



**Τ.Ε.Ι ΚΡΗΤΗΣ – ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ**

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



**ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΕΡΜΗΝΕΙΑ  
ΤΩΝ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΡΕΥΝΑ  
ΣΤΟΝ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟ ΧΩΡΟ ΤΟΥ ΙΕΡΟΥ ΤΟΥ  
ΠΟΣΕΙΔΩΝΑ ΣΤΗ ΚΑΛΑΥΡΕΙΑ  
(ΠΟΡΟΣ 2006)**



**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΤΣΟΥΡΟΥΛΑ ΙΩΑΝΝΑ-ΜΑΡΚΟΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ  
2008**

**ΜΑΙΟΣ 2008**



Τ.Ε.Ι ΚΡΗΤΗΣ – ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ



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

**ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΕΡΜΗΝΕΙΑ  
ΤΩΝ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΤΗ  
ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗ ΣΤΟΝ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟ ΧΩΡΟ ΤΟΥ  
ΙΕΡΟΥ ΤΟΥ ΠΟΣΕΙΔΩΝΑ ΣΤΗ ΚΑΛΑΥΡΕΙΑ  
(ΠΟΡΟΣ 2006)**

**PROCESSING AND INTERPRETATION OF THE  
GEOPHYSICAL DATA FROM THE INVESTIGATION AT  
THE ARCHAEOLOGICAL SITE OF POSEIDON  
SANCTUARY AT KALAUREIA (POROS 2006)**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

*Τσουρούλα Ιωάννα – Μάρκος Αλέξανδρος*

**Επιβλέπων :**

*Δρ. Κόκκινου Ελένη*  
*Επίκουρος Καθηγήτρια*

**Επιτροπή Αξιολόγησης :**

*Δρ. Κόκκινου Ελένη*  
*Δρ. Βαλλιανάτος Φίλιππος*  
*Δρ. Παπακώστας Ταξιάρχης*

**Ημερομηνία Παρουσίασης : 30/05/2008**

**Αύξων Αριθμός Πτυχιακής Εργασίας :**

## Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά την καθηγήτριά μας Δρ. Κόκκινου Ελένη που ανέλαβε να επιβλέψει την πτυχιακή εργασία, καθώς και τον Δρ. Σαρρή Απόστολο, Ερευνητή Α' του εργαστηρίου Γεωφυσικής-Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης και Αρχαιοπεριβάλλοντος του Ι.Τ.Ε., με τον οποίο συνεργαστήκαμε για την λήψη των γεωφυσικών δεδομένων και τη ψηφιοποίηση των δεδομένων σε G.I.S. Θα θέλαμε επίσης να ευχαριστήσουμε τους αρχαιολόγους Dr. Berit Wells και Dr. Arto Penttinen για τις χρήσιμες πληροφορίες που μας παρείχαν.

Ευχαριστούμε θερμά το Υπουργείο Πολιτισμού για την άδεια που μας παρείχε ώστε να προβούμε στη λήψη των μετρήσεων στον αρχαιολογικό χώρο.

Ευχαριστούμε τους φίλους και συμφοιτητές μας Μιμικό Ιωάννη, Χαραλάμπους Σταυρούλα, Σημαντήρη Θεμιστοκλή, Ρήγα Δέσποινα, Κακουλάκη Γεωργία, Τζιαμπατζίδη Απόστολο, Άγο Δημήτριο, Περράκη Βασιλική, Ζενάκο Ιωάννη και Καρρά Στυλιανή για την ηθική και υλική υποστήριξη που μας παρείχαν.

Τέλος, ευχαριστούμε θερμά τις οικογένειές μας για την απεριόριστη υποστήριξη που μας παρέχουν όλα αυτά τα χρόνια.

Αφιερώνουμε αυτήν την πτυχιακή εργασία στις οικογένειές μας, καθώς και στους καθηγητές μας Δρ. Σαρρή Απόστολο και Δρ. Κόκκινου Ελένη.

## **Περίληψη**

Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι η παρουσίαση της επεξεργασίας και των αποτελεσμάτων της από την γεωφυσική έρευνα στον αρχαιολογικό χώρο του Ιερού του Ποσειδώνα, που βρίσκεται στην ευρύτερη περιοχή της νήσου Πόρος, στον Αργοσαρωνικό. Η περιοχή αυτή αποτελεί αντικείμενο μελέτης για τους αρχαιολόγους εδώ και αρκετές δεκαετίες, ενώ η γεωφυσική χαρτογράφησης της ξεκίνησε το 2004. Ταυτόχρονα με την παρουσίαση της επεξεργασίας εντοπίζονται και οι κύριες πηγές θορύβου για την χαρτογράφηση στην συγκεκριμένη περιοχή. Στο τέλος επιχειρείται μια συνολική παρουσίαση και ερμηνεία με χρήση GIS.

## **Abstract**

Aim of this particular work is the presentation of the processing and its results from the geophysical mapping in the archaeological site of Poseidon Sanctuary, located in the island of Poros, in the Saronic Gulf. This region is the subject of intensive study for the archaeologists for enough decades, while the geophysical mapping just began in 2004. The main sources of noise for the geophysical mapping in the particular region are also presented, as well as the attempt of data interpretation by using GIS.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>9</b>
<b>1.1 Η ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΤΟΥ ΠΟΡΟΥ .....</b>	<b>9</b>
<b>1.2 Η ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΣΤΗΝ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΑ .....</b>	<b>11</b>
<b>1.3 ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΚΑΙ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΗ ΑΞΙΑ ΤΟΥ ΙΕΡΟΥ.....</b>	<b>13</b>
<b>2. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1 ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ.....</b>	<b>17</b>
2.1.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ -----	17
2.1.2 ΘΕΜΕΛΙΩΔΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ (ΠΑΠΑΖΑΧΟΣ , 1996) -----	19
2.1.3 ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ -----	20
2.1.4 ΓΕΩΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ-----	21
2.1.5 ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ-----	22
2.1.6 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΑΝΩΜΑΛΙΩΝ -----	24
<b>2.2 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ .....</b>	<b>24</b>
2.2.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ -----	24
2.2.2 ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ-----	26
<b>2.3 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ.....</b>	<b>27</b>
2.3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ-----	27
2.3.2 ΘΕΜΕΛΙΩΔΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ-----	29
2.3.3 ΤΥΠΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΤΑΘΕΡΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΟΡΥΚΤΩΝ -----	30
2.3.4 ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ -----	32
2.3.5 ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ -----	36
2.3.6 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ-----	38
<b>3. Η ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗ ΣΤΟ ΙΕΡΟ ΤΟΥ ΠΟΣΕΙΔΩΝΑ ΣΤΟ ΠΟΡΟ –</b>	
<b>ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....</b>	<b>40</b>
<b>3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>40</b>
<b>3.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΑ ΟΡΓΑΝΑ ΤΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ .....</b>	<b>40</b>
3.2.1 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΜΑΓΝΗΤΟΜΕΤΡΟΥ ΡΥΘΜΙΖΟΜΕΝΗΣ ΡΟΗΣ-----	40
3.2.2 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΟΡΓΑΝΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ -----	42
3.2.3 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ RM15 -----	43
3.3.1 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ-----	49
<b>4. ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΙΕΡΟ ΤΟΥ ΠΟΣΕΙΔΩΝΑ</b>	
<b>ΣΤΟ ΠΟΡΟ .....</b>	<b>85</b>
<b>4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>85</b>
<b>4.2 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΒΟΗΘΕΙΑ</b>	
<b>ΤΟΥ GIS .....</b>	<b>85</b>
<b>5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>106</b>
<b>5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>106</b>
<b>5.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>106</b>
<b>6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>107</b>

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η θετική και δυναμική εξέλιξη της Αρχαιομετρίας στην Ελλάδα κατά τις τελευταίες δεκαετίες του 20<sup>ου</sup> και τις αρχές του 21<sup>ου</sup> αιώνα στον ελληνικό επιστημονικό χώρο είναι μια πολύ ευχάριστη διαπίστωση, η οποία μάλιστα χαιρετίζεται τόσο από τις φυσικές επιστήμες και την τεχνολογία όσο και από την αρχαιολογική έρευνα. Το γεγονός της συνεργασίας των φυσικών επιστημών και μιας ανθρωπιστικής επιστήμης, όπως η Αρχαιολογία, υπήρξε από τα πλέον χαρακτηριστικά της επιστημονικής έρευνας του β' μισού του 20<sup>ου</sup> αιώνα παγκοσμίως και συγχρόνως προφητικά για το μέλλον της.

Η Ελλάδα μέσα σε ένα δραστήριο διεθνές ερευνητικό περιβάλλον δε θα μπορούσε να απουσιάζει από αυτήν την προσπάθεια. Εμφανίζεται τα τελευταία χρόνια με όλο και περισσότερα σχετικά έργα που μεγαλώνουν τη γνώση μας για τα υλικά και την τεχνολογία της αρχαιότητας ή προσφέρουν νέα επιστημονικά μέσα προσέγγισης της αρχαιότητας.

Αντικείμενο της πτυχιακής αυτής εργασίας είναι η επεξεργασία και ερμηνεία των γεωφυσικών δεδομένων από τη έρευνα στον αρχαιολογικό χώρο του Ιερού του Ποσειδώνα στην Καλαυρεία, στον Πόρο. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν τα μαγνητικά και ηλεκτρικά δεδομένα που συλλέχθηκαν από το Ι.Τ.Ε. (Ινστιτούτο Μεσογειακών Σπουδών) για λογαριασμό του Σουηδικού Ινστιτούτου Αθηνών τον Απρίλιο του 2006. Το Ι.Τ.Ε. χορήγησε τα δεδομένα για περαιτέρω επεξεργασία στο Εργαστήριο Γεωφυσικής και Σεισμολογίας του Τ.Ε.Ι. Κρήτης.

Στο πρώτο κεφάλαιο της πτυχιακής, που αποτελεί την εισαγωγή, δίδονται γενικές πληροφορίες για την θέση του αρχαιολογικού χώρου του Ιερού του Ποσειδώνα. Επιπλέον αναλύεται ο ρόλος της γεωφυσικής στην αρχαιολογία. Το πρώτο κεφάλαιο ολοκληρώνεται με την ιστορική αναδρομή για το συγκεκριμένο αρχαιολογικό χώρο.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναλυτική περιγραφή των γεωφυσικών μεθόδων που εφαρμόστηκαν. Επίσης, γίνεται μια σύντομη περιγραφή των ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων (GPR).

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα γεωφυσικά όργανα που χρησιμοποιήθηκαν, η μεθοδολογία της έρευνας και η επεξεργασία των δεδομένων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφονται τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των μαγνητικών και ηλεκτρικών δεδομένων και ερμηνεύονται. Εντοπίζονται και περιγράφονται οι σημαντικότερες μαγνητικές και ηλεκτρικές ανωμαλίες.

Στο πέμπτο κεφάλαιο συνοψίζονται τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας και εξάγονται τα γενικά συμπεράσματα.

# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Η ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΤΟΥ ΠΟΡΟΥ

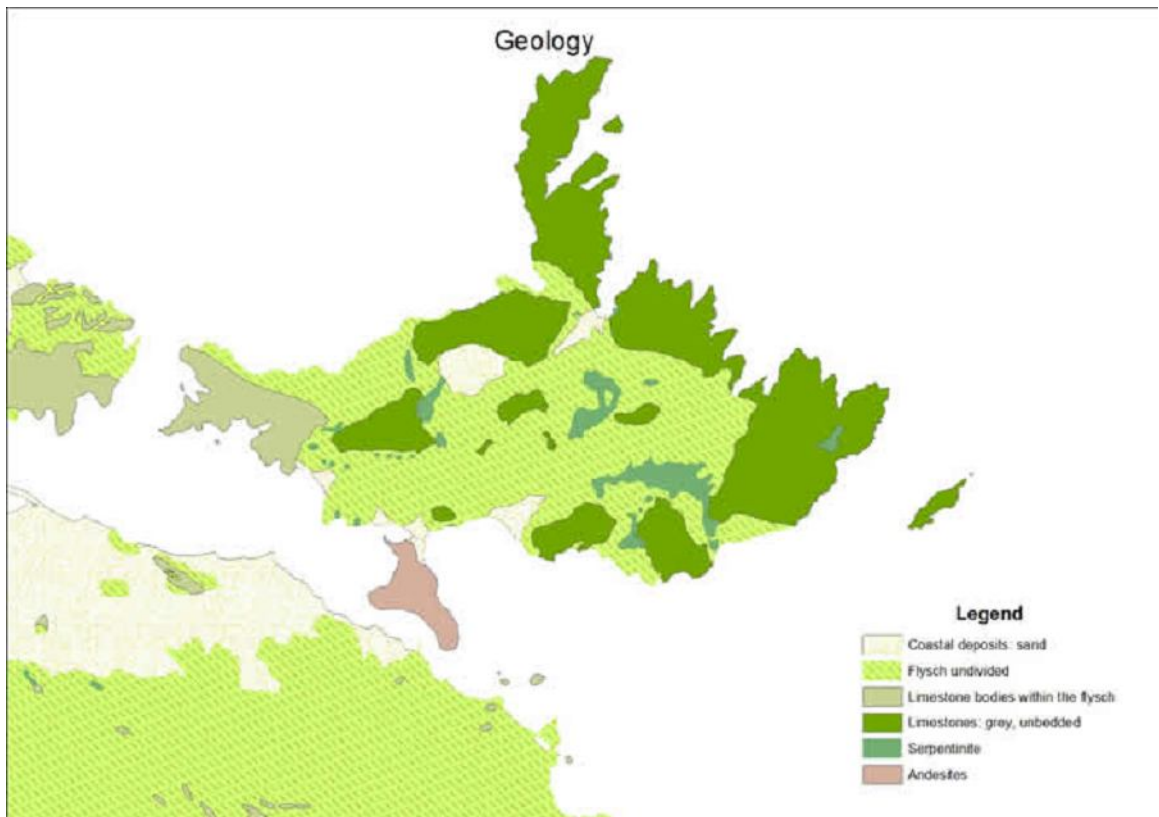
Το νησί Πόρος (σχ. 1.1) βρίσκεται περίπου 45 χλμ νοτιοδυτικά της Αθήνας και 13 χλμ νότια της Αίγινας. Έχει έκταση 22,4 km<sup>2</sup> και ακτογραμμή 48,6 km. Ένα στενό κανάλι ή πέρασμα (πόρος), 250 m πλάτος στο μέγιστό του, χωρίζει το νησί από την Αργολίδα στην ανατολική ακτή της Πελοποννήσου. Από τον πόρο/πέραςμα το νησί έχει πάρει το όνομά του.



Σχήμα 1.1 Δορυφορική φωτογραφία όπου εντοπίζεται το νησί του Πόρου ([www.sia.gr](http://www.sia.gr))

Ο Πόρος στην πραγματικότητα είναι δύο νησιά. Το μικρότερο νησί, η Σφαιρία, είναι αρχαίο ηφαίστειο. Σχηματίστηκε πριν από περίπου 3 εκατομμύρια χρόνια και αποτελείται κυρίως από ανδεσίτες. Η Καλαυρεία, το βόρειο νησί, έχει διαφορετική γεωλογική ιστορία και αποτελείται κυρίως από μεσοκρητιδικούς ασβεστόλιθους (σχ. 1.2). Πάνω από αυτούς, στο κέντρο του νησιού, η γεωλογία κυριαρχείται από αποθέσεις σερπεντινιτών και ασβεστόλιθων.



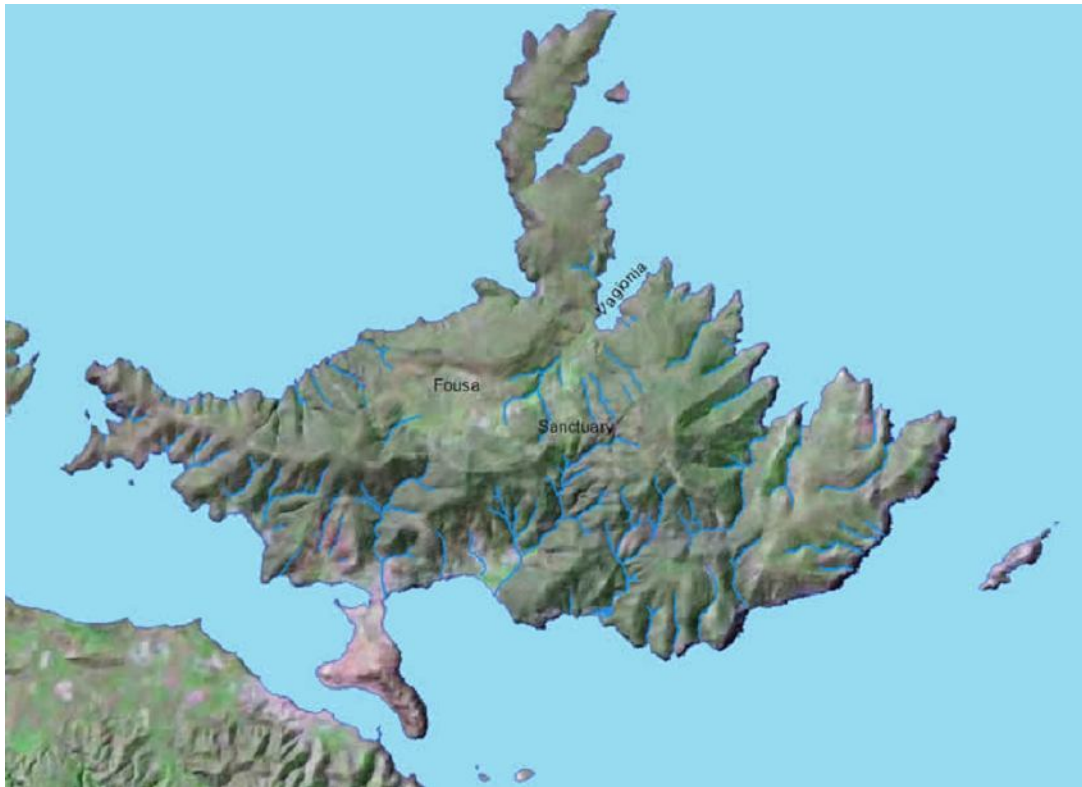


Σχήμα 1.2 Η γεωλογική δομή του Πόρου ([www.sia.gr](http://www.sia.gr))

Οι χαμηλότεροι πετρώδεις λόφοι (σχ. 1.3) καλύπτονται από πεύκα με μερικές κοιλάδες που διασταυρώνονται από μικρά ρυάκια και το οροπέδιο του Αγίου Αθανασίου ή Φούσα ελάχιστα βόρεια του κέντρου του νησιού.

Η σύγχρονη πόλη του Πόρου βρίσκεται στο νότιο νησί Σφαιρία, όπου μπορεί να είναι και η Σφαιρία του αρχαίου γεωγράφου Στράβων. Τα δύο νησιά σήμερα ενώνονται με γέφυρα.

Ο αρχαιολογικός χώρος του Ιερού του Ποσειδώνα βρίσκεται στο ενδιάμεσο των δύο υψηλότερων κορυφών του νησιού της Καλαυρείας, της Βίγλας και του Προφήτη Ηλία. Ο περιφραγμένος χώρος έχει έκταση 16500 τετραγωνικά μέτρα, μέσα στον οποίο βρίσκεται το Ιερό του Ποσειδώνα και μέρος της αρχαίας πόλης της Καλαυρείας. Έχει εκπληκτική θέα προς τα βόρεια και βορειοανατολικά, πάνω από το Σαρωνικό, προς τη χερσόνησο των Μεθάνων, τα νησιά Αγκίστρι και Αίγινα και, όταν ο καιρός είναι καθαρός, τον Πειραιά και τις ακτές της Αττικής. Επίσης, στα βόρεια το ιερό βλέπει στον κόλπο της Βαγιονιάς, όπου βρισκόταν το αρχαίο λιμάνι.



Σχήμα 1.3 Η τοπογραφία του Πόρου ([www.sia.gr](http://www.sia.gr))

## 1.2 Η ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΣΤΗΝ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΑ

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 οποιεσδήποτε 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 θάφτηκαν στο χώμα. Τα γεωφυσικά όργανα μπορούν να εντοπίσουν θαμμένα αρχαιολογικά υπολείμματα, 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 λαμβάνονται, απεικονίζονται σε χάρτες. Τα αποτελέσματα της έρευνας μπορούν να καθοδηγήσουν τις ανασκαφές και να βοηθήσουν τους

αρχαιολόγους στην έρευνα των μη ανασκαμμένων περιοχών της περιοχής. Αντίθετα από άλλες αρχαιολογικές μεθόδους, η γεωφυσική έρευνα δεν 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 πιο χρήσιμη όταν χρησιμοποιείται σε ένα καλά ενσωματωμένο ερευνητικό σχέδιο όπου οι ερμηνείες μπορούν να εξεταστούν και να καθαριστούν. Η ερμηνεία απαιτεί γνώση και του αρχαιολογικού αρχείου, και του τρόπου που εκφράζεται γεωφυσικά. Η κατάλληλη εντοπιστική, 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 των δεδομένων και η χωρική ακρίβεια είναι κρίσιμοι παράγοντες στην επιτυχία της γεωφυσικής έρευνας.

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. 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 έρευνα. 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 έρευνας 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 Igwin Scollar χρησιμοποίησε τη διάταξη διαφορικών αισθητήρων για ευρείες μετρήσεις από το 1963, και το 1966 ξεκίνησε με ψηφιακή καταγραφή σε διάτρητες 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) υπό 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/bufaw/research/wh/base.html>*) που απασχόλησε πολλές ερευνητικές ομάδες, χρησιμοποιώντας μια ποικιλία μεθοδολογιών. Μόνο η μαγνητομετρική έρευνα, σε περιοχή 78 εκταρίων, καταγέγραψε περίπου τρία εκατομμύρια σημεία δεδομένων.

### **1.3 ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΚΑΙ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΗ ΑΞΙΑ ΤΟΥ ΙΕΡΟΥ**

Η ιστορία του Ιερού του Ποσειδώνα στην Καλαυρεία ξεκινά το 2<sup>ο</sup> μισό του 8<sup>ου</sup> αιώνα π.Χ. , ή γύρω στο 750 π.Χ., περίοδο κατά την οποία δημιουργούνται πολλά μεγάλα ιερά στον

Ελλαδικό χώρο. Όμως η ιστορία της περιοχής ξεκινάει ήδη από το τέλος της Νεολιθικής εποχής, ή γύρω στο 3000 π.Χ. Οι ενδείξεις για τη χρήση του χώρου είναι ελάχιστες και προέρχονται κυρίως από ευρήματα θραυσμάτων αγγείων. Επίσης, κεραμική που βρέθηκε σε ανασκαφή επιβεβαιώνει τη συνεχή ανθρώπινη παρουσία στο χώρο σε όλη τη διάρκεια της Προϊστορίας μέχρι και την αναδιοργάνωσή του σε Ιερό. Εδώ προσέφυγε ως ικέτης ο ρήτορας Δημοσθένης αλλά αναγκάστηκε να αυτοκτονήσει με δηλητήριο το 322 π.Χ.

Υφίσταται τρεις κύριες φάσεις ανάπτυξης. Η πρώτη ήταν η αρχική περίοδος διάπλασης. Έπειτα, τον 6<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ. επεκτείνεται προς τα βορειοανατολικά και τα νοτιοανατολικά. Η τρίτη μεγάλη επέκταση γίνεται το δεύτερο μισό του 4<sup>ου</sup> αιώνα π.Χ.

Το ιερό ήταν θέση αμφικτιονίας, μιας θρησκευτικής ομοσπονδίας πόλεων, που, για κάποιο λόγο, συγκεντρώθηκαν για να θυσιάσουν στον Ποσειδώνα. Μια επιγραφή που χρονολογείται στο δεύτερο αιώνα π.Χ. και ήταν ήδη γνωστή το 18<sup>ο</sup> αιώνα αναφέρει τη λέξη αμφικτιονία και μια από τις γραπτές πηγές, ο Στράβων (8.6.14) τον πρώτο αιώνα μ.Χ. αριθμεί τα αρχικά μέλη (Πρασιαί, των οποίων η θέση δεν είναι ξεκάθαρη, Ναύπλιο, Ορχωμενός, που βρίσκεται στη Βοιωτία, Αθήνα, Αίγινα, Επίδαυρος και Ερμιόνη) αλλά κανείς δεν μπορεί να δώσει ικανοποιητική εξήγηση ως προς τι κοινό μπορεί να είχαν αυτές οι πόλεις. Με την πρώτη ματιά φαίνεται ότι μπορεί να ήταν η θάλασσα, αλλά πιθανόν οι Πρασιαί να μην ήταν δίπλα στη θάλασσα, και ο Ορχωμενός σίγουρα όχι.

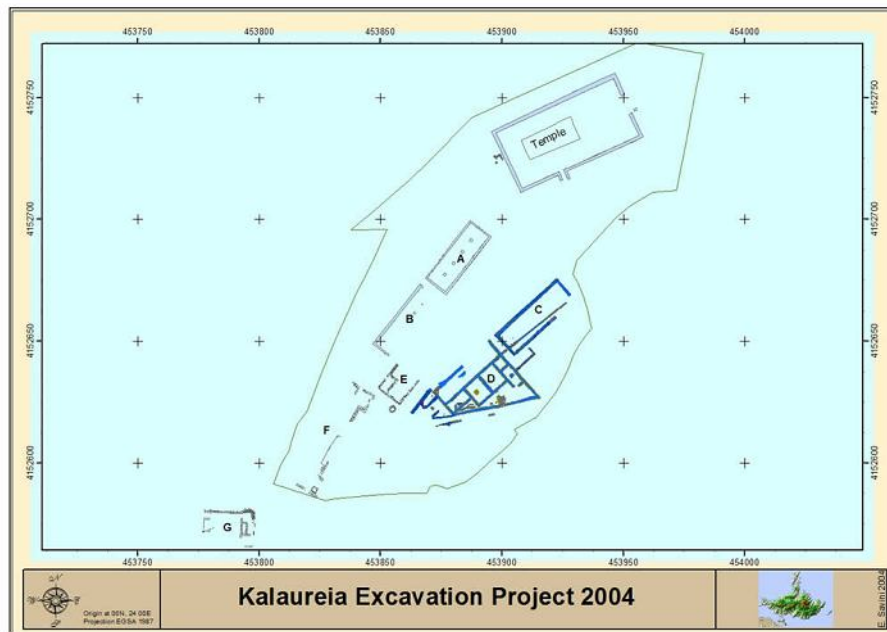
Οι αρχαιολογικές έρευνες στο Ιερό του Ποσειδώνα στην Καλαυρεία άρχισαν το 1894 από 2 Σουηδούς λογίους, τους Sam Wide και Lennart Kjellberg, οι οποίοι αποκάλυψαν τα θεμέλια των κυριότερων κτιρίων που είναι ορατά ακόμη σήμερα. Όταν ξεκίνησαν οι πρώτες ανασκαφές, τίποτα δε σωζόταν πια από την ανωδομή των κτιρίων, καθώς για αιώνες το Ιερό είχε χρησιμοποιηθεί σαν λατομείο, όχι μόνο από τους κατοίκους του Πόρου, αλλά και από χτίστες των άλλων νησιών του Σαρωνικού. Ο Άγγλος περιηγητής Richard Chandler επισκέφθηκε το ιερό γύρω στο 1760 και περιγράφει πως τεχνίτες τεμάχιζαν μεγάλους δόμους σε μικρότερα κομμάτια έτσι ώστε να φορτωθούν σε υποζύγια για να μεταφερθούν στο λιμάνι. Εκεί στον κόλπο της Βαγιονιάς, όπου βρισκόταν το λιμάνι και κατά την αρχαιότητα, περίμεναν καράβια για να μεταφέρουν την πέτρα στην Ύδρα με σκοπό να χρησιμοποιηθεί στο χτίσιμο μοναστηριού.

Το 1997 η Σουηδική Αρχαιολογική Σχολή των Αθηνών επέστρεψε στις παλιές ανασκαφές και ξεκίνησε ένα νέο πλήρες πρόγραμμα που αποσκοπεί τόσο στη διερεύνηση της θέσης, όσο και στην προσέλκυση επισκεπτών. Ο αρχαιολογικός χώρος (σχ. 1.4) καθαρίστηκε σε μεγάλη έκταση και το 2003 το ίδρυμα ερευνών της Εθνικής Τράπεζας της Σουηδίας ενέκρινε τη χρηματοδότηση ενός τριετούς ερευνητικού προγράμματος ώστε να μελετηθεί η

καθημερινή ζωή στο Ιερό κατά την αρχαιότητα, το περιβάλλον του ιερού και να γίνει η ένταξή του στον ευρύτερο χώρο.

Το ερευνητικό έργο συνίσταται σε δύο χρόνια συστηματικών ανασκαφών στα κύρια κτίρια C και D στη νοτιοανατολική πλευρά του ιερού και συντήρηση του αρχαιολογικού χώρου σύμφωνα με την Ελληνική Νομοθεσία για τις Αρχαιότητες. Η εργασία στο πεδίο καταγράφεται με Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS). Όλα τα στοιχεία για τις κατασκευές και τα ευρήματα που σχετίζονται με αυτές συλλέγονται σε μια βάση δεδομένων έτσι ώστε να γνωρίσουμε τη λειτουργία του χώρου σε όλη τη διάρκεια της Αρχαιότητας. Παράλληλα μελετούνται όλα τα οργανικά κατάλοιπα, οστά, σπόροι, σαλιγκάρια, όστρεα, που συλλέγονται στα γεωλογικά στρώματα. Οι αρχαιολογικές πληροφορίες συντελούν ώστε να γνωρίσουμε ποιοι έρχονταν στο ιερό, από που προέρχονταν, πως ζούσαν και τι καταλάωναν εκείνοι που ζητούσαν ασυλία στο ιερό ή ακόμη τι θυσίαζαν προς τιμήν του Ποσειδώνα και των άλλων θεοτήτων που λατρευόταν εδώ. Το Ιερό του Ποσειδώνα στην Καλαυρεία αποτέλεσε σημαντικό άσυλο και έδρα αμφικτιονίας. Κατά συνέπεια, η έρευνα στο χώρο αυτό παρέχει μια μοναδική ευκαιρία για να γνωρίσουμε πώς λειτουργούσε στην αρχαιότητα. Τα περισσότερα μεγάλα Ελληνικά Ιερά ανασκάφθηκαν σε περιόδους που οι διάφορες επιστημονικές μέθοδοι για την προσέγγιση τέτοιων ερωτημάτων δεν ήταν ακόμα ανεπτυγμένες. Σήμερα έχουμε στη διάθεσή μας ένα πλήθος ερευνητικών εργαλείων για τη μελέτη ορισμένων αρχαιολογικών καταλοίπων, τα οποία μέχρι πρόσφατα δεν ήταν δυνατό να εξαχθούν από το χώμα.

