



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑΣ**

---



**ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ  
ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ  
ΝΙΚΟΠΟΛΗΣ (ΠΡΕΒΕΖΑ)**



**ΣΑΡΡΗ ΧΑΡΑΛΑΜΠΙΑ**

**Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Δρ. Χατζηανγουσλή Δέσποινα**

**ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2009**

**ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ  
ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΝΙΚΟΠΟΛΗΣ  
(ΠΡΕΒΕΖΑ)**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

*Σαρρή Χαραλαμπία*

**Επιβλέπων :** *Δρ. Χατζηαυγουστή Δέσποινα*

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

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την καθηγήτριά μου Δρ. Χατζηαυγουστή Δέσποινα που ανέλαβε να επιβλέψει την πτυχιακή εργασία και με βοήθησε σε όλες τις δυσκολίες που αντιμετώπισα, καθώς και τον Δρ. Σαρρή Απόστολο, Ερευνητή Α' του εργαστηρίου Γεωφυσικής-Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης και Αρχαιοπεριβάλλοντος του Ι.Τ.Ε., με τον οποίο συνεργάστηκα για την λήψη των γεωφυσικών δεδομένων.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τους καθηγητές μου Δρ. Κόκκινου Ελένη και Δρ. Σάλτα Βασίλειο για τον χρόνο που διέθεσαν ως μέλη της εξεταστικής επιτροπής.

Ευχαριστώ τους γονείς μου που με βοήθησαν με κάθε τρόπο όλα αυτά τα χρόνια να τελειώσω τις σπουδές μου.

Τέλος, ευχαριστώ τους συμφοιτητές μου Βάλια, Αλέξανδρο, Εύη, Mike που βοήθησαν στη λήψη των γεωφυσικών δεδομένων κάτω από αντίξοες καιρικές συνθήκες.

## **Περίληψη**

Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι η παρουσίαση και η στατιστική επεξεργασία των τιμών της κατακόρυφης βαθμίδας του τοπικού μαγνητικού πεδίου B από την γεωφυσική διασκόπηση του αρχαιολογικού χώρου της Νικόπολης στην Πρέβεζα. Η περιοχή Μπάρμπα χωρίστηκε σε 5 υποπεριοχές. Συνολικά οι κάνναβοι που χρησιμοποιήθηκαν για την εργασία είναι 57. Η κάθε υποπεριοχή αποτελείται από 2 τουλάχιστον καννάβους. Κατόπιν, μελετήθηκαν τα διαγράμματα διασποράς ξεχωριστά για κάθε κάνναβο όλων των υποπεριοχών και υπολογίστηκαν όλα τα περιγραφικά αριθμητικά τους μέτρα (με έμφαση στη μέση τιμή, εύρος και διακύμανση), προκειμένου να μελετηθούν οι διαφορές και οι ομοιότητες μεταξύ των υποπεριοχών.

## **Abstract**

The purpose of this work is the presentation and statistical analysis of values of the vertical gradient of the local magnetic field B by the Geophysical Prospection of the archaeological site of Nicopolis in Preveza. The area Barba divided into 5 sub. Overall, the hemp used to work is 57. Each subregion is composed of at least 2 cells. Then studied the dispersion diagrams separately for each grid of all the subregions and calculated all the numerical descriptive measures (with emphasis on average, range and variance) to study the differences and similarities between the subregions.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>6</b>
<b>1.1 Ο ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΧΩΡΟΣ ΤΗΣ ΝΙΚΟΠΟΛΗΣ.....</b>	<b>6</b>
<b>1.2 Η ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΣΤΗΝ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΑ .....</b>	<b>10</b>
<b>2. Η ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ.....</b>	<b>13</b>
<b>2.2 ΘΕΜΕΛΙΩΔΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ (ΠΑΠΑΖΑΧΟΣ , 1996) .....</b>	<b>14</b>
<b>2.3 ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ .....</b>	<b>15</b>
<b>2.4 ΓΕΩΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ.....</b>	<b>17</b>
<b>2.5 ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ .....</b>	<b>177</b>
<b>2.6 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΑΝΩΜΑΛΙΩΝ.....</b>	<b>19</b>
<b>2.7 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΜΑΓΝΗΤΟΜΕΤΡΟΥ ΡΥΘΜΙΖΟΜΕΝΗΣ     ΡΟΗΣ .....</b>	<b>19</b>
<b>3. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ .....</b>	<b>21</b>
<b>3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>21</b>
<b>3.2 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΑ ΜΕΤΡΑ .....</b>	<b>23</b>
3.2.1 ΜΕΤΡΑ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΤΑΣΗ .....	23
3.2.2 ΜΕΤΡΑ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ.....	24
3.2.3 ΜΕΤΡΑ ΑΣΥΜΜΕΤΡΙΑΣ .....	25
<b>4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>26</b>
<b>4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>26</b>
<b>4.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ.....</b>	<b>26</b>
<b>4.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΑ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ .....</b>	<b>31</b>
<b>4.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>36</b>
<b>5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>38</b>

# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Ο αρχαιολογικός χώρος της Νικόπολης

Η Νικόπολη της Ηπείρου (σχ. 1.1), το όνομα της οποίας εμπεριέχει την λέξη "Νίκη", είναι κτισμένη στην χερσόνησο, η οποία χωρίζει τον Αμβρακικό Κόλπο, από το Ιόνιο Πέλαγος. Βρίσκεται απέναντι από το Ακτιο, και 6 χλμ. βόρεια της Πρέβεζας. Θαλάσσιοι και χερσαίοι δρόμοι οδηγούσαν στη Νικόπολη και την κατέστησαν σημαντικό εμπορικό κέντρο. Η πόλη ιδρύθηκε ως σύμβολο της μεγάλης νίκης του Γάιου Ιουλίου Καίσαρα Οκταβιανού και μετέπειτα Ρωμαίου Αυτοκράτορα Αυγούστου ενάντια στον Μάρκο Αντώνιο και την Κλεοπάτρα της Αιγύπτου στο Ακτιο το 31 π.Χ. και άκμασε κατά τη ρωμαϊκή περίοδο. Ήταν 2 Σεπτεμβρίου του 31 π.Χ. όταν συναντήθηκαν οι δύο στόλοι στην θάλασσα του Ακτίου και δόθηκε τέλος στην εμφύλια ρωμαϊκή διαμάχη. Μετά τη μεγάλη νίκη του, ο Οκταβιανός αποφάσισε να ιδρύσει τη Νικόπολη, όχι μόνο ως ανάμνηση της νίκης, αλλά βασικά ως κέντρο ελέγχου της Δυτικής Ελλάδος μαζί με την Πάτρα. Επίσης, η ίδρυσή της εντάσσεται στην προσπάθεια εκρωμαϊσμού της Ελλάδας με ανοικοδόμηση παλιών και με την ίδρυση νέων πόλων, αλλά και στην τόνωση της περιοχής, η οποία αντιμετώπισε πολλές δυσκολίες τότε.

Η πόλη δημιουργήθηκε με συνοικισμό άλλων οικισμών (Κασσώπη, Αμβρακία, Λευκάδα κ.α.) και την βίαιη ως ένα σημείο μεταφορά κατοίκων στη Νικόπολη. Στην αλιεία, γεωργία και κτηνοτροφία στηρίχθηκε η πόλη για την οικονομική της εξέλιξη. Η Νικόπολη στολίστηκε με επιβλητικά κτήρια από τα λάφυρα της λείας, αλλά και από δωρεές του Ηρώδη της Ιουδαίας που βοήθησε στην κατασκευή πολλών κτηρίων, εκφράζοντας έτσι τη φιλία και τη συμπάθειά του προς τον Οκταβιανό. Ο Οκταβιανός της παραχώρησε σημαντικά προνόμια και πολλές φορολογικές ατέλειες, που συντέλεσαν στην αλματώδη ανάπτυξή της. Ακόμη έδωσε στη Νικόπολη τις έξι ψήφους των Αιτωλών στην Δελφική Αμφικτιονία, γεγονός που προσέδωσε αίγλη στην πόλη.

### Ο Ακτιος Απόλλωνας

Καθώς η Νικόπολη απαρτιζόταν από κατοίκους διάφορων περιοχών της Ηπείρου και της Ακαρνανίας, ήταν φυσικό αυτοί να μεταφέρουν και τα λατρευτικά τους έθιμα μαζί. Για να τους καταπραΰνει ο Οκταβιανός έδωσε εντολή να μεταφερθούν στη νέα πόλη τα αντικείμενα λατρείας από τις παλιές πόλεις. Ο Οκταβιανός αφιέρωσε τη Νικόπολη στον Απόλλωνα Ακτιο ή Ακτιακό και προς τιμήν του θεσπίστηκαν τα Νέα Άκτια που αποτελούσαν επανασύσταση

των Ακτίων, των παλιών τοπικών αγώνων των Ακαρνανών. Έτσι, απέκτησε αίγλη το Ιερό του Απόλλωνα. Θρησκευτικό κέντρο της πόλης αποτέλεσε το παλιό ιερό του Απόλλωνα στο Ακτιο. Μεγαλοπρεπές τέμενος κτίστηκε προς τιμήν του θεού. Ο Απόλλωνας που λατρευόταν εδώ είχε τα επίθετα Λευκάδιος ή Λευκαδιακός (από την Λευκάδα), αλλά και Αιγιεύς. Στο Ιερό του Απόλλωνα λατρευόταν ακόμη ο Ποσειδώνας και ο Άρης, σύμφωνα με επιγραφή που βρέθηκε εκεί.

Άλλοι θεοί που λατρευόταν στη Νικόπολη ήταν ο Δίας, ο Διόνυσος, ο Ερμής, ο Ήφαιστος, ο Ασκληπιός, η Εκάτη, ο Πάνας, ο Ηρακλής και ο Άττις. Από τις γυναικείες θεότητες σημαντική θέση κατείχε η Άρτεμις, η οποία είχε τα επίθετα Λαφρία, Σώτειρα, Εφέσια και Κελκαία. Στην πόλη λατρεύτηκαν ιδιαίτερα και δύο θεότητες ανατολικής προέλευσης. Η Ίσιδα και η Κυβέλη. Τέλος, και η αυτοκρατορική λατρεία του Οκταβιανού, του ιδρυτή της πόλης, ήταν πολύ σημαντική. Στις ρωμαϊκές πηγές ονομάζεται η πόλη "Nicopolis Romana Colonia", "Civitas Libera Nicopolitana" ή "Colonia Augusta".

Σημαντικές προσωπικότητες έζησαν ή πέρασαν από την πόλη. Ο Γερμανός, θετός γιος και ανιψιός του Οκταβιανού, ήταν ένας από αυτούς που πέρασαν από τη Νικόπολη για να δει από κοντά τα στρατόπεδα του Οκταβιανού και του Αντωνίου και τον τόπο της μάχης. Ο αυτοκράτορας Νέρωνας επισκέφθηκε επίσης την πόλη το 66 μ.Χ. και έλαβε μέρος στα Άκτια. Αλλά και ο Επίκτητος από την Ιερόπολη της Φρυγίας, ο μεγάλος στωικός φιλόσοφος, έφτασε το 89 μ.Χ. στη Νικόπολη για να ξεφύγει από τον διωγμό του αυτοκράτορα Δομιτιανού. Παρέπεμεινε στην πόλη για μεγάλο χρονικό διάστημα και ίδρυσε Φιλοσοφική Σχολή. Ο αυτοκράτορας Αδριανός (128 - 134 μ.Χ.) επισκέφθηκε την πόλη με την γυναίκα του Βίβια Σαβίνα, η οποία θεοποιήθηκε και λατρεύτηκε ως Άρτεμις Κελκαία.

### **Οι Ανασκαφικές Έρευνες**

Οι πρώτες ανασκαφικές έρευνες στη Νικόπολη ξεκίνησαν το 1913 από τον τότε Έφορο Αρχαιοτήτων Α. Φιλαδέλφεια. Δυστυχώς τα αποτελέσματα αυτών των ανασκαφών δεν δημοσιεύτηκαν, ενώ τα ευρήματα που φυλάσσονταν στο τζαμί της Πρέβεζας, καταστράφηκαν μετά τον βομβαρδισμό του στο Β' Παγκόσμιο Πόλεμο. Από το 1925 συνέχισαν την έρευνα ο Έφορος Αρχαιοτήτων Γ. Μηλιάδης (Ιερό του Απόλλωνα) και ο Αν. Ορλάνδος (Παλαιοχριστιανικές Βασιλικές). Το 1940 ξεκίνησε φιλόδοξο σχέδιο ανασκαφών ο Έφορος Αρχαιοτήτων Ι. Παπαδημητρίου για την ταύτιση των μνημείων που αναφέρει ο Στράβωνας. Η έρευνα αυτή διακόπηκε από την έναρξη του πολέμου. Από τότε η ΙΒ' Εφορεία Προϊστορικών και Κλασικών Αρχαιοτήτων, συνεχίζει μικρές ανασκαφικές έρευνες και αναστηλώσεις - συντηρήσεις μνημείων.

### **Περιγραφή των Μνημείων**

Η Νικόπολη ανήκει στις λίγες αρχαίες πόλεις στον ελληνικό χώρο που είχε την τύχη να ξεφύγει από την διαρκή οικοδόμηση (Θεσσαλονίκη, Αθήνα), την συνεχή εκμετάλλευση της γης και την επαναχρησιμοποίηση του αρχαίου οικοδομικού υλικού. Έτσι διατηρήθηκαν σε καλή κατάσταση πολλά μνημεία της πόλης, η οποία αποτελεί ένα χαρακτηριστικό δείγμα ρωμαϊκής αρχιτεκτονικής και πολεοδομίας, αλλά ταυτόχρονα γίνεται δυνατή η παρατήρηση στα κτίσματα των όλων των αρχιτεκτονικών αλλαγών που επέβαλε ο χριστιανισμός. Η περιοχή της Νικόπολης εκτεινόταν από τα βουνά της Κασσωπαίας μέχρι τα όρια της ρωμαϊκής Πάτρας στην Αιτωλία και από τον Αχελώο μέχρι την Λευκάδα.

