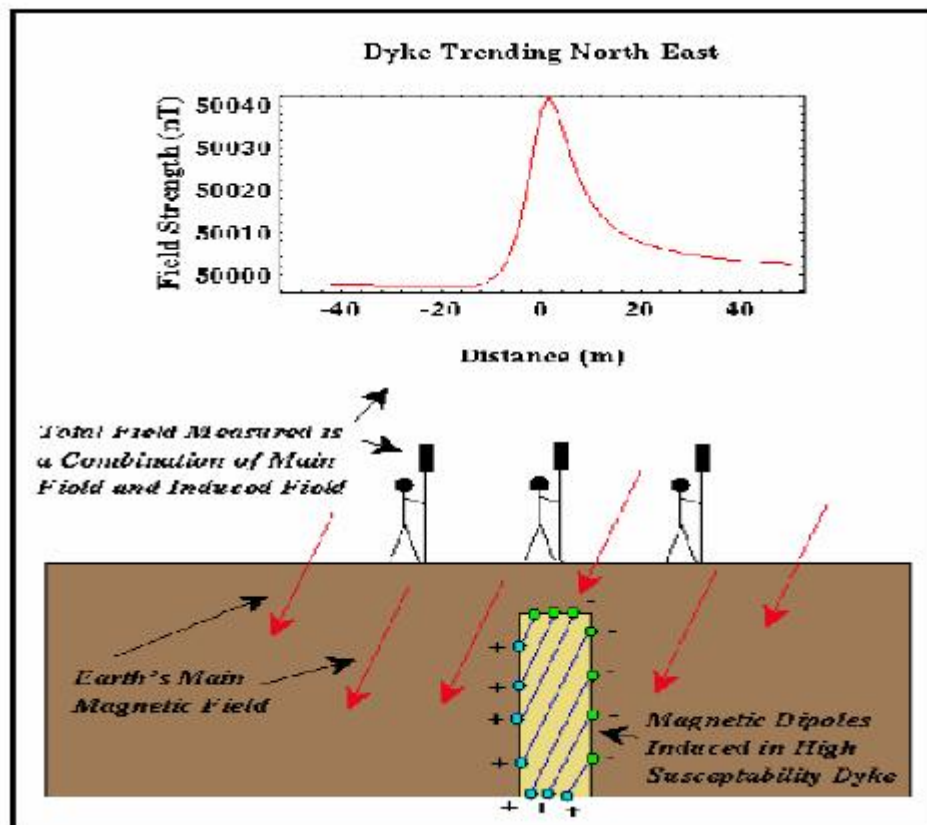
➤ ΧΡΟΝΙΚΕΣ:

- ΑΙΩΝΙΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ → αργές χρονικές μεταβολές
- ΠΑΡΟΔΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ → γρήγορες χρονικές μεταβολές

2.5.5 Μαγνητική διασκόπηση

Μετράμε μαγνητικές ανωμαλίες (δηλαδή: διανυσματικές διαφορές μεταξύ μαγνητικής επαγωγής μιας δομής και πετρωμάτων που περιβάλλουν την δομή).

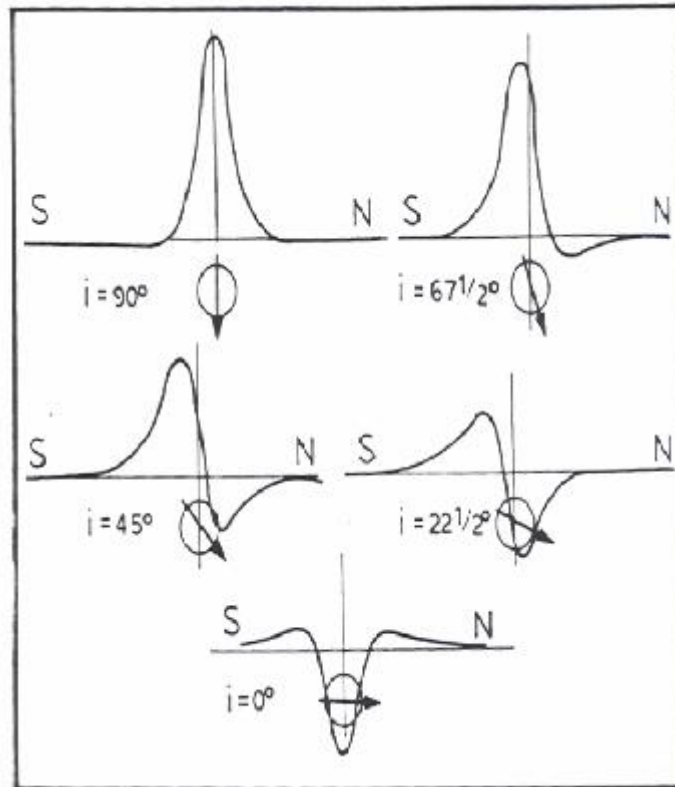
Η μορφή της μαγνητικής ανωμαλίας εξαρτάται από τον τόπο δηλαδή μεταβάλλεται από περιοχή σε περιοχή.



Σχήμα 12 Απεικόνιση Μαγνητικής ανωμαλίας

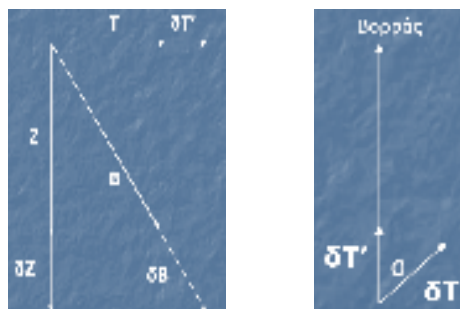
2.5.6. Μετρούμενα Μεγέθη στη Μαγνητική Διασκόπηση

Η μαγνητική ανωμαλία εξαρτάται από την αντίθεση μαγνήτισης και γι' αυτό μεταβάλλεται από περιοχή σε περιοχή λόγω μεταβολής των στοιχείων του μαγνητικού πεδίου της Γης.



Σχήμα 13 Μαγνητικές ανωμαλίες

Έστω δB , μαγνητική ανωμαλία, δZ και δT είναι η κατακόρυφη και οριζόντια συνιστώσα της



Σχήμα 14 Συνιστώσες μαγνητικής ανωμαλίας

$$\begin{aligned} \delta T &= \delta T \sin \alpha \\ B^2 &= Z^2 + T^2 \\ (B + \delta B)^2 &= (Z + \delta Z)^2 + (T + \delta T)^2 \Rightarrow \\ \delta B &= \delta Z \frac{Z}{B} + \delta T \frac{T}{B} \Rightarrow \\ \delta B &= \delta Z \eta \mu \alpha + \delta T \sigma \mu \lambda \sigma \nu \alpha \end{aligned}$$

(2.26)

2.5.7. Ερμηνεία μαγνητικών ανωμαλιών

Γενικά οι μαγνητικές ανωμαλίες περιέχουν "θόρυβο", και έχουν μεγαλύτερο εύρος. Κατά συνέπεια, ο διαχωρισμός του πεδίου των μαγνητικών ανωμαλιών σε περιφερειακό και τοπικό πεδίο είναι πολύ δύσκολη διαδικασία και στις περισσότερες περιπτώσεις δεν επιχειρείται καθόλου. Η πλέον συνηθισμένη μέθοδος ερμηνείας είναι η αντιπαραβολή της μαγνητικής ανωμαλίας με το μαγνητικό πεδίο που δημιουργούν απλά γεωμετρικά σώματα (Ράμπελος ,1991). Η μέθοδος της αναγωγής του πεδίου σε ορισμένο βάθος κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, όπως και η μέθοδος της δεύτερης παραγώγου του δυναμικού, χρησιμοποιείται σε περιορισμένη κλίμακα. Η πρώτη από τις μεθόδους αυτές αποδίδει περισσότερο στο πρόβλημα του προσδιορισμού του πάχους των ιζηματογενών σχηματισμών που έχει σχέση με την αναζήτηση πετρελαίου. Η δεύτερη, δηλαδή, η μέθοδος της δεύτερης παραγώγου, είναι καταλληλότερη για την περίπτωση αναζήτησης μεταλλευμάτων, καθώς τονίζει ασθενή χαρακτηριστικά που προέρχονται από μικρά βάθη. Αντίθετα η μέθοδος αναγωγής του πεδίου σε ορισμένο ύψος πάνω από την επιφάνεια του εδάφους χρησιμοποιείται για την εξομάλυνση του πεδίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΕΙΣ ΣΤΟΝ ΦΕΡΕ ΒΟΛΟΥ

3.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί, θα αναφερθούμε στην αρχή λειτουργίας των οργάνων που χρησιμοποιήσαμε για την συλλογή των δεδομένων μας από την περιοχή Φερών Βόλου.

3.2 ΤΑ ΟΡΓΑΝΑ ΤΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ

Κατά την Γεωφυσική διασκόπηση που πραγματοποιήσαμε στον αρχαιολογικό χώρο των Φερών Βόλου, χρησιμοποιήσαμε το μαγνητόμετρο GRAD 601 και το όργανο για τις ηλεκτρικές μετρήσεις Geoscan RM15.

3.2.1 Αρχή λειτουργίας του RM15



Εικόνα 3.1 Geoscan RM15

Οι μέθοδοι της ηλεκτρικής έρευνας βασίζονται στη μελέτη του τρόπου διάδοσης του ηλεκτρικού ρεύματος στο υπέδαφος με μετρήσεις που γίνονται στην επιφάνεια και

ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΕΡΕΣ ΒΟΛΟΥ

ΤΣΑΚΑΛΑΚΗ ΕΥΘΥΜΙΑ - ΤΣΙΣΚΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ

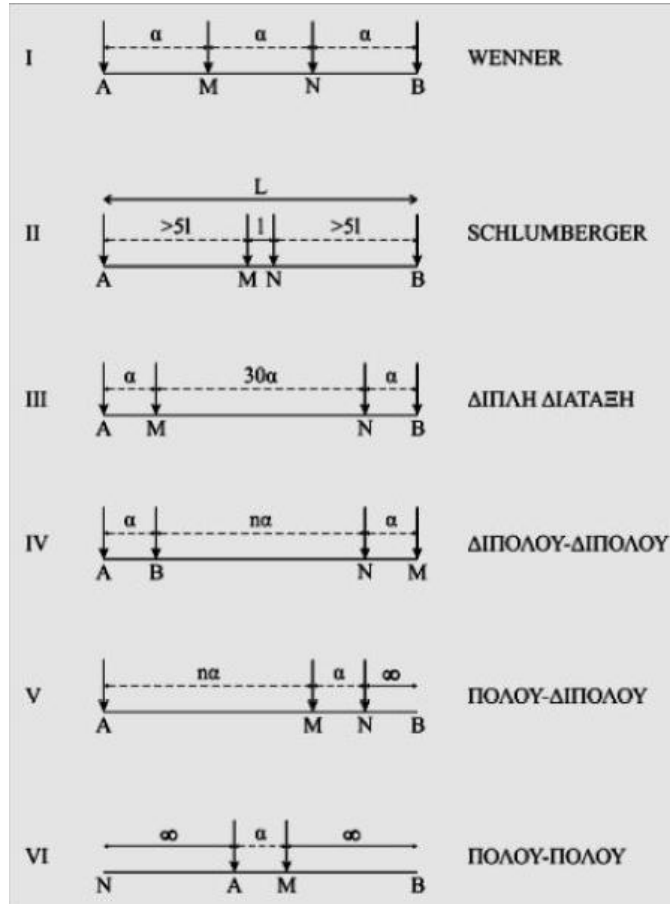
χρησιμοποιούνται με σκοπό το διαχωρισμό στόχων με διαφορετική ηλεκτρική αντίσταση (Nishimura 2001: 544). Στις ηλεκτρικές διασκοπήσεις, οι «ανωμαλίες» ορίζονται ως οι μεταβολές του ηλεκτρικού πεδίου ή της πυκνότητας του ρεύματος, οι οποίες οφείλονται σε διαταραχές εξ' αιτίας στόχων με διαφορετική αντίσταση (ή αγωγιμότητα) από το περιβάλλον έδαφος (Sarris 1992 :17).

Συνεπώς, θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι για τις γεωηλεκτρικές αρχαιολογικές διασκοπήσεις πιθανοί στόχοι αποτελούν τόσο οι αρχιτεκτονικές δομές (π.χ. τοίχοι, θεμέλια οικιών, κ.α.), όσο και τάφροι πληρωμένοι με εδαφικό υλικό, τα οποία παρουσιάζουν ισχυρό σήμα και εγγράφονται ως ισχυρές αντιστάσεις. Τάφροι, επίσης με συσσωρεύσεις οργανικού υλικού και αγωγή εδάφη, παρουσιάζουν συχνά ασθενές σήμα και εγγράφονται ως ασθενείς αντιστάσεις (Clark 1990: 37).

Επιπλέον, δάπεδα οικιών ή άλλες συμπίεσμένες δομές είναι ανιχνεύσιμες εξ αιτίας είτε του μειωμένου πορώδους είτε της υγρασίας, που έχει συσσωρευτεί στην επιφάνειά τους. Οι γεωηλεκτρικές διασκοπήσεις χρησιμοποιούν δύο ηλεκτρόδια ρεύματος για τη διοχέτευση ρεύματος στο έδαφος και δύο ηλεκτρόδια για τη μέτρηση της διαφοράς δυναμικού. Υπάρχουν πολλές διαφορετικές διατάξεις των ηλεκτροδίων που εφαρμόζονται στις εργασίες υπαίθρου, ανάλογα με την περιοχή και το είδος των ερευνών (Clark 1990: 38-48, Αγράμπελος 1991: 198-200, Sarris 1992: 34-8, Sarris and Jones 2000: 13, Nishimura 2001:544-5). Στο σχήμα 1 απεικονίζονται οι πιο συνήθεις διατάξεις. Οι διατάξεις τεσσάρων ηλεκτροδίων είναι οι πιο διαδεδομένες και οι πιο αποτελεσματικές. Στις αρχαιολογικές διασκοπήσεις χρησιμοποιείται συνήθως η μέθοδος της Διπλής Διάταξης (Twin-Probe Array), λόγω της εύκολης ερμηνείας των δεδομένων, της ταχύτητας κάλυψης του χώρου και της σχετικά καλής χωρικής διακριτικότητας της μεθόδου (Sarris and Jones 2000: 13, Nishimura 2001: 545).

ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΕΡΕΣ ΒΟΛΟΥ

ΤΣΑΚΑΛΑΚΗ ΕΥΘΥΜΙΑ - ΤΣΙΣΚΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ



Σχήμα 15 Τυπικές διατάξεις των ηλεκτροδίων στις ηλεκτρικές διασκοπήσεις

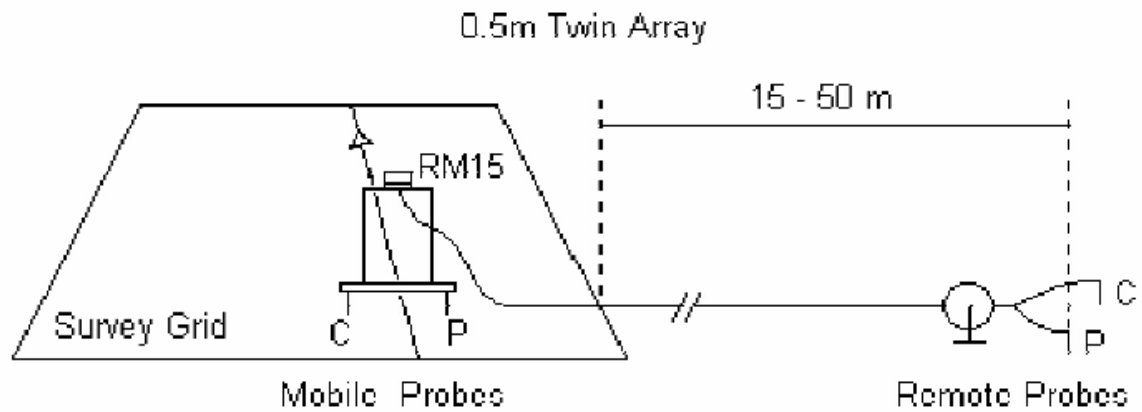
Στη μέθοδο της Διπλής Διάταξης των ηλεκτροδίων ένα ζευγάρι ηλεκτροδίων ρεύματος – δυναμικού παραμένει σταθερό καθ’ όλη τη διάρκεια της έρευνας και ένα δεύτερο ζευγάρι ηλεκτροδίων ρεύματος – δυναμικού μετακινείται σε σταθερή απόσταση 1 ή 0.5m κατά μήκος των γραμμών μελέτης (σχήμα 15, σχήμα 16). Αυτές οι γραμμές μελέτης, στις οποίες γίνεται η δειγματοληψία, είναι παράλληλες και ισαπέχουν μεταξύ τους (συνήθως 1 ή 0.5m) και περιλαμβάνουν σταθερό κάθε φορά αριθμό σταθμών μέτρησης. Η δε δειγματοληψία γίνεται είτε με σταθερό προσανατολισμό από Νότο προς Βορρά είτε βουστροφηδόν (από Νότο προς Βορρά και εν συνεχεία από Βορρά προς Νότο). Το ζεύγος των κινητών ηλεκτροδίων με τη βοήθεια μεταλλικού πλαισίου τοποθετείται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε το κέντρο τους να συμπίπτει με την ακριβή θέση του σταθμού μέτρησης. Η απόσταση μεταξύ σταθερών και κινητών ηλεκτροδίων εξαρτάται από την απόσταση των ηλεκτροδίων ρεύματος και δυναμικού, που είναι ενσωματωμένα στο μεταλλικό πλαίσιο και μετακινούνται κατά μήκος των γραμμών μελέτης. Έτσι, για άνοιγμα 0.5m των κινητών 45 ηλεκτροδίων, η απόσταση μεταξύ κινητών και σταθερών θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη των 15m.

ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΕΡΕΣ ΒΟΛΟΥ

ΤΣΑΚΑΛΑΚΗ ΕΥΘΥΜΙΑ - ΤΣΙΣΚΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ

Η χωρική διακριτικότητα της Διπλής Διάταξης των ηλεκτροδίων (Twin-Probe Array) είναι της τάξεως του 1.0α, ενώ το βάθος ανίχνευσης δύναται να φθάσει το 1.0 – 2.0α, όπου α είναι το άνοιγμα των κινητών ηλεκτροδίων (στην περίπτωση της παρούσας έρευνας χρησιμοποιήθηκε άνοιγμα ηλεκτροδίων $a=0.5\text{m}$).

Τέλος, στις γεωηλεκτρικές διασκοπήσεις με τη μέθοδο της Διπλής Διάταξης χρησιμοποιείται συνήθως ηλεκτρικό ρεύμα έντασης 1mA σε συχνότητα 137,5Hz, προκειμένου να αποφευχθούν παρεμβολές από διάφορες αρμονικές συχνότητες, οι οποίες προέρχονται από γραμμές ηλεκτροδότησης



Σχήμα 16 Διάταξη ηλεκτρικής διασκόπησης

3.2.2 Αρχή λειτουργίας του μαγνητόμετρου ρυθμιζόμενης ροής



Εικόνα.3.2 Μαγνητόμετρο GRAD 601

Η λειτουργία του βασίζεται στο φαινόμενο κατά το οποίο, κάθε μαγνητικό υλικό μεγάλης μαγνητικής επιδεκτικότητας αποκτά κάτω από την επίδραση ισχυρού μαγνητικού πεδίου, μια μέγιστη τιμή μαγνήτισης, που λέγεται “μαγνήτιση κόρου”.

Αποτελείται από δύο παράλληλες ράβδους κατασκευασμένες από φερρομαγνητικό υλικό ή κάποιο άλλο υλικό μεγάλης μαγνητικής επιδεκτικότητας. Η ευαισθησία των δύο ράβδων είναι αρκετή, έτσι ώστε ακόμα και το αδύνατο μαγνητικό πεδίο της γης να προκαλεί σ’ αυτές μαγνητικό κορεσμό. Κάθε ράβδος περιβάλλεται από ένα πηνίο(πρωτεύον), τα οποία όμως έχουν περιτυλιχτεί με αντίθετη κατεύθυνση. Όταν διαρρέει ρεύμα τα πρωτεύοντα πηνία επαγόμενα μαγνητικά πεδία στους πυρήνες, τα οποία είναι το ίδιο ισχυρά αλλά με αντίθετη κατεύθυνση. Η τάση που εφαρμόζεται στους ακροδέκτες του πρωτεύοντος είναι τέτοιας συχνότητας και πλάτους, έτσι ώστε κατά τους χρόνους των μεγίστων και ελαχίστων της τάσης, το παραγόμενο μέσα σε κάθε σωληνοειδές πεδίο να είναι ισχυρότερο από το πεδίο που χρειάζεται για να αποκτήσουν οι πυρήνες μαγνήτιση κόρου. Συνεπώς η χρονική μεταβολή της έντασης, μέσα σε κάθε σωληνοειδές είναι παρόμοια με την χρονική μεταβολή τάσης, που εφαρμόζεται, με την διαφορά ότι τα μέγιστα και ελάχιστα της έντασης δεν είναι στιγμιαία, αλλά διαρκούν ορισμένο χρόνο, κατά την διάρκεια του οποίου οι πυρήνες έχουν

ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΕΡΕΣ ΒΟΛΟΥ

ΤΣΑΚΑΛΑΚΗ ΕΥΘΥΜΙΑ - ΤΣΙΣΚΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ

την μαγνήτιση κόρου. Ένα δευτερεύον πηνίο περιβάλλει τα δύο πρωτεύοντα. Τα μαγνητικά πεδία που δημιουργούνται στους πυρήνες των πρωτεύοντων πηνίων δημιουργούν μια διαφορά δυναμικού στο δευτερεύον. Όταν δεν υπάρχει εξωτερικό πεδίο, η διαφορά δυναμικού στο δευτερεύον είναι μηδέν, επειδή τα μαγνητικά πεδία στους δύο πυρήνες έχουν αντίθετη φορά και αλληλοεξουδετερώνονται. Εάν ένας από τους δύο πυρήνες παράλληλος με μια συνιστώσα εξωτερικού μαγνητικού πεδίου, παράγει ένα λίγο ισχυρότερο μαγνητικό πεδίο από τον άλλο πυρήνα, το οποίο δίνει την διαφορά δυναμικού στα άκρα του δευτερεύοντος πηνίου.

Το μαγνητόμετρο ρυθμιζόμενης μαγνητικής ροής (Εικόνα 3.2) είναι ικανό να μετρήσει οποιαδήποτε συνιστώσα του μαγνητικού πεδίου της γης, αλλά με κατάλληλο προσανατολισμό των πυρήνων έτσι ώστε να είναι παράλληλοι με την συνιστώσα που μετριέται.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ SURFER

Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε με την χρήση του προγράμματος Surfer 8 το οποίο χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό παραγώγων χωρικών δεδομένων και τη σύνθεση θεματικών απεικονίσεων.

4.1 Βασικές εφαρμογές του Surfer 8

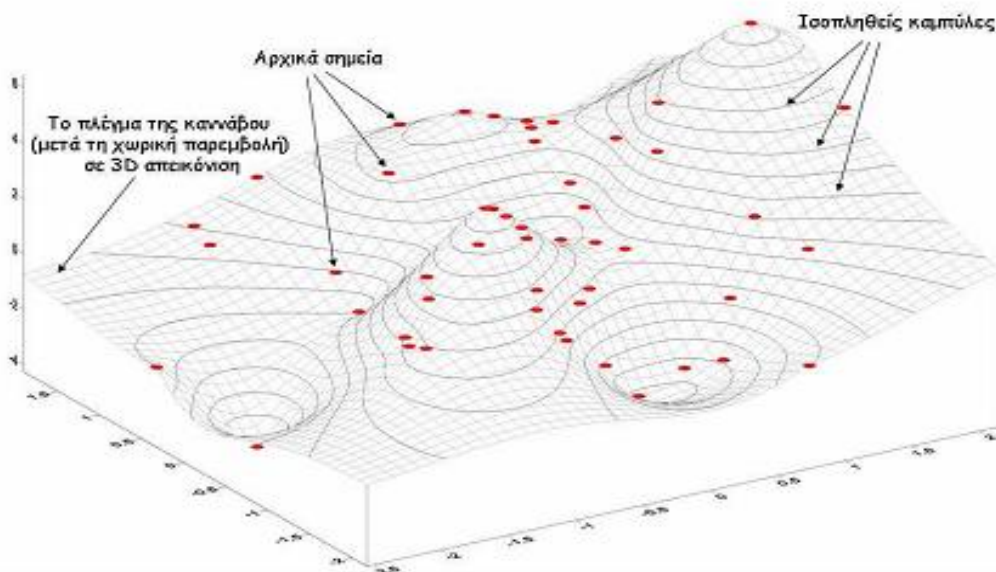
- Κάνναβος (Grid):

Ο κάνναβος είναι μία ορθογώνια περιοχή που περιέχει Z τιμές από τα δεδομένα οι οποίες είναι τοποθετημένες σε γραμμές και στήλες (παρόμοια με την διάταξη των κελιών σε ένα φύλλο εργασίας του excel). Οι γραμμές αντιστοιχούν σε τιμές ίσου Y και οι στήλες σε τιμές ίσου X. Η τομή κάθε γραμμής με μία στήλη ορίζει έναν κόμβο του καννάβου. Ο κόμβος αυτός περιέχει τις τιμές Z για τη συγκεκριμένη θέση X,Y του καννάβου

- Ισοπληθείς καμπύλες (contours):

Ισοπληθείς καμπύλες ονομάζονται οι καμπύλες που εμφανίζονται σε έναν χάρτη και που κάθε μία περνάει πάνω από περιοχές που έχουν την ίδια τιμή της παραμέτρου που μετράται.

Συνήθη ισοπληθών καμπυλών είναι οι ισοβαθείς, οι ισοϋψείς, οι ισοπαχείς, οι ισόαλλες, οι ισόθερμες, ισομαγνητικές κ.λ.π.



Σχήμα 17 Ισοπληθείς καμπύλες

ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΕΡΕΣ ΒΟΛΟΥ

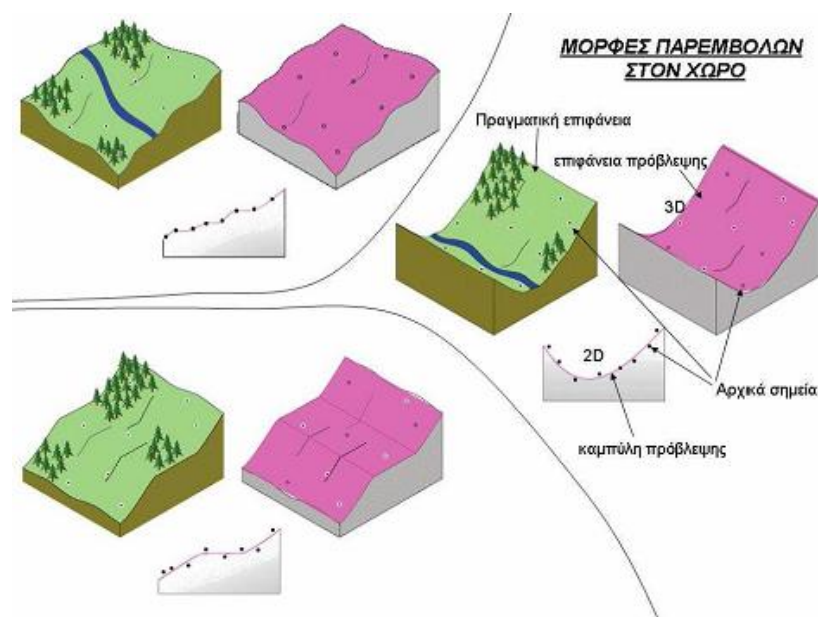
ΤΣΑΚΑΛΑΚΗ ΕΥΘΥΜΙΑ - ΤΣΙΣΚΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ

- Χωρική παρεμβολή (interpolation):

Χωρική παρεμβολή ονομάζεται η μέθοδος με την οποία μπορούμε ξεκινώντας από ένα σετ δεδομένων με μετρήσεις σε τυχαία σημεία στον χώρο να καταλήξουμε σε ένα συμπαγές σετ δεδομένων, σε μορφή καννάβου, τα οποία να επαληθεύουν τις αρχικές μετρήσεις. Μπορεί να θεωρηθεί ως μια μέθοδος πρόβλεψης του τι βρίσκεται μεταξύ των δοσμένων σημείων. Αν π.χ. μετρήσουμε το υψόμετρο σε διάφορα τυχαία σημεία πάνω σε κάποιο ανάγλυφο, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα και προβούμε σε χωρική παρεμβολή, το αποτέλεσμα θα είναι μια επιφάνεια που θα προβλέπει το υψόμετρο μεταξύ των αρχικών σημείων. Αν τα αρχικά σημεία είναι επαρκή μέτρησης η χωρική παρεμβολή θα μπορέσει να κάνει μια πολύ καλή προσομοίωση του πραγματικού ανάγλυφου της περιοχής έρευνας. Η χωρική παρεμβολή γίνεται με τη χρήση διάφορων μαθηματικών μεθόδων οι κυριότερες των οποίων είναι οι ακόλουθες:

Kriging, Radial Basis Functions, Local Polynomial, Polynomial Regression, Natural Neighbor, Nearest Neighbor, Triangulation with linear interpolation.