Τα ευρήματα από το κτίριο C είναι έως τώρα λίγα. Αντίθετα, η ανασκαφή στο κτίριο D μας δίνει πολλές πληροφορίες. Το κτίριο αυτό κατασκευάστηκε πάνω σε άνδηρο το οποίο υποστηρίζεται από αναλημματικό τοίχο. Ο τελευταίος, χτισμένος με αδρά δουλεμένες ασβεστολιθικές πέτρες, τραβάει την προσοχή του επισκέπτη από το δρόμο. Το κτίριο αυτό πρέπει να ήταν σημαντικό και στέγαζε τη λατρεία ενός θεού ή θεάς, των οποίων η ταυτότητα παραμένει άγνωστη. Περιλαμβάνει δύο τουλάχιστον τελετουργικά εστιατόρια και στην ανατολική πλευρά του ένα βωμό τοποθετημένο σε μια μικρή αυλή. Στο κέντρο ενός από τους χώρους σίτισης εντοπίστηκαν στο δάπεδο επίπεδες πλάκες, οι οποίες δηλώνουν τη μεταφορά κινητών εστιών εκεί, για την προετοιμασία της τροφής. Κατά μήκος των τοίχων υπήρχαν κλίνες για τους συνδαιτήμονες στα ιερά δείπνα. Η ανασκαφή του στρώματος που αντιστοιχεί στο αρχαίο δάπεδο έφερε στο φως τμήματα μεγάλων και μικρών μαγειρικών σκευών, αγγεία πόσης και οστά ζώων, κατάλοιπα των γευμάτων. Από το σύνολο των ευρημάτων συμπεραίνουμε ότι η τροφή μαζευόταν σε δοχεία και δεν ψηνόταν. Το στοιχείο αυτό ίσως υποδηλώνει τη λατρεία μιας γυναικείας θεότητας στο κτίριο. Κατά τις ανασκαφές του 2003 ανάλογα ευρήματα αποκαλύφθηκαν στη νοτιοδυτική γωνία του κτιρίου D.



Σχήμα 1.4 Τοπογραφικό διάγραμμα του αρχαιολογικού χώρου ([www.sia.gr](http://www.sia.gr))

## **2. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ**

### **2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα παρουσιαστεί το θεωρητικό υπόβαθρο των γεωφυσικών μεθόδων που εφαρμόστηκαν στην έρευνα του Ιερού του Ποσειδώνα. Για την ακρίβεια, θα παρουσιαστούν τα θεωρητικά στοιχεία για την μαγνητική, ηλεκτρομαγνητική και ηλεκτρική μέθοδο.

### **2.1 ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ**

#### **2.1.1 Περιγραφή της μαγνητικής μεθόδου**

Οι μαγνητικές μέθοδοι έρευνας (σχ. 2.1) είναι οι παλιότερες μέθοδοι γεωφυσικής έρευνας. Αρχικά, οι μέθοδοι αυτές χρησιμοποιήθηκαν για τον εντοπισμό μεταλλευμάτων και κυρίως μεταλλευμάτων σιδήρου. Στη έρευνα πετρελαίου εφαρμόστηκαν μετά το 1920. Η αρχή κάθε μεθόδου γεωμαγνητικής έρευνας 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 Έρευνα με μαγνητόμετρο

Η μαγνητική μέθοδος έρευνας 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.

### 2.1.2 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 :

$H = F/P$  (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 :

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

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 :  $J = M^* / V$  (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:  $k = J / H$  ή  $J = k H$  (2.4). Για το κενό η τιμή του  $k$  είναι μηδέν, ανάλογα με τη τιμή του  $k$  τα διάφορα υλικά χαρακτηρίζονται σαν παραμαγνητικά όταν  $k > 0$ , σιδηρομαγνητικά όταν  $k \gg 0$  και διαμαγνητικά όταν  $k < 0$ .

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 οποία μετράμε και ερμηνεύουμε κατά τη μαγνητική έρευνα και ορίζεται :

$$B = \mu_0 \mu H \text{ (2.5)}, \text{ όπου } H \text{ είναι η ένταση του αρχικού μαγνητικού πεδίου.}$$

### 2.1.3 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  $\kappa$  διαφόρων πετρωμάτων (Αράμπελος, 1991)

ΤΥΠΟΣ	ΕΥΡΟΣ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
	ΤΙΜΩΝ ( $\kappa \times 10^6$ emu )	
Ιζηματογενή		
Δολομίτης	0 - 75	10
Ασβεστόλιθος	2 - 280	25
Ψαμμίτης	0 - 1.660	30
Αργιλικός σχιστόλιθος	5 - 1.480	75
Διακύμανση Ιζηματογενών Μεταμορφωμένα	0 - 4.000	75
Αμφιβολίτης		60
Κρυσταλλικός σχιστόλιθος	25 - 240	120
Φυλλίτης		130
	10 -	
Γνεύσιος	2.000	
Χαλαζίτης		350
	250 -	
Σερπεντίνης	1400	
Σχιστόλιθος	0 - 3.000	500

Διακύμανση μεταμορφωμένων	0 – 5.800	350
Εκρηξηγενή Γρανίτης	0 – 4.000	200
Ρυόλιθος	20 – 3.000	
Δολερίτης	100 – 3.000	1.400
Αυγιτικός συηνίτης Ολιβινικός διαβάσης	2.700 – 3.600	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	7.600 –	10.500
Περιδοτίτης	15.600	13.000
Ανδεσίτης		13.500
Διακύμανση οξίνων εκρηξιγενών	3 – 6.530	650
Διακύμανση βασικών εκρηξιγενών	44 – 9.170	2.600

#### 2.1.4 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 ύπαρξη 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 ύπαρξη 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 έρευνας.

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.

### 2.1.5 Οργάνωση επίγειων μετρήσεων

Οι μετρήσεις του μαγνητικού πεδίου της γης με σκοπό την έρευνα 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 έρευνας (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 :

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

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.

### **2.1.6 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.

## **2.2 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ**

### **2.2.1 Περιγραφή της ηλεκτρομαγνητικής μεθόδου**

Οι ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι (Αράμπελος, 1991) βασίζονται στο φαινόμενο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής και έχουν πεδίο εφαρμογής την αναζήτηση κοιτασμάτων μεταλλικών ορυκτών που βρίσκονται μέσα σε μη αγώγιμα πετρώματα.

Σύμφωνα με το νόμο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής, σε ένα αγώγιμο σώμα που βρίσκεται μέσα σε χρονικά μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο αναπτύσσονται από επαγωγή εναλλασσόμενα ρεύματα των οποίων οι γραμμές ροής είναι κλειστές καμπύλες κάθετες σε κάθε σημείο στη διεύθυνση του μαγνητικού πεδίου. Τα ρεύματα αυτά δημιουργούν νέο μαγνητικό πεδίο, έτσι που σε κάθε σημείο το ολικό πεδίο είναι η συνισταμένη του αρχικού

και του επαγόμενου πεδίου. Το ολικό αυτό πεδίο διαφέρει από το αρχικό κατά την ένταση, τη φάση και τη διεύθυνση.

Η αρχή των ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων γεωφυσικής έρευνας βασίζεται στον καθορισμό της γεωηλεκτρικής δομής (κατανομή της ειδικής αγωγιμότητας) στα επιφανειακά στρώματα του φλοιού της Γης με βάση τις ιδιότητες του δευτερογενούς ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, που παράγεται μέσα στα στρώματα αυτά, σε σχέση με τις ιδιότητες του αρχικού (πρωτογενούς) πεδίου τις οποίες γνωρίζουμε όχι μόνο όταν αυτό παράγεται με τεχνητό τρόπο αλλά και όταν παράγεται από φυσικά αίτια.

Αν δημιουργήσουμε στο υπέδαφος ένα εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο, τότε στην περίπτωση που υπάρχει στο υπέδαφος αγώγιμο σώμα θα αναπτυχθεί από επαγωγή ένα νέο μαγνητικό πεδίο που θα παραμορφώσει το αρχικό πεδίο. Η παραμόρφωση αυτή αφού ανιχνευθεί με κατάλληλες μετρήσεις θα οδηγήσει στον εντοπισμό του αγώγιμου σώματος.

Η δημιουργία του αρχικού πεδίου στο υπέδαφος γίνεται με τη βοήθεια του πομπού που αποτελείται από μονωμένους αγωγούς ή πηνία που διαρρέονται από εναλλασσόμενο ρεύμα σχετικά χαμηλής συχνότητας (π.χ.  $500 \text{ c S}^{-1}$ ) και η ανίχνευση της παραμόρφωσης του αρχικού πεδίου γίνεται με τη βοήθεια του δέκτη που αποτελείται από πηνίο το οποίο μετακινούμε σε διάφορες θέσεις της υπό μελέτη περιοχής. Οι τοπικές μεταβολές του πεδίου που οφείλονται στην παρουσία αγώγιμου σώματος προσδιορίζονται από τις μεταβολές της τάσης που αναπτύσσεται από επαγωγή στο δέκτη.

Οι ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι (σχ. 2.2) έχουν το πλεονέκτημα, σε σχέση με τις ηλεκτρικές μεθόδους, ότι αυτές μπορούν να εφαρμοστούν και σε περιπτώσεις κατά τις οποίες δε μπορεί να γίνει ηλεκτρική σύνδεση με το έδαφος επειδή αυτό έχει μεγάλη ειδική αντίσταση (παγωμένο σε σημαντικό βάθος, κλπ) οπότε οι ηλεκτρικές μέθοδοι δε μπορούν να εφαρμοστούν. Όμως, οι ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι παρουσιάζουν το μειονέκτημα ότι δε μπορούν να εφαρμοστούν για την ανίχνευση αγώγιμων σωμάτων σε μεγάλα βάθη όταν το επιφανειακό τμήμα του εδάφους είναι εξαιρετικά αγώγιμο.

Με τις ηλεκτρομαγνητικές μεθόδους μπορεί να γίνει έρευνα σε βάθη μεγαλύτερα από ό,τι με τις ηλεκτρικές. Όμως, και με τις μεθόδους αυτές, με εξαίρεση τη μαγνητοτελλουρική, τα βάθη αυτά είναι μικρά και για το λόγο αυτό οι μέθοδοι αυτές εφαρμόζονται κατά κύριο λόγο στη έρευνα των μεταλλευμάτων και όχι στη έρευνα πετρελαίου.





Σχήμα 2.2 Ηλεκτρομαγνητική έρευνα για χαρτογράφηση αρχαιολογικού χώρου

### 2.2.2 Θεμελιώδεις ηλεκτρομαγνητικές αρχές

Οι ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι βασίζονται σε ορισμένες αρχές της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας τις οποίες θα περιγράψουμε παρακάτω :

- Ένας από τους σημαντικότερους νόμους του ηλεκτρομαγνητισμού είναι ο νόμος του **FARADAY** σύμφωνα με τον οποίο :

<< η χρονική μεταβολή του μαγνητικού πεδίου σε ένα χώρο έχει ως συνέπεια την γένεση ηλεκτρικού πεδίου σε αυτό το χώρο, τέτοιου ώστε η παραγόμενη ηλεκτρερρετική δύναμη να είναι ανάλογη αλλά αντίθετη προς το ρυθμό μεταβολής της μαγνητικής ροής .>>

Ο νόμος αυτός εκφράζεται από την ακόλουθη σχέση του Maxwell:  $\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$

(2.7) όπου B είναι η μαγνητική επαγωγή , t είναι ο χρόνος και E η ένταση του επαγόμενου ηλεκτρικού πεδίου.

- Ο δεύτερος σημαντικός νόμος του ηλεκτρομαγνητισμού είναι ο νόμος του **AMPERE** σύμφωνα με τον οποίο :

<< όταν ένας χώρος διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα , παράγεται μαγνητικό πεδίο του οποίου η ένταση είναι ανάλογη του ολικού ρεύματος που διαρρέει το χώρο και έχει διεύθυνση κάθετη προς την διεύθυνση ροής του ρεύματος .>>

Ο νόμος αυτός εκφράζεται απ' την ακόλουθη σχέση του Maxwell :

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (2.8) \text{ όπου } \vec{D} = \epsilon \cdot \vec{H} \text{ για ομογενές και ισότροπο μέσο και } \epsilon \text{ είναι η}$$

διηλεκτρική σταθερά του μέσου.

## 2.3 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ

### 2.3.1 Περιγραφή της ηλεκτρικής μεθόδου

Οι μέθοδοι της ηλεκτρικής έρευνας (Αράμπελος, 1991) 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 έρευνας επιδιώκεται ο καθορισμός των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της Γης με μετρήσεις ηλεκτρικών ποσοτήτων στην επιφάνεια της Γης. 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 αναζήτηση 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 (σχ. 2.3) κλπ. Οι μέθοδοι αυτές χρησιμοποιούνται πολύ λιγότερο στη έρευνα 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 βάρη μεγαλύτερα των 2000m.



Σχήμα 2.3 Χαρτογράφηση αρχαιολογικού χώρου με την μέθοδο της ηλεκτρικής αντίστασης

### 2.3.2 Θεμελειώδη 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  $\rho$  του υλικού του κυλίνδρου είναι

$$\rho = \frac{RS}{l} \quad (2.9)$$

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

Η ειδική αγωγιμότητα  $\sigma$  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  $I = \frac{V}{R}$  (2.10)

#### 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 (Αράμπελος, 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  $\mu$  έχουμε τις ποσότητες: ηλεκτρική πόλωση  $P$  (ηλεκτρική διπολική ροπή ανα 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

$$P = \eta E, D = E + 4\pi P = E (1 + 4\pi \eta) = \epsilon E \quad (2.11)$$

Σε ηλεκτροστατικές μονάδες τα μεγέθη P, E και D εκφράζονται σε Volts cm<sup>-1</sup> και τα η και ε είναι αδιάστατα μεγέθη.

### 2.3.3 Τυπικές τιμές ηλεκτρικών σταθερών διαφόρων 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 1.6x10<sup>-8</sup> έως 10<sup>16</sup> Ωm. Ένα υλικό με ειδική αντίσταση μικρότερη από 10<sup>-5</sup> Ωm χαρακτηρίζεται σαν **αγωγός**, ενώ ένα υλικό με ειδική αντίσταση μεγαλύτερη από 10<sup>7</sup> Ωm 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<sup>-8</sup>...1 Ωm.

(β) ορυκτά και πετρώματα με ειδική αντίσταση 1...10<sup>7</sup> Ωm.

(γ) ορυκτά και πετρώματα με ειδική αντίσταση μεγαλύτερη από 10<sup>7</sup> Ωm.

Η αγωγιμότητα των πετρωμάτων (πιν. 2.2, 2.3) 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.

**Πίνακας 2.2 :** Ειδική ηλεκτρική αντίσταση εκρηξιγενών και μεταμορφωμένων πετρωμάτων (Αράμπελος, 1991).

ΤΥΠΟΣ	ΕΥΡΟΣ ΤΙΜΩΝ ΕΙΔΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ (Ωm)
Γρανίτης	3x10 <sup>2</sup> – 10 <sup>6</sup>

Συηνίτης	$10^2 - 10^6$
Διορίτης	$10^4 - 10^5$
Διοριτικός πορφύρης	$1.9 \times 10^3$ (Υ) - $2.8 \times 10^4$ (Ξ)
Πορφυρίτης	$10 - 5 \times 10^4$ (Υ) - $3.3 \times 10^3$ (Ξ)
Ανθρακικός πορφύρης	$2.5 \times 10^3$ (Υ) - $6 \times 10^4$ (Ξ)
Χαλαζιακός πορφύρης	$3 \times 10^2 - 9 \times 10^5$
Χαλαζιακός διορίτης	$2 \times 10^4 - 2 \times 10^6$ (Υ) - $1.8 \times 10^5$ (Ξ)
Πορφύρης	$6 - 10^4$
Δακίτης	$2 \times 10^4$ (Υ)
Ανδεσίτης	$4.5 \times 10^4$ (Υ) - $6 \times 10^4$ (Ξ)
Διαβάσης	$20 - 5 \times 10^7$
Λάβες	$10^2 - 5 \times 10^4$
Γάββρος	$10^3 - 10^6$
Βασάλτης	$10 - 1.3 \times 10^7$
Περιδοτίτης	$3 \times 10^3$ (Υ) - $6.5 \times 10^3$ (Ξ)
Γνεύσιος	$6.8 \times 10^4$ (Υ) - $3 \times 10^6$ (Ξ)
Μάρμαρα	$10^2 - 2.5 \times 10^8$ (Ξ)

Από τον πίνακα 2.2 φαίνεται πόσο μπορεί να μεταβάλλεται η ειδική ηλεκτρική αντίσταση ενός πετρώματος από την υγρή κατάσταση (Υ) στην ξηρή κατάσταση (Ξ).

**Πίνακας 2.3 :** Ειδική ηλεκτρική αντίσταση διαφόρων ιζηματογενών πετρωμάτων (Αράμπελος, 1991).

ΤΥΠΟΣ	ΕΥΡΟΣ ΤΙΜΩΝ ΕΙΔΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ (Ωm)
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

Σε γενικές γραμμές, τα εκρηξιγενή πετρώματα παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη ειδική αντίσταση, τα ιζηματογενή (πιν. 2.3) 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 κλ.π. 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 κλ.π. είναι κακοί αγωγοί του ηλεκτρισμού. Εξάιρεση 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.

### 2.3.4 Μέθοδος της ηλεκτρικής αντίστασης

Η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (Αράμπελος, 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 κλ.π.

### Αρχή 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 έρευνα. 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  $\rho$  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  $\frac{1}{2\pi}$ ,

$$\text{δηλαδή } V = \frac{I\rho}{2\pi r} \quad (2.12)$$

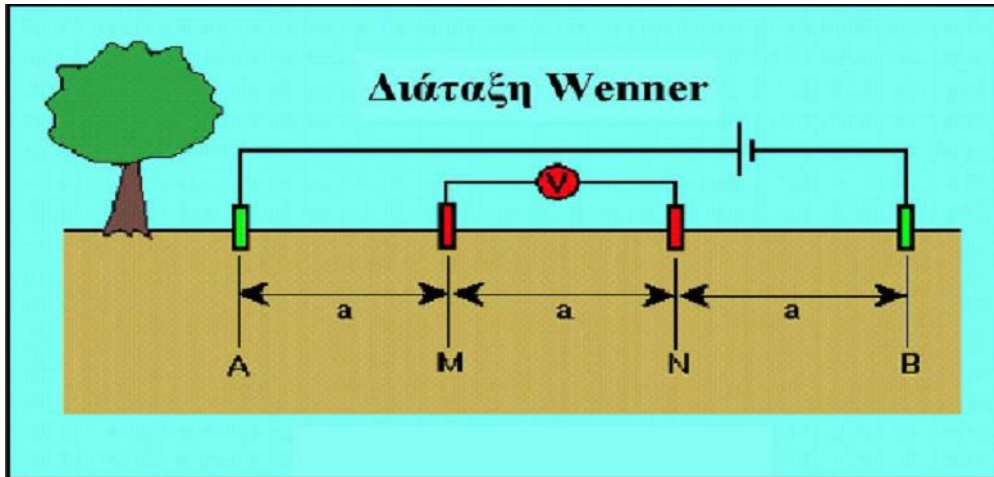
### Διατάξεις ηλεκτροδίων

Στην πράξη χρησιμοποιούνται διάφορες διατάξεις των ηλεκτροδίων ρεύματος και δυναμικού (Αράμπελος, 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 έρευνα με τη μέθοδο Wenner, τα δύο ηλεκτρόδια ρεύματος (πράσινο) και τα δύο 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 2.4.





Σχήμα 2.4 Διάταξη Wenner

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

$$\rho_a = 2\pi a \frac{\Delta V}{I} \quad (2.13)$$

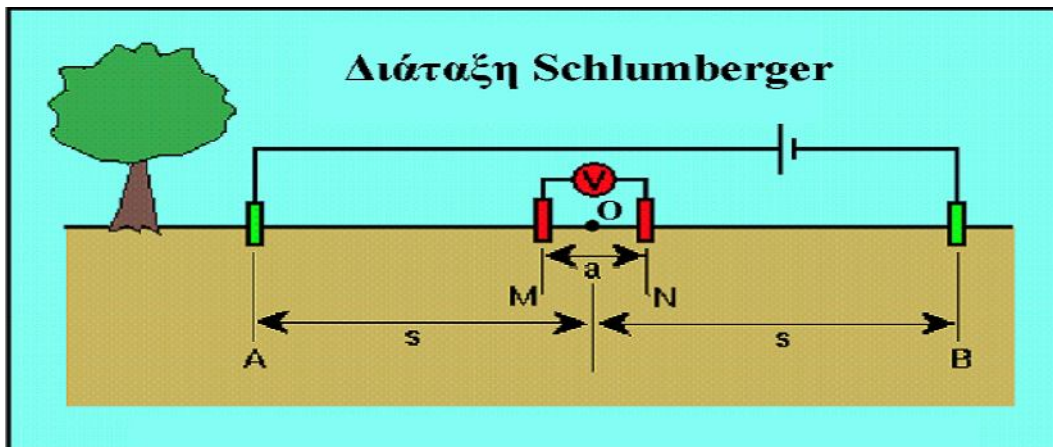
Η εξίσωση αυτή δεν είναι τίποτε περισσότερο από την έκφραση της φαινόμενης ειδικής αντίστασης που είδαμε προηγουμένως, όπου οι αποστάσεις των ηλεκτροδίων είναι σταθερές και ίσες με  $a$ . Για να δημιουργήσουμε ένα διάγραμμα της φαινόμενης ειδικής αντίστασης συναρτήσει της απόστασης των ηλεκτροδίων, από το οποίο θα ερμηνεύσουμε τη μεταβολή της ειδικής αντίστασης με το βάθος, πρέπει να υπολογίσουμε την φαινόμενη ειδική αντίσταση για διαφορές 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 (σχ. 2.5) 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  $\Delta V$  στα άκρα M, N και η μέτρηση του  $\Delta V$  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 2.5 Διάταξη Schlumberger

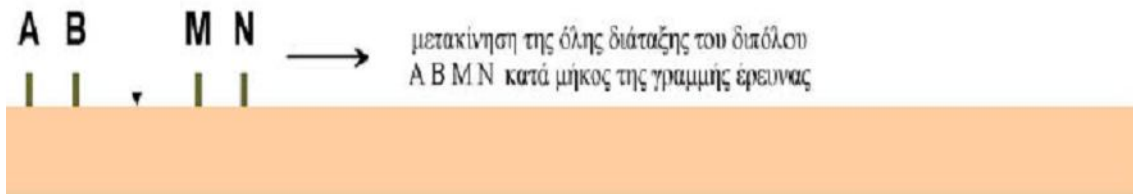
Για κάθε θέση των ηλεκτροδίων η φαινόμενη ειδική αντίσταση  $\rho_a$  υπολογίζεται από την σχέση  $\rho_a = \frac{\pi s^2}{a} \cdot \frac{\Delta V}{I}$  (2.14)

Οι τιμές της  $\rho_a$  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 .

- **Διάταξη διπόλου**

Στη διάταξη δίπολου (σχ. 2.6) 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 2.6 Διάταξη δίπολου

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  $\Delta V$  μεταξύ των  $M, N$  και η φαινόμενη ειδική αντίσταση  $\rho_a$  υπολογίζεται από την σχέση (8) όπου η ποσότητα  $K$  είναι ο γεωμετρικός παράγοντας για την διάταξη του δίπολου. Εφόσον επιθυμούμε να διερευνήσουμε πλευρικές μεταβολές της  $\rho$  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 ( $MN$ ) καθόσον είναι πλήρως απομακρυσμένα μεταξύ τους.

### 2.3.5 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, 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) (Αράμπελος, 1991).

A) Με τη **γεωηλεκτρική χαρτογράφηση** (σχ. 2.7) 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  $\rho_a$  για σταθερή τιμή του  $k$  προσδιορίζεται σε σημεία που ανήκουν σε τομές κατά το δυνατό κάθετες στην παράταξη των σχηματισμών. Οι τιμές αυτές της  $\rho_a$  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  $\rho_a$ .

B) Με τη **γεωηλεκτρική βυθοσκόπηση** προσδιορίζεται η φαινόμενη ειδική αντίσταση  $\rho_a$  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  $\rho_a$  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  $\rho_a$ . Τις τιμές της  $\rho_a$  παριστάνουμε γραφικά σε συνάρτηση με την απόσταση σε λογαριθμική κλίμακα.

Αν το υπέδαφος είναι ομογενές, τότε η γραφική αυτή παράσταση της συνάρτησης  $\rho_a = f \left( \frac{AB}{2} \right)$  (2.15) ή καμπύλη γεωηλεκτρικής βυθοσκόπησης θα είναι

ευθεία γραμμή, παράλληλη προς τον άξονα των αποστάσεων. Στην περίπτωση δηλ. αυτή η  $\rho_a$  παραμένει σταθερή και ίση με την τιμή  $\rho$  της ειδικής αντίστασης του υπεδάφους.



Σχήμα 2.7 Χαρτογράφηση αρχαιολογικού χώρου με την μέθοδο της ειδικής αντίστασης

### 2.3.6 Ερμηνεία αποτελεσμάτων

Η πλέον συνηθισμένη διαδικασία για την ερμηνεία των μετρήσεων, δηλ. τον προσδιορισμό της ειδικής αντίστασης και του πάχους των αντιστοιχών στρωμάτων είναι (όπως και στη βαρυτομετρική ή τη μαγνητική μέθοδο) η **σύγκριση** της καμπύλης **γεωηλεκτρικής βυθοσκόπησης** με θεωρητικές καμπύλες που έχουν υπολογισθεί με βάση γνωστά εκ των προτέρων πρότυπα. Το πρότυπο εκείνο του οποίου η θεωρητική καμπύλη προσεγγίζει περισσότερο την καμπύλη που βασίζεται στις μετρήσεις πεδίου, θεωρείται η σωστή λύση του προβλήματος.

Για το απλό πρότυπο που αναφέρθηκε προηγουμένως, σύμφωνα με το οποίο το υπέδαφος αποτελείται από ένα μικρό αριθμό οριζόντιων στρωμάτων, έχουν υπολογισθεί θεωρητικές καμπύλες για τις διάφορες διατάξεις των ηλεκτροδίων. Η γραφική παράσταση γίνεται σε λογαριθμική κλίμακα και για τους δύο άξονες. Οι θεωρητικές καμπύλες σχεδιάζονται συνήθως σε διαφανές χαρτί.

Για την ερμηνεία τοποθετούμε το διαφανές αυτό χαρτί πάνω από την καμπύλη που βασίζεται στις μετρήσεις πεδίου και το μετακινούμε έτσι ώστε οι άξονες των δυο σχεδίων να παραμένουν παράλληλοι , επιδιώκοντας να φέρουμε σε σύμπτωση την πραγματική καμπύλη σε μια από τις θεωρητικές καμπύλες . Όταν αυτό επιτευχθεί, οι συντεταγμένες της αρχής των αξόνων της καμπύλης που βασίζεται στις μετρήσεις του πεδίου σε σχέση με τους άξονες των θεωρητικών καμπυλών μας δίνουν την ειδική αντίσταση και το πάχος. Από το λόγο  $\rho_2 / \rho_1$  της θεωρητικής καμπύλης με την οποία ταυτίστηκε η πραγματική καμπύλη και την τιμή της  $\rho_1$  υπολογίζουμε την τιμή της  $\rho_2$ .

### **3. Η ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗ ΣΤΟ ΙΕΡΟ ΤΟΥ ΠΟΣΕΙΔΩΝΑ ΣΤΟ ΠΟΡΟ – ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ**

#### **3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα παρουσιαστούν λεπτομέρειες για την γεωφυσική έρευνα στον αρχαιολογικό χώρο του Ιερού του Ποσειδώνα στη νήσο Πόρος στον Αργοσαρωνικό κόλπο, η οποία πραγματοποιήθηκε το πρώτο δεκαήμερο του Απριλίου 2006. Επίσης θα περιγραφούν με συντομία η αρχή λειτουργίας των οργάνων που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και η επεξεργασία που ακολούθησε στο εργαστήριο. Τέλος θα σχολιαστούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την άποψη της ποιότητας τους καθώς και τα προβλήματα θορύβου που προέκυψαν.

#### **3.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΑ ΟΡΓΑΝΑ ΤΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ**

Στη γεωφυσική έρευνα, που έγινε στη περιοχή του Πόρου τον Απρίλιο 2006, χρησιμοποιήθηκαν το μαγνητόμετρο FM 256 fluxgate gradiometer, το μαγνητόμετρο GRAD 601 fluxgate gradiometer το γεωραντάρ ΕΚΚΟ1000, και το Geoscan RM 15 με διάταξη twin probes.

##### **3.2.1 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 (σχ. 3.1, 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.



Σχήμα 3.1 Το μαγνητόμετρο FM 256 fluxgate gradiometer

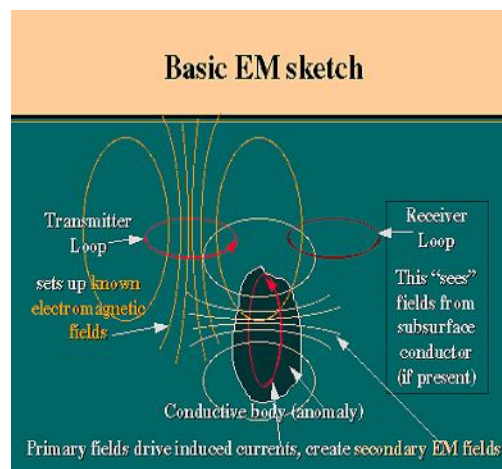




Σχήμα 3.2 Το μαγνητόμετρο GRAD 601 fluxgate gradiometer

### 3.2.2 Αρχή λειτουργίας του οργάνου ηλεκτρομαγνητικής έρευνας

Είναι γνωστό ότι τα χαμηλής συχνότητας ηλεκτρομαγνητικά κύματα που παράγονται με φυσικό ή τεχνητό τρόπο κοντά στην επιφάνεια της γης επάγουν μέσα στο φλοιό της γης εναλλασσόμενα ηλεκτρικά ρεύματα τα οποία παράγουν δευτερογενή ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Τα δευτερογενή αυτά κύματα έχουν την ίδια συχνότητα με τα αρχικά κύματα αλλά οι άλλες ιδιότητές τους (διεύθυνση, πλάτος, φάση) είναι διαφορετικές, γιατί οι ιδιότητες αυτές εξαρτώνται και από την γεωηλεκτρική δομή (κατανομή της ειδικής αγωγιμότητας) των πάνω, κυρίως, στρωμάτων του φλοιού. Έτσι, τα δευτερογενή αυτά κύματα συμβάλλουν με τα αρχικά κύματα για να δώσουν ένα συνιστάμενο κύμα το οποίο καταγράφεται και για αυτό γνωρίζουμε τις ιδιότητές του (σχ. 3.3, σχ. 3.4).