Η περιοχή όπου ιδρύθηκε η πόλη διέθετε πλούσιες πηγές νερού, εξαιρετικό κλίμα και όμορφο φυσικό περιβάλλον. Οι ομαλές απολήξεις των υψωμάτων, η θέα που είχε η πόλη και η επικοινωνία του Αμβρακικού Κόλπου με το Ιόνιο Πέλαγος σχημάτιζαν ένα εξαιρετικό τοπίο. Η Νικόπολη διέθετε δύο μεγάλα λιμάνια, τον Κόμαρο στον κόλπο του σημερινού Μύτικα και το άλλο στο Βαθύ ή Μαργαρώνα. Ακόμη και το Ανακτόριον (γειτονική ακαρνανική πόλη) λειτουργούσε ως εμπορικό λιμάνι της Νικόπολης. Οι πλωτοί ποταμοί Άραχθος και Λούρος περνούσαν από πεδινές και εύφορες περιοχές και διευκόλυναν την επικοινωνία.

Η Ρωμαϊκή πόλη απέκτησε δυνατό οχυρωματικό περίβολο, με περίμετρο μεγαλύτερη από 5 χλμ. Κατασκευάστηκε σύμφωνα με το ρωμαϊκό ρυμοτομικό σχέδιο της σκακιέρας, το οποίο ακολουθούσε ελληνιστικά πρότυπα. Δύο μεγάλοι πλακόστρωτοι δρόμοι συνέδεαν τη Νικόπολη με τα λιμάνια της. Στην ενδιάμεση περιοχή δημιουργήθηκαν αυτόνομες οικιστικές μονάδες. Τα περισσότερα κτιριακά συγκροτήματα προσαρμόζονται στις οικοδομικές νησίδες (insulae), οι οποίες είναι χωρισμένες σε ορθογώνια παραλληλόγραμμα (οικόπεδα).

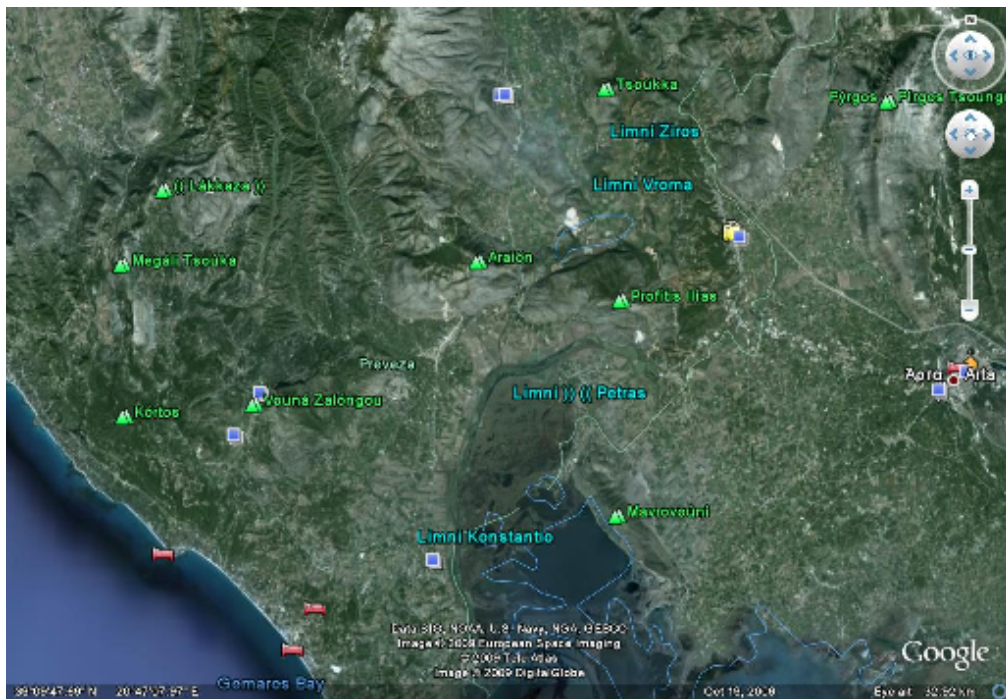
Η πόλη διέθετε Αγορά (forum) που βρισκόταν μεταξύ των κύριων οδών της. Το Ωδείο βρισκόταν κοντά στην Αγορά, κτισμένο στο κέντρο της ρωμαϊκής πόλης. Χρονολογείται στα χρόνια του Αυγούστου και πρέπει να ήταν σε χρήση μέχρι το 2ο μισό του 3ου αιώνα μ.Χ. Αποτελείται από ημικυκλικό κοίλο, κυκλική ορχήστρα, και ορθογώνια σκηνή. Στον εξωτερικό τοίχο της σκηνής που σώζεται σε μεγάλο ύψος, τρεις μεγαλόπρεπες πύλες με βαθμίδες, οδηγούν στο προσκήνιο. Το Ωδείο είναι έργο σπουδαίου αρχιτέκτονα και σώζεται σε καλή κατάσταση. Τα υπόλοιπα δημόσια κτήρια, Θέατρο, Στάδιο και Γυμνάσιο, κτίστηκαν εκτός των τειχών της πόλης στο προάστιο.

Στην ίδια περιοχή κατασκευάστηκε και το Ιερό του Απόλλωνα. Στο νότιο τμήμα της πόλης αναπτυσσόταν τα Υδραγωγεία που τροφοδοτούσε με νερό την πόλη, μέρος της τοξοστοιχίας που σώζεται ως σήμερα. Οι μεγάλες θερμές της πόλης βρισκόταν ανατολικά της Αγοράς. Η μοναδική μέχρι σήμερα ιδιωτική οικία που έχει έρθει στο φως, βρίσκεται βόρεια του Ωδείου. Τα Νεκροταφεία της πόλης βρίσκονταν έξω από την πύλη του τείχους αλλά και σε



άλλες περιοχές και σε πολλές περιπτώσεις σώζονται μεγάλα ταφικά κτίσματα, τα οποία ανήκαν σε πλούσιες ελληνικές και ρωμαϊκές οικογένειες.

Η παρακμή της πόλης ξεκίνησε σταδιακά κατά τον 3ο μ.Χ. αιώνα, ακολουθώντας τη γενικότερη πολιτική, οικονομική και κοινωνική κρίση της εποχής. Δυστυχώς όμως, η κατιούσα πορεία της επιδεινώθηκε από καταστροφικό σεισμό που έπληξε την πόλη. Ακολούθησαν βαρβαρικές εισβολές από αλληπάλληλα φύλα με πρώτους τους Γότθους. Το 395 η Νικόπολη καταλαμβάνεται και καταστρέφεται από τον Αλάριχο ενώ το 475 πέφτει στα χέρια των Βανδάλων. Το 551 οι Γότθοι εισβάλλουν εκ νέου στην πόλη οδηγώντας την σε οριστική παρακμή. Υπολογίζεται ότι στις αρχές του 10ου μ.Χ. αιώνα η Νικόπολη ερημώθηκε τελείως και έκτοτε σώζονται μόνο ερείπια.



Σχήμα 1.1 Δορυφορική φωτογραφία που παρουσιάζει την ευρύτερη περιοχή της Πρέβεζας



## 1.2 Η γεωφυσική στην αρχαιολογία

Η αρχαιολογική γεωφυσική (Wikipedia) πιο συχνά αναφέρεται στις τεχνικές γεωφυσικής έρευνας που χρησιμοποιούνται για αρχαιολογική απεικόνιση και χαρτογράφηση. Σε γενικότερη έννοια, ο όρος αναφέρεται σε οποιοσδήποτε γεωφυσικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται στην αρχαιολογία. Η τηλεπισκόπηση και οι θαλάσσιες έρευνες χρησιμοποιούνται στην αρχαιολογία, αλλά γενικώς θεωρούνται διαφορετικές αρχές. Όροι όπως «γεωφυσική διασκόπηση» και «γεωφυσική έρευνα» είναι γενικώς συνώνυμες όταν χρησιμοποιούνται σε αρχαιολογικό πλαίσιο.

Η αρχαιολογική γεωφυσική χρησιμοποιείται για τη δημιουργία χαρτών των υπεδάφινων αρχαιολογικών χαρακτηριστικών. Τα χαρακτηριστικά είναι τα ακίνητα μέρη της αρχαιολογικής καταγραφής, είτε αυτά είναι κτίρια, είτε ίχνη ανθρώπινης δραστηριότητας που θαύτηκαν στο χώμα. Τα γεωφυσικά όργανα μπορούν να εντοπίσουν θαμμένα χαρακτηριστικά, όταν οι ηλεκτρικές και μαγνητικές ιδιότητές τους έρχονται σε μεγάλη αντίθεση με το περιβάλλον τους. Σε μερικές περιπτώσεις, μεμονωμένα τεχνουργήματα, ιδιαίτερος μεταλλικά, μπορούν να ανιχνευτούν. Οι τιμές που παίρνονται σε συστηματική δομή, μπορούν να αποδοθούν σε χάρτες. Τα αποτελέσματα της έρευνας μπορούν να καθοδηγήσουν τις ανασκαφές και να δώσουν διορατικότητα στους αρχαιολόγους για το σχέδιο των μη ανασκαμμένων περιοχών της περιοχής. Αντίθετα από άλλες αρχαιολογικές μεθόδους, η γεωφυσική έρευνα δεν εισβάλλει, ούτε είναι καταστρεπτική. Γι αυτό το λόγο, πολύ συχνά χρησιμοποιείται εκεί που στόχος είναι η διατήρηση, παρά η ανασκαφή.

Αν και η γεωφυσική έρευνα έχει χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν με διαλείπουσα επιτυχία, τα καλά αποτελέσματα είναι πολύ πιθανά όταν εφαρμόζεται κατάλληλα. Είναι χρήσιμη όταν χρησιμοποιείται σε ένα καλά ενσωματωμένο ερευνητικό σχέδιο όπου οι ερμηνείες μπορούν να εξεταστούν και να καθαριστούν. Η ερμηνεία απαιτεί γνώση του αρχαιολογικού αρχείου και του τρόπου που εκφράζεται γεωφυσικά. Η κατάλληλη ενοργάνωση, το σχέδιο ερευνών, και η επεξεργασία δεδομένων είναι ουσιαστικές για την επιτυχία, και πρέπει να προσαρμοστούν στη μοναδική γεωλογία και το αρχαιολογικό αρχείο κάθε περιοχής. Ο έλεγχος της ποιότητας στοιχείων και η χωρική ακρίβεια είναι κρίσιμοι.

Οι περισσότερες γεωφυσικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται σήμερα για τις αρχαιολογικές έρευνες αναπτύχθηκαν αρχικά για τις εφαρμογές γεωλογικών ή γεωτεχνικών έργων. Ενώ οι βασικές φυσικές αρχές είναι οι ίδιες, το μικρό βάθος και το σχετικά μικρό μέγεθος των αρχαιολογικών χαρακτηριστικών, δοκιμάζουν τους νόμους της γεωφυσικής σε όρια που δεν συναντιώνται συχνά από «συμβατικούς» γεωφυσικούς. Η έρευνα πάνω σε αυτά τα συγκεκριμένα προβλήματα οδήγησε στη δημιουργία μιας υποαρχής που τώρα ονομάζεται «αρχαιολογική γεωφυσική».

Ο Clark (1996), περιγράφει πως το 1893 ο υπαρχηγός Pitt-Rivers χτυπούσε το έδαφος με αξίνα για να εντοπίσει ένα χαντάκι – η πρώτη καταγεγραμμένη εφαρμογή γεωφυσικής τεχνικής σε αρχαιολογική διασκόπηση. Από το 1945, η μεγάλη δυνατότητα των αεροφωτογραφιών αξιοποιήθηκε με αυξανόμενο ρυθμό. Ωστόσο, οι υπάρχοντες φωτογραφίες συχνά στερούνταν χωρική ακρίβεια, που μπορούσε να αποκτηθεί μόνο με επίγειες τεχνικές. Το 1946, ο Richard Atkinson ξεκίνησε επιτυχώς μετρήσεις της γήινης αντίστασης, που επακολούθως ενισχύθηκαν από την ανάπτυξη εξοπλισμού με τρανζίστορ (η γέφυρα γήινης αντίστασης των Martin-Clark το 1956, και ο αυτόματος μετρητής γήινης αντίστασης Bradphys στα τέλη της δεκαετίας του 60). Η υιοθέτηση και μελέτη των νέων διατάξεων ηλεκτροδίων, ειδικά κατάλληλων για θαμμένα αρχαιολογικά χαρακτηριστικά και γρήγορη κάλυψη περιοχής (Apsinall και Lynam 1968), και η αυτόματη καταχώρηση των δεδομένων (Kelly *et al.* 1984) επίσης ενίσχυσαν τη χρήση αυτής της τεχνικής. Ενώ βελτιώσεις βρίσκονται ακόμα σε εξέλιξη (για παράδειγμα η ανάπτυξη οχημάτων με ηλεκτρόδια τοποθετημένα στις ρόδες τους (Kelly *et al.* 1998) ή οι πρόοδοι στις κάθετες ψευδοτομές αντίστασης (Aspinall και Crummet 1997), η μέτρηση της γήινης αντίστασης έχει καθιερωθεί σαν μια από τις βασικές μεθόδους της γεωφυσικής διασκόπησης στην αρχαιολογία.