Αυτές οι μέθοδοι διαφέρουν πολύ μεταξύ τους και θα πρέπει να χρησιμοποιούνται με μεγάλη προσοχή και μετά από μελέτη. Άλλες μέθοδοι επαληθεύουν επ' ακριβώς τα αρχικά σημεία, άλλες δίνουν την γενική τάση της παραμέτρου που μετρήθηκε και άλλες προσπαθούν να διασφαλίσουν τη μέγιστη δυνατή επαλήθευση των αρχικών σημείων σε συνδυασμό με τη δημιουργία ενός όσο το δυνατόν πιο ομαλού αποτελέσματος. Η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη μέθοδος είναι η Kriging και αυτή χρησιμοποιήθηκε στην επεξεργασία των δεδομένων της παρούσας εργασίας.



Σχήμα 18 Χωρικές Παρεμβολές

4.2 Δημιουργία χωρικών κατανομών στο Surfer

Εφαρμογή σε Grid αρχείο

Βήματα:

- ▶ Μετατροπή του πίνακά μου (data → *.dat) σε αρχείο καννάβου (grid → *.grd):
 - >Εκτελώ: Grid → Data → Επιλέγω το αρχείο στο οποίο έχω αποθηκεύσει τις χωρικές(X , Ψ) πληροφορίες των σημείων καθώς και τις μετρήσεις που αντιστοιχούν σε κάθε ένα από αυτά.
 - >Από το μενού , στο πεδίο General επιλέγω ως Gridding Method κατά προτίμηση την μέθοδο Kriging. Αφαιρώ κατά προτίμηση την επιλογή General Report.
 - >Στο πεδίο Data αντιστοιχίζω σωστά τις X,Y και Z πληροφορίες του πίνακά μου.
 - >Πατάω OK
- ▶ Εμφάνιση και μορφοποίηση των χωρικών κατανομών ισοπληθών (Contour Map).
 - >Εκτελώ: Map → Contour Map → New Contour Map... → στο παράθυρο “Open Grid” επιλέγω το out αρχείο που δημιούργησα στο προηγούμενο βήμα
 - >Στο παράθυρο “Contour Map Properties”, από το πεδίο “Options” μπορώ να επιλέξω αν θέλω οι ισοπληθείς μου να είναι απλές γραμμές ή να είναι γεμισμένες με χρωματικές διαβαθμίσεις ενώ στο πεδίο “Levels” μπορώ να ορίσω αυτές τις χρωματικές διαβαθμίσεις όπως επίσης και την ισοδιάσταση που θα χρησιμοποιήσω. Η επωνομασία των στηλών στο παράθυρο “Levels” είναι ενεργά κουμπιά.
 - >Έτσι, αν επιλέξω “Levels”, από την επιλογή Interval μπορώ να ορίσω την ισοδιάστασή μου, ενώ αν επιλέξω “Fill” μπορώ να ορίσω την χρωματική διαβάθμιση με την οποία θα γεμίσει ο ενδιάμεσος από τις ισοπληθείς χώρος.
 - >Επιλέγω OK...
 - > Επιλέγω όλο τον χώρο του Plot με click and draw (κλίκ και σύρσιμο) ή εκτελώντας: Edit → Select All (Ctrl+A)
 - >Εκτελώ: Map → Overlay Maps (έτσι ώστε να συμπέσουν οι δύο χάρτες)
- ▶ Στο παράθυρο “Contour Map Properties”, μπορώ να βρεθώ ανά πάσα στιγμή, αν κάνω δεξιά κλίκ πάνω στον χάρτη και επιλέξω από το μενού που θα μου εμφανιστεί την επιλογή “Options”.
- ▶ Εκτελώντας: Help → Automation Help μπορείτε να βρείτε ακριβείς οδηγίες και παραδείγματα για οτιδήποτε θέλετε να κάνετε.

4.3 Επεξεργασία δεδομένων

Η επεξεργασία των μετρήσεων άρχισε από τις πρώτες ημέρες του προγράμματος. Μετά από τις εργασίες υπαίθρου, γινόταν καταχώρηση των μετρήσεων στον ηλεκτρονικό υπολογιστή, επαλήθευση αυτών και μία αρχική επεξεργασία έτσι ώστε να γίνεται παρακολούθηση της πορείας της έρευνας και αποτελεσμάτων. Κατόπιν, πραγματοποιήθηκε η τελική επεξεργασία από τις εκπονήτριες της παρούσας εργασίας.

Η επεξεργασία των μετρήσεων περιελάμβανε τα ακόλουθα βήματα:

- Μετατροπή των πρωταρχικών δεδομένων με την μορφή συντεταγμένων (x,y,z)
 - Αλλαγή συντεταγμένων σε τοπικό σύστημα αναφοράς για την δημιουργία του μωσαϊκού των μαγνητικών κελιών.
 - Αποκοπή (muting), δηλαδή αφού πήραμε τα δεδομένα πεδίου (raw data), κάναμε αποκοπή των πολύ ακραίων τιμών καθώς επίσης και των dummy values (ψευδοτιμών) [204.7 ή 2047.5]. Αυτό αφορά τόσο τις μαγνητικές όσο και τις ηλεκτρικές μεθόδους.
 - Διόρθωση επιπέδου ή μέσης τιμής (mean correction), όπου πραγματοποιήθηκε διόρθωση στο επίπεδο αναφοράς καθώς έχουμε μεταβολή του ύψους του οργάνου λόγω της τοπογραφίας. Όσον αφορά τα μαγνητικά, η διόρθωση επιπέδου γίνεται με επίπεδο αναφοράς το μηδέν. Ενώ όσον αφορά τα ηλεκτρικά, η διόρθωση επιπέδου έγινε με επίπεδο αναφοράς το δεκαπέντε.
- Στην συνέχεια προσθέτουμε ή αφαιρούμε σε κάθε καννάβο την διαφορά μέσης τιμής όλων των καννάβων μείον την μέση τιμή κάθε καννάβου. Αυτό ισχύει για τα ηλεκτρικά. Στα μαγνητικά, προσθέτουμε το αντίθετο της μέσης τιμής για να μηδενίσουμε την μέση τιμή του κάθε καννάβου.
- Αφού ολοκληρώθηκε η επεξεργασία των αρχείων χωριστά, ακολούθησε η ένωση των καννάβων (grids), με τις πραγματικές συντεταγμένες για κάθε καννάβο. Στην συνέχεια ακολούθησε η διαδικασία της παρεμβολής (gridding με την μέθοδο του kriging) για να προκύψουν οι χάρτες των περιοχών έρευνας. Το βήμα της παρεμβολής στην συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχθηκε ίσο με 0.1 m.
 - Εφαρμογή φίλτρων διαφόρων γεωμετρικών διαστάσεων με σκοπό την εξομάλυνση ακραίων τιμών καθώς και την καλύτερη απεικόνιση των περιοχών με έντονο ενδιαφέρον.
 - Δημιουργία ασπρόμαυρων και έγχρωμων χαρτών. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ως σχήματα τόνων του γκρι χρώματος (Schollar et al., 1986) έτσι ώστε να δίδεται μια εικόνα η οποία προσομοιάζει την κάτοψη των δομών που

ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΕΡΕΣ ΒΟΛΟΥ

ΤΣΑΚΑΛΑΚΗ ΕΥΘΥΜΙΑ - ΤΣΙΣΚΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ

προκαλούν την ανώμαλη κατανομή των πρώτων κατακόρυφων διαφορών του μαγνητικού πεδίου. Αντίστοιχα, οι διάφοροι τόνοι χρωμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στους έγχρωμους χάρτες βοήθησαν στο να γίνει πιο εμφανής η αντίθεση των διαφορετικών τιμών.

Τέλος έγινε γεωαναφορά των γεωφυσικών καννάβων στο τοπογραφικό σχέδιο της περιοχής.

4.4 Φίλτρα

Κατά την επεξεργασία των δεδομένων προκειμένου να παράγουμε αποτελέσματα τα οποία θα μας έδιναν μια καλύτερη εικόνα για το υπόβαθρο της υπό μελέτης περιοχής χρησιμοποιήσαμε, με την βοήθεια του προγράμματος Surfer φίλτρα. Τα φίλτρα τα οποία μας έδωσαν τα καλύτερα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω.

Τα φίλτρα τα οποία χρησιμοποιήσαμε κατά βάση ήταν Linear Low_pass και High_pass. Η κάθε κατηγορία από τα Low_pass και High_pass φίλτρα εξηγείτε παρακάτω.

Φίλτρο: ονομάζουμε ένα σύστημα από υλικό (hardware) ή λογισμικό (software) το οποίο εφαρμόζεται σε ένα σύνολο από δεδομένα στα οποία έχει επιδράσει θόρυβος (ανεπιθύμητη-διαταραχή) με στόχο την εξαγωγή πληροφοριών που μας ενδιαφέρουν.

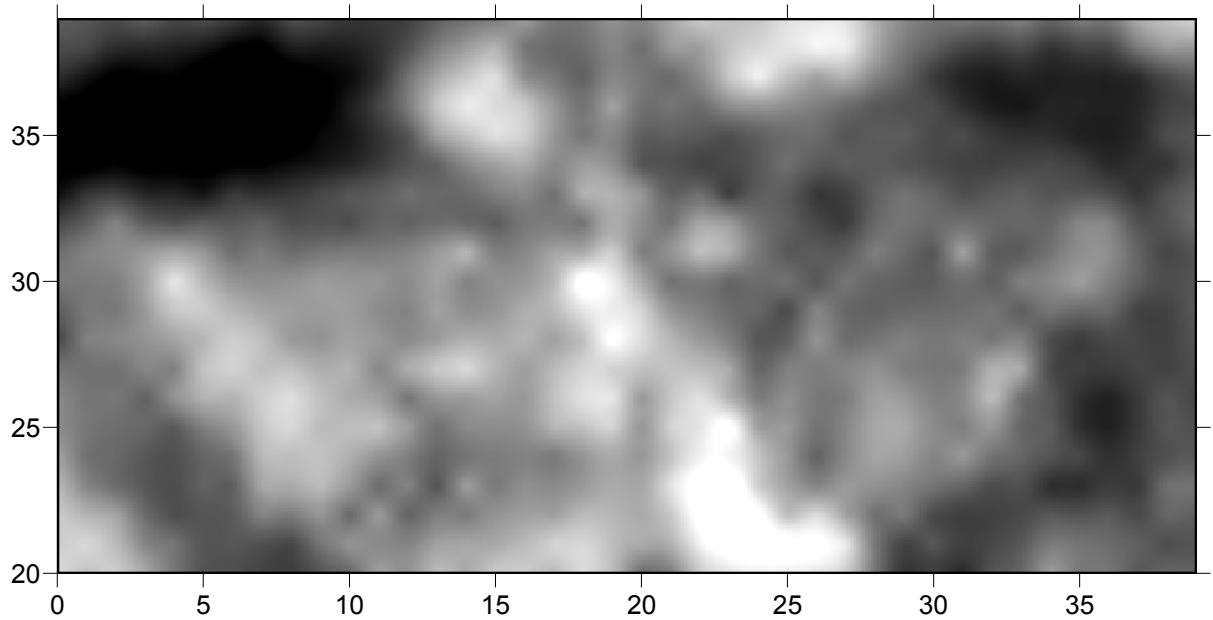
- Τα φίλτρα διακρίνονται σε Γραμμικά και Μη Γραμμικά
- Στα γραμμικά φίλτρα η έξοδος είναι ένας γραμμικός συνδυασμός των δεδομένων που εφαρμόζεται στην είσοδο (σήμα εισόδου)

Φίλτρα που χρησιμοποιήσαμε:

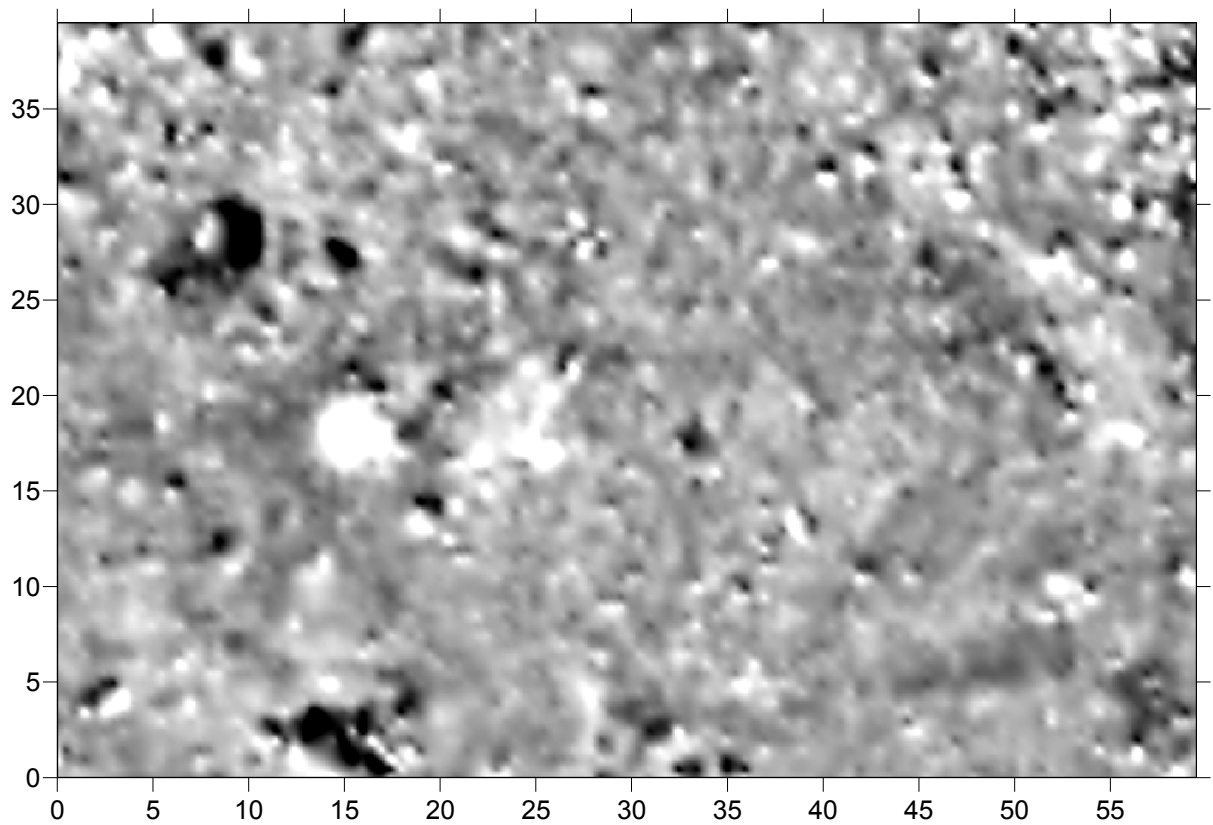
Low pass: Τα φίλτρα χαμηλής συχνότητας (χαμηλοδιαβατά φίλτρα) σχεδιάζονται για να τονίσουν τα χαρακτηριστικά χαμηλών συχνοτήτων (μεταβολές φωτεινότητας μεγάλων περιοχών) και να αποδυναμώσουν τις υψηλές συχνότητες μίας εικόνας (τοπικές λεπτομέρειες). Δεδομένου ότι υποβαθμίζουν τη λεπτομέρεια σε μία εικόνα, τα χαμηλών συχνοτήτων μερικές φορές καλούνται φίλτρα εξομάλυνσης ή φίλτρα μέσης τιμής. Τα φίλτρα αυτά τονίζουν την λεπτομέρεια χαμηλής συχνότητας για να εξομαλύνουν το θόρυβο εικόνας ή να μειώσουν τα ακραία δεδομένα.