Σχήμα 3.3 Αρχή λειτουργίας του ΕΚΚΟ1000



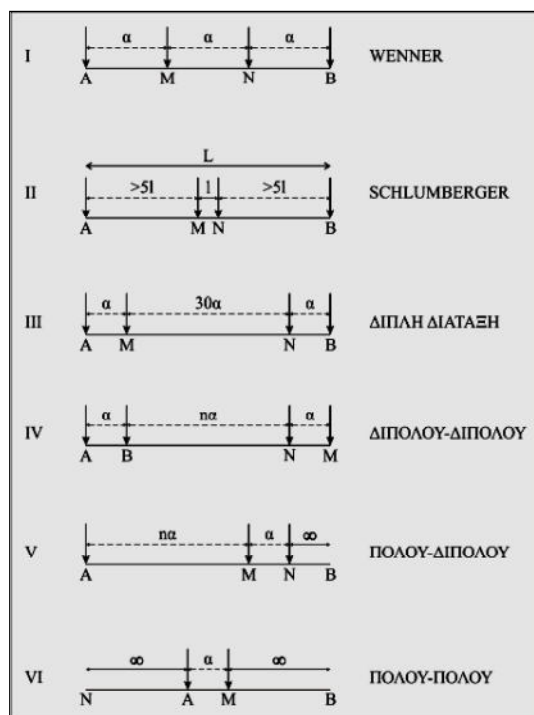
Σχήμα 3.4 Το GPR ΕΚΚΟ1000

### 3.2.3 Αρχή λειτουργίας του RM15

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

συμπιεσμένες 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, ΑΑράμπελος 1991: 198-200, Sarris 1992: 34-8, Sarris and Jones 2000: 13, Nishimura 2001: 544-5). Στο σχήμα 3.5 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).



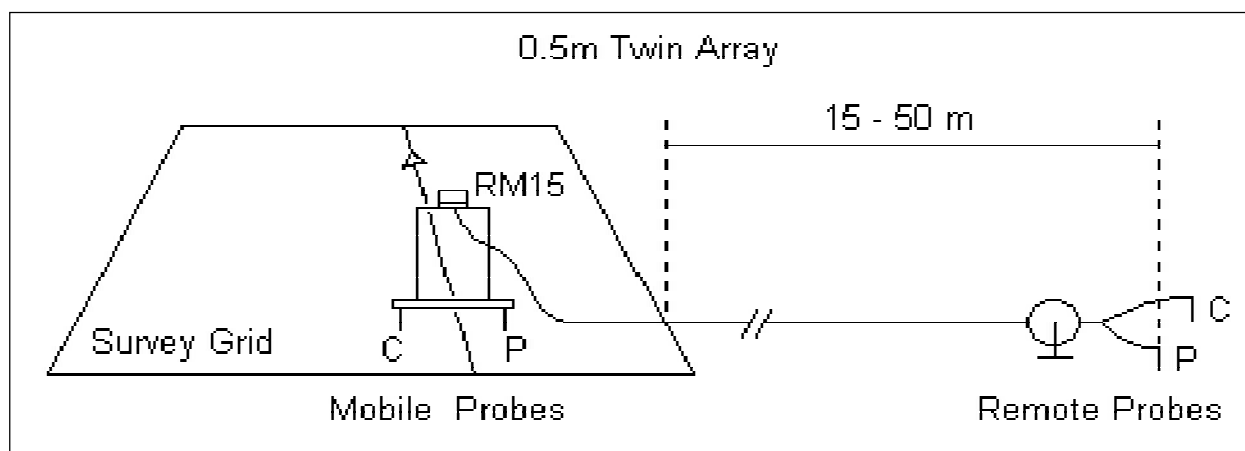
2001: 545).

Σχήμα 3.5α 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 (σχήματα 3.5α & 3.5β). 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

ηλεκτροδίων, η απόσταση μεταξύ κινητών και σταθερών θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη των 15m.



Σχήμα 3.5β Μέθοδος της Διπλής - Διάταξης των ηλεκτροδίων (Twin-Probe Array)

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  $a=0.5m$ ). 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. Η ακρίβεια των μετρήσεων ήταν της τάξεως του 0.1 Ohm.

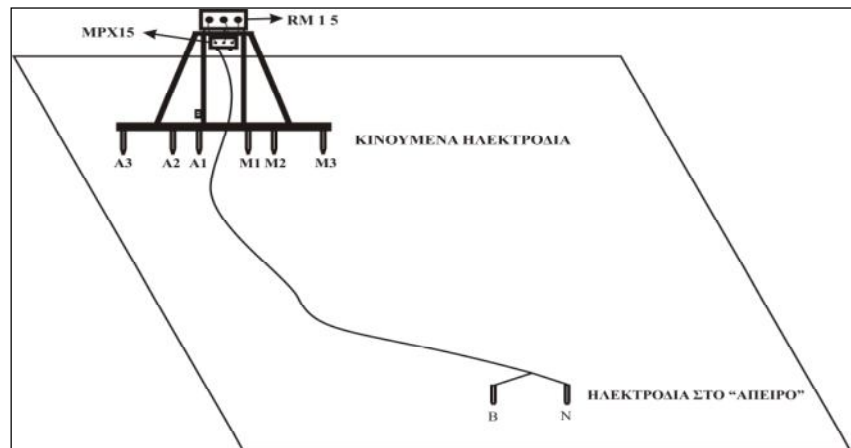
#### Ηλεκτρικές Διασκοπήσεις με την χρήση Πολυπλέκτη (MPX15)

Ο πολυπλέκτης MPX15 έχει σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί μαζί με το όργανο Geoscan RM15, το οποίο μετράει την ηλεκτρική αντίσταση του εδάφους. Χρησιμοποιώντας το ειδικά διαμορφωμένο πλαίσιο PA5, στο οποίο μπορούν να τοποθετηθούν από δύο έως έξι ηλεκτρόδια και συνδέοντας τον πολυπλέκτη MPX15 στο όργανο RM15, είναι δυνατό να υλοποιηθούν και να διερευνηθεί μία περιοχή με μία ή περισσότερες από τις γνωστές διατάξεις ηλεκτροδίων (Διπόλου-Διπόλου, Wenner, Πόλου-Πόλου, Διπλή Διάταξη, Gradient).

Επίσης το όργανο RM15 σε συνδυασμό με τον πολυπλέκτη MPX15 και το πλαίσιο PA5, μπορεί να προγραμματιστεί με τέτοιο τρόπο, ώστε χρησιμοποιώντας μία συγκεκριμένη διάταξη ηλεκτροδίων να ληφθούν μετρήσεις της αντίστασης του εδάφους που αντιστοιχούν σε

αυξανόμενα βάθη. Με τον τρόπο αυτό λαμβάνονται πληροφορίες για την κατανομή της αντίστασης του εδάφους σε διαφορετικά βάθη. Η αύξηση του βάθους έρευνας οφείλεται στο γεγονός ότι όσο αυξάνεται η απόσταση των ηλεκτροδίων τότε αυξάνεται και το βάθος στο οποίο διοχετεύεται το ρεύμα, με αποτέλεσμα η μέθοδος να “βλέπει” πιο βαθιά.

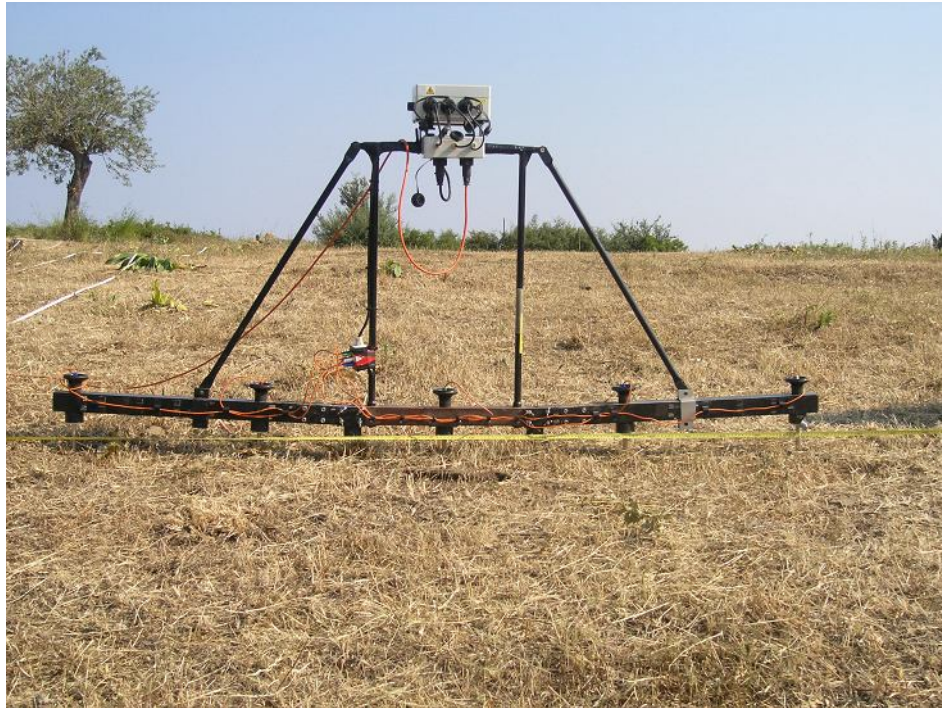
Σχήμα 3.5γ: Τρόπος σύνδεσης του οργάνου μέτρησης της αντίστασης RM15 με τον πολυπλέκτη MPX15 και διάταξη των ηλεκτροδίων στο πλαίσιο, για να υλοποιηθούν οι μετρήσεις με την μέθοδο Twin Probe. Τα ηλεκτρόδια A1, A2, A3 είναι ρεύματος και τα M1, M2, M3



δυναμικού. Οι αποστάσεις A1-M1, A2-M2 και A3-M3 είναι 1, 1.5, και 2 μέτρα αντίστοιχα. Το όργανο αυτόματα σε κάθε θέση λαμβάνει τρεις μετρήσεις της αντίστασης του εδάφους χρησιμοποιώντας κάθε φορά διαφορετικό ζεύγος ηλεκτροδίων A-M

Το όργανο μέτρησης της αντίστασης του εδάφους (RM15) σε συνδυασμό με τον πολυπλέκτη MPX15 (σχ. 3.6) και το κατάλληλα διαμορφωμένο πλαίσιο, προγραμματίστηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να πραγματοποιηθούν μετρήσεις της αντίστασης με την Διπλή Διάταξη (Twin Probe). Με τον τρόπο αυτό προσδιορίστηκε η τρισδιάστατη κατανομή της αντίστασης του υπεδάφους σε επιλεγμένα τμήματα της περιοχής έρευνας.

Στο πλαίσιο τοποθετήθηκαν έξι ηλεκτρόδια, τρία ρεύματος (A1, A2, A3) και τρία δυναμικού (M1, M2, M3) (σχ. 3.5γ). Οι αποστάσεις κάθε ηλεκτροδίου ρεύματος με το αντίστοιχο ηλεκτρόδιο δυναμικού ήταν 1m, 1.5m και 2m αντίστοιχα. Τα ηλεκτρόδια αυτά μετακινούνταν μαζί με το πλαίσιο και σε κάθε θέση του καννάβου ελήφθησαν τρεις διαδοχικές μετρήσεις της αντίστασης του εδάφους, που αντιστοιχούσαν σε τρία διαφορετικά βάθη (περίπου 1m, 1.5m, 2m), ανάλογα με την απόσταση που υπήρχε μεταξύ ηλεκτροδίων ρεύματος και δυναμικού. Σε θεωρητικά άπειρη απόσταση από τα κινητά ηλεκτρόδια βρίσκονταν δύο σταθερά ηλεκτρόδια, ένα ρεύματος (B) και ένα δυναμικού (N). Έτσι σε κάθε κάρναβο ελήφθησαν 1200 μετρήσεις της αντίστασης, από τις οποίες οι πρώτες 400 αντιστοιχούν σε βάθος 1 m, οι επόμενες 400 σε βάθος 1.5 m και οι τελευταίες 400 σε βάθος 2 m.



Σχήμα 3.6 Geoscan RM 15 με διάταξη του twin probes

### 3.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Στην παρούσα παράγραφο περιγράφεται η επεξεργασία των γεωφυσικών μετρήσεων, η οποία είναι κοινή για όλα τα είδη της γεωφυσικής έρευνας. Σκοπός της επεξεργασίας είναι η εξομάλυνση των δεδομένων και η κατά το δυνατόν απαλοιφή του θορύβου, έτσι ώστε να είναι αναγνωρίσιμες οι υπεδάφειες δομές. Οι κύριες πηγές θορύβου κατά την γεωφυσική έρευνα στο Ιερό του Ποσειδώνα τον Απρίλιο του 2006 ήταν:

- Το επιφανειακό διαταραγμένο στρώμα λόγω άρωσης και καλλιέργειας
- Τα επιφανειακά διεσπαρμένα μεταλλικά αντικείμενα αλλά και τα θαμμένα
- Η παρουσία μεταλλικών περιφράξεων και απομακρυσμένων πυλώνων της ΔΕΗ
- Η παρουσία σωρών απορριμμάτων

Η επεξεργασία των γεωφυσικών δεδομένων έγινε με το λογισμικό **Surfer 8**. Είναι ένα λογισμικό με ειδικά στατιστικά εργαλεία τα οποία μας δίνουν την δυνατότητα να κάνουμε επεξεργασία των δεδομένων μας σε διάφορα επίπεδα.

Τα επίπεδα επεξεργασίας τα οποία έλαβαν χώρα κατά την συγκεκριμένη επεξεργασία είναι τα εξής:

### **1) MUTING – ΑΠΟΚΟΠΗ**

Σε αυτό το στάδιο επεξεργασίας αφού πάρουμε τα δεδομένα πεδίου (raw data), γίνεται αποκοπή των πολύ ακραίων τιμών καθώς επίσης και των dummy values (ψευδοτιμών) [204.7 ή 2047.5 ]. Πρέπει να σημειωθεί ότι αυτό αφορά τις μαγνητικές και τις ηλεκτρικές μεθόδους.

### **2) MEAN CORRECTION – ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ Η ΜΕΣΗΣ ΤΙΜΗΣ**

Στο στάδιο αυτό γίνεται διόρθωση στο επίπεδο αναφοράς διότι έχουμε μεταβολή του ύψους του οργάνου λόγω της τοπογραφίας. Όσον αφορά τα μαγνητικά και την μαγνητική επιδεκτικότητα στα ηλεκτρομαγνητικά, η διόρθωση επιπέδου γίνεται με επίπεδο αναφοράς το μηδέν. Ενώ όσον αφορά τα ηλεκτρικά και την αγωγιμότητα στα ηλεκτρομαγνητικά, η διόρθωση επιπέδου γίνεται με επίπεδο αναφοράς την μέση τιμή όλων των καννάβων.

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 και την αγωγιμότητα στα ηλεκτρομαγνητικά. Στα μαγνητικά και την μαγνητική επιδεκτικότητα στα ηλεκτρομαγνητικά, προσθέτουμε το αντίθετο της μέσης τιμής για να μηδενίσουμε την μέση τιμή του κάθε καννάβου.

### **3) DESPIKING – ΑΠΟΚΟΠΗ ΑΚΡΑΙΩΝ ΤΙΜΩΝ**

Από την διόρθωση επιπέδου προκύπτουν τα mean corrected data, από τα οποία στην συνέχεια αποκόπτονται οι πολύ ακραίες τιμές ως εξής: ελέγχεται η τυπική απόκλιση του συνόλου των τιμών σε σχέση με την μέση τιμή και κρατούνται οι τιμές που απέχουν +/- μία ή δύο φορές την τυπική απόκλιση από την μέση τιμή. Οι τιμές που βρίσκονται έξω από αυτό το διάστημα, αντικαθίστανται με τιμή ίση με την μέση τιμή +/- τυπική απόκλιση. Έτσι προκύπτουν τα despiked data.

### **4) LINE EQUALIZATION X AND Y – ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΚΑΤΙΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ**

**X ΚΑΙ Ψ**

Τέλος στα despiked data γίνεται η γραμμική διόρθωση η οποία αποτελείται από τα εξής στάδια :

α) line equalization x – Γίνεται ταξινόμηση των δεδομένων ως προς τον άξονα X και προσθέτουμε ή αφαιρούμε την μέση τιμή για κάθε βήμα ξεχωριστά στην διεύθυνση X, πχ.0.5m , 1m, 1.5m κ.τ.λ.

β) line equalization y Γίνεται ταξινόμηση των δεδομένων ως προς τον άξονα Y και προσθέτουμε ή αφαιρούμε την μέση τιμή για κάθε βήμα ξεχωριστά στην διεύθυνση Y, πχ.0.5m , 1m, 1.5m κ.τ.λ.

Αφού ολοκληρωθεί η επεξεργασία των αρχείων χωριστά, ακολουθεί η ένωση των καννάβων (grids), με τις πραγματικές συντεταγμένες για κάθε κάρναβο. Στην συνέχεια ακολουθεί 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.

### **3.3.1 Σχολιασμός αποτελεσμάτων της επεξεργασία των γεωφυσικών**

Οι περιοχές που μελετήθηκαν είναι οι D, E και F. Στους χάρτες που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από κάθε φάση επεξεργασίας ανά περιοχή. Οι μετρήσεις των μαγνητικών έγιναν με βήμα μισού μέτρου. Το μαγνητόμετρο FM256 χρησιμοποιήθηκε μόνο στην περιοχή D, ενώ στις υπόλοιπες περιοχές το μαγνητόμετρο GRAD601. Οι μετρήσεις της ηλεκτρικής αντίστασης έγιναν για βάθη 0.5, 1 και 1.5 μέτρου με βήμα ενός μέτρου.

Γενικά στους μαγνητικούς χάρτες πριν την επεξεργασία, όπως θα παρουσιαστεί και στην συνέχεια αναλυτικά παρατηρείται γραμμικός θόρυβος λόγω άρωσης και πιθανότατα λόγω υπεδάφιου ποτιστικού συστήματος, αλλά και μεμονωμένος θόρυβος από μεταλλικά αντικείμενα που βρίσκονται επιφανειακά διεσπαρμένα αλλά και σε μικρό βάθος. Στα άκρα που υπάρχουν συρματοπλέγματα καταστρέφεται το σήμα.

Στους χάρτες κατανομής της ηλεκτρικής αντίστασης πριν την επεξεργασία παρατηρούνται γενικά μεμονωμένες ζώνες υψηλών και χαμηλών αντιστάσεων.

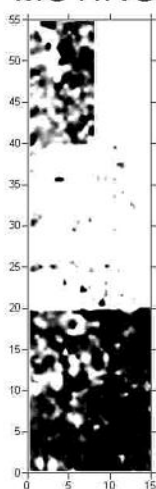


**ΧΑΡΤΕΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ  
ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ**

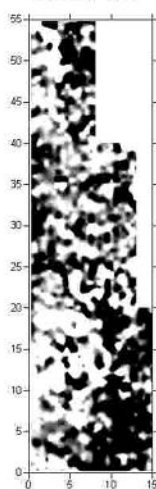
**Για την περιοχή D με το μαγνητόμετρο FM256:**

**AREA\_D MAGNETICS  
FM256**

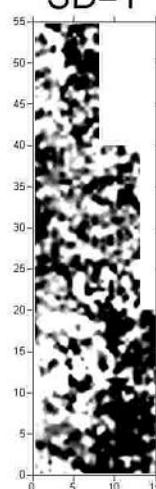
**MUTING**



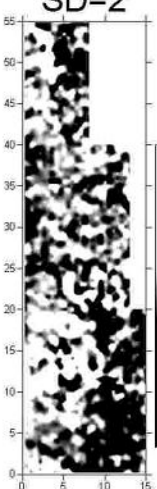
**MEAN**



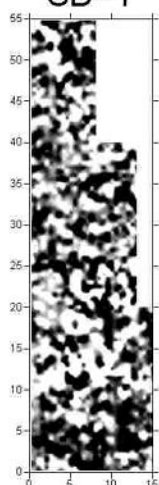
**DESPIKING  
SD=1**



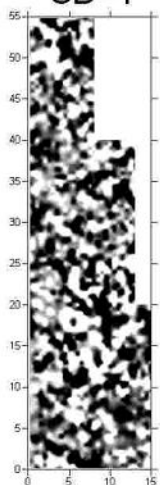
**DESPIKING  
SD=2**



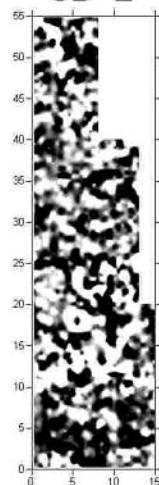
**LINE EQUALIZATION (X)  
SD=1**



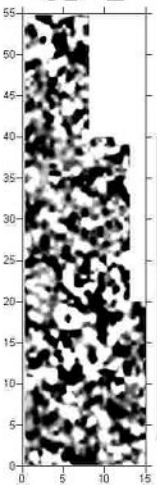
**LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=1**



**LINE EQUALIZATION (X)  
SD=2**

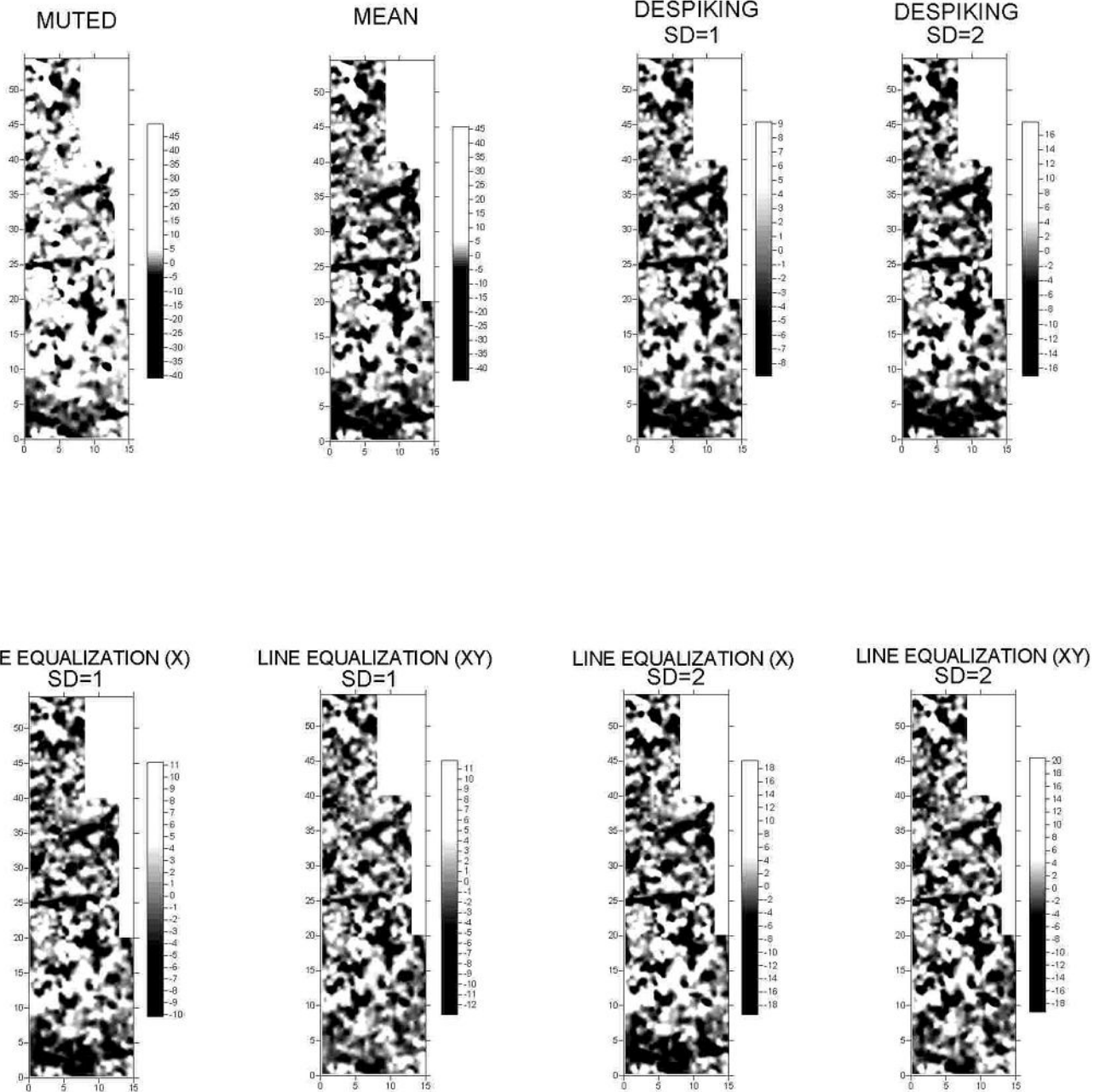


**LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=2**



Για την περιοχή D με το μαγνητόμετρο GRAD601:

AREA\_D MAGNETICS  
GRAD601

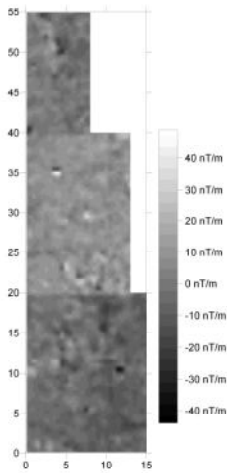


**SANCTUARY OF POSEIDON - POROS  
VERTICAL MAGNETIC GRADIENT SURVEY  
Mosaic of Geophysical Grids: AREA D**

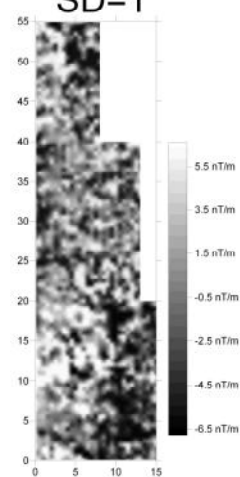
**POROS 2006  
GEOPHYSICAL PROSPECTION  
RESEARCH PROGRAM**

**RAW DATA & DESPIKING**

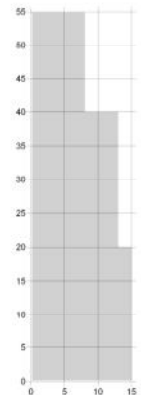
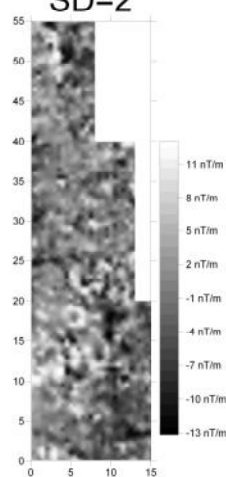
**RAW DATA**



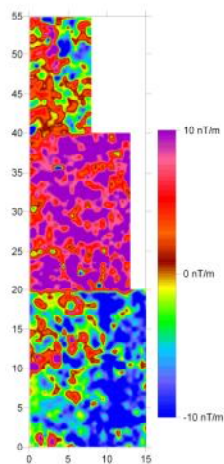
**DESPIKING  
SD=1**



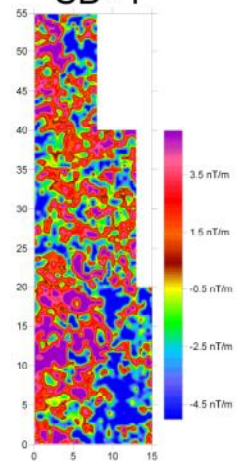
**DESPIKING  
SD=2**



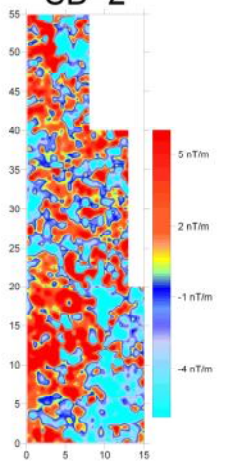
**RAW DATA**



**DESPIKING  
SD=1**



**DESPIKING  
SD=2**

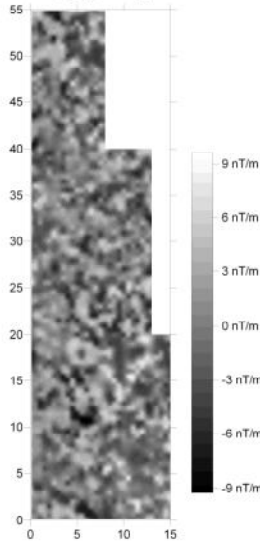


**SANCTUARY OF POSEIDON - POROS  
VERTICAL MAGNETIC GRADIENT SURVEY  
Mosaic of Geophysical Grids: AREA D**

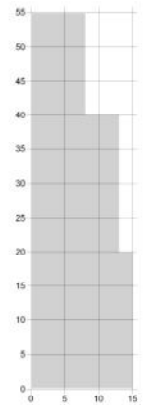
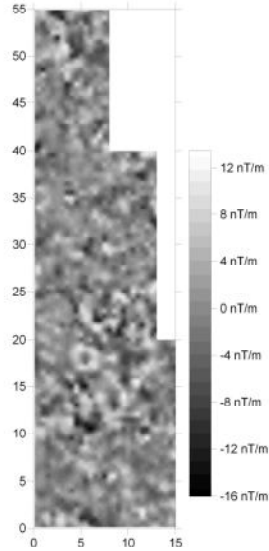
**POROS 2006  
GEOPHYSICAL PROSPECTION  
RESEARCH PROGRAM**

**LINE EQUALIZATION (XY)**

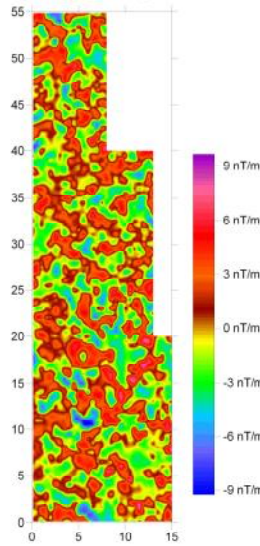
**LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=1**



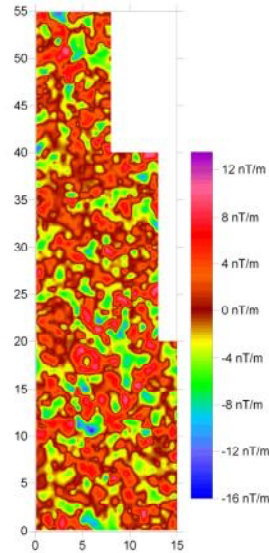
**LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=2**



**LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=1**



**LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=2**

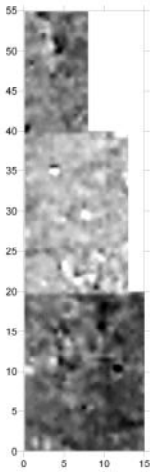


**SANCTUARY OF POSEIDON - POROS  
VERTICAL MAGNETIC GRADIENT SURVEY  
Mosaic of Geophysical Grids: AREA D**

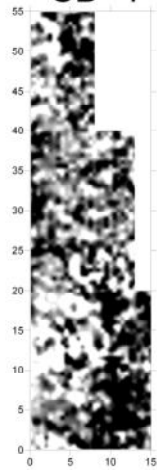
**POROS 2006  
GEOPHYSICAL PROSPECTION  
RESEARCH PROGRAM**

COMPRESSION OF DYNAMIC RANGE  
RAW DATA & DESPIKING

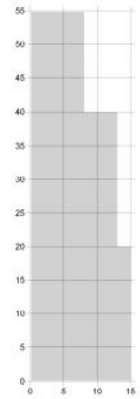
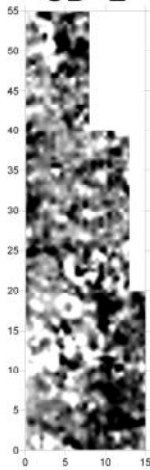
RAW DATA