Η ανάπτυξη μιας άλλης επιτυχούς τεχνικής, της μέτρησης με μαγνητόμετρα, ξεκίνησε το 1958 από τον Martin Aitken με τη χρήση ενός μαγνητόμετρου πρωτονίων. Ενδιαφέρον για την τεχνική παρακινήθηκε από την ανακάλυψη ότι μαγνητικές ανωμαλίες δεν παρουσίαζαν

μόνο αναμμένοι κλίβανοι και σιδηρούχα αντικείμενα, αλλά και εδαφικά χαρακτηριστικά όπως χαντάκια και λάκκοι. Ο Irwin Scollar χρησιμοποίησε τη διάταξη διαφορικών αισθητήρων για ευρείες μετρήσεις από το 1963, και το 1966 ξεκίνησε με ψηφιακή καταγραφή σε διατρητές χαρτοταινίες. Επίσης, στη δεκαετία του 60, μαγνητόμετρα μέτρησης συνεχούς μαγνητικής ροής (fluxgate magnetometers), που επέτρεπαν συνεχή καταγραφή λόγω της βελτιωμένης ταχύτητας μέτρησης, εισήχθησαν από τους John Alldred και Frank Philpot. Περιορισμοί στην ευαισθησία οδήγησε στην ανάπτυξη μαγνητόμετρων Ακαλικών νεφών (με ευαισθησία από 0.01nT) από τους Beth Ralph, Helmut Becker και Peter Melichar τη δεκαετία του 70. Αυτά τα όργανα από τότε έχουν τελειοποιηθεί και μετρήσεις υψηλής ανάλυσης για μεγάλες περιοχές είναι πλέον εφικτές (Eder-Hinterleitner *et al.* 1996).

Ενεργές ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο για την έρευνα αρχαιολογικών χαρακτηριστικών. Πιο αξιοσημείωτα, το ραντάρ εδάφους (Ground Penetrating Radar – GPR) είναι πλέον ένα καλά καθιερωμένο εργαλείο, που συνδυάζει υψηλή ευαισθησία και χωρική ανάλυση. Αρχικά υποδεχόμενο με ενθουσιασμό (Conyers και Goodman 1989), χρησιμοποιήθηκε κάτω από ακατάλληλες συνθήκες (υγρά αργιλώδη εδάφη) και απέκτησε κακή φήμη ανάμεσα στους αρχαιολόγους στη Βρετανία. Με την καλύτερη κατανόηση της τεχνικής και των περιορισμών της, αυτή η αντίληψη αποκαταστάθηκε και το GPR χρησιμοποιείται πλέον επιτυχώς σε πολλές τοποθεσίες.

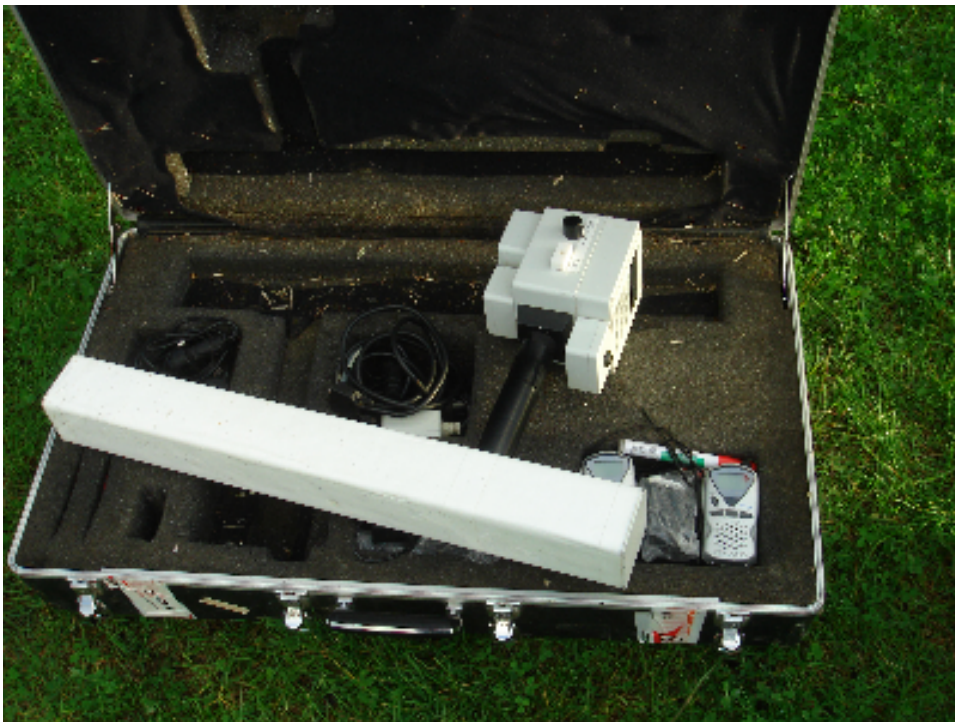
Η λήψη των γεωφυσικών δεδομένων είναι πλέον εξ' ολοκλήρου ψηφιακή, και το αυξανόμενο μέγεθος και δειγματοληπτική ανάλυση των μοντέρνων ερευνών, έχει ως αποτέλεσμα τη συγκέντρωση τεραστίων ποσοτήτων δεδομένων. Ένα παράδειγμα ευρείας γεωφυσικής έρευνας είναι η εργασία του Wroxeter Hinterland (*ref. <http://www.arch-ant.bham.ac.uk/bufau/research/wh/base.html>*) που απασχόλησε πολλές ερευνητικές ομάδες, χρησιμοποιώντας μια ποικιλία μεθοδολογιών. Μόνο η μαγνητομετρική έρευνα, σε περιοχή 78 εκταρίων, καταγγέγραψε περίπου τρία εκατομμύρια σημεία δεδομένων.

## 2. Η ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ

### 2.1. Περιγραφή της μαγνητικής μεθόδου

Οι μαγνητικές μέθοδοι διασκόπισης (σχ. 2.1) είναι οι παλιότερες μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπισης. Αρχικά, οι μέθοδοι αυτές χρησιμοποιήθηκαν για τον εντοπισμό μεταλλευμάτων και κυρίως μεταλλευμάτων σιδήρου. Στη διασκόπιση πετρελαίου εφαρμόστηκαν μετά το 1920. Η αρχή κάθε μεθόδου γεωμαγνητικής διασκόπισης βασίζεται στον εντοπισμό μεταβολών της μαγνήτισης των πετρωμάτων μέσα στα επιφανειακά στρώματα του φλοιού της Γης, με μετρήσεις στην επιφάνεια της Γης μαγνητικών ανωμαλιών μικρής κλίμακας, δηλαδή, τοπικών μεταβολών της έντασης του γεωμαγνητικού πεδίου.

Η μαγνητική ανωμαλία εξαρτάται από το μέγεθος, το σχήμα και την ένταση μαγνήτισης της μάζας που την προκαλεί. Οι μαγνητικές ανωμαλίες που παρατηρούμε στην επιφάνεια της Γης οφείλονται σε μεταβολές της μαγνήτισης των πυριγενών ή κρυσταλλικών πετρωμάτων και όχι στα επιφανειακά ιζηματογενή πετρώματα τα οποία έχουν ασθενή μαγνήτιση.



Σχήμα 2.1 Το μαγνητόμετρο



Η μαγνητική μέθοδος διασκόπισης βασίζεται στη μέτρηση και την ανάλυση των τοπικών ανωμαλιών του γεωμαγνητικού πεδίου, που οφείλονται σε διαφορές της έντασης μαγνήτισης των πετρωμάτων (Αράμπελος, 1991). Η μαγνήτιση των πετρωμάτων οφείλεται τόσο στη μόνιμη μαγνήτιση τους όσο και στην επαγωγή του γεωμαγνητικού πεδίου. Η μόνιμη μαγνήτιση εξαρτάται από τη γεωλογική ιστορία του πετρώματος, ενώ η επαγωγική από τη μαγνητική επιδεκτικότητα του πετρώματος και την ένταση του πεδίου που προκαλεί τη μαγνήτιση.

Κατά την εφαρμογή των μαγνητικών μεθόδων για την ανίχνευση μεταλλευμάτων, επιδιώκεται ο εντοπισμός μεταλλευμάτων τα οποία έχουν μαγνητικές ιδιότητες ή ο εντοπισμός δομών οι οποίες έχουν μαγνητικές ιδιότητες και συνυπάρχουν με μη μαγνητικά υλικά οικονομικής σημασίας. Κατά τη γεωμαγνητική έρευνα για αναζήτηση πετρελαίου, καθορίζεται η δομή του θεμελιώδους μαγνητικού υποβάθρου το οποίο προδιαγράφει το πάχος και γενικά τις διαστάσεις των ιζημάτων.

## 2.2 Θεμελιώδη μαγνητικά μεγέθη (Παπαζάχος, 1996)

1. Ένταση: μαγνητικού πεδίου σε ορισμένο σημείο του, ονομάζεται το διανυσματικό μέγεθος  $H$ , που έχει την διεύθυνση και τη φορά της μαγνητικής δύναμης που ασκείται πάνω σε θετική μαγνητική ποσότητα η οποία βρίσκεται στο σημείο αυτό. Δίνεται από τον τύπο:

$$\mathbf{H} = \mathbf{F} / \mathbf{P} \quad (2.1)$$

όπου  $F$  είναι το μέτρο της μαγνητικής δύναμης η οποία ασκείται στη μαγνητική ποσότητα όταν ο χώρος είναι κενός και  $P$  είναι η θετική μαγνητική ποσότητα πάνω στην οποία ασκείται η μαγνητική δύναμη.

2. Μαγνητική ροπή: ενός μαγνητικού διπόλου του οποίου οι ποσότητες μαγνητισμού  $+P, -P$  απέχουν απόσταση  $I$ , είναι ένα διανυσματικό μέγεθος  $M^*$  που έχει διεύθυνση του  $I$  και φορά από τον αρνητικό προς το θετικό πόλο και μέτρο το οποίο δίνεται από τη σχέση:

$$\mathbf{M}^* = \mathbf{P} \mathbf{I} \quad (2.2)$$

3. Μαγνήτιση: του σώματος είναι ένα διανυσματικό μέγεθος  $J$  που έχει την ίδια διεύθυνση και φορά με τη μαγνητική ροπή και μέτρο, το οποίο δίνεται από τον εξής τύπο:

$$\mathbf{J} = \mathbf{M}^* / \mathbf{V} \quad (2.3)$$

όπου  $V$  είναι ο όγκος του σώματος.

4. Μαγνητική επιδεκτικότητα: είναι ένα αδιάστατο μέγεθος  $k$  το οποίο δείχνει το μέτρο ευκολίας της μαγνήτισης ενός υλικού και ορίζεται από τις σχέσεις:

$$\mathbf{k} = \mathbf{J} / \mathbf{H} \quad \text{ή} \quad \mathbf{J} = \mathbf{k} \mathbf{H} \quad (2.4)$$

Για το κενό η τιμή του  $\kappa$  είναι μηδέν, ανάλογα με τη τιμή του  $\kappa$  τα διάφορα υλικά χαρακτηρίζονται σαν παραμαγνητικά όταν  $\kappa > 0$ , σιδηρομαγνητικά όταν  $\kappa \gg 0$  και διαμαγνητικά όταν  $\kappa < 0$ .

5. Μαγνητική διαπερατότητα : είναι μια σταθερά  $\mu$  η οποία εξαρτάται από το υλικό που υπάρχει μεταξύ δυο ποσοτήτων μαγνητισμού. Είναι ίση με τη μονάδα στο κενό και σχεδόν ίση με την μονάδα στον αέρα.

6. Μια άλλη σταθερά, η  $\mu_0$  εξαρτάται από το σύστημα μονάδων και έχει τιμή ίση με τη μονάδα στο ηλεκτρομαγνητικό σύστημα μονάδων.

7. Μαγνητική επαγωγή: είναι η ένταση  $B$  η οποία χαρακτηρίζει την ολική ένταση ενός πεδίου το οποίο αποτελεί σύνθεση δυο άλλων μαγνητικών πεδίων. Είναι επίσης η ποσότητα την όποια μετράμε και ερμηνεύουμε κατά τη μαγνητική διασκόπηση και ορίζεται:

$$\mathbf{B} = \mu_0 \mu \mathbf{H} \quad (2.5),$$

όπου  $H$  είναι η ένταση του αρχικού μαγνητικού πεδίου.

### 2.3 Μαγνητική επιδεκτικότητα των πετρωμάτων

Η μαγνητική επιδεκτικότητα  $\kappa$  (Αράμπελος ,1991) είναι μια σημαντική παράμετρος για τη μαγνητική μέθοδο. Η επιδεκτικότητα είναι ένα μέγεθος που γενικά δεν είναι δυνατό να μετρηθεί απευθείας στο πεδίο. Από την καμπύλη υστέρησης είναι φανερό ότι το  $\kappa$  δεν είναι σταθερό για ένα υλικό. Καθώς το  $H$  αυξάνει, το  $\kappa$  αυξάνει στην αρχή γρήγορα, φθάνει μια μέγιστη τιμή και στη συνέχεια ελαττώνεται στο μηδέν. Ακόμη, παρά το γεγονός ότι οι καμπύλες μαγνήτισης των διαφόρων υλικών έχουν γενικά το ίδιο σχήμα, η τιμή κόρου μεταβάλλεται σε ευρύτατα όρια για τους διάφορους τύπους των ορυκτών. Για το λόγο αυτό είναι σημαντικό όταν προσδιορίζουμε την επιδεκτικότητα να χρησιμοποιούμε μια τιμή του  $H$  περίπου ίδια με αυτή του γεωμαγνητικού πεδίου.

Ορισμένα ορυκτά, όπως ο μαγνητίτης, έχουν μεγάλη μαγνητική επιδεκτικότητα. Τα πετρώματα (πιν. 2.1) στα οποία συναντώνται τα ορυκτά αυτά, (όπως π.χ. τα εκρηξιγενή, οι γνεύσιοι κλ.π.) αποκτούν μαγνητικές ιδιότητες.