4.4.1 Επεξεργασία με Low pass Φίλτρα

Περιοχή Α



Σχήμα 19 A1-A2 Ηλεκτρικά: Linear, Predefined Low 5-node+Averagin

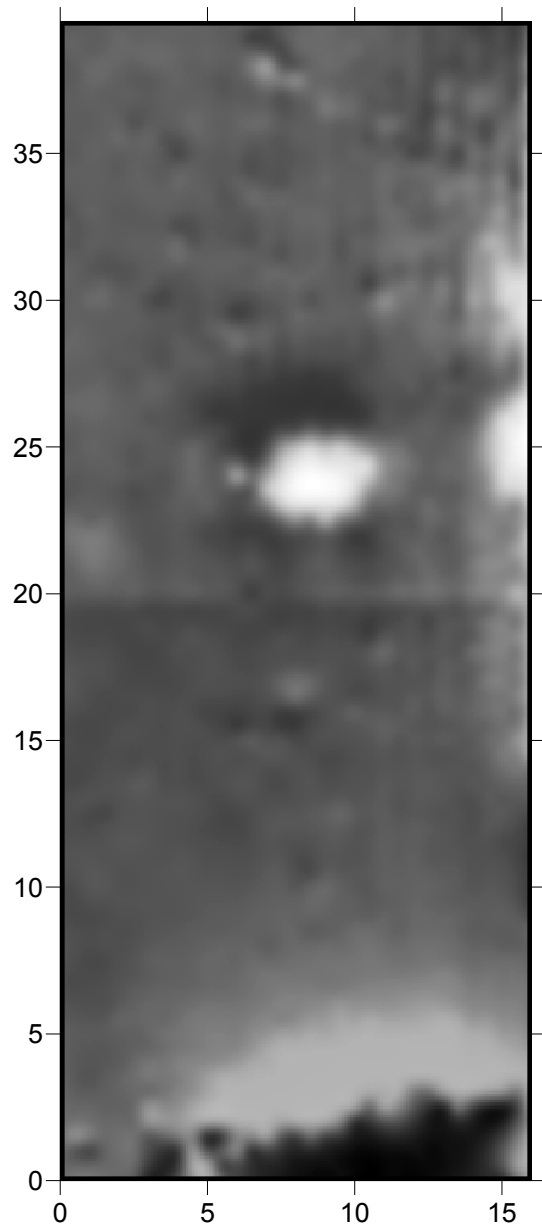


Σχήμα 20 A1-A6, Μαγνητικά: low Pass Filter, general, User Defined

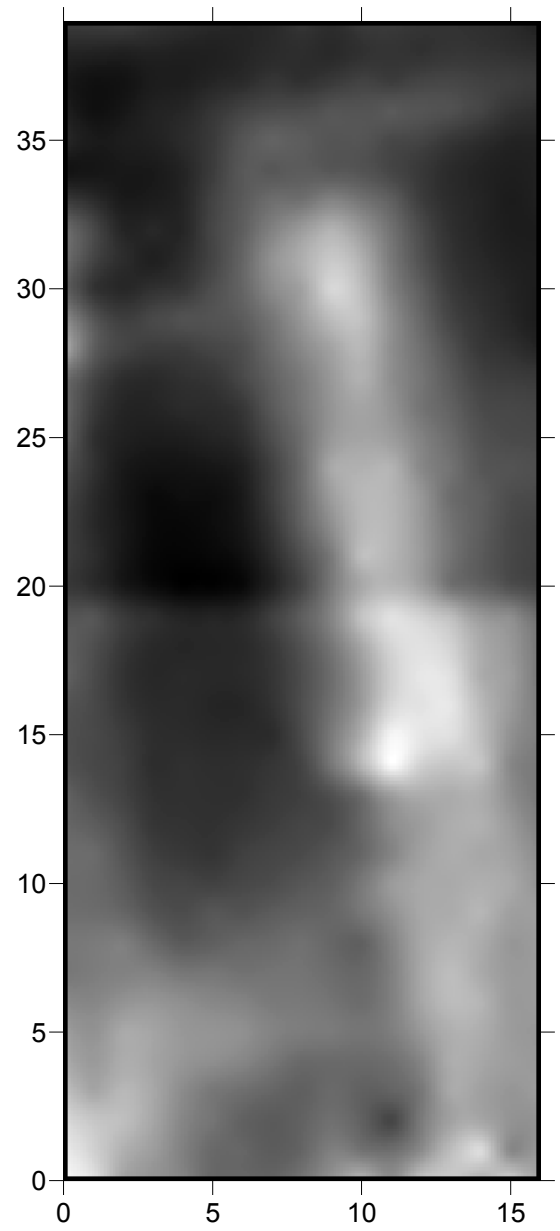
ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΕΡΕΣ ΒΟΛΟΥ

ΤΣΑΚΑΛΑΚΗ ΕΥΘΥΜΙΑ - ΤΣΙΣΚΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ

Περιοχή Β1-Β2



Σχήμα 21 Μαγνητικά: low Pass moving Average

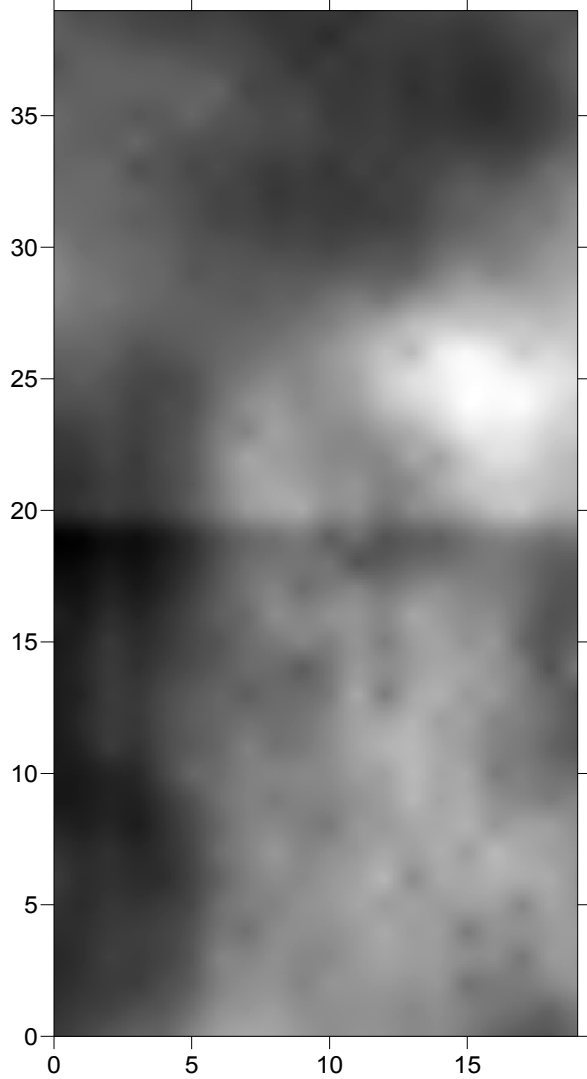


Σχήμα 22 Ηλεκτρικά: low Pass Filters Inverse Distance

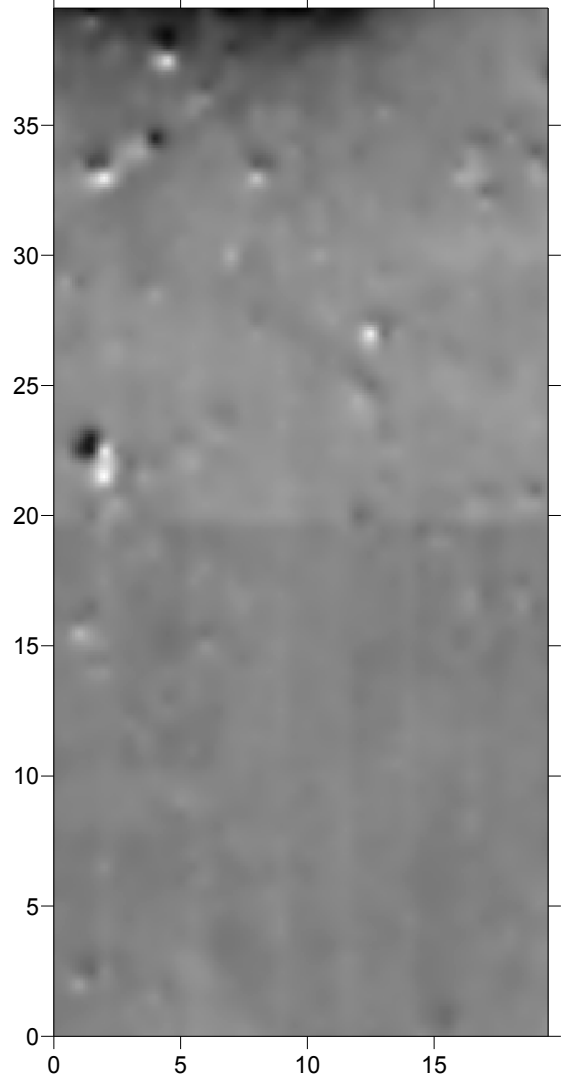
ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΕΡΕΣ ΒΟΛΟΥ

ΤΣΑΚΑΛΑΚΗ ΕΥΘΥΜΙΑ - ΤΣΙΣΚΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ

Περιοχή Β4-Β5



Σχήμα 23 Ηλεκτρικά, low pass 2

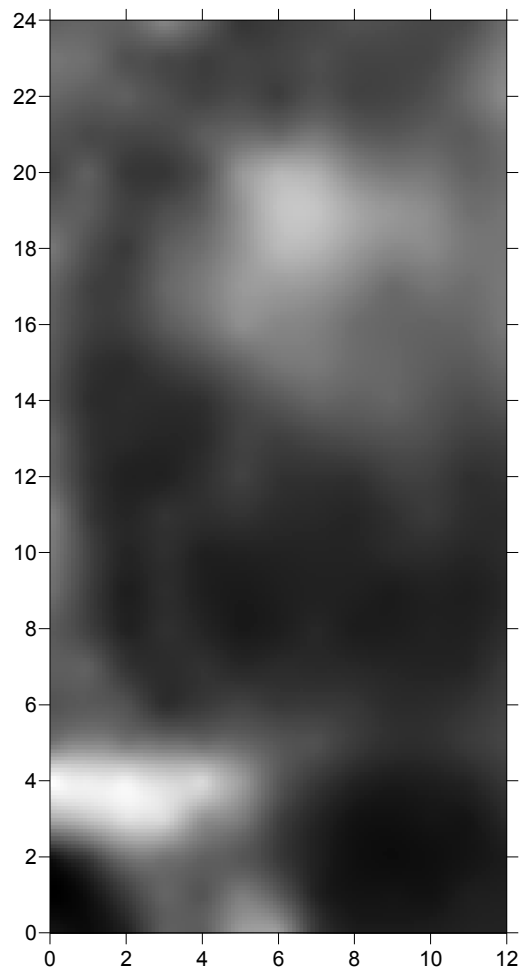


Σχήμα 24 Μαγνητικά, low pass 2

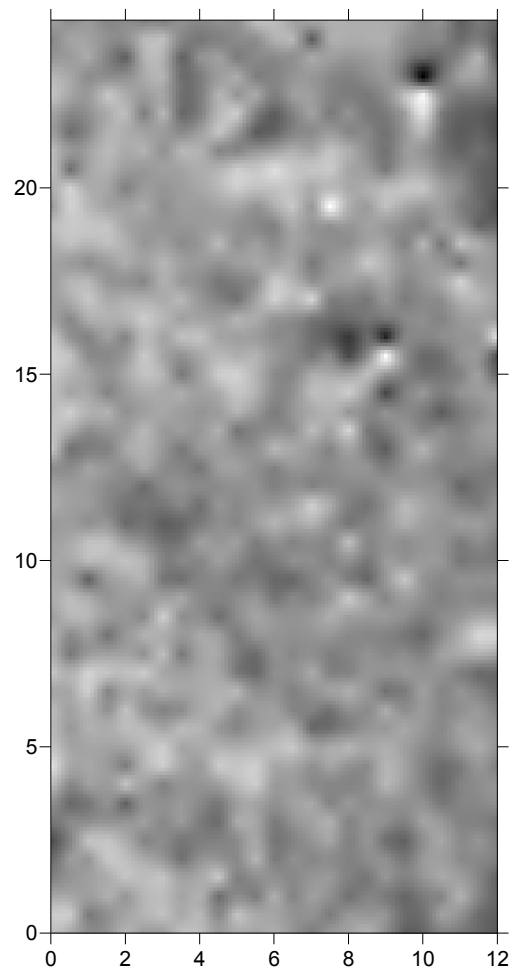
ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΕΡΕΣ ΒΟΛΟΥ