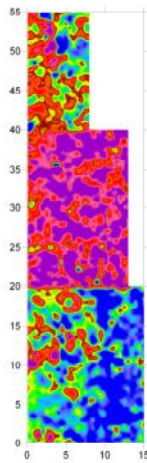
DESPIKING  
SD=1



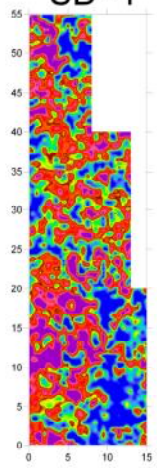
DESPIKING  
SD=2



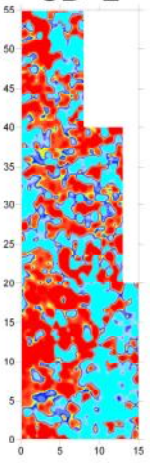
RAW DATA



DESPIKING  
SD=1



DESPIKING  
SD=2

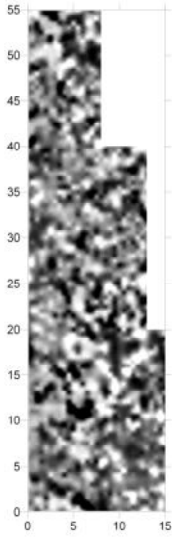


**SANCTUARY OF POSEIDON - POROS  
VERTICAL MAGNETIC GRADIENT SURVEY  
Mosaic of Geophysical Grids: AREA D**

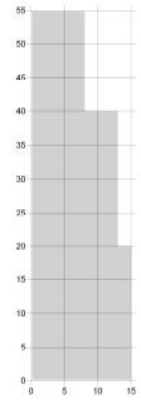
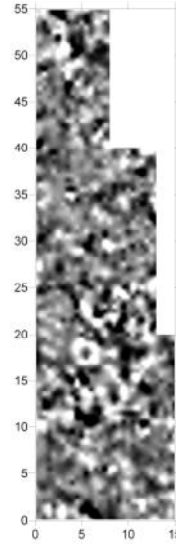
**POROS 2006  
GEOPHYSICAL PROSPECTION  
RESEARCH PROGRAM**

COMPRESSION OF DYNAMIC RANGE  
LINE EQUALIZATION (XY)

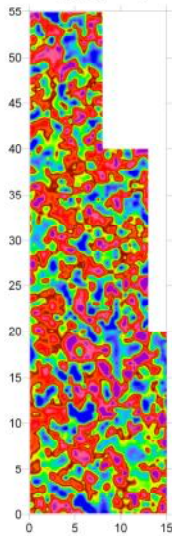
LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=1



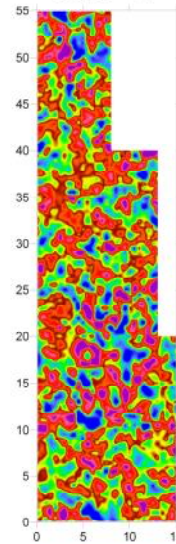
LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=2



LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=1



LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=2

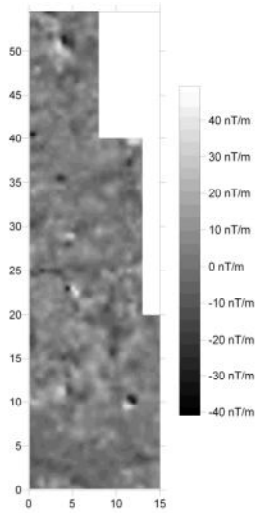


**SANCTUARY OF POSEIDON - POROS  
VERTICAL MAGNETIC GRADIENT SURVEY  
Mosaic of Geophysical Grids: AREA D**

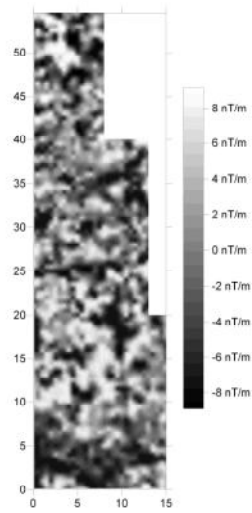
**POROS 2006  
GEOPHYSICAL PROSPECTION  
RESEARCH PROGRAM**

**RAW DATA & DESPIKING**

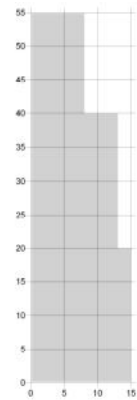
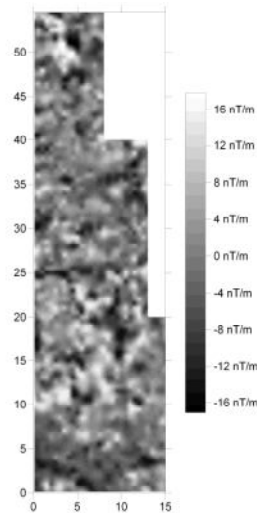
**RAW DATA**



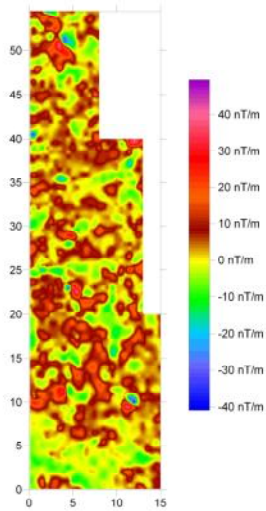
**DESPIKING  
SD=1**



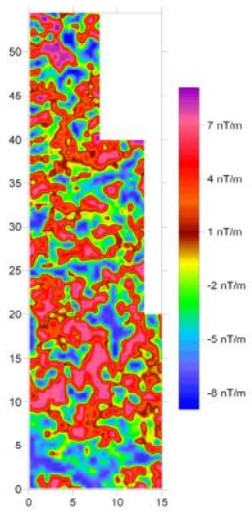
**DESPIKING  
SD=2**



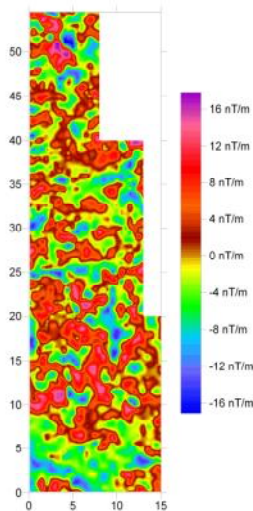
**RAW DATA**



**DESPIKING  
SD=1**



**DESPIKING  
SD=2**

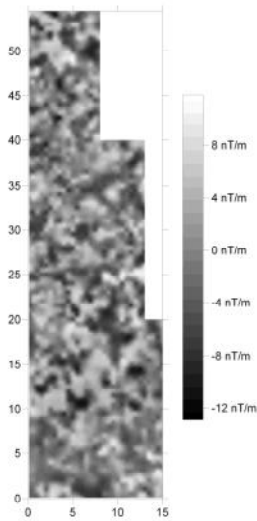


**SANCTUARY OF POSEIDON - POROS  
VERTICAL MAGNETIC GRADIENT SURVEY  
Mosaic of Geophysical Grids: AREA D**

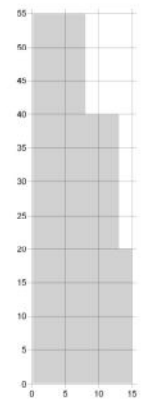
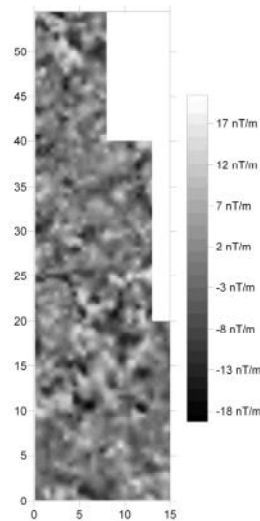
**POROS 2006  
GEOPHYSICAL PROSPECTION  
RESEARCH PROGRAM**

LINE EQUALIZATION (XY)

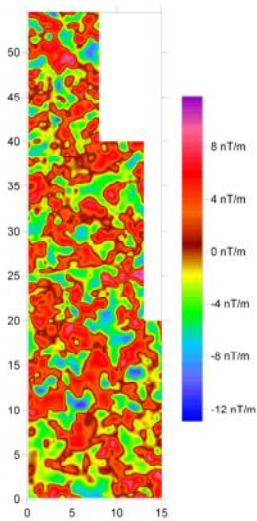
LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=1



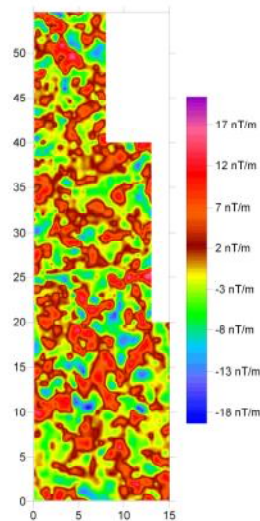
LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=2



LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=1



LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=2



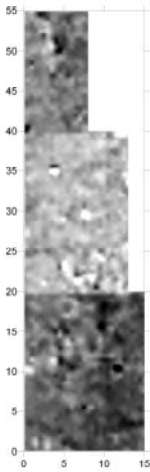


**SANCTUARY OF POSEIDON - POROS  
VERTICAL MAGNETIC GRADIENT SURVEY  
Mosaic of Geophysical Grids: AREA D**

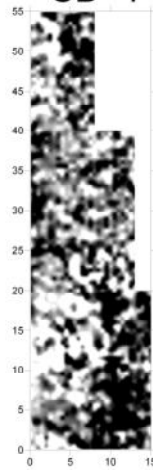
**POROS 2006  
GEOPHYSICAL PROSPECTION  
RESEARCH PROGRAM**

COMPRESSION OF DYNAMIC RANGE  
RAW DATA & DESPIKING

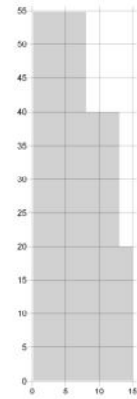
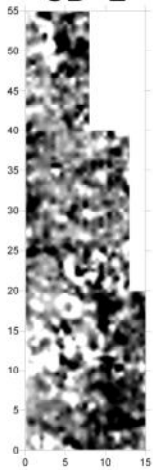
RAW DATA



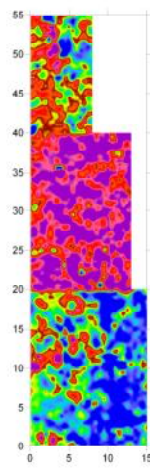
DESPIKING  
SD=1



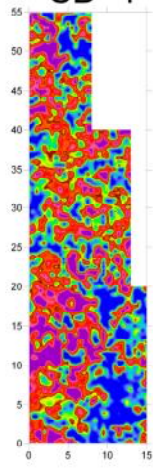
DESPIKING  
SD=2



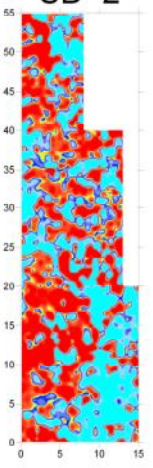
RAW DATA



DESPIKING  
SD=1



DESPIKING  
SD=2



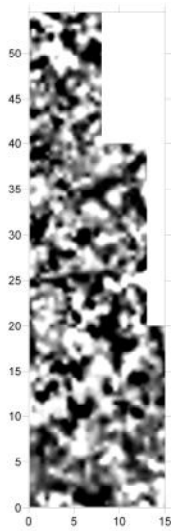
**SANCTUARY OF POSEIDON - POROS  
VERTICAL MAGNETIC GRADIENT SURVEY  
Mosaic of Geophysical Grids: AREA D**

**POROS 2006**

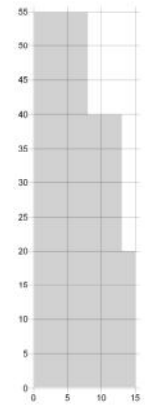
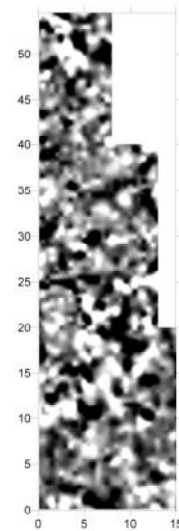
**GEOPHYSICAL PROSPECTION  
RESEARCH PROGRAM**

**LINE EQUALIZATION (XY)**

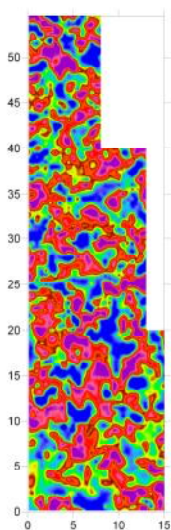
**LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=1**



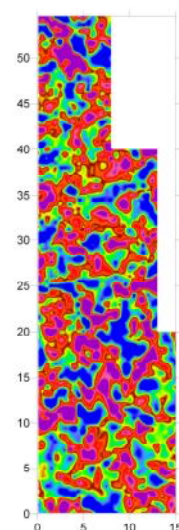
**LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=2**



**LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=1**

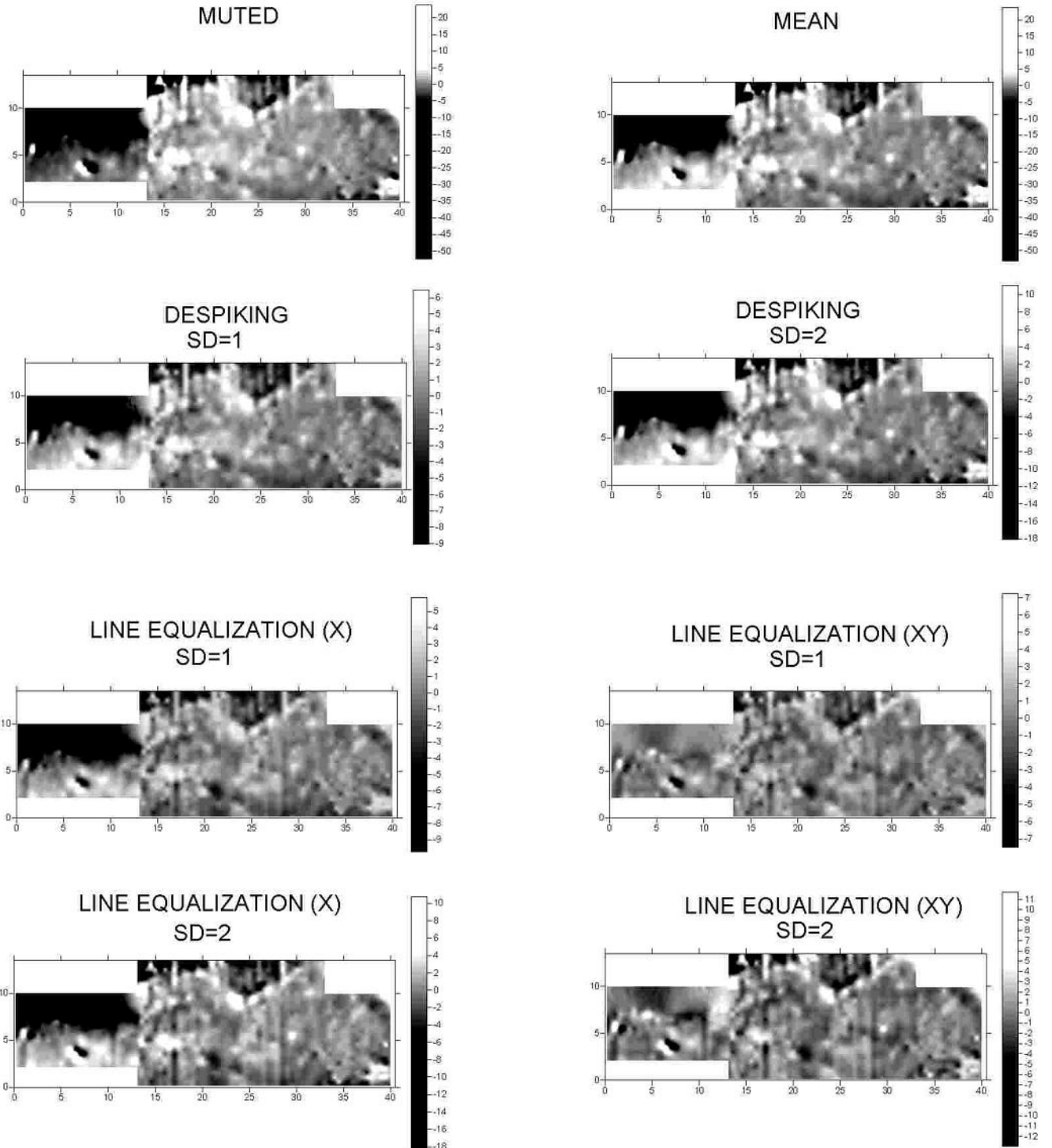


**LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=2**



Για την περιοχή Ε με το μαγνητόμετρο GRAD601:

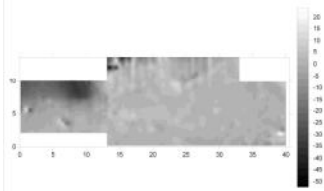
AREA\_E MAGNETICS  
GRAD601



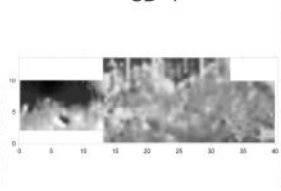
**SANCTUARY OF POSEIDON - POROS  
VERTICAL MAGNETIC GRADIENT SURVEY  
Mosaic of Geophysical Grids: AREA E**

RAW DATA & DESPIKING

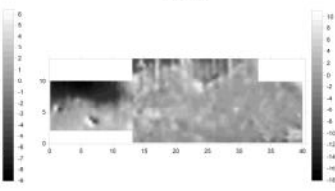
RAW DATA



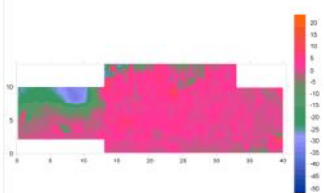
DESPIKING  
SD=1



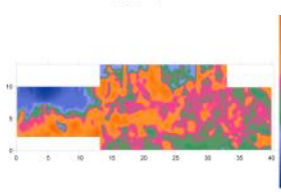
DESPIKING  
SD=2



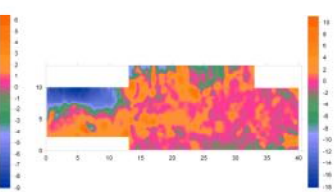
RAW DATA



DESPIKING  
SD=1

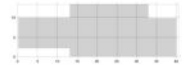


DESPIKING  
SD=2



POROS 2006

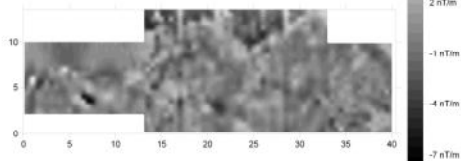
GEOPHYSICAL PROSPECTION  
RESEARCH PROGRAM



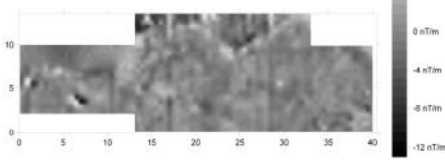
**SANCTUARY OF POSEIDON - POROS  
VERTICAL MAGNETIC GRADIENT SURVEY  
Mosaic of Geophysical Grids: AREA E**

LINE EQUALIZATION (XY)

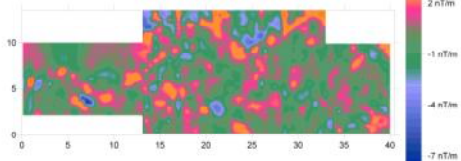
LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=1



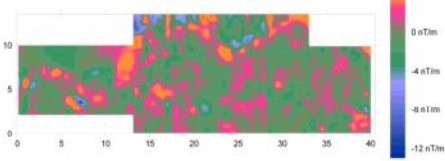
LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=2



LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=1



LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=2



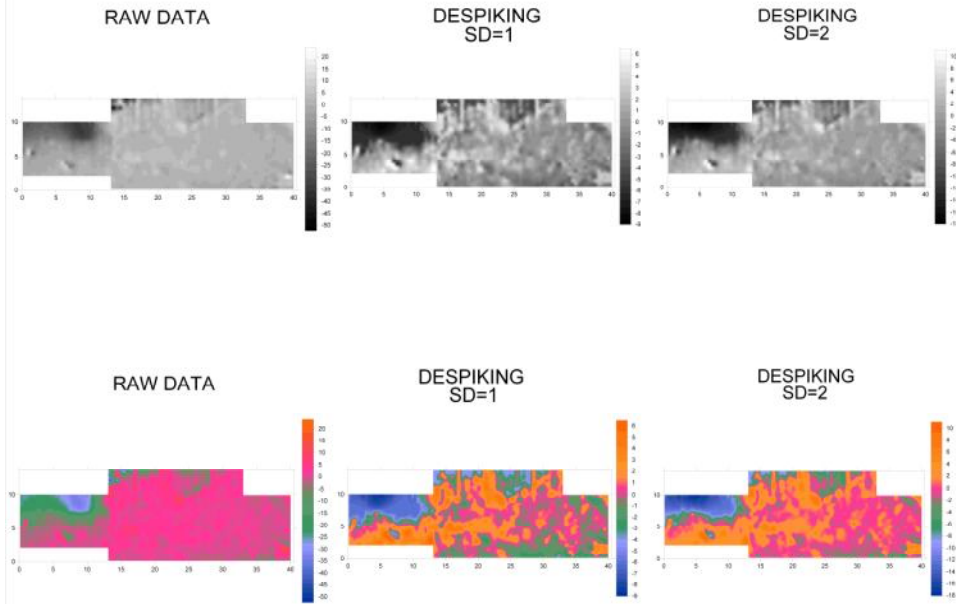
POROS 2006

GEOPHYSICAL PROSPECTION  
RESEARCH PROGRAM

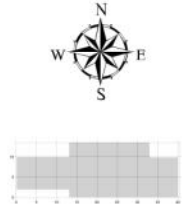


**SANCTUARY OF POSEIDON - POROS  
VERTICAL MAGNETIC GRADIENT SURVEY  
Mosaic of Geophysical Grids: AREA E**

RAW DATA & DESPIKING

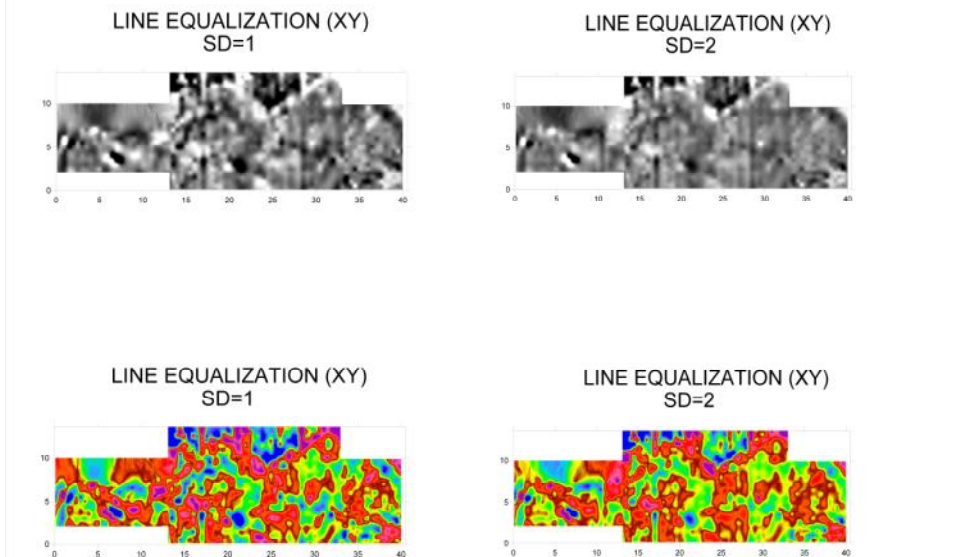


**POROS 2006  
GEOPHYSICAL PROSPECTION  
RESEARCH PROGRAM**

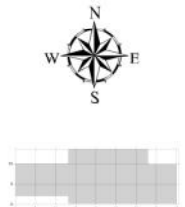


**SANCTUARY OF POSEIDON - POROS  
VERTICAL MAGNETIC GRADIENT SURVEY  
Mosaic of Geophysical Grids: AREA E**

COMPRESSION OF DYNAMIC RANGE  
LINE EQUALIZATION (XY)

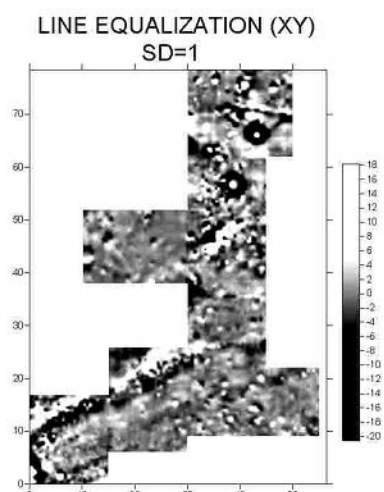
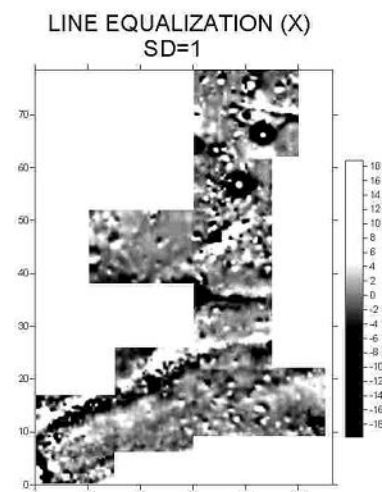
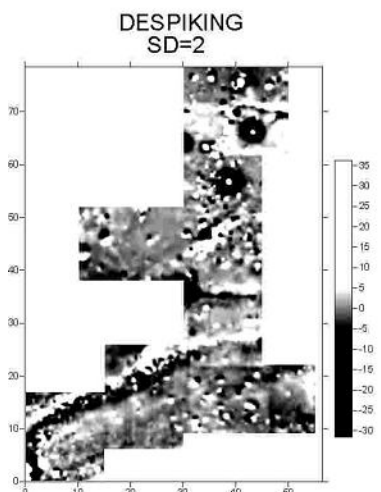
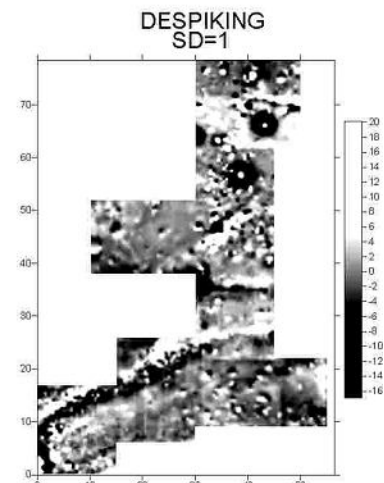
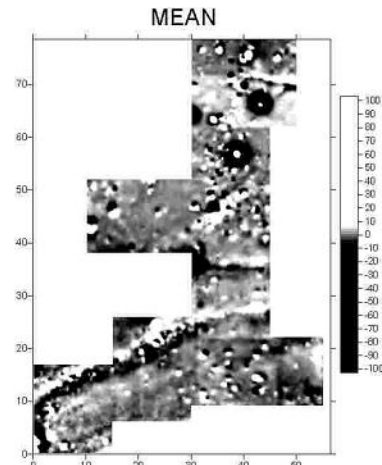
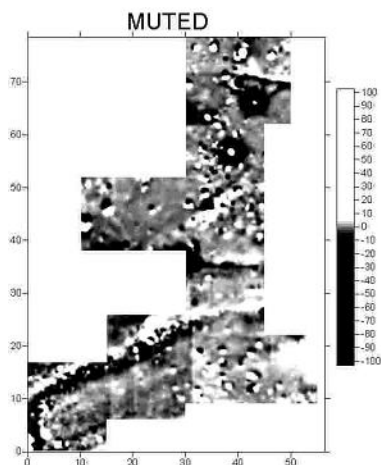


**POROS 2006  
GEOPHYSICAL PROSPECTION  
RESEARCH PROGRAM**

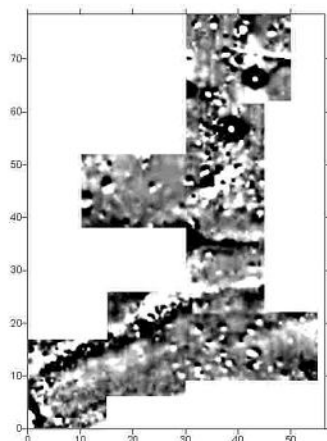


Για την περιοχή F με το μαγνητόμετρο GRAD601:

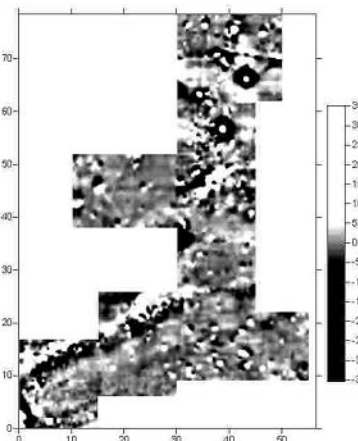
AREA\_F MAGNETICS  
GRAD601



LINE EQUALIZATION (X)  
SD=2



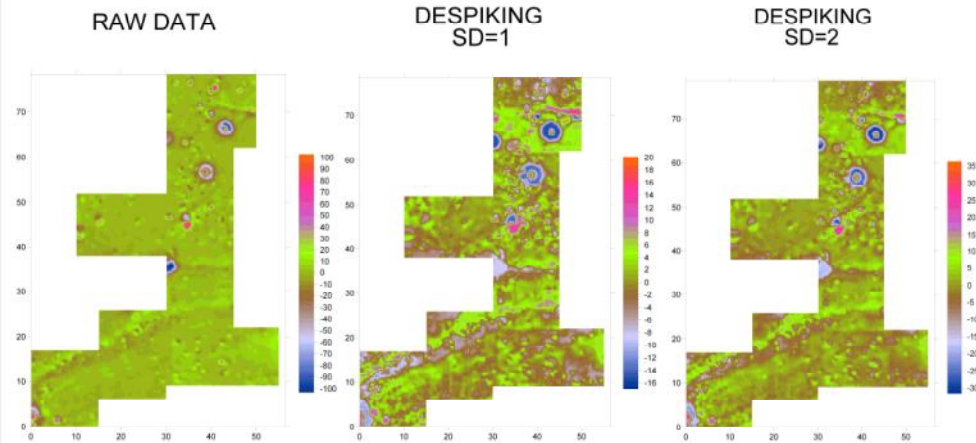
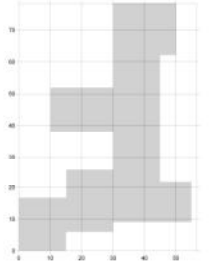
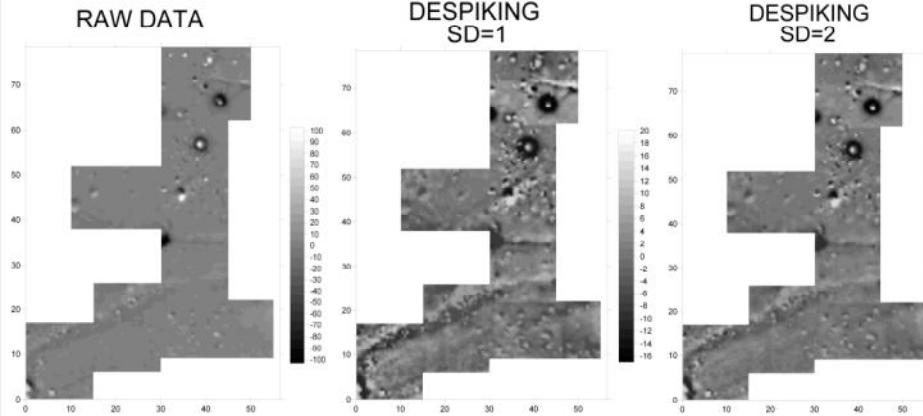
LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=2