**Πίνακας 2.1 :** Τιμές της μαγνητικής επιδεκτικότητας κ διαφόρων πετρωμάτων (Αράμπελος ,1991)

ΤΥΠΟΣ	ΕΥΡΟΣ ΤΙΜΩΝ ( κ x 10 <sup>6</sup> emu )	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
Ιζηματογενή		
Δολομίτης	0 - 75	10
Ασβεστόλιθος	2 - 280	25
Ψαμμίτης	0 – 1.660	30
Αργιλικός σχιστόλιθος	5 – 1.480	75
Διακύμανση Ιζηματογενών	0 – 4.000	75
Μεταμορφωμένα		
Αμφιβολίτης		60
Κρυσταλλικός σχιστόλιθος	25 - 240	120
Φυλλίτης		130
Γνεύσιος	10 – 2.000	
Χαλαζίτης		350
Σερπεντίνης	250 - 1400	
Σχιστόλιθος	0 – 3.000	500
Διακύμανση μεταμορφωμένων	0 – 5.800	350
Εκρηξιγενή		
Γρανίτης	0 – 4.000	200
Ρυόλιθος	20 – 3.000	
Δολερίτης	100 – 3.000	1.400
Αυγιτικός συηνίτης	2.700 – 3.600	
Ολιβινικός διαβάσης		2.000
Διαβάσης	80 – 13.000	4.500
Πορφυρίτης	20 – 16.700	5.000
Γάββρος	80 – 7.200	6.000
Βασάλτης	20 – 14.500	6.000
Διορίτης	50 – 10.000	7.000
Πυροξενίτης		10.500
Περιδοτίτης	7.600 – 15.600	13.000
Ανδεσίτης		13.500
Διακύμανση οξίνων εκρηξιγενών	3 – 6.530	650
Διακύμανση βασικών εκρηξιγενών	44 – 9.170	2.600



## 2.4 Γεωμαγνητισμός

Στην επιφάνεια της γης υπάρχει μόνιμο μαγνητικό πεδίο με διεύθυνση όπως δείχνει η μαγνητική βελόνα, δηλ. περίπου από βορρά προς νότο. Η γη επομένως είναι ένας μεγάλος μαγνήτης με πόλους που γενικά δεν συμπίπτουν με τους γεωγραφικούς πόλους. Η προέλευση του γήινου μαγνητικού πεδίου δεν είναι ακριβώς γνωστή. Από τις μελέτες (Αράμπελος, 1991) που έχουν γίνει μέχρι σήμερα, έχουμε καταλήξει στο συμπέρασμα ότι το μαγνητικό πεδίο της γης συνίσταται από τρία μέρη, που είναι:

(i) το *εσωτερικό* ή κύριο πεδίο που οφείλει την ύπαρξή του σε εσωτερικά αίτια σύστημα ρευμάτων στο εσωτερικό της γης) δεν είναι σταθερό, αλλά μεταβάλλεται αργά με το χρόνο.

(ii) το *εξωτερικό* πεδίο, που είναι ένα μικρό κλάσμα του εσωτερικού, υπόκειται σε γρήγορες χρονικές μεταβολές (τόσο περιοδικές όσο και τυχαίες) και οφείλει την ύπαρξή του σε εξωτερικά αίτια (ιονόσφαιρα).

(iii) *διακυμάνσεις* του εσωτερικού πεδίου, κατά κανόνα μικρές σε σχέση με αυτό, που είναι σχετικά σταθερές τόσο σε σχέση με το χρόνο όσο και με τη θέση, που προκαλούνται από τοπικές, μαγνητικές ανωμαλίες και αποτελούν το στόχο της μαγνητικής διασκόπισης.

Για την αναγνώριση των ανωμαλιών του γήινου μαγνητικού πεδίου θα πρέπει να εισάγουμε το *κανονικό γεωμαγνητικό πεδίο*. Με μεγάλη προσέγγιση το κανονικό πεδίο μπορεί να παρασταθεί με το πεδίο ενός δίπολου που είναι εγκατεστημένο στο κέντρο της γης με τη μαγνητική ροπή να κατευθύνεται στο γεωγραφικό νότο.

## 2.5 Οργάνωση επίγειων μετρήσεων

Οι μετρήσεις του μαγνητικού πεδίου της γης με σκοπό τη διασκόπιση μπορούν να είναι επίγειες ή από αέρος (Αράμπελος, 1991). Οι επίγειες μετρήσεις γίνονται όταν είναι απαραίτητη η λεπτομερής έρευνα ανωμαλιών που ήδη έχουν εντοπισθεί.

Οι επίγειες μετρήσεις είναι κύρια μετρήσεις της ολικής συνιστώσας ή της κατακόρυφης συνιστώσας του μαγνητικού πεδίου της γης. Επειδή η **ευαισθησία των οργάνων** είναι μεγάλη θα πρέπει να λαμβάνεται μεγάλη φροντίδα ώστε οι σταθμοί μέτρησης να βρίσκονται μακριά από τεχνητές διαταραχές (σιδηροδρομικές γραμμές, ηλεκτρικά δίκτυα κλ.π.) του μαγνητικού πεδίου της γης. Όμοια, ο παρατηρητής δεν πρέπει να φέρει επάνω του μεταλλικά αντικείμενα (όπως π.χ. κλειδιά κλ.π.).

Οι μετρήσεις γίνονται σε τομές, κατά το δυνατό σε κανονικές αποστάσεις. Οι αποστάσεις **εξαρτώνται** από το σκοπό της έρευνας (Αράμπελος, 1991). Στην περίπτωση που η έρευνα γίνεται με σκοπό την αναζήτηση **μεταλλευμάτων**, οι αποστάσεις κυμαίνονται συνήθως από 5-30 m.

Στο στάδιο της αναγνώρισης, η πρώτη τομή έχει διάταξη τέτοια ώστε να περνάει επάνω από την πιθανή θέση του αναζητούμενου κοιτάσματος. Αφού γίνουν οι μετρήσεις στην τομή αυτή, μια δεύτερη τομή γίνεται κάθετα στην πρώτη, στο σημείο που αυτή παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ανωμαλία. Για λεπτομερή έρευνα η διάταξη των τομών πρέπει να είναι τέτοια, ώστε τα σημεία των μετρήσεων να αποτελούν, κατά το δυνατό, κανονικό δίκτυο.

Για την παρακολούθηση της ημερήσιας μεταβολής του μεγέθους του μαγνητικού πεδίου της γης που μετρούμε στο πεδίο, εγκαθίσταται ένας σταθμός μέτρησης του ομόλογου μεγέθους στο κέντρο της περιοχής των μετρήσεων και μακριά από τεχνητές διαταραχές. Η παραπάνω διαδικασία είναι απαραίτητη όχι μόνο όταν επιζητείται μεγάλη ακρίβεια (όπως π.χ. στην περίπτωση μιας αρχαιομετρικής διασκόπισης (Αράμπελος, 1991), όπου οι μαγνητικές ανωμαλίες έχουν μικρό εύρος) αλλά ακόμη και σε εργασίες όπου οι αναμενόμενες τιμές των μαγνητικών ανωμαλιών έχουν εύρος μεγαλύτερο από 500 γ (όπως π.χ. στην περίπτωση αναζήτησης μεταλλευμάτων). Στην τελευταία περίπτωση δεν ενδιαφέρει τόσο η πληροφορία σχετικά με την ημερήσια μεταβολή, όσο η πληροφορία σχετικά με το αν συμβαίνει ή όχι μαγνητική καταιγίδα κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.

Η κατακόρυφη βαθμίδα της ολικής έντασης κυμαίνεται από μια μέγιστη τιμή 0.03 γ/m στους μαγνητικούς πόλους, σε μια ελάχιστη τιμή 0.015 γ/m στο μαγνητικό ισημερινό. Η μεταβολή κατά την οριζόντια έννοια σπάνια είναι μεγαλύτερη από 6 γ/km μεταξύ ισημερινού και πόλων. Για τους παραπάνω λόγους αναγωγές τύπου ελεύθερου αέρα ή λόγω γεωγραφικού πλάτους δεν είναι απαραίτητες. Από το άλλο μέρος, η επίδραση της τοπογραφίας στις επίγειες μετρήσεις μπορεί, σε ορισμένες περιπτώσεις, να είναι σημαντική (όπως π.χ. στην περίπτωση που οι μετρήσεις γίνονται σε φαράγγια, όπου τα πετρώματα των τοιχωμάτων μπορούν να προκαλέσουν επιδράσεις της τάξης αρκετών εκατοντάδων γ στους παρακείμενους σταθμούς).

Στις περιπτώσεις αυτές, η τοπογραφική διόρθωση θα μπορούσε να γίνει με αναγωγή των μετρήσεων που έγιναν στην (ανώμαλη) επιφάνεια  $Z = h(x, y)$  σε ένα οριζόντιο επίπεδο  $z = 0$ . Αν υποθέσουμε ότι το μέγεθος που μας ενδιαφέρει είναι η κατακόρυφη συνιστώσα  $Z$ , μπορούμε σε πρώτη προσέγγιση να αναπτύξουμε τη

συνάρτηση  $Z(x, y, h)$  σε σειρά Taylor παραλείποντας τους όρους ανώτερης τάξης, οπότε θα έχουμε :

$$Z(x,y,0) = Z(x,y,h) - h \frac{\partial Z}{\partial z} \quad (2.6)$$

Την τιμή της βαθμίδας  $\frac{\partial Z}{\partial z}$  μπορούμε να τη μετρήσουμε: είτε απευθείας στο σταθμό (εκτελώντας μετρήσεις σε διαφορετικά υψόμετρα), είτε να την υπολογίσουμε από το χάρτη με καμπύλες ίσων τιμών του  $Z$ .

## 2. 6 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 (Αράμπελος ,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, δηλ. 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.

## 2.7 Αρχή λειτουργίας του μαγνητόμετρου ρυθμιζόμενης ροής

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 προκαλείται ένα μαγνητικό πεδίο από επαγωγή, το οποίο δημιουργεί με την σειρά του 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 την μαγνήτιση κόρου. Ένα δευτερεύον πηνίο περιβάλλει τα δύο πρωτεύοντα. Τα μαγνητικά πεδία που δημιουργούνται στους πυρήνες των πρωτευόντων 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 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.

## 3. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ

### 3.1 Εισαγωγή (Κολύβα-Μαχαίρα και Μπόρα Σέντα, 1998)

Η **Στατιστική**, καθώς και οι μέθοδοι της, ασχολείται με δύο τύπους προβλημάτων:

- α) συγκέντρωση, περιγραφή και διερεύνηση των δεδομένων και
- β) μελέτη της φύσης του συνόλου των δεδομένων, ξεκινώντας από ένα μέρος (του συνόλου των δεδομένων).

**Περιγραφική στατιστική** είναι ο κλάδος της στατιστικής που ασχολείται με την οργάνωση, συγκέντρωση και περιγραφή ενός συνόλου δεδομένων. Στη στατιστική, το σύνολο των δεδομένων λέγεται **πληθυσμός**.

Τα στοιχεία του συνόλου αυτού ονομάζονται **στατιστικές μονάδες**. Αντικείμενο της Στατιστικής είναι οι ιδιότητες των στατιστικών μονάδων. Οι χαρακτηριστικές ιδιότητες των στατιστικών μονάδων ενός πληθυσμού, ονομάζονται **στατιστικές μεταβλητές**, οι οποίες είναι είτε ποιοτικές (όπως για παράδειγμα η ομάδα αίματος, το φύλλο, η οικονομική κατάσταση κ.τ.λ.) είτε ποσοτικές (όπως για παράδειγμα ο αριθμός των βροχερών ημερών σε ένα μήνα, το πλήθος των βακτηριδίων στη δειγματοληπτική πλάκα κ.τ.λ.). Οι ποιοτικές μεταβλητές, δεν επιδέχονται αριθμητική μέτρηση και οι τιμές τους εκφράζονται με λέξεις. Οι τιμές των ποσοτικών μεταβλητών είναι αριθμοί αναφερόμενοι σε συγκεκριμένες μονάδες. Οι ποσοτικές μεταβλητές διακρίνονται σε:

α) **ασυνεχείς**, οι οποίες μπορούν να λάβουν πεπερασμένο ή αριθμήσιμο πλήθος τιμών και

β) **συνεχείς**, οι οποίες μπορούν να λάβουν όλες τις τιμές ενός διαστήματος.

Οι μέθοδοι περιγραφής ανάλυσης των δεδομένων, εξαρτώνται από τον τύπο των δεδομένων.

Πολλές φορές είναι αδύνατον να συγκεντρωθούν πληροφορίες για ολόκληρο τον πληθυσμό είτε γιατί αυτό είναι πρακτικά αδύνατο ή γιατί κοστίζει πολύ ή γιατί είναι χρονοβόρο. Σ' αυτές τις περιπτώσεις, που είναι και η καθημερινή πρακτική, εκλέγεται από τον πληθυσμό ένα τυχαίο δείγμα και από αυτό ξεκινώντας μελετάται η φύση του πληθυσμού. Στόχος του ενδιαφέροντος είναι η μελέτη του πληθυσμού. Φτάνουμε σ' αυτόν χρησιμοποιώντας το δείγμα. **Δείγμα** είναι ένα υποσύνολο δεδομένων παρμένο τυχαία από τον

πληθυσμό. Ο κλάδος της στατιστικής που με αφετηρία το δείγμα, προσπαθεί να βγάλει συμπεράσματα για τον πληθυσμό, αποτελεί τη **συμπερασματική στατιστική**.