ΤΣΑΚΑΛΑΚΗ ΕΥΘΥΜΙΑ - ΤΣΙΣΚΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ

Περιοχή Th1 – Th2



Σχήμα 25 Ηλεκτρικά Low pass 5 node x averaging



Σχήμα 26 Μαγνητικά Low pass 3

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΕΩΝ

5.1 Αποτελέσματα της έρευνας

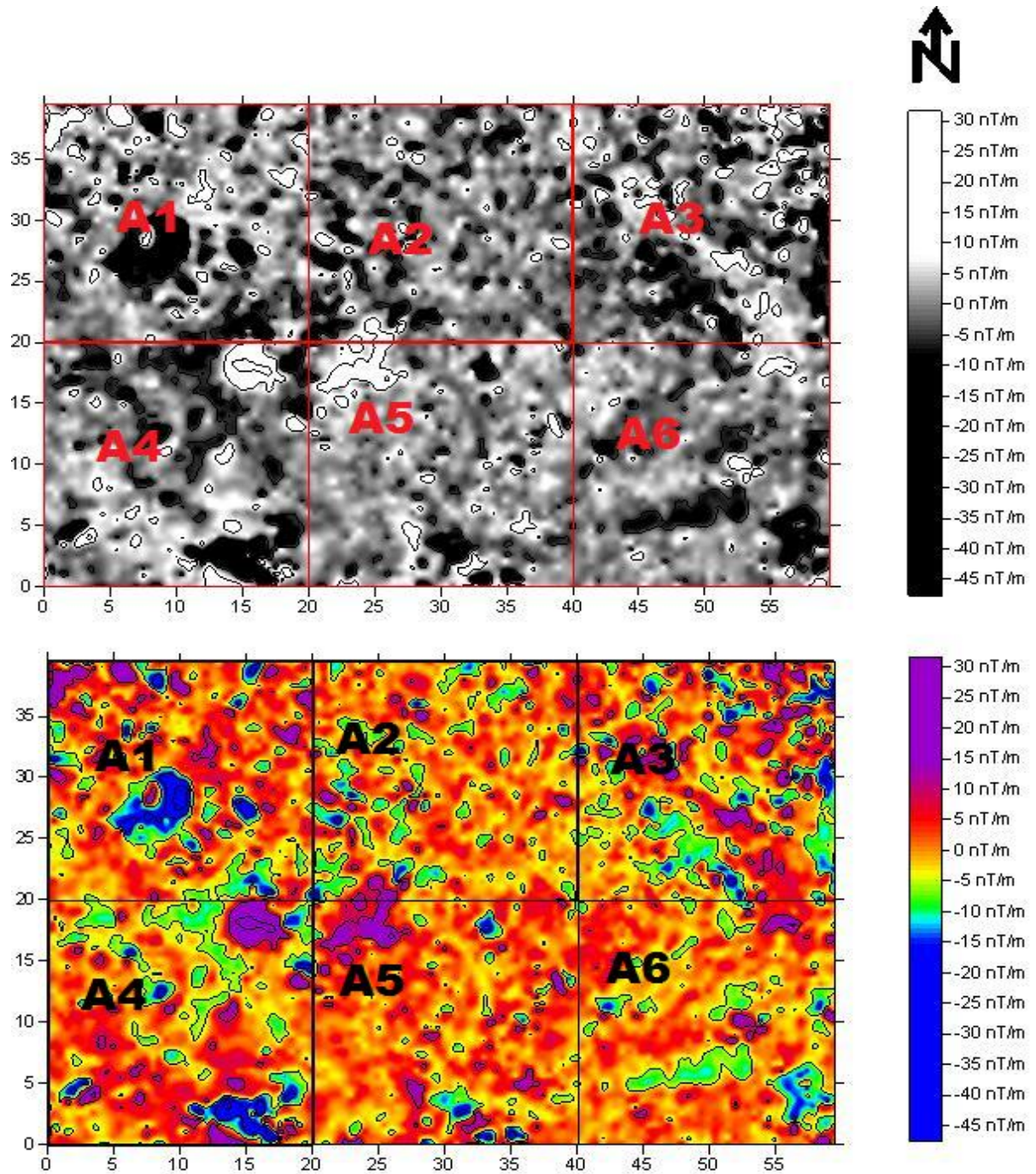
Κατά την διεκπεραίωση της έρευνας στον αρχαιολογικό χώρο του Φερέ, εξετάσαμε τις περιοχές Α, Β1-Β2, Β4-Β5, Th1-Th2. Στην περιοχή Α, δημιουργήσαμε έξι καννάβους διαστάσεων 20x20m ο καθένας, στην περιοχή Β δημιουργήσαμε δύο καννάβους 20x16m και άλλους δύο 20x20m. Τέλος, στην περιοχή Th δημιουργήσαμε ένα κάναβο 20x12m και άλλον ένα 5x12m.

Το μαγνητόμετρο GRAD601 χρησιμοποιήθηκε σε όλες τις υπό μελέτη περιοχές ενώ για τις μετρήσεις ηλεκτρικής αντίστασης χρησιμοποιήθηκε το όργανο μέτρησης RM15 σε όλες τις περιοχές πλην των περιοχών Α3 έως Α6.

Παρακάτω παρουσιάζεται η απεικόνιση των δεδομένων για την κάθε μια περιοχή που μελετήθηκε. Γενικότερα παρατηρούμε την ύπαρξη γραμμικών και μη γραμμικών ανωμαλιών σε διάφορα σημεία των υπό μελέτη περιοχών.

ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΕΡΕΣ ΒΟΛΟΥ

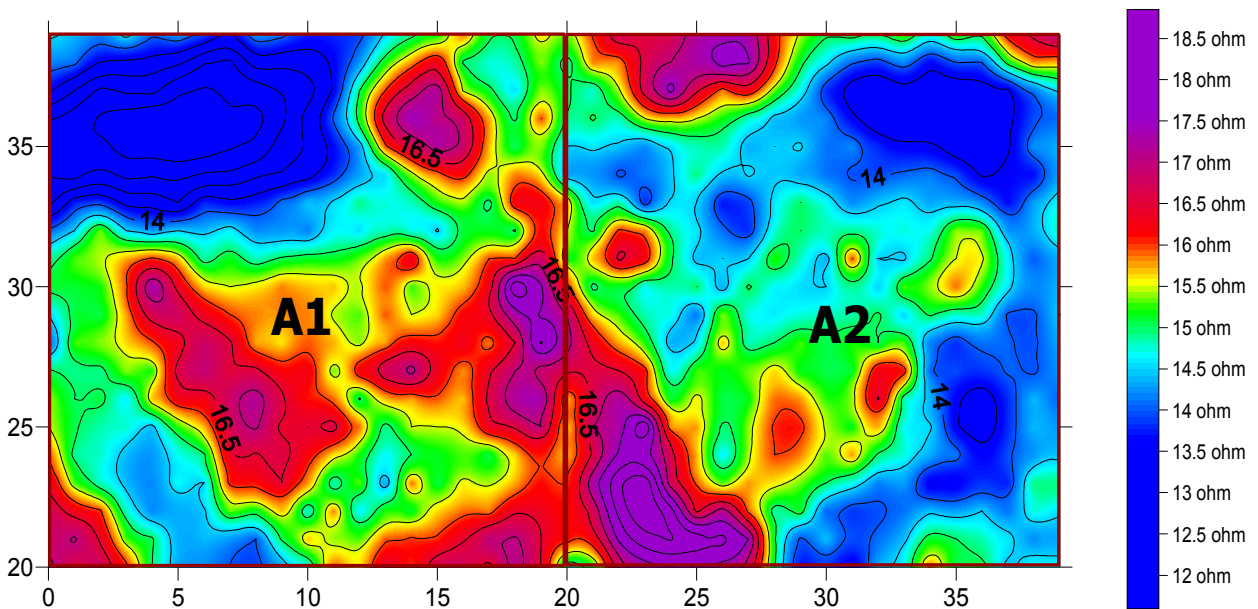
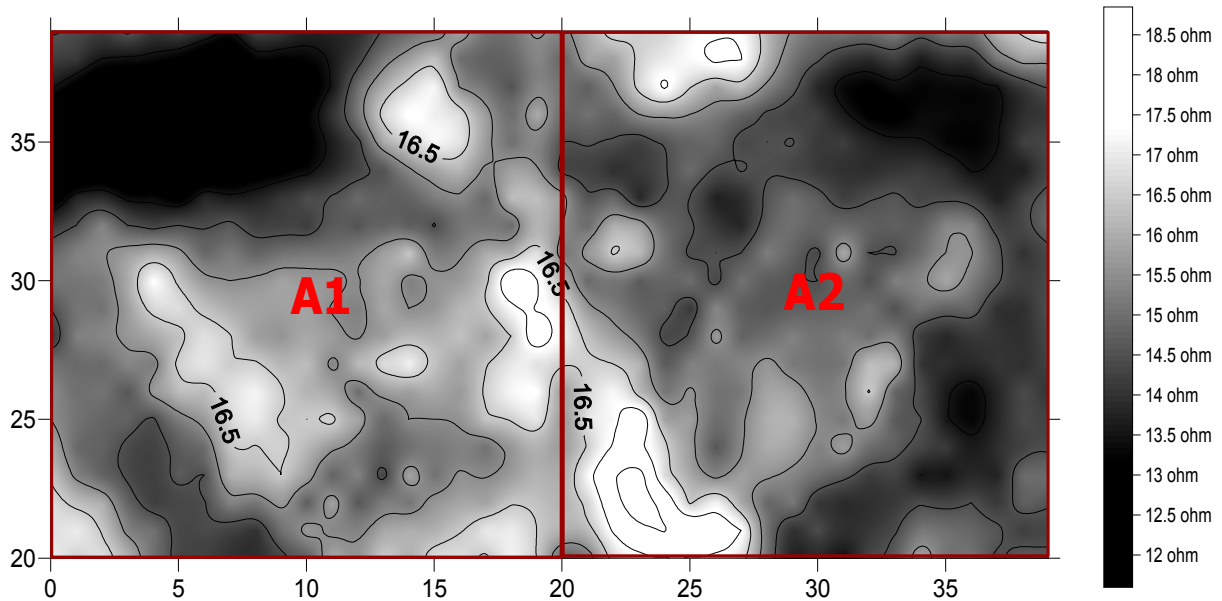
ΤΣΑΚΑΛΑΚΗ ΕΥΘΥΜΙΑ - ΤΣΙΣΚΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ



Σχήμα 27 - 28, Περιοχή Α, Μαγνητικά ασπρόμαυρο και έγχρωμο

ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΕΡΕΣ ΒΟΛΟΥ

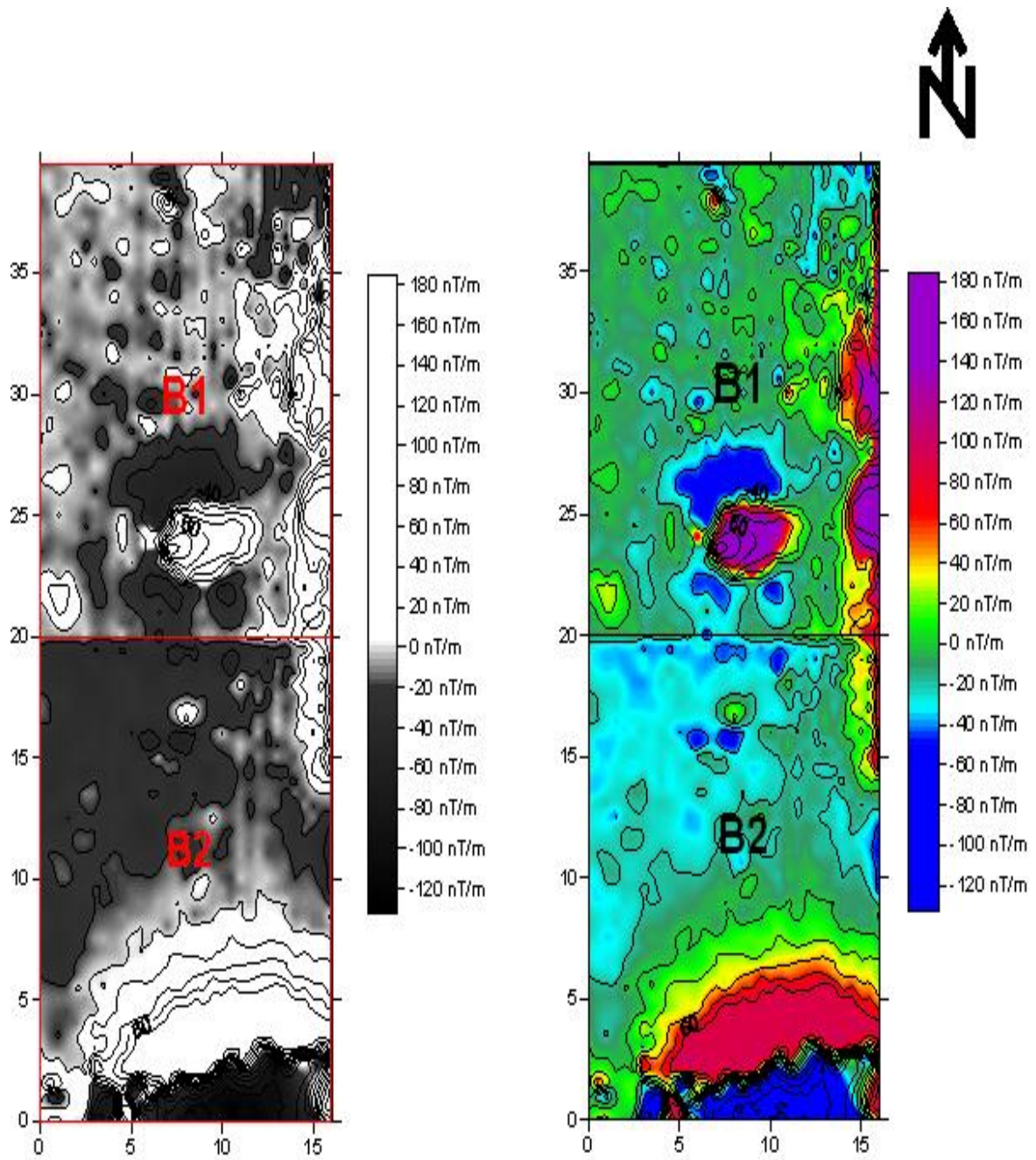
ΤΣΑΚΑΛΑΚΗ ΕΥΘΥΜΙΑ - ΤΣΙΣΚΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ



Σχήμα 29 – 30 Περιοχή Α1-Α2, Ηλεκτρικά, ασπρόμαυρο και έγχρωμο

ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΕΡΕΣ ΒΟΛΟΥ

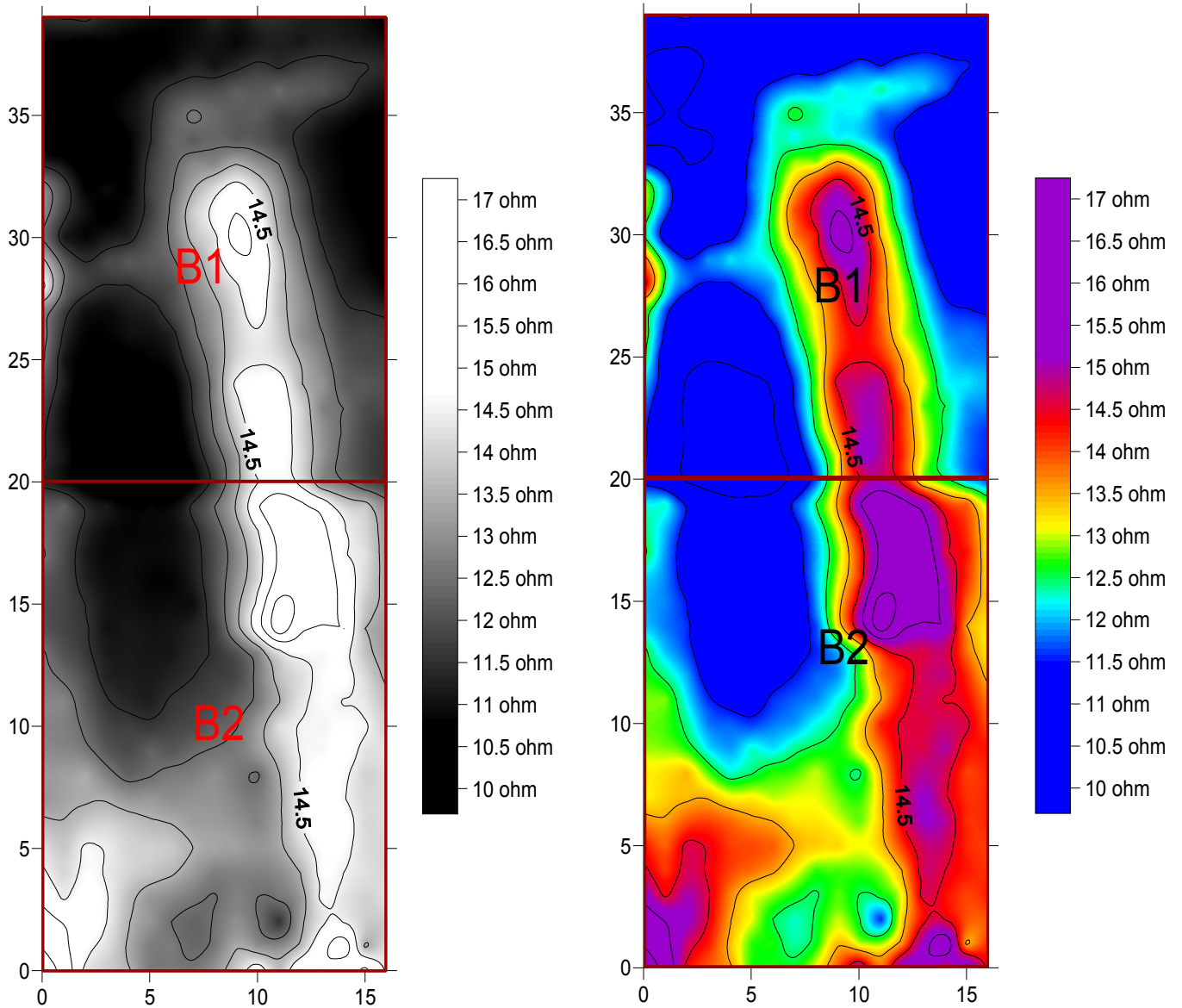
ΤΣΑΚΑΛΑΚΗ ΕΥΘΥΜΙΑ - ΤΣΙΣΚΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ



Σχήμα 31-32 Περιοχή Β1-Β2, Μαγνητικά, ασπρόμαυρο και έγχρωμο

ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΕΡΕΣ ΒΟΛΟΥ

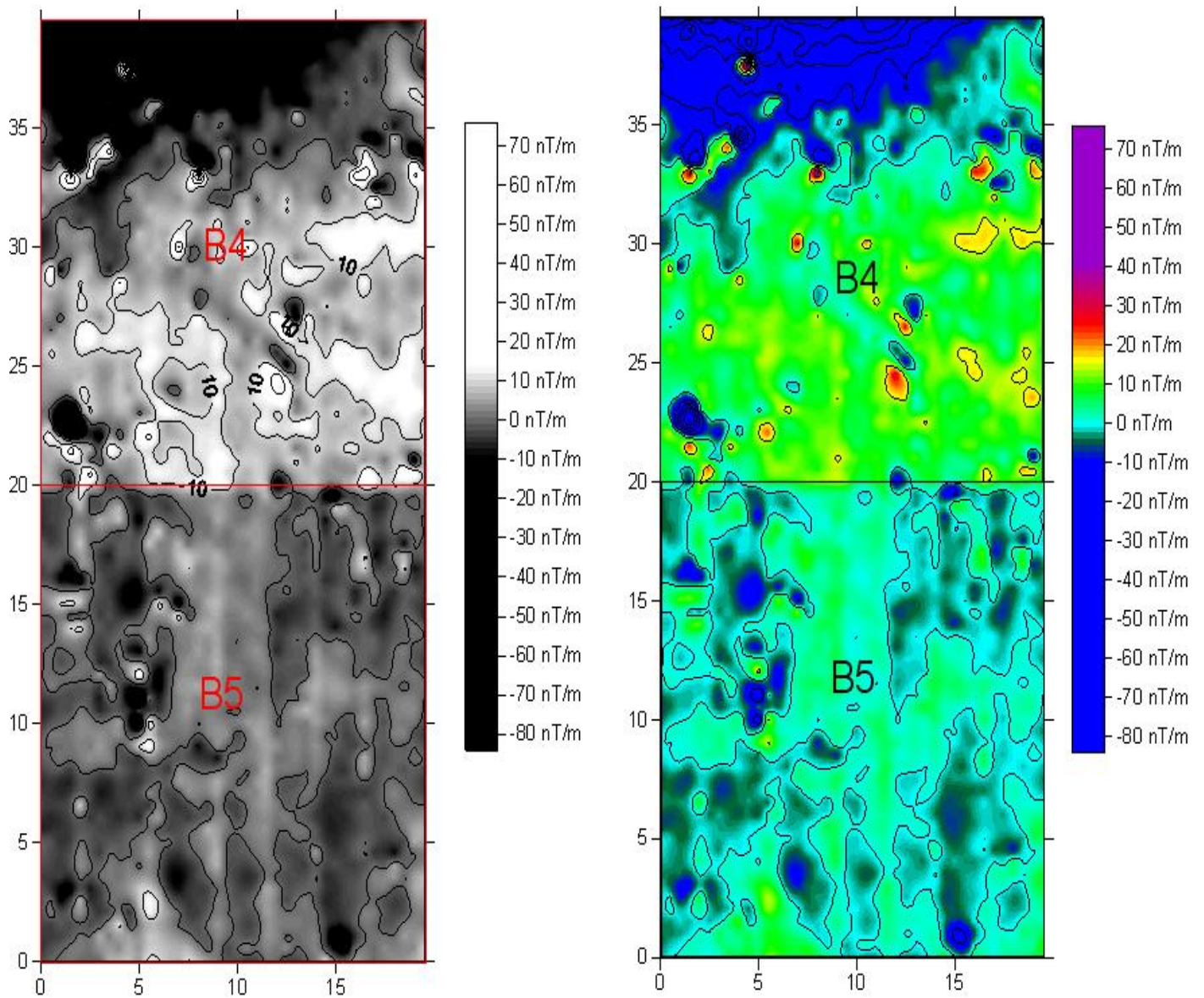
ΤΣΑΚΑΛΑΚΗ ΕΥΘΥΜΙΑ - ΤΣΙΣΚΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ



Σχήμα 33 – 34 Περιοχή B1-B2, Ηλεκτρικά, ασπρόμαυρο και έγχρωμο

ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΕΡΕΣ ΒΟΛΟΥ

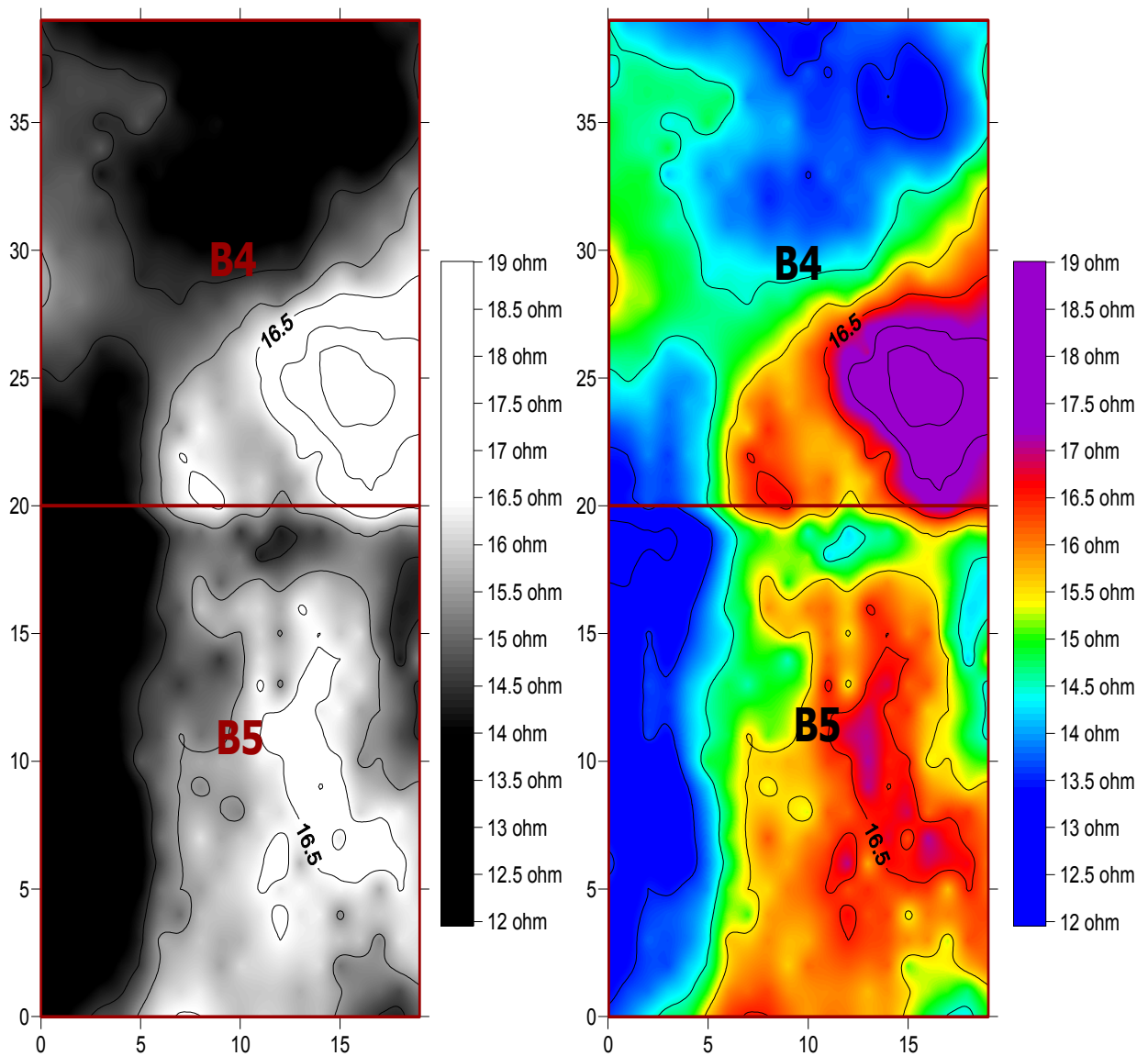
ΤΣΑΚΑΛΑΚΗ ΕΥΘΥΜΙΑ - ΤΣΙΣΚΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ



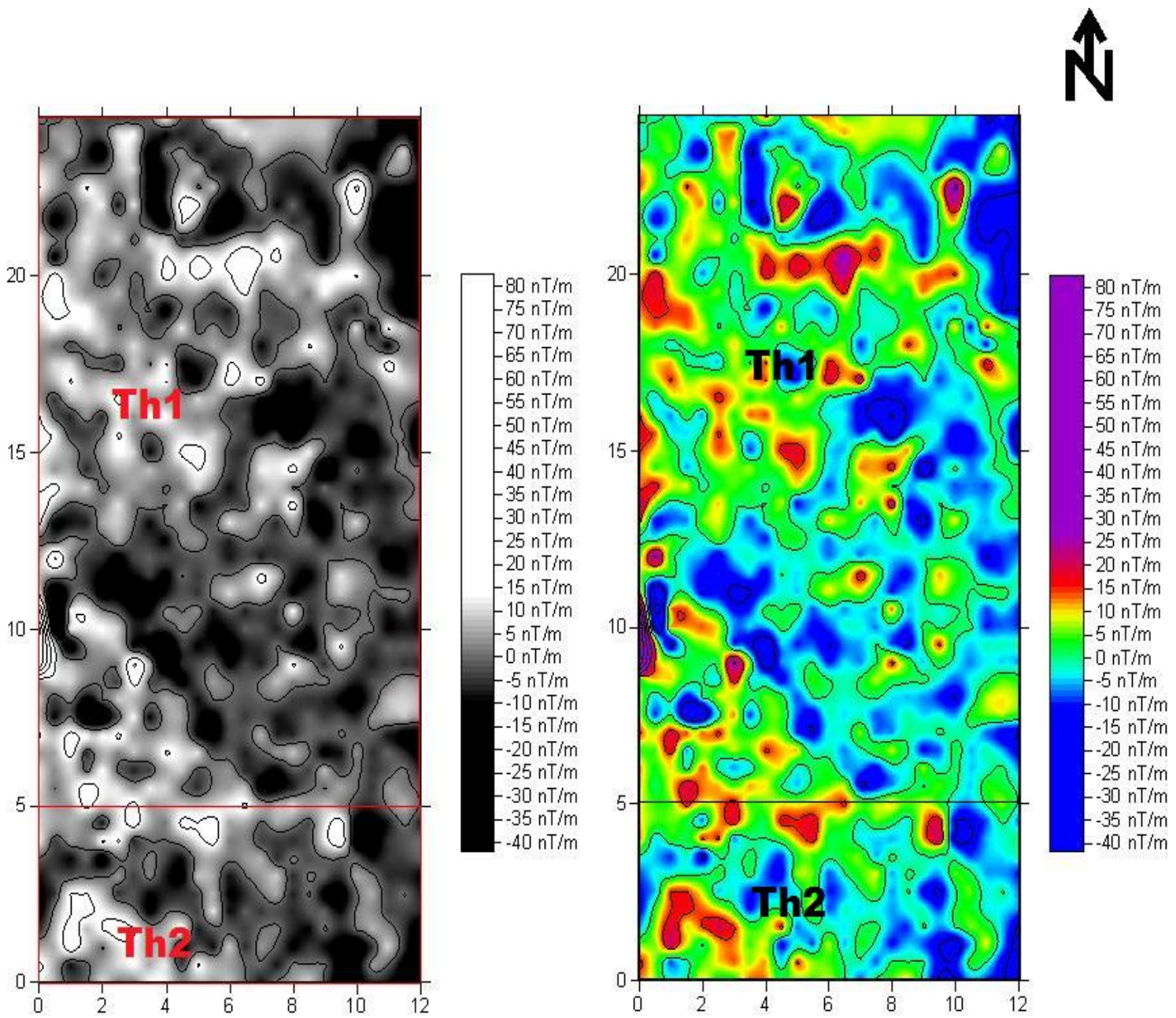
Σχήμα 35 – 36 Περιοχή B4-B5, Μαγνητικά, ασπρόμαυρο και έγχρωμο

ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΕΡΕΣ ΒΟΛΟΥ

ΤΣΑΚΑΛΑΚΗ ΕΥΘΥΜΙΑ - ΤΣΙΣΚΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ



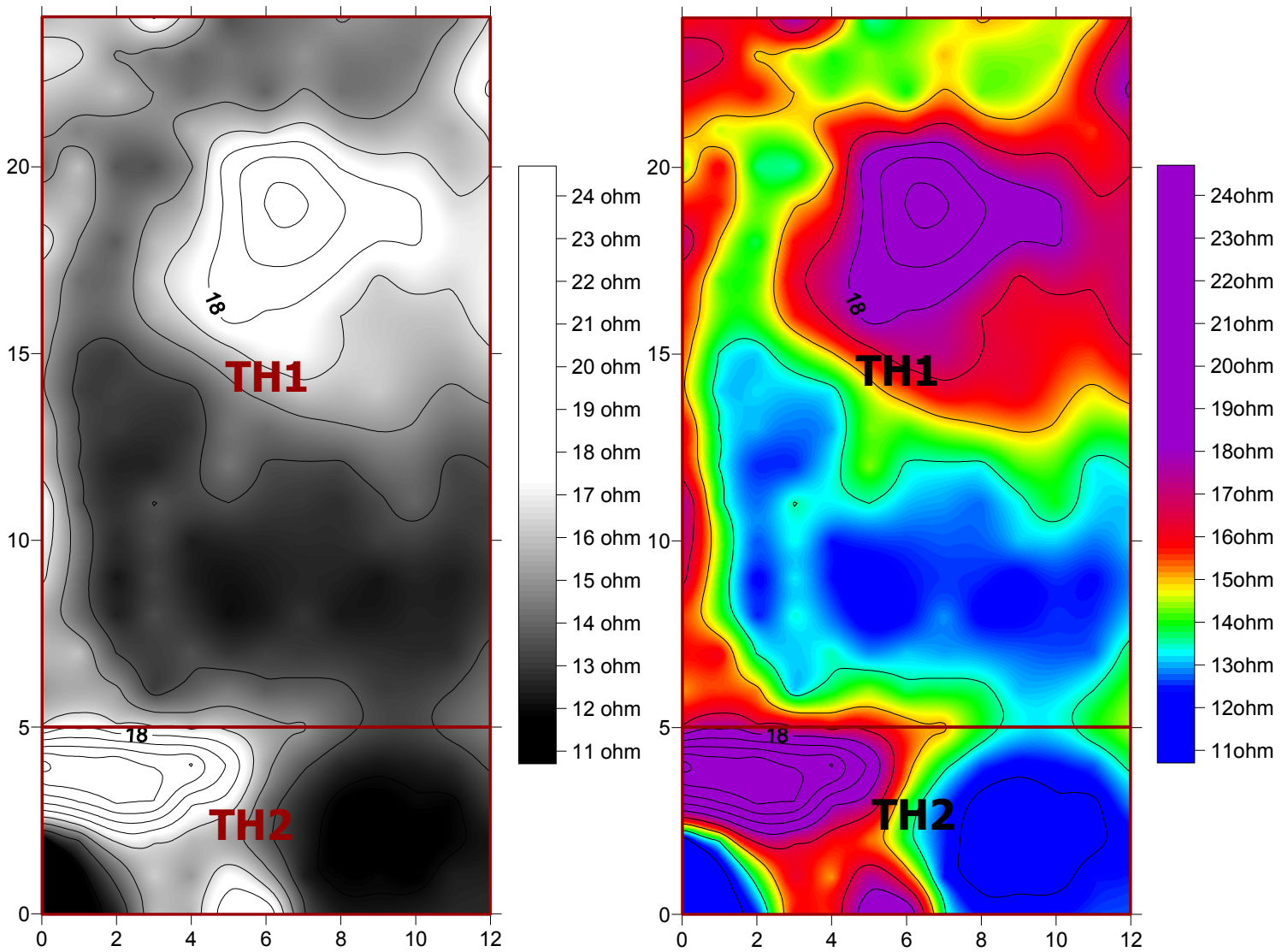
Σχήμα 37-38 Περιοχή B4-B5, Ηλεκτρικά, ασπρόμαυρο και έγχρωμο



Σχήμα 39 – 40 Περιοχή Th1-Th2, Μαγνητικά, ασπρόμαυρο και έγχρωμο

ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΕΡΕΣ ΒΟΛΟΥ

ΤΣΑΚΑΛΑΚΗ ΕΥΘΥΜΙΑ - ΤΣΙΣΚΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ



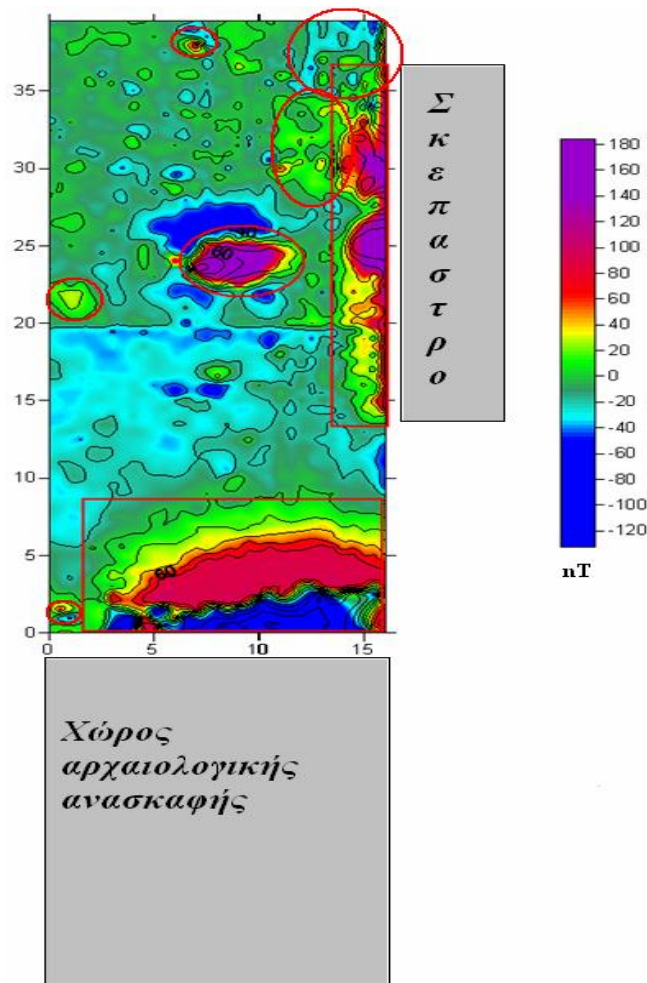
Σχήμα 41 -42 Περιοχή Th1-Th2, Ηλεκτρικά, ασπρόμαυρο και έγχρωμο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1. Ανάλυση δεδομένων

Σε αυτό το σημείο παρουσιάζουμε την ανάλυση και τα σημεία στόχους που εντοπίσαμε σε κάθε κάνναβο. Τα σημεία αυτά πιθανώς να απεικονίζουν κάτι λόγο των τιμών που πήραμε από τις μετρήσεις στις περιοχές αυτές. Σε κάποιους καννάβους, όπως δείχνουμε και παρακάτω, υπήρχαν κάποιες ανθρώπινες εξωτερικές παρεμβάσεις στον χώρο οι οποίες επηρέασαν τις τιμές των μετρήσεων.

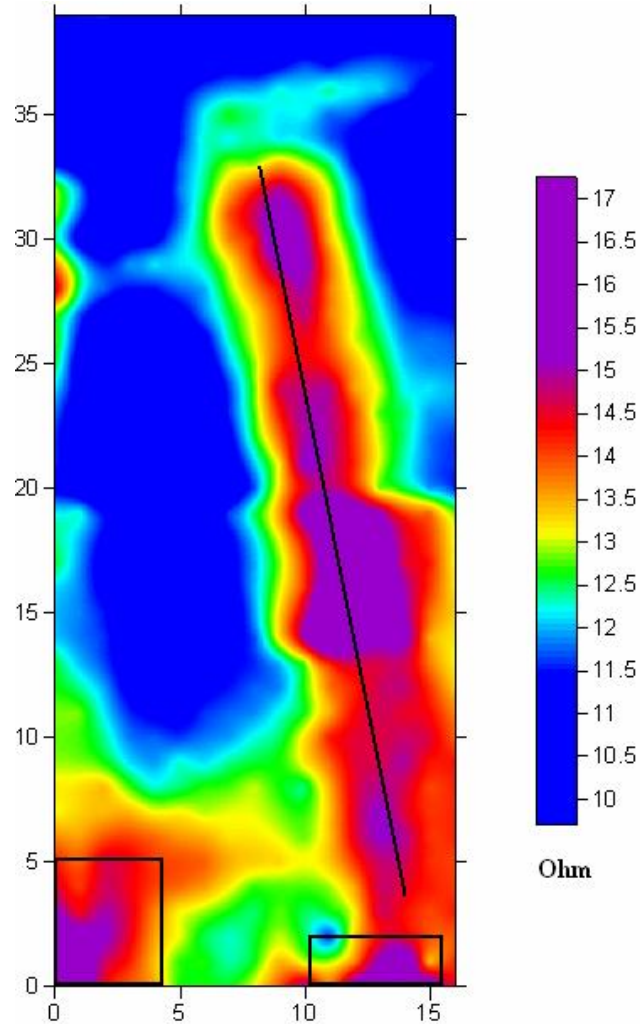


Σχήμα 43 Περιοχή B1-B2 Μαγνητικά

Στις περιοχές με τα πλαίσια έχει απεικονιστεί ο θόρυβος από τις λαμαρίνες οι οποίες υπήρχαν ακριβώς δίπλα (σκέπαστρο και χώρος αρχαιολογικής ανασκαφής). Επίσης, παρατηρούνται κάποιες ανωμαλίες οι οποίες πιθανόν να δηλώνουν την ύπαρξη κάποιου ευρήματος.

ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΕΡΕΣ ΒΟΛΟΥ

ΤΣΑΚΑΛΑΚΗ ΕΥΘΥΜΙΑ - ΤΣΙΣΚΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ



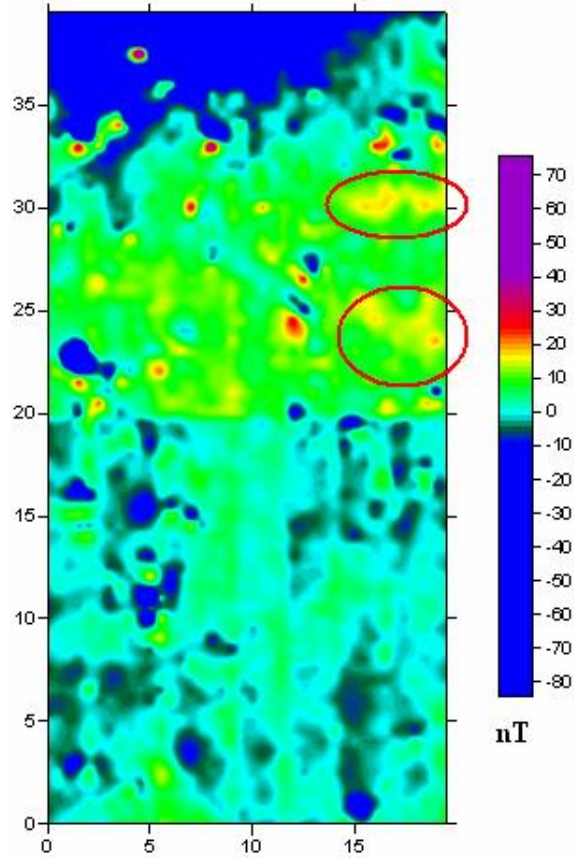
Σχήμα 44 B1-B2 Ηλεκτρικά

Στην απεικόνιση αυτών των δεδομένων παρατηρούμε μια γραμμική δομή η οποία ενδεχομένως να μας δείχνει την συνέχιση της ήδη ανασκαμμένης περιοχής όπου έχουν εντοπιστεί κάποια ευρήματα από τους αρχαιολόγους και βρίσκете στην νότιο πλευρά του καννάβου.

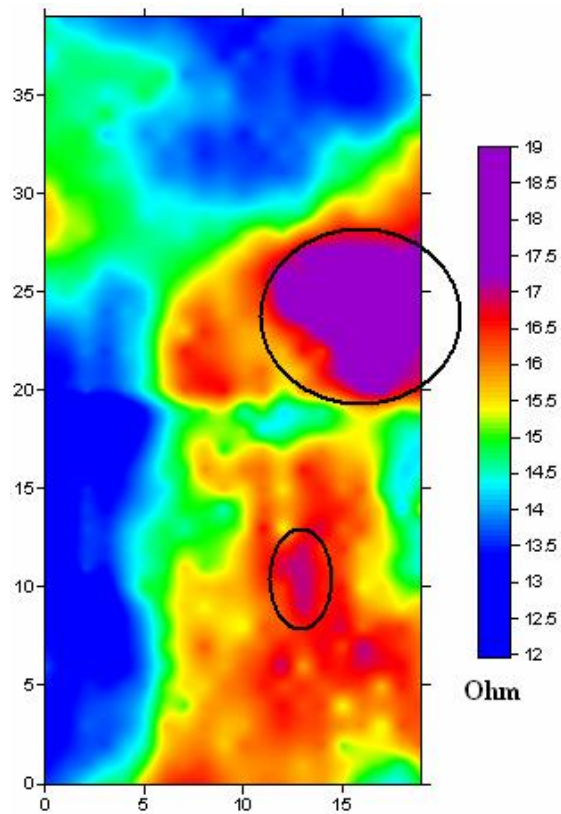
Επίσης, μπορούμε να διακρίνουμε την ύπαρξη ανωμαλιών στην αρχή του καννάβου.

ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΕΡΕΣ ΒΟΛΟΥ

ΤΣΑΚΑΛΑΚΗ ΕΥΘΥΜΙΑ - ΤΣΙΣΚΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ



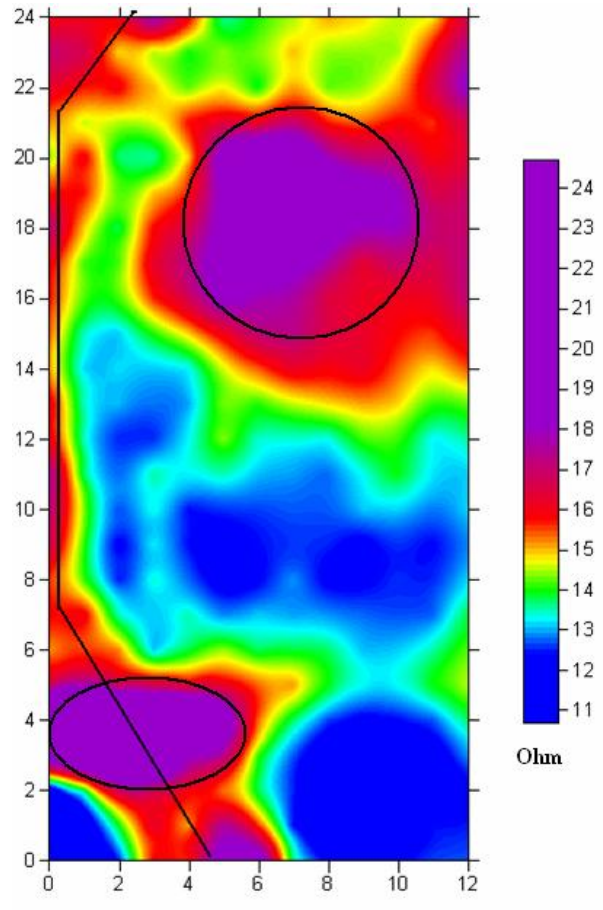
Σχήμα 45 B4-B5 Μαγνητικά



Σχήμα 46 B4-B5 Ηλεκτρικά

ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΕΡΕΣ ΒΟΛΟΥ

ΤΣΑΚΑΛΑΚΗ ΕΥΘΥΜΙΑ - ΤΣΙΣΚΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ

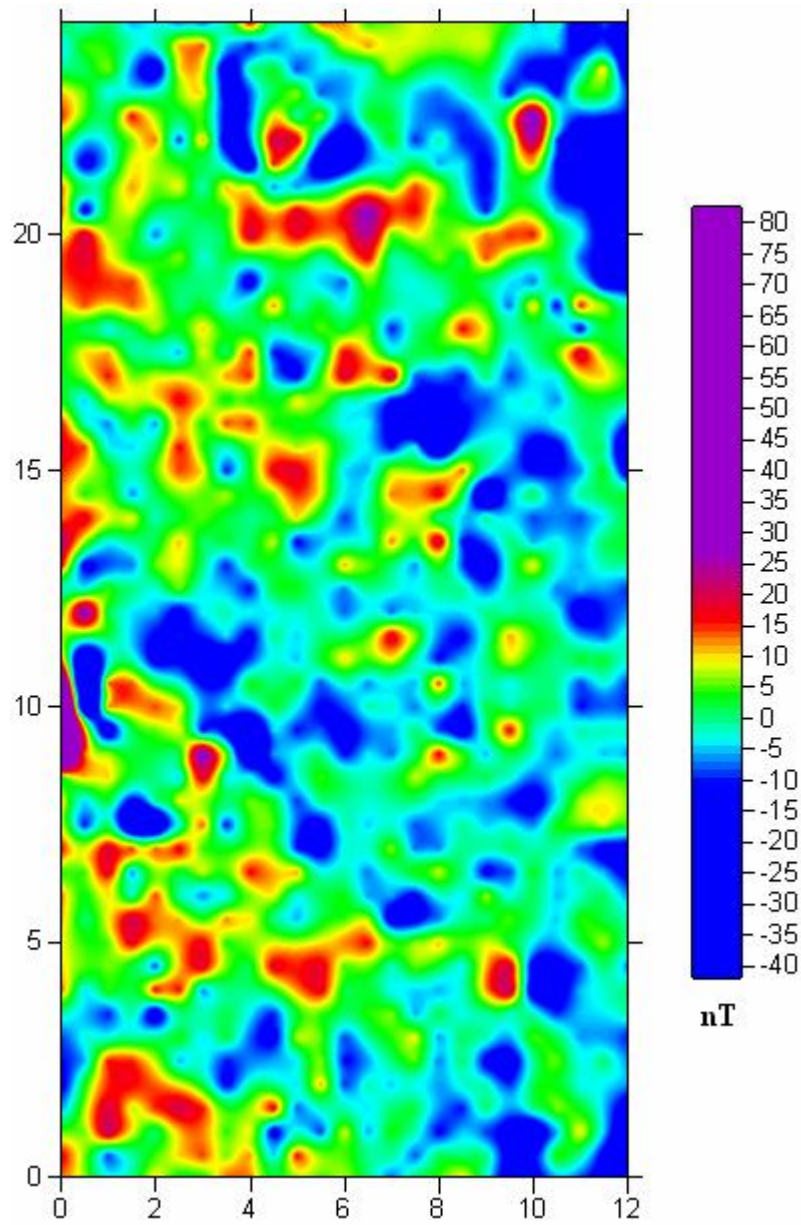


Σχήμα 47. Th1-Th2 Ηλεκτρικά

Στα δεδομένα αυτά παρατηρείται μια δομή όπου βάση της μορφολογίας του εδάφους και βάση της ημικύκλιας δομής πιστεύουμε ότι πιθανώς να είναι το αρχαίο θέατρο.

ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΕΡΕΣ ΒΟΛΟΥ

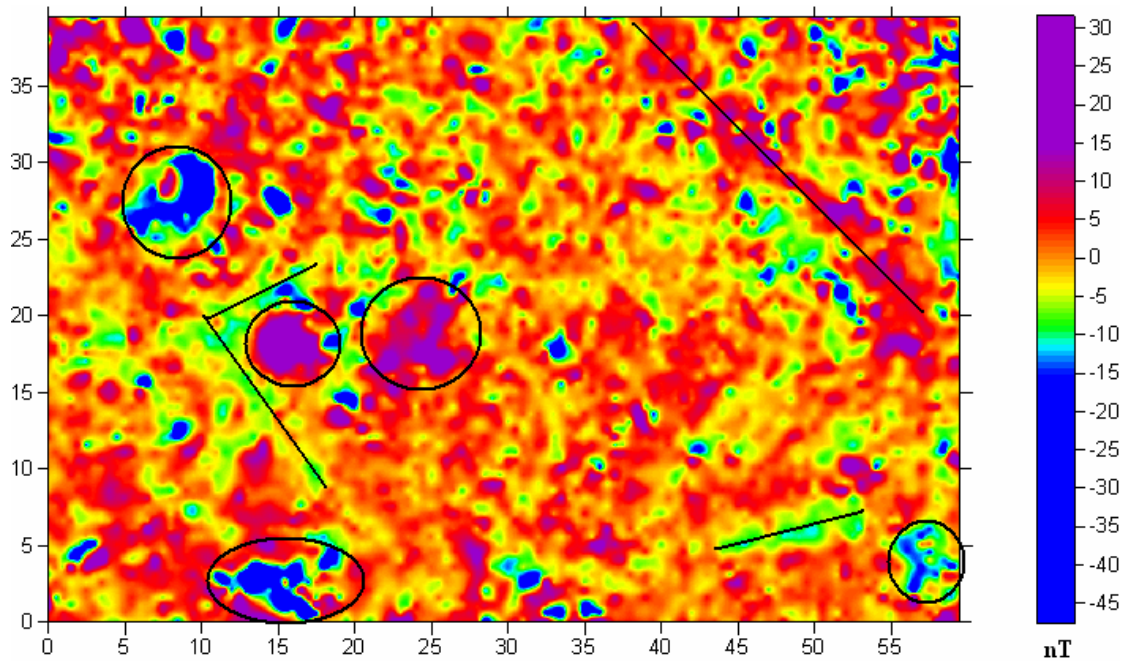
ΤΣΑΚΑΛΑΚΗ ΕΥΘΥΜΙΑ - ΤΣΙΣΚΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ



Σχήμα 48. Th1-Th2 Μαγνητικά

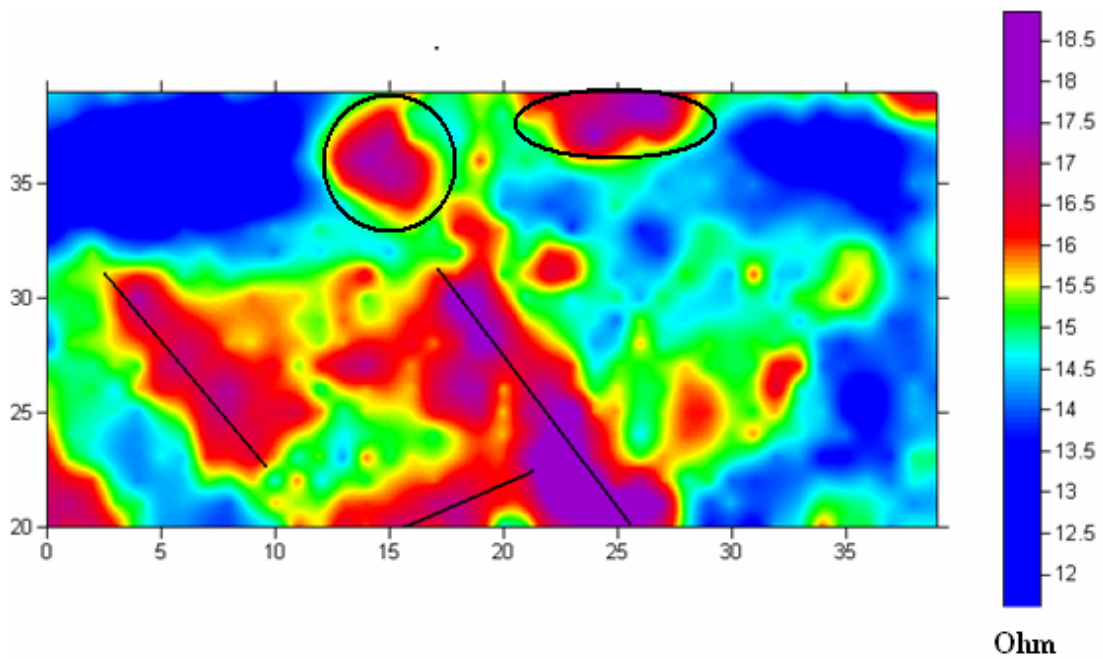
ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΕΡΕΣ ΒΟΛΟΥ

ΤΣΑΚΑΛΑΚΗ ΕΥΘΥΜΙΑ - ΤΣΙΣΚΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ



Σχήμα 49. Α1-Α2-Α3-Α4-Α5-Α6 Μαγνητικά

Στους παραπάνω καννάβους παρατηρούμε την ύπαρξη κάποιων γραμμικών δομών όπως αυτές απεικονίζονται με τις μαύρες γραμμές.



Σχήμα 50 Α1-Α2 Ηλεκτρικά

Παρατηρούμε κάποιες γραμμικές δομές που πιθανώς να είναι ένδειξη για κάποιο εύρημα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Εικόνες

Ευρήματα της Αρχαίας Αγοράς στην περιοχή Φερών (ανασκαφή δίπλα στον κάναβο Β1-Β2)



Εικόνα 1



Εικόνα 2

ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΕΡΕΣ ΒΟΛΟΥ

ΤΣΑΚΑΛΑΚΗ ΕΥΘΥΜΙΑ - ΤΣΙΣΚΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ



Εικόνα 3



Εικόνα 4

*ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΕΡΕΣ ΒΟΛΟΥ
ΤΣΑΚΑΛΑΚΗ ΕΥΘΥΜΙΑ - ΤΣΙΣΚΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ*



Εικόνα 5



Εικόνα 6

Περιοχή μετρήσεων



Εικόνα 7



Εικόνα 8

ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΕΡΕΣ ΒΟΛΟΥ

ΤΣΑΚΑΛΑΚΗ ΕΥΘΥΜΙΑ - ΤΣΙΣΚΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ



Εικόνα 9



Εικόνα 10

ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΕΡΕΣ ΒΟΛΟΥ

ΤΣΑΚΑΛΑΚΗ ΕΥΘΥΜΙΑ - ΤΣΙΣΚΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ



Εικόνα 11



Εικόνα 12

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ▶ Πανεπιστήμιο Πατρών – Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Γενικής Θαλάσσιας Γεωλογίας και Γεωδυναμικής «Βασικές εφαρμογές των λογισμικών MS-Excel, Grapher & Surfer»
- ▶ Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Γεωφυσική Διασκόπηση του Νεολιθικού οικισμού της Αυγής, στον Νομό Καστοριάς.
- ▶ <http://www.moa.gov.cy> (Γιώργος Καλλιγιάς Τεχνικός του κλάδου Σεισμολογίας-Γεωφυσικής στο Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης)]
- ▶ http://www.travel-pelion.gr/index.php?target=topics&topic_id=106
- ▶ Από το βιβλίο «Εισαγωγή στη Γεωφυσική», Παπαζάχος
- ▶ <http://www.geoservice.gr>
- ▶ http://www.geo.auth.gr/655/pdf/mathima6_GM.pdf
- ▶ Σημειώσεις Εργαστηρίου Περιβαλλοντικής Γεωφυσικής Δρ. Κόκκινου Ελένη
- ▶ <http://eclass.uop.gr/courses/TST178/document/lectures/ast01.pdf>
- ▶ http://ecourses.dbnet.ntua.gr/fsr/10634/askisi_3A_tutorial.pdf
- ▶ http://www.geo.auth.gr/655/pdf/mathima7_GM.pdf
- ▶ Ράμπελος , Δ.(1991). Στοιχεία Γεωφυσικών Διασκοπήσεων , εκδόσεις ΖΗΤΗ , Θεσσαλονίκη .