SANCTUARY OF POSEIDON - POROS  
VERTICAL MAGNETIC GRADIENT SURVEY  
Mosaic of Geophysical Grids: AREA F

POROS 2006  
GEOPHYSICAL PROSPECTION  
RESEARCH PROGRAM

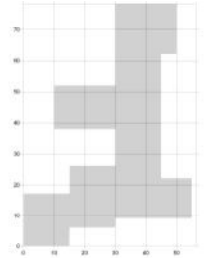
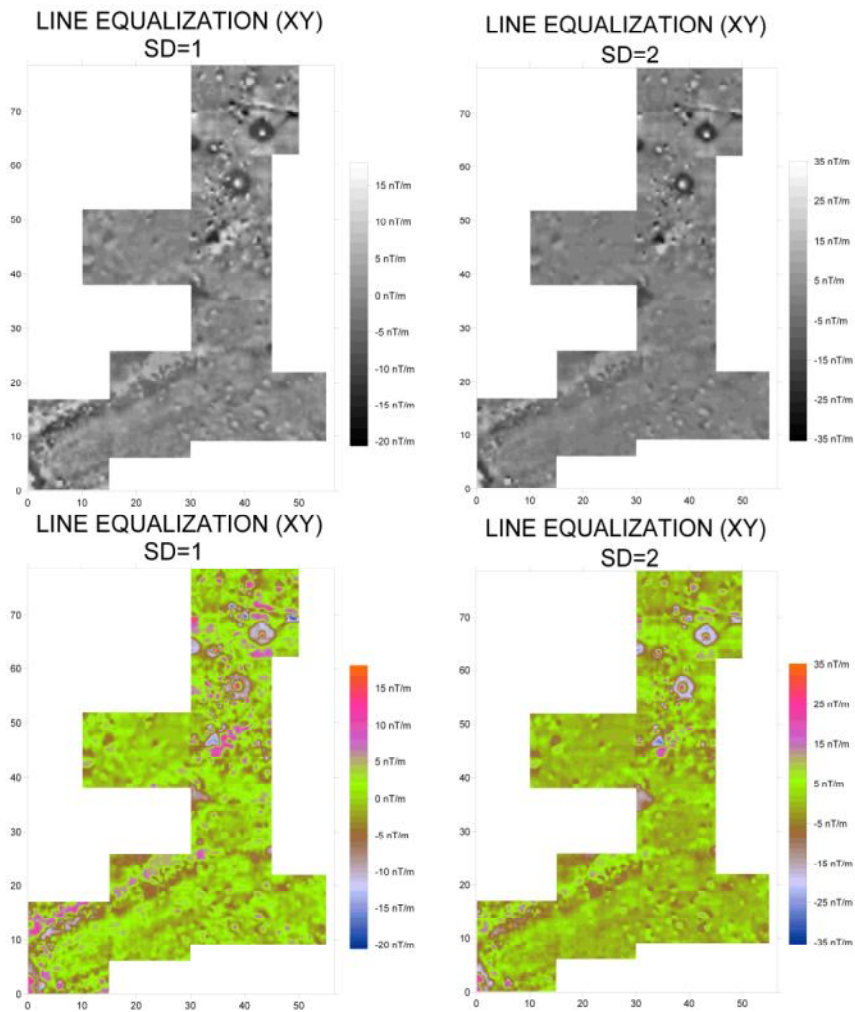
RAW DATA & DESPIKING



SANCTUARY OF POSEIDON - POROS  
VERTICAL MAGNETIC GRADIENT SURVEY  
Mosaic of Geophysical Grids: AREA F

POROS 2006  
GEOPHYSICAL PROSPECTION  
RESEARCH PROGRAM

LINE EQUALIZATION (XY)

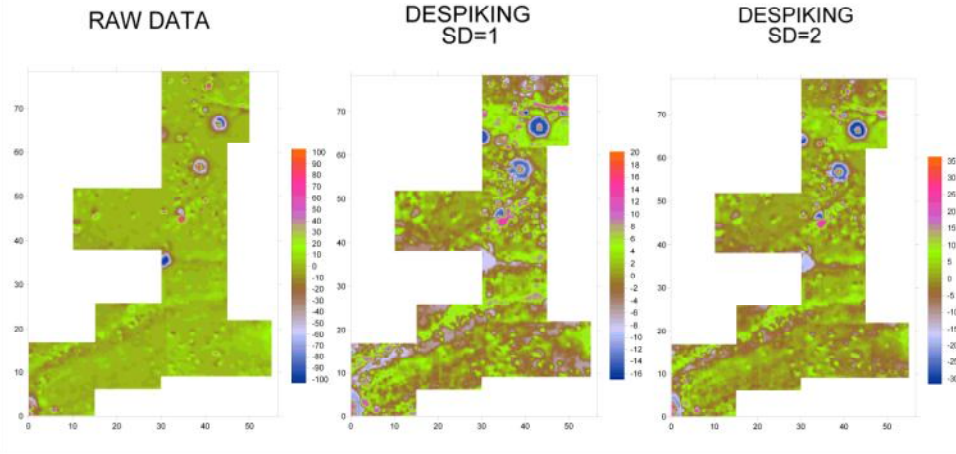
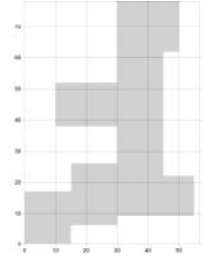
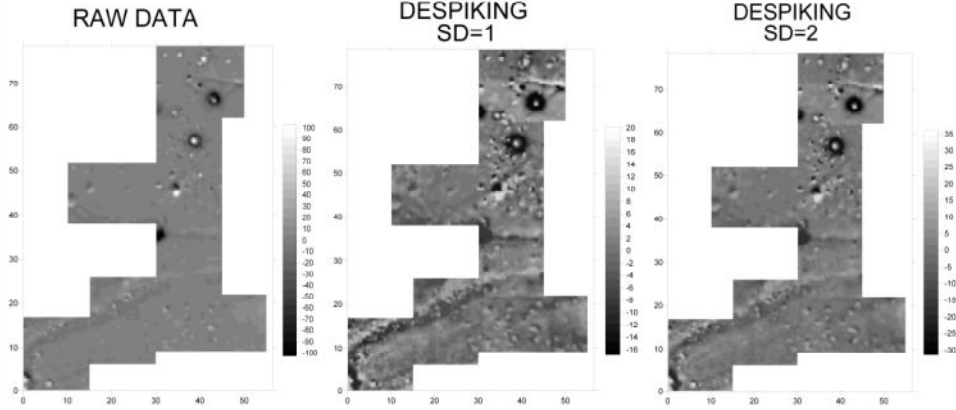




**SANCTUARY OF POSEIDON - POROS  
VERTICAL MAGNETIC GRADIENT SURVEY  
Mosaic of Geophysical Grids: AREA F**

**POROS 2006  
GEOPHYSICAL PROSPECTION  
RESEARCH PROGRAM**

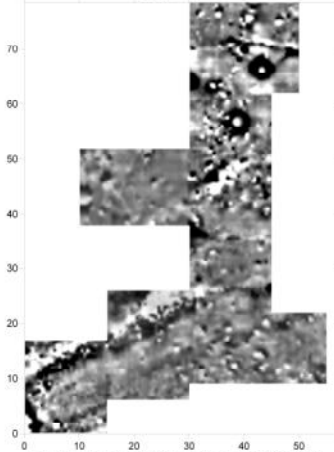
**RAW DATA & DESPIKING**



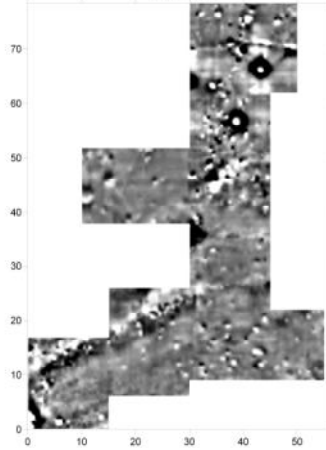
**SANCTUARY OF POSEIDON - POROS  
VERTICAL MAGNETIC GRADIENT SURVEY  
Mosaic of Geophysical Grids: AREA F**

COMPRESSION OF DYNAMIC RANGE  
LINE EQUALIZATION (XY)

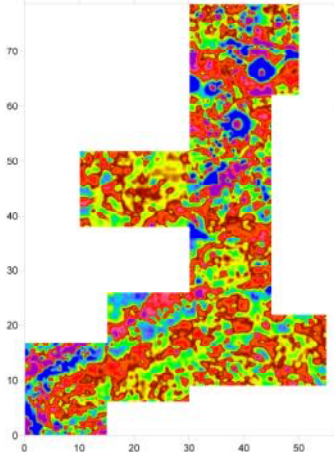
LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=1



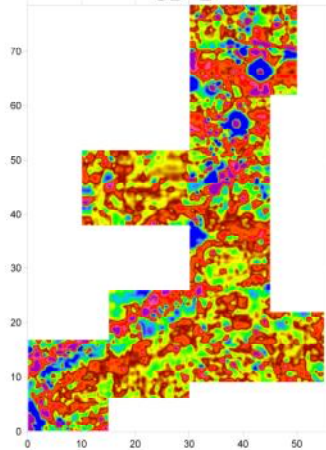
LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=2



LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=1

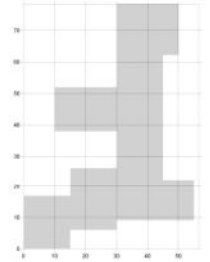


LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=2



POROS 2006

GEOPHYSICAL PROSPECTION  
RESEARCH PROGRAM

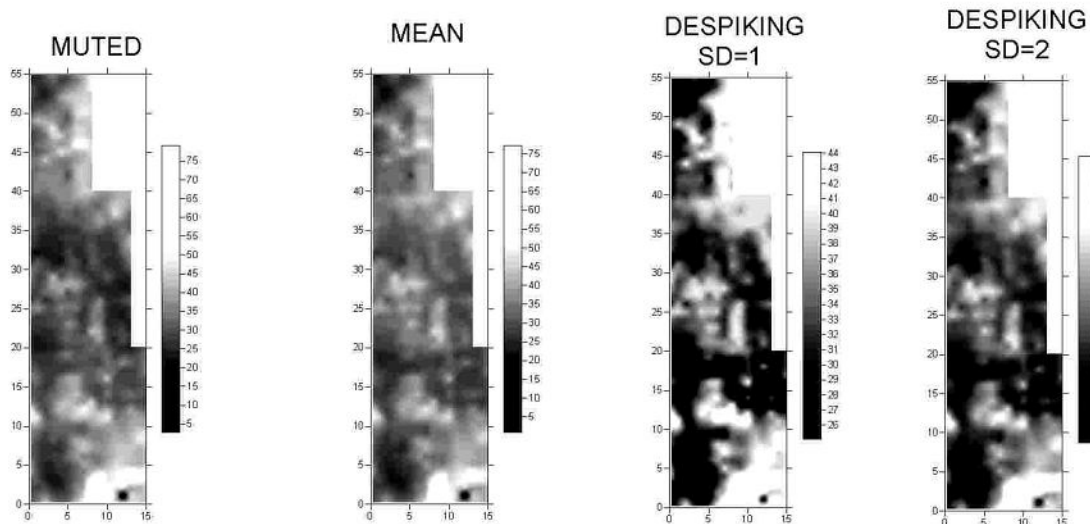


**ΧΑΡΤΕΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ**

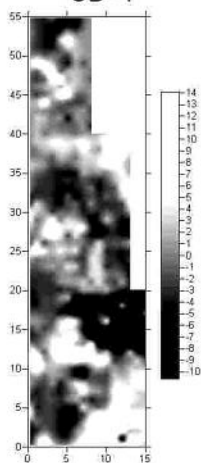
**ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ**

Για την περιοχή D, για βάθος 0.5 μέτρα:

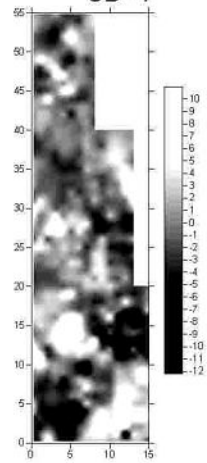
AREA\_D MULTIPLEXER  
DEPTH=0.5



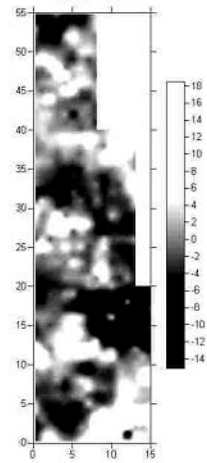
LINE EQUALIZATION (X)  
SD=1



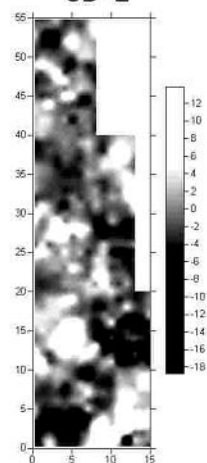
LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=1



LINE EQUALIZATION (X)  
SD=2

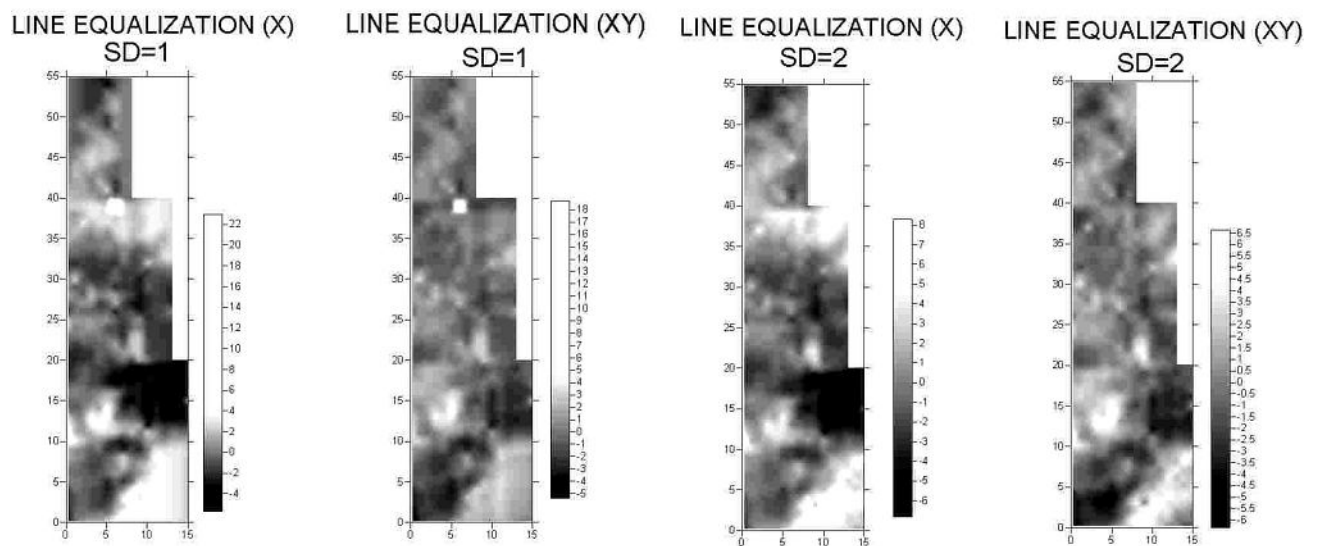
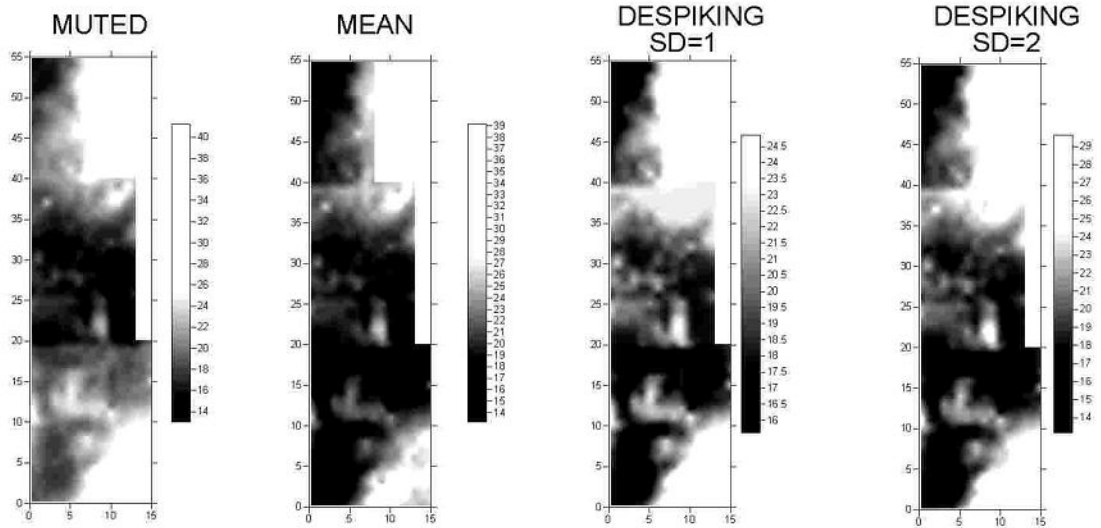


LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=2



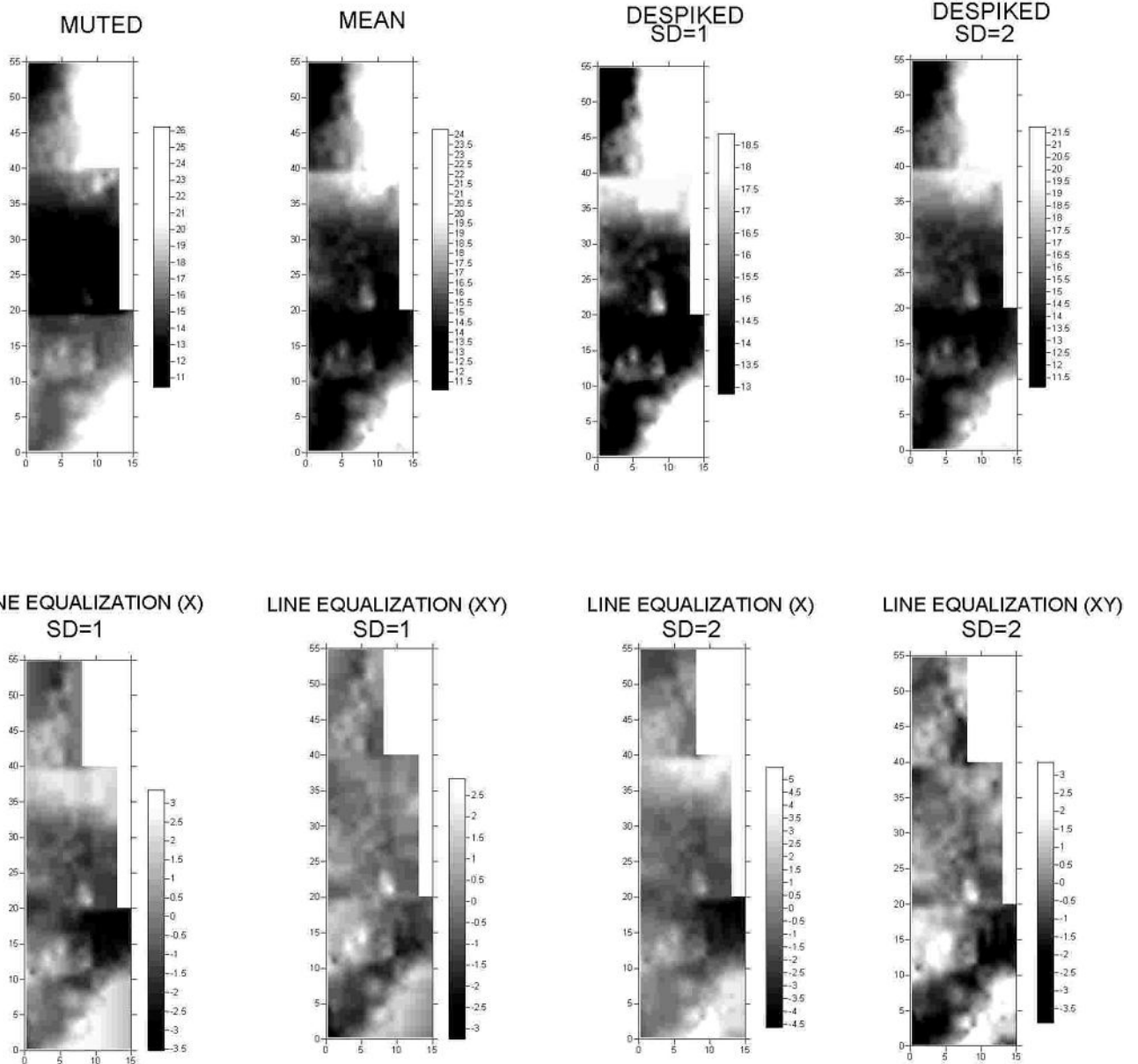
Για την περιοχή D, για βάθος 1 μέτρα:

AREA\_D MULTIPLEXER  
DEPTH=1



Για την περιοχή D, για βάθος 1.5 μέτρα:

AREA\_D MULTIPLEXER  
DEPTH=1.5



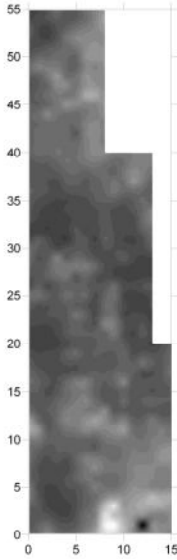
**SANCTUARY OF POSEIDON - POROS  
SOIL RESISTANCE SURVEY  
Mosaic of Geophysical Grids: AREA D**

**POROS 2006**

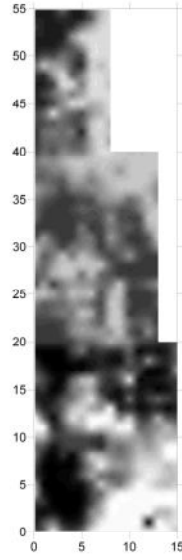
**GEOPHYSICAL PROSPECTION  
RESEARCH PROGRAM**

**RAW DATA & DESPIKING  
MULTIPLEXER (d=0.5m)**

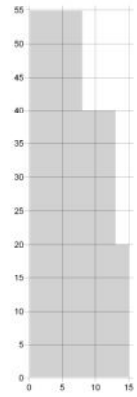
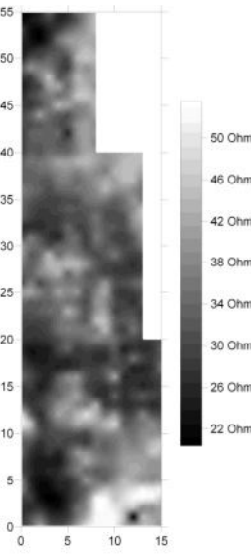
**RAW DATA**



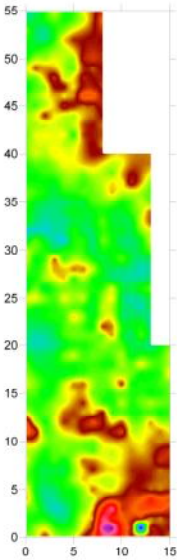
**DESPIKING  
SD=1**



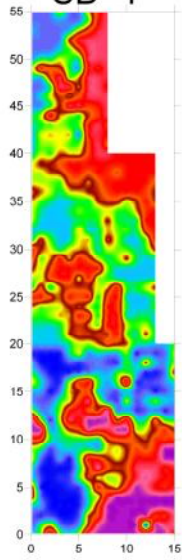
**DESPIKING  
SD=2**



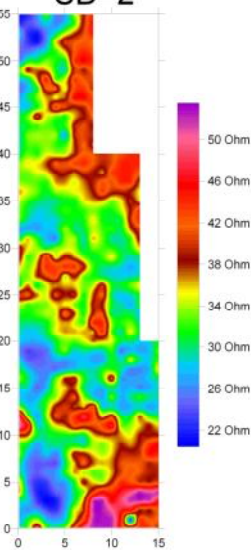
**RAW DATA**



**DESPIKING  
SD=1**



**DESPIKING  
SD=2**



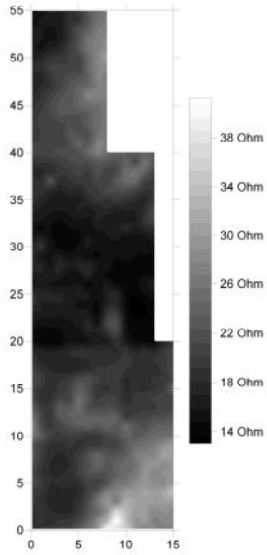
**SANCTUARY OF POSEIDON - POROS  
SOIL RESISTANCE SURVEY  
Mosaic of Geophysical Grids: AREA D**

**POROS 2006**

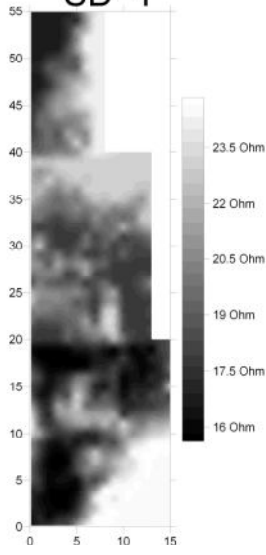
**GEOPHYSICAL PROSPECTION  
RESEARCH PROGRAM**

RAW DATA & DESPIKING  
MULTIPLEXER (d=1m)

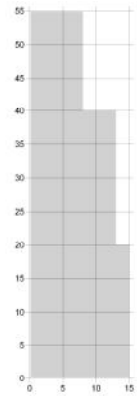
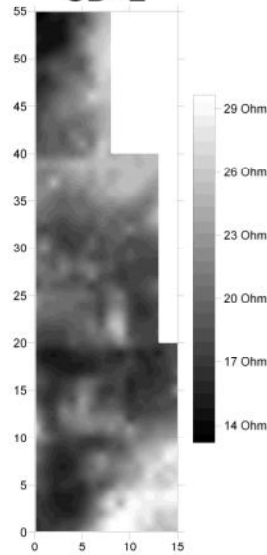
**RAW DATA**