Για την περιγραφή ποιοτικών δεδομένων πρέπει πρωτίστως να οριστούν κατηγορίες και μάλιστα κατά τέτοιο τρόπο ώστε κάθε παρατήρηση, σαφώς να ανήκει σε μία και μόνο μία κατηγορία. Ονομάζεται συχνότητα κατηγορίας, ο αριθμός των παρατηρήσεων που ανήκουν σ' αυτήν την κατηγορία, ενώ σχετική συχνότητα κατηγορίας ονομάζεται η αναλογία του αριθμού των παρατηρήσεων της συγκεκριμένης κατηγορίας ως προς το συνολικό αριθμό των παρατηρήσεων του δείγματος. Όσον αφορά τα ποιοτικά δεδομένα, οι μέθοδοι της περιγραφικής στατιστικής που χρησιμοποιούνται για την παρουσίαση τους είναι οι πίνακες συχνοτήτων καθώς και οι γραφικές παραστάσεις. Τα ραβδογράμματα και τα κυκλικά διαγράμματα είναι ο συνηθέστερος τρόπος περιγραφής των ποιοτικών δεδομένων. Το ραβδόγραμμα περιγράφει τη συχνότητα ή τη σχετική συχνότητα μιας κατηγορίας με ένα ευθύγραμμο τμήμα ή ένα ορθογώνιο, ύψους ίσου με τη συχνότητα της αντίστοιχης κατηγορίας. Το κυκλικό διάγραμμα περιγράφει το ποσοστό του συνολικού αριθμού παρατηρήσεων που περιέχει κάθε κατηγορία, διαιρώντας έναν κύκλο σε κυκλικούς τομείς έτσι ώστε το εμβαδόν κάθε κυκλικού τομέα να είναι ίσο με τη συχνότητα της αντίστοιχης κατηγορίας.

Ο πιο συνηθισμένος και παραδοσιακός τρόπος περιγραφής ποσοτικών δεδομένων είναι το ιστόγραμμα συχνοτήτων. Ένας άλλος τρόπος περιγραφής των παραπάνω δεδομένων είναι τα φυλλογραφήματα. Στην περίπτωση των ιστογραμμάτων ταξινομούμε τα δεδομένα σε ένα πλήθος ομάδων που ονομάζονται κλάσεις ή τάξεις. Ομαδοποιούμε δηλαδή τις παρατηρήσεις μας. Για το σκοπό αυτό διαιρείται όλη η έκταση της μεταβολής των τιμών των δεδομένων σε ένα ορισμένο αριθμό διαδοχικών διαστημάτων συνήθως ίσου πλάτους και σε κάθε τέτοιο διάστημα αντιστοιχίζεται το πλήθος των παρατηρήσεων που περιέχονται σε αυτό.

Μια δυσκολία που παρουσιάζεται εδώ είναι ο προσδιορισμός του αριθμού των τάξεων. Γενικός κανόνας δεν υπάρχει πέρα από τον εμπειρικό τύπο (γνωστός και ως κανόνας του Sturges),  $k=1+3,32\log_{10}N$ , όπου  $k$  είναι ο αριθμός των τάξεων και  $N$  ο αριθμός των παρατηρήσεων.

Στα φυλλογραφήματα, κάθε παρατήρηση χωρίζεται σε δύο μέρη στα οδηγούντα ψηφία και στα επόμενα ψηφία, π.χ. η παρατήρηση 1.88 μπορεί να χωριστεί σε 1 (οδηγούν ψηφίο) και 88 (επόμενα ψηφία). Ένα πλεονέκτημα που έχει το φυλλογράφημα έναντι του ιστογράμματος είναι ότι διατηρεί τις παρατηρήσεις, ενώ το ιστόγραμμα τις χάνει. Ένα μειονέκτημα του φυλλογραφήματος είναι ότι ο καθορισμός των οδηγούντων ψηφίων είναι υπόθεση αυτού που κάνει τη στατιστική ανάλυση.

## 3.2 Αριθμητικά περιγραφικά μέτρα (Ψωινός, 1989)

Το πρώτο και βασικό στάδιο, λοιπόν, της στατιστικής ανάλυσης των δεδομένων είναι η ταξινόμηση και η εμφάνιση των πολυάριθμων παρατηρήσεων με μορφή κατανομών συχνοτήτων. Σκοπός της εμφάνισης των δεδομένων με τη μορφή συνοπτικών πινάκων συχνοτήτων και διαγραμμάτων είναι ο περιορισμός του όγκου των στοιχείων που συγκεντρώθηκαν και η εύκολη μελέτη και περιγραφή της δομής του πληθυσμού που ερευνούμε. Και με τη μορφή όμως αυτή των κατανομών συχνοτήτων τα αρχικά στοιχεία εξακολουθούν να παρουσιάζουν μια σύνθετη έκφραση. Για το λόγο αυτό θεωρείται αναγκαία μια παραπέρα συμπύκνωση από ορισμένους αντιπροσωπευτικούς αριθμούς που ονομάζονται **αριθμητικά περιγραφικά μέτρα**.

Ωστε, αριθμητικά περιγραφικά μέτρα είναι αριθμοί που υπολογίζονται από τα δεδομένα (του δείγματος) και βοηθούν επιπλέον στη δημιουργία μιας εικόνας για την κατανομή τους. Τα μέτρα αυτά χωρίζονται σε μέτρα κεντρικής τάσης, μέτρα μεταβλητότητας και μέτρα ασυμμετρίας. Στατιστικό είναι ένα αριθμητικό περιγραφικό μέτρο που υπολογίζεται από το δείγμα. Παράμετρος είναι ένα αριθμητικό περιγραφικό μέτρο που υπολογίζεται από τον πληθυσμό. Οι παράμετροι του πληθυσμού συνήθως δεν είναι γνωστές. Η μέθοδος η οποία ακολουθείται στη στατιστική είναι: ξεκινώντας και υπολογίζοντας διάφορα στατιστικά του δείγματος, να βγουν συμπεράσματα για τις αντίστοιχες παράμετρους του πληθυσμού.

### 3.2.1 Μέτρα κεντρικής τάσης

Τα σημαντικότερα μέτρα κεντρικής τάσης είναι: η δειγματική μέση τιμή, η διάμεσος και η επικρατούσα τιμή.

**Δειγματική μέση τιμή** ενός συνόλου  $n$  μετρήσεων  $x_1, x_2, \dots, x_n$  ονομάζεται η τιμή που προκύπτει από τον τύπο:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

**Διάμεσος** ενός συνόλου  $n$  μετρήσεων  $x_1, x_2, \dots, x_n$  λέγεται η μεσαία μέτρηση, όταν αυτές διαταχθούν σε αύξουσα ή φθίνουσα σειρά και δίνεται από τις σχέσεις:

$$m = \begin{cases} x_{\left(\frac{n+1}{2}\right)} & \text{για } n \text{ περιττό} \\ \frac{1}{2} \left( x_{\left(\frac{n}{2}\right)} + x_{\left(\frac{n}{2}+1\right)} \right) & \text{για } n \text{ άρτιο} \end{cases}$$

**Επικρατούσα τιμή** ενός συνόλου  $n$  μετρήσεων είναι η τιμή με τη μεγαλύτερη συχνότητα.

Αν και η μέση τιμή θεωρείται η σημαντικότερη από τις παραμέτρους κεντρικής τάσης, επηρεάζεται πάρα πολύ από τις πολύ μεγάλες ή τις πολύ μικρές τιμές του δείγματος και μπορεί μερικές φορές να δημιουργήσει λάθος εντύπωση.

### 3.2.2 Μέτρα μεταβλητότητας

Στα μέτρα μεταβλητότητας ανήκουν όλα εκείνα τα στατιστικά μέτρα που αναφέρονται στο «άπλωμα» της κατανομής. Τα σπουδαιότερα μέτρα μεταβλητότητας είναι: το εύρος, η διασπορά, η τυπική απόκλιση και τα ποσοστιαία σημεία.

**Εύρος δείγματος** ονομάζεται η διαφορά ανάμεσα στη μεγαλύτερη και στη μικρότερη τιμή.

**Διασπορά δείγματος**  $n$  μετρήσεων  $x_1, x_2, \dots, x_n$  ονομάζεται η τιμή που προκύπτει από τον τύπο:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

**Τυπική απόκλιση δείγματος**, ή εκτιμώμενο τυπικό σφάλμα, ονομάζεται η θετική τετραγωνική ρίζα της δειγματικής διασποράς:

$$s = \sqrt{s^2}$$

**100 p-ποσοστιαίο σημείο** ενός συνόλου  $n$  μετρήσεων, ονομάζεται η τιμή, η οποία χωρίζει την κατανομή συχνοτήτων έτσι ώστε το 100p% του χωρίου κάτω από την κατανομή συχνοτήτων να είναι αριστερά του ποσοστιαίου σημείου, ενώ το 100(1-p)% να είναι δεξιά του.



### 3.2.3 Μέτρα ασυμμετρίας

Ο τύπος της κατανομής συχνοτήτων, μπορεί ακόμη να περιγραφεί ελέγχοντας κατά πόσο είναι συμμετρική ή ασύμμερτη και στην περίπτωση που δεν είναι συμμετρική ελέγχοντας το μεγαλύτερο μέρος της κατανομής εάν είναι προς τα δεξιά ή προς τα αριστερά.

Για τον παραπάνω έλεγχο χρησιμοποιούνται δύο μέτρα ή συντελεστές: ο συντελεστής ή μέτρο λοξότητας και ο συντελεστής ή μέτρο κύρτωσης. Οι τύποι που δίνονται παρακάτω ορίζουν τα μέτρα ασυμμετρίας με τη βοήθεια των ροπών, οι οποίες ροπές μπορούν να θεωρηθούν σα γενίκευση της διασποράς.

Η δειγματική κεντρική ροπή τάξης  $r$  δίνεται από τη σχέση:

$$m_r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^r$$

οπότε

Ο συντελεστής λοξότητας ορίζεται από τον τύπο:

$$\alpha_3 = \frac{m_3}{s^3}$$

και ο συντελεστής κύρτωσης από τον τύπο:

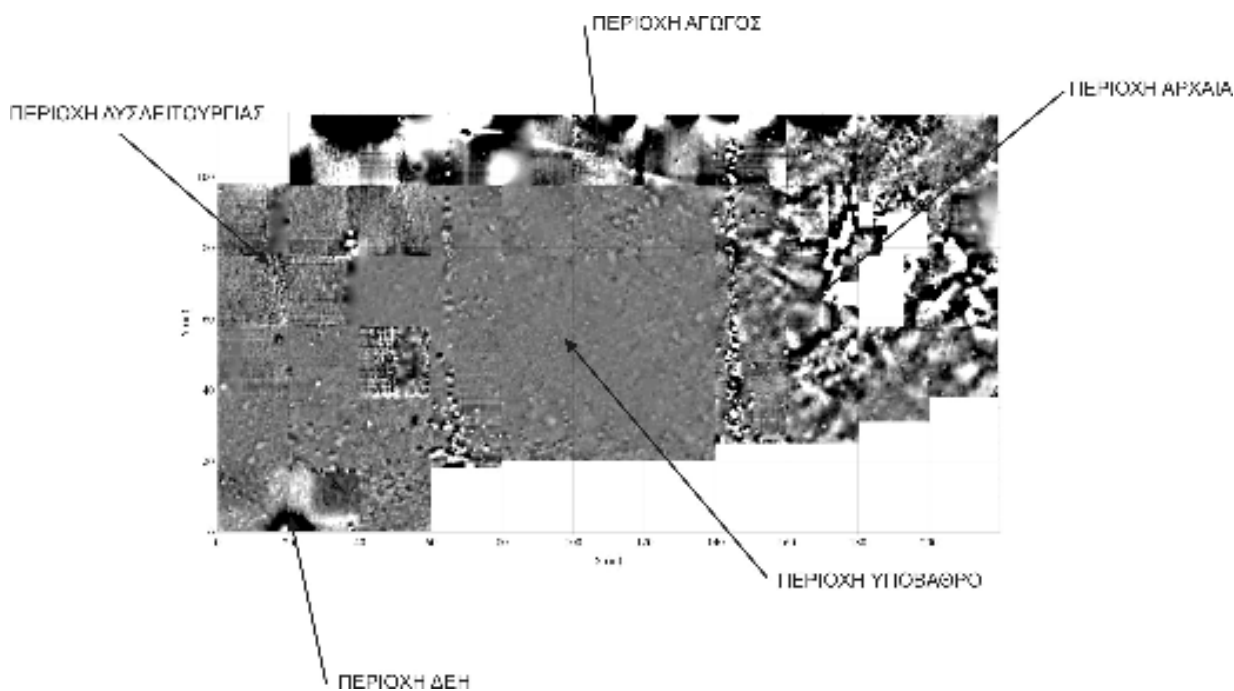
$$\alpha_4 = \frac{m_4}{s^4}$$

Συντελεστής λοξότητας θετικός, σημαίνει ότι οι περισσότερες τιμές βρίσκονται δεξιά της επικρατούσας τιμής, ενώ αρνητικός, σημαίνει ότι οι περισσότερες τιμές βρίσκονται αριστερά της κορυφής. Όταν ο συντελεστής κύρτωσης έχει τιμή  $<3$  η κατανομή λέγεται πλατύκυρτη, ενώ όταν έχει τιμή  $>3$ , η κατανομή λέγεται λεπτόκυρτη. Τέλος, όταν ο συντελεστής λοξότητας είναι μηδέν ή ο συντελεστής κύρτωσης έχει τιμή ίση με 3, τότε η κατανομή προσεγγίζεται από την κανονική.

## 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### 4.1 Εισαγωγή

Η περιοχή Μπάρμπα χωρίστηκε σε πέντε υποπεριοχές (βλ. σχήμα 4.1): την υποπεριοχή «Αγωγός» (κάνναβοι 3, 4, 17, 21, 25, 29, 33 και 37), την υποπεριοχή «ΔΕΗ» (κάνναβοι 45 και 47), την υποπεριοχή «Δυσλειτουργία οργάνου» (κάνναβοι 34, 36, 38, 39, 41, 42 και 43), την υποπεριοχή «(Γεωλογικό) Υπόβαθρο» (κάνναβοι 18, 19, 20, 22, 23, 24, 26, 27, 28, 30, 31, 32, 35, 40, 44, 46, 48, 49, 50, 51, 52 και 53) και την υποπεριοχή «Αρχαία» (κάνναβοι 1, 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 54, 55 και 56). Κατόπιν, μελετήθηκαν τα διαγράμματα διασποράς ξεχωριστά για κάθε κάνναβο όλων των υποπεριοχών και υπολογίστηκαν όλα τα περιγραφικά αριθμητικά τους μέτρα (με έμφαση στη μέση τιμή, εύρος και διακύμανση).

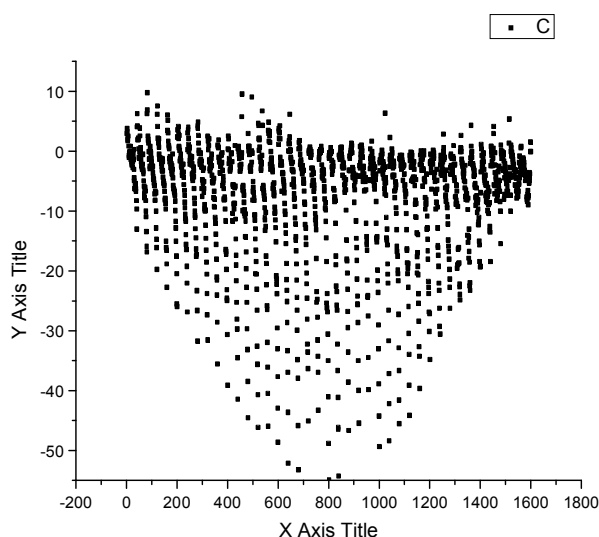


Σχήμα 4.1 Η μαγνητική διασκόπηση στον Κάμπο Μπάρμπα

### 4.2 Διαγράμματα διασποράς

Σε όλα τα διαγράμματα διασποράς που ακολουθούν ο οριζόντιος άξονας (X Axis Title) είναι η μεταβλητή «case», δηλαδή η πρώτη τιμή είναι για  $x = 0$  (m) και  $y = 0$  (m), η δεύτερη τιμή είναι για  $x = 0$  (m) και  $y = 0.5$  (m) κ.τ.λ. Ο κατακόρυφος άξονας (Y Axis Title) είναι η μέτρηση της κατακόρυφης βαθμίδας του τοπικού μαγνητικού πεδίου B.

Στο σχήμα 4.2, παρουσιάζεται το διάγραμμα διασποράς του καννάβου 3 (υποπεριοχή «Αγωγός»). Όλα τα υπόλοιπα διαγράμματα διασποράς των καννάβων της ίδιας υποπεριοχής (κάνναβοι 4, 17, 21, 25, 29, 33 και 37) μοιάζουν μεταξύ τους. Έτσι, τα συμπεράσματα που θα προκύψουν από τη μελέτη του διαγράμματος διασποράς του καννάβου 3, θα ισχύουν και για τα διαγράμματα διασποράς των υπόλοιπων καννάβων της ίδιας υποπεριοχής.

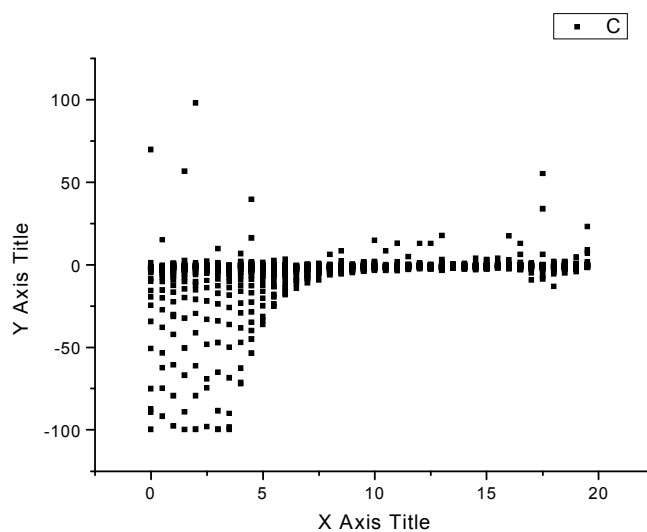


Σχήμα 4.2. Διάγραμμα διασποράς του καννάβου 3

Στο διάγραμμα διασποράς του καννάβου 3, παρατηρούμε μεγάλη εξάρτηση της μεταβλητής B από τις συντεταγμένες του σημείου της μέτρησης. Αυτό σημαίνει ότι στον κάνναβο 3, υπάρχει ένας υπεδάφειος μαγνητικός στόχος, ικανός να μεταβάλλει τις τιμές της μέτρησης με εμφανή τρόπο, καθώς αλλάζουν οι συντεταγμένες του σημείου μέτρησης. Έτσι, βλέποντας απλώς το διάγραμμα διασποράς (μιας τέτοιας υποπεριοχής), φαίνεται ότι βρισκόμαστε σε μια περιοχή όπου υπάρχει μια υπεδάφεια δομή που επηρεάζει τις τιμές της μέτρησης (στην περίπτωση μας, το μέταλλο από τον αγωγό νερού).

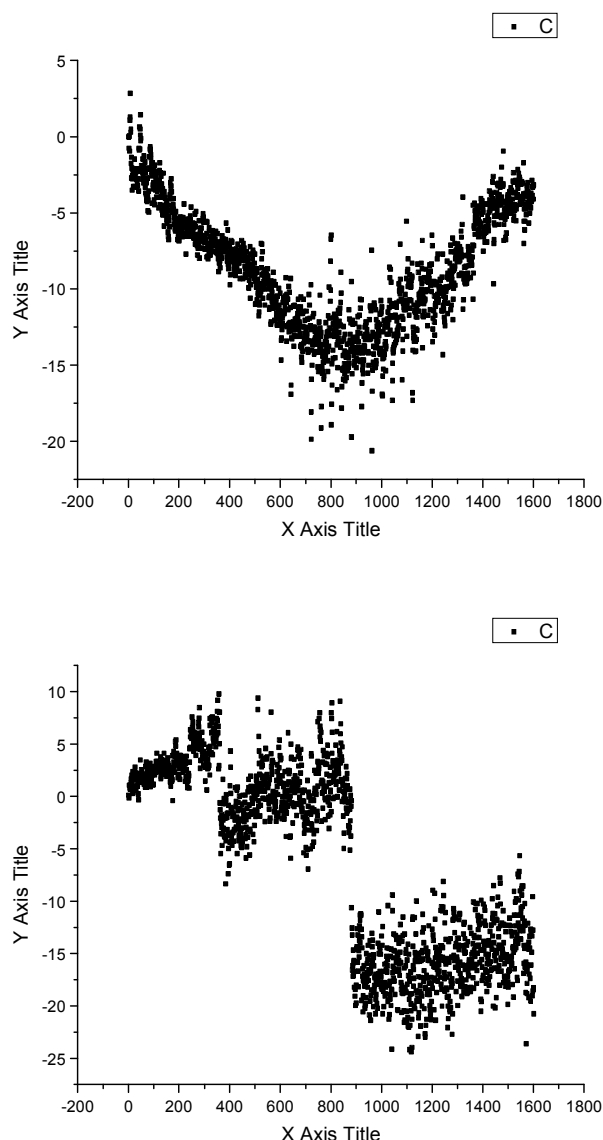
Στο σχήμα 4.3, παρουσιάζεται το διάγραμμα διασποράς του καννάβου 47 (υποπεριοχή «ΔΕΗ»). Το διάγραμμα διασποράς του κάνναβου 45 της ίδιας υποπεριοχής είναι παρόμοιο με το διάγραμμα διασποράς του κάνναβου 47. Έτσι, τα συμπεράσματα που θα προκύψουν από τη μελέτη του διαγράμματος διασποράς του καννάβου 47, θα ισχύει και για το διάγραμμα διασποράς του κάνναβου 45. Στο διάγραμμα διασποράς του καννάβου 47, παρατηρούμε μεγάλη εξάρτηση της μεταβλητής B από τις συντεταγμένες του σημείου της μέτρησης (όπως στην περίπτωση των διαγραμμάτων διασποράς των καννάβων της υποπεριοχής «αγωγός»). Ο πυλώνας της ΔΕΗ που υπάρχει σε αυτούς τους δύο κάνναβους, έχει ως αποτέλεσμα να επηρεάζει την τιμή της μέτρησης (αφού πρόκειται για μαγνητική μέτρηση), καθώς αλλάζουν οι

συντεταγμένες του σημείου μέτρησης, Έτσι πάλι, βλέποντας απλώς το διάγραμμα διασποράς, φαίνεται ότι βρισκόμαστε σε μια περιοχή όπου στο έδαφος υπάρχει κάτι που επηρεάζει τις τιμές της μέτρησης (στην περίπτωση μας, υπάρχει πυλώνας ΔΕΗ). Σημειώνουμε ότι η όλη εγκατάσταση της ΔΕΗ (πυλώνας, σύρματα) δημιουργεί συστηματικό θόρυβο στις μαγνητικές μετρήσεις. Επιπλέον, μόνο από τα διαγράμματα διασποράς των καννάβων των υποπεριοχών «Αγωγός» και «ΔΕΗ», είναι αδύνατο να διακρίνουμε σε ποια υποπεριοχή βρισκόμαστε, γεγονός που δεν μας ενδιαφέρει όμως, αφού συνήθως το πρόβλημα δεν είναι να εντοπιστούν τέτοιες περιοχές.



Σχήμα 4.3. Διάγραμμα διασποράς του καννάβου 47

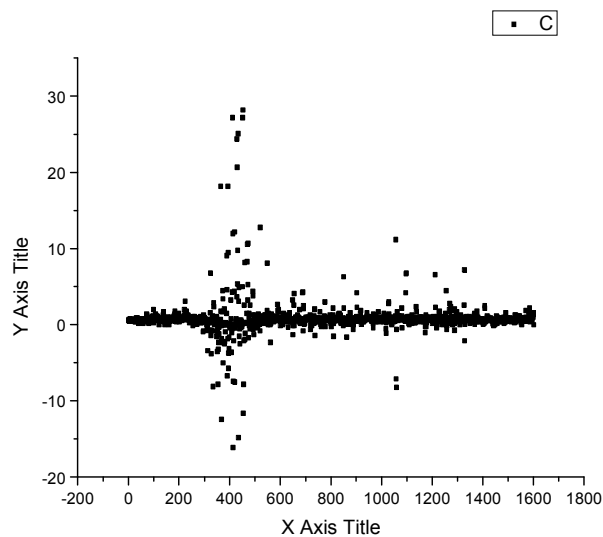
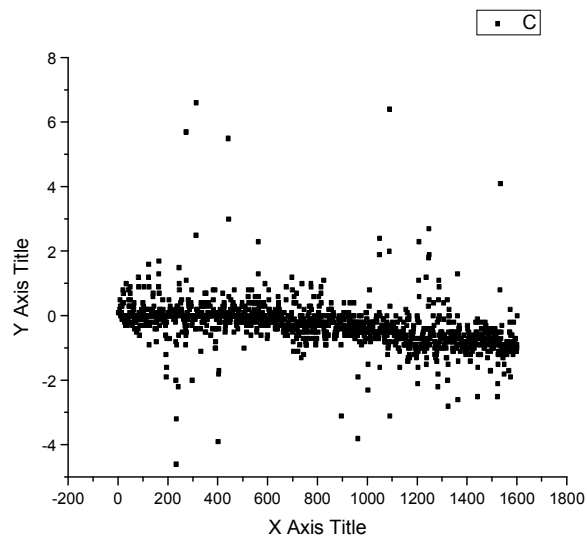
Στο σχήμα 4.4, παρουσιάζονται τα διαγράμματα διασποράς των καννάβων 34 και 36 (υποπεριοχή «Δυσλειτουργία οργάνου»). Τα διαγράμματα διασποράς των καννάβων 42 και 43 της ίδιας υποπεριοχής μοιάζουν με εκείνα των καννάβων 36 και 34 αντίστοιχα. Το σχήμα που προκύπτει από το διάγραμμα διασποράς του καννάβου 34 (και 43) έχει τη μορφή του γράμματος «V», ενώ εκείνο του καννάβου 36 (και 42) δεν είναι συνεχόμενο, μα σπασμένο σε τρία κομμάτια. Τα διαγράμματα διασποράς των καννάβων 38, 39 και 41 της ίδιας υποπεριοχής, δεν εμφάνισαν αυτές τις ιδιαίτερες συμπεριφορές. Έτσι, τα συμπεράσματα που μπορούν να παραχθούν για την υποπεριοχή «Δυσλειτουργία οργάνου» δεν είναι καθολικά, έχουν στατιστική σημαντικότητα λιγότερο από 60%. Πάντως, αν το διάγραμμα διασποράς παρουσιάζει ιδιαίτερη συμπεριφορά (δηλαδή αν είναι σπασμένο σε κομμάτια ή έχει τη μορφή του γράμματος «V») ενδεχομένως να βρισκόμαστε σε μια περιοχή όπου το όργανο μέτρησης, για κάποιο λόγο, δε λειτούργησε κανονικά.



Σχήμα 4.4. Διαγράμματα διασποράς των καννάβων 34 και 36

Στο σχήμα 4.5, παρουσιάζονται τα διαγράμματα διασποράς των καννάβων 19 και 31 (υποπεριοχή «Υπόβαθρο»). Για άλλη μια φορά, όλα τα υπόλοιπα διαγράμματα διασποράς των καννάβων της ίδιας υποπεριοχής (κάνναβοι 18, 20, 22, 23, 24, 26, 27, 28, 30, 32, 35, 40, 44, 46, 48, 49, 50, 51, 52 και 53) μοιάζουν μεταξύ τους. Έτσι, τα συμπεράσματα που θα προκύψουν από τη μελέτη των διαγραμμάτων διασποράς των καννάβων 19 και 31, θα ισχύουν και για τα διαγράμματα διασποράς των υπόλοιπων καννάβων της ίδιας υποπεριοχής. Από το διάγραμμα διασποράς του καννάβου 19, παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει καμία εξάρτηση της μεταβλητής B από τις συντεταγμένες του σημείου μέτρησης, δηλαδή από τη μεταβλητή case. Αναλυτικότερα, τα σημεία βρίσκονται συγκεντρωμένα γύρω από μια οριζόντια ευθεία, η οποία

είναι παράλληλη με τον οριζόντιο άξονα του διαγράμματος. Επιπλέον, στο διάγραμμα διασποράς του καννάβου 31, εκτός από τη προηγούμενη συμπεριφορά, παρατηρούμε και την ύπαρξη μιας δομής (κάθετη στον οριζόντιο άξονα), στην περίπτωση όπου η μεταβλητή «case» παίρνει τιμές στο διάστημα από 350 έως 450 περίπου. Αυτό ενδεχομένως να σημαίνει ότι υπάρχει μια υπεδάφεια ή επιφανειακή δομή (η οποία είναι κάθετη στη συντεταγμένη x).