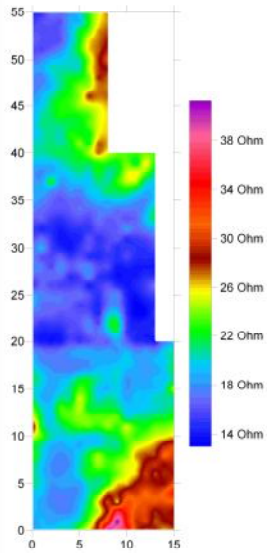
**DESPIKING  
SD=1**



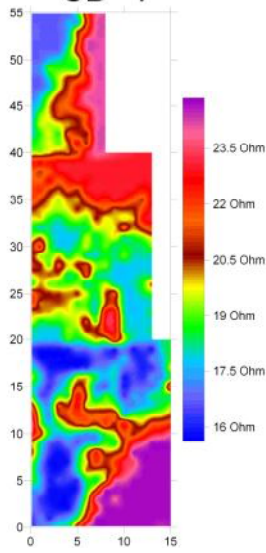
**DESPIKING  
SD=2**



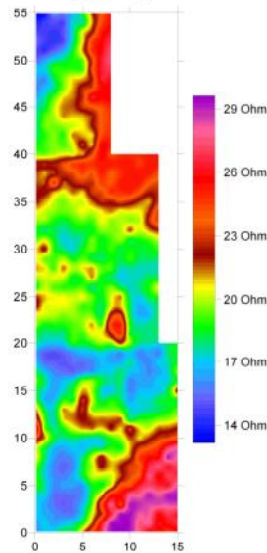
**RAW DATA**



**DESPIKING  
SD=1**



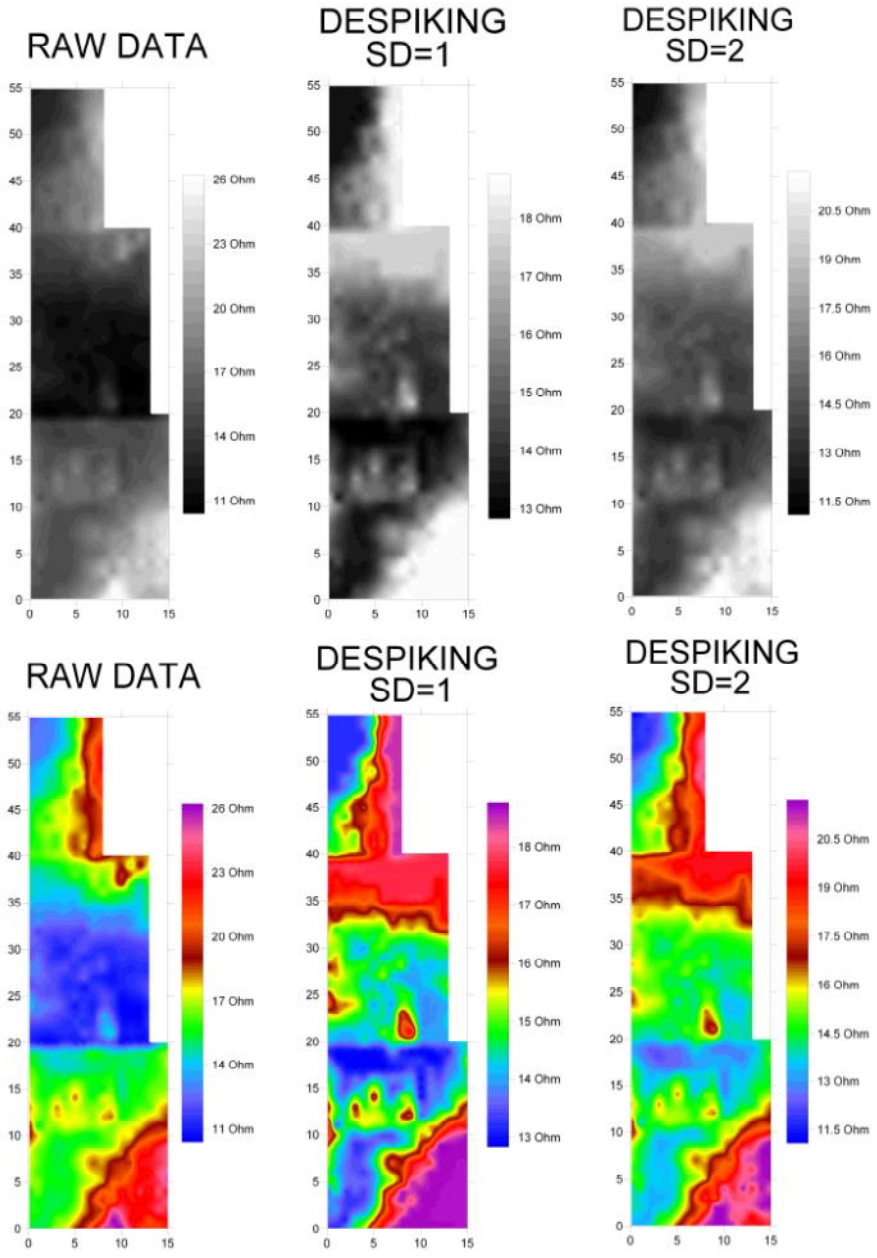
**DESPIKING  
SD=2**



**SANCTUARY OF POSEIDON - POROS  
SOIL RESISTANCE SURVEY  
Mosaic of Geophysical Grids: AREA D**

**POROS 2006  
GEOPHYSICAL PROSPECTION  
RESEARCH PROGRAM**

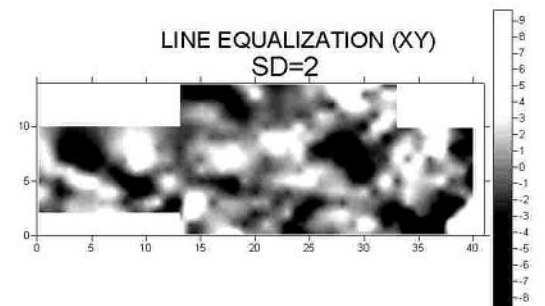
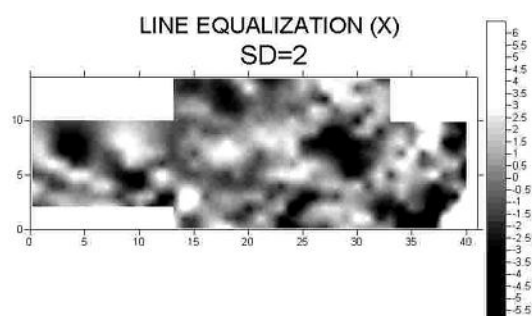
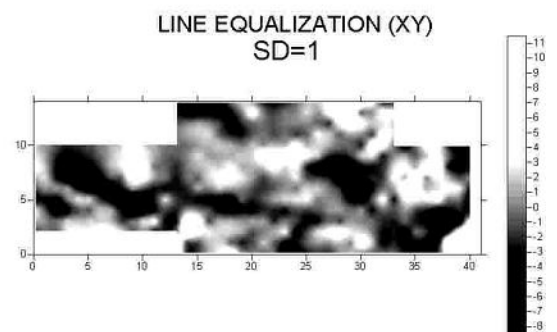
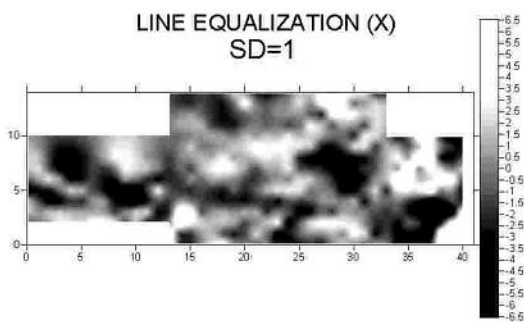
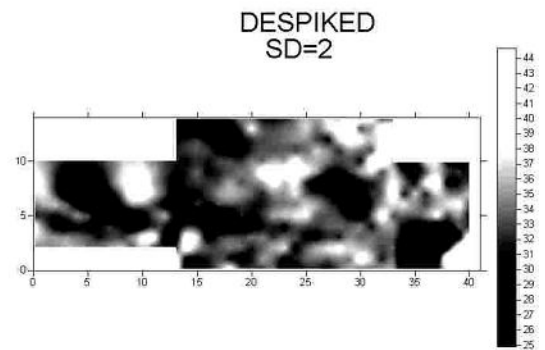
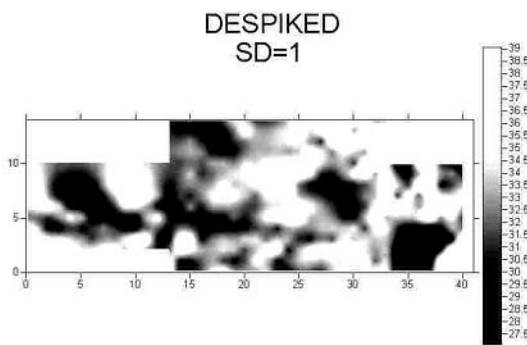
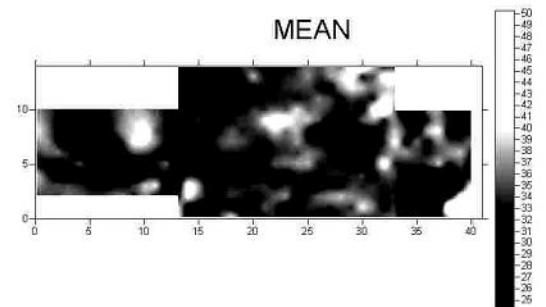
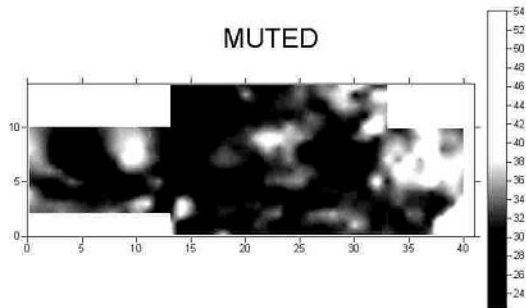
RAW DATA & DESPIKING  
MULTIPLEXER (d=1.5m)





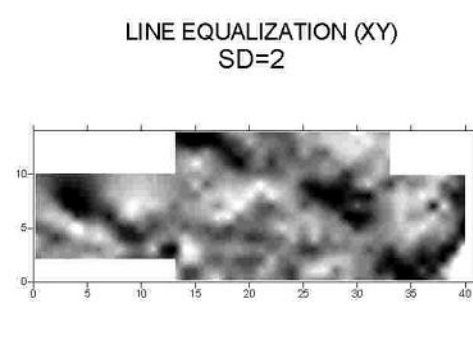
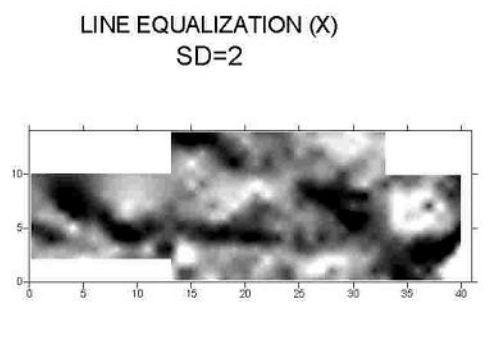
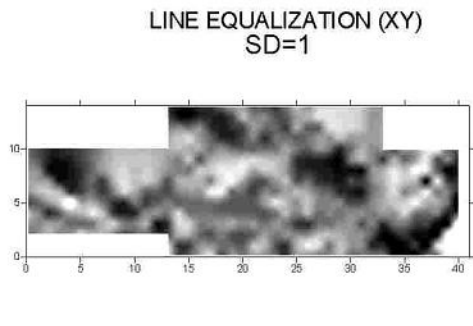
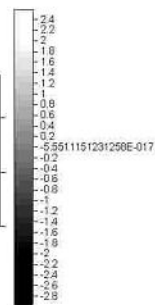
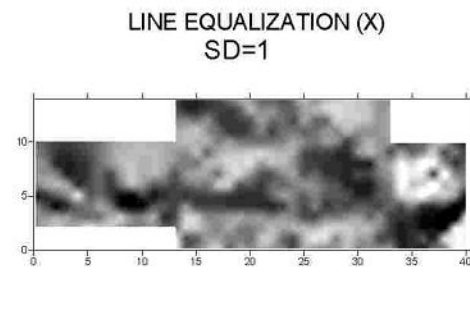
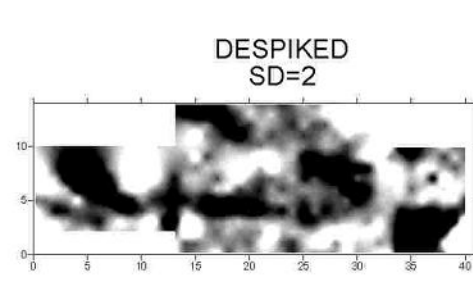
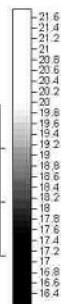
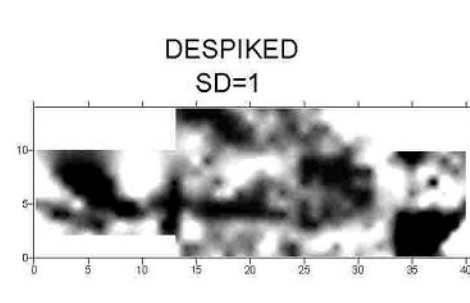
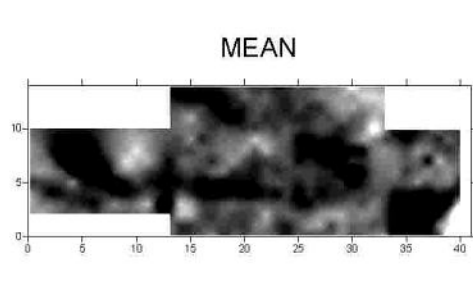
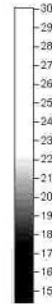
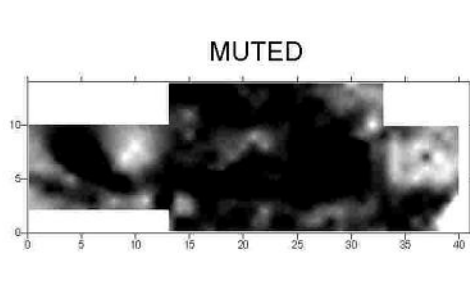
Για την περιοχή Ε, για βάθος 0.5 μέτρα:

AREA\_E MULTIPLEXER  
DEPTH=0.5



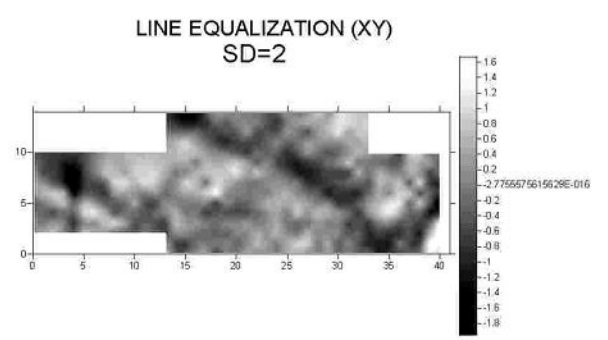
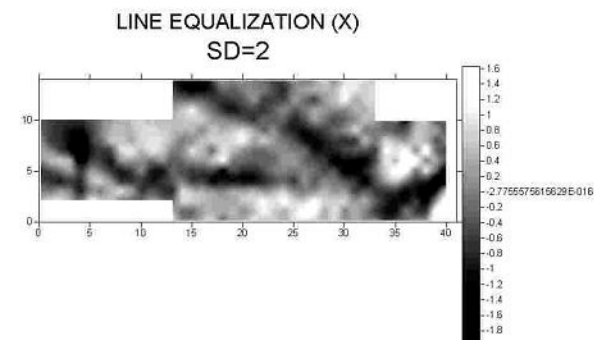
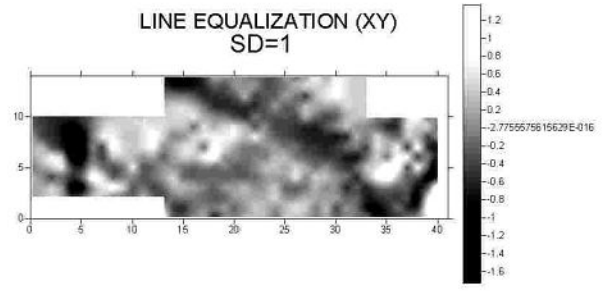
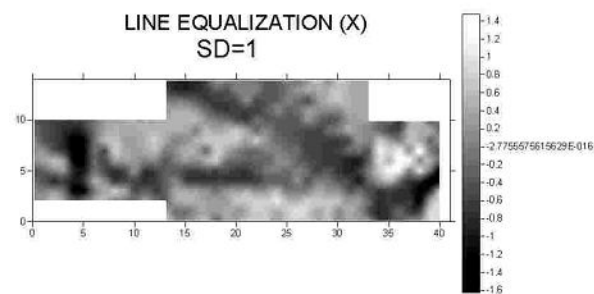
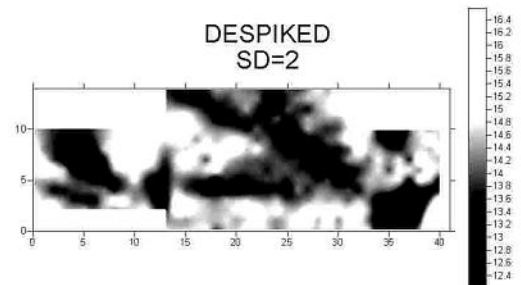
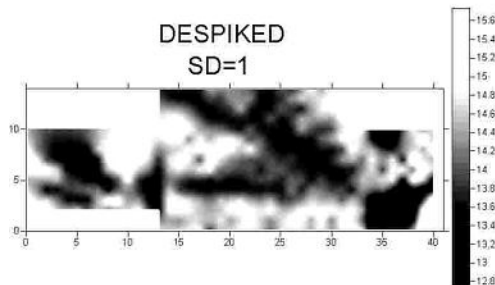
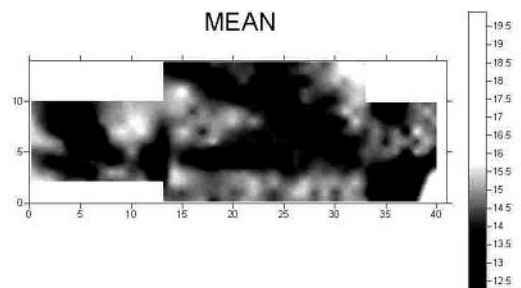
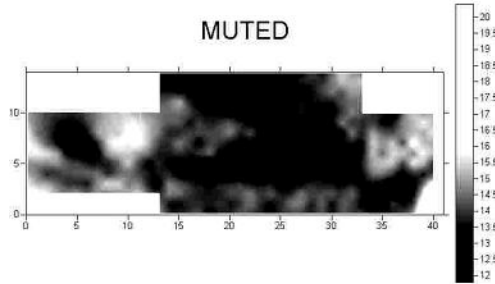
Για την περιοχή Ε, για βάθος 1 μέτρα:

AREA\_E MULTIPLEXER  
DEPTH=1



Για την περιοχή Ε, για βάθος 1.5 μέτρα:

AREA\_E MULTIPLEXER  
DEPTH=1.5



**SANCTUARY OF POSEIDON - POROS  
SOIL RESISTANCE SURVEY  
Mosaic of Geophysical Grids: AREA E**

POROS 2006

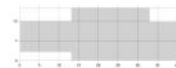
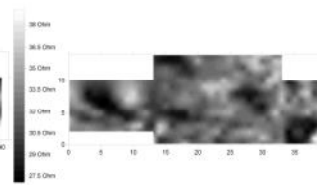
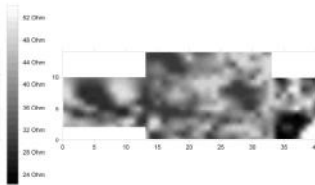
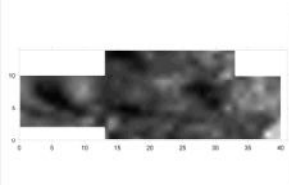
GEOPHYSICAL PROSPECTION  
RESEARCH PROGRAM

RAW DATA & DESPIKING  
MULTIPLEXER (d=0.5m)

RAW DATA

DESPIKING  
SD=1

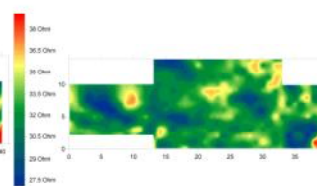
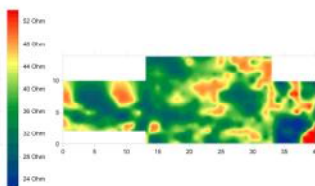
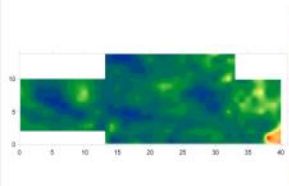
DESPIKING  
SD=2



RAW DATA

DESPIKING  
SD=1

DESPIKING  
SD=2



**SANCTUARY OF POSEIDON - POROS  
SOIL RESISTANCE SURVEY  
Mosaic of Geophysical Grids: AREA E**

POROS 2006

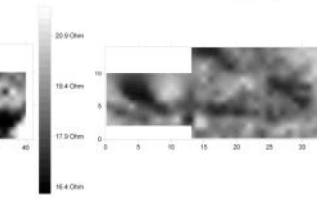
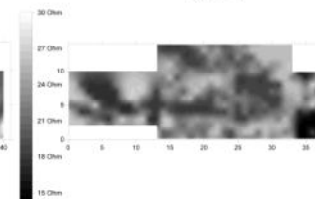
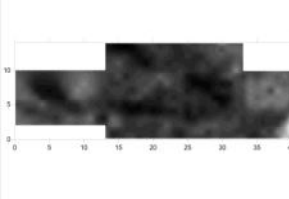
GEOPHYSICAL PROSPECTION  
RESEARCH PROGRAM

RAW DATA & DESPIKING  
MULTIPLEXER (d=1m)

RAW DATA

DESPIKING  
SD=1

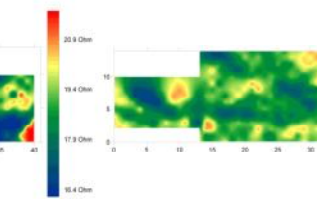
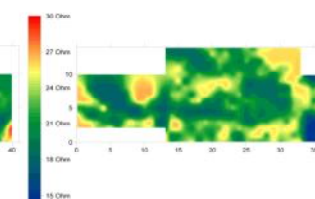
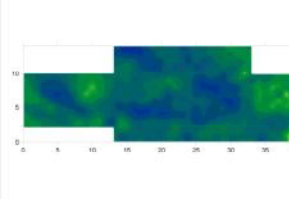
DESPIKING  
SD=2



RAW DATA

DESPIKING  
SD=1

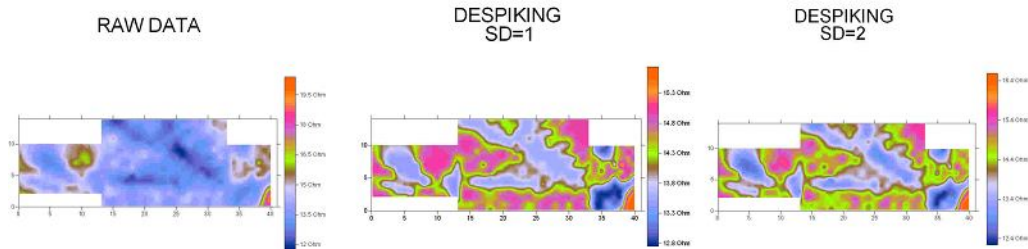
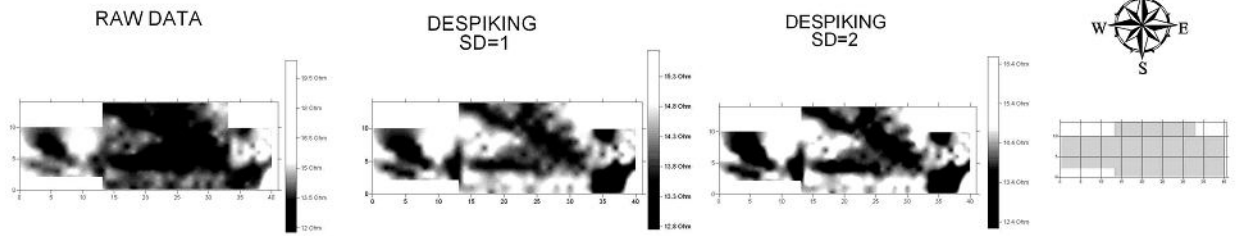
DESPIKING  
SD=2



SANCTUARY OF POSEIDON - POROS  
SOIL RESISTANCE SURVEY  
Mosaic of Geophysical Grids: AREA E

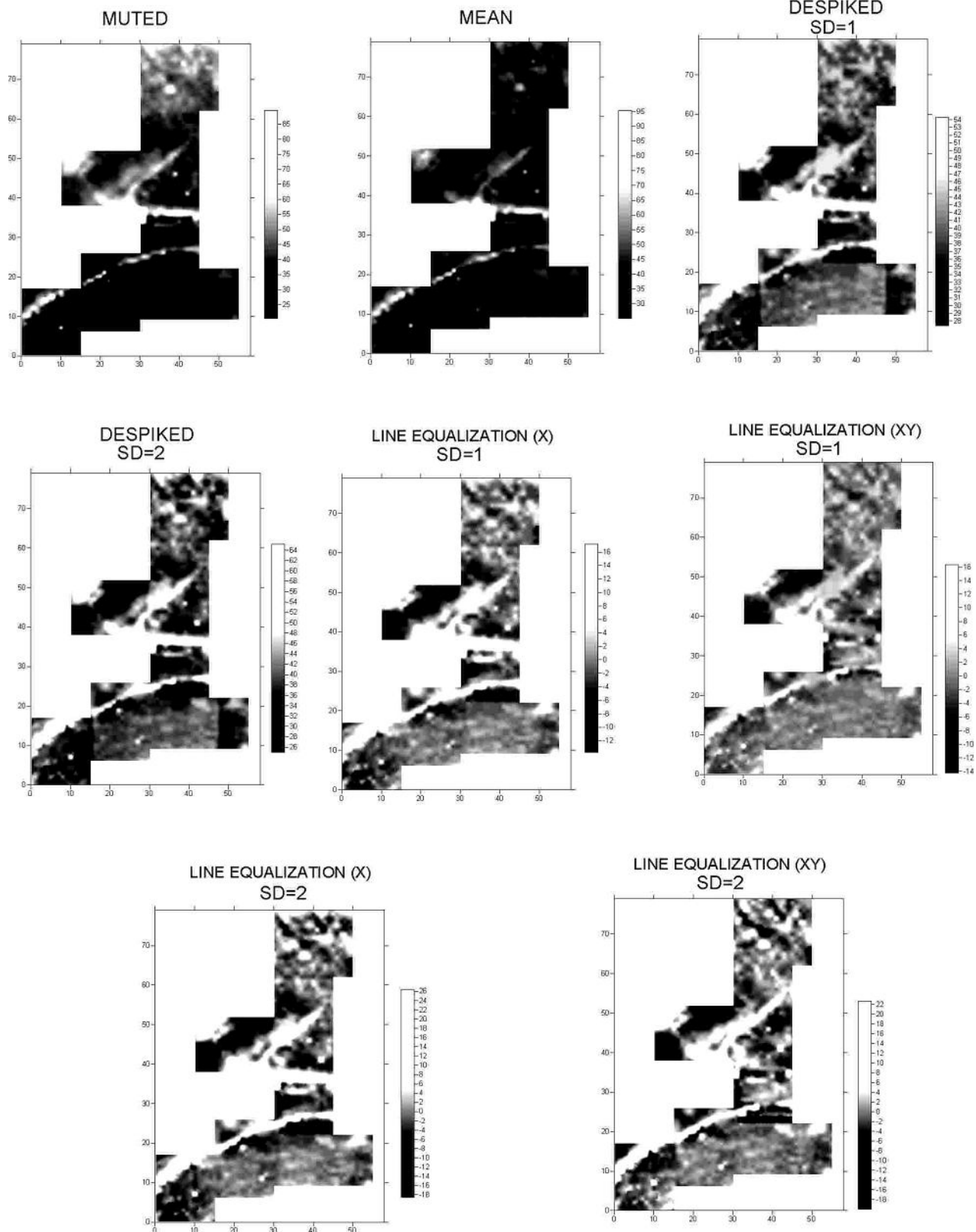
POROS 2006  
GEOPHYSICAL PROSPECTION  
RESEARCH PROGRAM

RAW DATA & DESPIKING  
MULTIPLEXER (d=1.5m)



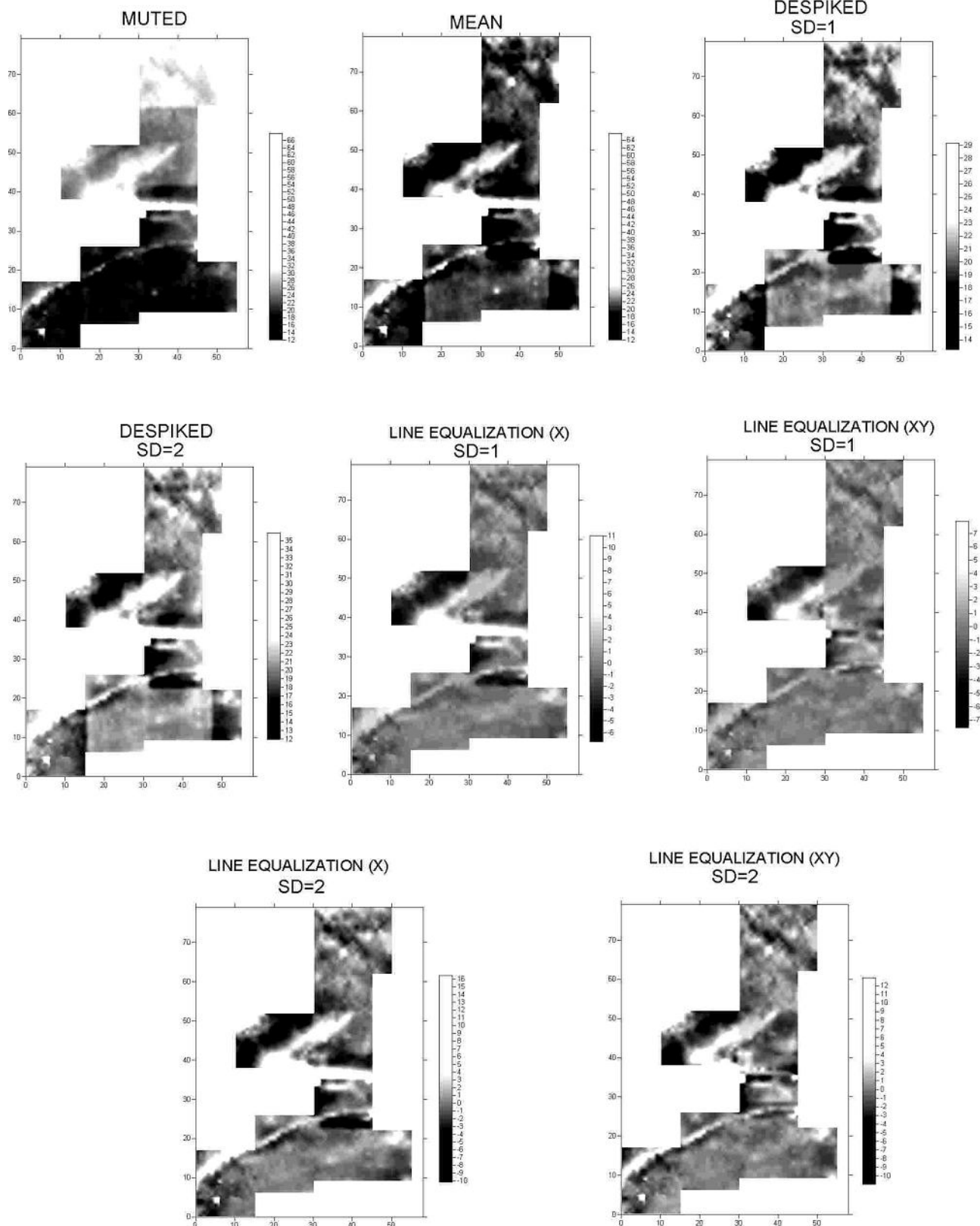
Για την περιοχή F, για βάθος 0.5 μέτρα:

AREA\_F MULTIPLEXER  
DEPTH=0.5



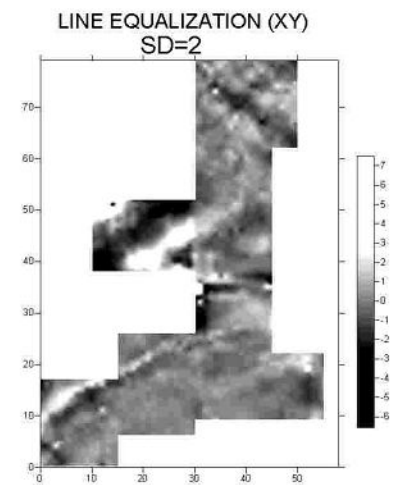
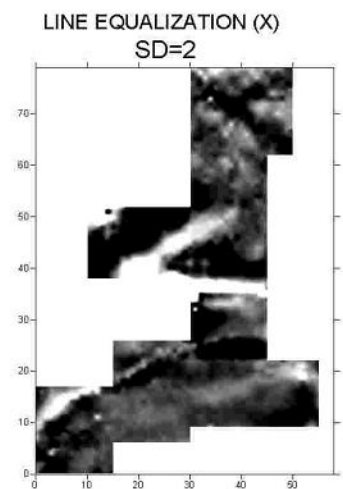
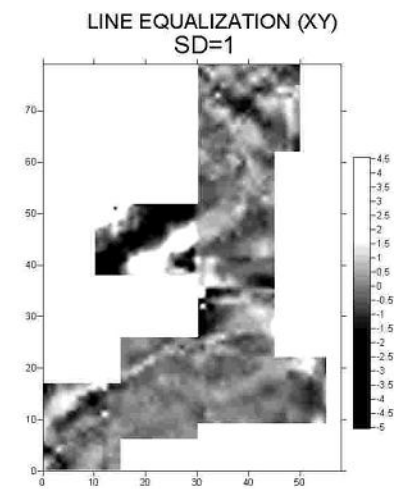
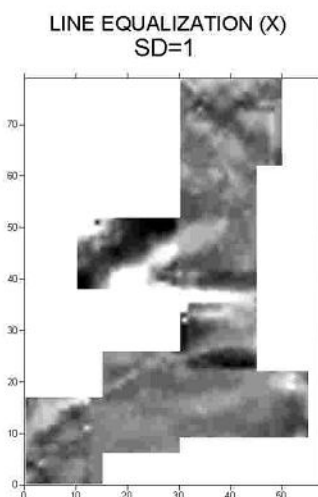
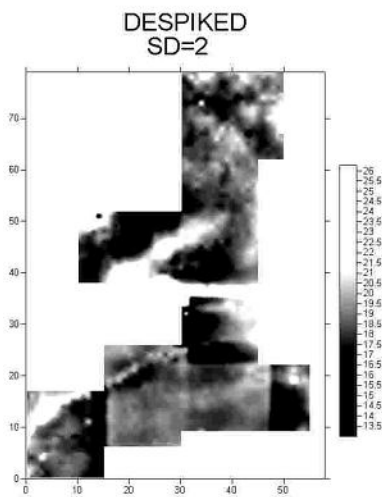
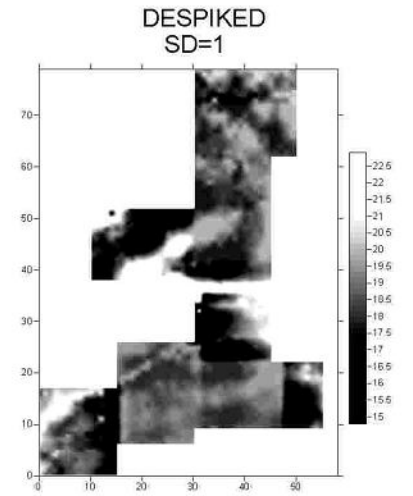
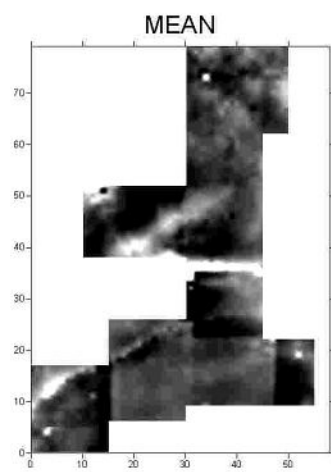
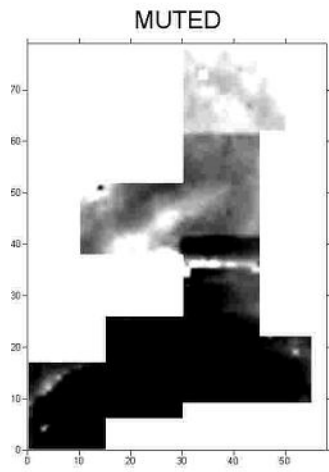
Για την περιοχή F, για βάθος 1 μέτρα:

AREA\_F MULTIPLEXER  
DEPTH=1



Για την περιοχή F, για βάθος 1.5 μέτρα:

AREA\_F MULTIPLEXER  
DEPTH=1.5

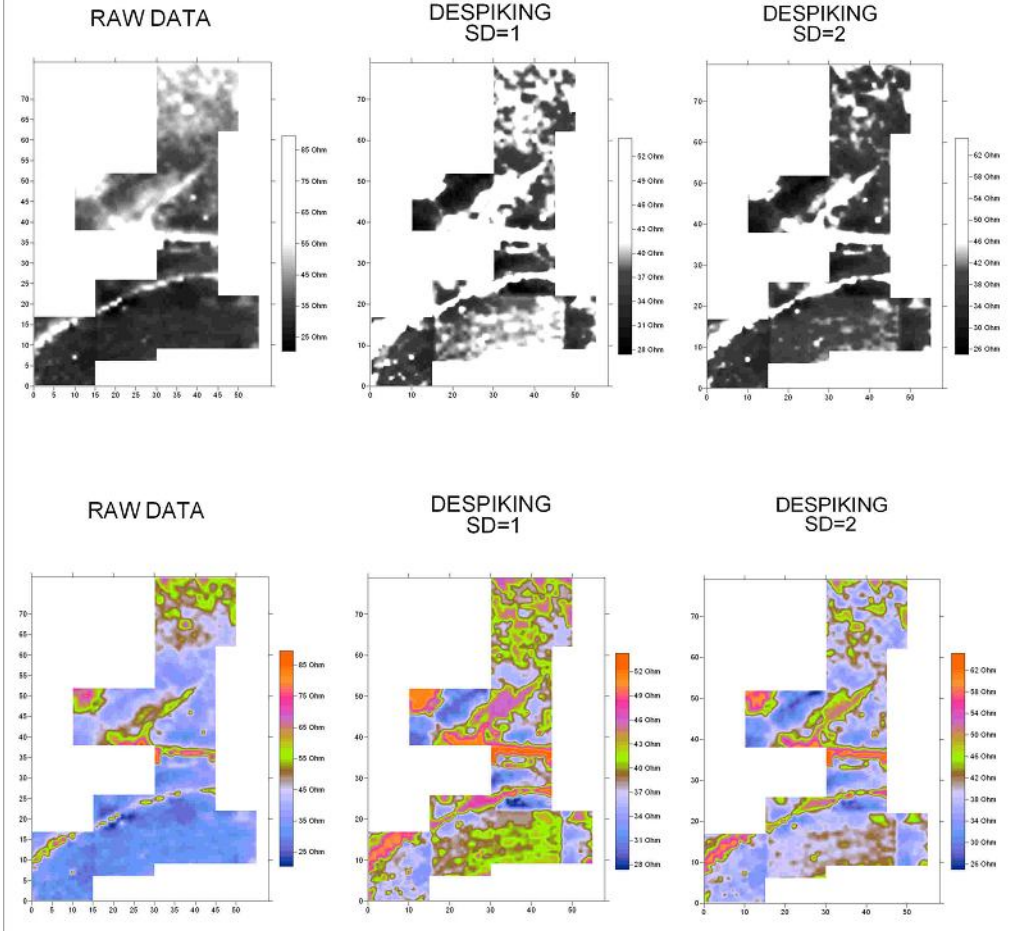




SANCTUARY OF POSEIDON - POROS  
 SOIL RESISTANCE SURVEY  
 Mosaic of Geophysical Grids: AREA F

POROS 2006  
 GEOPHYSICAL PROSPECTION  
 RESEARCH PROGRAM

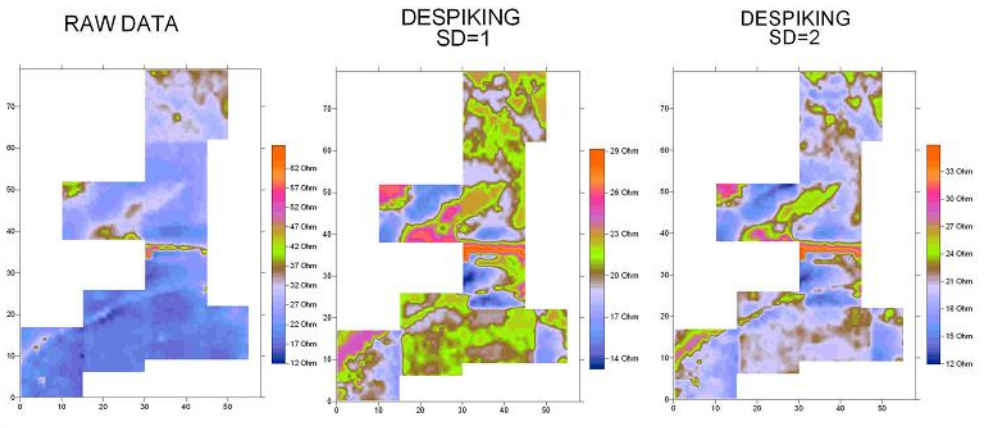
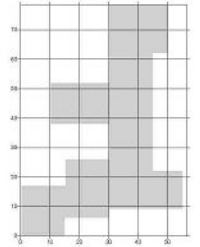
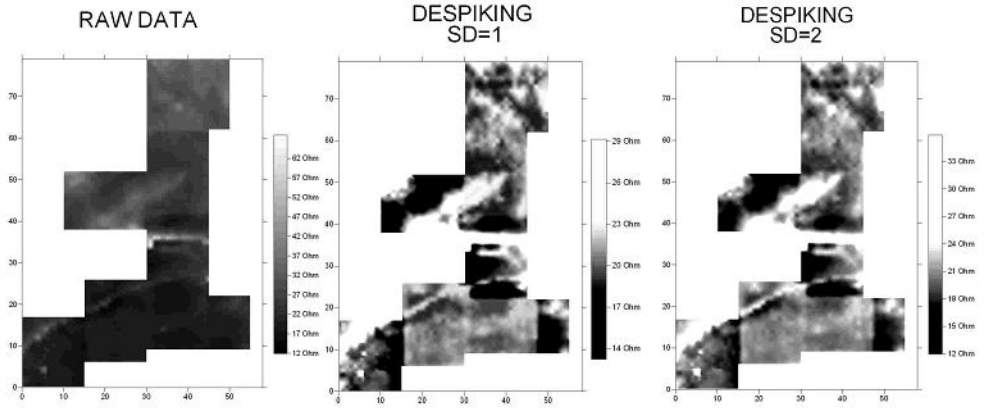
RAW DATA & DESPIKING  
 MULTIPLEXER (d=0.5m)



SANCTUARY OF POSEIDON - POROS  
 SOIL RESISTANCE SURVEY  
 Mosaic of Geophysical Grids: AREA F

POROS 2006  
 GEOPHYSICAL PROSPECTION  
 RESEARCH PROGRAM

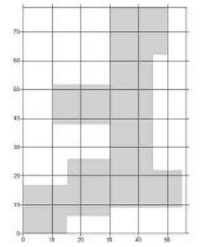
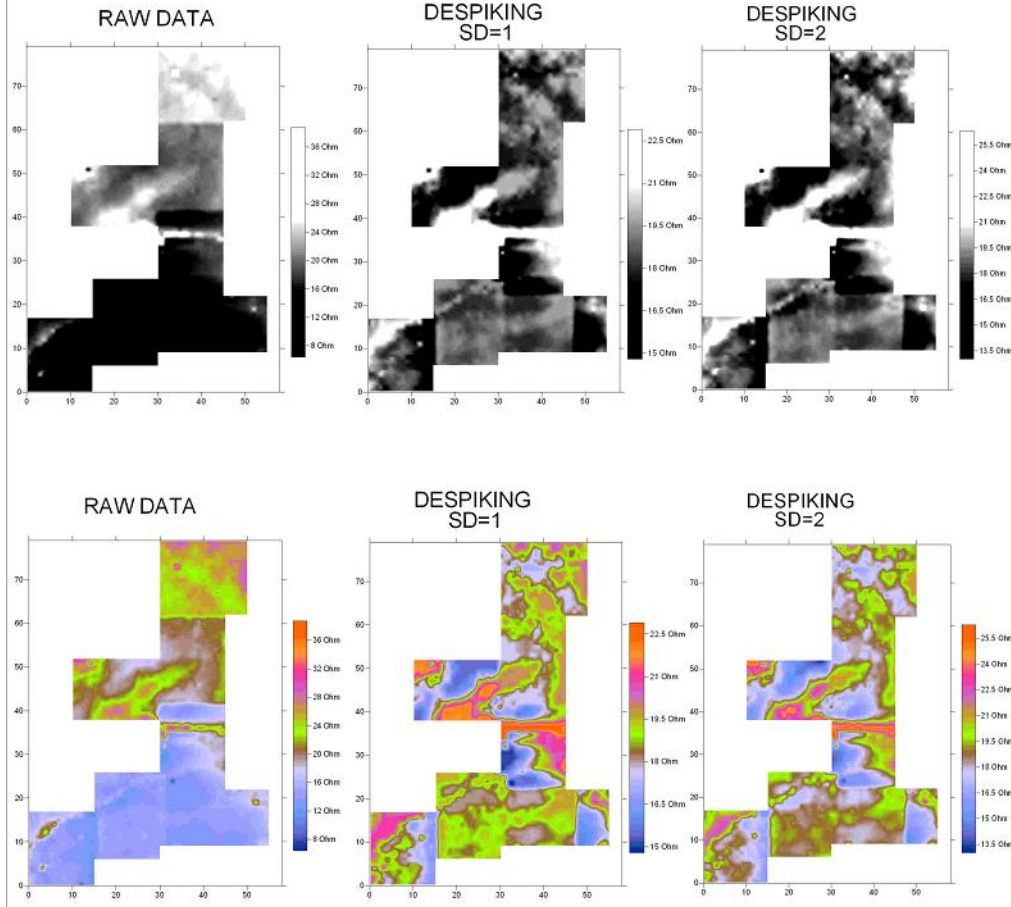
RAW DATA & DESPIKING  
 MULTIPLEXER (d=1m)



SANCTUARY OF POSEIDON - POROS  
SOIL RESISTANCE SURVEY  
Mosaic of Geophysical Grids: AREA F

POROS 2006  
GEOPHYSICAL PROSPECTION  
RESEARCH PROGRAM

RAW DATA & DESPIKING  
MULTIPLEXER (d=1.5m)



## **4. ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΙΕΡΟ ΤΟΥ ΠΟΣΕΙΔΩΝΑ ΣΤΟ ΠΟΡΟ**

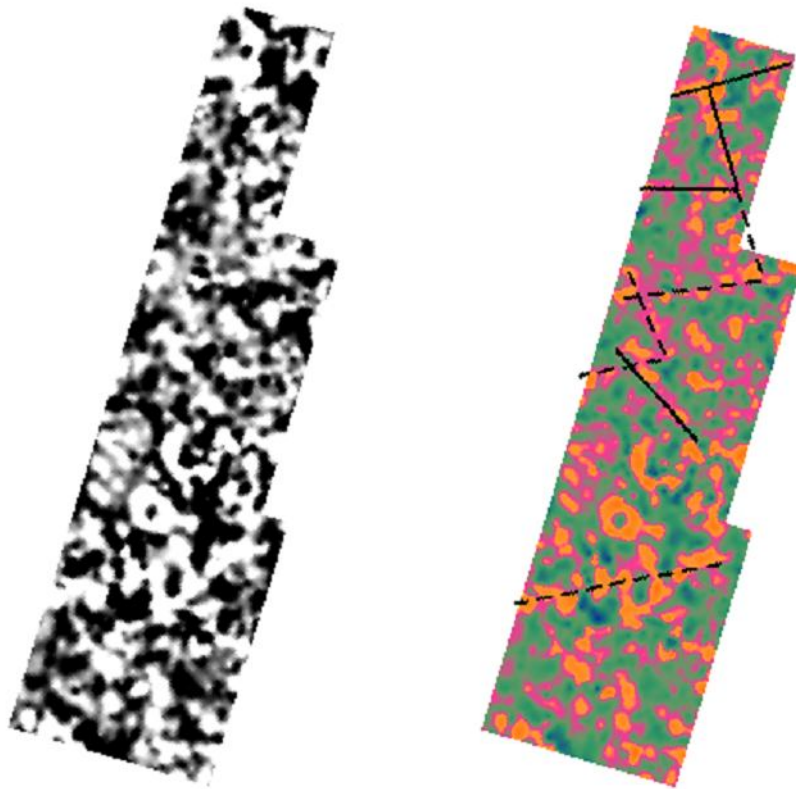
### **4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζεται η ερμηνεία των γεωφυσικών δεδομένων από την έρευνα στο ιερό του ποσειδώνα στο Πόρο.

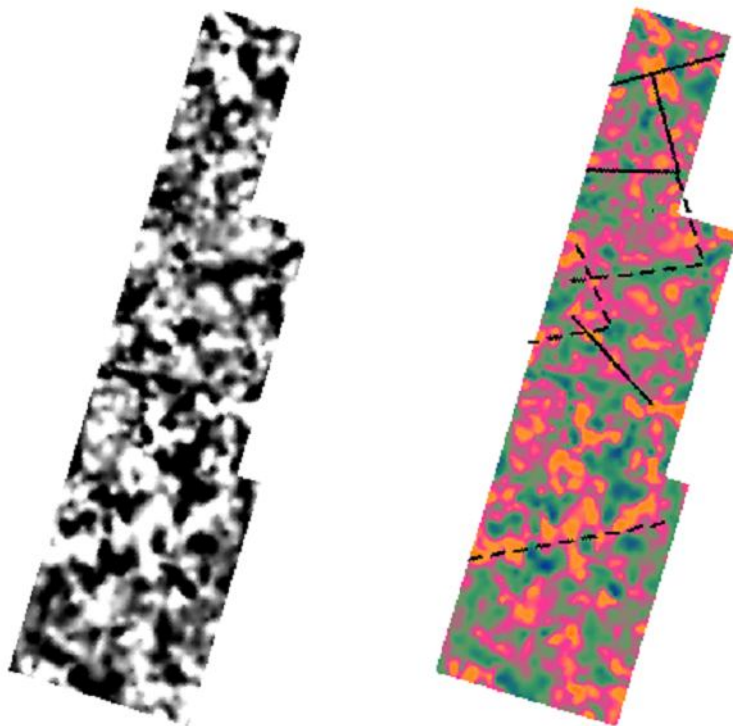
### **4.2 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΟΥ GIS**

Οι χάρτες που ακολουθούν έχουν προκύψει από επεξεργασία των παραπάνω χαρτών με την βοήθεια του προγράμματος GIS (Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών). Καταρχήν χρησιμοποιήθηκαν οι χάρτες του τελευταίου επιπέδου επεξεργασίας (line equalization y). Αφαιρέθηκαν οι χρωματικές κλίμακες και οι άξονες. Στην συνέχεια ο κάθε χάρτης αποθηκεύτηκε σαν εικόνα. Στην συνέχεια με την βοήθεια του arc map ενός πολύ χρήσιμου εργαλείου του GIS και χρησιμοποιώντας σαν βάση τον τοπογραφικό χάρτη του Ιερού του Ποσειδώνα έγινε γεωαναφορά καθενός από τους χάρτες. Τέλος έγινε γεωαναφορά, δηλαδή όλοι οι χάρτες τοποθετήθηκαν πάνω στον αρχικό και εντοπίστηκαν πάνω σ' αυτούς όλες τις ανωμαλίες που προέκυψαν από την εφαρμογή των γεωφυσικών μεθόδων (μαγνητικών και ηλεκτρικών).

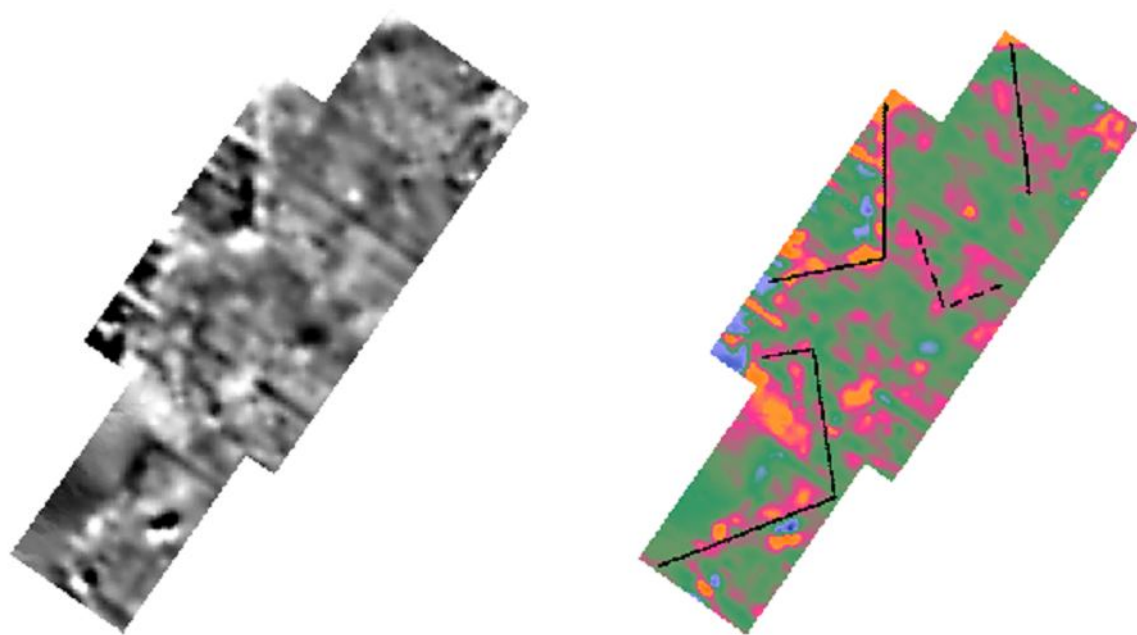
Στους χάρτες που ακολουθούν (με αρίθμηση από 1 – 8) παρουσιάζεται η επεξεργασία σε ARCGIS για κάθε μέθοδο χωριστά (σε έγχρωμη και ασπρόμαυρη κλίμακα) και εντοπίζονται τα σημαντικότερα ευρήματα. Στην συνέχεια παρατίθενται οι χάρτες από το τελευταίο επίπεδο επεξεργασίας με την ερμηνεία και τέλος οι συνδυαστικοί χάρτες.



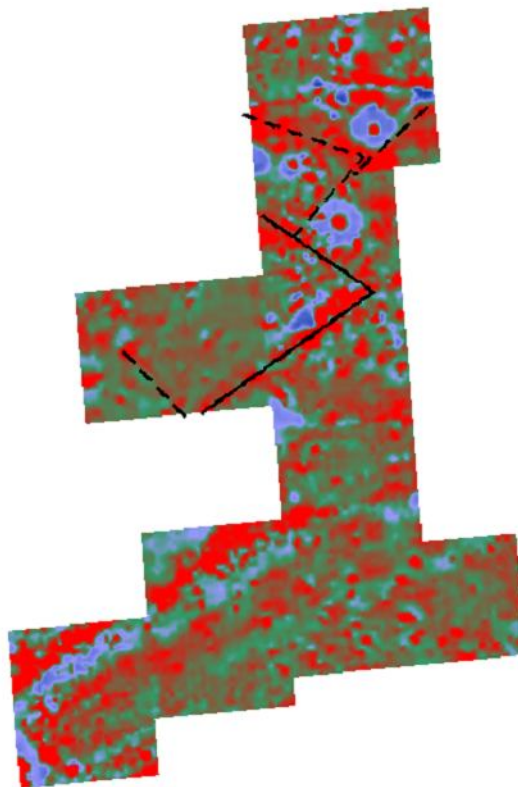
**Χάρτης 1: Area D FM256 magnetics, BW and COLOUR scale**



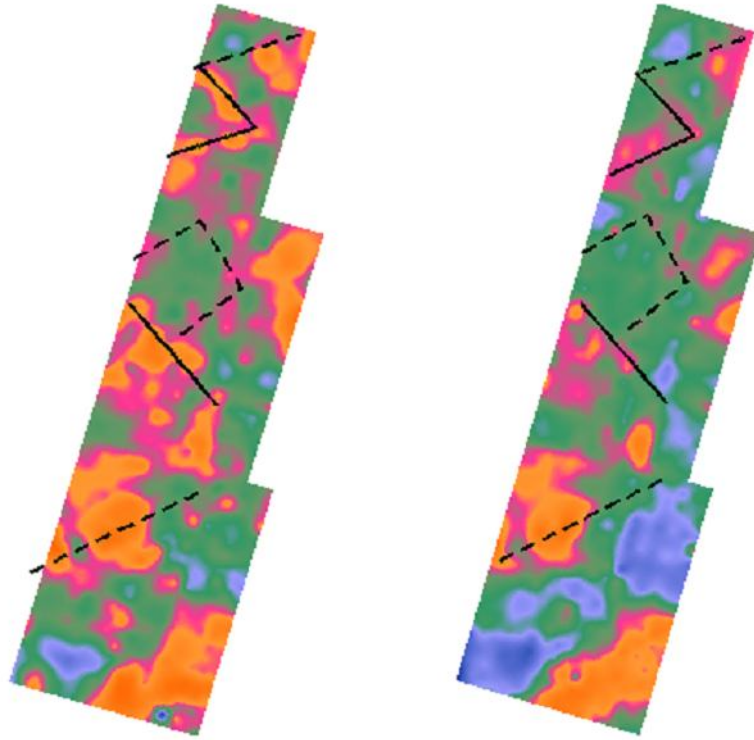
**Χάρτης 2: Area D GRAD601 magnetics, BW and COLOUR scal**



**Χάρτης 3: Area E GRAD601 magnetics, BW and COLOUR scale**

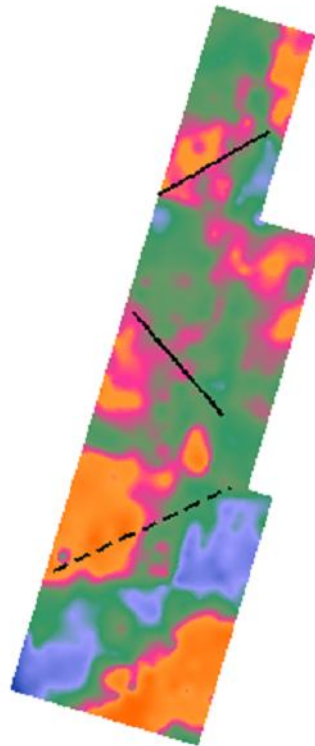


**Χάρτης 4: Area F GRAD601 magnetics, BW and COLOUR scale**



(a)

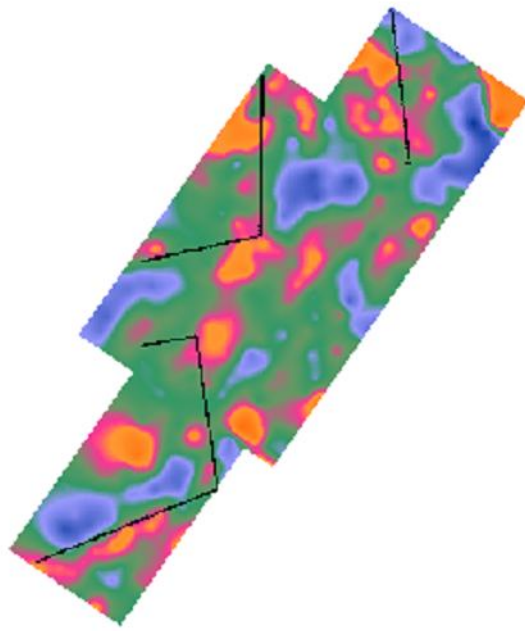
(b)



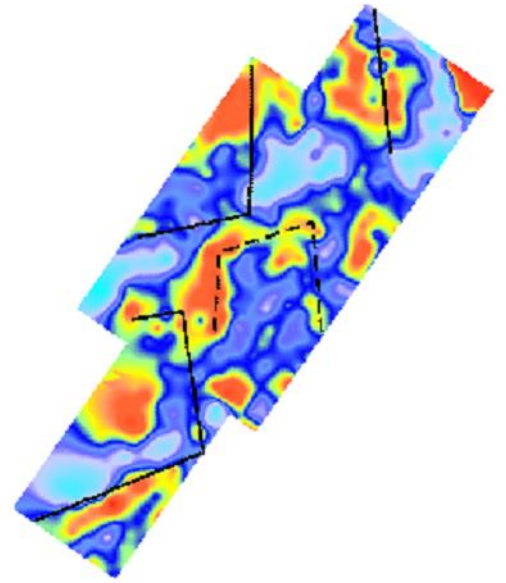
(c)

**Χάρτης 5: Area D MULTIPLEXER (a)  $d=0.5$  m, (b)  $d=1.0$  m, (c)  $d=1.5$  m COLOUR scale**

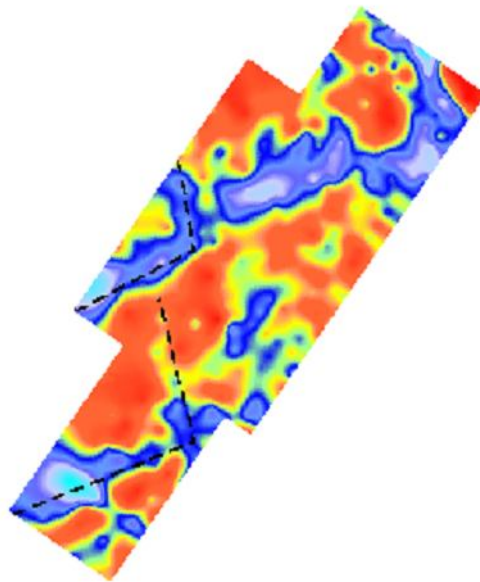




(a)

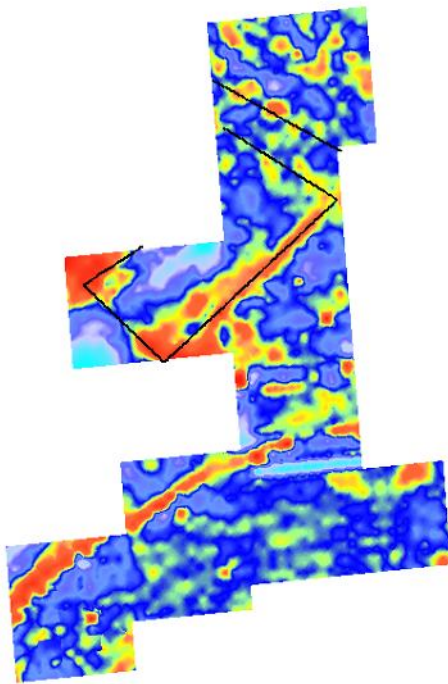


(b)



(c)

**Χάρτης 6: Area E MULTIPLEXER (a)  $d=0.5$  m, (b)  $d=1.0$  m, (c)  $d=1.5$  m, COLOUR scale**



**Χάρτης 7: Area F MULTIPLEXER d=0.5 COLOUR scale**



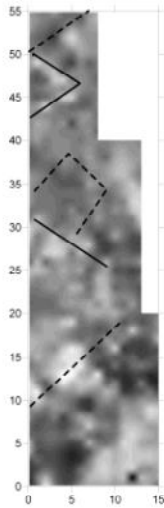
**Χάρτης 8: Area F MULTIPLEXER d=1.5 BW scale**

**SANCTUARY OF POSEIDON - POROS  
SOIL RESISTANCE SURVEY  
Mosaic of Geophysical Grids: AREA D**

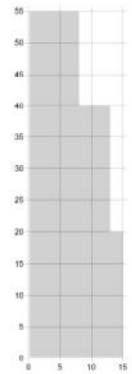
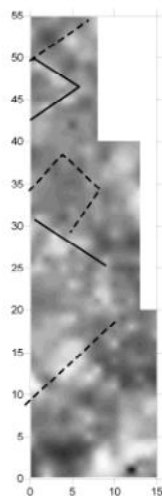
**POROS 2006  
GEOPHYSICAL PROSPECTION  
RESEARCH PROGRAM**

LINE EQUALIZATION (XY)  
MULTIPLEXER (d=0.5m)

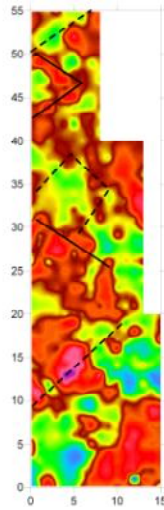
LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=1



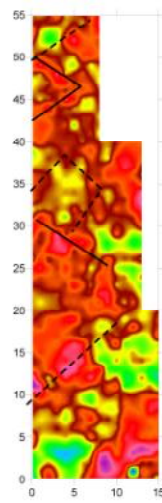
LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=2



LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=1



LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=2

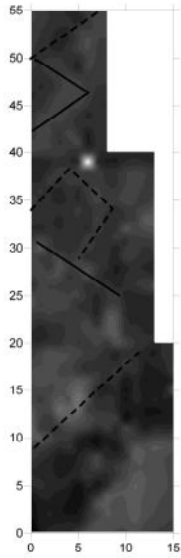


**SANCTUARY OF POSEIDON - POROS  
SOIL RESISTANCE SURVEY  
Mosaic of Geophysical Grids: AREA D**

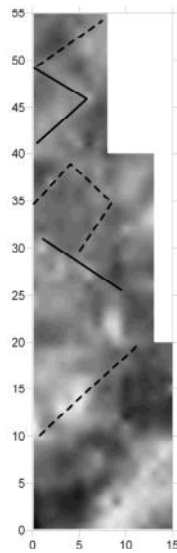
**POROS 2006  
GEOPHYSICAL PROSPECTION  
RESEARCH PROGRAM**

LINE EQUALIZATION (XY)  
MULTIPLEXER (d=1m)

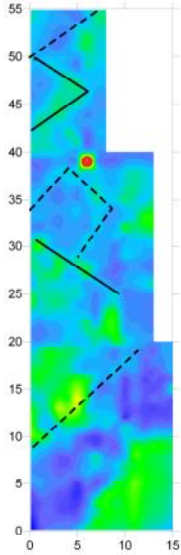
LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=1



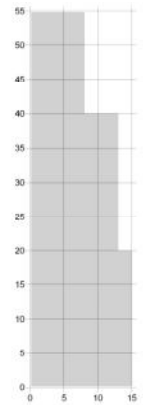
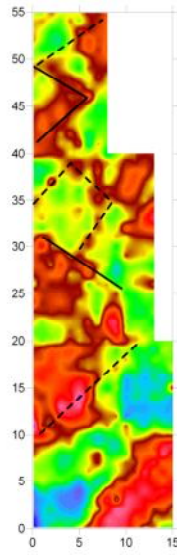
LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=2



LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=1



LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=2

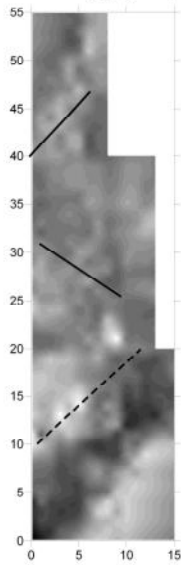


**SANCTUARY OF POSEIDON - POROS  
SOIL RESISTANCE SURVEY  
Mosaic of Geophysical Grids: AREA D**

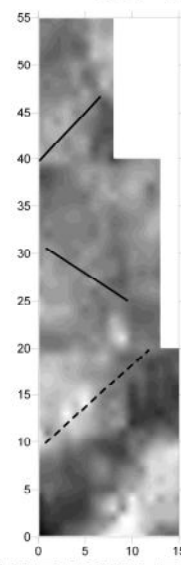
**POROS 2006  
GEOPHYSICAL PROSPECTION  
RESEARCH PROGRAM**

LINE EQUALIZATION (XY)  
MULTIPLEXER (d=1.5m)

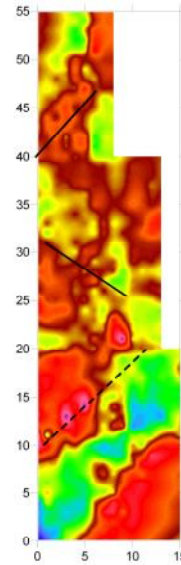
LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=1



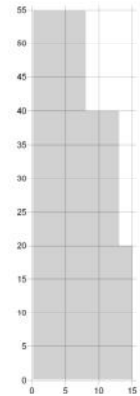
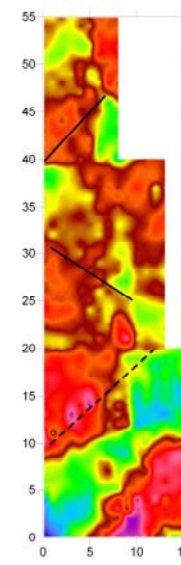
LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=2



LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=1



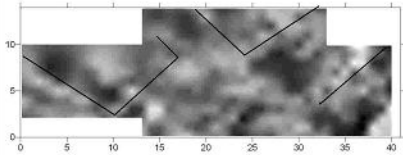
LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=2



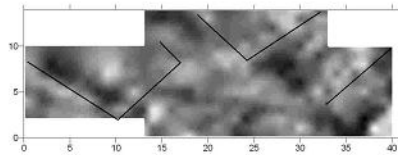
SANCTUARY OF POSEIDON - POROS  
SOIL RESISTANCE SURVEY  
Mosaic of Geophysical Grids: AREA E

LINE EQUALIZATION (XY)  
MULTIPLEXER (d=0.5m)

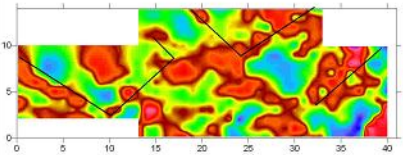
LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=1



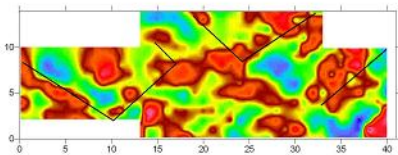
LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=2



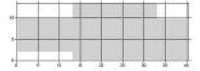
LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=1



LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=2



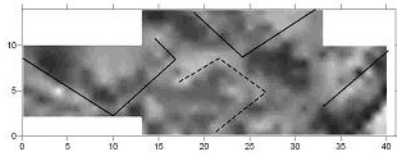
POROS 2006  
GEOPHYSICAL PROSPECTION  
RESEARCH PROGRAM



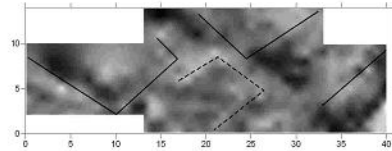
SANCTUARY OF POSEIDON - POROS  
SOIL RESISTANCE SURVEY  
Mosaic of Geophysical Grids: AREA E

LINE EQUALIZATION (XY)  
MULTIPLEXER (d=1m)

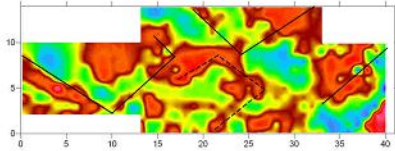
LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=1



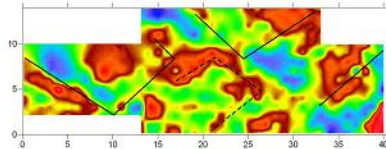
LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=2



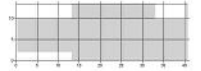
LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=1



LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=2



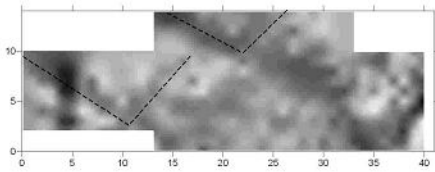
POROS 2006  
GEOPHYSICAL PROSPECTION  
RESEARCH PROGRAM



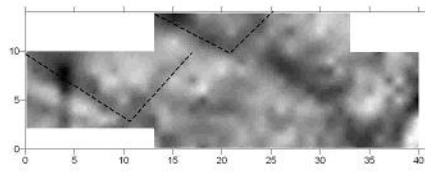
SANCTUARY OF POSEIDON - POROS  
SOIL RESISTANCE SURVEY  
Mosaic of Geophysical Grids: AREA E

LINE EQUALIZATION (XY)  
MULTIPLEXER (d=1.5m)

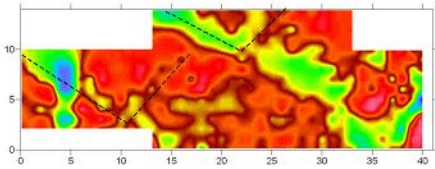
LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=1



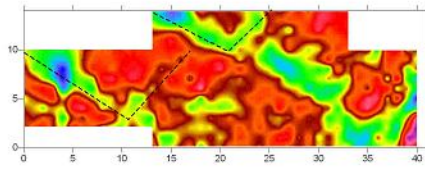
LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=2



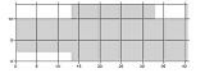
LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=1



LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=2



POROS 2006  
GEOPHYSICAL PROSPECTION  
RESEARCH PROGRAM



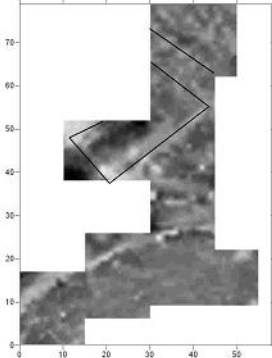


SANCTUARY OF POSEIDON - POROS  
SOIL RESISTANCE SURVEY  
Mosaic of Geophysical Grids: AREA F

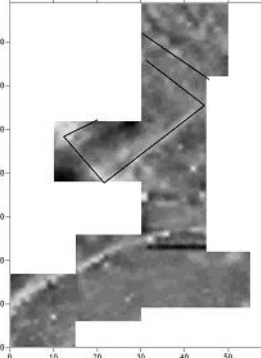
POROS 2006  
GEOPHYSICAL PROSPECTION  
RESEARCH PROGRAM

LINE EQUALIZATION (XY)  
MULTIPLEXER (d=0.5m)

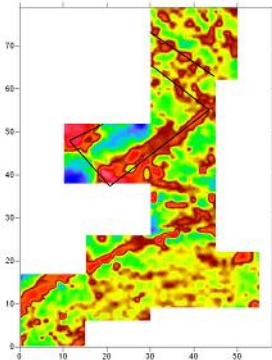
LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=1



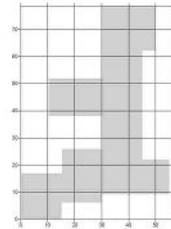
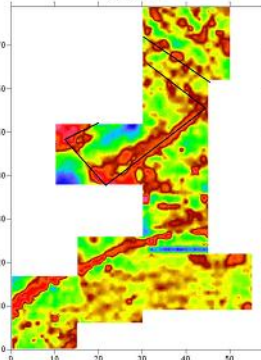
LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=2



LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=1



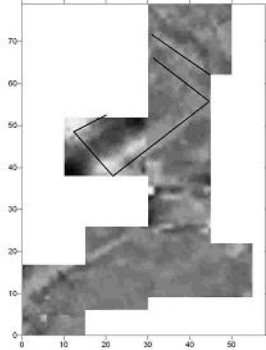
LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=2



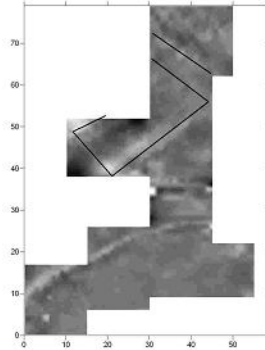
SANCTUARY OF POSEIDON - POROS  
SOIL RESISTANCE SURVEY  
Mosaic of Geophysical Grids: AREA F

LINE EQUALIZATION (XY)  
MULTIPLEXER (d=1m)

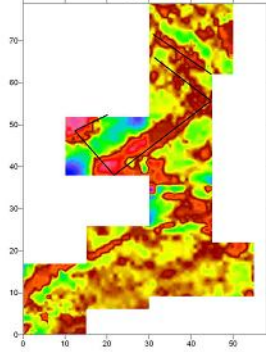
LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=1



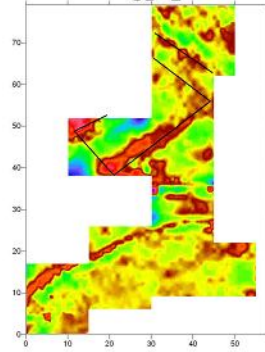
LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=2



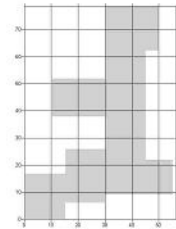
LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=1



LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=2



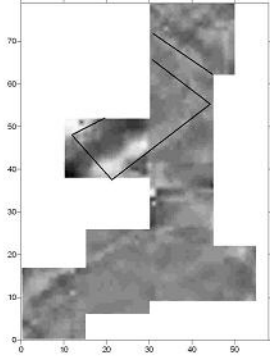
POROS 2006  
GEOPHYSICAL PROSPECTION  
RESEARCH PROGRAM



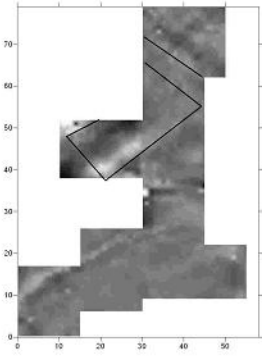
SANCTUARY OF POSEIDON - POROS  
SOIL RESISTANCE SURVEY  
Mosaic of Geophysical Grids: AREA F

LINE EQUALIZATION (XY)  
MULTIPLEXER (d=1.5m)

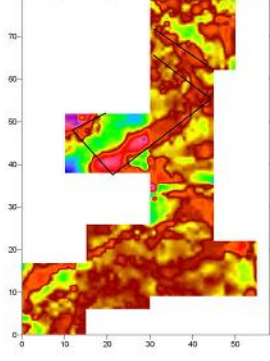
LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=1



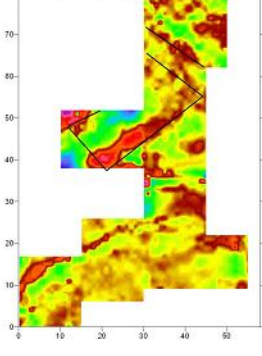
LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=2



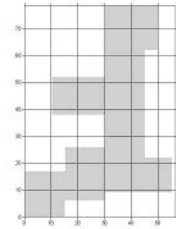
LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=1



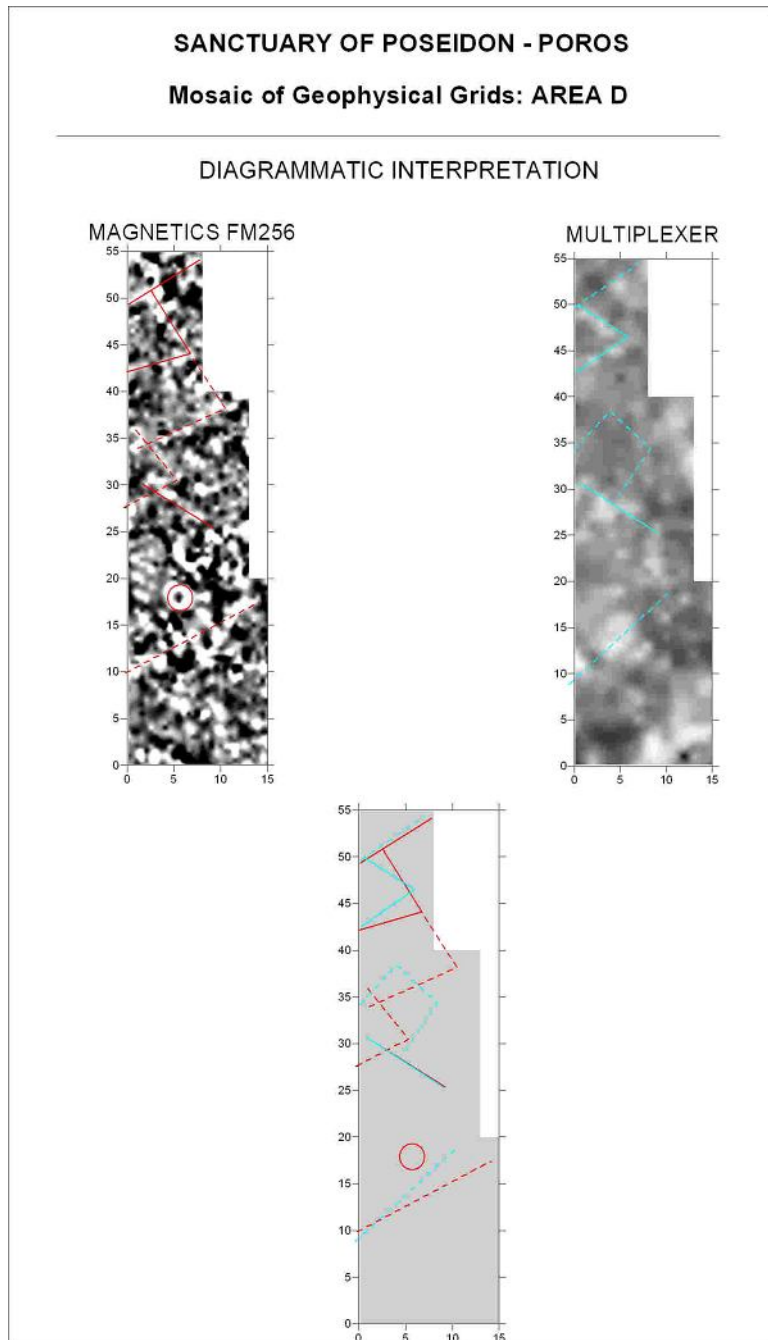
LINE EQUALIZATION (XY)  
SD=2



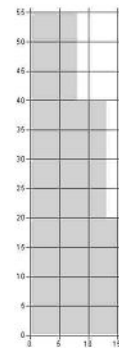
POROS 2006  
GEOPHYSICAL PROSPECTION  
RESEARCH PROGRAM



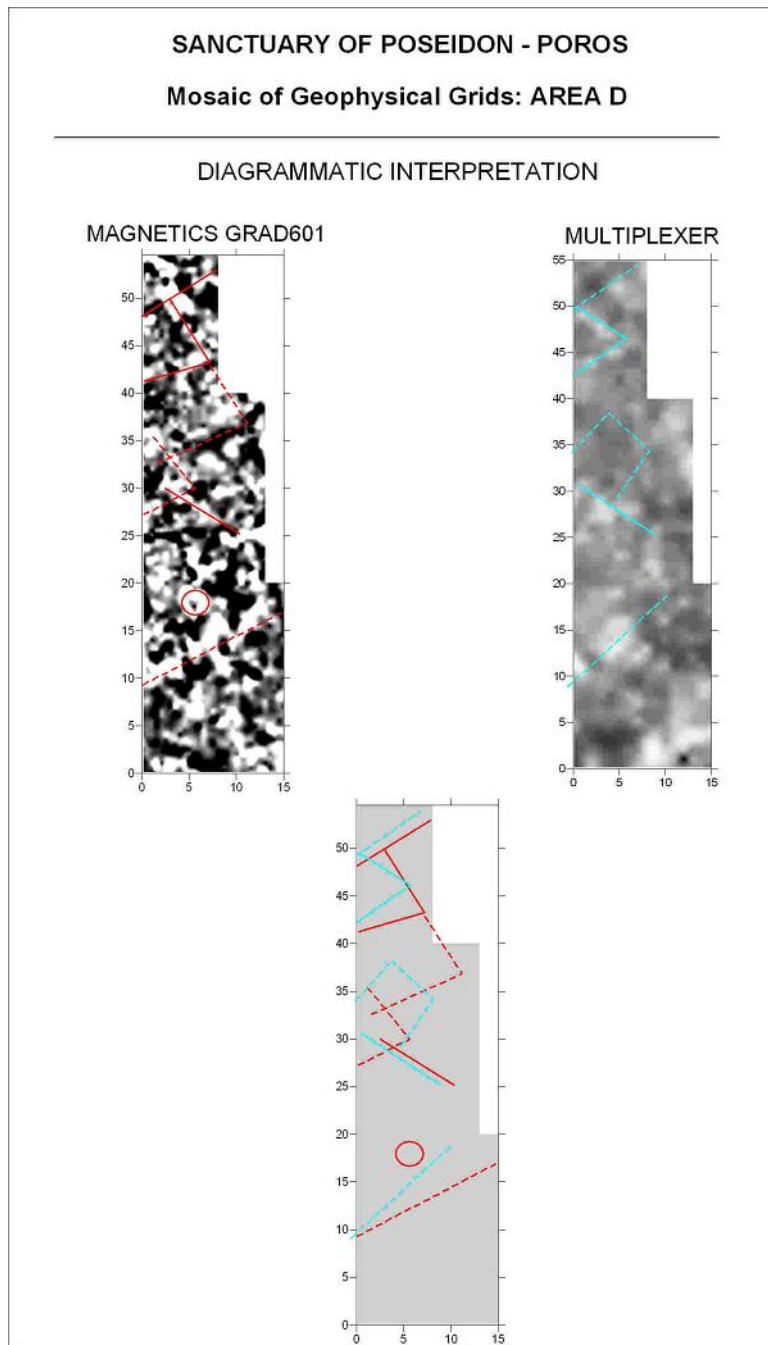
Διαγραμματική ερμηνεία των μαγνητικών και ηλεκτρικών δεδομένων της περιοχής D (μαγνητόμετρο FM256).



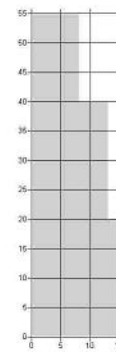
**POROS 2006**  
**GEOPHYSICAL PROSPECTION**  
**RESEARCH PROGRAM**



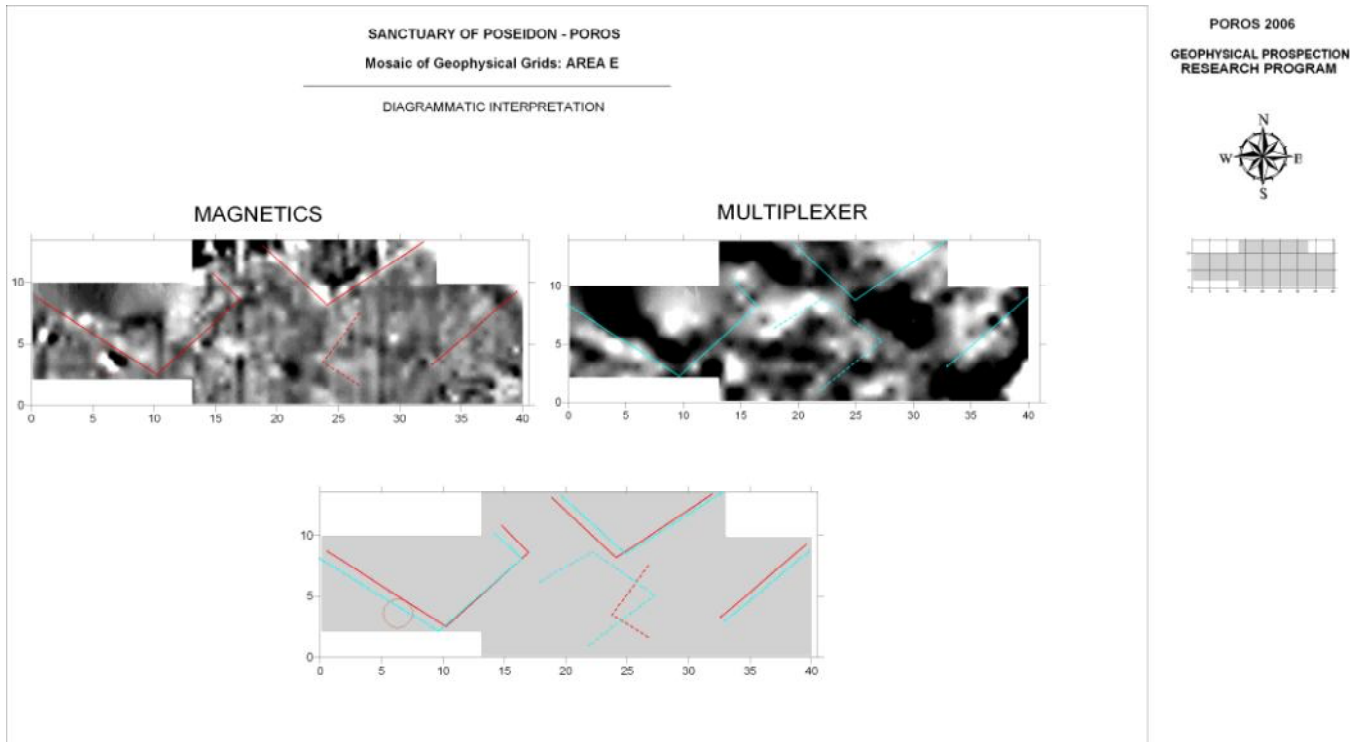
**Διαγραμματική ερμηνεία των μαγνητικών και ηλεκτρικών δεδομένων της περιοχής D (μαγνητόμετρο GRAD601).**



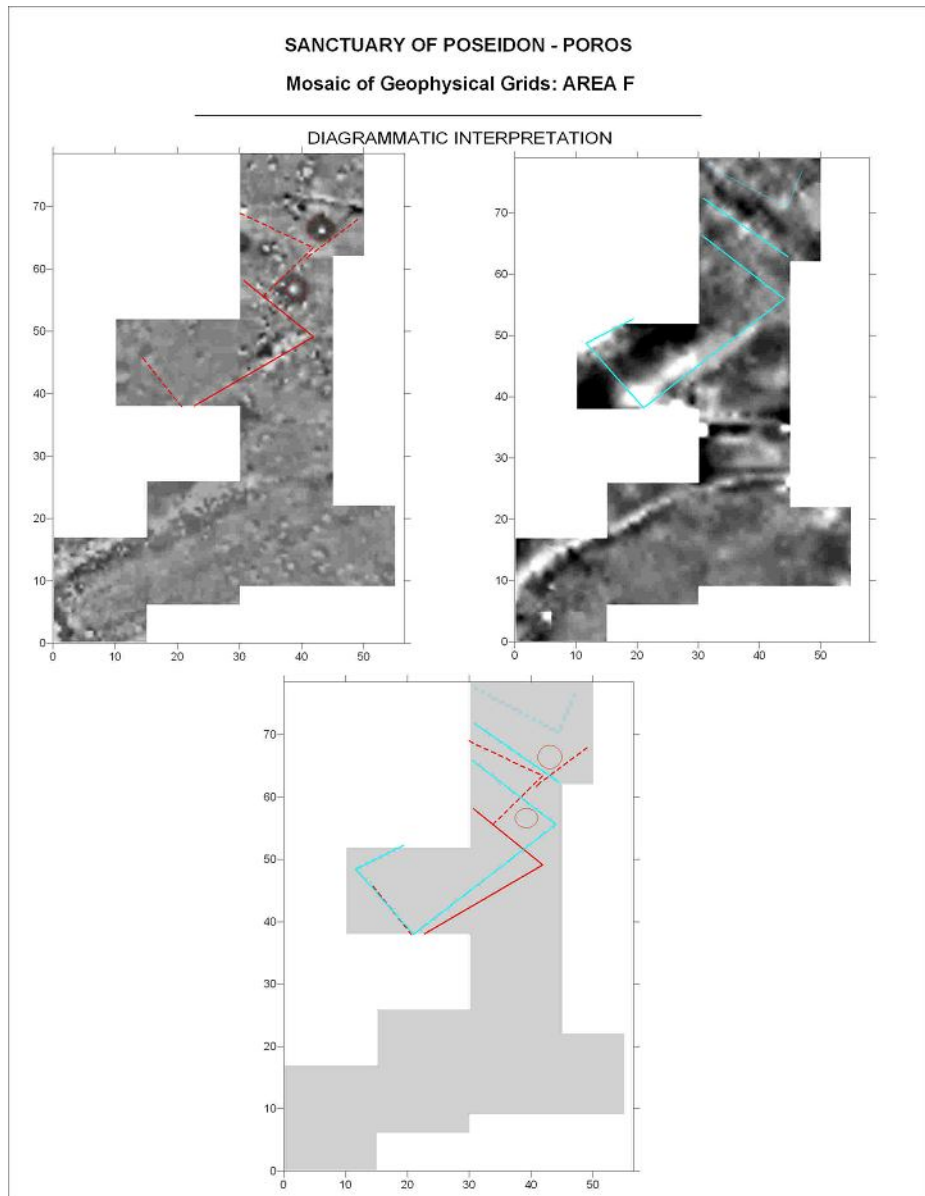
**POROS 2006**  
**GEOPHYSICAL PROSPECTION**  
**RESEARCH PROGRAM**



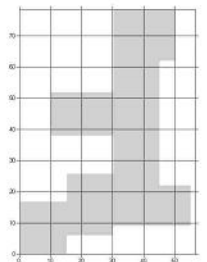
## Διαγραμματική ερμηνεία των μαγνητικών και ηλεκτρικών δεδομένων της περιοχής Ε.



## Διαγραμματική ερμηνεία των μαγνητικών και ηλεκτρικών δεδομένων της περιοχής F.



**POROS 2006**  
**GEOPHYSICAL PROSPECTION**  
**RESEARCH PROGRAM**



## Τελικοί χάρτες για όλα τα στάδια επεξεργασίας όλων των περιοχών.





## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### 5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα παράγραφο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την γεωφυσική χαρτογράφηση του έτους 2006 στον αρχαιολογικό χώρο του Ιερού του Ποσειδώνα στη νήσο Πόρος.

### 5.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Σε γενικές γραμμές η γεωφυσική χαρτογράφηση (με την μαγνητική, ηλεκτρομαγνητική και ηλεκτρική μέθοδο) στον αρχαιολογικό χώρο του Ιερού του Ποσειδώνα παρουσιάζει μικρότερες δυσκολίες σε σχέση με άλλες περιοχές. Πηγές θορύβου για την περιοχή αποτέλεσαν τα συρματοπλέγματα, τα διάσπαρτα μεταλλικά αντικείμενα και το καλλιεργημένο έδαφος).
- Από τη μελέτη των χαρτών στο σύνολό τους προκύπτει παρουσία αρχαιολογικών ευρημάτων σε βάθος μεγαλύτερο του μισού μέτρου.
- Η περιοχή F παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον λόγω των σημαντικών ευρημάτων, η περιοχή E επίσης εμφανίζει αρκετό ενδιαφέρον ενώ η περιοχή D παρουσιάζει την πιο ασαφή εικόνα.

## 6. 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 Έρευνα 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 Atheniensi*, Volume 28, p.29-87, (2003), *Investigations in the Sanctuary of Poseidon on Kalaureia, 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.