Σχήμα 4.5. Διαγράμματα διασποράς των καννάβων 19 και 31

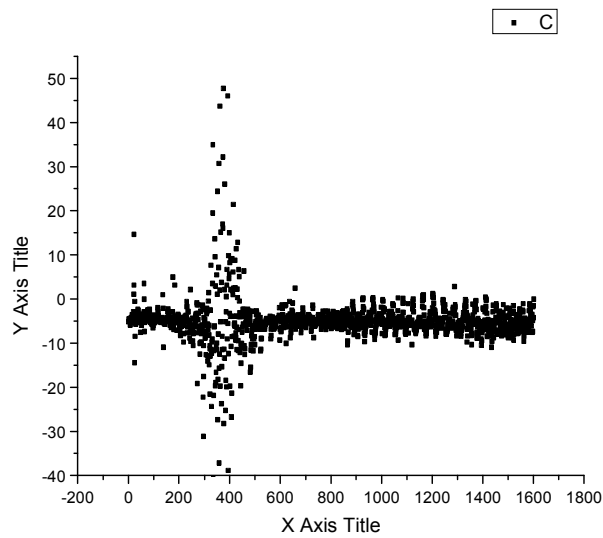
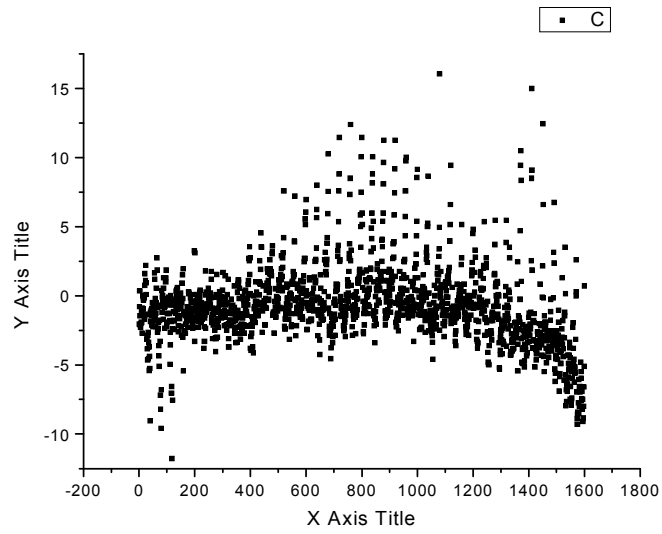
Στο σχήμα 4.6, παρουσιάζονται τα διαγράμματα διασποράς των καννάβων 1 και 8 (υποπεριοχή «Αρχαία»). Όπως στις προηγούμενες περιπτώσεις, όλα τα υπόλοιπα διαγράμματα διασποράς των καννάβων της ίδιας υποπεριοχής (κάνναβοι 2, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 54, 55 και 56) μοιάζουν μεταξύ τους. Από το διάγραμμα διασποράς του καννάβου 1, παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει καμία εξάρτηση της μεταβλητής B από τις συντεταγμένες του

σημείου μέτρησης (όπως στην περίπτωση των διαγραμμάτων διασποράς των καννάβων της υποπεριοχής «Υπόβαθρο»). Επιπλέον, στο διάγραμμα διασποράς του κάνναβου 8, εκτός από την προηγούμενη συμπεριφορά, πάλι παρατηρούμε την ύπαρξη μιας υπεδάφειας ή επιφανειακής δομής (κάθετη στον οριζόντιο άξονα), στην περίπτωση όπου η μεταβλητή «case» παίρνει τιμές στο διάστημα από 300 έως 500 περίπου. Φαίνεται ότι υπάρχει, επομένως, ένας υπεδάφειος στόχος (ή επιφανειακή δομή), με διεύθυνση κάθετη στη συντεταγμένη x. Παρατηρούμε ότι τα διαγράμματα διασποράς των υποπεριοχών «Υπόβαθρο» και «Αρχαία» μοιάζουν μεταξύ τους, με την διαφορά ότι αλλάζει το εύρος των τιμών του μαγνητικού πεδίου. Δεν μπορούμε δηλαδή να ξεχωρίσουμε σε ποια υποπεριοχή βρισκόμαστε μόνο από τα διαγράμματα διασποράς, χρειάζεται περαιτέρω ανάλυση με τον υπολογισμό των διαφόρων περιγραφικών αριθμητικών μέτρων.

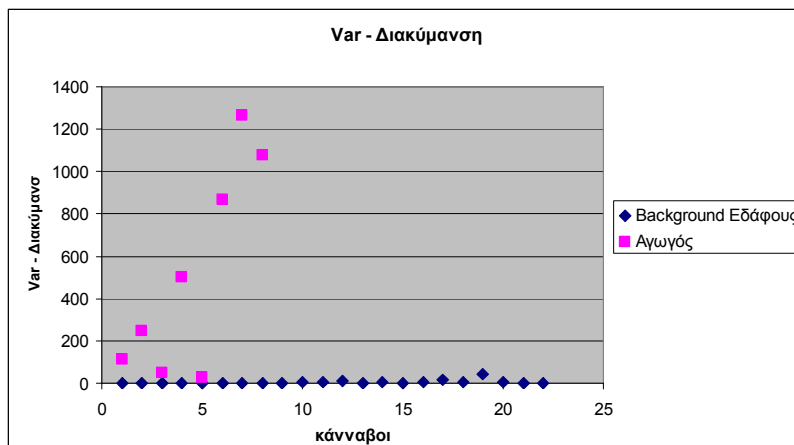
### 4.3 Περιγραφικά αριθμητικά μέτρα

Όπως και προηγουμένως, χωρίζουμε τους καννάβους σε υποπεριοχές, και συγκεκριμένα στην υποπεριοχή «Αγωγός», (την υποπεριοχή) «ΔΕΗ», (την υποπεριοχή) «Δυσλειτουργία οργάνου», (την υποπεριοχή) «Υπόβαθρο» και (την υποπεριοχή) «Αρχαία». Υπολογίζουμε τα περιγραφικά αριθμητικά μέτρα (βλ. παράγραφο 2) όλων των καννάβων αυτών των υποπεριοχών. Προκύπτει ότι υπάρχουν κάποια ενδιαφέροντα συμπεράσματα, όταν δοθεί έμφαση σε τρία μέτρα, τη (δειγματική) μέση τιμή, το εύρος και τη διακύμανση του δείγματος τιμών του τοπικού μαγνητικού πεδίου B του κάθε κάνναβου. Ο τρόπος που χρησιμοποιήθηκε είναι να συγκρίνονται ανά δύο οι διάφορες υποπεριοχές, και συγκεκριμένα να συγκρίνονται οι τιμές των τριών μέτρων σε κάθε κάνναβο κάθε υποπεριοχής. Παρακάτω αναφέρονται τα πιο σημαντικά συμπεράσματα που προέκυψαν από αυτές τις συγκρίσεις.

Στο σχήμα 4.7, παρατηρούμε ότι υπάρχει διαφορά (μόνο) στη διακύμανση ανάμεσα στις υποπεριοχές «Υπόβαθρο» και «Αγωγός». Αν εξαιρεθεί ο κάνναβος 50 (με τιμή 43.4494), οι τιμές της διακύμανσης της υποπεριοχής «Υπόβαθρο» κυμαίνονται μεταξύ των τιμών 0.36138 και 14.9435. Στην υποπεριοχή «Αγωγός» η μικρότερη τιμή είναι η 28.3261 του κάνναβου 17, ενώ η μεγαλύτερη είναι η 1266.585 του κάνναβου 33. Αν εξαιρέσουμε τους κάνναβους 17 και 25 (με τιμές διακύμανσης 46.7517 και 28.3261 αντίστοιχα), όλοι οι υπόλοιποι κάνναβοι της υποπεριοχής «Αγωγός» έχουν τιμές διακύμανσης τουλάχιστον μιας τάξης μεγέθους μεγαλύτερης από εκείνες των καννάβων της υποπεριοχής «Υπόβαθρο».



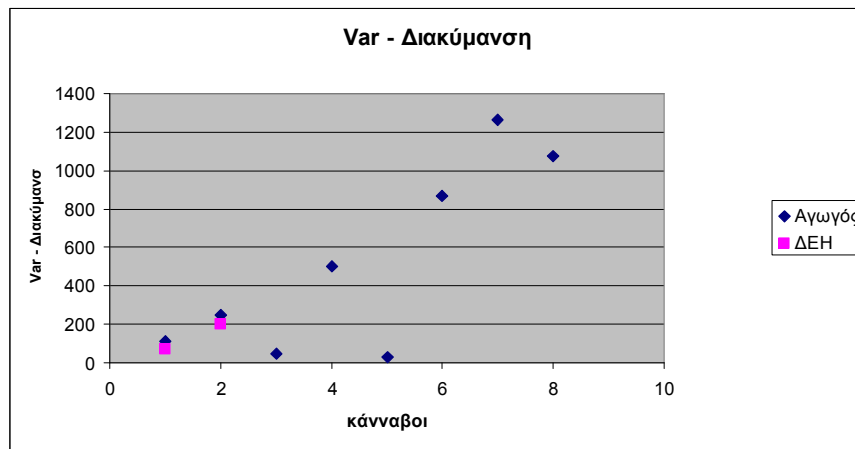
Σχήμα 4.6. Διαγράμματα διασποράς των καννάβων 1 και 8



Σχήμα 4.7. Σύγκριση των υποπεριοχών «Αγωγός» και «Υπόβαθρο»

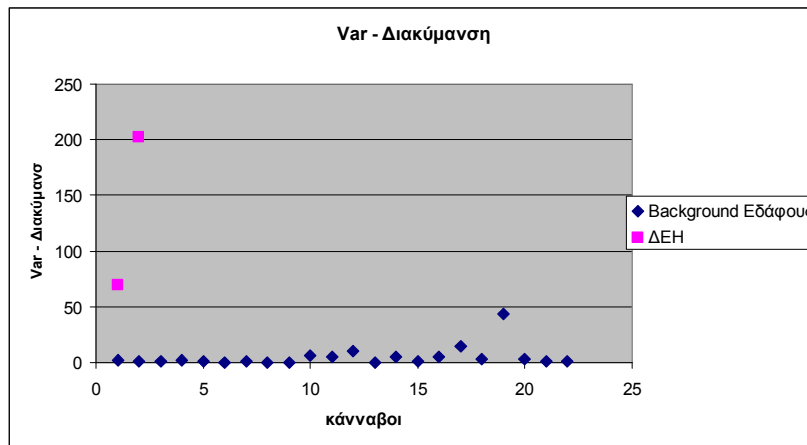


Στο σχήμα 4.8, φαίνεται η σύγκριση των τιμών διακύμανσης των καννάβων των υποπεριοχών «ΔΕΗ» και «Αγωγός» (η ίδια συμπεριφορά παρατηρείται και στα διαγράμματα της μέσης τιμής και του εύρους). Παρατηρείται ότι πάλι δεν μπορούμε να διακρίνουμε εκ των προτέρων σε ποια υποπεριοχή βρισκόμαστε, οι δύο περιοχές είναι παρόμοιες μεταξύ τους. Επομένως, όταν υπάρχει ένας υπεδάφειος ή επιφανειακός μαγνητικός στόχος που επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τις μετρήσεις, καθώς μεταβάλλονται οι συντεταγμένες του σημείου μέτρησης, οι υποπεριοχές που προκύπτουν εμφανίζουν την ίδια συμπεριφορά (το προηγούμενο εμφανίζεται και στα διαγράμματα διασποράς).



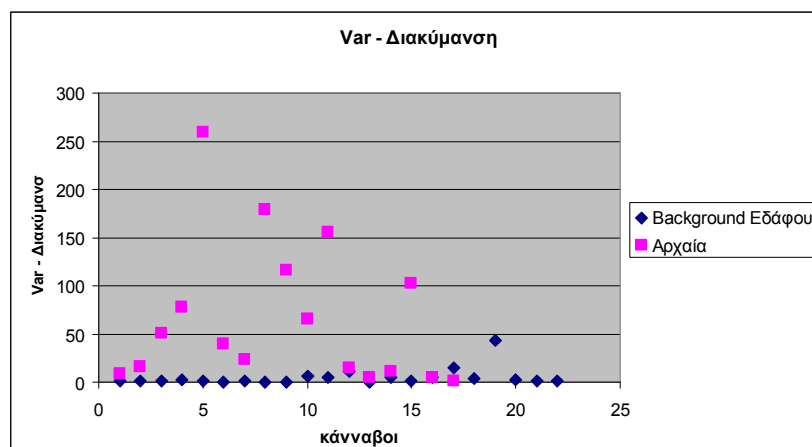
Σχήμα 4.8. Σύγκριση των υποπεριοχών «Αγωγός» και «ΔΕΗ»

Στο σχήμα 4.9, παρατηρούμε ότι υπάρχει διαφορά (μόνο) στη διακύμανση ανάμεσα στις υποπεριοχές «Υπόβαθρο» και «ΔΕΗ», γεγονός που το αναμέναμε αφού οι υποπεριοχές «Αγωγός» και «ΔΕΗ» είναι παρόμοιες μεταξύ τους. Αν, πάλι, εξαιρεθεί ο κάνναβος 50 (με τιμή 43.4494), οι τιμές της διακύμανσης της υποπεριοχής «Υπόβαθρο» κυμαίνονται μεταξύ των τιμών 0.36138 και 14.9435. Στην υποπεριοχή «ΔΕΗ» η μικρότερη τιμή είναι η 69.9469 του κάνναβου 45, ενώ η μεγαλύτερη είναι η 201.7797 του κάνναβου 47.

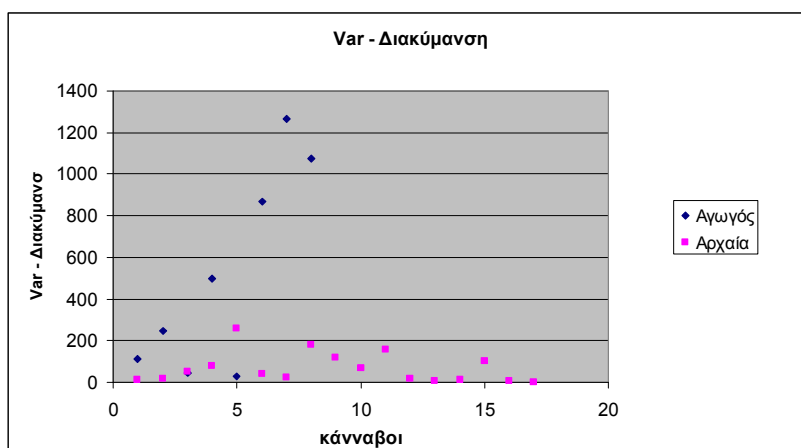


Σχήμα 4.9. Σύγκριση των υποπεριοχών «Υπόβαθρο» και «ΔΕΗ»

Στο σχήμα 4.10, φαίνεται η σύγκριση των τιμών διακύμανσης των καννάβων των υποπεριοχών «Υπόβαθρο» και «Αρχαία». Αν εξαιρεθεί ο κάνναβος 50 (με τιμή 43.4494) της υποπεριοχής «Υπόβαθρο», παρατηρούμε τις μικρές τιμές των διακυμάνσεων των υπολοίπων καννάβων της ίδιας υποπεριοχής σε αντίθεση με τις μεγαλύτερες τιμές που παρατηρούμε στις τιμές των διακυμάνσεων των καννάβων της υποπεριοχής «Αρχαία». Αυτή η συμπεριφορά δεν είναι τόσο ξεκάθαρη στα διαγράμματα της μέσης τιμής και του εύρους. Οι τιμές των καννάβων της υποπεριοχής «Αρχαία» δεν είναι τόσο μεγάλες όσο εκείνων των τιμών των διακυμάνσεων των καννάβων της υποπεριοχής «Αγωγός», όπως φαίνεται στο σχήμα 4.11 (εκτός από τον κάνναβο 17 και 25, όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω).

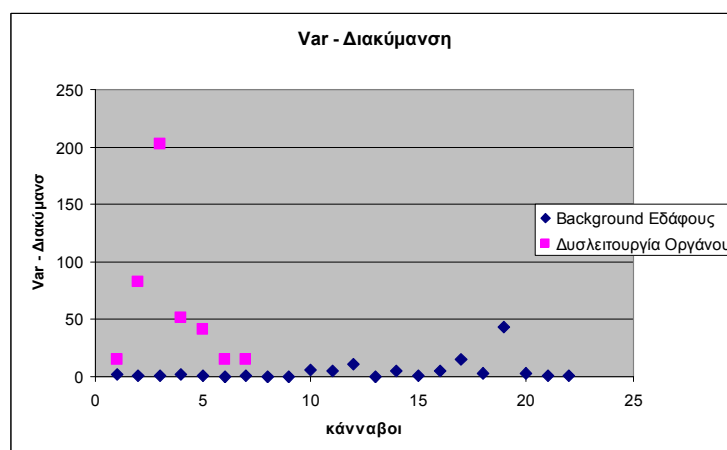


Σχήμα 4.10. Σύγκριση των υποπεριοχών «Υπόβαθρο» και «Αρχαία»

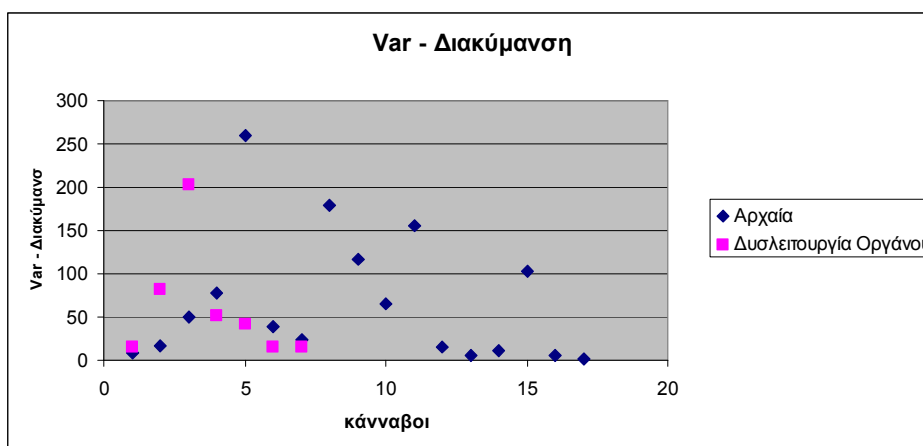


Σχήμα 4.11. Σύγκριση των υποπεριοχών «Αγωγός» και «Αρχαία»

Στο σχήμα 4.12, φαίνεται ότι υπάρχει διαφορά μεταξύ των τιμών των διακυμάνσεων (μόνο) των καννάβων των υποπεριοχών «Υπόβαθρο» και «Δυσλειτουργία οργάνου». Πάλι, εμφανίζονται μικρές τιμές διακύμανσης στους καννάβους της υποπεριοχής «Υπόβαθρο» (εκτός από τον κάνναβο 50), σε σύγκριση με εκείνες των καννάβων της υποπεριοχής «Δυσλειτουργία οργάνου». Ακολουθεί δηλαδή τη συμπεριφορά των καννάβων της υποπεριοχής «Αρχαία». Στο σχήμα 4.13, φαίνεται η σύγκριση των τιμών της διακύμανσης των καννάβων των υποπεριοχών «Δυσλειτουργία οργάνου» και «Αρχαία», απ' όπου καταλήγουμε ότι δεν μπορούμε να ξεχωρίσουμε τις δύο υποπεριοχές.



Σχήμα 4.12. Σύγκριση των υποπεριοχών «Υπόβαθρο» και «Δυσλειτουργία οργάνου»



Σχήμα 4.13. Σύγκριση των υποπεριοχών «Αρχαία» και «Δυσλειτουργία οργάνου»

#### 4.4 Συμπεράσματα

Από τα προηγούμενα, φαίνεται ότι μπορούμε να βγάλουμε τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Μελετώντας τα διαγράμματα διασποράς
  1. Όταν στο διάγραμμα διασποράς κάποιου καννάβου παρατηρούμε μεγάλη εξάρτηση της μεταβλητής B από τις συντεταγμένες του σημείου της μέτρησης (όπως στο σχήμα 4.2 και 4.3), τότε ενδεχομένως να υπάρχει μια υπεδάφεια ή επιφανειακή δομή, ικανή να μεταβάλλει τις τιμές της μέτρησης (όπως π.χ. το μέταλλο από τον αγωγό νερού ή ένας πυλώνας της ΔΕΗ). Επιπλέον, μόνο από τα διαγράμματα διασποράς των καννάβων των υποπεριοχών «Αγωγός» και «ΔΕΗ», είναι αδύνατο να διακρίνουμε σε ποια υποπεριοχή βρισκόμαστε, γεγονός που δεν μας ενδιαφέρει όμως, αφού συνήθως το πρόβλημα δεν είναι να εντοπιστούν τέτοιες περιοχές.
  2. Όταν το σχήμα που προκύπτει από κάποιο διάγραμμα διασποράς έχει τη μορφή του γράμματος «V» ή δεν είναι συνεχόμενο, μα σπασμένο σε κομμάτια (σχήμα 4.4), τότε πιθανώς να βρισκόμαστε σε μια περιοχή όπου το όργανο μέτρησης, για κάποιο λόγο, δε λειτούργησε κανονικά. Αυτή η συμπεριφορά όμως, δεν ήταν κοινή σε όλα τα διαγράμματα διασποράς (στατιστική σημαντικότητα λιγότερο από 60%).
  3. Όταν δεν υπάρχει καμία εξάρτηση της μεταβλητής B από τις συντεταγμένες του σημείου μέτρησης (σχήματα 4.5 και 4.6), τότε ενδεχομένως να βρισκόμαστε στην υποπεριοχή «Υπόβαθρο» ή στην υποπεριοχή «Αρχαία», δηλαδή δεν μπορούμε να ξεχωρίσουμε σε ποια υποπεριοχή βρισκόμαστε μόνο από τα

διαγράμματα διασποράς, χρειάζεται περαιτέρω ανάλυση με τον υπολογισμό των διαφορών περιγραφικών αριθμητικών μέτρων.

- Μελετώντας τα περιγραφικά αριθμητικά μέτρα
  1. Οι κάνναβοι της υποπεριοχής «Αγωγός» έχουν τιμές διακύμανσης τουλάχιστον μιας τάξης μεγέθους μεγαλύτερης από εκείνες των καννάβων της υποπεριοχής «Υπόβαθρο» (σχήμα 4.7). Το ίδιο συμβαίνει και με την σύγκριση των υποπεριοχών «Υπόβαθρο» και «ΔΕΗ» (σχήμα 4.9).
  2. Όταν υπάρχει ένας υπεδάφειος ή επιφανειακός μαγνητικός στόχος, με αποτέλεσμα να επηρεάζονται οι μετρήσεις από τις συντεταγμένες του σημείου μέτρησης, οι υποπεριοχές που προκύπτουν – οι υποπεριοχές «ΔΕΗ» και «Αγωγός» – εμφανίζουν την ίδια συμπεριφορά (το προηγούμενο εμφανίζεται και στα διαγράμματα διασποράς), όπως φαίνεται στο σχήμα 4.8.
  3. Παρατηρούνται μικρές τιμές των διακυμάνσεων των καννάβων της υποπεριοχής «Υπόβαθρο» σε αντίθεση με τις μεγαλύτερες τιμές που παρατηρούμε στις τιμές των διακυμάνσεων των καννάβων της υποπεριοχής «Αρχαία» (σχήμα 4.10). Οι τιμές των καννάβων της υποπεριοχής «Αρχαία» δεν είναι τόσο μεγάλες όσο εκείνων των τιμών των διακυμάνσεων των καννάβων της υποπεριοχής «Αγωγός», όπως φαίνεται στο σχήμα 4.11.
  4. Ενώ υπάρχει διαφορά μεταξύ των τιμών των διακυμάνσεων των καννάβων των υποπεριοχών «Υπόβαθρο» και «Δυσλειτουργία οργάνου» (σχήμα 4.12), δηλαδή εμφανίζονται μικρές τιμές διακύμανσης στους καννάβους της υποπεριοχής «Υπόβαθρο» σε σύγκριση με εκείνες των καννάβων της υποπεριοχής «Δυσλειτουργία οργάνου». (όπως στην υποπεριοχή «Αρχαία»), στο σχήμα 4.13 όπου φαίνεται η σύγκριση των τιμών της διακύμανσης των καννάβων των υποπεριοχών «Δυσλειτουργία οργάνου» και «Αρχαία», συμπεραίνουμε ότι δεν μπορούμε να ξεχωρίσουμε τις δύο τελευταίες υποπεριοχές (εκτός από την περίπτωση των «περίεργων» συμπεριφορών στο διάγραμμα διασποράς, όπως αναφέρθηκε παραπάνω).

## 5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αράμπελος, Δ., 1991, Στοιχεία Γεωφυσικών Διασκοπήσεων, εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη.
2. Παπαζάχος, Β., 1996, Εισαγωγή στην Εφαρμοσμένη Γεωφυσική, εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη.
3. Παπαζάχος, Β. (1999), Εισαγωγή στη Γεωφυσική, εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη.
4. Σαρρής, Α., 1995. Μαγνητική Επιδεκτικότητα, Σημειώσεις στο μάθημα: ΑΡΧΑΙΟΜΕΤΡΙΑ – Μαγνητική Διασκόπηση Εδαφών & Εφαρμογές της Μαγνητικής Επιδεκτικότητας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
5. Κιούσης, Π., Μαργώνη, Ι., 2005, Επεξεργασία και ερμηνεία των γεωφυσικών δεδομένων 2005 από τον αρχαιολογικό χώρο του Ίστρου στον κόλπο του Μιραμπέλλου, ανατολικής Κρήτης, ΤΕΙ Κρήτης Παράρτημα Χανίων.
6. Wells, B., A. Penttinen, A., Billot, M.-F., *Opuscula Atheniensia*, Volume 28, p.29-87, (2003), *Investigations in the Sanctuary of Poseidon on Kalauveia, 1997-2001*.
7. Τσόκας, Γ., 2006, Αρχαιολογία και γεωφυσική : εξερευνώντας τον αρχαιολογικό χώρο της Βεργίνας (1984-2004), University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
8. Σταμπολίδης, Α., 1999, Το γεωμαγνητικό πεδίο στη Μακεδονία και τη Θράκη και η σχέση του με τη γεωφυσική και γεωλογική δομή της περιοχής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.  
<http://www.epcon.gr/baseis/agr/agr/>
9. Κολύβα-Μαχαίρα Φ. και Μπόρα-Σέντα Ε, (1998). Στατιστική: Θεωρία και Εφαρμογές, εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη.
10. Ψωινός Δ.Π., (1989). Εφαρμοσμένη Στατιστική, εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη.