



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ- ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Εφαρμογή Γεωφυσικών Μεθόδων για τον Εντοπισμό
Ενταφιασμένων Αρχαιοτήτων στην Περιοχή Κερατέας Αττικής



Καραλής Πέτρος

Επιβλέπων: Γ. Αποστολόπουλος
Επικ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2011

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του δέκατου εξαμήνου σπουδών στη σχολή Μηχανικών Μεταλλείων- Μεταλλουργών του Ε.Μ.Π. Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέλαβαν στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας με το καλύτερο δυνατό τρόπο. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω:

Τον υπεύθυνο της διπλωματικής μου εργασίας, Επίκουρο Καθηγητή του Τομέα Μεταλλευτικής της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων- Μεταλλουργών κ. Αποστολόπουλο Γεώργιο, για την εμπιστοσύνη για την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος και μαζί με τον Γεωφυσικό κ. Αμολοχίτη Γεώργιο, μέλος Ε.Ε.ΔΙ.Π. του Τομέα Μεταλλευτικής, τους ευχαριστώ για την ουσιαστική βοήθεια τους και την άρτια επιστημονική καθοδήγηση που μου παρείχαν σε όλη τη διάρκεια πραγματοποίησης των ερευνών υπαίθρου αλλά και κατά την επεξεργασία των αποτελεσμάτων.

Την Καθηγήτρια Κωνσταντίνα Τσαΐμου για όλες τις πληροφορίες όσον αφορά την αρχαιολογική έρευνα στην περιοχή και εν γένει την αρχαία μεταλλευτική.

Τον Αναπληρωτή Καθηγητή Κοσμά Παυλόπουλο για τις γεωλογικές πληροφορίες που συμβάλουν καθοριστικά στην ερμηνεία των γεωφυσικών δεδομένων.

Τον Υποψήφιο Διδάκτορα του Τομέα Μεταλλευτικής, κ. Κώστα Λεονταράκη, για την πολύτιμη βοήθεια του στις έρευνες υπαίθρου και στον καταλυτικό ρόλο που συνέβαλε στην ολοκλήρωση τους.

Τους καθηγητές Σοφία Σταματάκη και Δημήτριο Καλιαμπάκο του Τομέα Μεταλλευτικής της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής.

Τους γονείς μου για την ανεκτίμητη προσφορά τους, που στήριξαν και στηρίζουν τις προσπάθειες μου όλα αυτά τα χρόνια.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η Εφαρμογή Γεωφυσικών Μεθόδων για τον Εντοπισμό Ενταφιασμένων Αρχαιοτήτων στην Περιοχή Κερατέας Αττικής με τις μεθόδους μαγνητικής επιδεκτικότητας, ηλεκτρικής αγωγιμότητας, ηλεκτρικής αντίστασης και επίγειου γεωραντάρ. Σκοπός της μελέτης είναι ο εντοπισμός των ενταφιασμένων αρχαιοτήτων τόσο με τα αποτελέσματα κάθε μεθόδου ξεχωριστά όσο και με την συνδυασμένη χρησιμοποίησή τους..

Στα δύο πρώτα κεφάλαια της εργασίας αναπτύσσονται οι θεωρητικές αρχές των μεθόδων της εφαρμοσμένης γεωφυσικής όσον αφορά την αρχαιολογική έρευνα. Παρουσιάζονται οι βασικές έννοιες κάθε μεθόδου, γίνεται αναφορά στα όργανα και τη διαδικασία λήψης των μετρήσεων αλλά και τις μεθόδους ερμηνείας των μεθόδων.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται έρευνες που έχουν γίνει με χρήση μεθόδων γεωφυσικής, και συγκεκριμένα ηλεκτρομαγνητικές μετρήσεις με το όργανο EM-31, για την ανεύρεση αρχαιοτήτων. Σε 5000 ετών νεκροταφείο στην νοτιοανατολική ακτή της Babedh-Dhra της Ιορδανίας αναγνωρίστηκαν διαφοροποιήσεις στην αγωγιμότητα λόγω των τάφρων γύρω από τους τύμβους. Στο Μπαχρέιν στον Αραβικό κόλπο εντοπίστηκαν πέτρινοι τάφοι της Χάλκινης Περιόδου, που ήταν κάτω από τεράστια αναχώματα στη πόλη της Χαμάντ.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφεται η καταλληλότητα μιας περιοχής για γεωφυσική έρευνα, ποιοι είναι οι παράγοντες που την επηρεάζουν και πως τελικά γίνεται η επιλογή της περιοχής με βάση τα αρχαιολογικά στοιχεία, το μέγεθος και βάθος αρχαιολογικών αντικειμένων, το διαχωρισμό αρχαιολογικών στοιχείων από τον «σωρό», την καταλληλότητα της επιφάνειας του εδάφους για την διέλευση των γεωφυσικών οργάνων, την διαταραχή της επιφάνειας, τις περιβαλλοντολογικές επιδράσεις, την φύση των αρχαιολογικών στοιχείων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται εισαγωγή στην ιστορία του εμπλουτισμού του μεταλλεύματος στη Λαυρεωτική ώστε να γίνει κατανοητό τι είδους αρχαία αναμένονται στην περιοχή μελέτης και στη συνέχεια παρουσιάζεται η γεωλογία της περιοχής που θα μας βοηθήσει στην ερμηνεία των γεωφυσικών δεδομένων. Παρουσιάζεται η λιθοστρωματογραφία και η τεκτονική όπου οι κύριοι σχηματισμοί είναι τα πλευρικά κορήματα και αποσαθρωμένος μανδύας με το φυλλιτικό σύστημα και τα μάρμαρα από κάτω.

Στο έκτο κεφάλαιο περιγράφονται οι διαδικασίες υπαίθρου εφαρμογής των διαφόρων μεθόδων και παρουσιάζεται η επεξεργασία και ερμηνεία των μετρήσεων. Από τα δεδομένα των ηλεκτρομαγνητικών μετρήσεων δημιουργούνται χάρτες, από τους

οποίους εξάγονται τα πρώτα συμπεράσματα για την ύπαρξη και θέση των αρχαιολογικών δομών (τοιχία, δεξαμενές). Συγκεκριμένα, από τους χάρτες των ηλεκτρομαγνητικών δεδομένων εντοπίζουμε αρχικά τρεις δεξαμενές και ένα μεγάλο χώρο με πολιτιστικά στοιχεία. Με την περαιτέρω ανάλυση τους, με ειδικό λογισμικό, έχουμε την δυνατότητα παραγωγής νέων χαρτών (πρώτης παραγωγού σε συγκεκριμένες διευθύνσεις και φίλτρων χαμηλής συχνότητας) από τους οποίους λαμβάνονται περαιτέρω πληροφορίες τόσο στην τοποθέτηση των τοιχίων όσο και των δεξαμενών. Στη συνέχεια, εφαρμόζουμε την μέθοδο του γεωραντάρ, του οποίου η ανάλυση των δεδομένων, μας επιβεβαιώνει την ύπαρξη των τοιχίων και δεξαμενών με πολλαπλές ανακλάσεις. Τελικά εφαρμόζεται η μέθοδος της ηλεκτρικής αντίστασης με την τεχνική της γεωηλεκτρικής τομογραφίας. Έτσι επιτυγχάνουμε την πιο ολοκληρωμένη εικόνα των δεξαμενών (σε βάθος και θέση) και των επικρατούντων γεωλογικών συνθηκών στην περιοχή.

Στο τελευταίο κεφάλαιο, αναφέρονται τα τελικά συμπεράσματα ώστε να γίνει η τελική εκτίμηση τόσο των θέσεων των τοιχίων όσο και των δεξαμενών. Επιπλέον εκτιμάται η αποτελεσματικότητα των γεωφυσικών μεθόδων για τον εντοπισμό ενταφιασμένων αρχαιοτήτων.

ABSTRACT

The subject of this thesis is the application of Geophysical Methods to detect ancient buried features in the region of Keratea in Attica, by the methods of magnetic susceptibility, electrical conductivity, electrical resistance and ground penetrating radar. The purpose of the study is the discovery of ancient buried features with the results of each method individually and a combination of them

In the first two chapters, the theoretical principles of methods of applied geophysics for archaeological investigation are developed. The basic concepts of each method, the instruments and the procedure of the measurements are presented.

In the third chapter, surveys that have been made using geophysical methods are presented, specifically electromagnetic measurements with the EM-31, to find antiques. 5000 year old cemetery in South-Eastern coast of Babedh-Dhra Jordan recognized variations in conductivity ratio of ditches around them. In Bahrain in the Arab Gulf stone, graves discovered from copper Period, which was buried under a mound in the huge city of Hamad.

In the fourth chapter, is described the suitability of an area for geophysics research, what the factors which affect the research are and eventually, how the region based on archaeological evidence is chosen. The magnitude and depth of archaeological objects, separates archaeological items from the pile. The suitability of the soil surface for the passage of geophysical instruments, the disturbance of the surface, the environmental effects, and the nature of archaeological data are analyzed.

In the fifth chapter, the history of processing of the ore in Lavreotiki is mentioned to understand what kind of ancient features expected and then the geology of the area is referred that will help us in the interpretation of geophysical data.

In the sixth chapter, are described the procedures for implementation of the various methods in the countryside and the processing and interpretation of measurements. From the data of electromagnetic measurements, maps are created, by which exported the first conclusions about the existence and location of archaeological structures (walls, tanks). Specifically, by the maps of electromagnetic data are located three tanks and a large area with cultural features. With further analysis, with special software, we have the possibility of producing new maps (first derivative to specific addresses and filter low frequency) of whom received further information both on the placement of walls and tanks. Then, we apply the method of ground penetrating radar, whose analysis of the data confirms the existence of the walls and tanks with multiple reflections. Finally, is applied the method of electrical resistance. Thus, we achieve the

most complete picture of tanks (and location) and geological conditions prevailing in the region.

In the last chapter, the final conclusions are made, in order to make the final assessment both of the locations of walls and tanks. In addition, is assessed the effectiveness of geophysical methods to detect buried ancient features.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	10
1.1. ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΣΤΗΝ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΑ.	10
2. ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	13
2.1. ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΈΝΝΟΙΕΣ ΣΤΗΝ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΗ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ.....	13
2.2. ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ.	17
2.2.1. <i>Μεθοδολογία Μετρήσεων</i>	17
2.3. ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ.....	20
2.3.1. <i>Μεθοδολογία Μετρήσεων</i>	21
2.3.2. <i>Διαμορφώσεις</i>	23
2.3.3. <i>Βάθος και Ανάλυση</i>	24
2.3.4. <i>Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα</i>	25
2.4. ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ.....	26
2.4.1. <i>Μεθοδολογία Μετρήσεων</i>	27
2.4.2. <i>Διαμορφώσεις</i>	27
2.4.3. <i>Βάθος και ανάλυση</i>	28
2.4.4. <i>Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα</i>	28
2.5. ΕΠΙΓΕΙΟ ΡΑΝΤΑΡ (GPR)	30
2.5.1. <i>Μέθοδος μέτρησης</i>	32
2.5.2. <i>Διαμορφώσεις</i>	34
2.5.3. <i>Βάθος και Ανάλυση</i>	36
3. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ.	43
3.1. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ EM-31	43
3.1.1. <i>Babedh-Dhra, Ιορδανία</i>	43
3.1.2. <i>Χαμάντ,Μπαχρέιν</i>	44
4. ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ ΜΙΑΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΓΙΑ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	48
4.1. ΓΕΝΙΚΑ	48
4.1.1. <i>Αρχαιολογικά Στοιχεία</i>	48
4.1.2. <i>Μέγεθος και βάθος αρχαιολογικών αντικειμένων</i>	50
4.1.3. <i>Διαχωρισμός αρχαιολογικών στοιχείων από τον «σωρό»</i>	52
4.1.4. <i>Καταλληλότητα της επιφάνειας του εδάφους για την διέλευση των γεωφυσικών οργάνων</i>	53
4.1.5. <i>Διαταραχή της επιφάνειας</i>	57

4.1.6. Συμπεράσματα.....	59
4.2. ΕΠΙΛΕΓΟΝΤΑΣ ΤΗΝ ΚΑΤΑΛΛΗΛΗ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟ.....	60
4.2.1. Περιβαλλοντολογικές επιδράσεις.....	62
4.2.2. Η Φύση των αρχαιολογικών στοιχείων	67
4.2.3. Σχεδιάζοντας την έρευνα στο πεδίο.....	72
5. Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΈΡΕΥΝΑΣ.....	75
5.1. ΙΣΤΟΡΙΑ.....	75
5.2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ (ΚΑΤΑ ΠΑΥΛΟΠΟΥΛΟ, 1997).....	81
5.2.1. Λιθοστρωματογραφία	81
5.2.2. Τεκτονική	86
6. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΔΟΜΩΝ ΚΟΝΤΑ ΣΤΗ ΚΕΡΑΤΕΑ.....	91
6.1. ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ “IN PHASE” ΣΥΝΙΣΤΩΣΑΣ.....	91
6.1.1. Χάρτες ηλεκτρικής αγωγιμότητας και “in phase” συνιστώσας.....	91
6.1.2. Παράγωγοι Διευθύνσεων κατανομής αγωγιμότητας (<i>Directionality Derivatives</i>).....	95
6.1.3. Επεξεργασία κατανομής αγωγιμότητας με “low pass” φίλτρα : «Distance weighting», “Inverse Distance”, “Moving Average”	99
6.2. ΓΕΩΡΑΝΤΑΡ.....	103
6.3. ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ.....	118
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	123
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	126

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Εισαγωγή

1. Εισαγωγή

Η γεωφυσική είναι η μελέτη της γης μέσω φυσικών μεθόδων (π.χ. μαγνητική μέθοδος, μέθοδος ηλεκτρικής ειδικής αντίστασης, ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι, γεωραντάρ), που χρησιμοποιούνται για να ανιχνεύσουν, να χαρτογραφήσουν, και να χαρακτηρίσουν γεωλογικούς σχηματισμούς ή θαμμένες αρχαιότητες. Η αποτελεσματική χρήση της γεωφυσικής μπορεί να βελτιώσει την αξιοπιστία, να μειώσει την αβεβαιότητα και σε πολλές περιπτώσεις να μειώσει τις δαπάνες των αρχαιολογικών ερευνών.

1.1. Συνοπτική ιστορία της γεωφυσικής στην Αρχαιολογία.

Αν και πολλοί αρχαιολόγοι βλέπουν ακόμα τη χρήση των γεωφυσικών τεχνικών ως πολύ καινούργια τεχνολογία καμία από τις μεθόδους που αναφέρονται στο παρόν έγγραφο δεν είναι νέα.

Μία από τις πρώτες συστηματικές γεωφυσικές έρευνες σημειώθηκε σε μια αμερικάνικη αρχαιολογική περιοχή στο Williamsburg το 1938. Ο Mark Malamphy χρησιμοποίησε το «Ισοδυναμικό» (μια μέθοδος που δεν χρησιμοποιείται ευρέως) στην αναζήτηση ενός υπόγειου θαλάμου από πέτρες που υποψιάστηκε ότι είναι η βάση μιας εκκλησίας.

Μια πιθανή περιοχή προσδιορίστηκε, αλλά η ανασκαφή δεν αποκάλυψε τίποτα αρχαιολογικής σημασίας. Η περιοχή εξερευνήθηκε 50 έτη αργότερα και τότε το αποτέλεσμα έδειξε την παρουσία μικρών απολιθωμένων κοχυλιών.

Η ηλεκτρική αντίσταση χρησιμοποιήθηκε αρχικά επί ενός αρχαιολογικού χώρου το 1946 από τον Richard Atkinson. Με έναν «MeggerEarthTester» (μηχάνημα που χρησιμοποιούνται ευρέως σε έργα πολιτικού μηχανικού), ο Atkinson ήταν σε θέση να ανιχνεύσει τις υγρές, γεμισμένες βούρκο, τάφρους που ήταν σκαμμένες σε ψαμμίτη στο Dorchester, Ηνωμένο Βασίλειο. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, ο Christopher Carr ήταν ο πρώτος που χρησιμοποίησε την μέθοδο αντίστασης στην αρχαιολογική έρευνα.

Ένα άλλο ορόσημο στην εφαρμογή της γεωφυσικής ήταν το 1958, όταν ο Martin Aitken χρησιμοποίησε ένα μαγνητόμετρο πρωτονίων για να ανιχνεύσει έναν κλίβανο κοντά στο Peterborough, Ηνωμένο Βασίλειο. Αργότερα ο Aitken ανακάλυψε μια περιοχή γεμάτη κοιλάματα, πράγμα το οποίο είχε σημαντικές «συνέπειες» στη διαδεδομένη χρήση των μαγνητικών μεθόδων στις ΗΠΑ.

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '70, η γεωφυσική άρχισε να γίνεται κομμάτι της αρχαιολογίας στη Μεγάλη Βρετανία και στην υπόλοιπη Ευρώπη. Τα ρωμαϊκά και οι

μετέπειτα προϊστορικοί χώροι σε εκείνες τις περιοχές περιλαμβάνουν συχνά χειροποίητα μεταλλικά αντικείμενα, πετρόκτιστα οικοδομήματα, και διάφορα κεραμικά αντικείμενα. Τέτοια υλικά έχουν αισθητή αντίθεση σε κάποια φυσική ιδιότητα (αγωγιμότητα, μαγνητική επιδεκτικότητα κτλ) με τον περιβάλλοντα χώρο και μπορούν να προσδιοριστούν στους γεωφυσικούς χάρτες της εποχής που χαρακτηρίζονταν από σχετικά λίγα, ευρέως κατανεμημένα δεδομένα.

Οι John Weymouth και Bruce Bevan διεξήγαγαν διάφορες έρευνες στις Ηνωμένες Πολιτείες που κατέδειξαν τη χρησιμότητα της γεωφυσικής. Εντούτοις, στις Ηνωμένες Πολιτείες η πιο συνηθής περίπτωση είναι τα στοιχεία αρχαιολογικού ενδιαφέροντος να είναι σκεπασμένα και τα κοιλώματα τους γεμισμένα με χώμα. Μεταλλικά αντικείμενα δεν παρουσιάζονται στα προϊστορικά αρχεία και πέτρινα οικοδομήματα βρίσκονται μόνο σε λίγες περιοχές. Η εξέλιξη στην πληροφορική ήταν αυτή που επέτρεψε την συλλογή, επεξεργασία και χαρτογράφηση χιλιάδων δεδομένων και γενικά δεδομένων που ήταν δύσκολο να ερμηνευτούν.

Το γεωραντάρ (GPR) είναι μια κάπως πιο πρόσφατη προσθήκη στο γεωφυσικό οπλοστάσιο. Το GPR αναπτύχθηκε αρχικά για να εντοπιστούν κοιλότητες, όπως φρέατα ορυχείων και σήραγγες. Υιοθετήθηκε γρήγορα από τη γεωλογία, τα γεωτεχνικά έργα, και πολλούς άλλους τομείς. Το 1975, μια από τις πρώτες αρχαιολογικές εφαρμογές του GPR ήταν μια προσπάθεια να χαρτογραφηθούν οι θαμμένοι τοίχοι στο φαράγγι Chaco. Άλλες έρευνες εστίασαν σε στοιχεία όπως τα κελάρια και θαμμένοι πέτρινοι τοίχοι. Η χρήση του GPR στις Ηνωμένες Πολιτείες συνεχίστηκε στα μέσα της δεκαετίας του '80 και της δεκαετίας του '90, κάτι το οποίο κατέδειξε τη δυνατότητα της μεθόδου για την ευρεία ανίχνευση ποικίλων τύπων στοιχείων.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής οι τάσεις που απαιτούν μια αυξανόμενη χρήση της γεωφυσικής από τους αρχαιολόγους, οφείλονται στα βαθμιαία αυξανόμενα κόστη εργατικού δυναμικού για ανασκαφή, και τις σημαντικές βελτιώσεις κατά την εφαρμογή της εκτέλεσης των γεωφυσικών μεθόδων σχετικά με το κόστος τους και όχι μόνο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Γεωφυσικές Μέθοδοι

2. Γεωφυσικές Μέθοδοι

2.1. Θεμελιώδεις Έννοιες στην Αρχαιολογική Γεωφυσική.

Η αρχαιολογική γεωφυσική περιλαμβάνει τη μέτρηση ορισμένων φυσικών ιδιοτήτων στην επιφάνεια της γης προκειμένου να ανιχνευθούν και να χαρακτηριστούν τα θαμμένα αρχαιολογικά στοιχεία. Το βάθος ποικίλει ανάλογα τη μέθοδο από 1 έως 4 μέτρα περίπου. Εφαρμόζονται και ενεργητικές και παθητικές γεωφυσικές μέθοδοι.

Οι ενεργητικές μέθοδοι παράγουν τα σήματά τους, όπως ηλεκτρομαγνητικά πεδία ή ηλεκτρικά ρεύματα, και μετρούν τη γήινη απόκριση. Οι παθητικές μέθοδοι, αφ' ετέρου, χρησιμοποιούν φυσικά φαινόμενα (πεδία). Μία παθητική γεωφυσική μέθοδος είναι η μαγνητική, που χρησιμοποιεί το γήινο μαγνητικό πεδίο. Το επίγειο ραντάρ, η ειδική αντίσταση, και ο ηλεκτρομαγνητισμός είναι όλες ενεργητικές μέθοδοι. Τα γεωφυσικά δεδομένα (μετρήσεις των επιλεγμένων γεωφυσικών ιδιοτήτων στην επιφάνεια του εδάφους ή πάνω από αυτή) συλλέγονται με την κίνηση ενός οργάνου στην περιοχή που θέλουμε να εξετάσουμε, και συχνά σε ομοιόμορφα χωρισμένους κατά διαστήματα παράλληλους τομείς. Αυτές οι μετρήσεις περιλαμβάνουν τις X, Y συντεταγμένες θέσης και το Z να είναι η γεωφυσική μέτρηση. Συντάσσονται έπειτα σε μια βάση δεδομένων και επεξεργάζονται για να δημιουργήσουν χάρτες ή διαγράμματα απεικονίζοντας τη χωρική μεταβολή στις μετρημένες ιδιότητες.

Όλες οι γεωφυσικές μέθοδοι στηρίζονται στις διαφορές, ή την αντίθεση μιας φυσικής ιδιότητας, μεταξύ των αρχαιολογικών στοιχείων και του περιβάλλοντα χώρου (υπόβαθρο).

Η αντίθεση είναι ο βαθμός στον οποίο οι γεωφυσικές ιδιότητες ενός αρχαιολογικού στοιχείου διαφέρουν από αυτές των περιβαλλόντων σχηματισμών (εδάφους ή ιζημάτων). Το πραγματικό μέγεθος μιας γεωφυσικής μέτρησης δεν είναι τόσο σημαντικό όσο η διαφοροποίηση του από θέση σε θέση. Με άλλα λόγια, ένα εξαιρετικά ηλεκτρικά μη αγώγιμο αρχαιολογικό στοιχείο δεν θα ανιχνευθεί εάν ο περιβάλλον χώρος είναι εξίσου μη αγώγιμος. Όταν η αντίθεση είναι ικανοποιητική μια ανωμαλία παράγεται. Οι «ανωμαλίες» είναι περιοχές σε ένα γεωφυσικό σύνολο δεδομένων που ξεχωρίζουν από τις περιβάλλουσες μετρήσεις. Τα γεωφυσικά δεδομένα καλύπτουν ευρεία σειρά τιμών θετικών ή αρνητικών. Οι ανωμαλίες επίσης μπορούν να είναι είτε θετικές, είτε αρνητικές, είτε διπολικές (έχοντας και θετικές και αρνητικές τιμές). Όλοι αυτοί οι τύποι ανωμαλίας μπορούν να ανιχνεύσουν αρχαιολογικά στοιχεία.

Μια γεωφυσική έρευνα για μια αρχαιολογική περιοχή είναι επιτυχής εάν μπορεί να προσδιορίσει και να χαρακτηρίσει τα θαμμένα αρχαιολογικά στοιχεία, αλλά πολλοί παράγοντες εκτός από την αρχαιολογία συμβάλλουν στην μορφή των δεδομένων. Οι γεωφυσικές μετρήσεις έχουν δυστυχώς κάποιο βαθμό «θορύβου» που συνδέεται μαζί τους. Ο θόρυβος στα γεωφυσικά δεδομένα περιλαμβάνει οτιδήποτε που δεν είναι αντιπροσωπευτικό με αυτό που βρίσκεται στην επιφάνεια ή κάτω από αυτήν. Τα παραδείγματα του θορύβου είναι είτε υψίσυχνα δεδομένα (εξαιρετικά υψηλές ή χαμηλές, συχνά τοπικές μετρήσεις, που περιβάλλονται συνήθως από τις έγκυρες μετρήσεις) είτε τυχαίες ή περιοδικές μετρήσεις σχετιζόμενες με τις γεωφυσικές μεθόδους.

Ευτυχώς υπάρχουν πολλοί τρόποι ώστε να «καθαριστεί» ο θόρυβος από το καταγραμμένο σήμα, είτε με την αποφυγή ορισμένων περιοχών ή περιόδων της ημέρας για τη συλλογή δεδομένων, είτε με κάποια ορισμένη επεξεργασία.

Ένα άλλο πρόβλημα με τα καταγραμμένα δεδομένα είναι η επικράτηση των ανεπιθύμητων σημάτων (ηλεκτρομαγνητικοί πεδία, ηλεκτρικά ρεύματα, ή άλλα φυσικά σήματα που καταγράφονται από τα γεωφυσικά όργανα). Είναι χρήσιμο να σκεφτόμαστε το καταγραμμένο σήμα ως διάφορα σήματα προστιθέμενα από κοινού. Το σήμα ενδιαφέροντος είναι από τα αρχαιολογικά στοιχεία, αλλά υπάρχουν επίσης σήματα από άλλα υπόγεια φαινόμενα όπως οι ρίζες δέντρων, τα λαγούμια τρωκτικών, τα στρώματα των ιζημάτων και πεπερασμένες βραχώδεις δομές. Αυτά τα ανεπιθύμητα σήματα που είναι ανεξάρτητα από τα αρχαιολογικά καλούνται «clutters» (αταξίες). Οι ανωμαλίες που προκύπτουν από τις «αταξίες» γίνονται πρόβλημα όταν δεν μπορούν να διαφοροποιηθούν από τις ανωμαλίες σχετικές με τα αρχαιολογικά στοιχεία. Μερικές «αρχαιολογικές ανωμαλίες» μπορούν να προσδιοριστούν σαφώς λόγω των αντιπροσωπευτικών ιδιοτεροτήτων του που εμφανίζουν (π.χ. κυκλικά ή ορθογώνια πατώματα σπιτιών). Τα μικρότερα και λιγότερο διαμορφωμένα αρχαιολογικά στοιχεία παράγουν ανωμαλίες που είναι πολύ δύσκολο να διακριθούν από τις ανωμαλίες των αταξιών.

Η δυνατότητα να ανιχνευθούν τα υπόγεια στοιχεία περιορίζεται επίσης από την πυκνότητα και την ανάλυση. Η πυκνότητα δεδομένων (επίσης αποκαλούμενη πυκνότητα δειγματοληψίας) είναι ο αριθμός γεωφυσικών μετρήσεων που καταγράφονται ανά μονάδα μήκους ή επιφάνειας στην περίπτωση των τρισδιάστατων μεθόδων όπως στο GPR. Η ανάλυση εξαρτάται από το διάστημα δειγματοληψίας (απόσταση μεταξύ των μετρήσεων σύμφωνα με τις γραμμές συλλογής δεδομένων, τομών ή περασμάτων) καθώς επίσης και την απόσταση μεταξύ των τομών. Πολλές

σύγχρονες γεωφυσικές έρευνες γίνονται με ένα διάστημα δειγματοληψίας 0.5m έως 0.125m ανά μέτρηση με τις γραμμές χωρισμένες κατά διαστήματα 1m έως 0.5m . Η ανάλυση των μικρότερων και βαθύτερων στοιχείων αντίθεσης βελτιώνεται με την αύξηση της πυκνότητας . Ο Clark (1996) δείχνει ότι καθώς το διάστημα δειγματοληψίας μειώνεται από 1.5m έως 0.125m, η δυνατότητα να διαφοροποιηθεί ένας κλίβανος από ένα κομμάτι του σιδήρου στην επιφάνεια αυξάνεται (χρησιμοποιώντας ένα μαγνητόμετρο). Το πείραμα δείχνει ότι 0.5m είναι το μεγαλύτερο κατάλληλο διάστημα, και υπάρχει μια ιδιαίτερη βελτίωση σε 0.25m και μόνο οριακές βελτιώσεις σε 0.125m. Η χρησιμοποίηση ενός 0.25m ή ενός μικρότερου διαστήματος δειγματοληψίας κατά μήκος των τομών ολοκληρώνεται εύκολα με τα σημερινά γεωφυσικά όργανα, με κύριο περιορισμό στην πυκνότητα στοιχείων, να είναι το διάστημα μεταξύ των τομών. Και ο Clark (1996) και Gaffney και Gater (2003) προτείνουν ότι 1m μεταξύ των τομών είναι επαρκές για τις περισσότερες γεωφυσικές έρευνες στο Ηνωμένο Βασίλειο (υποθέτοντας διαστήματα δειγματοληψίας το πολύ 0.5m κατά μήκος των τομών, αλλά συνήθως 0.25m ή λιγότερο), αν και τελευταία προτείνεται 0.5m για τις έρευνες ερευνητικών επιπέδων. Στη Βόρεια Αμερική είναι πιο κοινό να χρησιμοποιηθεί το 0.5m ως διάστημα τομών, με το 1m διάστημα να διατηρείται για τις περιοχές με τα πολύ μεγάλες τιμές αντίθεσης. Σε μερικές περιπτώσεις το 0.25m διάστημα τομών χρησιμοποιείται, ιδιαίτερα σε έρευνες μικρής περιοχής GPR όπου οι κύριοι στόχοι είναι μικροί και έχουν χαμηλή αντίθεση

Ένας τελικός παράγοντας που καθορίζει τις αποστάσεις είναι το μέγεθος των στόχων. Αν και η αντίθεση είναι ο εξαιρετικά σημαντικός παράγοντας, το μέγεθος διαδραματίζει έναν σημαντικό ρόλο στην ανίχνευση και την αναγνώριση των στόχων. Εάν δύο στοιχεία αποτελούνται από τα ίδια υλικά και θάβονται στα ίδια βάθη στο ίδιο υπόβαθρο, το μεγαλύτερο των δύο θα ανιχνευθεί ευκολότερα και θα προσδιοριστεί ως πιθανό στόχος για διάφορους λόγους. Κατ' αρχάς, το μικρότερο στοιχείο είναι λιγότερο πιθανό να είναι ακριβώς κάτω ή κοντά στις γραμμές τομών, έτσι το καταγραμμένο σήμα θα ήταν σχετικά αδύνατο. Δεύτερον, το μικρότερο στοιχείο θα παραγάγει μια μικρότερη ανωμαλία, που ίσως αντιπροσωπεύεται από μόνο μια μέτρηση. Οι ανώμαλες αναγνώσεις που καταγράφονται μόνο σε μια μέτρηση είναι εύκολο να μπερδευτούν με ανωμαλίες και συνήθως αφαιρούνται κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας. Τέλος, η ανωμαλία από ένα μικρότερο στοιχείο είναι λιγότερο πιθανό να πάρει μια ευπροσδιόριστη μορφή (τετραγωνική, γραμμική, ή κυκλική), κάνοντας το δυσκολότερο να διακριθεί από το θόρυβο και τις αταξίες. Ένα στοιχείο για να βρεθεί με αξιοπιστία πρέπει να καταγραφεί από τουλάχιστον δύο σαρώσεις του οργάνου. Εν περιλήψει, όταν όλοι οι άλλοι παράγοντες είναι ίσοι, η πιθανότητα της ανίχνευσης και της αναγνώρισης

των μικρών αρχαιολογικών στοιχείων βελτιώνεται καθώς η πυκνότητα δειγματοληψίας αυξάνεται.

2.2. Ηλεκτρική Αντίσταση.

Ηλεκτρική αντίσταση είναι ο βαθμός στον οποίο ένα υλικό περιορίζει τη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος, και μετριέται σε Ohm. Η διακύμανση της ηλεκτρικής αντίστασης εξαρτάται σχεδόν εξ ολοκλήρου από το ποσό της υγρασίας στο έδαφος, χονδρόκοκκα εδάφη, καλά στραγγισμένα εδάφη (χαλίκια, άμμος) παρουσιάζουν σχετικά υψηλή αντίσταση, ενώ λεπτόκοκκα εδάφη (αργίλους, ιλύς), που περιέχουν περισσότερη υγρασία παρουσιάζουν μικρότερη αντίσταση. Σε σύγκριση με το χώμα, οι πέτρες και τα τούβλα συνήθως χαρακτηρίζονται από πολύ υψηλή αντίσταση. Η ηλεκτρική αντίσταση είναι χρήσιμη στις αρχαιολογικές έρευνες επειδή τα στοιχεία προς μελέτη παρουσιάζουν τοπικές διαφορές με την φυσική στρώση του εδάφους και συχνά παρουσιάζουν συγκεντρώσεις οργανικών υλικών, πέτρες και άλλα αντικείμενα. Αυτές οι διαφοροποιήσεις ως προς το έδαφος σχετίζονται με μια τοπική αντίθεση στην κατακράτηση υγρασίας και συνεπώς με την ηλεκτρική αντίσταση. Ένας τοίχος φτιαγμένος από πέτρα ή τούβλο, για παράδειγμα, έχει συνήθως μεγαλύτερη αντίσταση από την γύρο περιοχή.

2.2.1. Μεθοδολογία Μετρήσεων.

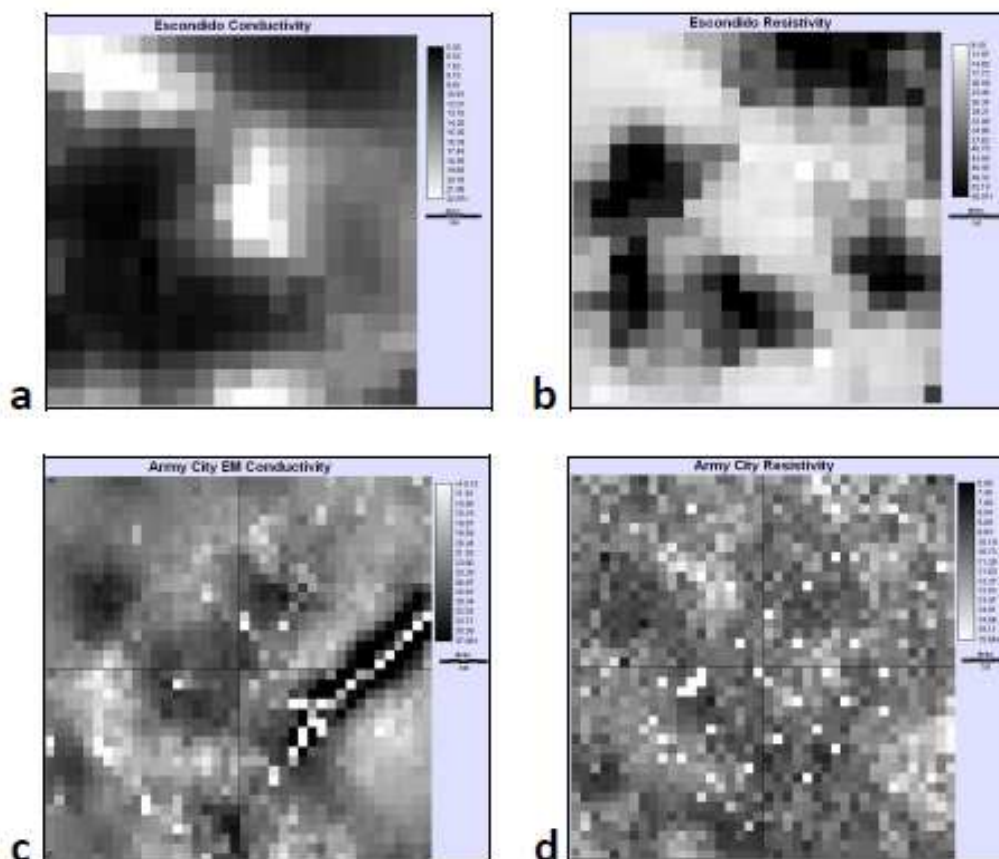
Υπάρχει μόνο ένας τρόπος να μετρήσουμε απευθείας την ηλεκτρική αντίσταση: διοχετεύοντας ρεύμα σε ένα αντικείμενο και μετρώντας το με ένα βολτόμετρο. Εάν η ένταση του ρεύματος (I) είναι σταθερή και η τάση (V) μετριέται τότε η αντίσταση υπολογίζεται από τον νόμο του Ohm:

$$R = \frac{V}{I}$$

Μερικά όργανα λαμβάνουν ένα πρόσθετο βήμα για να μετατρέψουν την αντίσταση στην πραγματική ειδική αντίσταση, αλλά αυτό δεν είναι συνήθως απαραίτητο για τις αρχαιολογικές εφαρμογές.

Αν και η γαλβανική (άμεση) μέθοδος είναι ο μόνος πραγματικός τρόπος για να μετρηθεί η αντίσταση, μπορεί να προσεγγιστεί με τη μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας με την ηλεκτρομαγνητική επαγωγή (Electromagnetic Induction, EMI). Δεδομένου ότι η αγωγιμότητα είναι το θεωρητικό αντίστροφο της ειδικής αντίστασης, μπορεί απλά να αναστραφούν οι μετρήσεις αγωγιμότητας. Βέβαια, στην πράξη η σχέση δεν είναι πάντα τόσο απλή. Όταν συγκρίνονται τα δύο σύνολα δεδομένων η συσχέτιση τους μεταβάλλεται. Οι εικόνες αγωγιμότητας και ειδικής αντίστασης που παρουσιάζονται στην **Εικόνα 2,1a,b** συσχετίζονται έντονα (συντελεστής συσχέτισης $r = 0.71$). Βέβαια σε άλλες περιπτώσεις, (**Εικόνα 2.1c,d**), τα δύο σύνολα δεδομένων είναι στατιστικά

ανεξάρτητα ($r = 0.14$). Η απόκλιση συνδέεται με τη σε βάθος ευαισθησία διαφορών, την ανάλυση, και τη μέθοδο μέτρησης. Αυτό είναι ένας σημαντικός παράγοντας για τον απόφαση μεταξύ της «EMI» και της ηλεκτρικής αντίστασης για μια ειδική έρευνα. Από τις εμπειρίες χρόνων μερικές φορές η αντίσταση είναι καλύτερη μέθοδος για να εντοπιστούν πιο «ιδιαιτέρα» στοιχεία (αν και αυτό χρειάζεται περαιτέρω εξέταση), αλλά η «EMI» μπορεί να γίνει γρηγορότερα και είναι πιο ευέλικτη όσον αφορά την περιοχή και τις καιρικές συνθήκες επειδή δεν απαιτεί τη απευθείας επαφή με το έδαφος.

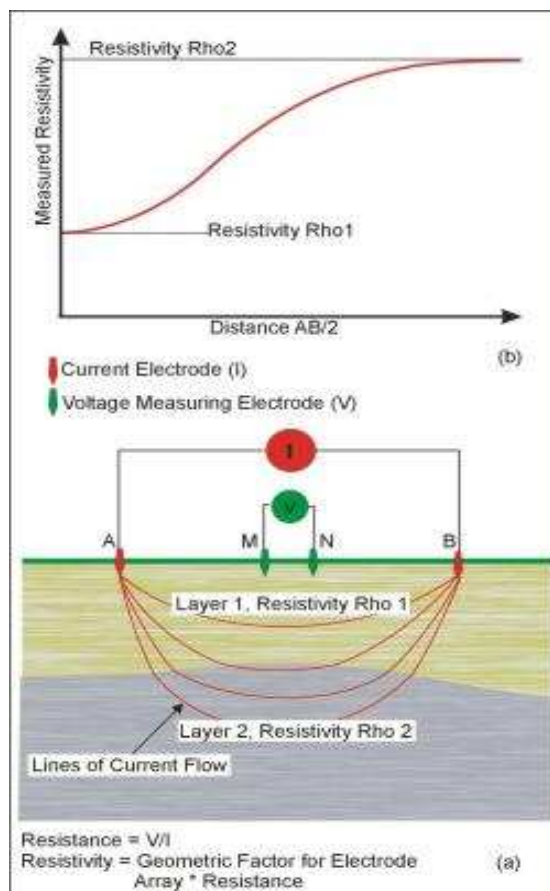


Εικόνα 2.1: Σχέση μεταξύ της γαλβανικής ηλεκτρικής αντίστασης και της αγωγιμότητας της «EMI». (a) δεδομένα αγωγιμότητας της «EMI» από περιοχή 20 X 20m στο PuebloEscondido (b) γαλβανική ηλεκτρική αντίσταση από την ίδια περιοχή 20 X 20m (c) στοιχεία αγωγιμότητας της EMI από περιοχή 40 X 40m στην ArmyCity (d) γαλβανική ηλεκτρική αντίσταση από την ίδια περιοχή.

Σημειώστε ότι οι εικόνες αντίστασης (b & d) παρουσιάζουν αντιστραμμένη απόχρωση του γκρι για την ευκολότερη σύγκριση με την αγωγιμότητα.

Η μέτρηση της ηλεκτρικής αντίστασης μπορεί να γίνει με τέσσερα ηλεκτρόδια που καρφώνονται στο έδαφος. Με τον τρόπο αυτό και διατηρώντας την ίδια απόσταση ηλεκτροδίων μπορούν να γίνουν προφίλ ηλεκτρικής αντίστασης που αντιστοιχούν σε ένα συγκεκριμένο βάθος. Αυξάνοντας την απόσταση των ηλεκτροδίων, αυξάνεται και το

βάθος διείσδυσης, αποκαλύπτοντας όλο και βαθύτερες πληροφορίες , με αποτέλεσμα την εμφάνιση της κοιλότητας είτε σαν μέγιστο είτε σαν ελάχιστο επάνω στα προφίλ.

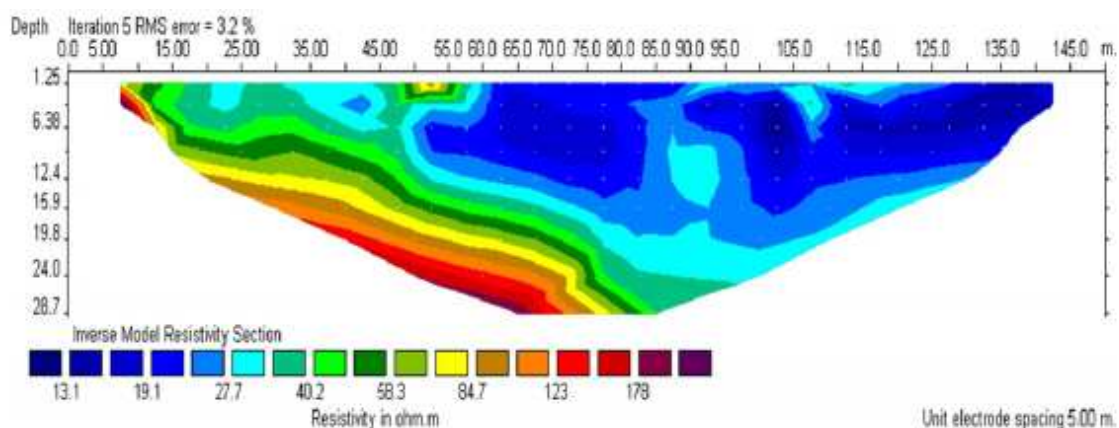


Εικόνα 2.2: Διάταξη ηλεκτροδίων

Μια αρκετά συνηθισμένη διάταξη είναι η λεγόμενη διάταξη Schlumberger (**Εικόνα 2.2**). Σε αυτήν, τα δύο εξωτερικά ηλεκτρόδια μεταφέρουν το ρεύμα στη γη ενώ στα δύο εσωτερικά μετράται η τάση που αναπτύσσεται, ως αποτέλεσμα της διέλευσης του ρεύματος. Όταν το διάστημα των ηλεκτροδίων ($AB/2$) είναι μικρό, η μετρημένη αντίσταση αντιστοιχεί σε αυτή του πρώτου στρώματος, ενώ όσο μεγαλώνει, η αντίσταση τείνει προς εκείνη του δεύτερου στρώματος.

Αφού ένα κενό μέσα στο έδαφος, γεμάτο με αέρα, παρουσιάζει μια σημαντική αντίθεση στην ηλεκτρική αντίσταση με το περιβάλλον του (χώμα ή βράχος) , οι ηλεκτρικές μέθοδοι μπορούν σχετικά εύκολα να το αναγνωρίσουν. Παρόλα αυτά, τα κενά πρέπει να είναι σχετικά μικρού βάθους και γενικά όχι περισσότερο από 30 μέτρα από την επιφάνεια. Αυτό δε διότι οι διατάξεις ηλεκτροδίων για περισσότερο βάθος γίνονται πολύ σύνθετες και δύσκολες στο χειρισμό.

Εάν πρόκειται να αναζητηθούν κοιλότητες, ρήγματα ή ότι άλλο διαφοροποιείται ηλεκτρικά από το περιβάλλον του μέσα στο έδαφος, τότε χρησιμοποιείται η μέθοδος της ηλεκτρικής τομογραφίας (Electrical Resistivity Tomography–ERT, **Εικόνα 2.3**). Η μέθοδος του διπλού διπόλου (dipole–dipole) είναι η πλέον αποδοτική. Η απόσταση των δύο διπόλων πρέπει να έχει προ-επιλεχθεί ανάλογα με την διάσταση του εκτιμώμενου στόχου αλλιώς δεν θα γίνει εφικτή η αναγνώρισή του. Όπως και σε όλες τις άλλες γεωφυσικές μεθόδους, η διακριτότητα μειώνεται με το βάθος.



Εικόνα 2.3: Παράδειγμα Ηλεκτρικής Τομογραφίας

2.3. Ηλεκτρική Αγωγιμότητα.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι ένα μέτρο για το πόσο εύκολα ένα ηλεκτρικό ρεύμα θα διατρέξει ένα υλικό, και μετριέται σε Siemens ή milliSiemens (mS). Ένα Siemens είναι το αντίστροφο ενός Ohm, ή ίσο με $1/\text{Ohm}$. Οι παλαιότερες αναφορές χρησιμοποιούν την ισοδύναμη μονάδα «Mho», η οποία είναι απλά «το Ohm» που συλλαβίζουν προς τα πίσω. Είναι το θεωρητικό αντίστροφο της ειδικής αντίστασης, αλλά όπως συζητήθηκε νωρίτερα, τα στοιχεία αγωγιμότητας δεν είναι συχνά συγκρίσιμα με τις μετρήσεις αντίστασης που λαμβάνονται με τα συστήματα των ηλεκτροδίων (δείτε παράγραφος 2.2.). Συνήθως, όταν μιλούν οι αρχαιολόγοι για την ειδική αντίσταση ή την αντίσταση, αναφέρονται συνήθως σε μετρήσεις που συλλέγονται με ένα όργανο που χρησιμοποιεί ηλεκτρόδια στο έδαφος (**Εικόνα 2,2**). Όταν μιλάμε για την αγωγιμότητα, σχεδόν πάντα αναφερόμαστε στις μετρήσεις που λαμβάνονται με την ηλεκτρομαγνητική μέθοδο (EMI) επαγωγής (**Εικόνα 2,4**). Οι χάρτες αγωγιμότητας τείνουν να μοιάσουν με τους χάρτες των δεδομένων αντίστασης και μπορούν να ερμηνευθούν

χρησιμοποιώντας τις ίδιες αρχές, αν και η ανάλυση της αγωγιμότητας είναι μερικές φορές φτωχότερη λόγω διαφορών στις βαθιές ευαισθησίες. Παρά το γεγονός ότι τα στοιχεία της EMI συλλέγονται συχνά σε μια υψηλότερη πυκνότητα από τα δεδομένα αντίστασης, οι μετρήσεις της EMI επηρεάζονται συνήθως από έναν μεγαλύτερο όγκο του εδάφους, θολώνοντας ενδεχομένως τα όρια ανωμαλίας. Όπως στην αντίσταση, η αγωγιμότητα είναι μια άριστη μέθοδος για τον εντοπισμό ανωμαλιών που είναι βασισμένες στις αντιθέσεις της επίγειας υγρασίας ή τον τύπο υλικού. Τα μικρά κοιλώματα δεν ανιχνεύονται εύκολα, αλλά μεγαλύτερα κοιλώματα, τάφροι, και τα υπολείμματα των χωματουργικών έργων μπορούν να ανιχνευθούν πολύ αποτελεσματικά.

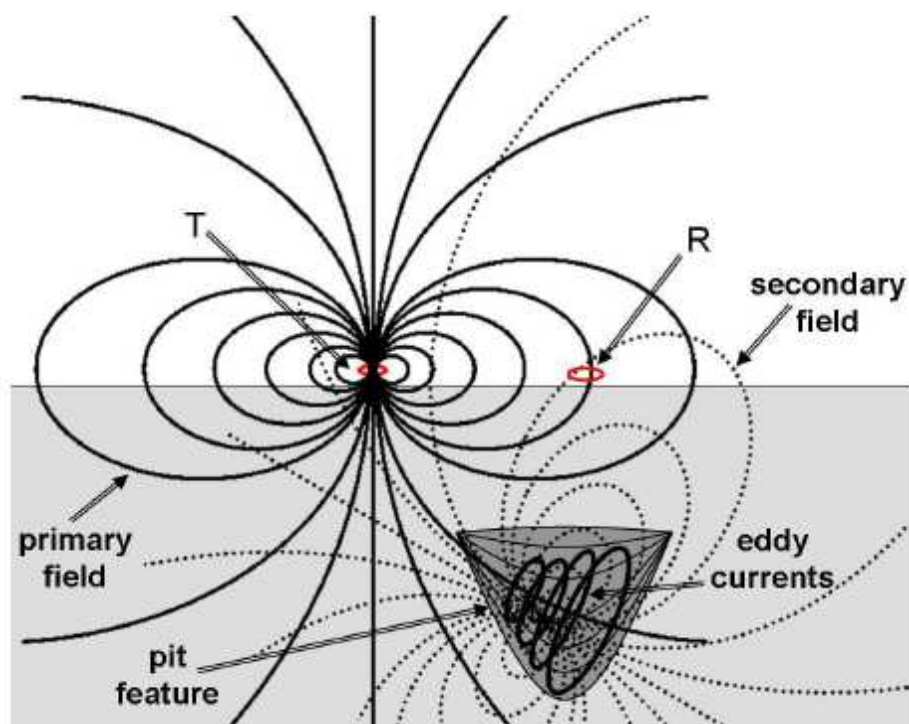


Εικόνα 2.4

2.3.1. Μεθοδολογία Μετρήσεων.

Η μέθοδος της «EMI» που μετράει την αγωγιμότητα είναι αρκετά ποιοτική σύνθετη από την αντίσταση, έτσι μόνο οι θεμελιώδεις αρχές εξηγούνται εδώ. Όταν ένα ηλεκτρικό ρεύμα περνάει μέσω μιας σπείρας ή ενός βρόχου, ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο δημιουργείται. Εάν αυτό το πεδίο είναι αρκετά κοντά σε αντικείμενα που είναι κάπως αγωγίμα, τότε το πεδίο θα αναγκάσει τα ρεύματα να ρεύσουν σε αυτά. Ακριβώς όπως το ηλεκτρικό ρεύμα στη σπείρα δημιούργησε ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο έτσι και τα ρεύματα στα αντικείμενα θα δημιουργήσουν ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Αυτή η διαδικασία καλείται επαγωγή. Στις αρχαιολογικές έρευνες, τα δεδομένα αγωγιμότητας της «EMI» συλλέγονται συνήθως με δύο πηνία, μια συσκευή εκπομπής σημάτων (πομπός) και έναν δέκτη σημάτων, με πολλές εναλλακτικές διαμορφώσεις, συμπεριλαμβανομένης της «Slingram», τον οριζόντιο βρόχο, την κινούμενη συσκευή πομπού-δέκτη, το διπλό πηνίο κινούμενης πηγής, και το μετρητή εδάφους-αγωγιμότητας. Ο πομπός δημιουργεί ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο αποκαλούμενο αρχικό πεδίο που διαδίδεται προς όλες τις διευθύνσεις, και κυρίως προς το έδαφος. Εάν το έδαφος είναι αγωγίμο, ή περιέχει δομές που είναι αγωγίμες, τα ρεύματα θα ρεύσουν σε αυτό. Αυτά τα δημιουργημένα ρεύματα,

αποκαλούμενα «eddy currents» (επειδή διαμορφώνονται όπως οι στρόβυλλοι στην κοίτη ενός ποταμού), θα δημιουργήσουν στη συνέχεια έναν δευτερεύον πεδίο. Τα δευτερεύοντα και αρχικά πεδία μετριοούνται από το πηνίο του δέκτη (**Εικόνα 2.5**).



Εικόνα 2.5: Ηλεκτρομαγνητικό πρότυπο επαγωγής: το πηνίο αποστολής σημάτων (T) δημιουργεί ένα αρχικό πεδίο της «EM» που διαδίδεται προς όλες τις διευθύνσεις. Αυτό αναγκάζει τα ρεύματα να ρέουν στα αγώγιμα αντικείμενα όπως το κοίλωμα που παρουσιάζεται εδώ. Τα ρεύματα δημιουργούν στη συνέχεια ένα δευτερεύον πεδίο. Και τα αρχικά και δευτερεύοντα πεδία μετριοούνται στο πηνίο του δέκτη (R).

Η αγωγιμότητα προσεγγίζεται με τη σύγκριση του δευτερεύοντος με το αρχικό πεδίο, και τη μέτρηση της καθυστέρησης φάσης. Η φάση είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει τις σχετικές χρονικές θέσεις δύο σημάτων. Εάν δύο κύματα είναι σε φάση, είναι σύγχρονα. Εάν είναι εκτός φάσης, υπάρχει κάποια καθυστέρηση μεταξύ τους. Υπάρχει ένα πεπερασμένο χρονικό διάστημα που παίρνει για τη διαδικασία επαγωγής να εμφανιστεί και το δευτερεύον πεδίο να παραληφθεί. Όσο υψηλότερη η επίγεια αγωγιμότητα, τόσο μεγαλύτερη είναι η καθυστέρηση του δευτερεύοντος πεδίου. Αυτή η καθυστέρηση μετριέται με από μαθηματική σχέση που αναλύει το λαμβανόμενο σήμα σε δύο μέρη: in-phase και out-of-phase. Το «in-phase»

πρέπει να είναι σε φάση με τον πομπό (αρχικό πεδίο), ενώ το «out-of-phase» καθυστερεί με γωνία 90 μοιρών.

2.3.2. Διαμορφώσεις.

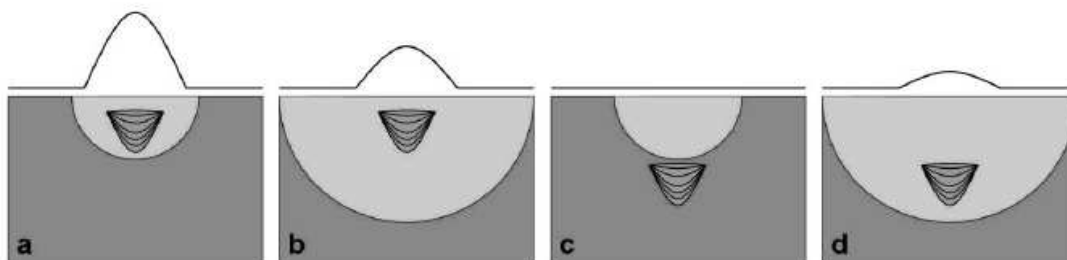
Υπάρχουν διάφοροι τρόποι χρησιμοποίησης των οργάνων της «EMI», με τη χρησιμοποίηση παραλλαγών στη συχνότητα, τον αριθμό σπειρών των πηνίων, το διάστημα σπειρών, και τον προσανατολισμό σπειρών. Μόνο αυτές που συνήθως χρησιμοποιούνται στην αρχαιολογία αναφέρονται εδώ. Η πιο κοινή και πρακτική διαμόρφωση είναι να τοποθετηθεί μια σπείρα του πομπού και μια σπείρα δέκτη στα αντίθετα άκρα ενός βραχίονα (**Εικόνα 2.4α**). Δεδομένου ότι ο πομπός και ο δέκτης πρέπει να έχουν μια συγκεκριμένη απόσταση για κάθε μέτρηση, η χρησιμοποίηση του βραχίονα το καθιστά ευκολότερο και γρηγορότερο να συλλεχτούν τα στοιχεία ενώ κινούμαστε κατά μήκος ενός περάσματος. Σύμφωνα με τον McNeill (1996), για κάθε δεδομένο διάστημα σπειρών υπάρχει μια βέλτιστη συχνότητα. Οι συχνότητες επάνω από ή κάτω από το βέλτιστο προκαλούν δευτερεύοντα πεδία, αλλά εάν το διάστημα σπειρών είναι πάρα πολύ μικρό ή πάρα πολύ μεγάλο ο δέκτης δεν θα το καταγράψει επαρκώς. Αντιθέτως, ο Won (1996) υποστηρίζει ότι το διάστημα και η συχνότητα σπειρών μπορούν να τεθούν ανεξάρτητα. Τα όργανα έχουν σχεδιαστεί σε αυτήν την αρχή και συνήθως έχουν καθοριστεί τα διαστήματα σπειρών, αλλά οι πολλαπλές συχνότητες χρήσης τίθενται από το χειριστή. Η ιδέα είναι ότι κάθε συχνότητα θα διαπεράσει ένα διαφορετικό βάθος έτσι οι πολλαπλές συχνότητες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ταυτόχρονα για να καταγράψουμε δεδομένα σε πολλά βάθη. Είναι ασαφές εάν η καθοριζόμενη σπείρα, και τα όργανα πολλών συχνοτήτων είναι επαρκή για την αρχαιολογία, αλλά δοκιμές έχουν δείξει ότι όταν αντιστοιχούνται η συχνότητα και το διάστημα σπειρών όπως προτείνεται από τον McNeill (1996), τα αποτελέσματα είναι πολύ καλύτερα από όταν χρησιμοποιούνται πολλαπλές συχνότητες. Σε ένα υπαίθριο πείραμα από τον Tiwanaku (Βολιβία), το GEM-2 (Georhex) ήταν ανεπιτυχές, ενώ το EM38 (Geonics) είχε πολύ καλά αποτελέσματα. Εντούτοις πρόσθετες δοκιμές αυτών των οργάνων απαιτούνται.

Μια άλλη διαμόρφωση που χρησιμοποιείται μερικές φορές στην αρχαιολογία περιλαμβάνει τη χρήση ενός πομπού διπόλων και ενός δεύτερου δέκτη διπόλων που συνδέονται με ένα καλώδιο και σέρνονται κατά μήκος του εδάφους. Αυτή η διαμόρφωση είναι η βάση του «OhmMapper», που κατασκευάζεται από την Geometrics. Αν και φαίνεται πολύ διαφορετικό από τα περισσότερα όργανα της «EMI», το «OhmMapper» λειτουργεί με τον ίδιο σχεδόν τρόπο. Μετρά την πραγματική αγωγιμότητα με την

ηλεκτρομαγνητική μέθοδο (EMI) επαγωγής και την μετατρέπει στην ειδική αντίσταση, και πωλείται ως όργανο ειδικής αντίστασης.

2.3.3. Βάθος και Ανάλυση.

Το βάθος και η ανάλυση των δεδομένων αγωγιμότητας που μετριοούνται με την «EMI» εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες, η ειδική συχνότητα, το ύψος των αισθητήρων επάνω από το έδαφος, και ο προσανατολισμός των σπειρών. Αρχικά εξετάζεται η συχνότητα. Τα πεδία χαμηλότερης συχνότητας της «EM» έχουν πιο μεγάλα μήκη κύματος, και είναι επομένως ικανά να διαπεράσουν βαθύτερο στο έδαφος. Γενικά η διείσδυση σε βάθος είναι μεγαλύτερη για τις χαμηλότερες συχνότητες. Βέβαια, το μειονέκτημα των χαμηλότερων συχνοτήτων είναι ότι ένας μεγαλύτερος όγκος γης μετριέται, επομένως τα μικρά αντικείμενα όπως τα αρχαιολογικά στοιχεία δεν μπορούν να ανιχνευθούν. Είναι καλύτερο να χρησιμοποιηθεί μια υψηλότερη συχνότητα, η οποία θα έχει μικρότερο βάθος, έτσι ώστε τα αρχαιολογικά στοιχεία αποτελούν μεγαλύτερο μέρος του συνολικού όγκου. Με άλλα λόγια, οι υψηλότερες συχνότητες παρέχουν μεγαλύτερη ανάλυση ώστε να ανιχνευθούν τα μικρότερα στοιχεία, αλλά οι χαμηλότερες συχνότητες μπορούν να επιτρέψουν την ανίχνευση των σχετικά μεγάλων ή υψηλών στόχων αντίθεσης που είναι πάρα πολύ βαθιοί και ειδάλλως δεν μπορούν να ανιχνευθούν (**Εικόνα 2.6**). Αν και τα ρηχά αντικείμενα, ίσως να μπορούν να ανιχνευθούν επαρκώς με χαμηλές συχνότητες (εικόνα 2.6b), οι υψηλότερες συχνότητες είναι συνήθως καλύτερες για την ανίχνευση των αρχαιολογικών στοιχείων. Επομένως δεν είναι έκπληξη ότι το «Geonics EM38» χρησιμοποιείται τόσο συχνά και τα όργανα χαμηλότερης συχνότητας όπως EM31 χρησιμοποιούνται για τους βαθύτερους και μεγαλύτερους στόχους.



Εικόνα 2.6: Επίδραση της συχνότητας της «EMI» και του βάθους στόχων. Οι γραμμικές απεικονίσεις αντιπροσωπεύουν το σχετικό μέγεθος των μετρήσεων αγωγιμότητας και τα σχέδια αντιπροσωπεύουν τις κατωτέρω διατομές ενός αντικειμένου που θάβεται στα διαφορετικά βάθη. Τα ημικύκλια παρουσιάζουν τα όρια της διείσδυσης βάθους λόγω της συχνότητας. Το καλύτερο δυνατό σενάριο είναι (a) ένα ρηχό αντικείμενο μετρημένο με μια σχετικά υψηλή συχνότητα. Εάν το ίδιο αντικείμενο μετριέται με μια χαμηλότερη συχνότητα (b), μια μεγαλύτερη περιοχή μετριέται και μια μικρότερη ανωμαλία μεγέθους

καταγράφεται. Εντούτοις, όταν τα βαθύτερα αντικείμενα είναι ο στόχος, μια υψηλότερη συχνότητα (c) μπορεί να μην διαπεράσει αρκετά βαθιά στο έδαφος, έτσι το αντικείμενο δεν θα ανιχνευόταν. Η καλύτερη προσέγγιση για τα αντικείμενα που είναι γνωστό ότι είναι βαθιά, είναι να χρησιμοποιηθεί μια χαμηλότερη συχνότητα (d).

Το ύψος του οργάνου επάνω από το έδαφος είναι επίσης ένας κύριος παράγοντας που έχει επιπτώσεις στην ευαισθησία του βάθους. Δεδομένου ότι η απόσταση μεταξύ του πηνίου δέκτη και των αντικειμένων αυξάνεται, η απόκριση από το αντικείμενο μικραίνει. Πέρα από το μέγιστο επιφανειακό βάθος, το σήμα επιστροφής από ένα αντικείμενο είναι πάρα πολύ μικρό για να ανιχνευθεί. Η ευαισθησία βάθους μπορεί επομένως να αυξηθεί με το να φέρουμε το όργανο όσο το δυνατόν πιο κοντά στην επιφάνεια του εδάφους (**Εικόνα 2,4b**). Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό κατά τη χρησιμοποίηση των οργάνων υψηλής συχνότητας όπως το EM38 επειδή το βάθος διείσδυσης είναι περιορισμένο.

Ένας άλλος σοβαρός παράγοντας που έχει επιπτώσεις στο βάθος διείσδυσης είναι ο προσανατολισμός των πηνίων (σπειρών). Οι δύο πιο κοινοί προσανατολισμοί είναι να κρατηθούν οι σπείρες είτε οριζόντιες είτε κάθετες όσον αφορά την επιφάνεια του εδάφους. Εάν οι δύο σπείρες τοποθετούνται οριζόντια στην επιφάνεια του εδάφους (φανταστείτε δύο ρόδες που βρίσκονται στο έδαφος) ο προσανατολισμός τους καλείται οριζόντιο συνεπίπεδο. Σε αυτήν την θέση ο οριζόντιος πομπός παράγει ένα μαγνητικό πεδίο του οποίου οι γραμμές ροής προέρχονται κάθετα, τον οποίο προσανατολισμό ονομάζουμε κάθετο μαγνητικό δίπολο (ή απλά «κάθετος τρόπος»). Σε αυτήν την θέση υπάρχει μέγιστη ενεργειακή διείσδυση στο έδαφος (**Εικόνα 2.5**). Αυτός είναι ο πιο κοινός προσανατολισμός για τις περισσότερες αρχαιολογικές έρευνες. Όταν οι σπείρες κρατιούνται κάθετα όσον αφορά την επιφάνεια του εδάφους, ο προσανατολισμός ονομάζεται κάθετο συνεπίπεδο και η μαγνητική ροή που προέρχεται από το πομπό είναι οριζόντια, αποκαλούμενος οριζόντιος μαγνητικός προσανατολισμός διπόλων («οριζόντιος τρόπος»). Σε αυτήν την θέση ένα πολύ μικρότερο μέρος του προκληθέντος ηλεκτρομαγνητικού πεδίου διαπερνά το έδαφος και έτσι η διείσδυση βάθους μειώνεται (Witten 2006).

2.3.4. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Υπάρχουν πολλά πλεονεκτήματα καθώς επίσης και μειονεκτήματα στην έρευνα αγωγιμότητας. Έναντι της ειδικής αντίστασης, τα δεδομένα της «EMI» μπορούν να συλλεχθούν γρηγορότερα επειδή δεν υπάρχει καμία ανάγκη να παρεμβληθούν

ηλεκτρόδια στο έδαφος ή να ξαναγίνουν περιστασιακά οι μακρινοί έλεγχοι. Επίσης, τα δεδομένα της «EMI» μπορούν να συλλεχθούν στις περιοχές με πολύ ξηρό ή σκληρό έδαφος, όπου τα ηλεκτρόδια είτε δεν μπορούν να τοποθετηθούν, ή το ρεύμα δεν θα ρεύσει λόγω της έλλειψης υγρασίας. Οι πολύ ξερές συνθήκες επιφάνειας δεν είναι απαραίτητως μια ένδειξη ότι το έδαφος κάτω από την επιφάνεια είναι πάρα πολύ ξηρό για να παρέχει μια αρκετή αντίθεση, συχνά επαρκής υγρασία βρίσκεται μόνο μερικά εκατοστόμετρα κάτω από τα ηλεκτρόδια. Τα όργανα της «EMI» μπορούν επίσης να «πακεταριστούν» και να μεταφερθούν ευκολότερα εξ αιτίας του μικρότερου μεγέθους τους. Τα μειονεκτήματα των ερευνών αγωγιμότητας περιλαμβάνουν την ευαισθησία του EM38 στην ηλεκτρική παρέμβαση (π.χ., φωτισμός, ηλεκτροφόρα καλώδια) και τα συντρίμια μετάλλων (Bevan 1998, Clark 1996, Clay 2006). Σε ορισμένες περιπτώσεις, εντούτοις, η ευαισθησία του EM38 στο μέταλλο είναι ένα πλεονέκτημα, όπως με στα πεδία μάχης ή άλλες περιοχές όπου τα χειροποίητα αντικείμενα μετάλλων είναι μεταξύ των στόχων (Bevan 1998 Heckman 2005).

2.4. Μαγνητική Επιδεκτικότητα.

Η μαγνητική επιδεκτικότητα (MS) είναι ένα μέτρο της δυνατότητας ενός υλικού για να μαγνητιστεί παρουσία ενός μαγνητικού πεδίου (Clark 1996 Dalan 2006). Μπορεί να μετρηθεί ανά μονάδα όγκου (κ) ή ως ομαλοποιημένη μάζα επιδεκτικότητας (χ) (Dalan 2006), αλλά όταν μετριέται με το EM38 ή παρόμοια όργανα δίνεται ως αναλογία του αρχικού προς το δευτερεύον πεδίο σε μέρη ανά χίλια (ppt).

Όλα τα άτομα περιέχουν μαγνητικά πεδία προερχόμενα από την εξωτερική στοιβάδα των ηλεκτρονίων, έτσι όλες οι ουσίες αντιδρούν (είναι ευαίσθητες) στα κοντινά μαγνητικά πεδία μέχρι ενός ορισμένου βαθμού (Clark 1996). Ο Dalan περιγράφει τους διάφορους τρόπους με τους οποίους η μαγνητική επιδεκτικότητα ενισχύεται. Ο φυσικός σχηματισμός των εδαφών περιλαμβάνει τη μετατροπή των αδύναμων μαγνητικών οξειδίων και των υδροξειδίων στις εντονότερα μαγνητικές μορφές, έτσι το χώμα είναι πολύ περισσότερο μαγνητικό από τα στρώματα του υπεδάφους. Επιπλέον, οι ανθρώπινες δραστηριότητες ενισχύουν περαιτέρω το χώμα, έτσι ώστε τα χώματα επί των αρχαιολογικών τόπων να είναι συνήθως πιο μαγνητικά από εκείνα στις περιβάλλουσες μη-πολιτιστικές περιοχές. Οι άνθρωποι ενισχύουν τις νεογενείς διαδικασίες και επομένως τις αντιθέσεις επιδεκτικότητας, με την αύξηση της οργανικής

ουσίας και την αλλαγή του πορώδους των χωμάτων, και επίσης με την αύξηση της εδαφολογικής θερμοκρασίας μέσω της πυρκαγιάς. Μπορούν επίσης να ενσωματώσουν καμένα ή υψηλής επιδεκτικότητας υλικά στο έδαφος. Οι πυρκαγιές, είτε φυσικές είτε προκαλούμενες από τον άνθρωπο, επίσης ενισχύουν την μαγνητική επιδεκτικότητα (Dalan 2006). Η ανθρώπινη μαγνητική ενίσχυση του χώματος αυξάνει συχνά την αντίθεση επιδεκτικότητας επί των αρχαιολογικών τόπων, με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται η δυνατότητα να ανιχνευθούν τα τεχνητά αντικείμενα (Clark 1996 Dalan 2006).

2.4.1. Μεθοδολογία Μετρήσεων.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι να μετρηθεί η μαγνητική επιδεκτικότητα, αλλά όλα στηρίζονται στη θεμελιώδη αρχή της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής (EMI). Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο τμήμα ένα δευτεροβάθμιο ηλεκτρομαγνητικό (EM) πεδίο μπορεί να προκληθεί στο έδαφος με την δημιουργία έναν αρχικού πεδίου. Το δευτεροβάθμιο πεδίο, όχι μόνο περιέχει τις πληροφορίες για τις ηλεκτρικές ιδιότητες του εδάφους, αλλά αποκρίνεται και στις μαγνητικές ιδιότητες. Επίσης υπενθυμίζεται ότι όταν το δευτεροβάθμιο πεδίο μετασχηματίζεται από μαθηματική άποψη στα «in-phase» και «out-of-phase», το μέγεθος του «out-of-phase» τμήματος είναι ανάλογο προς την αγωγιμότητα. Εφ' όσον δεν υπάρχει κανένας εξαιρετικά αγωγίμος στόχος στο έδαφος (όπως τα μεγάλα μεταλλικά αντικείμενα), το «in-phase» θεωρείται μέτρο της μαγνητικής επιδεκτικότητας (McNeill 1986). Μερικά όργανα της «EMI» μπορούν να μετρήσουν και την πραγματική αγωγιμότητα και την μαγνητική επιδεκτικότητα ταυτόχρονα. Άλλα όργανα σχεδιάζονται για να μετρήσουν μόνο την μαγνητική επιδεκτικότητα, αλλά εξακολουθούν να χρησιμοποιούν την ηλεκτρομαγνητική επαγωγή.

2.4.2. Διαμορφώσεις.

Τα μαγνητικά δεδομένα επιδεκτικότητας συλλέγονται με ποικίλους τρόπους, συμπεριλαμβανομένης της σχετικά υψηλής οριζόντιας κάλυψης πυκνότητας δεδομένων των ενδεχομένως μεγάλων περιοχών επιφάνειας, αναλύσεις των εδαφολογικών δειγμάτων που λαμβάνονται σε ποικίλα σημεία της επιφάνειας, και μετρήσεις που λαμβάνονται μέσα από μια γεώτρηση (downhole). Για τις έρευνες επιφάνειας, υπάρχουν δύο κοινές διαμορφώσεις αισθητήρων: μονής και διπλής-σπείρας. Τα όργανα μονής σπείρας (επίσης αποκαλούμενα μονού βρόχου ή συμπύπτοντα βρόχου) προκαλούν ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο στο έδαφος, και μετρούν τη συχνότητα του δευτεροβάθμιου πεδίου. Η αλλαγή συχνότητας είναι ανάλογη προς την επιδεκτικότητα του χώματος κοντά στη σπείρα (Clark 1996). Αυτή η μέθοδος απαιτεί ο αισθητήρας να είναι σε

απευθείας επαφή με την επιφάνεια του εδάφους. Όταν δύο σπείρες χρησιμοποιούνται (διαμόρφωση Slingram, ένας πομπός και ένας δέκτης, (Εικόνα 2.4), οι μετρήσεις λαμβάνονται από την απόκριση του «in-phase», όπως περιγράφηκε νωρίτερα.

2.4.3. Βάθος και ανάλυση.

Από όλες τις γεωφυσικές μεθόδους που περιγράφονται εδώ, η μαγνητική επιδεκτικότητα που συλλέγεται από την επιφάνεια του εδάφους είναι περιορισμένη από την άποψη της διαπερατότητας σε βάθος εξ αιτίας της αδυναμίας των μαγνητικών πεδίων που μετριούνται. Η εκθετική απώλεια εμφανίζεται καθώς το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο εισάγεται στο έδαφος, και έπειτα πάλι καθώς ταξιδεύει από το έδαφος στον αισθητήρα μέτρησης. Η απώλεια είναι εκθετική στην έκτη δύναμη, με συνέπεια την πολύ μικρή διείσδυση σε βάθος.

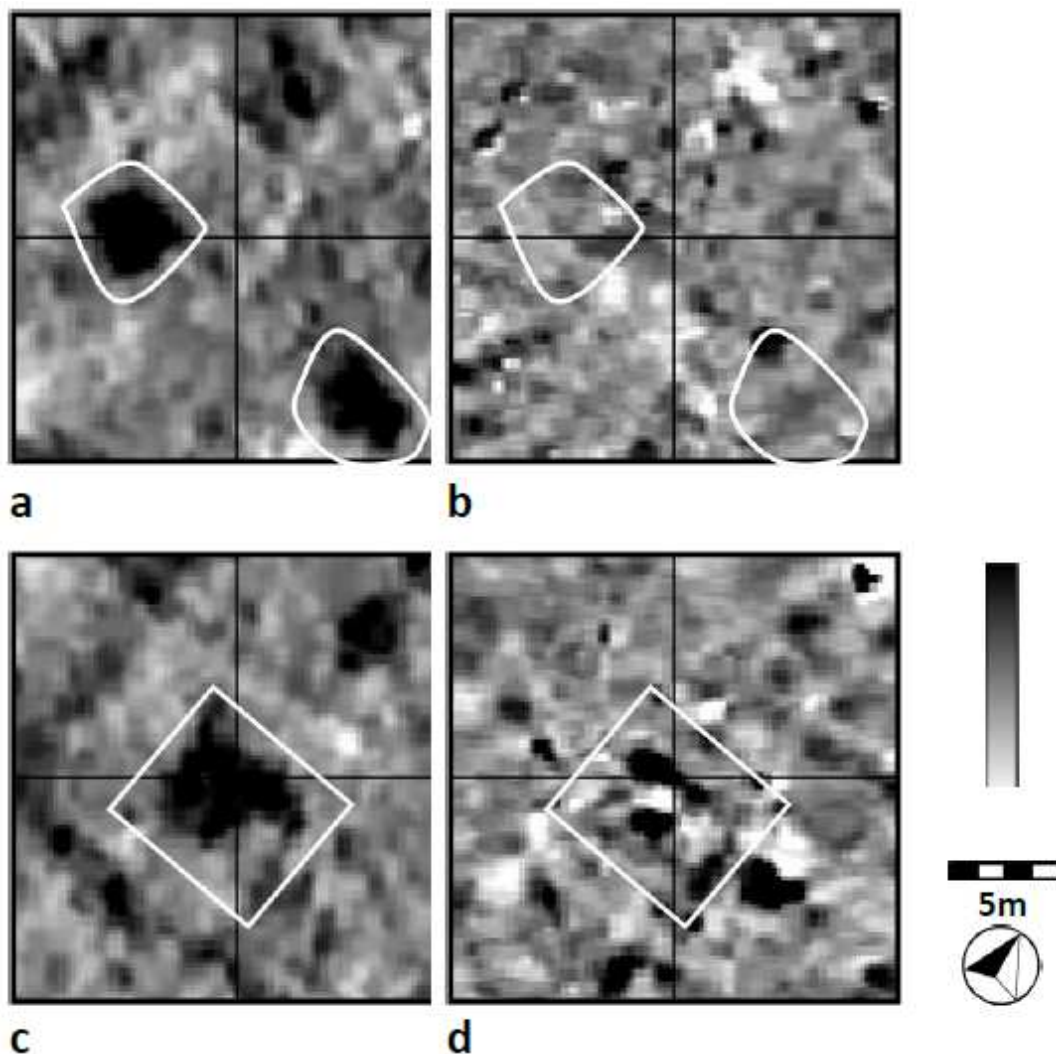
Υπάρχουν ουσιαστικές διαφορές στην διαπερατότητα σε βάθος ανάμεσα στα μονά και διπλής σπείρας οργάνων. Τα μονά όργανα σπειρών πρέπει να έχουν απευθείας επαφή με το έδαφος, και το βάθος της διείσδυσης περιορίζεται από τη διάμετρο του βρόχου αναζήτησης (Dalan 2006). Για παράδειγμα, ο «BartingtonMS2D» αισθητήρας μονού βρόχου, διαπερνά μόνο περίπου 0.10 μέτρα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Οι διπλοί αισθητήρες σπειρών, όπως το Geonics EM38 έχουν μια διείσδυση της τάξης του μισού μέτρου ή περισσότερο (εντούτοις, η ευαισθησία βάθους είναι μεγαλύτερη για την αγωγιμότητα με αυτόν τον αισθητήρα).

Οι πυκνότητες δεδομένων για τις έρευνες περιοχής μαγνητικής επιδεκτικότητας εξαρτώνται από το όργανο. Οι αισθητήρες διπλής-σπείρας είναι γρήγοροι και οι χαρακτηριστικές πυκνότητες δεδομένων είναι σχεδόν οι ίδιες όπως για την αγωγιμότητα, ίσως 0.25m X 0.5m (δηλ., 4 αναγνώσεις ανά γραμμικό μέτρο, με περάσματα που χωρίζονται ανά 0.5m). Οι μονοί αισθητήρες σπειρών, εντούτοις, είναι αρκετά πιο αργοί επειδή κάθε ανάγνωση απαιτεί την απευθείας επαφή με το έδαφος και συχνά ο αισθητήρας πρέπει να μηδενιστεί πριν από κάθε μέτρηση. Άρα η πυκνότητα των μετρήσεων είναι επομένως της τάξης μίας μέτρησης ανά τετραγωνικό μέτρο (ή λιγότερο). Αυτό βάζει ένα προφανές όριο στη χωρική ανάλυση. Με τα όργανα διπλών-σπειρών η χωρική ανάλυση είναι παρόμοιο με την αγωγιμότητα.

2.4.4. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Οι μαγνητικές έρευνες επιδεκτικότητας δεν χρησιμοποιούνται πολύ στην αρχαιολογία, τόσο στην Ευρώπη όσο και στις Ηνωμένες Πολιτείες. Ένας λόγος είναι η πολυπλοκότητα της οργάνωσης των μηχανισμών, και τα όρια της διείσδυσης σε βάθος.

Ένα άλλο μειονέκτημα είναι η τρέχουσα έλλειψη σταθερών και βελτιωμένων οργάνων. Το EM38 είναι ευρέως διαθέσιμο, αλλά είναι επιρρεπές στην κλίση και τα στοιχεία μερικές φορές είναι δύσκολο και χρονοβόρο να επεξεργαστούν. Βέβαια, υπάρχουν πολλά πλεονεκτήματα στην μαγνητική επιδεκτικότητα. Το γεγονός ότι η μαγνητική επιδεκτικότητα που μετρείται με την «EMI» είναι μια ενεργή μέθοδος σημαίνει ότι δεν περιορίζεται στην κατεύθυνση και τη δύναμη του γήινου μαγνητικού πεδίου (σε αντιδιαστολή με τη μαγνητομετρία), έτσι μπορεί να εντοπίσει τα στοιχεία ανεξάρτητα από τη γεωμετρία. Μερικές έρευνες έχουν δείξει ότι με τη μαγνητική επιδεκτικότητα μπορούν να ανιχνευτούν κάτω από την επιφάνεια πολιτιστικά στοιχεία που δεν ανιχνεύονται με τη μαγνητομετρία (**Εικόνα 2.7**). Το Geonics EM38 είναι πιθανώς το καλύτερο για τη γρήγορη κάλυψη περιοχής και την καλή διείσδυση βάθους για τις αρχαιολογικές εφαρμογές.



Εικόνα 2.7: Σύγκριση των ηλεκτρομαγνητικών δεδομένων (MS) επιδεκτικότητας και μαγνητομετρίας από περιοχή της νοτιοδυτικής Αμερικής: (a) δεδομένα μαγνητικής επιδεκτικότητας που παρουσιάζουν δύο καλύβες (b) οι ίδιες δύο καλύβες δεν είναι ορατές στα δεδομένα της μαγνητομετρίας που καλύπτουν την ίδια περιοχή (c) δεδομένα μαγνητικής επιδεκτικότητας που παρουσιάζουν μια δομή ενός κοιλώματος (d)

δεδομένα μαγνητομετρίας από την ίδια περιοχή, που παρουσιάζουν ανωμαλίες που αντιπροσωπεύουν πιθανώς τις άκρες του πατώματος της καλύβας και ίσως ένα κεντρικό στοιχείο. Τα δεδομένα μαγνητικής επιδεκτικότητας συλλέχθηκαν με ένα GeonicsEM38, και τα δεδομένα μαγνητομετρίας με ένα GeoscanFM36.

2.5. Επίγειο ραντάρ (GPR)

Τα όργανα GPR λειτουργούν με τη μετάδοση της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας (πολύ υψηλής συχνότητας ράδιο παλμοί [VHF]) στο έδαφος και τη μέτρηση του ποσού ενέργειας που ανακλάται πίσω και του χρόνου που παίρνει για να φθάσει στην επιφάνεια (Bevan 1998 Conyers και Goodman 1997 Gaffney και Gater 2003 Kvamme 2001). Χώματα, βράχοι, θαμμένα αντικείμενα διάφορα στοιχεία διαφέρουν στο βαθμό στον οποίο απορροφούν ή ανακλούν την ενέργεια. Οι παλμοί του ραντάρ ανακλώνται πίσω στην επιφάνεια γρηγορότερα από τα ρηχά αντικείμενα από αυτά που είναι βαθύτερα. Ο χρόνος που απαιτείται για την ανάκλαση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υπολογιστούν τα βάθη των αντικειμένων και των επιφανειών. Αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται από την αρχαιολογία.

Το GPR είναι, από μία άποψη, μια μέθοδος η οποία εξαρτάται από την διηλεκτρική σταθερά, μια ιδιότητα που επηρεάζει τη δυνατότητα ενός υλικού να αποθηκεύει φορτία όταν εφαρμόζεται ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Οι αισθητήρες GPR μετρούν το χρόνο ταξιδιού ενός κύματος σε νανοδευτερόλεπτα (ns) και την ένταση της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας (ραντάρ) που ανακλάται από τα υπόγεια υλικά (Burger, και λοιποί. 2006 Witten 2006). Η ταχύτητα κυμάτων είναι αντιστρόφως ανάλογη προς τη σχετική διηλεκτρική σταθερά. Ο κυριότερος παράγοντας που έχει επιπτώσεις στη διηλεκτρική σταθερά είναι η υγρασία (Conyers 2004), η οποία συσχετίζεται θετικά με αυτή. Η ενεργειακή ανάκλαση μπορεί επίσης να επηρεαστεί από τη μαγνητική διαπερατότητα, αλλά μόνο σε σπάνιες περιπτώσεις όπως όταν ο σίδηρος ή τα οξειδία σιδήρου είναι παρόντα σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις (vanDam και Schlager 2000).

Οι ανακλάσεις δημιουργούνται στο έδαφος στις διεπαφές μεταξύ των υλικών όπου υπάρχει μια αλλαγή στη σχετική διηλεκτρική σταθερά, και έτσι, στην ταχύτητα κυμάτων. Για παράδειγμα, τα κύματα των ραντάρ που ταξιδεύουν μέσω της ξηρής άμμου, θα επιβραδυνθούν όταν αντιμετωπίζουν ένα στρώμα της υγρής άμμου. Σε εκείνη την διεπαφή, ένα μέρος της ενέργειας ανακλάται, ενώ το υπόλοιπο μεταδίδεται περαιτέρω μέσα στο έδαφος όπου μπορεί να ανακλαστεί στις βαθύτερες διεπαφές

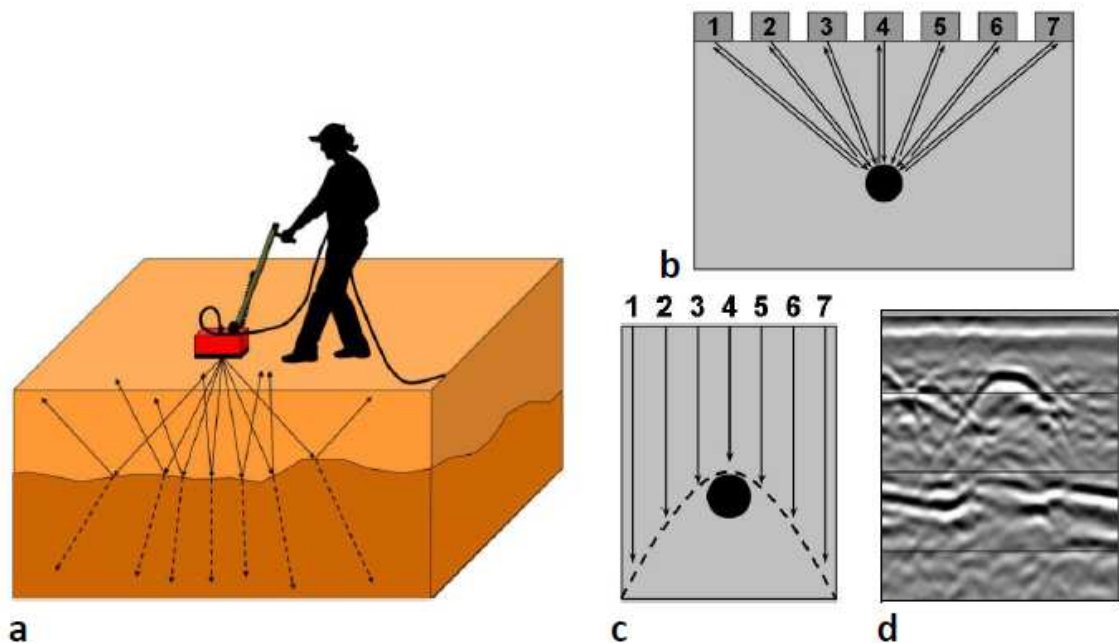
(Conyers 2004). Μερικά από τα μεταδιδόμενα κύματα διαθλώνται επίσης, ή κάμπτονται καθώς περνούν μέσω της διεπαφής, όπως όταν το φως εισέρχεται στο νερό. Η ένταση των ανακλάσεων, καθώς επίσης και η γωνία των διαθλάσεων μπορούν να υπολογιστούν χρησιμοποιώντας απλές εξισώσεις (Conyers, 2004 και Witten, 2006). Η ένταση της ανάκλασης εξαρτάται από την αντίθεση στα υλικά επάνω από και κάτω από τη διεπαφή. Ισχυρότερες ανακλάσεις παράγονται από τις διεπαφές όπου υπάρχει μια μεγαλύτερη διαφορά σε διηλεκτρική σταθερά μεταξύ των δύο στρωμάτων. Αυτό σημαίνει ότι εάν η αλλαγή είναι πολύ λεπτή, οι ανακλάσεις θα είναι αδύνατες και μόλις ανιχνεύσιμες. Με την υψηλή αντίθεση, οι ανακλάσεις είναι πολύ ισχυρές. Η ιδανική κατάσταση είναι επομένως η μέτρια αντίθεση, επειδή οι ανακλάσεις θα είναι αρκετά ισχυρές για να ανιχνεύσουν τις υλικές διεπαφές, αλλά όχι τόσο ισχυρές ώστε να ανακλάται μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας και να φράζουν την μετάδοση στα μεγαλύτερα βάθη. Τα περισσότερα αρχαιολογικά υλικά είναι χαμηλού έως μέτριας αντίθεσης, και υπάρχει σπάνια πρόβλημα μεγάλης αντίθεσης. Όμως τα προβλήματα προκύπτουν με την παρουσία μεγάλων κομματιών μετάλλου (το μέταλλο ανακλά 100% του σήματος), και με τον κορεσμό σε νερό ή εάν υδροφόρος ορίζοντας παρεμβάλλεται στα αρχαιολογικά στρώματα. Το μέταλλο δεν είναι πρόβλημα, εάν είναι ο στόχος ενδιαφέροντος όπως η ανίχνευση των τάφων με μεταλλικά φέρετρα.

Οι ανακλάσεις είναι αρκετά απλό να απεικονιστούν όταν εξετάζονται ξεχωριστά, αλλά ο συνδυασμός ανάκλασης και διάθλασης των κυμάτων μέσω των πολλαπλών διεπαφών με ποικίλες μορφές και προσανατολισμού είναι δυσκολότερο να απεικονιστούν. Τα κύματα μπορούν να περάσουν μέσω μιας διεπαφής όπως η οροφή ενός στρώματος αργίλου, κατόπιν να απεικονίσουν το κατώτατο σημείο του στρώματος αργίλου, και έπειτα επανειλημμένα να απεικονίζουν πάνω και κάτω μεταξύ της οροφής και του κατώτατου σημείου του στρώματος. Εάν μερικά από αυτά τα σήματα φθάνουν τελικά στη λαμβάνουσα κεραία, κάθε ανάκλαση καταγράφεται, κάνοντας να φαίνονται ότι υπάρχουν πολλαπλές διεπαφές. Αυτές καλούνται «multiples» (Conyers 2004). Ένα άλλο σημαντικό ζήτημα είναι ότι πολλά ανακλώμενα κύματα κατευθύνονται μακριά από τη λαμβάνουσα κεραία. Μερικά ανακλώμενα κύματα δεν φθάνουν ποτέ στην κεραία, έτσι μόνο ένα μέρος των ανακλάσεων καταγράφεται πραγματικά (εικόνα 8a). Ακόμα ένα ζήτημα είναι ότι η ενεργειακή μετάδοση του ραντάρ διαχέεται προς όλες τις κατευθύνσεις (Conyers 2004). Πολλές κεραίες έχουν είδος καλύμματος, έτσι ώστε η ενέργεια να μην ακτινοβολείται απλά επάνω από το έδαφος, αλλά η μετάδοση της ακτινοβολίας προς το έδαφος παίρνει μια κωνική μορφή (με την κεραία στην κορυφή) και όχι μια απλή ευθεία γραμμή (Conyers 2004) (**Εικόνα 2.8a**). Καθώς η κεραία κινείται

κατά μήκος της επιφάνειας του εδάφους ακτινοβολεί όχι μόνο προς τα κάτω, αλλά και μπροστά από το μέτωπο της κεραίας, πίσω του, και στις δύο πλευρές. Έτσι παράγονται οι υπερβολικές ανακλάσεις που προέρχονται από μια πηγή σημείου ή ένα μικρό σφαιρικό αντικείμενο (Conyers 2004, Witten 2006). Οι ανακλάσεις εμφανίζονται συνεχώς καθώς η κεραία πλησιάζει το αντικείμενο, περνά άμεσα από αυτό, και έπειτα συνεχίζεται μακρύτερα κατά μήκος της γραμμής (**Εικόνα 2.8b**). Δεδομένου ότι το σύστημα GPR δεν εντοπίζει την κατεύθυνση από την οποία λαμβάνονται τα κύματα, υποθέτει ότι όλες οι αντανάκλασεις είναι κατ' ευθείαν κάτω από το ραντάρ (**Εικόνα 2.8c**). Έτσι οι υπερβολικές «ουρές» αντιπροσωπεύουν τις άκρες του αντικειμένου, όπως ανιχνεύθηκαν από την κεραία από κάθε πλευρά του, και η αιχμή αντιπροσωπεύει την πραγματική θέση και το βάθος που κατέγραψε η κεραία όταν ήταν από πάνω του (**Εικόνα 2.8c,d**).

2.5.1. Μέθοδος μέτρησης.

Η ένταση της ανάκλασης μετρείται από το εύρος των ανακλώμενων κυμάτων σε dB. Ο χρόνος που απαιτείται για τα κύματα του ραντάρ να «ταξιδέψουν» από τον πομπό, να ανακλαστούν, και έπειτα να φθάσουν στο δέκτη καταγράφεται σε ns. Οι ανακλάσεις καταγράφονται συνεχώς, έτσι για κάθε οριζόντια θέση στο έδαφος υπάρχουν εκατοντάδες ή ακόμα και χιλιάδες μετρήσεις, αποκαλούμενες δείγματα. Η σχέση μεταξύ των νανοδευτερολέπτων, των δειγμάτων, και των ιχνών φαίνονται στην **Εικόνα 2.9a**. Κάθε ίχνος αποτελείται από τις εκατοντάδες των δειγμάτων, αλλά ο κάθετος άξονας εκφράζεται συνήθως σε νανοδευτερόλεπτα ή σε βάθος εάν η ταχύτητα είναι γνωστή. Το βάθος υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τη βασική σχέση: η ταχύτητα είναι ίση με την απόσταση (βάθος) διαιρεμένη με το χρόνο ($v = s/t$) (Conyers 2004). Ο ευκολότερος τρόπος να προσεγγιστεί το βάθος είναι να υπολογιστεί η ταχύτητα βασισμένη στις συνθήκες του εδάφους (υγρασία και τύπος ιζημάτων). Εντούτοις, είναι ποιο ακριβές, εάν κάποια πραγματικά βάθη είναι γνωστά για μερικές ανακλάσεις. Γνωρίζοντας το βάθος και το χρόνο, μπορεί να προσδιοριστεί η μέση ταχύτητα, και μ' αυτό να μετατρέψουμε όλα τα δεδομένα σε βάθος υποθέτοντας ότι δεν υπάρχει μεγάλη διαφορά στην ερευνούμενη περιοχή.

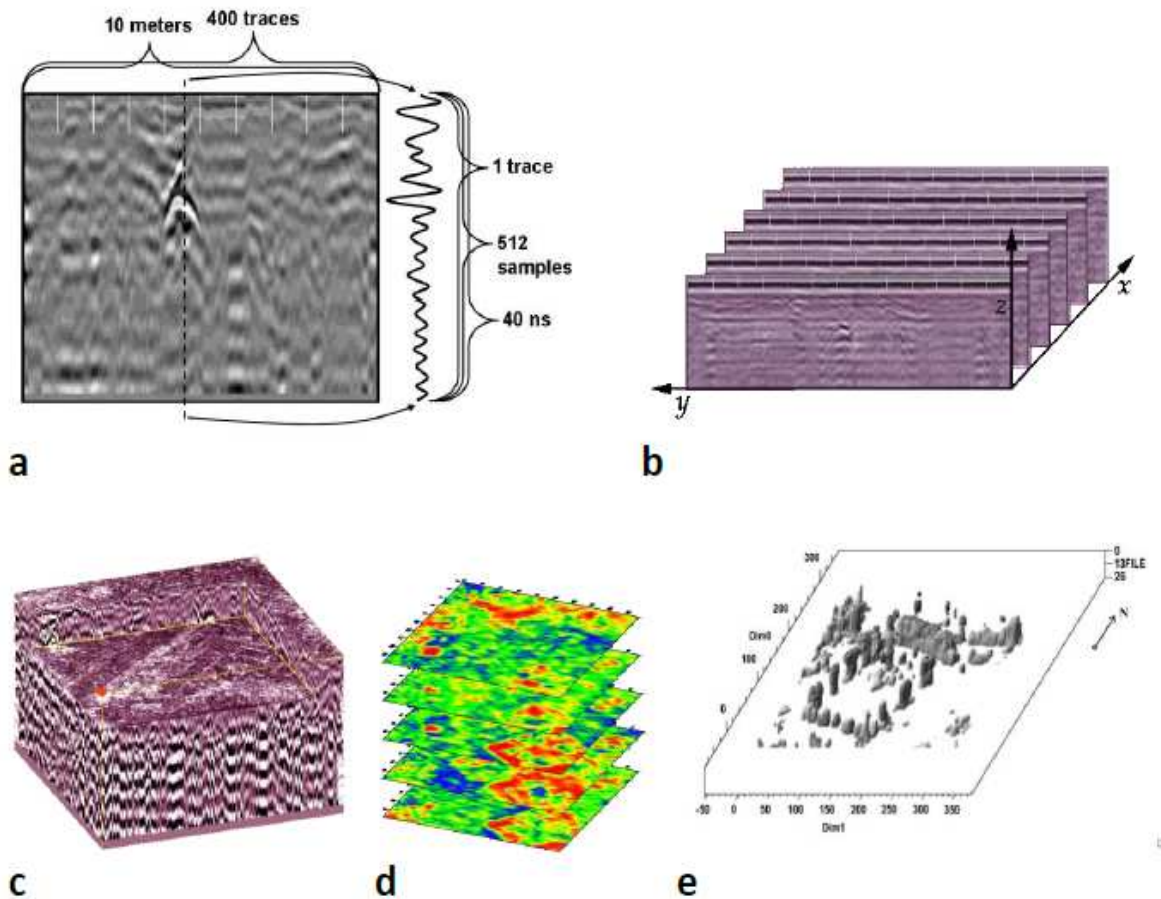


Εικόνα 2.8: Το ραντάρ GPR: (a) όταν μια «προστατευμένη» κεραία χρησιμοποιείται, οι παλμοί ακτινοβολούνται προς τα κάτω σε κωνική μορφή, και αντανακλούνται (συνεχόμενες γραμμές) και διαθλούνται (διακεκομμένες γραμμές) στις διεπαφές. Οι υπερβολικές αντανακλάσεις δημιουργούνται λόγω αυτού της κωνικής μορφής. (b) Καθώς η κεραία περνά από ένα αντικείμενο, από τη θέση 1 έως 7, το χρονικό διάστημα, για κάθε αντανακλώμενο παλμό που λαμβάνεται, καταγράφεται, και έπειτα (c) αποτυπώνεται σαν ήταν ακριβώς κάτω από την κεραία. (d) η υπερβολική αντανάκλαση που παράγεται από ένα τμήμα χάλυβα που παρεμβάλλεται σε ένα τοίχο τάφρων.

Τα περισσότερα γεωφυσικά στοιχεία εμφανίζονται με την αποτύπωση των τιμών σε έναν χάρτη και τη δημιουργία ισοϋψών (contour maps) ή των χαρτών σκιάς (image maps). Αυτό είναι ένας λογικός τρόπος να παρουσιαστούν οι περισσότερες γεωφυσικές πληροφορίες όταν υπάρχει μια μέτρηση ανά θέση. Με το GPR, υπάρχουν χιλιάδες μετρήσεις ανά μέτρο. Ο αρχικός τρόπος να παρουσιαστούν οι πληροφορίες ήταν τα «radargrams», επίσης γνωστά ως ραδογράμματα ανάκλασης (Εικόνα 2.9a). Συνήθως, μια σειρά από «profile maps» χρειάζονται για τις αρχαιολογικές εφαρμογές (Εικόνα 2.9b), το οποίο καθιστά δυνατή την τριδιάστατη απεικόνιση των δεδομένων (Εικόνα 2.9c) ή την δημιουργία οριζόντιων χαρτών (slicemaps) (Εικόνα 2.9d). Για πολλά έτη μόνο τα «radargrams» χρησιμοποιούνταν για την ερμηνεία, και με την ερμηνεία κάθε ραδογράμματος, λαμβάνοντας την θέση και το βάθος χαραζόταν ένας τελικός χάρτης με τα απαραίτητα δεδομένα (Conyers και Goodman 1997). Τελικά η επεξεργασία των ανακλάσεων σε χάρτες που παρουσιάζουν χρονικά διαστήματα ή βάθη,

αυτοματοποιήθηκε από τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές, και τώρα χρησιμοποιούνται συνήθως, οι λεγόμενοι «slice maps» (Εικόνα 2.9d).

Οι «slicemaps» είναι πολύ σημαντικοί για το αρχαιολογικό «GPR» και διευκολύνουν τους μη ειδικούς να ερμηνεύσουν και να καταλάβουν τα δεδομένα.

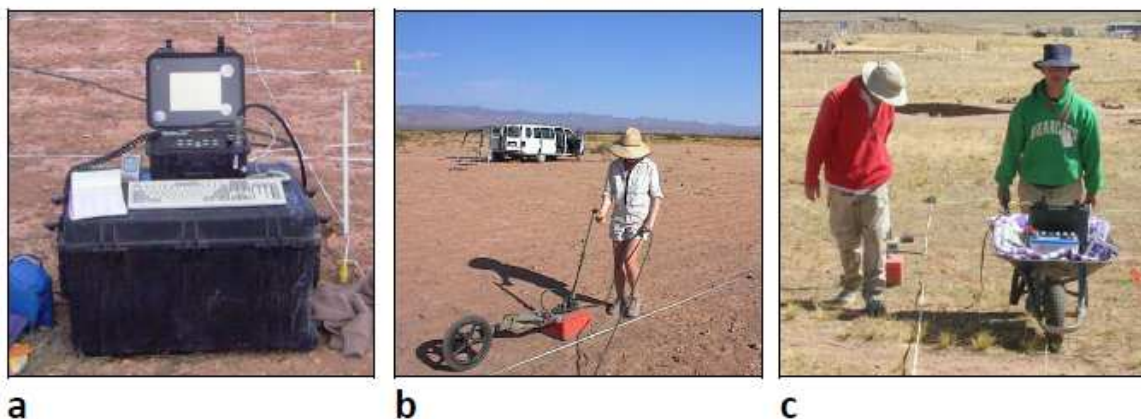


Εικόνα 2.9: Επίδειξη δεδομένων ραντάρ. (a) τα σχεδιαγράμματα αντανάκλασης (radargrams) παρουσιάζουν στοιχεία που συλλέγονται κατά μήκος ενός τομέα κατά μήκος της επιφάνειας του εδάφους (η άποψη είναι κατά προσέγγιση ανάλογη με τον τοίχο μιας «backhoe» τάφρου). (b) κάθε (X, Y) θέση στην επιφάνεια αντιπροσωπεύεται από ένα ίχνος στοιχείων στην z κατεύθυνση, η οποία μετριέται σε νανοδευτερόλεπτα και σε δείγματα. Μια σειρά σχεδιαγραμμάτων αντανάκλασης συλλέγεται για την αρχαιολογική χαρτογράφηση. Αυτό καθιστά πιθανό (c) να γίνει τρισδιάστατη απεικόνιση των δεδομένων, (d) να παραχθούν «slicemaps», και (e) να παραχθούν τα τρισδιάστατες ισοεπιφάνειες.

2.5.2. Διαμορφώσεις.

Τα ραντάρ μπορούν να ρυθμιστούν με διάφορους τρόπους, ανάλογα με τον τύπο και τη συχνότητα της κεραίας που χρησιμοποιούν, το μέγεθος και το βάρος του

οργάνου, και εάν είναι τοποθετημένα πάνω σε ένα τροχό ή όχι (ερευνητική ρόδα). Τα παλαιότερα συστήματα GPR σχεδόν πάντα ρυθμίζονταν έτσι ώστε ο κεντρικός υπολογιστής και η πηγή ισχύος (συχνά μπαταρία 12V) να μένουν σταθερά σε ένα σημείο (**Εικόνα 2.10a**). Ένα μακρύ καλώδιο τα συνδέει με την κεραία, η οποία κινείται στην εξεταζόμενη περιοχή (**Εικόνα 2.10b**). Δεδομένου ότι η τεχνολογία συνεχίζει να βελτιώνεται, όλο και περισσότερα συστήματα κατασκευάζονται έτσι ώστε να μπορούν να κινηθούν μαζί με την κεραία, συχνά προσδένονται σ' αυτόν που τραβάει την κεραία ή μπαίνουν σε ένα καρότσι. Κατά τη διάρκεια μιας έρευνας στο «Tiwanaku» (Βολιβία) με ένα «GSSI Sir-2000», μόνο ένα πολύ κοντό καλώδιο ήταν διαθέσιμο έτσι ο κεντρικός υπολογιστής και η μπαταρία τοποθετήθηκαν σε ένα καρότσι και κύλησαν παράλληλα με την κεραία (**Εικόνα 2.10c**). Μερικά από τα νεώτερα συστήματα GPR, όπως το GSSI Sir-3000, είναι αρκετά μικρά ώστε να μεταφερθούν από το ίδιο άτομο που τραβά την κεραία, και μπορούν επίσης να τοποθετηθούν σε μια χειράμαξα. Επίσης, οι κεραίες ποικίλλουν μεταξύ τους. Μία κεραία ενός ραντάρ είναι ουσιαστικά δύο κεραίες, ένας πομπός και ένας δέκτης. Συχνά τοποθετούνται τόσο κοντά μεταξύ τους μέσα σε ένα κουτί (συμπίπτουσες), που είναι δύσκολο να τα ξεχωρίσεις (π.χ. κεραίες GSSI). Άλλα γίνονται έτσι ώστε ο πομπός και ο δέκτης να είναι χωριστοί και να μπορούν να κινηθούν χωρία εάν αυτό χρειάζεται (π.χ. αισθητήρες & κεραίες λογισμικού). Στις περισσότερες περιπτώσεις μπορεί να προσαρμοστεί μία ερευνητική ρόδα (**Εικόνα 2.10b**), η οποία καταγράφει την απόσταση που διανύει και ελέγχει το ποσοστό καταγραφής. Για την αρχαιολογία, οι συμπίπτουσες διαμορφώσεις πομπού-δέκτη χρησιμοποιούνται συχνά. Οι ρόδες ερευνών προτιμώνται επίσης όταν είναι διαθέσιμες, ειδικά εάν υπάρχουν εμπόδια στη συνεχή μετακίνηση της κεραίας. Η ρόδα ερευνών, βοηθάει την κεραία που πρέπει να κινηθεί σε έναν αρκετά σταθερό ρυθμό, και την λήψη καθοδηγητικών δεικτών που γίνονται ανά τακτά διαστήματα (1 μέτρο).



Εικόνα 2.10: Ρυθμίσεις του συστήματος GSSISir-2000 GPR: (a) μονάδα ελέγχου με ηλεκτρολόγιο και μπαταριών 12 βολτ (b) κεραία 400 MHz με τη ρόδα ερευνών (c) η μέθοδος με το καρότσι

2.5.3. Βάθος και Ανάλυση.

Το βάθος και η ανάλυση του GPR εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες και απαιτούν μια αρκετά λεπτομερή εξήγηση. Η ταχύτητα και οι πυκνότητες δειγματοληψίας εξαρτώνται από τις ρυθμίσεις του οργάνου και την μέθοδο ερευνών, και τόσο το βάθος όσο και η χωρική ανάλυση εξαρτώνται από τις συνθήκες του εδάφους (υγρασία, τύπος ιζημάτων) και τη συχνότητα των κεραιών.

Τα νέα συστήματα επιτρέπουν ολόκληρο το όργανο να κινηθεί και μόνο ένα άτομο απαιτείται για να χειριστεί το όργανο. Η πυκνότητα δειγματοληψίας των δεδομένων του GPR είναι παρόμοια με άλλες γεωφυσικές μεθόδους στην κατεύθυνση X, πολύ υψηλότερη στις κατευθύνσεις Y (κατά μήκος των τομών) και Z (κατακόρυφος, ή βάθος). Η κατεύθυνση X ορίζεται απλά το διάστημα μεταξύ των τομών, με 0.5m συνήθως, αλλά σε μερικές περιπτώσεις 1m είναι επαρκές και 0.25m χρησιμοποιείται μερικές φορές για τις λεπτομερείς έρευνες. Η πυκνότητα δειγματοληψίας κατά μήκος των τομών (Y) είναι μεταβλητή, και μπορεί να ελεγχθεί από μια ρόδα ερευνών ή από την ταχύτητα με την οποία η κεραία προχωράει. Κατά τη χρησιμοποίηση μιας ρόδας ερευνών, ο αριθμός ίχνων (μετρήσεις, που είναι γνωστός επίσης ως «wiggles» ή ανιχνεύσεις) ανά μέτρο μπορεί να τεθεί στον υπολογιστή και είναι άμεσα διαθέσιμα αν η κεραία δεν κινείται υπερβολικά γρήγορα. Στην κάθετη διάσταση (Z) ο αριθμός μετρήσεων εξαρτάται από το διάστημα του χρόνου (σε νανοδευτερόλεπτα) και τον αριθμό δειγμάτων ανά ίχνος. Το χρονικό διάστημα που ο υπολογιστής που λαμβάνει τις ανακλάσεις (διάστημα που παίρνει ένας παλμός να ταξιδέψει από το πομπό, να ανακλαστεί, και να καταγραφεί από το δέκτη). Κάθε ίχνος αποτελείται από μια σειρά μετρήσεων, αποκαλούμενη δείγμα (**Εικόνα 2.9a**). Περισσότερα δείγματα ανά ίχνος, περισσότερη λεπτομέρεια στην καταγραφή με μορφή ίχνους (καταγραμμένο σήμα). Μια τυπική έρευνα GPR περιλαμβάνει περιοχή 50m X 50m με τομές (profiles) που απέχουν 0,5m μεταξύ τους, με 50 ίχνη ανά μέτρο, χρονικό διάστημα 50ns (δύο χρόνοι ταξιδιού, TWTT), και 500 δείγματα ανά ίχνος. Χωρίς να γνωρίζουμε την ταχύτητα, το βάθος δεν είναι γνωστό. Αν τα προκύπτοντα δεδομένα είχαν τις διαστάσεις X = 100 (profiles), Y = 2.500 (ίχνη), και Z = 500 (δείγματα) και η ταχύτητα υπολογίστηκε 0.10 m/ns (TWTT), τότε το μέγιστο βάθος είναι $2.5m (50 ns \times [(0.1m/ns) / 2])$. Οι πυκνότητες δειγματοληψίας επομένως είναι 0.5m στο X, 0.02m στο Y, και .0005m στο Z. Με άλλα λόγια υπάρχει ένα «profile» κάθε 0.5m, ένα ίχνος κάθε 0.02m, και ένα δείγμα μέτρησης για κάθε 0.005m στο έδαφος (μέχρι 2.5m).

Οι υψηλές πυκνότητες δειγματοληψίας είναι απαραίτητες για την ερμηνεία των σχεδιαγραμμάτων ανάκλασης, αλλά μπορούν να μειωθούν πολύ για τις «χρονικές φέτες» (slices). Χρησιμοποιώντας την ίδια υποθετική έρευνα, τα δεδομένα μπορούν να διαιρεθούν σε είκοσι ίσες «φέτες» βάθους που αντιπροσωπεύει βάθος 0.125m. Για την απεικόνιση αυτών ως δισδιάστατες εικόνες είναι καλό να ληφθεί δείγμα εκ νέου έτσι ώστε υπάρχει μια ποιό ίση πυκνότητα δειγματοληψίας στο X και στο Y, 0.25 Χ 0.25m, ή 0.5 Χ 0.25m. Ένας άλλος τρόπος να απεικονιστούν τα στοιχεία GPR είναι με την τρισδιάστατη απόδοση. Με την παρεμβολή μεταξύ των σχεδιαγραμμάτων αντανάκλασης, ένα τρισδιάστατο σύνολο δεδομένων δίνεται (**Εικόνα 2.9e**) με τις διαφανείς τιμές υποβάθρου έτσι ώστε οι υψηλές ανακλάσεις εύρους απεικονίζονται μέσα σε έναν τρισδιάστατο όγκο. Αυτό είναι ένα σημαντικό εργαλείο για να ερμηνευτούν και να ερευνηθούν τα δεδομένα, και έτσι οι φέτες και τα σχεδιαγράμματα ανάκλασης είναι η πιο κοινή μέθοδος απ' όπου μπορούμε να τυπώσουμε τα δεδομένα.

Η ευαισθησία βάθους του GPR σχετίζεται άμεσα με την αγωγιμότητα του εδάφους. Συνήθως το έδαφος είναι τουλάχιστον ελαφρώς αγωγίμο, έτσι ένα μέρος της ενέργειας μειώνεται, ή μετατρέπεται σε ηλεκτρικό ρεύμα και διασκορπίζεται, προτού να φθάσει στο δέκτη (Conyers 2004). Καθώς τα κύματα του ραντάρ κινούνται πιο βαθιά στο έδαφος, όλο και λιγότερο ενέργεια είναι διαθέσιμη να ανακλαστεί έτσι υπάρχει απώλεια του σήματος με το βάθος. Συχνά χειριστές του GPR θα περιγράψουν τα ιδιαίτερα αγωγίμα εδάφη ως «χασούρα», αυτό σημαίνει ότι πολύ μικρό μέρος του σήματος φτάνει στη λαμβάνουσα κεραία επειδή το περισσότερο μειώνεται. Για να αντισταθμιστεί η απώλεια, το σήμα του GPR πολλαπλασιάζεται με τις αυξανόμενες τιμές του βάθους (Conyers 2004). Ο πιο σοβαρός παράγοντας από τον οποίο εξαρτάται ο βαθμός της μείωσης είναι η υγρασία. Η μείωση επιδεινώνεται από την παρουσία ηλεκτρολυτών, και τα μεταλλεύματα αργίλου, τα οποία διατηρούν συχνά την υγρασία ακόμη και στα πολύ ξηρά κλίματα. Συχνά λέγεται ότι η επιτυχία μιας έρευνας GPR εξαρτάται από το ποσό αργίλου που υπάρχει στο έδαφος, αλλά αυτό δεν είναι πάντα ο μοναδικός λόγος. Ο Conyers (2006) έχει δείξει ότι ο πιο σοβαρός παράγοντας είναι η υγρασία, και ούτε τα πιο αγωγίμα μεταλλεύματα αργίλου δεν είναι τόσο αγωγίμα όταν είναι ξηρά. Υπάρχει επίσης μεγάλη ποικιλία στους τύπους αργίλων, και σε μια περίπτωση ο Conyers (2006) πραγματοποίησε μια πολύ επιτυχημένη έρευνα GPR σε υγρό άργιλο στο δυτικό Όρεγκον. Επόμενες εδαφολογικές δοκιμές αποκάλυψαν ότι οι κόκκοι, δεν ήταν μεταλλεύματα αργίλου. Ακόμα κι αν φαίνονταν και είχαν την υφή του αργίλου, δεν ήταν ορυκτολογικός άργιλος και επομένως δεν είχε καταστροφικές συνέπειες στην έρευνα. Αντιθέτως, κάποιος μπορεί να ξεγελαστεί από τις ξερές

συνθήκες ερήμου, και να υποθέσει ότι η μετάδοση του GPR θα είναι ιδανική, αλλά η παρουσία άλατος που συνδέεται με την υγρασία (έστω μικρού ποσοστού) μπορεί να δημιουργήσει υψηλή αγωγιμότητα και επομένως υπερβολική μείωση.

Ένας άλλος παράγοντας που έχει επιπτώσεις στο βάθος, και δυστυχώς στην ανάλυση, είναι η συχνότητα. Μια πολύ χαμηλής συχνότητας κεραία, όπως 50 MHz, μπορεί να διαπεράσει 50 μέτρα ή περισσότερα, αλλά αυτό θα οδηγούσε στο πολύ κακή ανάλυση (Conyers 2004). Αντιθέτως, μια κεραία υψηλής συχνότητας, όπως 900 MHz, μπορεί να διαπεράσει το πολύ ένα μέτρο, αλλά είναι σε θέση να παρέχει πάρα πολύ μεγάλη ανάλυση, εντοπίζοντας πολύ μικρά στοιχεία της τάξης των μερικών εκατοστών. Οπότε η διεισδυτικότητα είναι αντιστρόφως ανάλογη της ανάλυσης. Οι χαμηλότερες συχνότητες επιτρέπουν την βαθύτερη διείσδυση, αλλά μόνο με την απώλεια ανάλυσης. Οι κεραίες GPR έχουν ευρεία ζώνη, το οποίο σημαίνει ότι παράγουν πραγματικά ευρύ φάσμα συχνοτήτων της τάξης από το μισό μέχρι δύο φορές την κεντρική συχνότητα (Conyers 2004). Μια κεραία κεντρικής συχνότητας 400 MHz, παραδείγματος χάριν, διαβιβάζει πραγματικά τις συχνότητες που κυμαίνονται κατά προσέγγιση από 25 έως 1000MHz. Αυτό σημαίνει ότι οι μετατρεμμένες συχνότητες, ενώ είναι χαμηλότερες, περιέχουν μερικές υψηλές συχνότητες για τον εντοπισμό των μικρότερων αντικειμένων καθώς επίσης και χαμηλότερες συχνότητες που μπορούν να διαπεράσουν σε μεγαλύτερο βάθος. Μερίδα του φάσματος συχνότητας μπορεί να ενισχυθεί ή να υποβαθμιστεί με τα φίλτρα συχνότητας κατά τη διάρκεια της συλλογής δεδομένων ή αργότερα κατά την επεξεργασία εάν αυτό είναι επιθυμητό.

Για τις περισσότερες αρχαιολογικές περιοχές, υπάρχει ένα στενό φάσμα κατάλληλων (κεντρικών) συχνοτήτων. Συχνότητα περίπου 200MHz ίσως είναι κατάλληλη για να χρησιμοποιηθεί στην αρχαιολογία, αλλά μόνο για να βρεθούν τα σχετικά μεγάλα αντικείμενα που είναι πολύ βαθιά θαμμένα για να ανιχνευθούν από μια κεραία υψηλότερης συχνότητας (Casana, 2008). Στο άλλο άκρο, μια κεραία 900MHz μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ανιχνεύσει τα πολύ μικρά αντικείμενα που είναι θαμμένα πολύ κοντά στην επιφάνεια. Βέβαια, σε πολλές περιπτώσεις οι πολύ υψηλές συχνότητες είναι πάρα πολύ ευαίσθητες στα μικρά αντικείμενα (ιδιαίτερα βράχοι) και τα δεδομένα είναι επομένως «μπερδεμένα» και δύσκολο να ερμηνευθούν. Η μεγάλη πλειοψηφία των επιτυχών ερευνών GPR στην αρχαιολογία πραγματοποιείται με κεραίες από 400 - 500 MHz, με ευαίσθητες βάθους που κυμαίνονται από 0.5 έως 3 και μερικές φορές 5 μέτρα σε πολύ ευνοϊκές συνθήκες. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ακόμα και αν οι κεραίες χαμηλότερης συχνότητας διαπερνούν βαθύτερα στο έδαφος, ο σημαντικότερος παράγοντας είναι οι συνθήκες που επικρατούν στο έδαφος. Εάν

υπάρχει ένα στρώμα με ιδιαίτερα αγωγίμο υλικό, όπως αλμυρό νερό, η διείσδυση σε βάθος θα περιοριστεί ανεξάρτητα από το πόσο είναι χαμηλή η συχνότητα.

Το βάθος της διείσδυσης μπορεί να υπολογιστεί με ποικίλους τρόπους. Εάν ο χρόνος το επιτρέπει και υπάρχει μια τάφρος τύπου «backhoe» διαθέσιμη, ο ευκολότερος τρόπος να καθοριστεί το βάθος είναι να γίνει μια «bartest» (Conyers και Goodman 1997). Αυτή η δοκιμή περιλαμβάνει την τοποθέτηση μιας μπάρας μετάλλου (όπως ένα μικρό τμήμα σωλήνων) στον τοίχο της τάφρου και τη δημιουργία ενός σχεδιαγράμματος ανάκλασης ακριβώς επάνω από το αντικείμενο (**Εικόνα 2.11a**). Δεδομένου ότι μπορεί να μετρηθεί το πραγματικό βάθος (s) του αντικειμένου με ένα μέτρο, και μπορεί να καθοριστεί ο χρόνος ταξιδιού (t) με την εύρεση της αντανάκλασης στο σχεδιάγραμμα και τη διαίρεση της στο μισό (ο αρχικός χρόνος καταγράφεται ως δύο διαδρομές) (αριθμός 2.11b), κατόπιν μπορεί να καθοριστεί η μέση ταχύτητα (v) της διάδοσης κυμάτων μεταξύ της επιφάνειας και του αντικειμένου χρησιμοποιώντας τη σχέση:

$$v = s/t$$

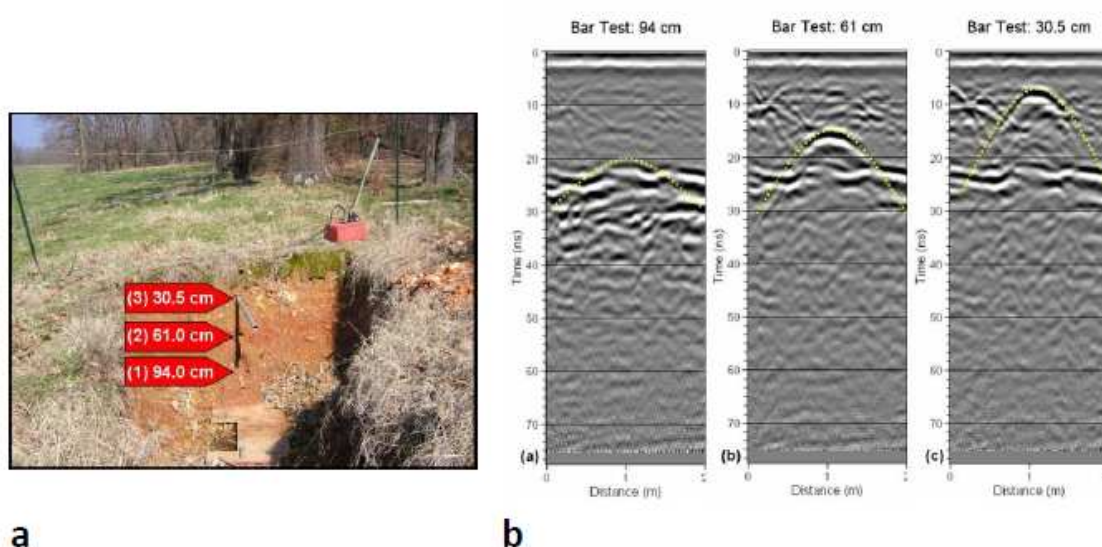
Όταν είναι γνωστή η ταχύτητα, η ίδια εξίσωση χρησιμοποιείται για να μετατρέψει όλους τους χρόνους στο βάθος με την εξίσωση :

$$s = vt$$

Η εφαρμογή αυτής της μετατροπής σε όλα τα σχεδιαγράμματα θα μετασχημάτιζε όλα τα δεδομένα από χρόνο σε βάθος. Αυτό είναι συχνά χρήσιμο, αλλά είναι επίσης σημαντικό να σημειωθεί ότι η ταχύτητα μπορεί να ποικίλει πολύ τόσο κάθετα όσο και οριζόντια καθώς η υγρασία είναι διαφορετική σε διάφορα σημεία. Ένας υπολογισμός ταχύτητας μπορεί να μην αντιπροσωπεύσει ακριβώς όλο το σύνολο των δεδομένων. Είναι καλύτερο να γίνει αυτή η δοκιμή σε πολλαπλάσια βάθη στην ίδια τάφρο, και σε διάφορες τάφρους που βρίσκονται σε όλη την εξεταζόμενη περιοχή. Δυστυχώς, δεν επιτρέπουν όλα τα προγράμματα λογισμικού τη μετατροπή του χρόνου σε βάθος σε πολλαπλές θέσεις, έτσι συχνά μια μόνο σταθερά χρησιμοποιείται που θεωρείται ότι αντιπροσωπεύει καλύτερα τη μέση ταχύτητα της εξεταζόμενης περιοχής. Όταν γίνεται αυτό, είναι καλό να επιλεχτεί ένας υπολογισμός ταχύτητας από ένα βάθος που είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στο μέσο βάθος όλων των δεδομένων έτσι ώστε οι υπολογισμοί

να είναι ακριβέστεροι από για τα αντικείμενα που βρίσκονται επάνω ή κάτω από το μέσο βάθος.

Μια παρόμοια δοκιμή ταχύτητας μπορεί να γίνει εάν το βάθος σε οποιαδήποτε αναγνωρίσιμη πηγή ανακλάσεων είναι γνωστό (Conyers 2004). Εάν υπάρχει ένας υδροσωλήνας ή άλλο αντικείμενο στην περιοχή που το βάθος είναι γνωστό, πρέπει να είναι αναγνωρίσιμο από τις υπερβολικές αντανάκλασεις στα σχεδιαγράμματα. Οι πληροφορίες μπορούν επομένως να χρησιμοποιηθούν με τον ακριβώς ίδιο τρόπο με την «bartest». Άλλες ανακλάσεις, όπως τα στρώματα, μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν, εφ' όσον μπορούν να αναγνωριστούν στα σχεδιαγράμματα ανάκλασης και το βάθος τους είναι γνωστό.



Εικόνα 2.11. Δοκιμή ταχύτητας ραντάρ με «Bartest»: (a) μία μπάρα μετάλλου παρεμβλήθηκε σε έναν τοίχο τάφρων σε τρία διαφορετικά βάθη (b) υπερβολικές αντανάκλασης από κάθε βάθος. Σε αυτήν την περίπτωση η δοκιμή έγινε σε 0,94, 0,61 και 0.305 μέτρα (η αντανάκλαση από τη βαθύτερη μπάρα παραμένει σε κάθε δοκιμή επειδή δεν μπορεί να ανακτηθεί μετά από την αρχική δοκιμή.)

Μια άλλη δοκιμή ταχύτητας που μπορεί να γίνει καλείται κοινή δοκιμή(CMP) μεσαίου σημείου. Αυτό απαιτεί ο πομπός και ο δέκτης να χωρίζονται στις αυξανόμενες αποστάσεις μεταξύ τους. Μόνο μερικά συστήματα GPR έχουν τις κεραίες που μπορούν να χωριστούν κατά αυτόν τον τρόπο, αλλά η δοκιμή μπορεί επίσης να γίνει με δύο πλήρεις κεραίες των ίδιων ή παρόμοιων συχνοτήτων εφ' όσον είναι διαθέσιμος ένας διαχωριστής καλωδίων ή ο υπολογιστής έχει δύο κανάλια για να λάβει τα στοιχεία ταυτόχρονα. Εν πάση περιπτώσει, καθώς η συσκευή αποστολής σημάτων και ο δέκτης κινούνται μακρύτερα χώρια, τα κύματα που ταξιδεύουν μέσω του αέρα, άμεσα μέσω του εδάφους, και μέσω των βαθύτερων και βαθύτερων στρωμάτων καταγράφονται. Καθώς

η δοκιμή προχωρά, η ενέργεια συνεχίζει να ταξιδεύει μέσω των διαφορετικών στρωμάτων, και εάν οι αφίξεις αυτών των κυμάτων μπορούν να προσδιοριστούν στα στοιχεία, και η απόσταση είναι γνωστή (μετρημένος κατά μήκος του εδάφους), η ταχύτητα μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας την ίδια σχέση με την ανωτέρω δοκιμή (για τη δοκιμή ανάκλασης).

Εάν οι δοκιμές ταχύτητας δεν γίνονται στον τομέα κατά τη διάρκεια της συλλογής δεδομένων, υπάρχουν τρόποι να υπολογιστεί η ταχύτητα στα σχεδιαγράμματα εάν οι υπερβολικές ανάκλασης μπορούν να βρεθούν. Ένας τρόπος είναι να χρησιμοποιηθεί η θεωρητική γεωμετρία των υπερβολών. Αυτό μπορεί να γίνει με το χέρι χρησιμοποιώντας μια απλή εξίσωση (Bevan, 1998), ή με λογισμικό.

Μια άλλη μέθοδος, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από κοινού με τις υπερβολές, είναι επαναληπτική μετανάστευση. Η μετανάστευση είναι μια μέθοδος επεξεργασίας που προσπαθεί να διορθώσει για τις γεωμετρικές διαστρεβλώσεις έμφυτες στα στοιχεία GPR λόγω της ευρείας γωνίας των εκπεμπόμενων κυμάτων και των αλλαγών ταχύτητας, τα οποία αλλάζουν επίσης τη γωνία των συναφών κυμάτων (Conyers 2004 Mussett και Khan 2000). Η ταχύτητα πρέπει να μαθευτεί για να εκτελέσει τη μετανάστευση. Δεδομένου ότι ένα σφαιρικό (ή παρόμοιο) αντικείμενο παράγει μια υπερβολική ανάκλαση, κατόπιν η μετανάστευση που χρησιμοποιεί τη σωστή ταχύτητα πρέπει να οδηγήσει σε μια ανάκλαση που μιμείται το μέγεθος και τη θέση της κορυφής της σφαίρας, με αυτόν τον τρόπο αφαιρώντας ουρές υπερβολών. Εάν μια σειρά δοκιμών μετανάστευσης εκτελείται χρησιμοποιώντας τις διαφορετικές ταχύτητες, αυτή που παράγει το ακριβέστερο αποτέλεσμα μπορεί να υποτίθεται ότι αντιπροσώπευσε τη μέση ταχύτητα για το έδαφος μεταξύ της επιφάνειας και της κορυφής υπερβολής (Leckebusch 2003). Αυτός είναι πολύ ένας γρήγορος και ένας αποτελεσματικός τρόπος υπολογισμού της ταχύτητας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

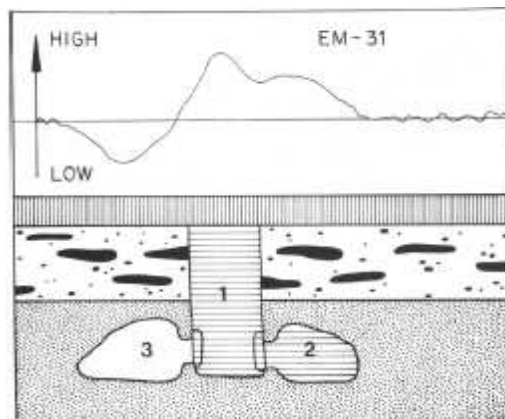
Εφαρμογές

3. Εφαρμογές.

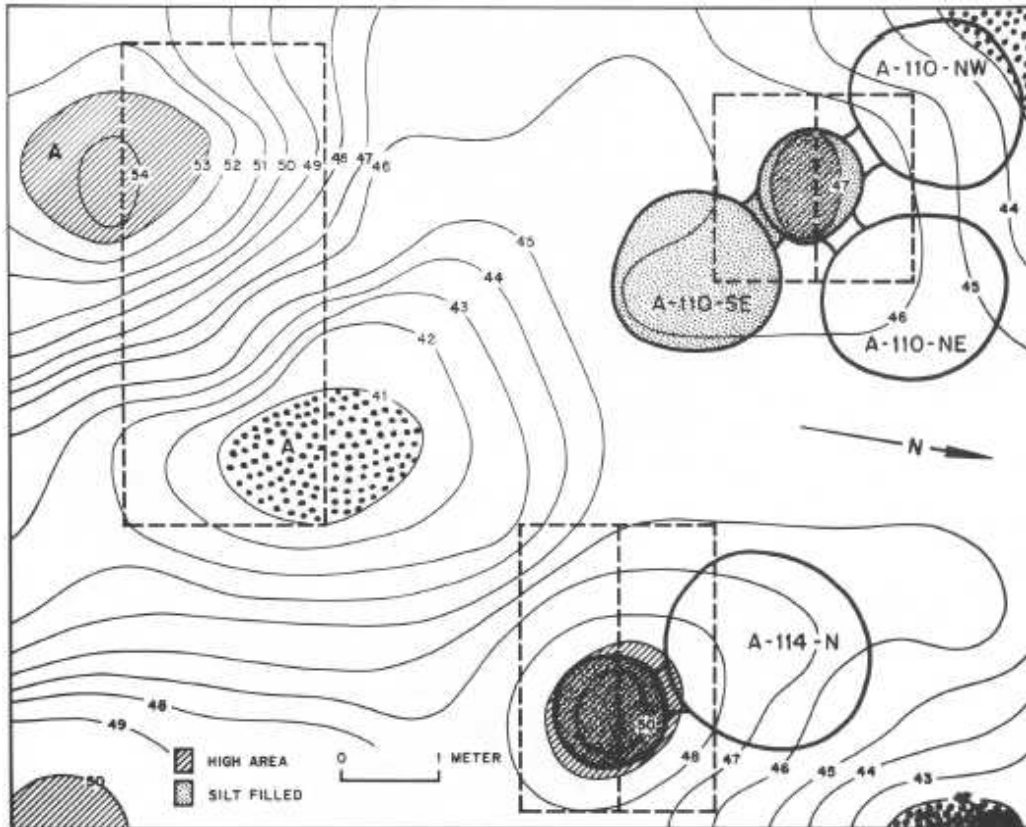
3.1. Εφαρμογές του EM-31.

3.1.1. Babedh-Dhra, Ιορδανία

Εφαρμογή του EM-31 σε αρχαιολογικό χώρο , στο 5000 ετών νεκροταφείο στην νοτιοανατολική ακτή της Babedh-Dhra, της Ιορδανίας. Με τον εξοπλισμό αυτό, αναγνωρίστηκαν διαφοροποιήσεις στην αγωγιμότητα λόγω των τάφρων γύρω από τους τύμβους (**Εικόνα 3.1**). Επίσης, εξακριβώθηκε ποιοι τάφοι είχαν ανοιχτεί από τυμβωρύχους. Σε κάθε περίπτωση, ήταν δυνατόν να εντοπιστεί το ακριβές κέντρο των τύμβων. Με την επιτυχημένη εφαρμογή της μεθόδου αυτής, περιορίστηκε κατά πολύ ο χρόνος εντοπισμού των τύμβων και έτσι δόθηκε περισσότερος χρόνος στην εκσκαφή και την επεξεργασία τους (**Εικόνα 3.1**).



Εικόνα 3.1: Ηλεκτρομαγνητική απόκριση του EM-31 πάνω από τον τάφο. (1) Τάφος που οδηγεί στους τύμβους (2,3). Ο τύμβος (2) που είναι διαρρηγμένος δίνει υψηλή αγωγιμότητα ενώ ο μη διαρρηγμένος, χαμηλή αγωγιμότητα.



Εικόνα 3.2: Χάρτης που δείχνει τις μεταβολές της αγωγιμότητας. Υψηλή αγωγιμότητα δείχνει την παρουσία ταφών στην περιοχή A-110, A-114. Σημεία πολύ υψηλών και πολύ χαμηλών περιοχών (A) αποδείχτηκαν ότι είναι γεωλογικές ανωμαλίες

3.1.2. Χαμάντ,Μπαχρέιν

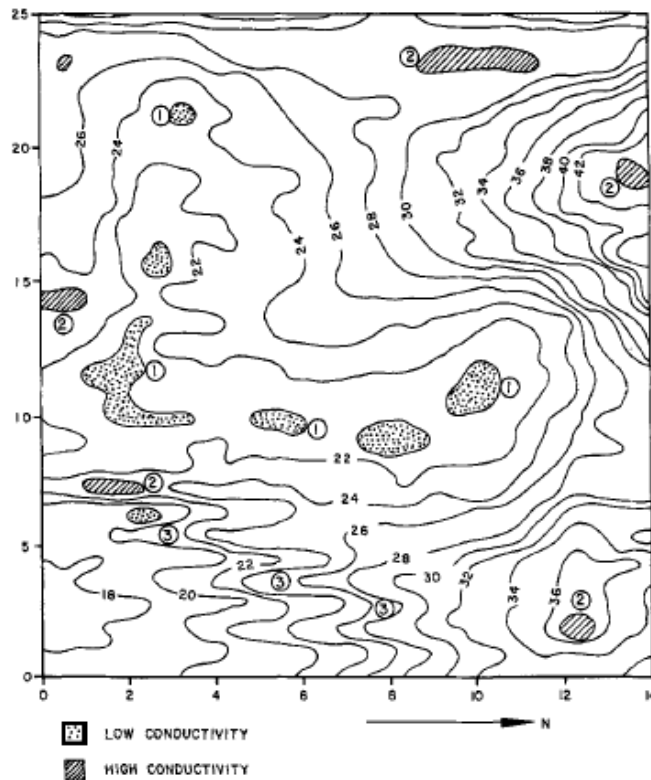
Το EM-31 χρησιμοποιήθηκε στο Μπαχρέιν στον Αραβικό κόλπο. Εντοπίστηκαν πέτρινοι τάφοι της Χάλκινης Περιόδου, που ήταν κάτω από τεράστια αναχώματα στη πόλη της Χαμάντ (Εικόνα 3.3). Ήταν δυνατό να εντοπιστούν αναχώματα τα οποία κάλυπταν μικρότερους δευτερεύοντες τάφους οι οποίοι περιείχαν σκελετούς που άνηκαν σε μη ενήλικες ενώ οι κύριοι τάφοι περιείχαν σκελετούς ενηλίκων. Αφού οι δευτερεύοντες τύμβοι ήταν μικροί, (μεταξύ 0,5-1m), δεν ήταν εύκολο να αναγνωριστεί ο αριθμός τους αλλά μόνο η θέση τους.



Εικόνα 3.3: Τα αναχώματα κάτω από τα οποία βρίσκονταν οι πέτρινοι τάφοι της χάλκινης περιόδου.

Οι μετρήσεις έγιναν ανά 50 εκατοστά. Το EM-31 χειρίστηκε στην λειτουργία οριζόντιου δίπολου και απέφερε τη μέγιστη δυνατή ευαισθησία μεταξύ των αρχαιολογικών στείρων θεμελίων και της επιφάνειας του ταφικού τύμβου. Οι **Εικόνες 3.4** και **3.5** δείχνουν το αποτέλεσμα από το ταφικό ανάχωμα "B-North 254. Οι έρευνες έδειξαν τουλάχιστον έξι μεγάλους τύμβους, οι οποίοι είχαν μικρή αγωγιμότητα σε σχέση με την μετρημένη γύρο περιοχή. Οι πολύ υψηλής αγωγιμότητας περιοχές δεν σχετίζονται με τεχνητές δομές αλλά πιστεύεται ότι είναι γεωλογικές δομές. Στην εικόνα 3.5 φαίνονται οι εκσκαμμένοι τύμβοι όπου η θέση τους εντοπίζεται στις περιοχές χαμηλής αγωγιμότητας.

Ανακαλύφθηκαν τριάντα ένας τύμβοι. Το EM-31 βοήθησε στον να επιλεγούν οι πιο μεγάλοι ως μέρος του διασσωστικού προγράμματος της κυβέρνησης του Μπαχρέιν.



Εικόνα 2.4: Χάρτης αγωγιμότητας στην περιοχή κοντά στην πόλη της Χαμάντ. Οι περιοχές καλυμμένες με κουκίδες (1) δείχνουν χαμηλή αγωγιμότητα (η θέση των μεγαλύτερων ταφικών θαλάμων) ενώ οι γραμμοσκιασμένες περιοχές (2) δείχνουν υψηλή αγωγιμότητα (δεν σχετίζονται με τεχνητά δημιουργήματα). Στη νοτιοδυτική περιοχή του χάρτη (3) εμφανίζεται ένα μοτίβο χαμηλής- υψηλής αγωγιμότητας που αντιστοιχεί στη θέση των μικρότερων θαλάμων. Οι μετρήσεις έγιναν με απόσταση 0,5 μέτρων, με την διάταξη οριζόντιου διπόλου και σε περιοχή επιφάνειας 25X14 μέτρα.



Εικόνα 3.5: Η περιοχή μετά την ανασκαφή. Κύριοι θάλαμοι (1) στο κέντρο και οι μικρότεροι (3) στο νοτιοδυτικό τμήμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

Καταλληλότητα Μιας Περιοχής για Γεωφυσική Έρευνα

4. Καταλληλότητα μιας περιοχής για γεωφυσική έρευνα

4.1. Γενικά

Δεν είναι γενικά δυνατό να προβλεφθεί αν μια περιοχή που δεν έχει ερευνηθεί προηγουμένως θα είναι κατάλληλη για γεωφυσική έρευνα. Όμως είναι δυνατόν να εξεταστούν οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται αν η γεωφυσική έρευνα θα είναι επιτυχής.

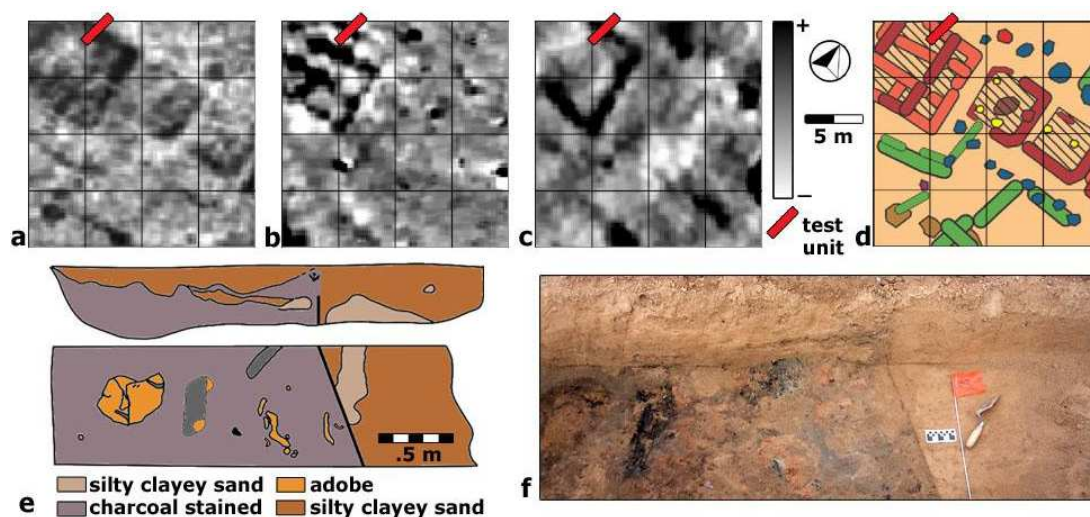
Η καταλληλότητα μιας περιοχής για τη γεωφυσική έρευνα μπορεί να διερευνηθεί συστηματικά αντιμετωπίζοντας έξι ζητήματα. Αν οι επιμέρους παράγοντες συμβάλλουν στην γεωφυσική έρευνα τότε προχωράμε επιλέγοντας την κατάλληλη μέθοδο.

4.1.1. Αρχαιολογικά Στοιχεία.

Γενικά για να προχωρήσουμε σε αρχαιολογική γεωφυσική έρευνα θα πρέπει να έχουμε κάποιες ενδείξεις ότι υπάρχουν αρχαία. Τέτοιες ενδείξεις μπορεί να είναι επιφανειακά αρχαία ερείπια ή και αρχαία κείμενα τα οποία υποδεικνύουν έναν τόπο.

Τα αρχαιολογικά στοιχεία που αναζητούνται πρέπει να έχουν αρκετή αντίθεση σε μια φυσική ιδιότητα σε σχέση με τον περιβάλλοντα χώρο.

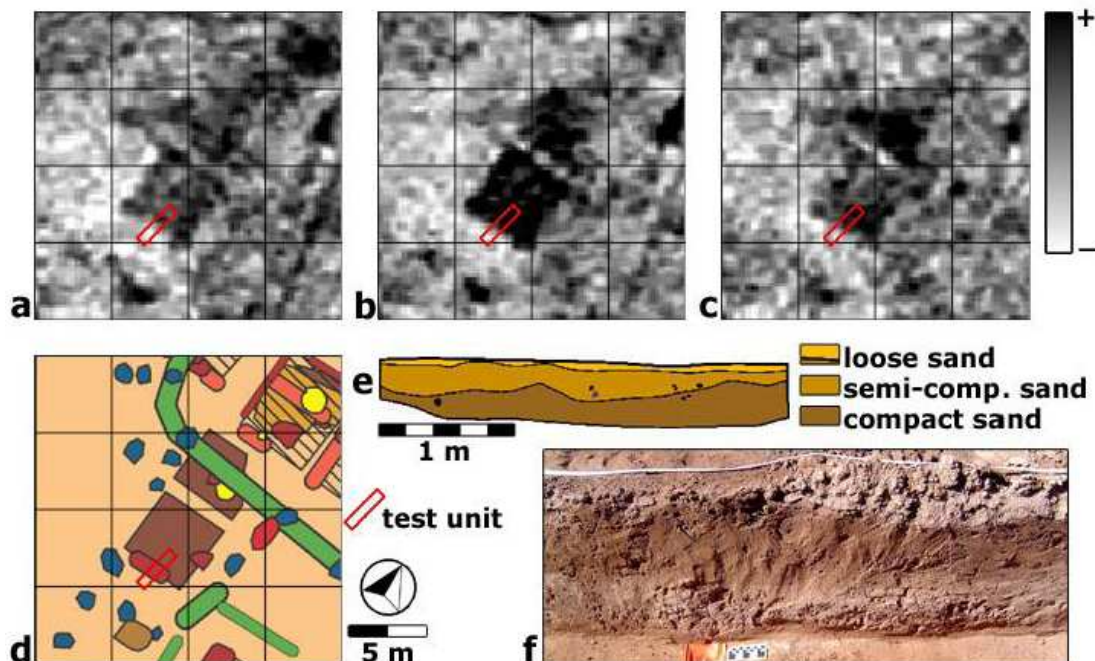
Κατά την διάρκεια της εκσκαφής οι αρχαιολόγοι στηρίζονται στα οπτικά και ιστολογικά χαρακτηριστικά των αρχαιολογικών αντικειμένων ώστε να τα ξεχωρίσουν από το υπόβαθρο. Επίσης τα ίδια αντικείμενα μπορεί να έχουν και άλλες φυσικές διαφορές όπως είναι η διαφορά στην πυκνότητα, στην υγρασία που περιέχουν, την περιεκτικότητα σε μεταλλικά συστατικά κ.α. Αυτά τα χαρακτηριστικά συσχετίζονται με αρκετές γεωφυσικές ιδιότητες (μαγνητισμός, ηλεκτρική αντίσταση, ικανότητα ανάκλασης της ενέργειας του ραντάρ) και μπορούν να μετρηθούν με μεγάλη ακρίβεια.



Εικόνα 4.1: Η δοκιμή μιας ορθογώνιας ανωμαλίας στο Pueblo Escondido, ολοσχερώς καμένη δομή. Γεωφυσικά δεδομένα και οι χάρτες για τη γύρο περιοχή παρουσιάζονται. a) Χάρτης γεωραντάρ από 0,47-0,63m, b) μαγνητικός χάρτης c) χάρτης μαγνητικής επιδεκτικότητας d) η ερμηνεία που δίνεται πριν από την ανασκαφή e) Προφίλ της δοκιμαστικής μονάδας του δυτικού τοίχου και χάρτης του πατώματος της τάφρου. f) Φωτογραφία του κεντρικού τμήματος της δοκιμαστικής μονάδας και του πατώματος της τάφρου.

Όταν τα γεωφυσικά δεδομένα συγκρίνονται με τα αποτελέσματα των ανασκαφών υπάρχουν τέσσερα πιθανά αποτελέσματα. Το ιδανικό είναι η ανασκαφή να αποκαλύψει στοιχεία που συμφωνούν με τα γεωφυσικά δεδομένα. Η **Εικόνα 4.1** παρουσιάζει σαφές παράδειγμα αυτού, όπου τρία ανεξάρτητα γεωφυσικά σύνολα στοιχείων παρουσιάζουν ορθογώνια ανωμαλία και οι ανασκαφές αποκάλυψαν το πάτωμα ενός σπιτιού. Παρόλα αυτά, μερικές φορές τα γεωφυσικά στοιχεία δεν συμφωνούν με την ανασκαμμένη περιοχή, εξαιτίας της διαφοράς των ανθρώπινων αισθήσεων και των γεωφυσικών οργάνων σε σχέση με την ικανότητα τους να ανιχνεύουν τα αρχαιολογικά στοιχεία. Οι ανασκαφές μερικές φορές αποκαλύπτουν στοιχεία που δεν φαίνονται στα γεωφυσικά δεδομένα, ενώ παρόμοιες ανωμαλίες μπορεί να συνδέονται με αρχαιολογικά στοιχεία. Σε άλλες περιπτώσεις, οι ανασκαφές αποτυγχάνουν να εξηγήσουν την ύπαρξη μιας ανωμαλίας. Αυτό εξηγείται καθώς πολλές φορές οι ανωμαλίες δημιουργούνται από φαινόμενα που δεν έχουν να κάνουν με τα αρχαιολογικά στοιχεία όπως ρίζες δέντρων, έγκοιλα κ.α. Αυτά τα φαινόμενα εύκολα παραβλέπονται από τους αρχαιολόγους ειδικά όταν η έρευνα τους επικεντρώνεται σε πολιτιστικά αρχαιολογικά στοιχεία παρά σε ότι άλλο θα μπορούσε να ερμηνεύσει την ανωμαλία. Τέλος, η ανωμαλία μπορεί να αποκαλύψει στοιχεία τα οποία δεν είναι εμφανή στο ανθρώπινο μάτι. Η **Εικόνα 4.2** δείχνει μια τέτοια περίπτωση, όπου τα δεδομένα του γεωραντάρ δείχνουν καθαρά την

ύπαρξη ενός ορθογώνιου κτίσματος, αλλά κανένα στοιχείο δεν βρέθηκε κατά την ανασκαφή.



Εικόνα 4.2: Παράδειγμα ανωμαλίας που φαίνεται βέβαιο ότι πρόκειται για το πάτωμα κτίσματος για το οποίο δεν βρέθηκε κανένα στοιχείο κατά την εκσκαφή. Γεωφυσικά δεδομένα και οι χάρτες για τη γύρο περιοχή παρουσιάζονται. a) Χάρτης γεωραντάρ από 0,15-0,31m, b) Χάρτης γεωραντάρ από 0,31-0,47m c) Χάρτης γεωραντάρ από 0,47-0,63m d) η ερμηνεία που δίνεται πριν από την ανασκαφή e) Προφίλ της στρωματογραφίας της περιοχής f) Φωτογραφία της δοκιμαστικής μονάδας του δυτικού τοίχου.

4.1.2. Μέγεθος και βάθος αρχαιολογικών αντικειμένων.

Για όλες τις μεθόδους που έχουν αναφερθεί, η πιθανότητα για την ανίχνευση ενός αντικειμένου μειώνεται όσο μειώνεται και το βάθος του αντικειμένου κάτω από την επιφάνεια. Υπάρχουν ρυθμίσεις ανάλογα την μέθοδο που χρησιμοποιούμε, ώστε να επιτύχουμε μεγαλύτερη διεισδυτικότητα σε βάθος, αλλά αυτό είναι πάντα εις βάρος της ανάλυσης. Στον πίνακα 1 φαίνονται το εκτιμώμενο βάθος διείσδυσης για συχνά χρησιμοποιούμενα όργανα.

Πίνακας 1

Method	Instrument	Depth (m)
Resistivity	RM15 or similar, twin probe array, .5 m separation	0.5
Resistivity	RM15 or similar, twin probe array, 1 m separation	1
EMI	EM38, conductivity, vertical mode	1.5
EMI	EM38, conductivity, horizontal mode	0.75
EMI	EM38, magnetic susceptibility, vertical mode	0.5
EMI	EM38, magnetic susceptibility, horizontal mode	0.25
EMI	EM31, conductivity, vertical mode	6
EMI	EM31, conductivity, horizontal mode	3
EMI	EM31, magnetic susceptibility, vertical mode	2
EMI	EM31, magnetic susceptibility, horizontal mode	1
Magnetometry	Fluxgate (Bartington, Geoscan, or similar)	1 – 1.5
GPR	GSSI system with 200 MHz antenna	3 – 7
GPR	S&S system with 250 MHz antenna	2.5 – 6.5
GPR	GSSI system with 270 MHz antenna	2 – 6
GPR	GSSI system with 400 MHz antenna	0.5 – 4
GPR	S&S system with 450 MHz antenna	0.5 – 3.5
GPR	S&S system with 500 MHz antenna	0.5 – 3
GPR	GSSI system with 900 MHz antenna	0.2 – 1

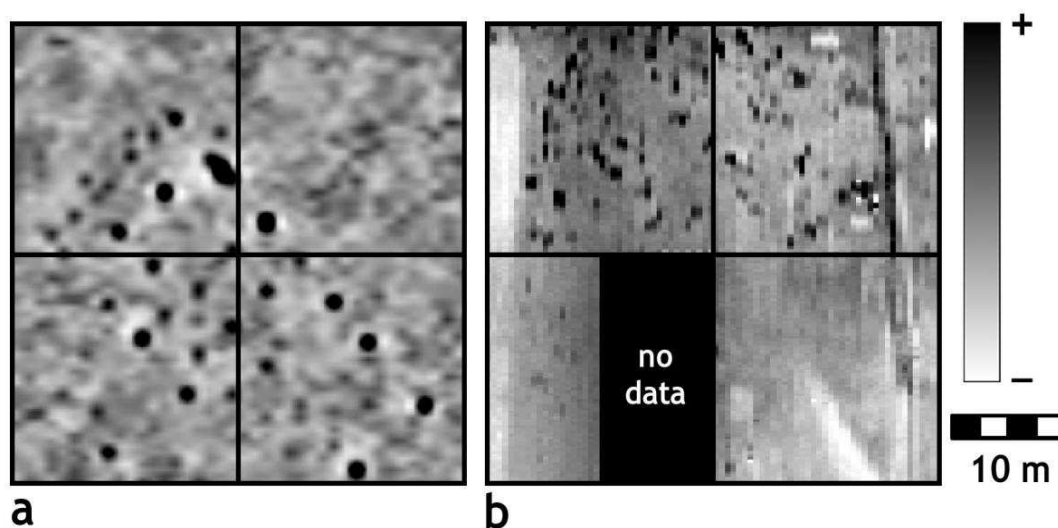
Ένας εμπειρικός κανόνας είναι ότι αντικείμενα μικρότερα από 0,25-0,30μ δεν θα ανιχνευτούν από τις γεωφυσικές μεθόδους εκτός από αυτά που αποτελούνται από μαγνητικά υλικά. Οποιοδήποτε αντικείμενο το οποίο είναι έντονα μαγνητικό (σίδηρος, ατσάλι, νικέλιο, μαγνητίτης, άλλο φερρομαγνητικό υλικό) ακόμα και αν είναι πολύ μικρό (μέγεθος νομίσματος) μπορεί να ανιχνευτεί με ένα μαγνητόμετρο (και μερικές φορές με EMI).

Ένας άλλος γενικός κανόνας είναι ότι αντικείμενα διαμέτρου μεταξύ 0,3-0,5m μπορούν να ανιχνευτούν, αλλά μόνο όταν δεν είναι πολύ βαθιά θαμμένα και η πυκνότητα των δεδομένων είναι μεγάλη. Για παράδειγμα, πολύ μικρά αντικείμενα μπορεί να ανιχνευτούν με GPR με κεραία συχνότητας από 400 έως 500 MHz εάν η πυκνότητα της δειγματοληψίας είναι μεγάλη. Στην πραγματικότητα, σχεδόν με όλες τις μεθόδους μπορούμε να εντοπίσουμε μικρά αντικείμενα εάν η πυκνότητα της δειγματοληψίας είναι μεγάλη.

Τα μικρά αντικείμενα αποτελούν μια πρόκληση στην γεωφυσική καθώς οι σχετικές ανωμαλίες συνήθως δεν παρουσιάζουν μια διακριτή μορφή. Δεν φτάνει μόνο να εντοπιστούν, αλλά και να αναγνωριστούν σαν τεχνητά στοιχεία στα γεωφυσικά δεδομένα. Το σχήμα είναι πάρα πολύ σημαντικό για την ερμηνεία, και μικρές άμορφες ανωμαλίες στα δεδομένα συχνά σχετίζονται τρύπες τρωκτικών, ρίζες δέντρων, πέτρες ή

διάφορες άλλες ανωμαλίες που προέρχονται από λάθη στη συλλογή των δεδομένων ή άλλες εδαφικές ανωμαλίες (εικόνα 4.3b). Εάν μικρά στοιχεία είναι ταξινομημένα με συνοχή (**Εικόνα 4.3a**), όπως ευθείες ή καμπύλες γραμμές κατά μήκος τοίχων, ή κυκλικές διατάξεις αποθηκευτικών χώρων τότε είναι πολύ πιο πιθανό, αυτές οι ανωμαλίες να αναγνωριστούν ως τεχνητά στοιχεία.

Στόχοι αρκετά μεγάλης αντίθεσης πάνω από 0,5 μέτρα σε διάμετρο είναι πιο πιθανό να εντοπιστούν με την γεωφυσική έρευνα. Μπορούν να εντοπιστούν σε μεγάλο βάθος, αλλά αντικείμενα μικρής αντίθεσης μπορεί να μην εντοπιστούν ακόμα και όταν είναι πολύ ρηχά. Η ικανότητα της πρόβλεψης για τον εντοπισμό βελτιώνεται με την εμπειρία, αλλά παραμένει δύσκολη εξαιτίας της ύπαρξης πολλών παραγόντων (μέγεθος, σχήμα, αντίθεση, υγρασία) που συμβάλλουν στον εντοπισμό.



Εικόνα 4.3: Ταξινομημένες έναντι τυχαίων ανωμαλιών. (a) Η τσιμεντένια βάση ενός ιστορικού κτηρίου στην ArmyCity, δημιουργεί ένα ορθογώνιο μοτίβο σε δεδομένα ηλεκτρικής αντίστασης, (b) ενώ οι τυχαίες μικρές ανωμαλίες σε δεδομένα μαγνητικής επιδεκτικότητας είναι πολύ πιο δύσκολο να ερμηνευτούν. Πιθανόν να σχετίζονται με μικρούς βράχους και διάφορες τρύπες κοντά στην επιφάνεια του εδάφους.

4.1.3. Διαχωρισμός αρχαιολογικών στοιχείων από τον «σωρό».

Εάν τα αντικείμενα είναι αρκετά μεγάλα, ρηχά αρκετά και έχουν αρκετή αντίθεση για να ανιχνευτούν, ακόμα και τότε μπορεί να είναι δύσκολο ή και ανέφικτο να αναγνωριστούν εάν «κρύβονται από τον σωρό». Για παράδειγμα, τα κοιλώματα υποορόφων, μπορεί να έχουν παρόμοιες γεωφυσικές ιδιότητες με αυτές από λαγούμια τρωκτικών ή ρίζες δένδρων. Ο «σωρός» αναφέρεται στις ανωμαλίες στα γεωφυσικά

δεδομένα που δεν συσχετίζονται με τα φαινόμενα ενδιαφέροντος (δηλαδή αρχαιολογικές καταθέσεις) (Conyers και Goodman 1997, Somers και λοιποί 2003).

Τα πρόσφατα μεταλλικά απορρίμματα είναι μια από τις πιο κοινές και «ενοχλητικές» πηγές σωρού που μπορούν να έχουν επιπτώσεις σε μια γεωφυσική έρευνα (Gaffney και Gater 2003, Kvamme 2001). Το μέταλλο είναι ιδιαίτερα κοινό στις στρατιωτικές εγκαταστάσεις και τις περιοχές κοντά στις σύγχρονες ή ιστορικές κατοικίες. Ο σωρός που συνδέεται με τα σιδηρούχα μέταλλα είναι πιο ενοχλητικός για τις μαγνητικές έρευνες αλλά μπορεί επίσης να έχει επιπτώσεις στα δεδομένα αγωγιμότητας (Clay 2006). Μικρά κομμάτια μετάλλου κοντά στην επιφάνεια, ή μεγαλύτερα βαθύτερα κομμάτια εμφανίζονται συχνά με ισχυρές (συχνά διπολικές) ανωμαλίες καθιστούν δύσκολο ή αδύνατο να αφήσουν να ανιχνευτούν αδύνατες ενδείξεις των προϊστορικών στοιχείων. Οι σημαίες σήμανσης που χρησιμοποιούνται από τους αρχαιολόγους στις μετρήσεις είναι ιδιαίτερα ενοχλητικές και δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται σε μέρη όπου γίνονται γεωφυσικές έρευνες.

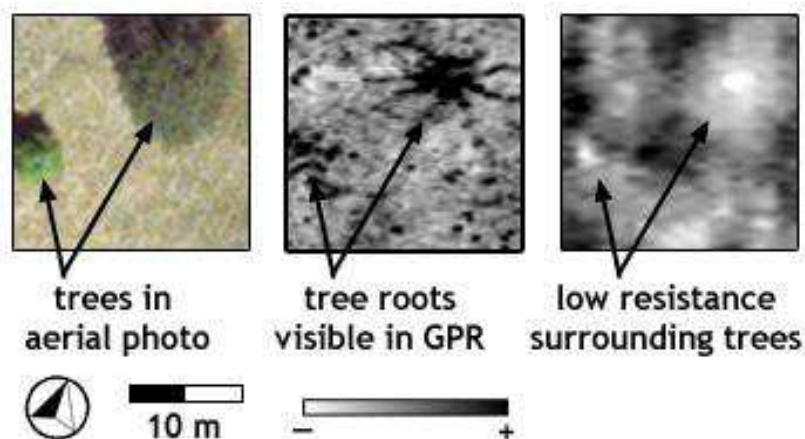
Οι βράχοι αντιπροσωπεύουν μια άλλη σημαντική πηγή σωρού σε μια γεωφυσική έρευνα. Σε μερικές περιοχές, οι ηφαιστειακοί και πλούσιοι σε σίδηρο βράχοι μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα παρόμοια με εκείνα που συνδέονται με τα μεταλλικά απορρίμματα. Οι πολλοί βράχοι και το κοντινό στην επιφάνεια βραχώδες υπόβαθρο μπορούν επίσης να αντιπροσωπεύσουν μια σημαντική πηγή σωρού στις μεθόδους αντίστασης και GPR (Kvamme 2001).

4.1.4. Καταλληλότητα της επιφάνειας του εδάφους για την διέλευση των γεωφυσικών οργάνων.

Οι συνθήκες στην επιφάνεια του εδάφους είναι εξίσου σημαντικές με τις υπόγειες. Συχνά περιφράξεις, το ανώμαλο έδαφος και κυρίως οι βλάστηση κάνουν την έρευνα δύσκολη και πιο ακριβή. Πολλοί αρχαιολογικοί χώροι βρίσκονται σε περιοχές με έντονη βλάστηση. Οι περισσότερες έρευνες διεξάγονται με όργανα τα οποία αυτόματα συλλέγουν δεδομένα με σταθερό ρυθμό. Τέτοια όργανα μπορούν χρησιμοποιηθούν χειροκίνητα αλλά αυτό αυξάνει το χρόνο συλλογής δεδομένων. Εξαιτίας δένδρων και άλλων εμποδίων καθιστούν αδύνατη την έλευση του χειριστή σε ευθεία γραμμή για την ομαλή συλλογή των δεδομένων. Μία μέτρηση ίσως να χρειαστεί να παρθεί 0,2μ

αριστερά από την ευθεία, και λίγο πιο κάτω μία άλλη μέτρηση να γίνει 0,5m στα δεξιά. Δυστυχώς, όταν τα δεδομένα επεξεργάζονται, το λογισμικό επεξεργάζεται τις τιμές ακριβώς όπως συλλέχθηκαν κατά μήκος της διαδρομής. Η αποφυγή των εμποδίων έχει ως αποτέλεσμα την πιθανή εισαγωγή θορύβου στα δεδομένα. Οι χάρτες που δημιουργούνται από αυτά τα δεδομένα ίσως να μην είναι τόσο ακριβείς στην τοποθεσία και την μορφή των ανωμαλιών, και οι διόρθωσή τους μπορεί να είναι πολύ χρονοβόρα, όταν δεν είναι αδύνατη.

Οι ρίζες μεγάλων δένδρων δημιουργούν πρόσθετα προβλήματα στην γεωφυσική έρευνα (**Εικόνα 4.4**). Στην μαγνητική έρευνα, μεγάλες ρίζες σε έδαφος πλούσιο σε σίδηρο, μπορεί να εντοπιστούν σαν αδύναμες αρνητικές ανωμαλίες. Βέβαια, στις περισσότερες μαγνητικές έρευνες οι ρίζες των δέντρων δεν φαίνονται καθόλου (Kvamme 2001). Στις έρευνες αντίστασης και αγωγιμότητας, οι ρίζες μπορεί να απορροφήσουν την τοπική υγρασία, προκαλώντας μεγάλη αντίσταση ή χαμηλής αγωγιμότητας ανωμαλίες. Οι ρίζες μπορούν να ανιχνευτούν αμέσως (εξαιτίας της διαφορετικής ανάκλασης ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας) με το GPR (Kvamme 2001) (**Εικόνα 4.4**).



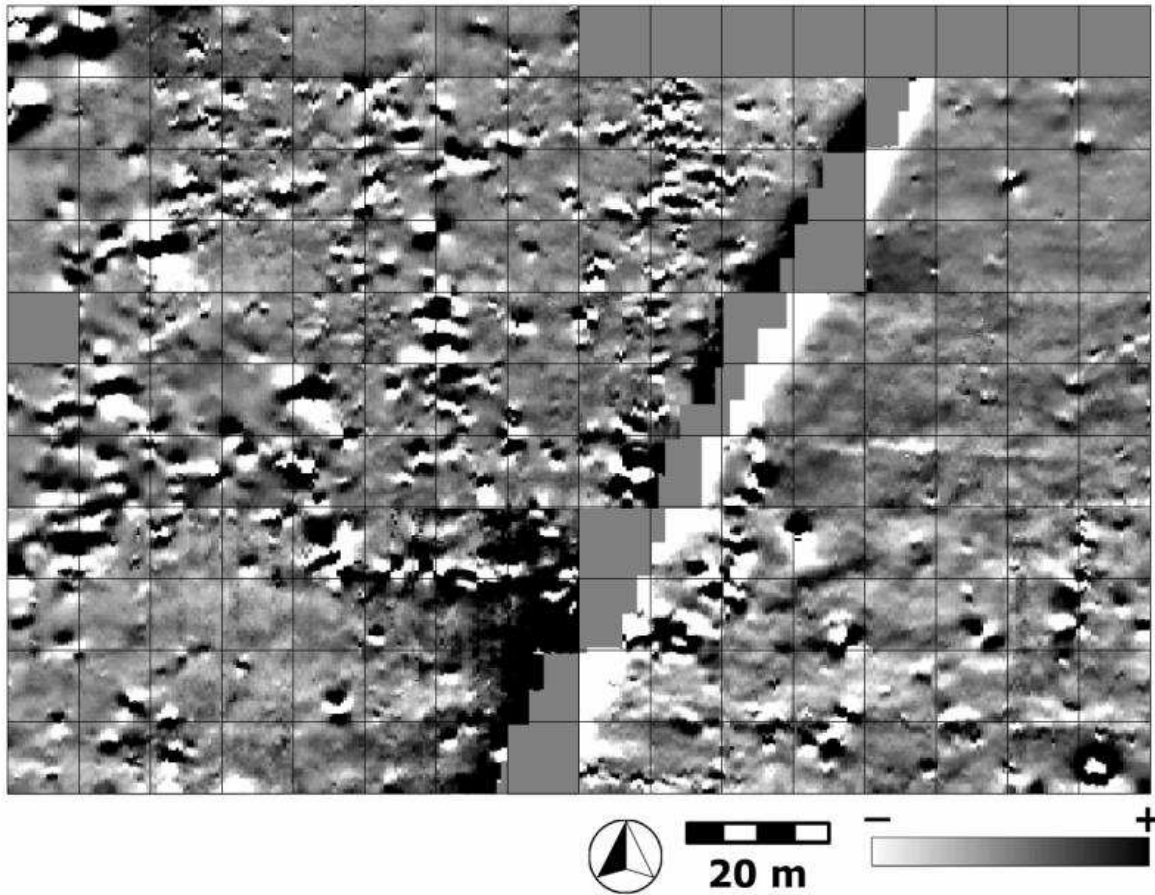
Εικόνα 4.4: Επίδραση μεγάλων ριζών στο GPR και δεδομένα αντίστασης που έχουν συλλεχθεί στο SilverBluffPlantation στην Νότια Καρολίνα (Kvamme 2006). Η αεροφωτογραφία δείχνει δύο δένδρα που προκαλούν ανωμαλίες στα δεδομένα GPR και αντίστασης. Τα δεδομένα GPR και αντίστασης συλλέχθηκαν με όργανα και λογισμικό PulseEKKO και GeoscanRM15 αντίστοιχα.

Σε χέρσες περιοχές το ψηλό χορτάρι, θάμνοι και τα σπαρτά μπορεί και αυτά να δημιουργήσουν πρόβλημα. Οι ιδανικές περιοχές είναι αυτές που έχουν μόνο κοντό χορτάρι, ειδικά για τις μεθόδους GPR όπου τα όργανα πρέπει να είναι πολύ κοντά στο έδαφος, ενώ αυτά της EMI μπορεί να μεταφέρονται και πιο ψηλά. Σε μερικές

περιπτώσεις ίσως να πρέπει να μετακινηθούν μερικά εμπόδια, όπως είναι θάμνοι ή μικροί βράχοι, για να γίνει η έρευνα σωστά.

Άλλες ενοχλήσεις μπορεί να προκαλέσουν σύγχρονες κατασκευές όπως είναι φράκτες, δρόμοι, πεζοδρόμια και θαμμένες εγκαταστάσεις. Συχνά δεν μπορεί να γίνει τίποτα ώστε να αφαιρεθούν αυτά τα εμπόδια, έτσι υπάρχει αντίκτυπος στις έρευνες. Οποιοδήποτε μεγάλο μεταλλικό αντικείμενο μπορεί να ανιχνευτεί με ένα μαγνητόμετρο. Οι φράκτες είναι σύνηθες πρόβλημα για την μαγνητομετρία, και συχνά εμποδίζουν τον εντοπισμό θαμμένων αντικειμένων μέσα σε ακτίνα αρκετών μέτρων (**Εικόνα 4.5**). Από εκεί και πέρα η μαγνητομετρία σπάνια χρησιμοποιείται κοντά σε κατοικημένες περιοχές. Τα όργανα της EMI αντιμετωπίζουν όμοια προβλήματα, αν και είναι λιγότερο ευαίσθητα στο μέταλλο. Το GPR συνήθως χρησιμοποιείται σε κατοικημένες περιοχές καθώς δεν επηρεάζεται από αντικείμενα που βρίσκονται πάνω από το έδαφος.

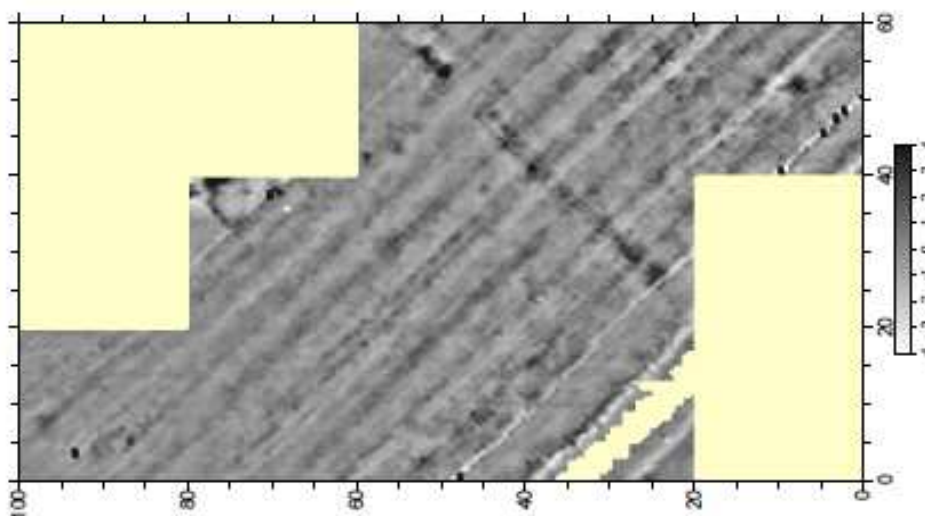
Το ερώτημα της καταλληλότητας της επιφάνειας μπορεί να είναι λίγο δύσκολο για τους αρχάριους, αλλά τα θέματα είναι απλούστερα για εκείνους που ενδιαφέρονται για την αντίθεση των στοιχείων. Ένας εμπειρικός κανόνας είναι ότι εάν οι περισσότεροι τομείς δεδομένων μπορούν να συλλεχθούν χωρίς πολλά εμπόδια, τότε η έρευνα είναι δυνατή. Στις περιπτώσεις όπου τα εμπόδια είναι πάρα πολλά και δεν μπορούν να ξεπεραστούν, η έρευνα και πάλι μπορεί να γίνει αλλά θα χρειαστεί πολύ περισσότερος χρόνος και τα αποτελέσματα μπορεί να μην είναι τόσο έγκυρα.



Εικόνα 4.5: Παράδειγμα ενόχλησης που δημιουργείται από έναν ψηλό μεταλλικό φράκτη, που παρεμβάλλεται σε μια έρευνα μαγνητομετρίας στο Tiwanaku (Βολιβία), και δημιουργεί επιπτώσεις στα δεδομένα σε απόσταση τουλάχιστον 5 μέτρων σε κάθε πλευρά του. Αυτά τα δεδομένα συλλέχθηκαν με ένα Geometric sG-858.

4.1.5. Διαταραχή της επιφάνειας.

Ένας τελικός παράγοντας που εξετάζεται είναι το ποσό διαταραγμένη είναι η επιφάνεια. Οι γεωργικές δραστηριότητες (όργωμα,) αντιπροσωπεύουν ίσως τον πιο κοινό τύπο διαταραχής επιφάνειας. Τα προβλήματα που δημιουργούνται με το όργωμα είναι, σε πολλές περιπτώσεις, είναι σχετικά δευτερεύοντα. Συχνά μόνο τα ανώτατα στρώματα μιας αρχαιολογικής περιοχής επηρεάζονται, ή δεν διαταράσσονται καθόλου. Όμως, σε περιπτώσεις όπου η περιοχή είναι πολύ ρηχή ο βαθμός διαταραχής με το όργωμα πρέπει να ληφθεί υπόψη. Μερικά στοιχεία που θα ήταν γεωφυσικώς ορατά ομογενοποιούνται με το όργωμα και είναι επομένως αόρατα (**Εικόνα 4.6**).



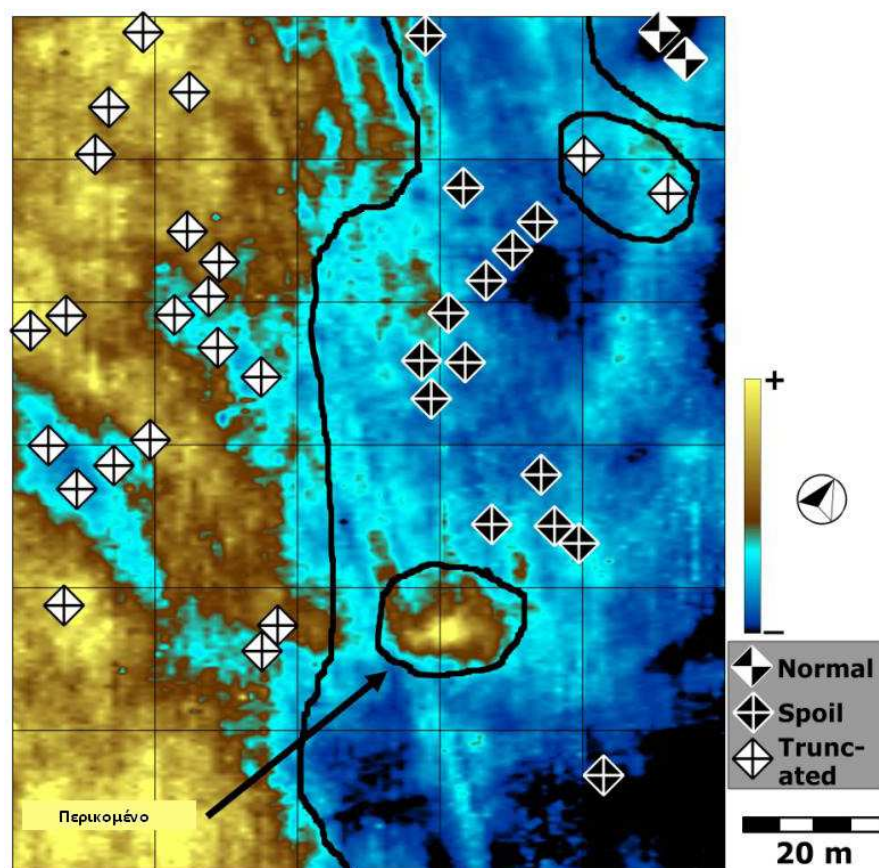
Εικόνα 4.6: Παράδειγμα «ενόχλησης» επιφάνειας από το όργωμα. Τα αλάκια από το όργωμα κυριαρχούν σε αυτά τα δεδομένα αντίστασης από την NewPhiladelphia, Illinois, κάνοντάς το δύσκολο να δούμε τις ανωμαλίες των στοιχείων που ψάχνουμε. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν με ένα GeoscanRM15. (Hargrave 2007)

Τα αποτελέσματα από μηχανήματα βαρέως τύπου μπορεί να είναι καταστρεπτικά για μια γεωφυσική έρευνα. Περιοχές όπου έχουν ισοπεδωθεί, εξομαλυνθεί ή τμήματα του εδάφους έχουν απομακρυνθεί, είναι δύσκολο να υποβληθούν σε γεωφυσική έρευνα. Δημιουργείται μια κατάσταση όπου οι ιδιότητες του εδάφους ποικίλουν σε ένα χώρο και συνήθως «εξαφανίζονται» τελείως τα στοιχεία που αναζητούνται. Μια γεωφυσική έρευνα στην Kasita Town (Fort Benning, GA), είναι ένα καλό παράδειγμα της εξομάλυνσης του εδάφους. Μερικά τμήματα της εξεταζόμενης περιοχής καλύφθηκαν από μερικά εκατοστά χώματος (**Εικόνα 4.7**), ενώ άλλα σκάφτηκαν, αφήνοντας στοιχεία προς εντοπισμό, πολύ κοντά στην επιφάνεια. Οι δεκάδες ανασκαφές στα αφιλτράριστα δεδομένα αντίστασης αποκαλύπτουν την επίπτωση της εξομάλυνσης (**Εικόνα 4.8**). Το δυτικό τμήμα της ερευνηθείσας περιοχής έχει εξομαλυνθεί έτσι ώστε το κέντρο της Kasita Town (τοποθετείται στην οργωμένη

περιοχή) είχε περικοπεί. Οι περιοχές στα ανατολικά διατηρήθηκαν, αλλά καλύφθηκαν με 25 εκατοστά χώματος. Μόνο μια μικρή περιοχή στην βορειοδυτική γωνία φαίνεται ανεπηρέαστη από την εξομάλυνση (Εικόνα 4.8).



Εικόνα 4.7: «Οχλήσεις» που παρουσιάζονται από την εξομάλυνση. Ένας τοίχος γης στην Kasita Town (Γεωργία) που δείχνει την ζώνη όργωσης (plowzone) και το χώμα (spoil) από την εξομάλυνση.



Εικόνα 4.8: Χάρτης ηλεκτρικής αντίστασης και εκσκαφών ,με περικομμένες και «γεμισμένες» περιοχές σαν αποτέλεσμα εξομάλυνσης στην KasitaTown.

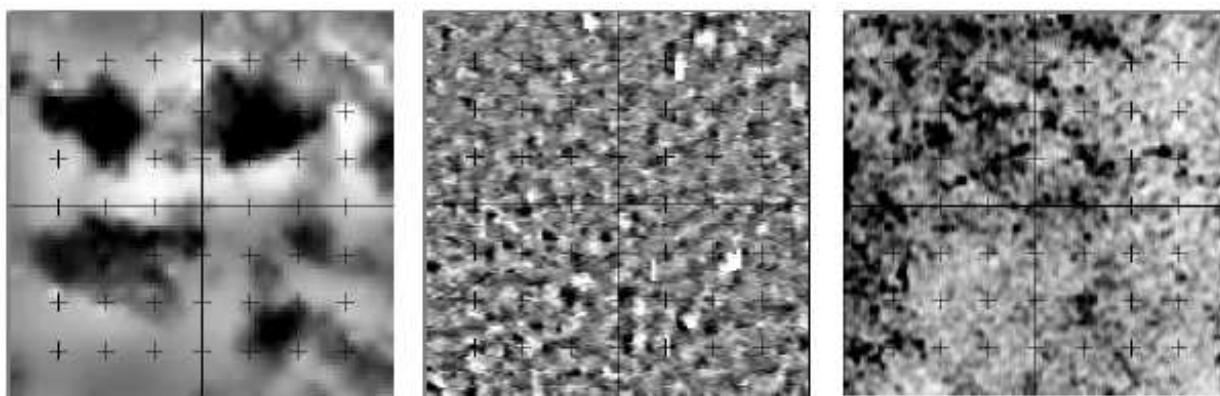
4.1.6. Συμπεράσματα.

Εν περιλήψει, οι ακόλουθες έξι ερωτήσεις μπορούν να βοηθήσουν να καθορίσουν εάν μια περιοχή είναι κατάλληλη για τη γεωφυσική έρευνα: (1) είναι τα αρχαιολογικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα πιθανό να είναι παρόντα επί του τόπου; (2) τα αρχαιολογικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα έχουν αρκετή αντίθεση με την περιβάλλουσα περιοχή; (3) είναι τα αρχαιολογικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα μεγάλα και ρηχά αρκετά να ανιχνευθούν; (4) τα αρχαιολογικά στοιχεία θα ξεχωρίσουν από το σωρό; (5) είναι η επίγεια επιφάνεια κατάλληλη για τη μετάβαση των γεωφυσικών οργάνων; Και (6) είναι η κοντινή επιφάνεια κατάλληλη για τη γεωφυσική έρευνα; Εάν η απάντηση και στις 6 ερωτήσεις που τίθενται ανωτέρω είναι «ναι», η περιοχή είναι κατάλληλη για τη γεωφυσική εργασία. Εάν η απάντηση σε μια ή περισσότερες από τις ερωτήσεις είναι «ίσως» η πιθανότητα μιας επιτυχούς γεωφυσικής έρευνας είναι δυσκολότερο να υπολογιστεί. Το «ίσως» δηλώνει ότι δεν υπάρχουν αρκετές πληροφορίες διαθέσιμες για να απαντήσουν στην ερώτηση και έτσι μια γεωφυσική έρευνα πρέπει να προσεγγιστεί πιο προσεκτικά. Εάν η απάντηση σε μια ή περισσότερες από τις ερωτήσεις είναι «καμία» ή «πιθανώς όχι,» η περιοχή δεν είναι κατάλληλη για τη γεωφυσική έρευνα.

4.2. Επιλέγοντας την κατάλληλη γεωφυσική μέθοδο.

Ο μόνος σίγουρος τρόπος για να καθοριστεί αν μια μέθοδος θα είναι αποτελεσματική είναι να δοκιμαστεί σε ένα μικρό τμήμα της περιοχής που θα εξετάσουμε. Έτσι πρέπει να δοκιμάσουμε κάθε διαθέσιμη μέθοδο για να κρίνουμε ποια είναι πιο κατάλληλη. Εάν είναι δυνατόν, οι δοκιμαστικές έρευνες πρέπει να εστιάσουν στα τμήματα της περιοχής όπου τα υπό εξέταση στοιχεία έχουν τεκμηριωθεί προηγουμένως. Με αυτόν τον τρόπο θα μπορέσουμε να κρίνουμε ποια μέθοδος μας δίνει τα πιο έγκυρα αποτελέσματα.

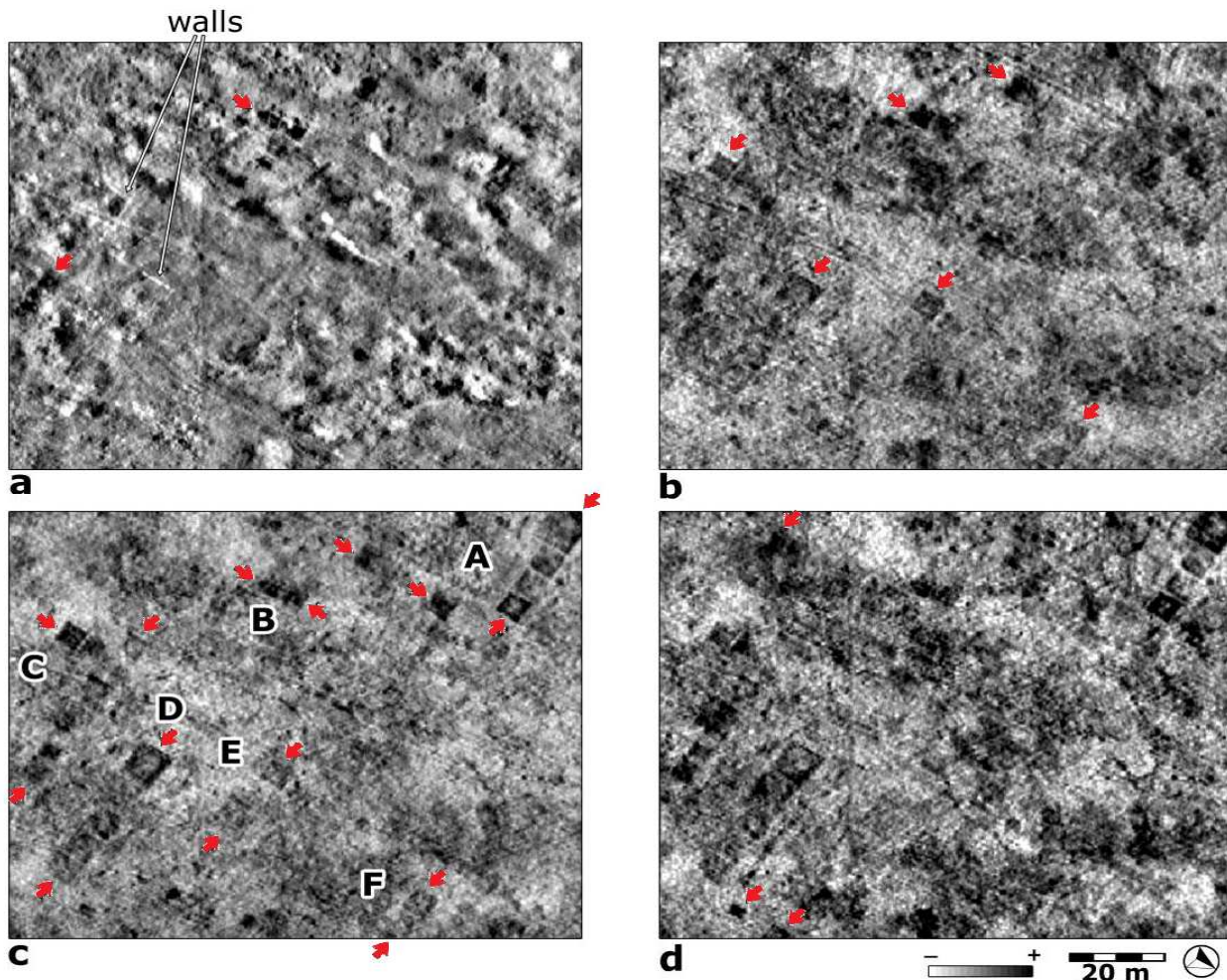
Ένα καλό παράδειγμα της χρησιμοποίησης πολλών μεθόδων είναι η έρευνα που έλαβε χώρα στο Pueblo Escondido (NewMexico) (Ernenwein 2008, Kvamme 2006). Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν οι εξής μέθοδοι και όργανα: GPR (GSSI SIR2000 με κεραία 900MHz), EMI (Geonics EM38), μαγνητόμετρο (Geoscan FM36) και ηλεκτρική αντίσταση (Geoscan RM15). Και οι τέσσερις μέθοδοι ήταν το ίδιο απογοητευτικές, δείχνοντας μόνο κάποια «ιδέα» πιθανών δομών και στοιχείων, αλλά καμία βέβαια απόδειξη (Εικόνα 4.9).



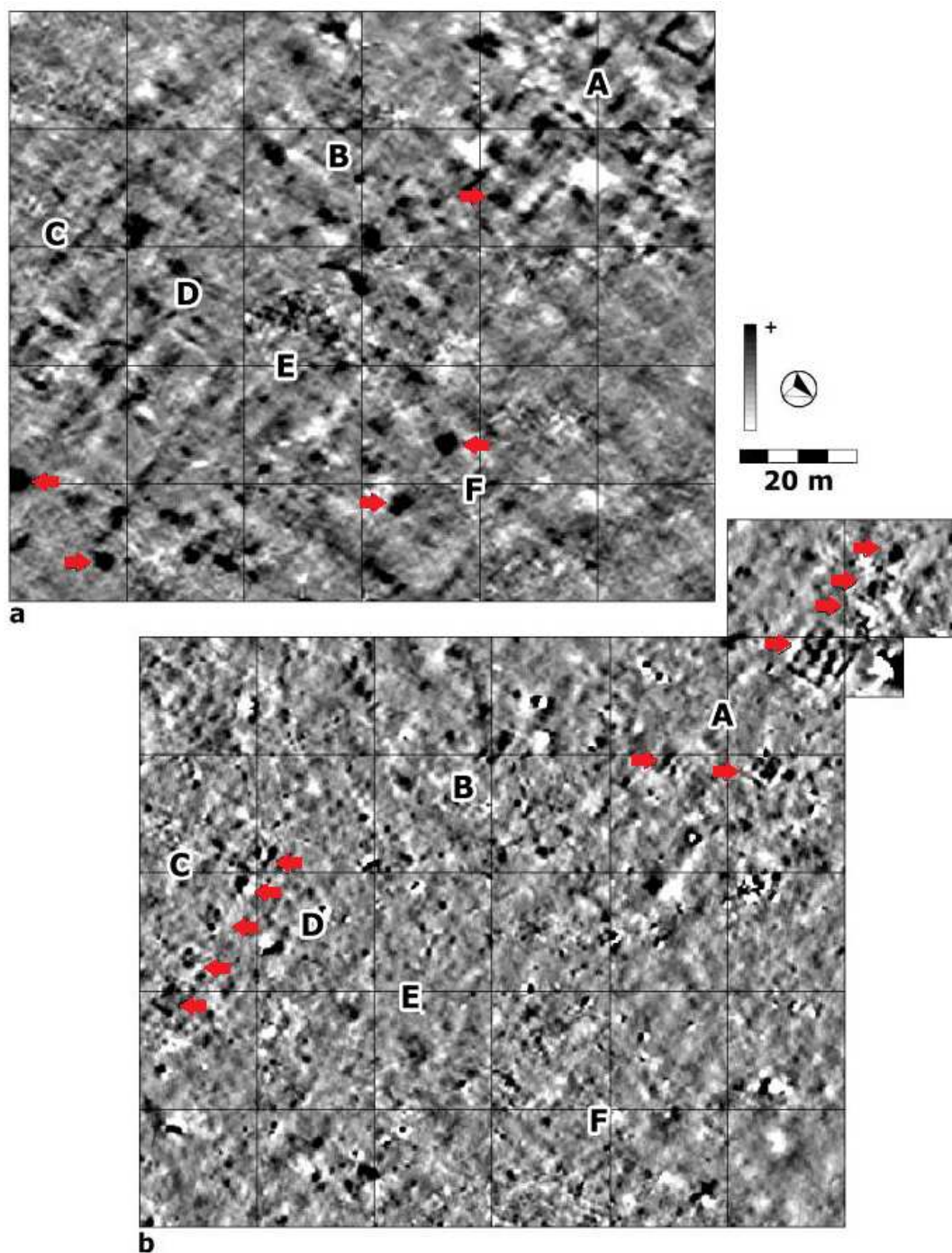
Εικόνα 4.9: Αποτελέσματα από την αρχική έρευνα στο Pueblo Escondido, Fort Bliss (περιοχή 40x40m) α) ηλεκτρική αντίσταση β) μαγνητόμετρο γ) γεωραντάρ 2-4ns

Παρόλα αυτά, η έρευνα δεν εγκαταλείφτηκε καθώς επιφανειακά αντικείμενα και προηγούμενες ανασκαφές υποδείκνυαν ότι σίγουρα υπήρχαν θαμμένα στοιχεία (συμπεριλαμβανομένου πλίθινων δωματίων). Ξαναχρησιμοποιήθηκαν και οι τέσσερις μέθοδοι για να γίνει ολόκληρη η έρευνα μερικούς μήνες αργότερα και τα αποτελέσματά τους ήταν κατά πολύ βελτιωμένα, γιατί εν μέρη ερευνήθηκε μια μεγαλύτερη περιοχή, έγιναν κάποιες αλλαγές στα όργανα και τέλος η περιοχή ήταν πιο ξηρή, το οποίο ευνοεί κυρίως το GPR. Η αντίσταση δεν μπορούσε να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά λόγω της ανεπαρκούς εδαφικής υγρασίας, και τα δεδομένα αγωγιμότητας αποκάλυψαν

μόνο μερικές καταθέσεις. Το GPR (αυτή τη φορά χρησιμοποιήθηκε μια κεραία 400 MHz) (**Εικόνα 4.10**) και τα δεδομένα MS (**Εικόνα 4.11a**) ήταν και τα δύο ιδιαίτερα επιτυχή, αποκαλύπτοντας δεκάδες κοιλωμάτων σπιτιών εξαπλωμένα σε ολόκληρη την εξεταζόμενη περιοχή. Τα μαγνητικά δεδομένα στην αρχή φάνηκαν ότι δεν δίνουν καμία πληροφορία, μέχρι που μερικές δομές (αργότερα αποκαλύφθηκε ότι ήταν καμένα σπίτια) εντοπίστηκαν την τελευταία μέρα της έρευνας (**Εικόνα 4.11b**). Η επιτυχία του GPR οφείλεται περισσότερο στην αλλαγή της κεραίας από 900 σε 400MHz καθώς και στο ποιο στεγνό έδαφος κατά την δεύτερη επίσκεψη.



Εικόνα 4.10: Χάρτες GPR από την τελική έρευνα στο PuebloEscondido a) χάρτης 1, 0,09-0,016m, τα βελάκια δείχνουν ρηχές κατοικίες b) χάρτης 2, 0,15-0,31m, τα βελάκια δείχνουν μερικά από τις βάσεις κτηρίων που φαίνονται πιο καθαρά c) χάρτης 3, 0,31-0,47m, 6 ομάδες σπιτιών από A-F όπου τα διαγώνια βέλη δείχνουν την αρχή και το τέλος των δομικών γραμμών d) χάρτης 4, 0,47-0,63m, μερικά από τα βαθύτερα αρχαιολογικά στοιχεία υποδεικνύονται από τα βέλη.



Εικόνα 4.11: Αποτελέσματα μαγνητομετρίας και μαγνητικής επιδεκτικότητας από την τελική έρευνα στο Pueblo Escondido) μαγνητική επιδεκτικότητα, με πιθανά κτήρια που υποδεικνύονται από οριζόντια βέλη b) μαγνητομετρία, πιθανά καμένα σπείρια υποδεικνύονται από οριζόντια βέλη. Οι ίδιες ομάδες σπιτιών που φαίνονται στην εικόνα 24 φαίνονται και εδώ από A-F.

4.2.1. Περιβαλλοντολογικές επιδράσεις.

Μερικές περιβαλλοντολογικές συνθήκες μπορεί να είναι πολύ ευνοϊκές για μερικές μεθόδους αλλά μπορεί να είναι καταστροφικές για άλλες. Οι περισσότεροι

περιβαλλοντολογικοί παράγοντες που μπορεί να παίξουν ρόλο στην επιτυχία ή αποτυχία μιας έρευνας μπορούν να χωριστούν σε δύο κύριες ομάδες, στις ηλεκτρικές και μαγνητικές ιδιότητες του εδάφους. Οι ηλεκτρικές ιδιότητες, που γενικά καθορίζονται από την υγρασία και την σύσταση του εδάφους, επηρεάζουν δραματικά την αντίσταση, την αγωγιμότητα και το γεωραντάρ. Η μαγνητομετρία και η μαγνητική επιδεκτικότητα επηρεάζονται έντονα από τις μαγνητικές ιδιότητες του εδάφους, τους βράχους και τα πολιτιστικά στοιχεία. Η παρουσία απορριμμάτων μετάλλων στην επιφάνεια, μεγάλα μεταλλικά αντικείμενα, όπως πινακίδες ή φράκτες, και ηφαιστειακά πετρώματα στο έδαφος επηρεάζουν την μαγνητική επιδεκτικότητα και την μαγνητομετρία. Ο πίνακας 2 έχει μια λίστα με αυτές τις ιδιότητες και την επίδραση τους πάνω σε κάθε μια από τις 5 γεωφυσικές μεθόδους.

Πίνακας 2: Επίδραση περιβαλλοντολογικών συνθηκών σε κοινές γεωφυσικές μεθόδους

B= επωφελής C= προβληματίζει N= καμία επίδραση P= προβληματική					
Condition¹	RES	COND	GPR	MS	MAG
extremely dry	P	P	C	N	N
dry	C	N	B	N	N
moderate moisture	B	B	B	N	N
Moist ²	B	N	C	N	N
saturated	P	C	C	N	N
high % clay minerals	N	N	P	N	N
moderate to high salinity	N	N	P	N	N
abundant non-magnetic rocks	C	N	C	N	N
abundant magnetic rocks	C	N	C	N	P
magnetic bedrock near surface	N	N	N	N	P
metal (ferrous) debris on surface	N	C	N	N	P
large metal objects (fences, etc.)	N	N	N	N	C
poorly developed soils	N	N	N	C	C
well developed soils	N	N	N	B	B

1. Υποθέτοντας ότι το χώμα έχει αρκετή μαγνητική αντίθεση με το υπόβαθρο.

2. Το έδαφος παραμένει αρκετά σταθερό ώστε να περπατηθεί

**RES=ηλεκτρική αντίσταση COND= αγωγιμότητα MS=μαγνητική επιδεκτικότητα
MAG=μαγνητογραφίαGPR= γεωραντάρ**

Υγρασία:

Η επιτυχία ή αποτυχία των μεθόδων που στηρίζονται στις ηλεκτρικές ιδιότητες εξαρτώνται κυρίως από την ποσοστό υγρασίας στο έδαφος, το οποίο με τη σειρά του σχετίζεται με την εδαφολογική σύσταση, μέγεθος των κόκκων, ξηρότητα και το κλίμα. Ευτυχώς, στα περισσότερα πεδία μια τουλάχιστον μέθοδος ευνοείται από τις επικρατούσες συνθήκες. Η μεγαλύτερη ανησυχία προκύπτει όταν το έδαφος είναι

τελείως στεγνό ή τελείως υγρό (βάλλτος), γιατί και στις δύο περιπτώσεις δεν θα έχουμε αρκετή αντίθεση. Η αντίθεση όπως έχει αναφερθεί είναι σημαντικός παράγοντας για κάθε μέθοδο. Τα αρχαιολογικά στοιχεία μπορούν να εντοπιστούν με ηλεκτρικές μεθόδους γιατί είτε κρατούν την υγρασία καλύτερα από τα γύρο υλικά, είτε «στεγνώνουν» πιο γρήγορα και καλύτερα. Εάν όλη η τοποθεσία προς έρευνα είναι εξαιρετικά ξηρή και έχουν αποξηρανθεί και όλα τα στοιχεία τότε η αντίθεση εξαλείφεται και τα στοιχεία δεν μπορούν να εντοπιστούν με ηλεκτρικές μεθόδους. Το ίδιο ισχύει και σε αντίθετη περίπτωση εάν η τοποθεσία είναι εξαιρετικά υγρή.

Η αντίσταση και η αγωγιμότητα παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά στην υγρασία, εάν και οι έρευνες αντίστασης χρειάζονται ένα επαρκές ποσοστό υγρασίας στο έδαφος, καθώς υπάρχει η ανάγκη τοποθέτησης ηλεκτροδίων στο έδαφος, ώστε να μπορεί το ρεύμα να διαχέεται. Σε πολύ ξηρές συνθήκες υπάρχει μεγάλη αντίσταση επαφής και έτσι το ρεύμα δεν μπορεί να περάσει από τα ηλεκτρόδια στο έδαφος. Σε αυτές τις περιπτώσεις μπορεί να χρησιμοποιηθούν μέθοδοι της EMI.

Η επίδραση της υγρασίας είναι πιο έντονη όσον αφορά το γεωραντάρ. Η ικανότητα να εντοπίζει στοιχεία επηρεάζεται έντονα από το ποσοστό αντίθεσης ανάμεσα στα στοιχεία και του περιβάλλοντος χώρου. Έλλειψη αντίθεσης λόγω έλλειψης υγρασίας μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την πολύ αμυδρές ανακλάσεις από τα θαμμένα στοιχεία. Βέβαια, είναι σπάνιο να μην υπάρχει η απαραίτητη υγρασία και έτσι το GPR είναι πολύ πετυχημένο σε πολύ ξηρές περιοχές. Αυτό συμβαίνει διότι το GPR δεν ανταποκρίνεται μόνο στην ηλεκτρική αγωγιμότητα, αλλά και σε άλλους παράγοντες που συμβάλλουν στη σχετική διηλεκτρική διαπερατότητα των υλικών (Conyers, 2004), συμπεριλαμβανομένης και της συμπιεστότητας του εδάφους. Καθώς η αντίθεση υγρασίας μεταξύ των στοιχείων και του υπόβαθρου μεγαλώνει, η ικανότητα να εντοπιστούν με GPR επίσης μεγαλώνει, αλλά υπάρχει ένας ακόμα περιοριστικός παράγοντας. Καθώς η υγρασία αυξάνεται, η ενέργεια του γεωραντάρ διαχέεται και έτσι μειώνεται το βάθος διείσδυσης. Έτσι σε πολύ ξηρές συνθήκες το βάθος διείσδυσης μπορεί να είναι το μέγιστο αλλά δεν ισχύει το ίδιο και για την αντίθεση. Για μέτρια υγρασία η αντίθεση είναι έντονη ενώ δεν επηρεάζεται πολύ το μέγιστο βάθος. Όμως για μεγάλο ποσοστό υγρασίας, η ενέργεια του ραντάρ που εισέρχεται στο έδαφος μπορεί να αποσβεστεί τόσο ώστε να μην φτάσει ποτέ στην κεραία λήψης.

Η διαπερατότητα του GPR σε βάθος εξαρτάται και από το μέγεθος αργίλου και αλάτων στο έδαφος. Και τα δύο είναι εξαιρετικά αγωγίμα, και μπορεί να αποσβέσουν την ενέργεια και να μειώσουν το βάθος διείσδυσης.

Βράχοι:

Η παρουσία βράχων δημιουργεί προβλήματα στις γεωφυσικές μεθόδους. Στην ηλεκτρική αντίσταση, οι βράχοι μπορεί να εμποδίζουν τα ηλεκτρόδια και να δημιουργούν εσφαλμένες αναγνώσεις και να δημιουργούν το φαινόμενο του σωρού όπως αυτό έχει αναφερθεί. Οι βράχοι όχι μόνο αντιπροσωπεύουν το σωρό στα δεδομένα GPR, αλλά «κρύβουν» τα βαθύτερα στοιχεία με την απόσβεση ενός μεγάλου μέρους της ενέργειας πριν φτάσει σε αυτά τα στοιχεία. Το πρόβλημα γίνεται ακόμα χειρότερο όταν υπάρχουν μεγαλύτεροι βράχοι μεγάλης πυκνότητας. Εάν μερικοί βράχοι έχουν εναπομείναντα μαγνητικά πεδία (ηφαιστειογενή πετρώματα) μπορεί να είναι μια σημαντική πηγή σωρού στα δεδομένα της μαγνητογραφίας. Ο Ανδεσίτης για παράδειγμα, είναι πολύ μαγνητικός και κάθε μικρό κομμάτι του θα προκαλέσει διπολική μαγνητική ανωμαλία. Φυσικά, είναι μικρότερο πρόβλημα εάν οι βράχοι είναι λίγο μαγνητικοί ή εάν είναι αρκετά βαθιά θαμμένοι. Για να αξιολογηθεί πόσο σοβαρά προβλήματα μπορεί να μας δημιουργήσουν τέτοιοι βράχοι είναι καλό να γίνει μια δοκιμαστική έρευνα.

Εδάφη:

Τα περισσότερα εδάφη είναι έστω και λίγο μαγνητικά. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες ενισχύουν την εδαφική μαγνητική επιδεκτικότητα, επομένως ο τύπος τους εδάφους, το πάχος του και η αντίθεση του με το υπόβαθρο επηρεάζουν την επιτυχία της έρευνας μαγνητογραφίας και μαγνητικής επιδεκτικότητας (Clark, 1996, Dalan, 2006, Gaffney&Gater, 2003, Kvamme, 2006b). Τα αρχαιολογικά στοιχεία όπως τα κοιλώματα, οι τάφοι και οι λεκάνες σπιτιών γεμίζονταν συχνά με έδαφος που ξεπλενόταν από την γύρω περιοχή. Η συγκέντρωση του μαγνητικά ενισχυμένου εδάφους σε αυτά τα αρχαιολογικά στοιχεία τα κάνει να έχουν αντίθεση με τα περίχωρα τους (περίπτωση με την οποία ανιχνεύσαμε δεξαμενές στην τρέχουσα έρευνα μας στο Λαύριο). Η μαγνητομετρία και η μαγνητική επιδεκτικότητα μπορούν να έχουν επιτυχία στην έρημο και άλλες περιοχές με αδύναμα μαγνητικά χώματα. Η μαγνητομετρία θα ανιχνεύσει καμένα στοιχεία όπως τα δάπεδα τζακιού και τα καμένα σπίτια (στην έρευνα μας στο Λαύριο θα μπορεί να ανιχνεύσει τις καμίνους), και η μαγνητική επιδεκτικότητα που μετρείται με EMI μπορεί να είναι πιο ευαίσθητη στις λεπτές παραλλαγές από την μαγνητική επιδεκτικότητα που μετρείται με ένα μαγνητόμετρο.

Τα δεδομένα μαγνητομετρίας και η μαγνητικής επιδεκτικότητας που συλλέχθηκαν στο Pueblo Escondido, που βρίσκεται στο ζεστό και ξηρό νότιο New Mexico είναι ένα αρχικό παράδειγμα. Η μαγνητομετρία με FM36 fluxgate Geoscan gradiometer

αποκάλυψε αρκετά καμένες οικίες (**Εικόνα 4.11b**), αλλά δεν ανίχνευσε κανένα σημάδι των πολλών άλλων κατοικιών που παρουσιάζονται στον χάρτη GPR στην **Εικόνα 4.10**. Πολλά από τα σπίτια, και τα δύο κάηκαν, ανιχνεύτηκαν από την έρευνα μαγνητικής επιδεκτικότητας χρησιμοποιώντας EM38 (**Εικόνα 4.11α**). Οι χάρτες μαγνητικής επιδεκτικότητας παρουσιάζουν επίσης γραμμικά μοτίβα που περιβάλλουν τα σπίτια, τα οποία ερμηνεύονται σαν κάποιο είδος «βεράντας».(Ernenwein 2008).

Μεταλλικά αντικείμενα και απορρίμματα μετάλλων.

Τα αντικείμενα μετάλλων όλων των μεγεθών και των μορφών αντιπροσωπεύουν ένα πρόβλημα για μερικούς τύπους γεωφυσικών ερευνών και ειδικότερα στην μαγνητομετρία και την αγωγιμότητα. Οι έρευνες σε πολλές περιοχές περιπλέκονται από τα μεγάλα μεταλλικά αντικείμενα διαφόρων τύπων όπως, φράκτες, σωληνώσεις, οχετοί, πινακίδες κτλ. Βέβαια, αν δεν καλύπτουν μεγάλο μέρος της περιοχής και είναι εντοπισμένα δεν μας προκαλούν μεγάλη ανησυχία. Ένα πιο σοβαρό πρόβλημα είναι τα συντρίμια και τα απορρίμματα μετάλλων τα οποία μπορεί να είναι διασκορπισμένα σε ολόκληρη την περιοχή των ερευνών. Το κάθε μικρό κομμάτι σιδηρούχου μετάλλου μπορεί να δημιουργήσει μια δυσανάλογα μεγάλη ανωμαλία στα δεδομένα μαγνητομετρίας, «κρύβοντας» κοντινά αρχαιολογικά στοιχεία. Στην έρευνα αγωγιμότητας της EMI τα μεταλλικά αντικείμενα δημιουργούν μια σειρά αναγνώσεων που συνάδουν με αναγνώσεις ιστορικών αντικειμένων ή άλλων μεταλλικών αντικειμένων εκτός ενδιαφέροντος, οπότε η ερμηνεία των δεδομένων γίνεται πολύ δύσκολη. Εάν μια περιοχή είναι ρυπασμένη με συντρίμια μετάλλων πρέπει να καθαριστεί πριν από την μαγνητογραφία ή την EMI, το οποίο απαιτεί μια συστηματική έρευνα με ανιχνευτές μετάλλων, το οποίο αυξάνει τον χρόνο και το κόστος της έρευνας.

Σύνοψη:

Για να επιλεγθούν ποιες γεωφυσικές μεθόδους θα χρησιμοποιηθούν, οι περιβαλλοντολογικές επιπτώσεις είναι πιθανότατα ο πιο σοβαρός παράγοντας που πρέπει να εξεταστεί. Η υγρασία του εδάφους μαζί με το μέγεθος των κόκκων, την αποξήρανση και την περιεκτικότητα σε άργιλο μπορούν να καθορίσουν την επιτυχία ή αποτυχία της αντίστασης, της αγωγιμότητας και του GPR. Ο πίνακας 2 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καθοριστεί ποια μέθοδος είναι η καταλληλότερη λαμβάνοντας υπόψη τις περιβαλλοντολογικές συνθήκες που χαρακτηρίζουν μια ιδιαίτερη περιοχή.

Εάν οι συνθήκες είναι ξηρές σαν την έρημο, η καλύτερη μέθοδος είναι πιθανότατα το GPR ακολουθούμενο από την EMI. Δεδομένου ότι η υγρασία αυξάνεται το GPR παραμένει μια καλή επιλογή, αλλά θα μπορούσε να περιοριστεί η διείσδυση σε βάθος. Η αντίσταση και η αγωγιμότητα είναι άριστες επιλογές σε μέτρια υγρασία. Καθώς το έδαφος γίνεται όλο και πιο βαλτώδες, το GPR έχει μικρή διείσδυση σε βάθος και οι άλλες τρεις μέθοδοι πάσχουν από έλλειψη αντίθεσης. Επίσης με την αύξηση παρουσίας αργίλου αυξάνεται η αγωγιμότητα και μειώνεται το βάθος του GPR. Όμως οι έρευνες αγωγιμότητας και αντίστασης επηρεάζονται αμυδρά και μπορεί να δώσουν πολύ καλά αποτελέσματα, αρκεί να μην εμποδίζονται τα ηλεκτρόδια να τοποθετηθούν στο έδαφος. Η παρουσία θαλασσινού νερού ή άλλων ηλεκτρολυτών περιορίζουν την εφαρμογή του GPR.

Στην περίπτωση μαγνητικών μεθόδων οι περιβαλλοντικές συνθήκες είναι λιγότερο σημαντικές. Η υγρασία, το μέγεθος των κόκκων δεν διαδραματίζουν κανένα ρόλο. Είναι το πάχος και η αντίθεση μεταξύ του χώματος του εδάφους και του υπεδάφους καθώς και οι μαγνητικές ιδιότητες των βράχων που υπαγορεύουν την επιτυχία των μαγνητικών μεθόδων. Εάν το χώμα είναι μαγνητικά «εμπλουτισμένο» συγκριτικά με το υπέδαφος, οι μαγνητικές μέθοδοι είναι πιο πιθανό να είναι επιτυχής (Clark 1996). Βέβαια, η MS είναι πολύ ευαίσθητη και δουλεύει πολύ καλά ακόμα και σε ερημικές συνθήκες. Η μαγνητομετρία είναι πολύ χρήσιμη σε περιβάλλοντα με πολύ ασθενή μαγνητικά χώματα επειδή μετράει εναπομείναντα μαγνητικά πεδία, τα οποία συχνά δημιουργούνται από καμένα αρχαιολογικά στοιχεία (**Εικόνα 4.11b**) και στοιχεία τα οποία περιέχουν μαγνητικά πετρώματα. Γενικά η μαγνητομετρία φαίνεται να δουλεύει καλά στα περισσότερα περιβάλλοντα.

4.2.2. Η Φύση των αρχαιολογικών στοιχείων

Ακόμα και εάν οι περιβαλλοντικές συνθήκες είναι πολύ ευνοϊκές για ορισμένες μεθόδους, τα στοιχεία που υπάρχουν στην περιοχή μπορεί να μην παρουσιάζουν ικανοποιητική αντίθεση με τον περιβάλλοντα χώρο. Ο πίνακας 3 απαριθμεί διαφορετικούς τύπους αρχαιολογικών στοιχείων, τη δυνατότητα να ανιχνευτούν με διάφορες μεθόδους και μια συνοπτική εξήγηση. Σε όλες τις περιπτώσεις οι τύποι των στοιχείων είναι πολύ γενικευμένοι και γίνονται πολλές υποθέσεις. Εστιάζουμε στα πιο κοινά αρχαιολογικά στοιχεία. Φυσικά στοιχεία τα οποία είναι σε ένα γραμμικό μοτίβο ή σε άλλα μοτίβα που έχουν συνοχή, είναι πολύ πιο εύκολο να αναγνωριστούν σαν

πολιτιστικά. Για τον πίνακα 3 επίσης υποθέτουμε ότι όλα τα αντικείμενα δεν είναι πολύ βαθιά θαμμένα και ότι οι περιβαλλοντικές συνθήκες είναι ευνοϊκές για κάθε μέθοδο.

Πίνακας 3: Ανίχνευση κοινών αρχαιολογικών στοιχείων με γεωφυσικές μεθόδους.

(P= δύσκολη ανίχνευση, M= μέτριας δυσκολίας, E= τέλεια ανίχνευση)

Feature	RES	COND	GPR	MS	MAG	Explanation/Notes
Pits/Excavations:						
Post hole	P	P	M	P	P	Generally too small, often no patterns
Grave (no void space)	M	P	M	M	M	Small, low contrast, may lack pattern
Excavation (archaeological)	M	M	M	M	M	COND often blurs boundaries
Processing/storage pit	P	P	M	M	E	Often small, low contrast
Borrow pit	M	M	M	E	E	Usually a soil (magnetic) low/void
House basin	M	M	E	E	E	Favorable compaction, fill, size & shape
Wall trench	M	M	E	M	M	Favorable shape/pattern
Pathway	M	M	E	M	E	Favorable compaction & incision
Ditch	M	M	M	M	E	Often good contrast & patterned
Void space (graves, tunnels)	P	M	E	M	M	Voids are very good GPR reflectors
Walls:						
Adobe/mud wall	M	M	E	M	M	Depends heavily on contrast
Stone wall, non-magnetic	E	E	E	M	M	Magnetic contrast questionable
Stone wall, magnetic	E	E	E	E	E	Electrical & magnetic contrast
Brick wall	E	E	E	E	E	Electrical & magnetic contrast
Monoliths						
Non-magnetic stone	M	M	M	M	M	Lack of pattern
Magnetic stone	M	M	M	M	E	Assuming remanent magnetism
Floors/pavements/surfaces:						
Compact earthen surface	P	M	E	P	P	Favorable compaction & contrast
Prepared mud/adobe surface	M	M	E	P	P	Favorable compaction & contrast
Stone floor, non-magnetic	E	E	E	P-M	P-M	Magnetic contrast still possible
Stone floor, magnetic	E	E	E	M	E	Nature of magnetic contrast varies
Artifacts:						
Ferrous metal	P	M	P	P	E	Must be very shallow for COND
Igneous rock (small)	P	M	P	P	E	Must be very shallow for COND
Fired/Burned Features						
Hearth, small/unprepared	P	P	M	P	M	Lacks size, robustness, & pattern
Hearth, prepared	P	P	M	P	E	Favorable compaction, burning, size
Kiln	M	M	E	M	E	Favorable size, burning
Very large clay pot	P	P	M	P	M	Remanant magnetic field from firing
Burned house/architecture	M	M	M	M	E	Favorable size, pattern & burning
Accumulations:						
Midden	E	E	M	M	M	Favorable moisture contrast
Earthen mound	E	E	M	E	M	Moisture and magnetic contrast

=ηλεκτρική αντίσταση, COND= αγωγιμότητα, MS=μαγνητική επιδεκτικότητα, MAG=μαγνητογραφία, GPR= γεωραντάρ)

(RES

Κοιλώματα:

Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει τα στοιχεία που δημιουργήθηκαν από την αφαίρεση της γης και μετά ξαναγέμισμα κατά την πάροδο του χρόνου με ποιο χαλαρό υλικό, με αποτέλεσμα τα στοιχεία να αντιπαραβάλλουν με τον περιβάλλοντα χώρο. Αυτά τα στοιχεία περιλαμβάνουν τάφους, αποθήκες, κοιλώματα σπιτιών, δεξαμενές και διαφόρων άλλων τάφρων. Οι μαγνητικές μέθοδοι λειτουργούν καλά για την ανίχνευση των κοιλωμάτων όταν το χώμα έχει αφαιρεθεί και είτε δεν έχει αναπληρωθεί είτε έχει αντικατασταθεί με διαφορετικό από της υπόλοιπης περιοχής. Και οι δύο περιπτώσεις οδηγούν σε αρνητικές ανωμαλίες. Αυτά τα στοιχεία θα παρουσιάζονταν σαν θετικές ανωμαλίες εάν τελικά γεμίζονταν με χώμα ποιο μαγνητικό από το υπόβαθρο. Τα κοιλώματα μπορούν επίσης να ανιχνευτούν με την ηλεκτρική αντίσταση, αγωγιμότητα, και γεωραντάρ όταν οι συνθήκες το ευνοούν. Συχνά το κοίλωμα που γεμίζει είναι λιγότερο συμπαγές από τα περιβάλλοντα υλικά, επιτρέποντας την διατήρηση υγρασίας και έτσι την καλύτερη αντίθεσή του. Τα κύματα του ραντάρ μπορεί να απεικονίσουν τα όρια των στοιχείων όπως τους τοίχους και τα «πατώματα» εάν δεν είναι πολύ βαθιά. Στα καλά στρωματοποιημένα εδάφη ένα κοίλωμα αντιπροσωπεύεται από ένα «σπάσιμο» στις οριζόντιες ανακλάσεις και μερικές φορές στους χάρτες.

Τοίχοι:

Οι τοίχοι είναι κοινά αρχαιολογικά στοιχεία και είναι ευνοϊκά για τη γεωφυσική γιατί εκθέτουν μια διακριτή γεωμετρική μορφή. Οι μακροσκελείς ευθείες ανωμαλίες που φαίνονται κάθετα ή μία στην άλλη, ή κυκλικά μοτίβα αναγνωρίζονται εύκολα ως στοιχεία τοίχων. Επίσης μερικές φορές το επίχρισμα των τοίχων είναι έντονα μαγνητικό και έτσι οι τοίχοι ξεχωρίζουν ακόμα πιο εύκολα. Οι τοίχοι φτιαγμένοι από λάσπη ή πλίθα ανιχνεύονται καλύτερα με γεωραντάρ, αλλά μπορεί επίσης να ανιχνευτούν με οποιαδήποτε γεωφυσική μέθοδο εάν τα δεδομένα είναι αρκετά πυκνά και τα περιβάλλοντα υλικά παρέχουν αρκετή αντίθεση. Η κατάσταση είναι αρκετά ευνοϊκή όταν οι τοίχοι είναι φτιαγμένοι εξολοκλήρου από πέτρα καθώς η πέτρα παρέχει αρκετή αντίθεση με το περιβάλλον χώμα και ηλεκτρικά και μαγνητικά. Σε μερικές περιπτώσεις οι πέτρινοι τοίχοι δημιουργούν αρνητικές ανωμαλίες εάν το περιβάλλον υπόβαθρο είναι σημαντικά πιο μαγνητικό από τις πέτρες. Όταν οι τοίχοι περιλαμβάνουν ηφαιστειογενή πέτρες ή οποιοδήποτε άλλο πέτρωμα που έχει παραμένον μαγνητισμό, τότε ο τοίχος θα παρουσιάσει ισχυρή ανωμαλία στα δεδομένα μαγνητομετρίας. Τέτοια συμπεριφορά παρουσιάζουν και οι τοίχοι που είναι φτιαγμένοι από τούβλο.

Πατώματα, διάδρομοι και επιφάνειες:

Μια συμπαγής επιφάνεια είναι ορατή με το γεωραντάρ καθώς η απότομη αλλαγή μεταξύ δύο επιφανειών θα προκαλέσει ανάκλαση υψηλού εύρους. Η ανίχνευση μιας τέτοιας επιφάνειας με αντίσταση ή αγωγιμότητα θα εξαρτηθεί από τα υλικά επάνω και κάτω από την επιφάνεια, ή της ίδιας της επιφάνειας εάν αυτή είναι αρκετά παχιά. Μερικές φορές μια επιφάνεια κάνει το έδαφος από κάτω της να συγκρατεί περισσότερη υγρασία σε σχέση με το έδαφος που δεν βρίσκεται κάτω από αυτήν. Η πέτρινες επιφάνειες είναι πιο εύκολα να ανιχνευτούν από όλες τις μεθόδους για τους ίδιους λόγους που ισχύουν και στους πέτρινους τοίχους.

Χειροποίητα αντικείμενα:

Τα χειροποίητα αντικείμενα δεν είναι συνήθως ένας εύκολος στόχος για τις γεωφυσικές έρευνες εκτός εάν είναι αρκετά μεγάλα. Εξαίρεση παρουσιάζουν αυτά τα οποία είναι φτιαγμένα από δομικά υλικά εργαλεία, μηχανήματα, μαγειρικά σκεύη, πολεμικά είδη και άλλα. Αυτά μπορούν να ανιχνευτούν με μεθόδους EMI αλλά μόνο όταν είναι κοντά στην επιφάνεια. Πολύ καλύτερα αποτελέσματα παίρνουμε με ένα μαγνητόμετρο το οποίο ανιχνεύει τα παραμένοντα μαγνητικά πεδία για κάθε αντικείμενο. Αυτό μπορεί να είναι επωφελές στις αρχαιολογικές περιοχές, όμως εάν υπάρχουν πολλά τέτοια αντικείμενα τότε τείνουν να «κρύψουν» άλλα μη σιδηρούχα στοιχεία.

4.2.3. Σχεδιάζοντας την έρευνα στο πεδίο

Αφού έχουμε βρει την κατάλληλη περιοχή και γεωφυσική μέθοδο που θα χρησιμοποιήσουμε θα πρέπει να σχεδιάσουμε πως ακριβώς θα γίνουν οι μετρήσεις στο πεδίο. Το μέγεθος, η μορφή, ο προσανατολισμός και η ακριβής θέση του «πλέγματος» μετρήσεων πρέπει να καθοριστούν και να εφαρμοστούν στο πεδίο, καθώς επίσης να ληφθούν αποφάσεις όσον αφορά την πυκνότητα δειγματοληψίας και την μέθοδο συλλογής δεδομένων. Μερικές φορές η περιοχή πρέπει να προετοιμαστεί για την έρευνα, όπως την αφαίρεση βλάστησης ή και τον καθαρισμό από απορρίμματα μετάλλων.

Θέση και μέγεθος.

Οι στόχοι και οι προσδοκίες του προγράμματος ερευνών βασισμένα σε προηγούμενες έρευνες ίδιου τύπου, συχνά αναπτύσσουν μια στρατηγική δειγματοληψίας ώστε να καθοδηγήσουν την γεωφυσική εργασία. Γενικά, είναι καλύτερο η γεωφυσική έρευνα να αρχίζει σε μία περιοχή όπου έχουμε επίγνωση των συνθηκών που θα συναντηθούν, ώστε να χρησιμοποιήσουμε αυτά τα αποτελέσματα σαν σημείο αναφοράς. Μερικές φορές υπάρχουν γνωστά αρχαιολογικά στοιχεία από αναφορές ή από ήδη ανασκαμμένα αρχαία, που μας υποδεικνύουν προς ποια κατεύθυνση να κινηθούμε.

Μόλις καθοριστούν τα κατάλληλα όργανα και η επιλεγμένη στρατηγική ερευνών ανιχνεύει ανωμαλίες οι οποίες φαίνεται ότι συνάδουν με αρχαιολογικά στοιχεία, τότε θα έπρεπε να γίνει μια εξακρίβωση ότι η όντως οι ανωμαλίες αντιστοιχούν με αρχαία. Αυτό είναι σημαντικό ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου οι ανωμαλίες δεν σχηματίζουν κάποιο μοτίβο πολιτιστικής προέλευσης. Σε αυτή την περίπτωση οι ανωμαλίες δεν μπορούν να θεωρηθούν σαν στοιχεία εάν δεν υπάρχει κάποια άλλη εξακρίβωση. Αυτή η εξακρίβωση μπορεί να προέλθει από την συσχέτιση της ανωμαλίας με ανασκαφές που έχουν γίνει σε κοντινά σημεία ή επιτόπου ανασκαφή ή αναφορές σε ιστορικούς χάρτες και άλλα (Hargrave 2006). Μερικές φορές οι έρευνες διεξάγονται από άτομα τα οποία δεν έχουν εμπειρία στην αρχαιολογία. Σε αυτή την περίπτωση η περαιτέρω εξακρίβωση γίνεται μετά το πέρας των ερευνών.

Οι γεωφυσικές έρευνες μπορεί να ποικίλλουν πολύ στο μέγεθος. Βέβαια μια περιοχή ερευνών πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη ώστε τα στοιχεία να ανιχνευτούν από την αναγνωρισιμότητα του σχήματός τους (Kvamme 2003). Τα μικρά στοιχεία μπορούν να ανιχνευτούν με μικρής κλίμακα έρευνα, πλέγματος 15 X 15 μέτρων. Όμως με τόσο

μικρό πλέγμα κινδυνεύουμε να αφήσουμε εκτός ένα μέρος κάποιου στοιχείου και έπειτα αυτό να μην αναγνωρίζεται. Η πολύ μεγαλύτερης έκτασης έρευνες έχουν το πλεονέκτημα ότι δεν αποκαλύπτουν μόνο μερικά στοιχεία αλλά ολόκληρες εγκαταστάσεις. Σε αυτήν την ευρεία κλίμακα το χωρικό αποτέλεσμα ολόκληρων περιοχών μπορεί να καταγραφεί και ολόκληρες εγκαταστάσεις μπορούν να ερευνηθούν. Αυτή η προοπτική της ευρείας κλίμακας είναι ένα από τα οφέλη των ιδιοτήτων της γεωφυσικής έρευνας, δεδομένου ότι το μεγαλύτερο μέρος των αρχαιολογικών περιοχών ερευνάται και ερμηνεύεται βασισμένη στην ανασκαφή πολύ μικρών περιοχών. Ο συνδυασμός ευρείας κλίμακας γεωφυσικών ερευνών σε μεγάλες περιοχές και η προσεκτική, μικρής κλίμακας, στοχευμένες ανασκαφές μπορούν να παρέχουν πολλές πληροφορίες για μιας περιοχής τα στοιχεία και το σχεδιάγραμμα των στόχων σε σχετικά χαμηλό κόστος και χρόνο. Σε πολλές περιπτώσεις, τα γεωφυσικά δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αρχικά στοιχεία από τα οποία θα δοθούν αρχαιολογικές ερμηνείες και εξηγήσουν την χωρική συμπεριφορά των στοιχείων που δεν θα μπορούσε να εξεταστεί ή να διατυπωθεί χρησιμοποιώντας μόνο τα στοιχεία ανασκαφών (Kvamme 2003). Η γεωφυσική αποτελεί ένα πολύτιμο εργαλείο για την αρχαιολογία, αλλά δεν καταργεί τις παραδοσιακές αρχαιολογικές μεθόδους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

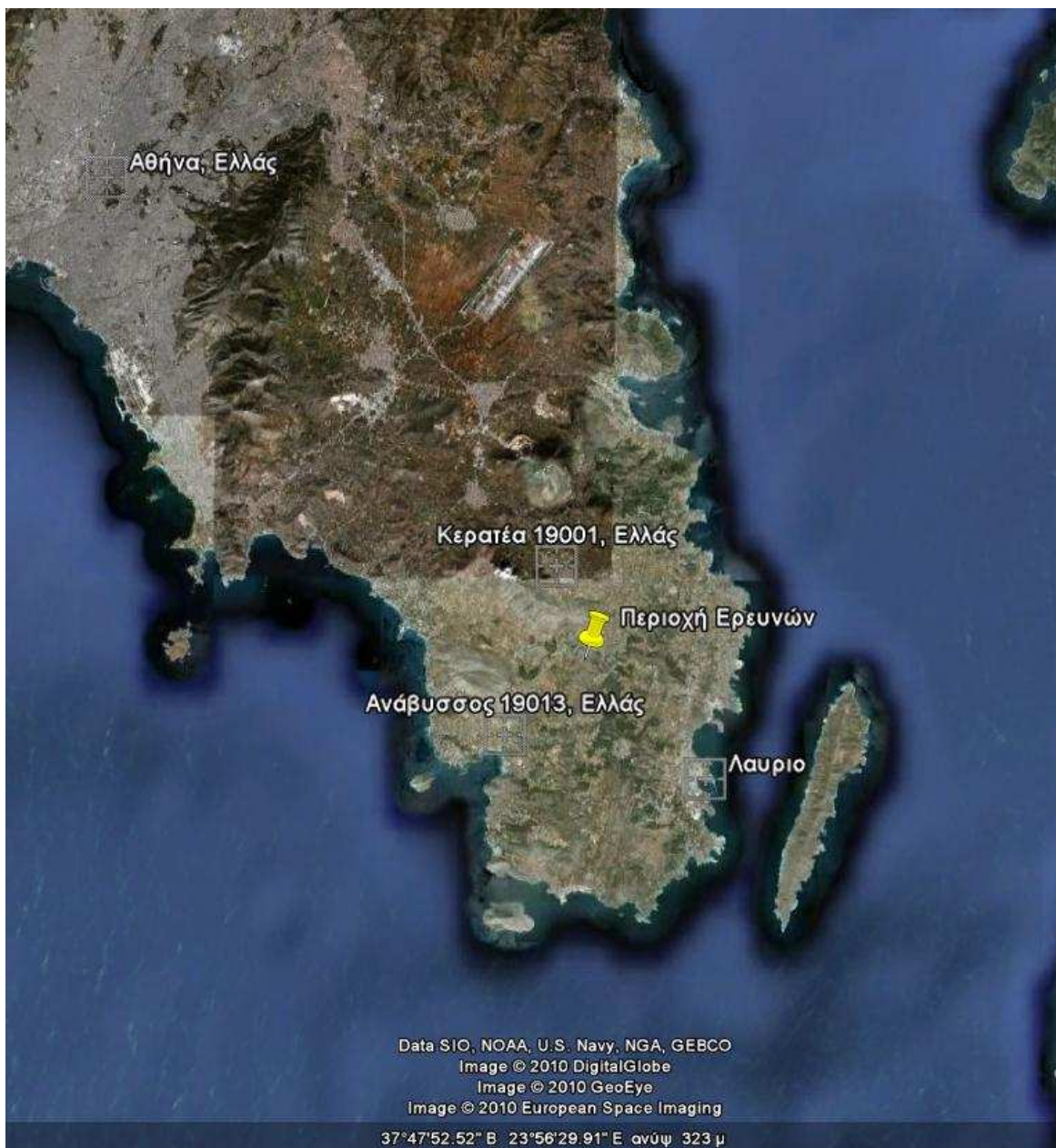
Η Περιοχή της Έρευνας

5. Η Περιοχή της Έρευνας.

5.1. Ιστορία.

Προκειμένου να γίνουν πιο κατανοητά τα δεδομένα που θα προκύψουν από την γεωφυσική έρευνα είναι καλό να γίνει μια περίληψη των διαδικασιών και των μονάδων εκείνων που χρησιμοποιούνταν στο Αρχαίο Λαύριο (Λαυρεωτική) για την παραγωγή του μολύβδου και του αργύρου.

Η περιοχή των ερευνών μας είναι στην κοιλάδα του Άρυ μεταξύ της Αναβύσσου και της Κερατέας 13 χιλιόμετρα μακριά από το Λαύριο. (Εικόνες 5.1, 5.2)



Εικόνα 5.1: Περιοχή Ερευνών(Google Maps).

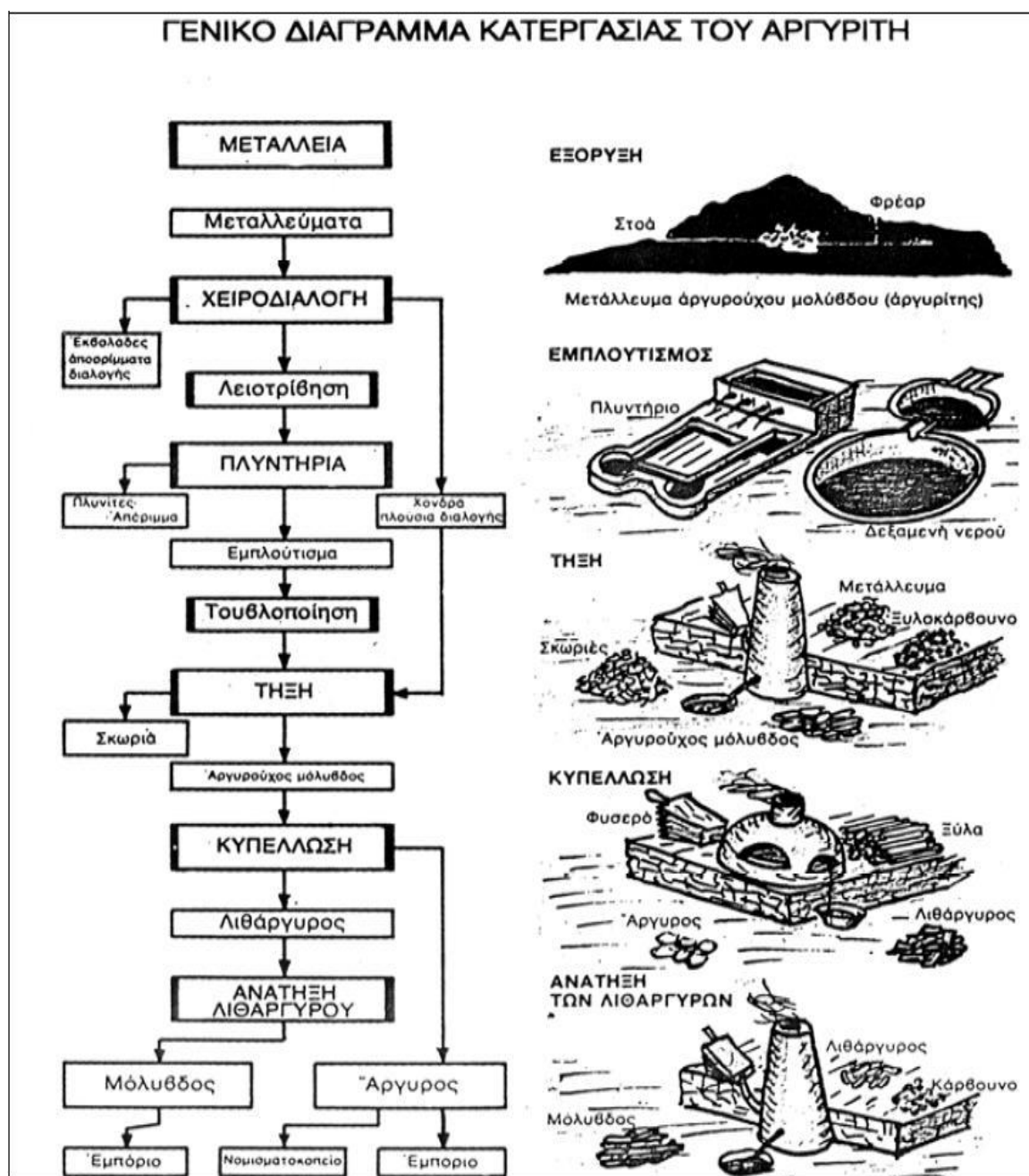


Εικόνα 5.2: Στην «κόκκινη περιοχή» έχουν ήδη βρεθεί και ανασκαφεί αρχαία τα οποία μας βοηθούν να κατανοήσουμε την μορφή των στοιχείων που αναζητούμε. Ανάμεσα σε αυτά τα αρχαία διακρίνουμε διάφορα τείχη και ένα ελικοειδές πλυντήριο(Google Maps).

Στο Λαύριο, ο εμπλουτισμός του μεταλλεύματος γινόταν σε ειδικές εγκαταστάσεις που οι αρχαίοι τις ονόμαζαν εργαστήρια. Τα εργαστήρια αυτά περιελάμβαναν τις εγκαταστάσεις όπου γινόταν η θραύση- λειοτρίβηση του μεταλλεύματος, το πλυντήριο, και τα δωμάτια που κατοικούσαν οι δούλοι.

Εγκαταστάσεις θραύσης–λειοτρίβησης.

Οι αρχαίοι έσπαζαν το μετάλλευμα πάνω σε ασβεστολιθικές πλάκες με σιδερένιους κόπανους. Για τη λειοτρίβηση χρησιμοποιούνταν επίπεδα τριβεία που αποτελούνταν από δύο πλάκες, μια ακίνητη και μια κινητή. Η κινητή πλάκα φέρει μια εγκοπή από την οποία τροφοδοτείται το κατάλληλου μεγέθους μέταλλευμα. Αυτό περνάει ανάμεσα στην κινητή και ακίνητη πλάκα χάρη στην ανώμαλη κάτω επιφάνεια του τριβείου. Κινείται από τους εργάτες με ξύλινη ράβδο παλινδρομικά πάνω στη σταθερή πλάκα.

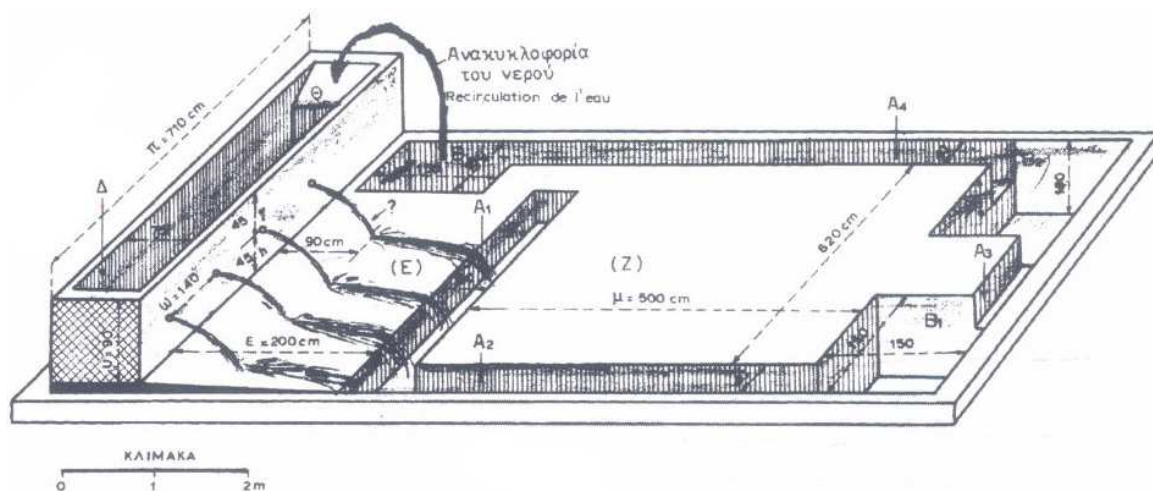


Εικόνα 5.3: Διάγραμμα κατεργασίας «αργυρίτου» στο Αρχαίο Λαύριο (Σχέδιο Κ.Κονοφάγου από το βιβλίο του «Αρχαίο Λαύριο» .

Επίπεδο πλυντήριο.

Το επίπεδο πλυντήριο περιλαμβάνει μια επιμήκη δεξαμενή τροφοδοσίας νερού στην κεφαλή της κατασκευής, δύο επίπεδα, τέσσερις αγωγούς και τρεις μικρές δεξαμενές καθίζησης. Σύμφωνα με τη «θεωρία των ρείθρων», το πλύσιμο του τριμμένου μεταλλεύματος γίνεται πάνω σε ξύλινα ρείθρα με κοιλότητες. Τα ρείθρα αυτά τοποθετούνταν κάτω από 2 έως 8 ακροφύσια που φέρει η δεξαμενή τροφοδοσίας στην εμπρόσθια όψη της. Στην αρχή του ρείθρου γινόταν η τροφοδοσία με τριμμένο

μετάλλευμα. Το νερό που βγαίνει με ορμή από τα ακροφύσια, κατά την πορεία του, παρασύρει τους ελαφρείς κόκκους του μεταλλεύματος ενώ οι βαρείς κόκκοι του μεταλλίτη (συμπύκνωμα) παραμένουν στις κοιλότητες του ρείθρου και κατανέμονται σ' αυτές ανάλογα με το ειδικό τους βάρος. Το νερό στο πλυντήριο ανακυκλοφορούσε ώστε η παροχή από τα ακροφύσια να είναι σταθερή.



Εικόνα 5.4: Τυπικό επίπεδο πλυντήριο με ακροφύσια.



Εικόνα 5.5: Ελικοειδές πλυντήριο στην περιοχή των ερευνών.

Ελικοειδές πλυντήριο.

Έχει βρεθεί μόνο στη Λαυρεωτική. Αποτελείται από ένα μαρμάρινο ελικοειδές ρείθρο διαμέτρου 6μ. και μήκους 16μ., με υψομετρική διαφορά 10-30 εκ. μεταξύ των δύο άκρων του. Το ρείθρο φέρει ελλειψοειδείς κοιλότητες. Το νερό το οποίο επέστρεφε στη δεξαμενή τροφοδοσίας παράσερνε το στείρο υλικό με αποτέλεσμα να γίνεται ο διαχωρισμός του μεταλλεύματος από το στείρο κατά μήκος του ρείθρου. (Εικόνα 5.4)

Δεξαμενές.

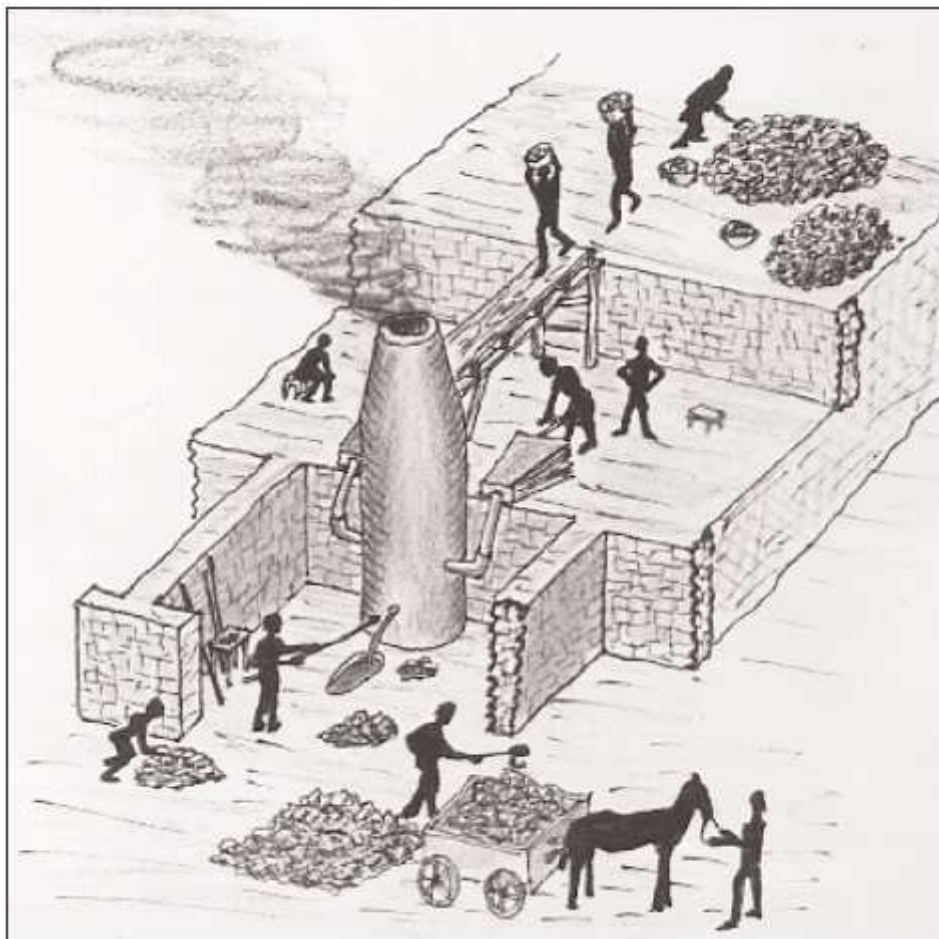
Η Λαυρεωτική από αρχαιοτάτων χρόνων είναι από τις πιο άνυδρες περιοχές της Ελλάδας. Το νερό που ήταν αναγκαίο για τα πλυντήρια, αρχικά, το έπαιρναν από τα μικρά ποτάμια ή ρυάκια. Αργότερα, όταν αυξήθηκε η εκμετάλλευση, κατασκεύασαν δεξαμενές (μέχρι 600 κυβικά μέτρα) όπου συγκέντρωναν το νερό της βροχής. Οι δεξαμενές είχαν εσωτερικό επίχρισμα από ασβεστοκονίαμα πάχους 2 – 3 εκατ. και πάνω από αυτό λεπτό επίχρισμα πάχους μερικών χιλιοστών, απρόσβλητο από τις καιρικές μεταβολές. Έτσι επιτυγχανόταν πλήρης στεγανότητα. Όπως θα δούμε παρακάτω η θέση στην οποία πραγματοποιήθηκαν οι έρευνες μας ήταν πολύ ευνοϊκές, από γεωλογικής πλευράς, για την δημιουργία τέτοιων δεξαμενών.



Εικόνα 5.6: Δεξαμενή νερού (Φωτογραφία Κ.Μάνθος).

Κάμινος.

Τήξη του εμπλουτισμένου μεταλλεύματος που γίνεται στην κάμινο. Ήταν κτισμένη από σχιστόλιθους και όχι από μάρμαρο επειδή αντέχουν στις υψηλές θερμοκρασίες. Εσωτερικά την άλειψαν με άργιλο, που όταν ψηθεί μετατρέπεται σε πυρίμαχο υλικό.



Εικόνα 5.7: Αναπαράσταση τήξεως σε κάμινο. (Σχέδιο Κ.Κονοφάγου)

Αρχαίες Σκωρίες.

Με το όνομα σκωρίες, αποκαλείται ένα σύνολο υλικών (στείρα υλικά) που προέρχεται από την καμίνευση των αρχαίων μεταλλευμάτων και περιέχει σε μικρές ποσότητες αργυρούχο μόλυβδο (γαληνίτη), καθώς και κάποια άλλα μεταλλεύματα. Τα στείρα αυτά υλικά είχαν αποθεθεί με μορφή σωρών, αρχικά κοντά στις θέσεις του μεταλλεύματος όπου γίνονταν και οι εκκαμινεύσεις, ενώ κατά τον 4ο π.Χ. αιώνα τα συναντάμε κοντά στα λιμάνια όπου είχε μεταφερθεί το σύνολο των μεταλλουργικών δραστηριοτήτων.

5.2. Γεωλογία (κατά Παυλόπουλο, 1997)

Το νοτιότερο τμήμα της Αττικής χερσονήσου παρουσιάζει μια σύνθετη γεωτεκτονική δομή. Γενικότερα, η νοτιοανατολική Αττική, ανήκει στην ενδιάμεση τεκτονομεταμορφική ζώνη της Πελαγονικής ενότητας. Ειδικότερα τα προνεογενή πετρώματα που εμφανίζονται στην περιοχή είναι μεταμορφωμένοι και ημιμεταμορφωμένοι σχηματισμοί και είναι μάρμαρα, δολομιτικά μάρμαρα, μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι και φυλλίτες.

5.2.1. Λιθοστρωματογραφία

Στην περιοχή της νότιας Αττικής διακρίνονται τρεις κύριες λιθοστρωματογραφικές ενότητες.

- I) Η κατώτερη γεωτεκτονική ενότητα της Αττικής (σχετικά αυτόχθονη).
- II) Η αλλόχθονη ενότητα του επωθημένου "φυλλιτικού" συστήματος.
- III) Η ακολουθία των Τριτογενών και Τεταρτογενών σχηματισμών που επίκεινται ασύμφωνα στις προηγούμενες

Προσεγγίζοντας την πρώτη και κατά συνέπεια αρχαιότερη γεωτεκτονική ενότητα, διαπιστώνεται ότι το "αυτόχθονο" αυτό σύστημα είναι μεταμορφωμένο και έντονα παραμορφωμένο με αρχικές δομές διεύθυνσης Β.Α.- Ν.Δ. και νεώτερες Β.Δ.- Ν.Α. και αποτελείται από μια μεγάλη μάζα μαρμάρων, συχνά δολομιτικών, και από σχιστόλιθους μαρμαρυγιακούς, αμφιβολιτικούς κ.ά.

Πρόκειται για επάλληλα στρώματα σε συμφωνία με τα μάρμαρα και τους σχιστόλιθους, με επικράτηση πότε των πρώτων και πότε των δεύτερων. Μέσα στους σχιστόλιθους εμφανίζονται και βασικά, υπερβασικά μεταμορφωμένα πετρώματα.

Από τους παλαιότερους προς τους νεώτερους σχηματισμούς διακρίνονται οι εξής:

α) Εμφανίσεις μαρμάρου χρώματος λευκού, κυανότεφρου και σχετικά με την υφή του σακχαρώδες μέχρι χονδρόκοκκο. Σε περιοχές όπου εμφανίζονται έντονα στοιχεία παραμόρφωσης, ο σχηματισμός αυτός αποβάλλει τον χαρακτηριστικό ιστό του μαρμάρου και μοιάζει με ασβεστόλιθο.

Οι σημαντικότερες εμφανίσεις του στην επιφάνεια παρατηρούνται στη κοιλάδα Αγριλέζας στο Σούνιο, στη κοιλάδα ανατολικά της περιοχής Μπότσαρη, στη θέση Μερκάτι, στα υψώματα Κασσιδιάρα, μικρό και μεγάλο Μπάφι, Θυμάρι, Αρί, Κιάφα

Μάριζα και στα βουνά Όλυμπος και Κερατοβούνι. Είναι ο βαθύτερος γνωστός ορίζοντας του μεταμορφωμένου Αττικού "υποβάθρου" που κατά τους παλαιότερους μελετητές αναφέρεται σαν "κατώτερο μάρμαρο". Ορυκτολογικά το κατώτερο μάρμαρο αποτελείται από ασβεστίτη και συνήθως περιέχει μοσχοβίτη, χλωρίτη, σιδηροπυρίτη, ακτινόλιθο και επίδοτο (Μαρίνος - Petrascheck, 1956). Η Τριαδική-Ιουρασική ηλικία του κατωτέρου μαρμάρου, τεκμηριώνεται από τα απολιθώματα που έχουν αναγνωρισθεί όπως : Calamophyllia (Steinmann, 1890), Gyroporellavesiculifera (Νέγρης, 1915), Macroporella (Μαρίνος -Petrascheck, 1956).

β) Μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι που αποτελούν το σύστημα των κατωτέρων σχιστόλιθων. Είναι λευκότεφροι μέχρι μαύροι, στιλπνοί μοσχοβιτικοί σχιστόλιθοι που περικλείουν συχνούς φακούς και διαστρώσεις χαλαζία ή ασβεστίτη. Τυπικό τους γνώρισμα είναι η συνύπαρξη μέσα σε αυτούς μαύρου αδρομερούς μαρμάρου.

Η εξάπλωσή τους, στο ανατολικό τμήμα της Λαυρεωτικής, είναι εκτεταμένη από το Δασκαλιό μέχρι το Σούνιο και τη Μακρόνησο. Στη περιοχή της Πλάκας Λαυρίου οι σχιστόλιθοι αυτοί εμφανίζονται σαν κερατίτες, εξαιτίας της μεταμόρφωσης επαφής από τη διείσδυση του γρανοδιορίτη. Από παλαιότερους ερευνητές αναφέρονται σαν "σχιστόλιθοι Καισαριανής - Καμάριζας". Ορυκτά των σχιστόλιθων αυτών είναι χαλαζίας, μοσχοβίτης, σερικήτης, ασβεστίτης, ορθόκλαστο, χλωρίτης, σιδηροπυρίτης κ.ά. (Μαρίνος - Petrascheck, 1956). Η Τριαδική - Ιουρασική ηλικία τους τεκμηριώνεται από τα απολιθώματα *Quinquellocullina* & *Rotalia* (Μαρίνος - Petrascheck, 1956).

γ) Οι εμφανίσεις του λευκού, τεφρού, λεπτοπλακώδους και λεπτόκοκκου μαρμάρου αντιστοιχούν περισσότερο προς τις εντός των σχιστόλιθων τράπεζες μαρμάρου, οι οποίες περιέχουν πολλές φορές ενδιαστρώσεις σχιστόλιθων, παρά προς το ανεξάρτητο σύστημα αυτού. Κατά θέσεις όμως λόγω του μεγάλου πάχους του αποκτά αυτοτέλεια και τότε είναι συνήθως λευκό στα κατώτερα τμήματα και τεφρό μέχρι κυανότεφρο στα ανώτερα. Στα ανώτερα τμήματα του είναι συχνά μυλονιτωμένο έχοντας την όψη του ασβεστόλιθου. Ορυκτολογικά του συστατικά είναι ο ασβεστίτης, ο μοσχοβίτης και ο χλωρίτης.

Εμφανίζεται στις περιοχές Σούριζα, Δασκαλιό, κάτω Σούνιο και βορειοανατολικά της Πλάκας. Στην περιοχή της ανατολικής Λαυρεωτικής παρουσιάζει μεγάλη εξάπλωση, από τις κορυφές του υψώματος του Ρυμπαρίου μέχρι την ακτή.

Η Τριαδική - Ιουρασική ηλικία του πιστοποιείται από τα απολιθώματα *Lithodendron* (Kober, 1929. Μαρίνος - Petrascheck, 1956) *Diplopora*, *Crinoides*, *Brachiopodes* (Kober, 1929), *Algues*, *Polypiers*, *Gasteropodes* (Γ. Κατσικάτσος, 1976) κ.ά.

Το σύστημα των ανωτέρων σχιστολίθων που αποτελεί μια ξεχωριστή γεωτεκτονική ενότητα επωθημένη πάνω στο σχετικά αυτόχθονο μεταμορφωμένο Αττικό υπόβαθρο, είναι η κατά τον Lepsius (1893), Kober (1929) και Leleu - Neumann (1969) επικλυσιογενής σειρά των Ιουρασικών - Κρητιδικών στρωμάτων, το επωθημένοφυλλιτικό σύστημα κατά Μαρίνο - Petrascheck (1956) και το επωθημένο Ηωελληνικόκαλυμμα κατά Κατσικάτσο (1977).

Πρόκειται για φυλλίτες με λέπη και παρεμβολές από μάρμαρα και ασβεστόλιθους, από πρασινίτες (μεταμορφωμένα βασικά εκρηξιγενή πετρώματα), από σερικιτικούς σχιστόλιθους και χαλαζίτες. Οι ασβεστόλιθοι και τα μάρμαρα που βρίσκονται μέσα στους φυλλίτες είναι συχνά χρώματος καστανού, συνέπεια της επιγενούς αγκεριτίωσης και λειμωνιτίωσής τους (Μαρίνος – Petrascheck, 1956). Από πετρολογική άποψη οι κυρίως φυλλίτες του καλύμματος περιέχουν χαλαζία, μοσχοβίτη, σερικήτη, ασβεστίτη, χλωρίτη, αλβίτη, γλαυκοφανή, ακτινόλιθο, επίδοτο, σιδηροπυρίτη κ.ά. (Μαρίνος -Petrascheck 1956). Η ύπαρξη του γλαυκοφανούς και των γλαυκοφανιτικών σχιστόλιθων αποδεικνύει ορισμένο βαθμό δυναμομεταμόρφωσης επιζωνικού τύπου (Κόκκορος, 1955, Μαρίνος-Petrascheck, 1956).

Το επωθημένο σύστημα των ανωτέρων σχιστόλιθων παρουσιάζει μεγάλη εξάπλωση στην νότια Αττική. Εμφανίζεται στις περιοχές ανατολικά της Καμάριζας, βόρεια της Πλάκας (Βίλλια), στο Μετόχι και νότια του Λαυρίου μέχρι το Σούνιο, ενώ στην περιοχή της Μακρονήσου εμφανίζεται σε μικρή έκταση στο Ν.Α. άκρο του νησιού στη θέση Μυλοπόταμος καθώς και στο Β.Α. άκρο του.

Τριτογενείς σχηματισμοί:

Από το Τριτογενές εμφανίζεται μόνο το Νεογενές, ενώ το Παλαιογενές είναι άγνωστο. Τα Νεογενή στρώματα αποτελούνται από κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, μάργες, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, συνολικού πάχους μερικών δεκάδων μέτρων. Είναι κατά το πλείστον λιμναία ιζήματα, γλυκού και υφάλμυρου υδάτινου περιβάλλοντος, όπως προκύπτει από τα απολιθώματα *Melanopsis*, *Costala*, *Planorbisapplanatus*, *Helix*, *Vivipara* (Lepsius, 1896). Στο δυτικό τμήμα της νότιας Αττικής παρουσιάζουν εντονότερη εξάπλωση και εμφανίζονται σε περιοχές μεταξύ Ολύμπου και Κερατοβουνίου (Φοινικιά, Αρί, Μόκριζα, Φέριζα, Βαλμάς). Στο ανατολικό και νότιο τμήμα εμφανίζονται στο Δασκαλιό και στο Σούνιο (Προφ. Ηλίας υψ. 368μ.). Οι Νεογενείς αποθέσεις επικάθονται ασύμφωνα επί του υποβάθρου και συνήθως επί του φυλλιτικού καλύμματος και του συστήματος των μαρμάρων. Από παρατηρήσεις που έγιναν σε

εμφανίσεις Νεογενών στρωμάτων, στην ευρύτερη περιοχή, διαπιστώνεται ότι εμφανίζονται δύο διαφορετικές στρωματογραφικές σειρές που χαρακτηρίζουν διαφορετικά παλαιογεωγραφικά περιβάλλοντα, και είναι η σειρά της Αγ.Μαρίνας - Φέριζας - Βαλμά, υφάλμυρης φάσης και η σειρά Αναβύσσου - Κοκκινόβραχου χερσαίας φάσης.

α) Στην πρώτη σειρά Αγ.Μαρίνας - Φέριζας – Βαλμά εμφανίζονται κιτρινοπράσινες μάργες με ενδιστρώσεις κροκαλοπαγών και ψαμμιτών, κροκαλοπαγή, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και τέλος στην κορυφή της σειράς επικρατούν κροκαλοπαγή, που αποτελούνται από κροκάλες που παρουσιάζουν χαρακτηριστική αποσάθρωση μορφής "οπών" (Θεοδωρόπουλος - Φυτρολάκης 1974). Οι κροκάλες αυτές γενικά αποτελούνται από δύο ζώνες, μια εξωτερική που δεν εμφανίζει ίχνη αποσάθρωσης και μια εσωτερική που καταλαμβάνει το κεντρικό τμήμα της κροκάλας και εμφανίζεται έντονα αποσαθρωμένη.

β) Στη δεύτερη σειρά Αναβύσσου – Κοκκινόβραχου διακρίνονται ερυθροκάστανα κροκαλοπαγή που αποτελούνται από κροκάλες, λατύπες μεγάλου μεγέθους και μαρμάρινα κροκαλοπαγή με μικρές εναλλαγές ερυθρού αργιλομαργαϊκού υλικού. Στα ερυθροκάστανα κροκαλοπαγή παρατηρούνται στη βάση τους μεγάλες κροκάλες και λατύπες από σερπεντινίτες, όπου το μέγεθος του υλικού και ο γωνιώδης χαρακτήρας τους δείχνει μεταφορά από σχετικά μικρή απόσταση και στη συνέχεια αργιλομαργαϊκές ενδιστρώσεις και πολύ μικτά κροκαλο-λάτυποπαγή ποταμοχειμάρειας φάσης. Το γεγονός ότι στην ερυθρή σειρά των κροκαλολατυποπαγών δεν βρέθηκαν κροκάλες της σειράς της Αγ.Μαρίνας, δείχνει, ότι η πρώτη σειρά είναι, είτε αρχαιότερη, είτε περίπου σύγχρονης ηλικίας, αλλά γεωγραφικά απομονωμένη από την δεύτερη.

Τα στρώματα του Νεογενούς εμφανίζονται διαταραγμένα και παρουσιάζουν μεγάλες κλίσεις προς τα βορειοδυτικά, που δηλώνουν την επίδραση νεώτερων γεωλογικών και τεκτονικών γεγονότων στην Αττική. Χαρακτηριστική είναι και η παρουσία κανονικών ρηγμάτων διευθύνσεων από Β.300Δ. μέχρι Β.600Δ., καθώς επίσης και συνιζηματογενών παραμορφώσεων (ρήγματα , ολισθήσεις) που εμφανίζονται και στις δύο σειρές.

Τεταρτογενείς σχηματισμοί.

Οι σχηματισμοί αυτοί επικάθινται ασύμφωνα σε όλους τους παλαιότερους σχηματισμούς και μπορούν να διακριθούν σε παλαιότερες και νεώτερες αποθέσεις.

α) Στις παλαιότερες αποθέσεις ανήκουν τα υλικά από τα οποία αποτελούνται οι ποτάμιες αναβαθμίδες, οι συνεκτικοί κώνοι και αλλουβιακά ριπίδια καθώς και τα συνεκτικά πλευρικά κορήματα των κλιτύων. Οι αναβαθμίδες συναντώνται κυρίως σε θέσεις κατά μήκος της κοιλάδας Ποτάμι και είναι αποθέσεις αρκετά συνεκτικές, αποτελούμενες κυρίως από κροκάλες και λατύπες μαρμάρου, σχιστόλιθου και συστατικών του φυλλιτικού καλύμματος, προϊόντα διάβρωσης των γύρω ορεινών όγκων.

β) Στις σχετικά νεώτερες αποθέσεις ανήκουν οι ασβεστιτικοί ψαμμίτες. Οι αποθέσεις των ασβεστιτικών ψαμμιτών είναι οι μοναδικές που παρουσιάζονται στις ανατολικές και νοτιοανατολικές ακτές της περιοχής μελέτης, ενώ λείπουν τελείως από τις δυτικές.

γ) Στις νεώτερες αποθέσεις περιλαμβάνονται, τα μικρής συνεκτικότητας πλευρικά κορήματα, οι κώνοι απόθεσης καθώς και οι σύγχρονες αποθέσεις των κοιλάδων και των ακτών. Τα παλαιά και νέα πλευρικά κορήματα αποτελούνται από αδρομερή, ανομοιογενή και γωνιώδη υλικά, μεγαλύτερης συνεκτικότητας για τα παλαιά και μικρής για τα νεώτερα. Οι αλλουβιακοί σχηματισμοί αποτελούν τα προϊόντα διάβρωσης των μεταμορφωμένων κυρίως πετρωμάτων και εμφανίζονται ανομοιογενή, με χαλαρά αργιλοαμμώδη και χαλικώδη συστατικά. Σύγχρονες αιολικές αποθέσεις συναντώνται σε τμήματα μικρών κόλπων, όπως στην παραλία των Λεγρενών, στον Χάρακα, στην Ανάβυσσο κ.ά. υπό την μορφή θινών. Χαρακτηριστικό για την περιοχή της νοτιοανατολικής Αττικής αποτελούν οι αρχαίες καθώς και οι σύγχρονες μεταλλευτικές σκωρίες, που συναντώνται σε αρκετές θέσεις, όπως : Πασσά Λιμάνι, Πουνταζέζα, Κυπριανός, Πόρτο Εννιά, Τουρκολίμανο, Βιέθι, Καμάριζα, Μεγάλα Πεύκα, Χάρακας κ.ά. Αυτές μπορούμε να τις χαρακτηρίσουμε σαν πρόσφατες Ολοκαινικές αποθέσεις που οφείλονται στην ανθρωπογενή δράση και αναφέρονται στους ιστορικούς χρόνους που σε πολλές περιπτώσεις έχουν αλλοιώσει τη μορφολογία του ανάγλυφου.

Τεκτονική

Η νοτιοανατολική Αττική ανήκει στην ενδιάμεση τεκτονομεταμορφική ζώνη της Πελαγονικής ενότητας. Τα πετρώματά της είναι μεταμορφωμένα ή ημιμεταμορφωμένα (μάρμαρα, δολομιτικά μάρμαρα, μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι, φυλλίτες), εκτός από τους τριτογενείς και τεταρτογενείς σχηματισμούς.

Γενικά για την νοτιοανατολική Αττική μπορούν να διακριθούν δύο κύριες γεωτεκτονικές ενότητες :

α) Η κατώτερη τεκτονική ενότητα της Αττικής, που θεωρείται αυτόχθονη (Μαρίνος & Petrascheck 1956, Κατσικάτσος 1976 και είναι μεταμορφωμένη και παραμορφωμένη.

β) Την αλλόχθονη ενότητα του Λαυρίου που επικάθεται τεκτονικά στο αυτόχθονο σύστημα της Αττικής.

Η τεκτονική του αυτοχθόνου συστήματος παρουσιάζει σημαντικές διαφορές από αυτή του επωθημένουφυλλιτικού καλύμματος. Συγκεκριμένα στην ανατολική Λαυρεωτική τα μάρμαρα και οι σχιστόλιθοι του αυτοχθόνου συστήματος παρουσιάζουν πτυχές διεύθυνσης κυρίως Β.ΒΑ.- Ν.ΝΔ. Αντίθετα το φυλλιτικό σύστημα παρουσιάζει ισχυρή πτύχωση με διεύθυνση περίπου Α.- Δ. Τα στρώματά του εμφανίζουν ισχυρές κάμψεις και κλίσεις (300-600) συνοδευόμενα από πλήθος ολισθήσεων. Στη δυτική Λαυρεωτική οι αντικλινικές δομές του αυτοχθόνου συστήματος έχουν κύριο άξονα Δ.ΒΔ.- Α.ΝΑ. αλλά και δευτερεύοντες, διευθύνσεων Β.- Ν.

Η διαχωριστική γραμμή Λεγρενών - Καμάριζας – Δογάνι καθορίζει την τεκτονική διαφορά μεταξύ ανατολικής και δυτικής Λαυρεωτικής. Η τεκτονική ανωμαλία της κοιλάδας των Λεγραινών δεν είναι απλά μια μετάπτωση ή ρηγματωμένη πτυχή αλλά μια σύνθετη ζώνη ανωμαλίας (Μαρίνος & Petrascheck, 1956). Πρώτα ανυψώθηκε τεκτονικά το δυτικό τμήμα μέχρι να αποκαλυφθεί το κατώτερο μάρμαρο, ενώ στο ανατολικό τμήμα διατηρήθηκαν το ανώτερο μάρμαρο

και οι μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι. Μετά έγινε η επώθηση και τοποθέτηση του καλύμματος επί των δύο αυτών τμημάτων και στη συνέχεια η βύθιση του δυτικού με κυματοειδή έντονη κάμψη που δημιούργησε θολοειδείς πτυχές διεύθυνσης Α.- Δ. Συστήματα ρηγμάτων και κατατμήσεων υπάρχουν αρκετά στη Ν.Α Αττική με διευθύνσεις Β.Δ.-Β.Α. και πολλές φορές με διεύθυνση Β.- Ν.

Στη συνέχεια παρατίθεται γεωμορφολογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής της έρευνας μας (Γαυλόπουλος, 1991)

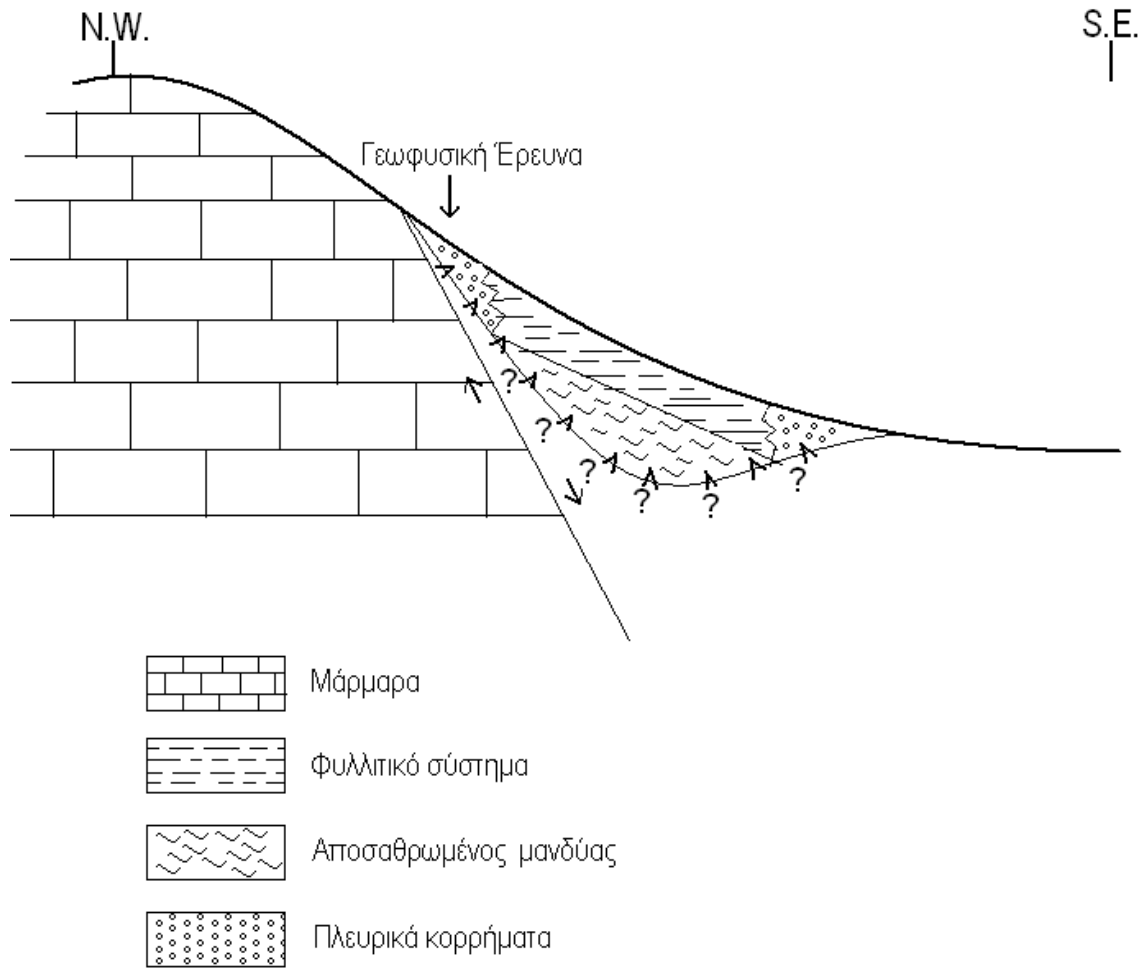


Εικόνα 5.8: Γεωμορφολογικός χάρτης (Παυλόπουλος 1997). Η περιοχή των ερευνών σημειωμένη με κόκκινο «X».

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

	Μάρμαρα Marbles		Παλιές συνεκτικές αναβαθμίδες Old cemented terraces
	Μαρμαρυγιακοί οχιστόλιθοι Mica schists		Αναβαθμίδες ενδιάμεσης ηλικίας συνεκ Intermediate cemented terraces
	Κερατίτες Hornfels		Νεώτερες αναβαθμίδες Younger terraces
	Φυλλιτικό σύστημα Phyllitic system		Κώνοι απόθεσης Alluvial cones
	Γρανодиορίτης Granodiorite		Κορήματα Talus
	Νεογενές Neogene		Υπόλειμμα διάβρωσης Butte
	Τεταρτογενές Quaternary		Ασβεστικοί ψαμμίτες Calcareous sandstones
	Ρήγμα Fault		Σωροί υπολειμμάτων μεταλλευτικών ερ Wastes of mining works
	Ρήγμα πιθανό ή καλυμένο Fault probable or buried		Μεταλλευτικό βύθισμα Mining depression
	Όριο επώθησης Overthrust line		Στόα μεταλλείου Mining shaft
	Διευθύνσεις και κλίσεις στρωμάτων Strike and dip of beds (estimated)		Επιφάνεια ισοπέδωσης 20-60 m Planation surface 20-60 m
	Περιστασιακή ροή Intermittent flow		Επιφάνεια ισοπέδωσης 60-80 m Planation surface 60-80 m
	Υδροστρωματοροή Sheet flow		Επιφάνεια ισοπέδωσης 100-140 m Planation surface 100-140 m
	Κοιλάδες σχήματος V V-shaped valley		Επιφάνεια ισοπέδωσης 140-160 m Planation surface 140-160 m
	Κοιλάδες σχήματος U U-shaped valley		Επιφάνεια ισοπέδωσης 160-180 m Planation surface 160-180 m
	Κοιλάδες σχήματος L L-shaped valley		Επιφάνεια ισοπέδωσης 180-220 m Planation surface 180-220 m
	Κοιλάδες με κατά βάθος διάβρωση Valley with increased downcutting		Επιφάνεια ισοπέδωσης 240-280 m Planation surface 240-280 m
	Φαράγγι - Χαράδρα Gully - Gorge		Επιφάνεια ισοπέδωσης 280-320 m Planation surface 280-320 m
	Απότομη αλλαγή στη κλίση > 40° Abrupt change of slope > 40°		Επιφάνεια ισοπέδωσης 320-360 m Planation surface 320-360 m
	Ομαλή αλλαγή στη κλίση < 40° Gentle change of slope < 40°		Κλίση επιφάνειας ισοπέδωσης Slope of planation surface
	Σημείο κάμψης της κοίτης Knick point		
	Καρστικές γλυφές Karst pavement		

Εικόνα 5.9: Υπόμνημα γεωμορφολογικού χάρτη.



Εικόνα 5.10: Γεωλογική τομή της περιοχής των ερευνών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

**Εφαρμογή Γεωφυσικών Μεθόδων στον Εντοπισμό
Πεπερασμένων Δομών κοντά στην Κερατέα.**

6. Εφαρμογή Γεωφυσικών Μεθόδων στον Εντοπισμό Πεπερασμένων Δομών κοντά στη Κερατέα.

6.1. Διεξαγωγή ηλεκτρομαγνητικών μετρήσεων ηλεκτρικής αγωγιμότητας και “in phase” συνιστώσας.

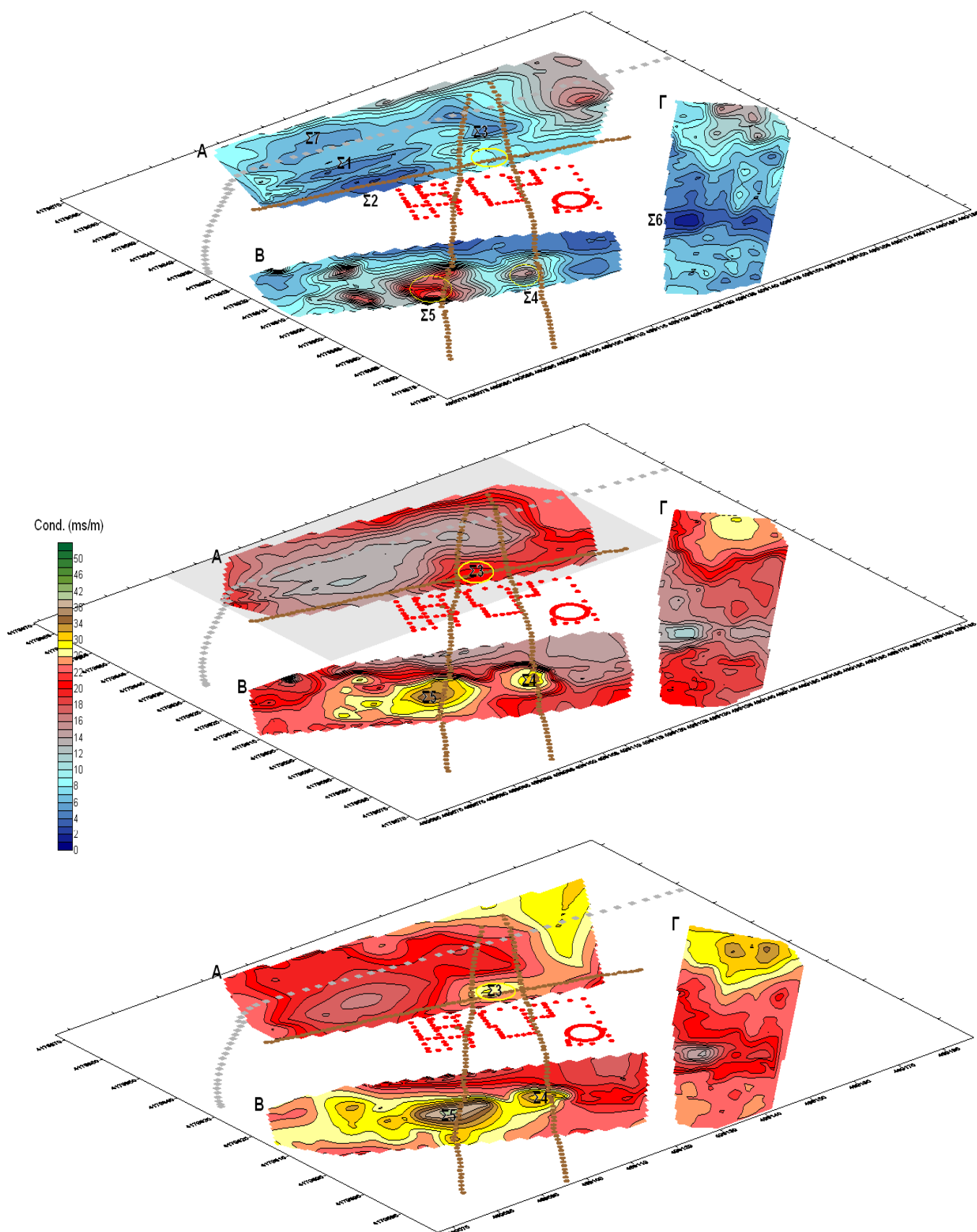
6.1.1. Χάρτες ηλεκτρικής αγωγιμότητας και “in phase” συνιστώσας

Αφού χωρίσουμε την περιοχή έρευνας σε τρεις υποπεριοχές «Α», «Β», «Γ» (Εικόνα 6.1) στην περιοχή «Α» έγιναν 5 παράλληλες γραμμές μέτρησης διεύθυνσης Α-Δ, μήκους 70 μέτρων και βήματος περίπου 1m,. στη περιοχή «Β» έγιναν 4 παράλληλες γραμμές μέτρησης διεύθυνσης Α-Δ, μήκους 70 μέτρων και βήματος περίπου 1m. και τέλος στην περιοχή «Γ» έγιναν 5 παράλληλες γραμμές μέτρησης διεύθυνσης Β-Ν, μήκους 70 μέτρων και βήματος περίπου 1m,.

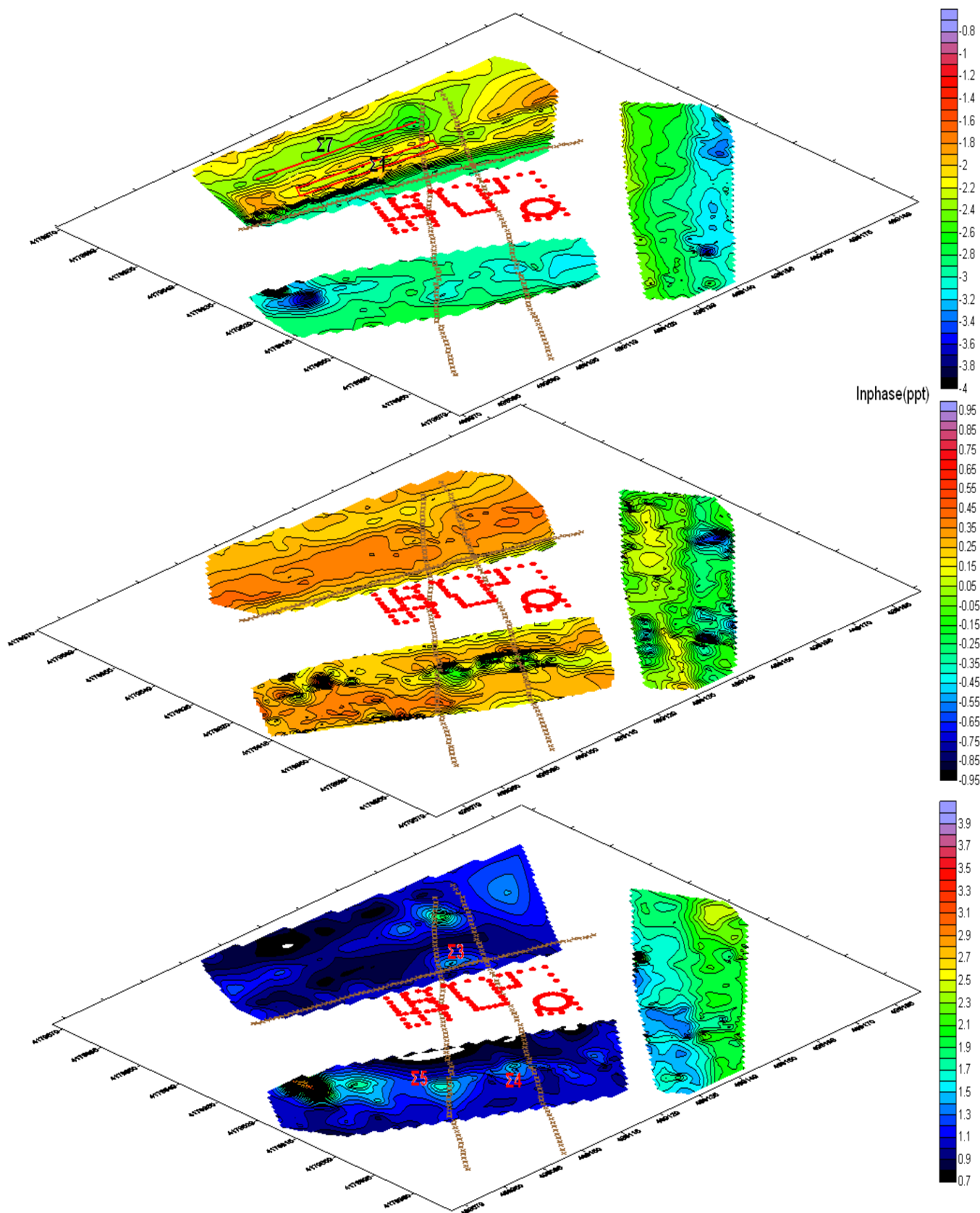
Χρησιμοποιήθηκε το ηλεκτρομαγνητικό όργανο μέτρησης αγωγιμότητας της GF Instruments “CMD” με τις δύο διαμορφώσεις του CMD-2 και CMD-4 αντίστοιχο του Geonics EM-31

Σε κάθε περιοχή έγιναν 3 είδη μετρήσεων. Την πρώτη φορά με το CMD-2 (απόσταση πηνίων 3m) διεξάγαμε τις μετρήσεις στην ρύθμιση «normal» όπου το βάθος διασκόπησης είναι τα τρία μέτρα. Τη δεύτερη φορά με το ίδιο όργανο, αλλά με τη ρύθμιση «low» όπου το βάθος διασκόπησης είναι στο ενάμισι μέτρο. Την τρίτη φορά χρησιμοποιήσαμε το CMD-4 (απόσταση πηνίων 6m) στη ρύθμιση «normal» όπου το βάθος διασκόπησης είναι στα έξι μέτρα. Από εδώ και πέρα οι τύποι των μετρήσεων που έλαβαν χώρα θα αναφέρονται αντίστοιχα ως «normal», «low» και «high» για την τελευταία ομάδα μετρήσεων.

Με τη βοήθεια του προγράμματος Surfer δημιουργήσαμε αρχικά τους χάρτες ηλεκτρικής αγωγιμότητας και μαγνητικής επιδεκτικότητας για τις τρεις διαμορφώσεις (τρία βάθη διασκόπησης) που παρατίθενται στις εικόνες 6.1 και 6.2 αντίστοιχα.



Εικόνα 6.1: Χάρτες κατανομής ηλεκτρικής αγωγιμότητας για τις ρυθμίσεις του οργάνου low, normal, high από πάνω προς τα κάτω για τις υποπεριοχές A,B,Γ, όπου φαίνονται οι στόχοι από Σ1 έως Σ7. Φαίνονται με κόκκινες κουκίδες τα αρχαιολογικά ευρήματα και με καφέ οι θέσεις των ηλεκτροδίων στις ηλεκτρικές τομές.



Εικόνα 6.2: Χάρτες “in phase” τιμών, για τις ρυθμίσεις του οργάνου low, normal, high από πάνω προς τα κάτω, για τις υποπεριοχές A,B,Γ, όπου φαίνονται οι στόχοι από Σ1 έως Σ7. Φαίνονται με κόκκινες κουκίδες τα αρχαιολογικά ευρήματα και με καφέ οι θέσεις των ηλεκτροδίων στις ηλεκτρικές τομές.

Συμπεράσματα:

Στην εικόνα 6.1 στην κατανομή low ο στόχος Σ1 φαίνεται να είναι μια στενόμακρη δομή, καθώς και οι στόχοι Σ2, Σ7 και Σ6 που θα μπορούσαν να αντιστοιχούν σε τοιχία, αφού τα τοιχία αναμένεται να έχουν ποιο μικρές τιμές (ms/s) αγωγιμότητας καθώς είναι από λιγότερο αγώγιμα υλικά σε σχέση με τον περιβάλλοντα χώρο. Ο στόχος Σ6 (τοιχίο;) φαίνεται να συνεχίζεται και βαθύτερα αφού εντοπίζεται και στις κατανομές normal και high. Ο προσανατολισμός αυτών των δομών είναι κάθετος\παράλληλος στα ήδη αποκαλυμμένα αρχαία. Οι στόχοι Σ4 και Σ5 είναι δύο στρογγυλές δομές με υψηλότερη αγωγιμότητα από τον περιβάλλοντα χώρο (με κόκκινο χρώμα στην low κατανομή και κίτρινο χρώμα στις κατανομές normal και high) Πιστεύουμε ότι πιθανά πρόκειται για κάποιο είδους δεξαμενές, οι οποίες είναι γεμισμένες με αγώγιμο υλικό και φτάνουν αρκετά βαθιά ώστε να είναι ευδιάκριτες και στην κατανομή high.

Στην εικόνα 6.2 στις υποπεριοχές A και B, στην κατανομή high, οι περιοχές υψηλότερων in phase τιμών που φαίνονται με ανοιχτό γαλάζιο χρώμα, είναι στις θέσεις των στόχων Σ3, Σ4 και Σ5. Πιθανά συσχετίζονται με τον πυθμένα των δεξαμενών με υλικά υψηλότερης μαγνητικής επιδεκτικότητας σε σχέση με την γύρω περιοχή. Το αντίθετο συμβαίνει για τους στόχους Σ4 και Σ5 στην κατανομή normal όπου οι τιμές in phase είναι χαμηλότερες από αυτές τις γύρω περιοχής άρα με υλικά μικρότερης μαγνητικής επιδεκτικότητας. Τέλος, στην εικόνα 6.2 στην κατανομή low οι στόχοι Σ7, Σ1 και Σ2 (τοιχία;) βρίσκονται σε περιοχές in phase τιμών με υλικό ανάμεσα μεγαλύτερης μαγνητικής επιδεκτικότητας (μακρόστενες δομές).

Σημείωση:

Στους χάρτες της μαγνητικής επιδεκτικότητας έχει χρησιμοποιηθεί ίδια χρωματική παλέτα με διαφορετικό εύρος τιμών σε κάθε χάρτη.

6.1.2. Παράγωγοι Διευθύνσεων κατανομής αγωγιμότητας (Directionality Derivatives)

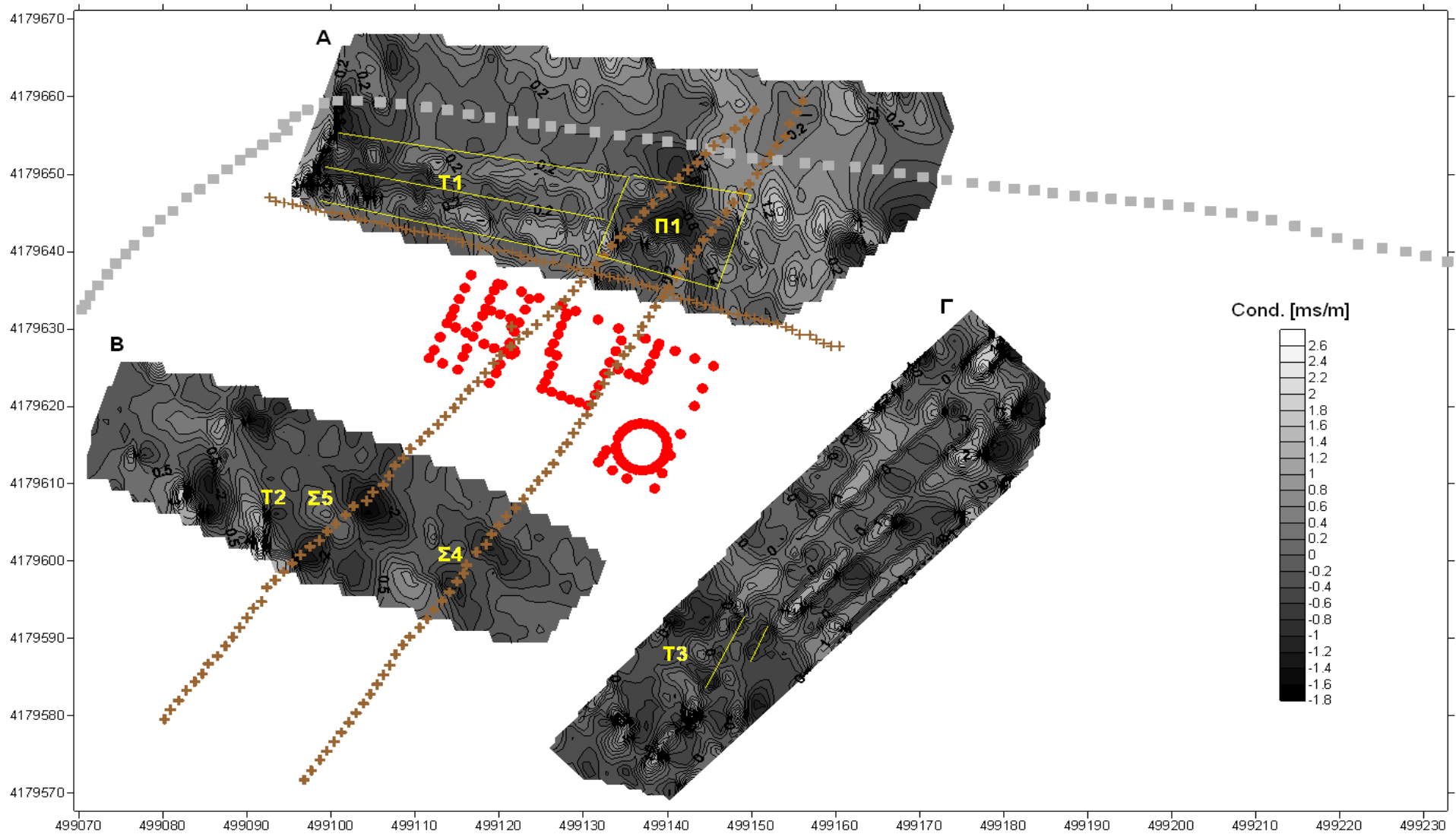
Με την βοήθεια του προγράμματος Surfer υποβάλλουμε τους αρχικούς χάρτες σε κάποια μορφής επεξεργασία ώστε να έχουμε ποιο διακριτά αποτελέσματα και να γίνει η ερμηνεία των χαρτών ποιο εύκολη. Δεν συνεχίζουμε την περαιτέρω ανάλυση και επεξεργασία των χαρτών in phase καθώς δεν περιμένουμε αξιόλογα αποτελέσματα.

Καταρχήν γνωρίζοντας τις διευθύνσεις των αποκαλυμμένων αρχαίων τοιχίων επιλέξαμε να εφαρμόσουμε φίλτρο πρώτης παραγώγου με διευθύνσεις 60 και -30 μοιρών και έπειτα με την συμβολή των δύο τιμών να προκύψει συνδυασμένος χάρτης για κάθε κατανομή (εικόνες 6.3, 6.4, 6.5).

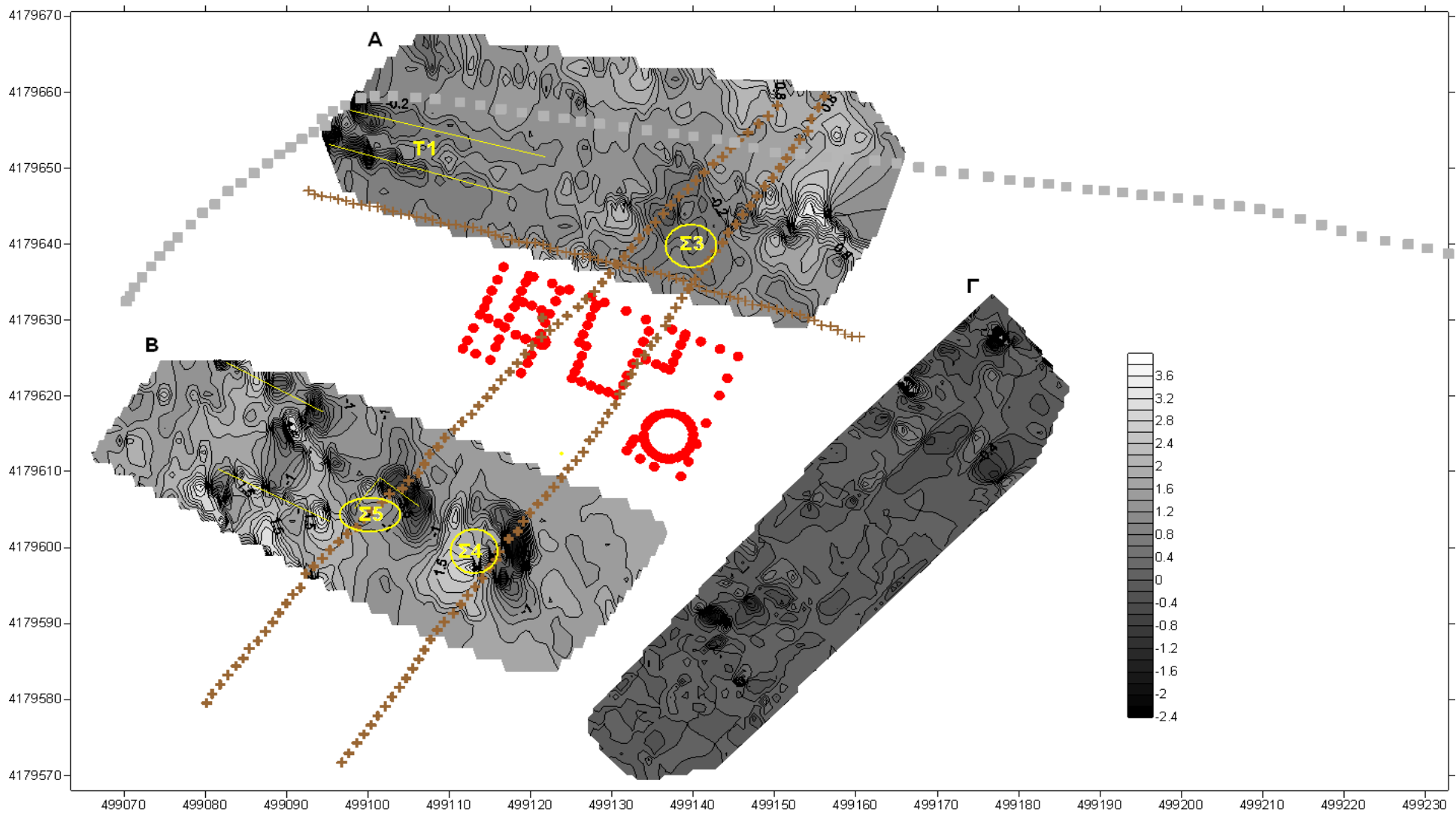
Συμπεράσματα:

Στην εικόνα 6.3 στην υποπεριοχή Α υπάρχει ο χώρος T1 στον οποίο φαίνονται τετραγωνισμένες περιοχές χαμηλής αγωγιμότητας που είναι δυνατόν να αντιστοιχηθούν σε τοιχία. Ο χώρος Π1 δείχνει μια εκτεταμένη περιοχή χαμηλής αγωγιμότητας (πιθανό πλακόστρωτο) ενώ στο νότιο μέρος του παρουσιάζονται δύο κάθετες μη αγωγιμες δομές (πιθανά τοιχία δεξαμενής). Στην υποπεριοχή Β και στην θέση των δεξαμενών που εντοπίστηκαν (στόχοι Σ4, Σ5) αυτές περικλείονται από δομές χαμηλής αγωγιμότητας (πιθανά τοιχία δεξαμενών).

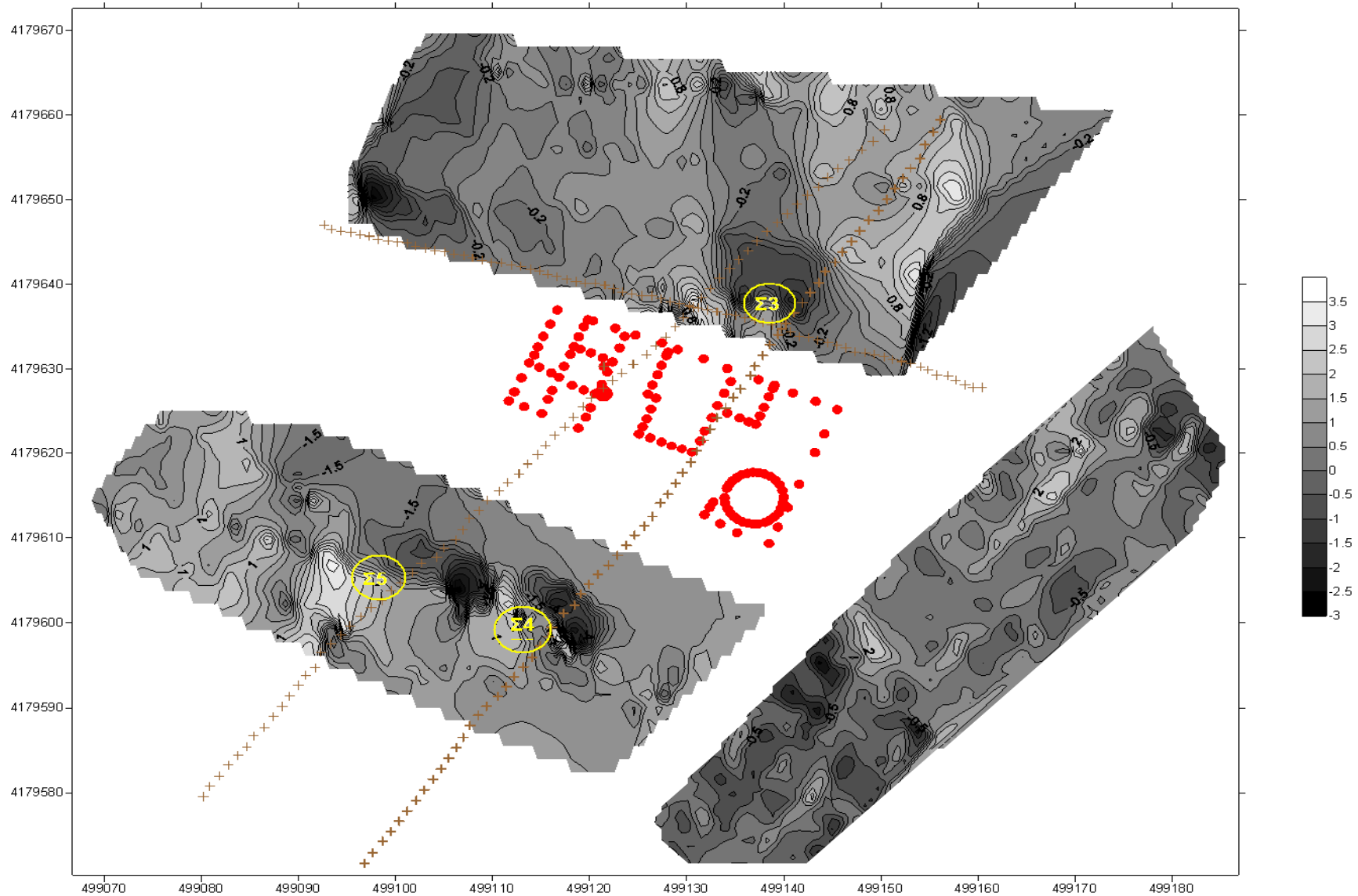
Στις κατανομές normal και high ισχύουν οι παρατηρήσεις στην υποπεριοχή Β ενώ οι υπόλοιπες δομές όσο πηγαίνουμε βαθύτερα χάνονται.



Εικόνα 6.3: Χάρτης πρώτης παραγώγου ηλεκτρικής αντίστασης, «low». Εδώ διακρίνεται πολύ καθαρά στην υποπεριοχή A στη θέση T1 τοιχοποιία και ίσως στις υποπεριοχές B και Γ, να έχουμε τοιχοποιία στις θέσεις T2 και T3. Φαίνονται με κόκκινες κουκίδες τα αρχαιολογικά ευρήματα και με καφέ οι θέσεις των ηλεκτροδίων στις ηλεκτρικές τομές.



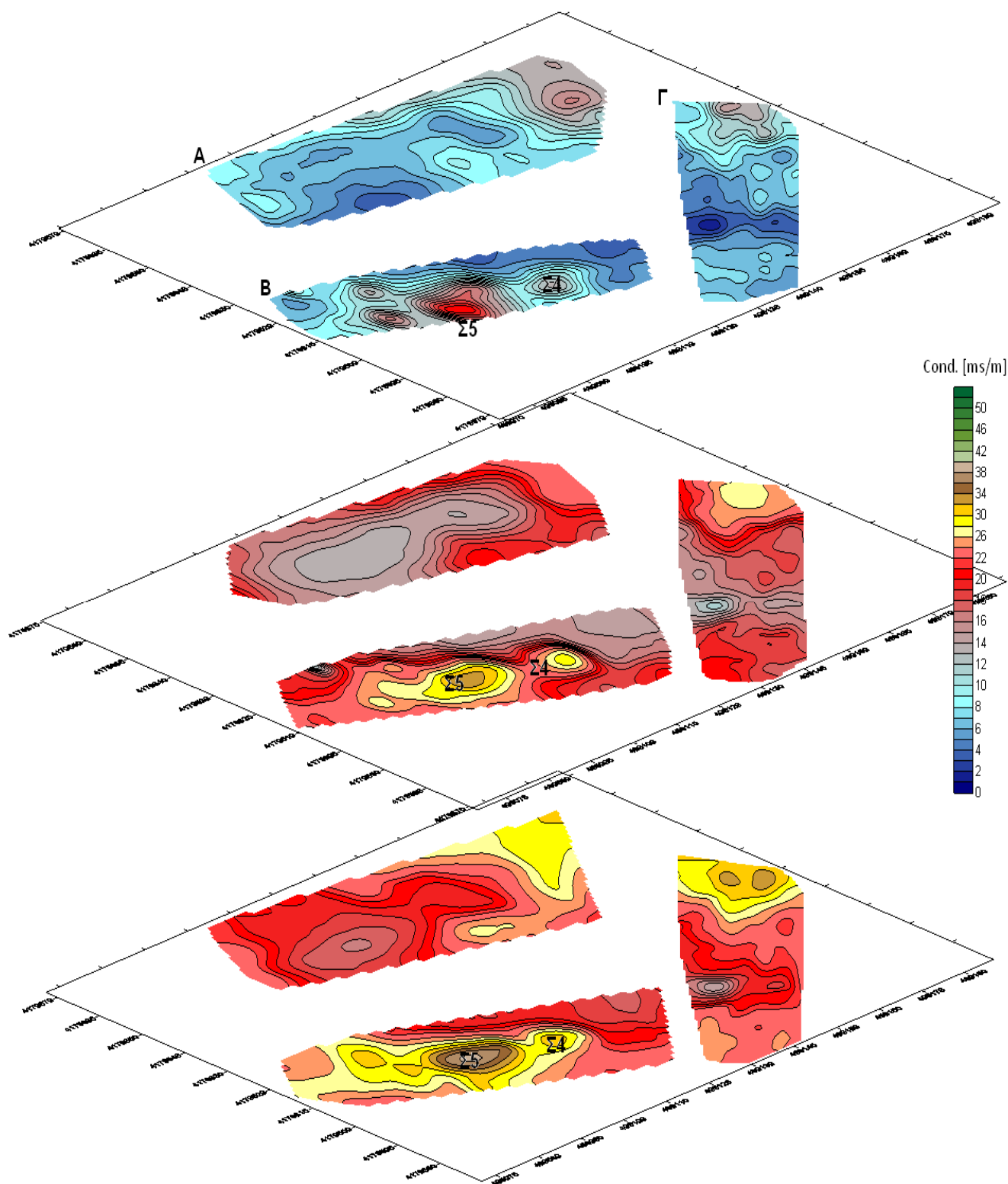
Εικόνα 6.4: Χάρτης πρώτης παραγώγου ηλεκτρικής αντίστασης, «normal». Στην υποπεριοχή A συνεχίζουμε να διακρίνουμε τοιχοποιία, στην υποπεριοχή Γ δεν φαίνεται κάτι σίγουρο σε αυτό το βάθος ενώ διακρίνεται τοιχοποιία και στην υποπεριοχή B. Φαίνονται με κόκκινες κουκίδες τα αρχαιολογικά ευρήματα και με καφέ οι θέσεις των ηλεκτροδίων στις ηλεκτρικές τομές.



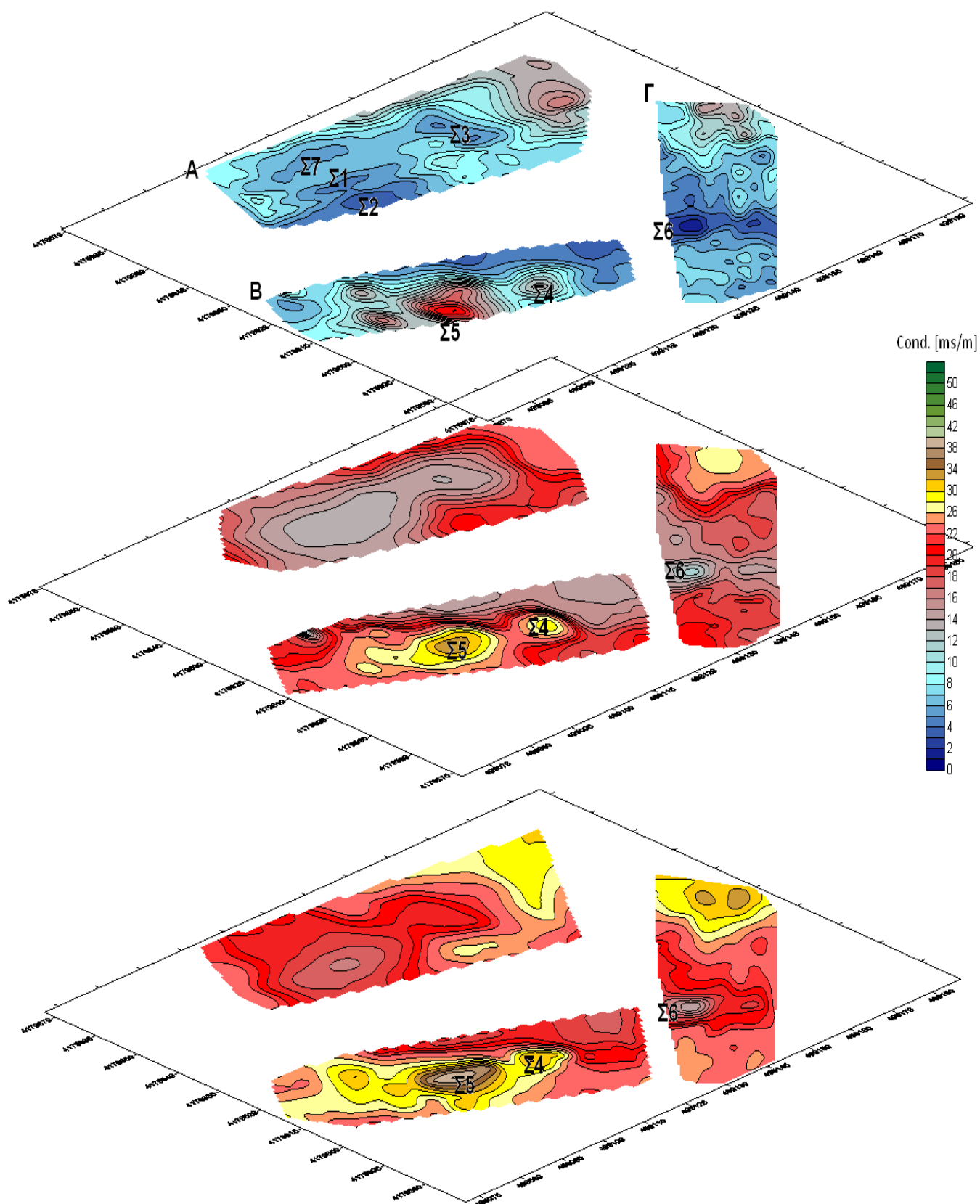
Εικόνα 6.5: Χάρτης πρώτης παραγώγου ηλεκτρικής αντίστασης, «high». Σε αυτήν την κατανομή φαίνονται δομές χαμηλής αγωγιμότητας γύρω από τους στόχους Σ4 και Σ5. Φαίνονται με κόκκινες κουκίδες τα αρχαιολογικά ευρήματα και με καφέ οι θέσεις των ηλεκτροδίων στις ηλεκτρικές τομές.

6.1.3. Επεξεργασία κατανομής αγωγιμότητας με “low pass” φίλτρα : «Distance weighting», “Inverse Distance”, “Moving Average”

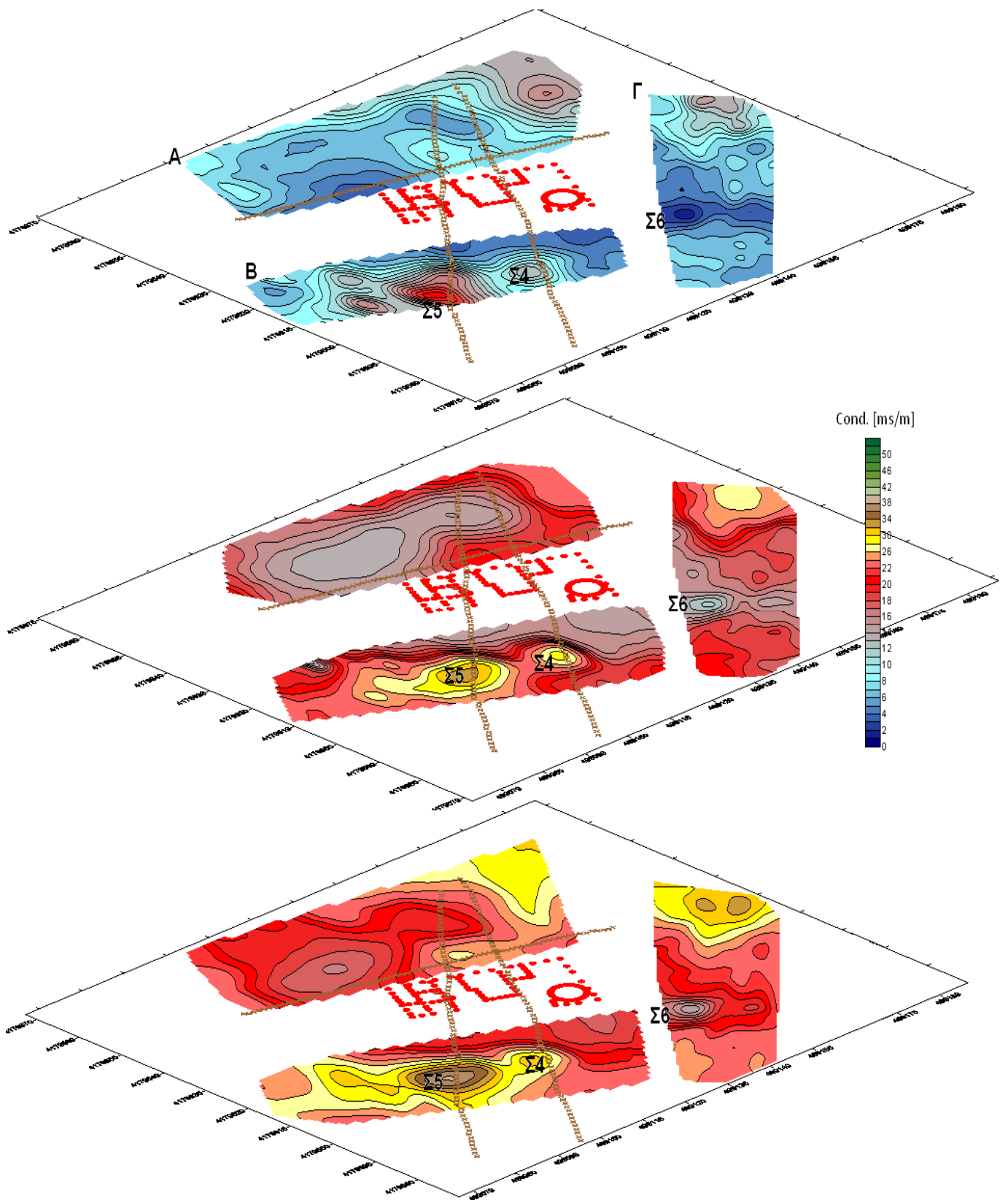
Με τη βοήθεια του προγράμματος surfer εφαρμόσαμε φίλτρα low pass στην κατανομή της αγωγιμότητας «Distance weighting», “Inverse Distance”, “Moving Average” όπως φαίνονται στις εικόνες 6.6, 6.7, 6.8 αντίστοιχα. Με τον τρόπο αυτό θέλαμε να εντοπίσουμε ευρύτερες και επικρατούσες δομές αφαιρώντας υψίσυχνο θόρυβο που δημιουργούν μικρές τοπικές δομές (μεταλλικά αντικείμενα, ογκόλιθοι, μικροί σωροί μπαζών κτλ). Σε όλες τις εικόνες και όλες τις κατανομές εντοπίζονται και περιγράφονται οι δεξαμενές Σ3, Σ4 και Σ5 με υλικό ποιο αγωγή από τον περιβάλλοντα χώρο.



Εικόνα 6.6: Χάρτης ηλεκτρικής αγωγιμότητας, με φίλτρο «distance weighting» κατανομές low, normal, high από πάνω προς τα κάτω για τις υποπεριοχές A,B,Γ, όπου φαίνονται οι στόχοι Σ4 και Σ5 ακόμα πιο καθαρά.

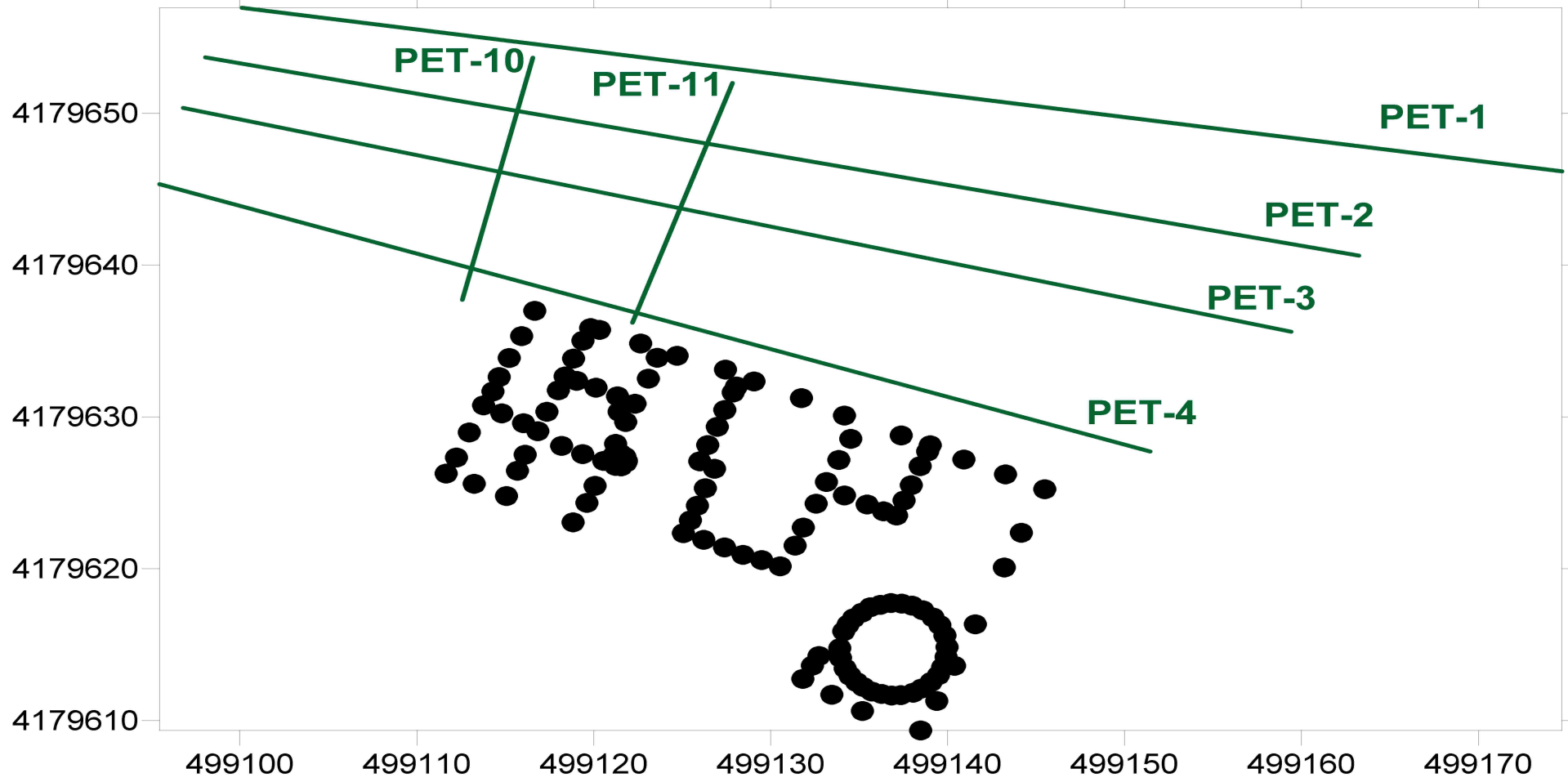


Εικόνα 6.7: Χάρτης ηλεκτρικής αγωγιμότητας, με φίλτρο «inverse distance» » κατανομές low, normal, high από πάνω προς τα κάτω για τις υποπεριοχές Α,Β,Γ, όπου εδώ φαίνονται πάλι οι στόχοι Σ1 έως Σ7 πιο καθαρά χωρίς θορύβους .

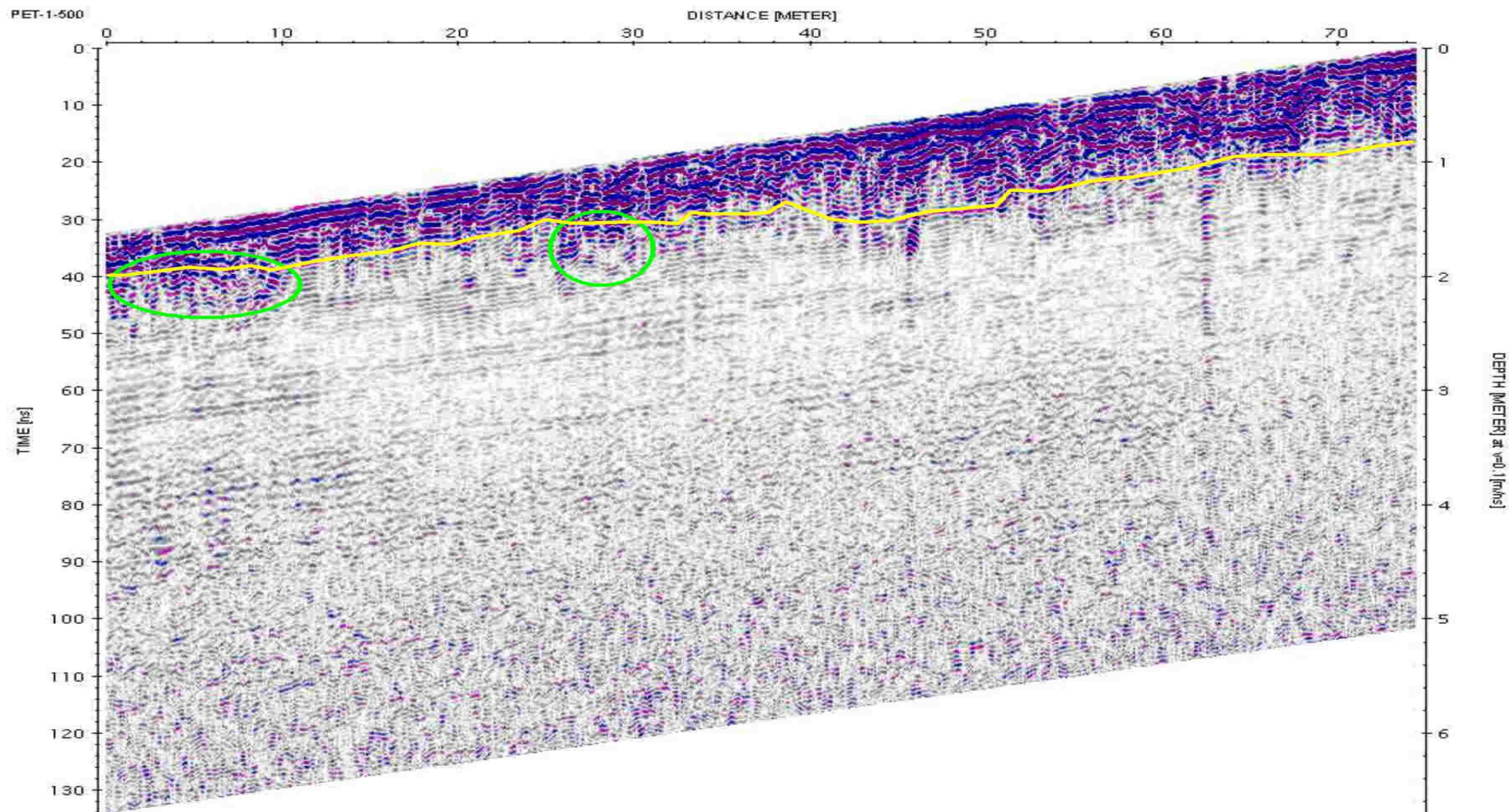


Εικόνα 6.8: Χάρτης ηλεκτρικής αγωγιμότητας, με φίλτρο «moving average» κατανομές low, normal, high από πάνω προς τα κάτω για τις υποπεριοχές A,B,Γ, όπου φαίνονται πάλι οι στόχοι Σ4, Σ5 και Σ6. Φαίνονται με κόκκινες κουκίδες τα αρχαιολογικά ευρήματα και με καφέ οι τρεις γραμμές ηλεκτρικών τομών.

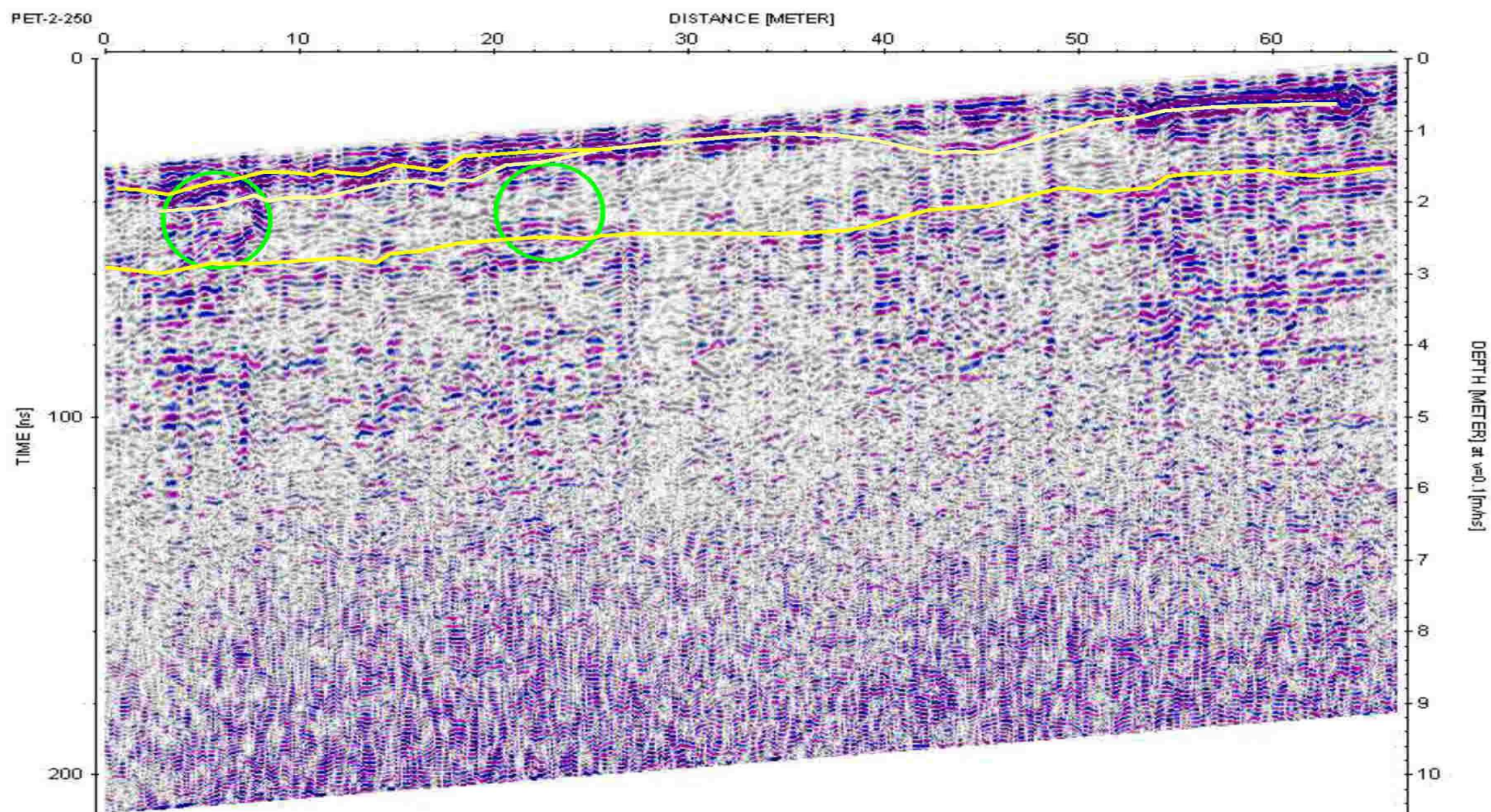
6.2. Γεωραντάρ.



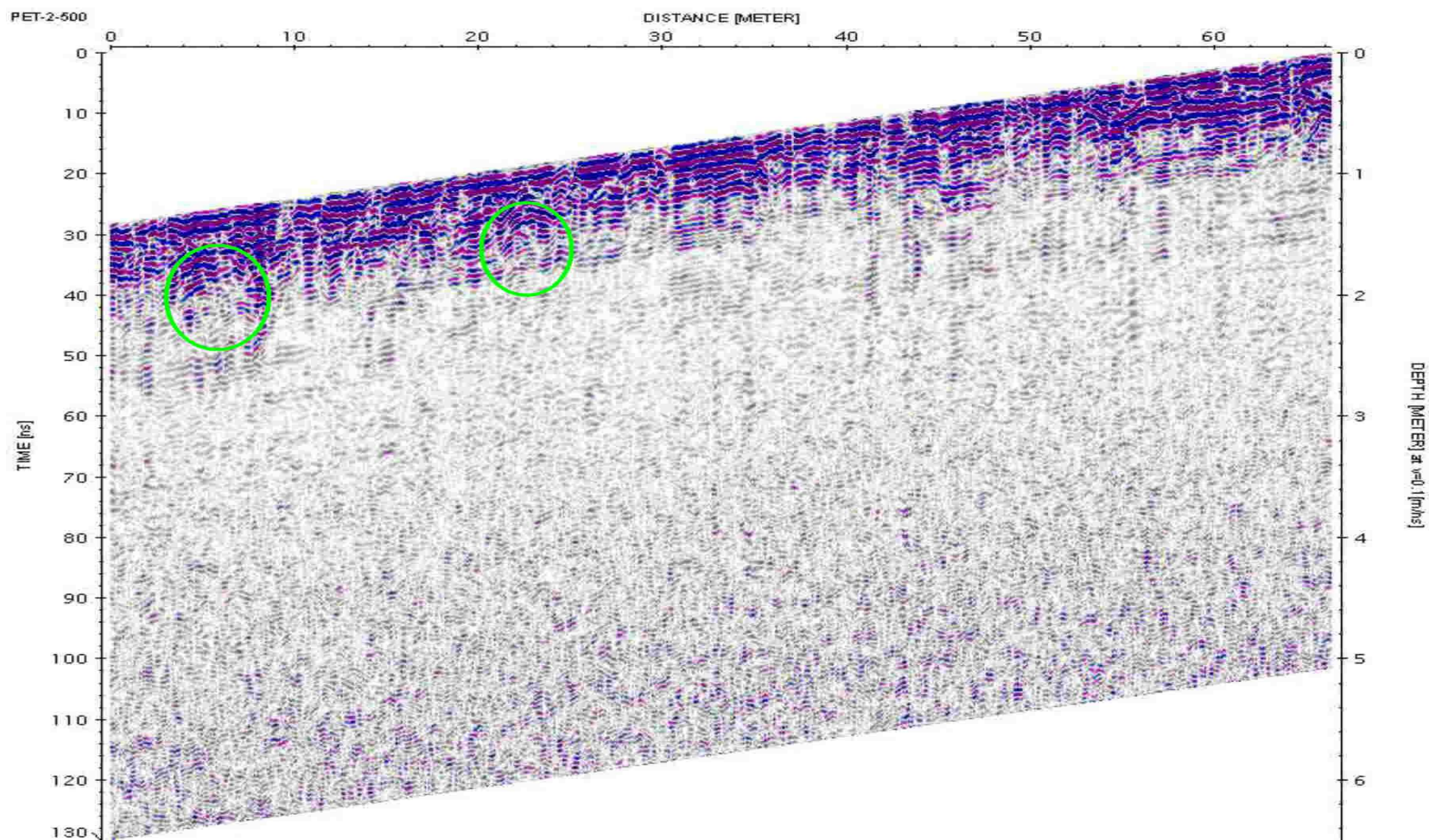
Εικόνα 6.9: Αποτύπωση τομών γεωραντάρ σε σχέση με τα ήδη αποκαλυμμένα αρχαία.



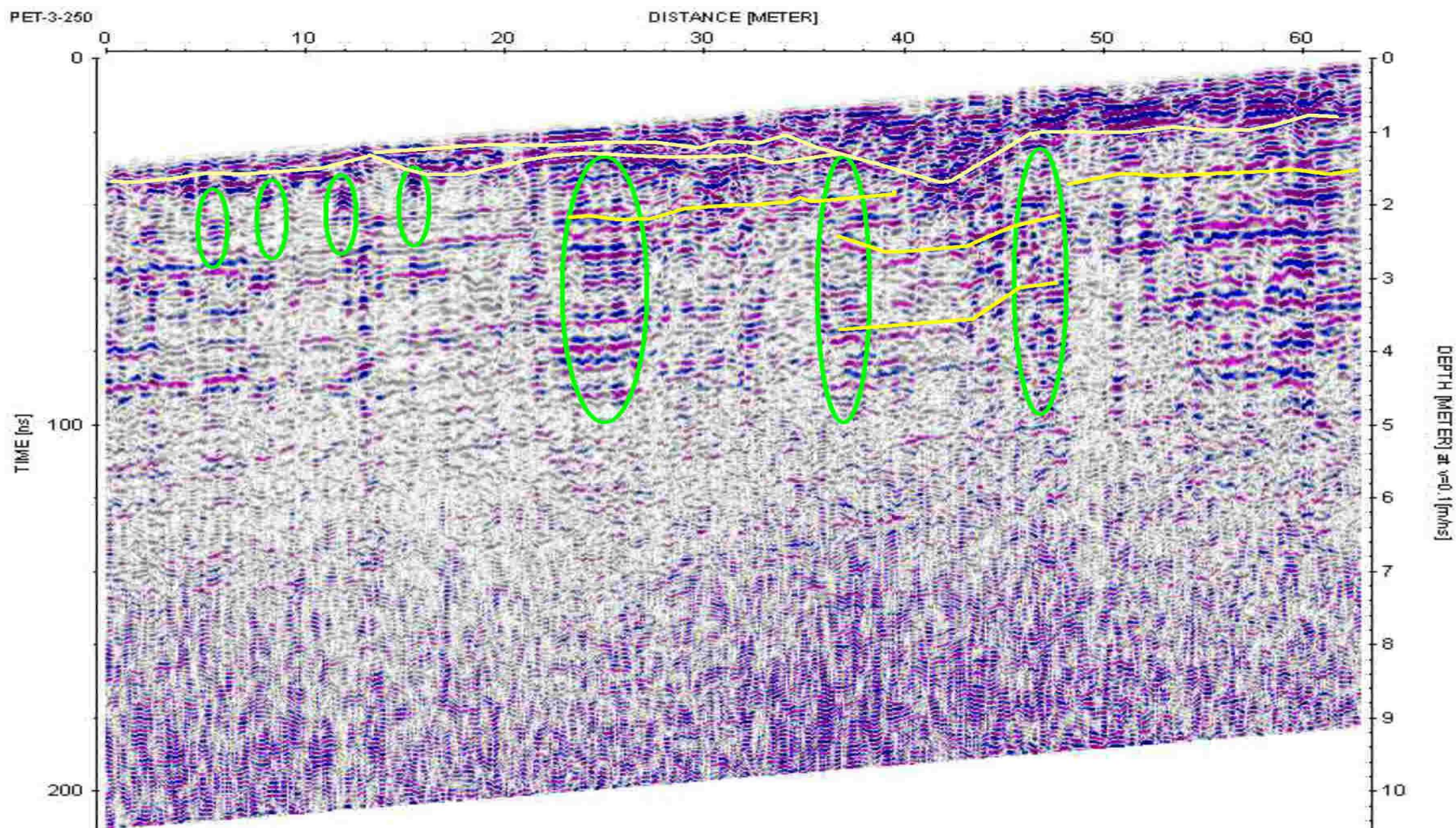
Εικόνα 6.10: Τομή γεωραντάρ PET-1-500 με κεραία συχνότητας 500MHz, κάθετη στη δεξιά πλευρά της υποπεριοχής Α. Η κίτρινη γραμμή δείχνει στρωματογραφία ενώ οι πράσινοι κύκλοι δείχνουν πολλαπλές ανακλάσεις που αντιστοιχούν σε πολιτιστικά στοιχεία και μάλλον τοιχία.



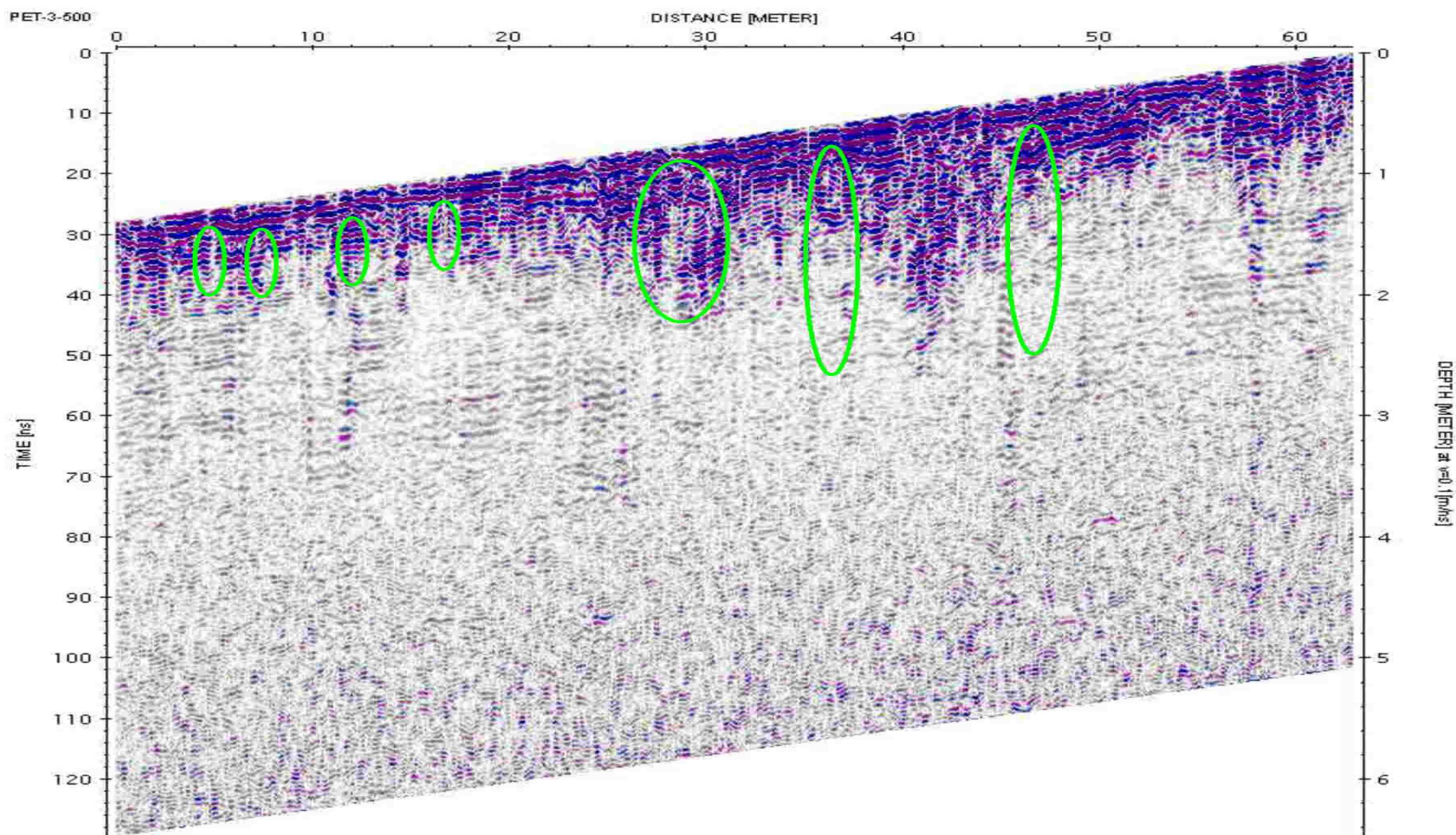
Εικόνα 6.11: Τομή γεωραντάρ PET-2-250 με κεραία συχνότητας 250MHz, κάθετη στην αριστερή πλευρά της υποπεριοχής A. Οι κίτρινες γραμμές δείχνουν στρωματογραφία ενώ οι πράσινοι κύκλοι δείχνουν πολλαπλές ανακλάσεις που αντιστοιχούν σε πολιτιστικά στοιχεία και μάλλον τοιχία.



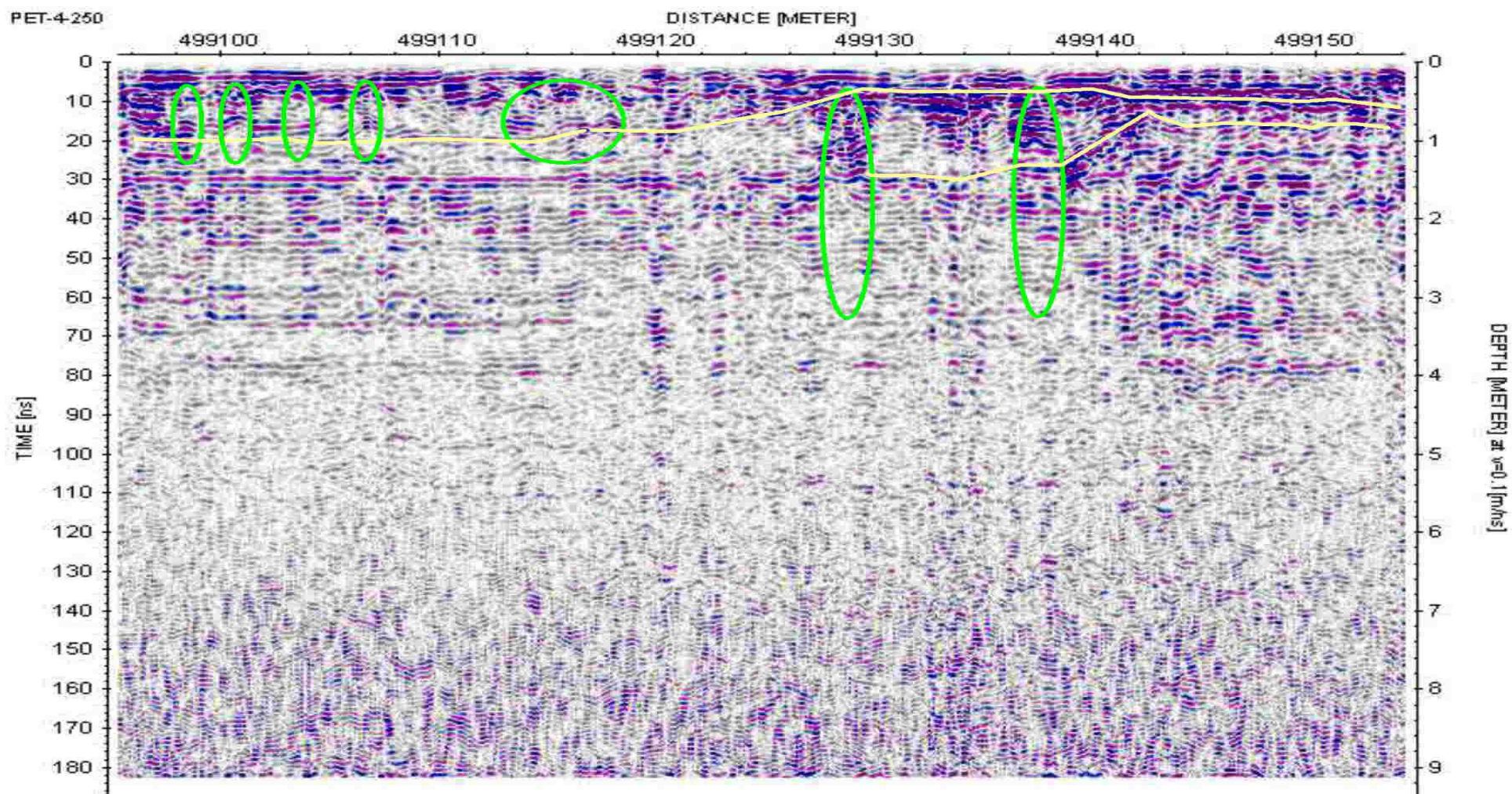
Εικόνα 6.12: Τομή γεωραντάρ PET-2-500 με κεραία συχνότητας 500MHz. Οι πράσινοι κύκλοι δείχνουν πολλαπλές ανακλάσεις.



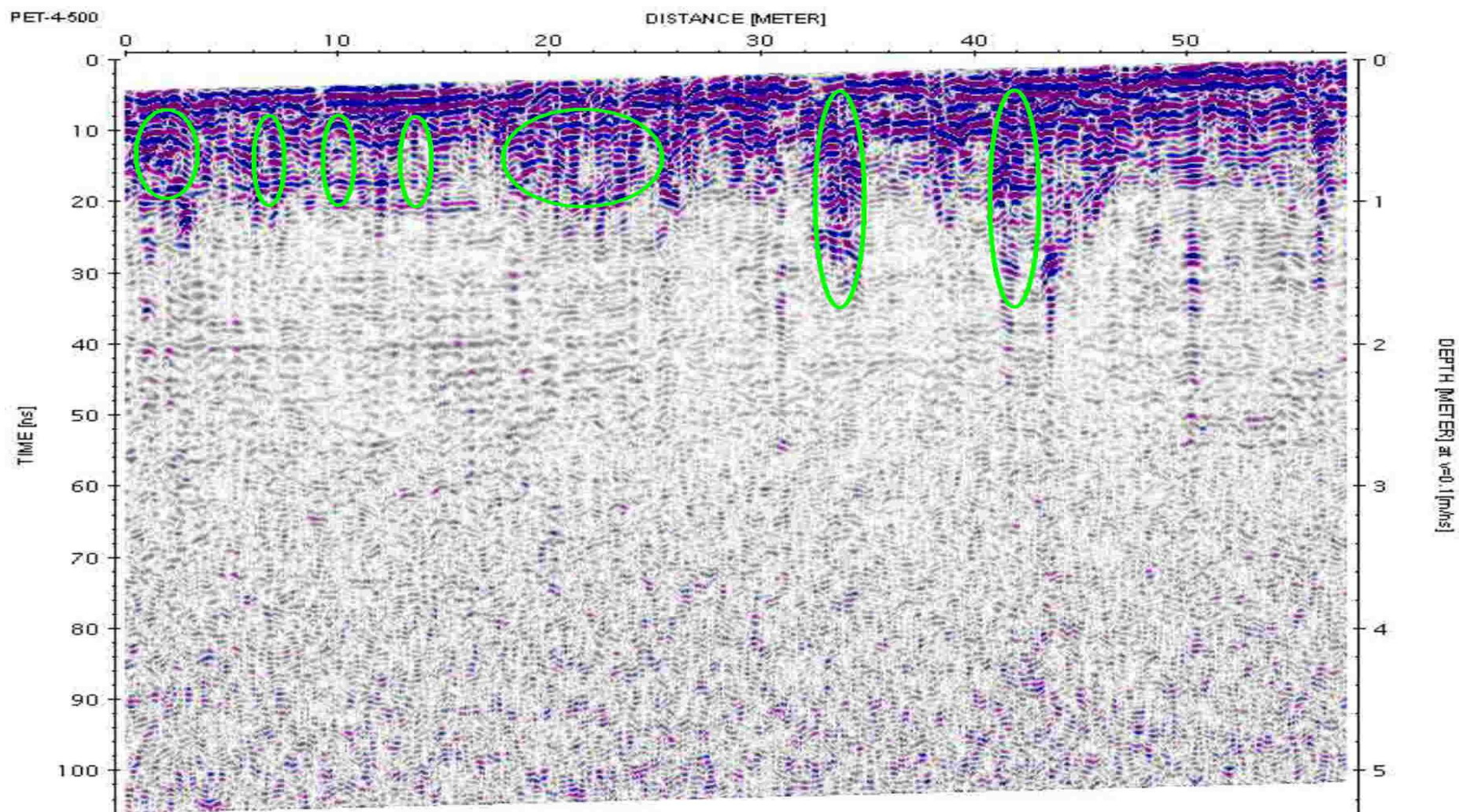
Εικόνα 6.13: Τομή γεωραντάρ PET-3-250 με κεραία συχνότητας 250MHz, οριζόντια στο κάτω μέρος της υποπεριοχής Α. Οι μικροί πράσινοι κύκλοι δείχνουν πολλαπλές ανακλάσεις που μάλλον αντιστοιχούν σε τοιχία, ο μεγάλος πράσινος κύκλος στο μέσον της εικόνας δείχνει ανακλάσεις που θα μπορούσαν να αντιστοιχούν σε πλακόστρωτο ενώ οι δύο κύκλοι στα δεξιά είναι ανακλάσεις που αντιστοιχούν στα τοιχία της δεξαμενής. Οι κίτρινες γραμμές αντιπροσωπεύουν την στρωματογραφία της περιοχής που μάλιστα φαίνεται να έχει μεταβληθεί στο χώρο της δεξαμενής.



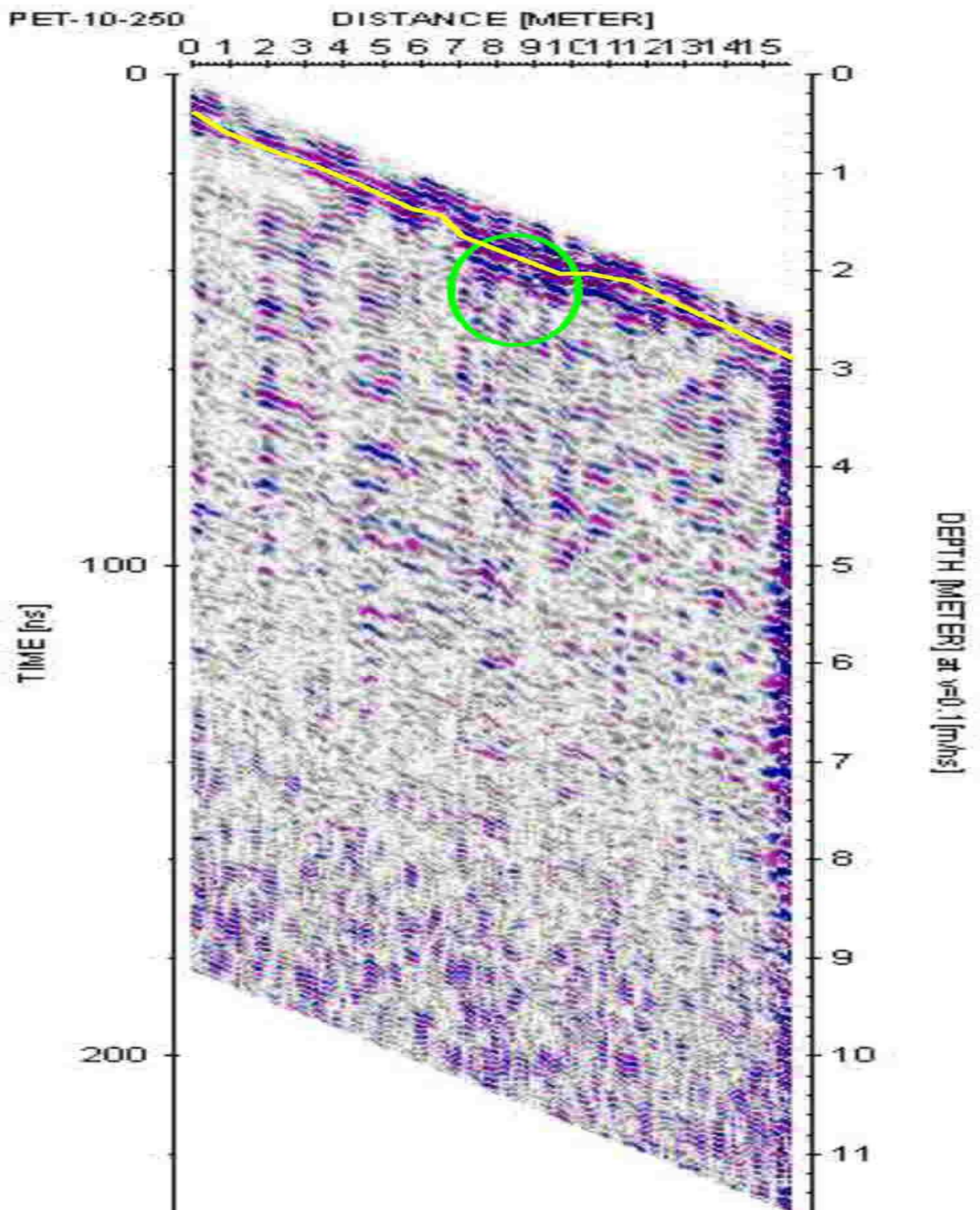
Εικόνα 6.14: Τομή γεωραντάρ PET-3-500 με κεραία συχνότητας 500MHz. Οι μικροί πράσινοι κύκλοι δείχνουν πολλαπλές ανακλάσεις που μάλλον αντιστοιχούν σε τοιχία, ο μεγάλος πράσινος κύκλος στο μέσον της εικόνας δείχνει ανακλάσεις που θα μπορούσαν να αντιστοιχούν σε πλακόστρωτο ενώ οι δύο κύκλοι στα δεξιά είναι ανακλάσεις που αντιστοιχούν στα τοιχία της δεξαμενής. Οι κίτρινες γραμμές αντιπροσωπεύουν την στρωματογραφία της περιοχής που μάλιστα φαίνεται να έχει μεταβληθεί στο χώρο της δεξαμενής.



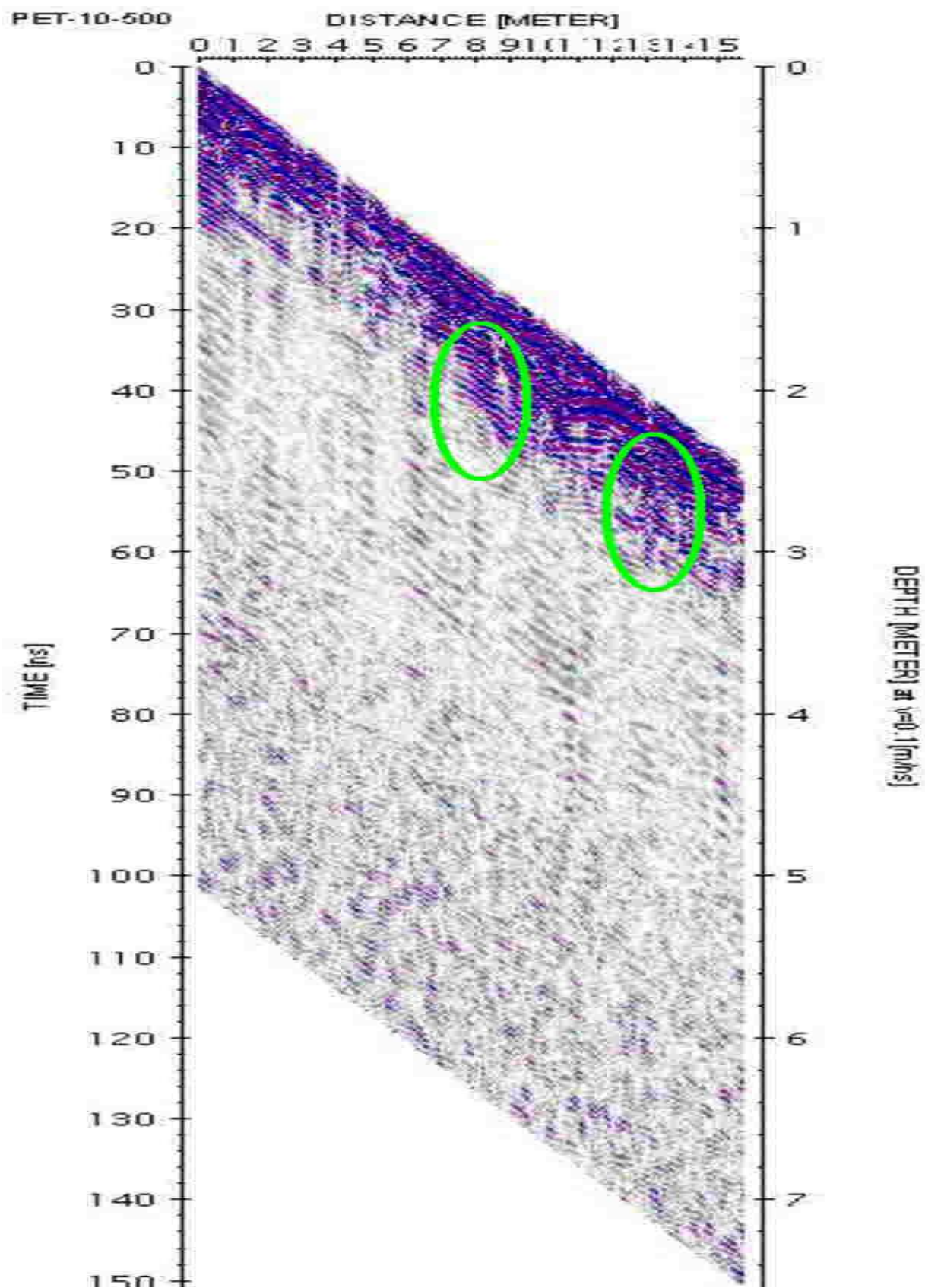
Εικόνα 6.15: Τομή γεωραντάρ PET-4-250 με κεραία συχνότητας 250MHz, οριζόντια στο κάτω μέρος της υποπεριοχής A. Οι μικροί πράσινοι κύκλοι δείχνουν πολλαπλές ανακλάσεις που πιθανά αντιστοιχούν σε τοιχία, ο μεγάλος πράσινος κύκλος στο μέσον της εικόνας δείχνει ανακλάσεις που θα μπορούσαν να αντιστοιχούν σε πλακόστρωτο ενώ οι δύο κύκλοι στα δεξιά είναι ανακλάσεις που πιθανόν αντιστοιχούν στα τοιχία της δεξαμενής. Οι κίτρινες γραμμές αντιπροσωπεύουν την στρωματογραφία της περιοχής που μάλιστα φαίνεται να έχει μεταβληθεί στο χώρο της δεξαμενής.



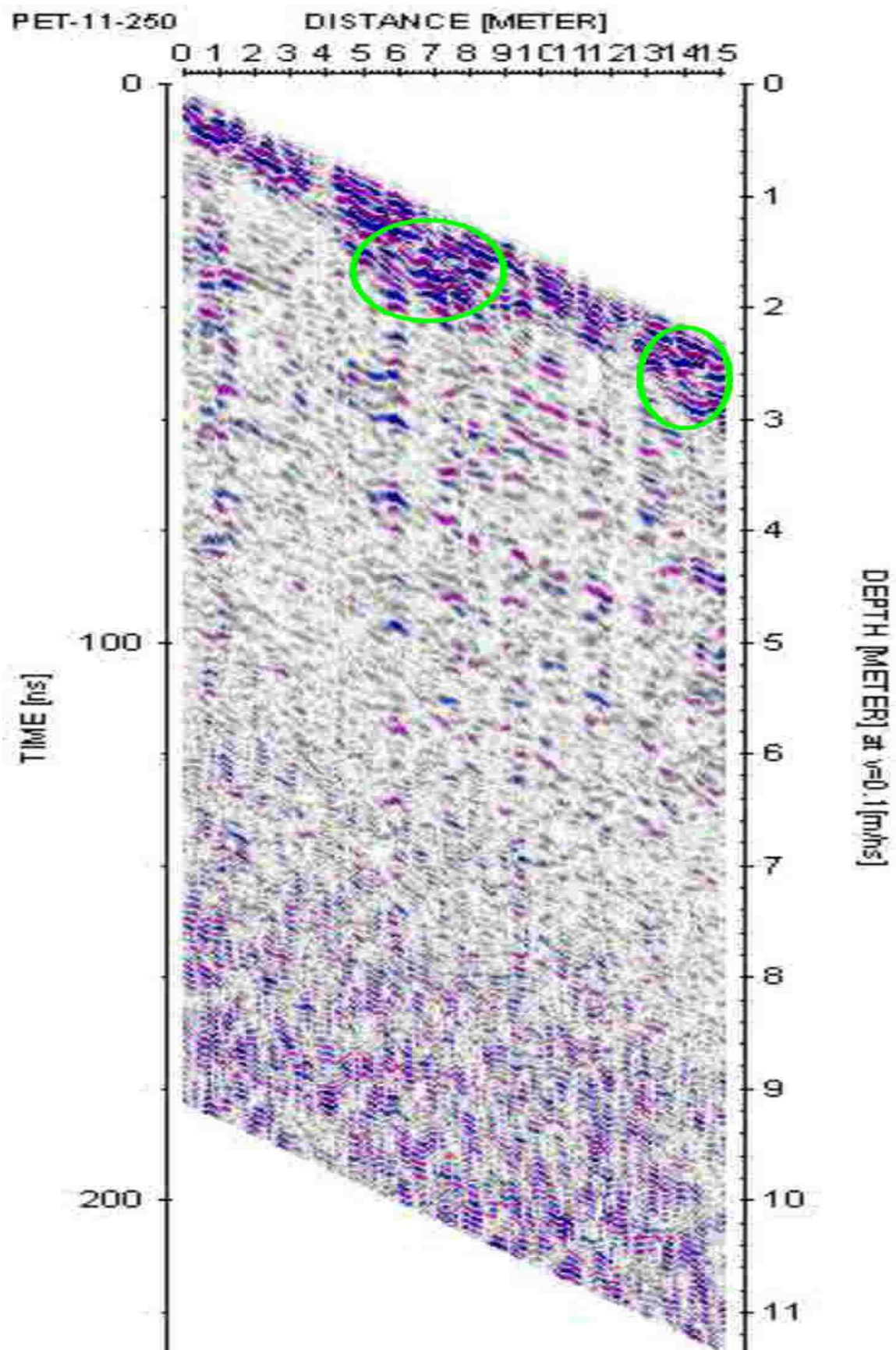
Εικόνα 6.16: Τομή γεωραντάρ PET-4-500 με κεραία συχνότητας 500MHz. Οι μικροί πράσινοι κύκλοι δείχνουν πολλαπλές ανακλάσεις που πιθανά αντιστοιχούν σε τοιχία, ο μεγάλος πράσινος κύκλος στο μέσον της εικόνας δείχνει ανακλάσεις που θα μπορούσαν να αντιστοιχούν σε πλακόστρωτο ενώ οι δύο κύκλοι στα δεξιά είναι ανακλάσεις που πιθανόν αντιστοιχούν στα τοιχία της δεξαμενής. Οι κίτρινες γραμμές αντιπροσωπεύουν την στρωματογραφία της περιοχής που μάλιστα φαίνεται να έχει μεταβληθεί στο χώρο της δεξαμενής.



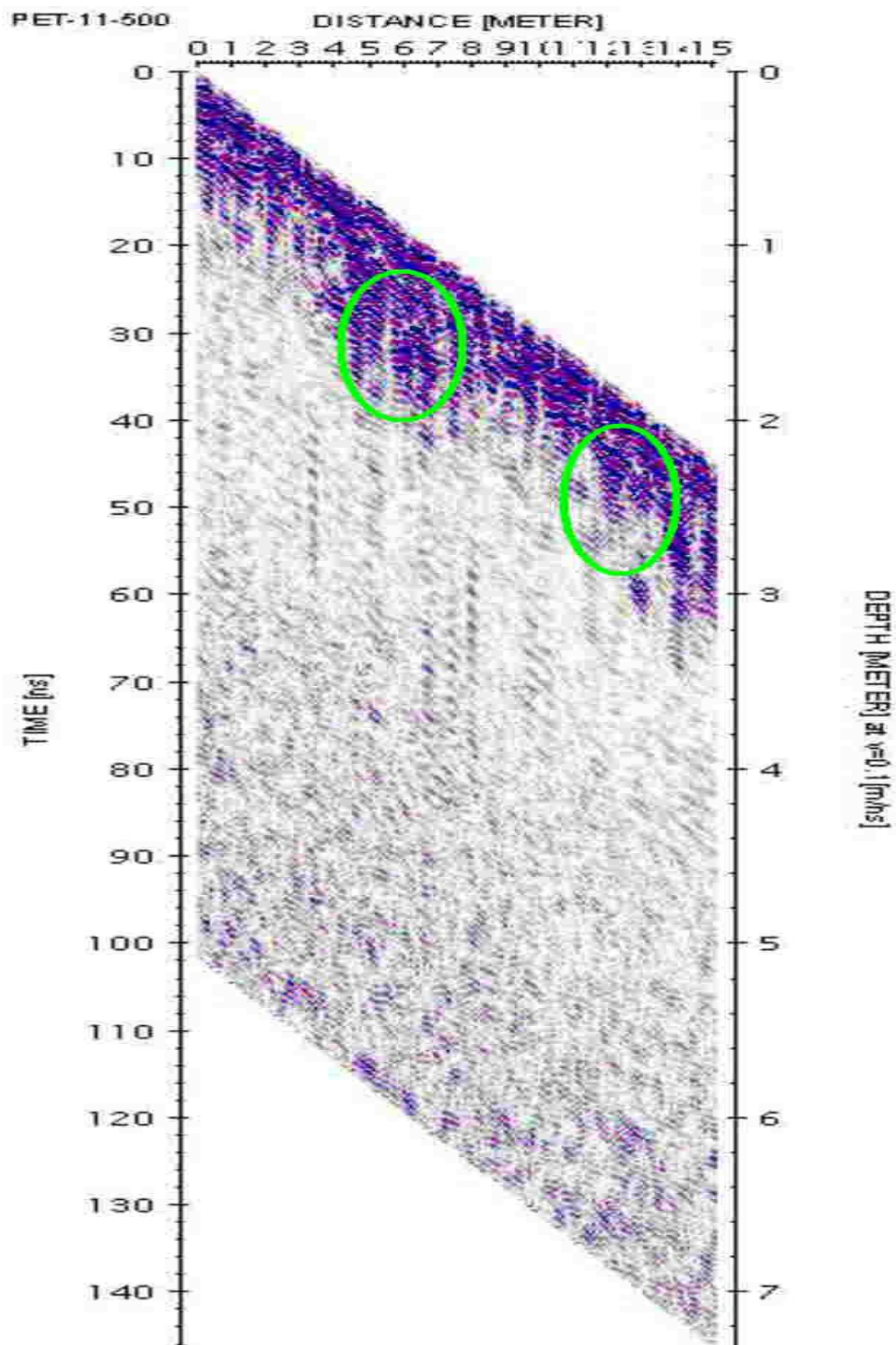
Εικόνα 6.17: Τομή γεωραντάρ PET-10-250 με κεραία συχνότητας 250MHz. Ο πράσινος κύκλος δείχνει πολλαπλές ανακλάσεις που πιθανά αντιστοιχεί σε τοιχία. Η κίτρινη γραμμή δείχνει την στρωματογραφία της περιοχής.



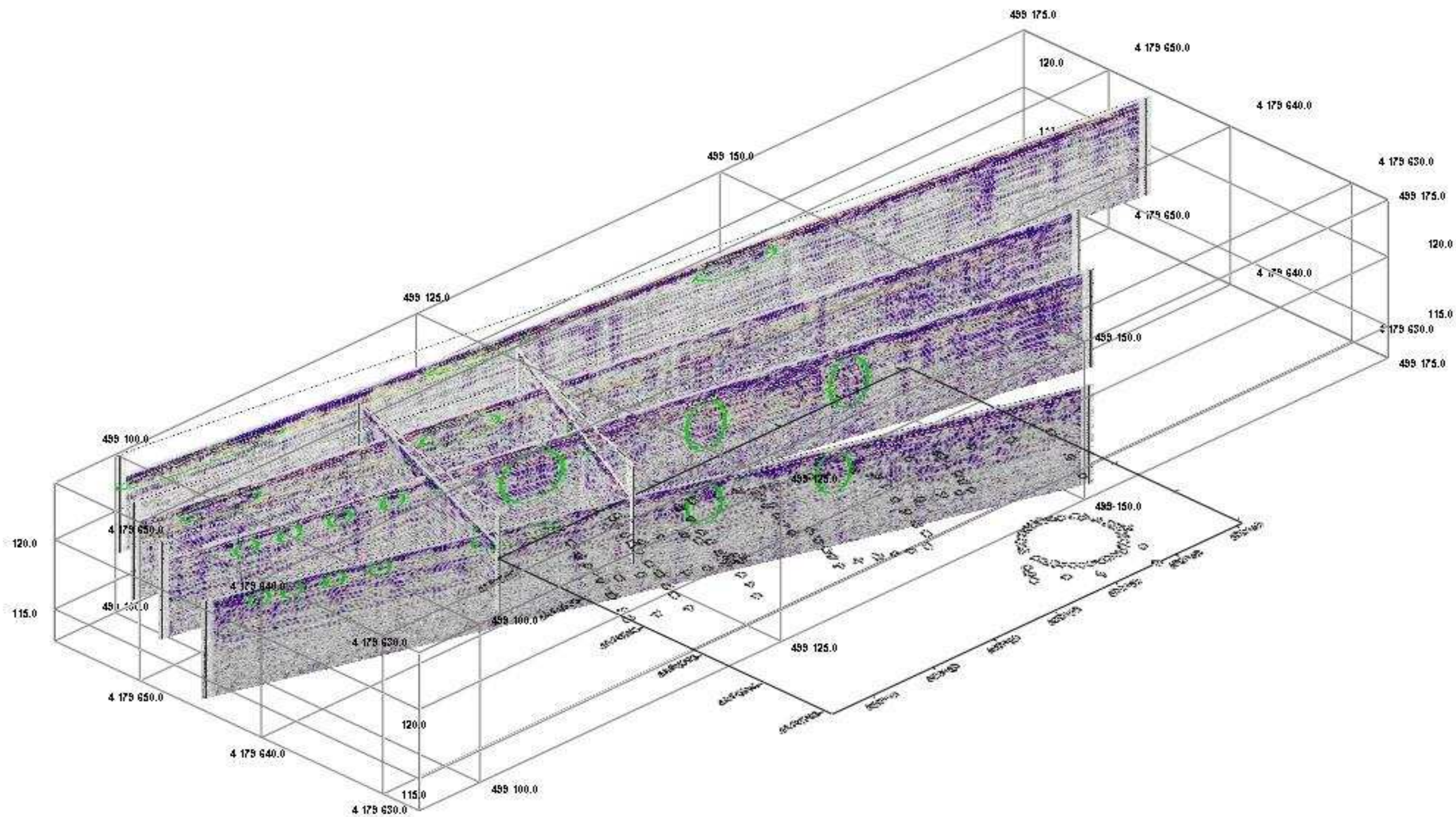
Εικόνα 6.18: Τομή γεωραντάρ PET-10-500 με κεραία συχνότητας 250MHz. Οι πράσινοι κύκλοι δείχνουν πολλαπλές ανακλάσεις που πιθανά είναι τοιχία.



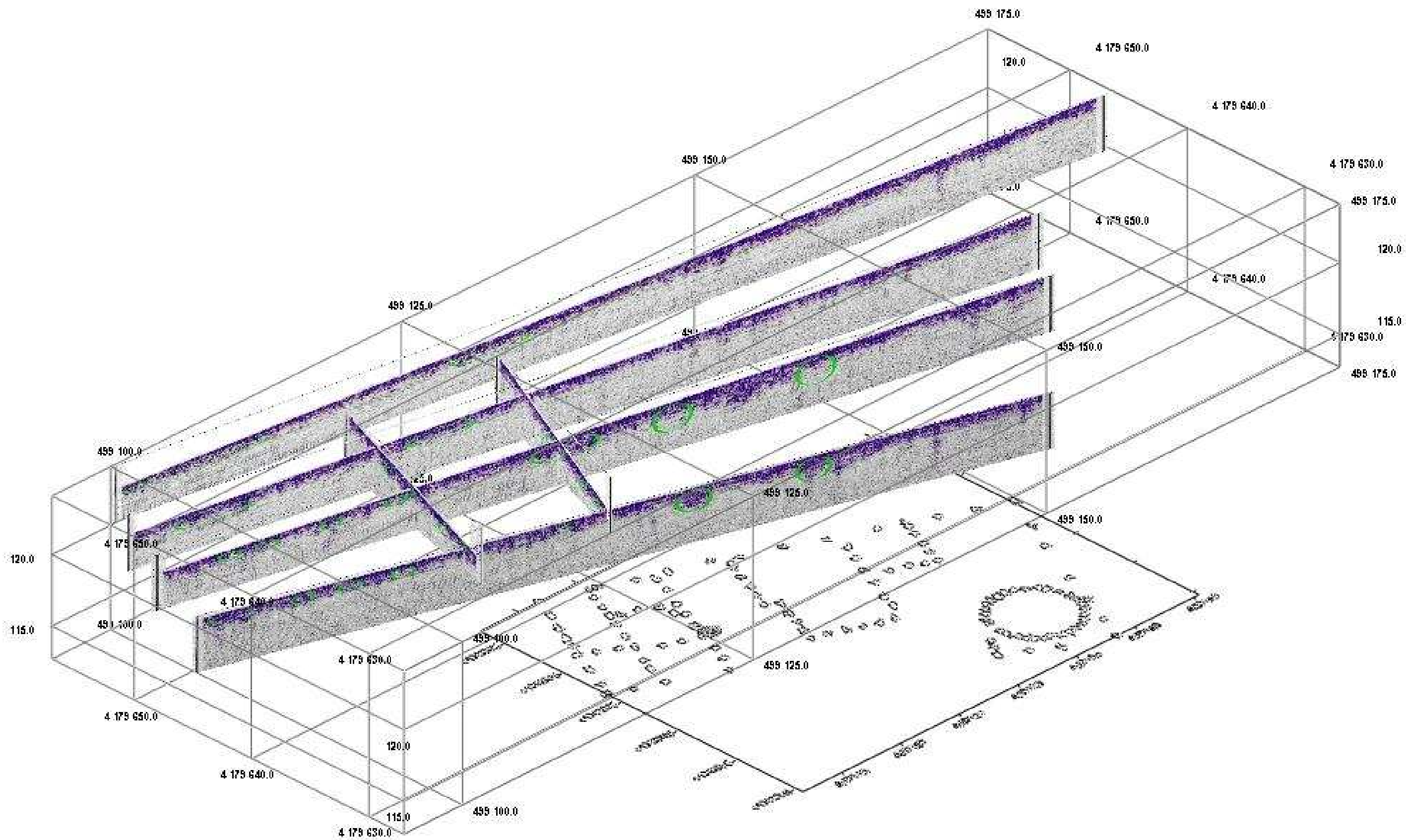
Εικόνα 6.19: Τομή γεωραντάρ PET-11-250 με κεραία συχνότητας 250MHz. Οι πράσινοι κύκλοι δείχνουν πολλαπλές ανακλάσεις που πιθανά είναι τοιχία.



Εικόνα 6.20: Τομή γεωραντάρ PET-11-250 με κεραία συχνότητας 250MHz. Οι πράσινοι κύκλοι δείχνουν πολλαπλές ανακλάσεις που πιθανά είναι τοιχία.



Εικόνα 6.21: Τρισδιάστατη απεικόνιση όλων των τομών συχνότητας 250MHz μαζί. Διακρίνεται στα αριστερά η τοιχοποιία, στο μέσον της εικόνας ένα πλακόστρωτο ενώ δεξιά τα όρια της δεξαμενής.



Εικόνα 6.22: Τρισδιάστατη απεικόνιση όλων των τομών συχνότητας 500MHz μαζί. Διακρίνεται στα αριστερά η τοιχοποιία, στο μέσον της εικόνας ένα πλακόστρωτο ενώ δεξιά τα όρια της δεξαμενής.

Συμπεράσματα:

Στην εικόνα 6.9 φαίνονται οι τομές γεωραντάρ σε σχέση με τα ήδη αποκαλυμμένα αρχαία.

Στις εικόνες 6.10 έως 6.20 φαίνονται τα ραδογράμματα (τομές γεωραντάρ), με κεραίες συχνότητας 500 ή 250 MHz. Στις τομές γεωραντάρ με κίτρινες γραμμές αποτυπώνονται ασυνέχειες μεταξύ διαφορετικών στρωμάτων ενώ με πράσινους κύκλους περιγράφονται τοπικές δομές (τοιχία κτλ.).

Στις τομές γεωραντάρ PET-1, PET 2, PET 3, PET4, (εικόνες 6.10 έως 6.16) στο αριστερό μέρος (δυτικό μέρος) οι τοπικές δομές αντιστοιχούν σε τοιχία ενώ στο κεντρικό μέρος η ευρεία τοπική δομή αντιστοιχεί στο πλακόστρωτο που εντοπίσαμε με τα ηλεκτρομαγνητικά.

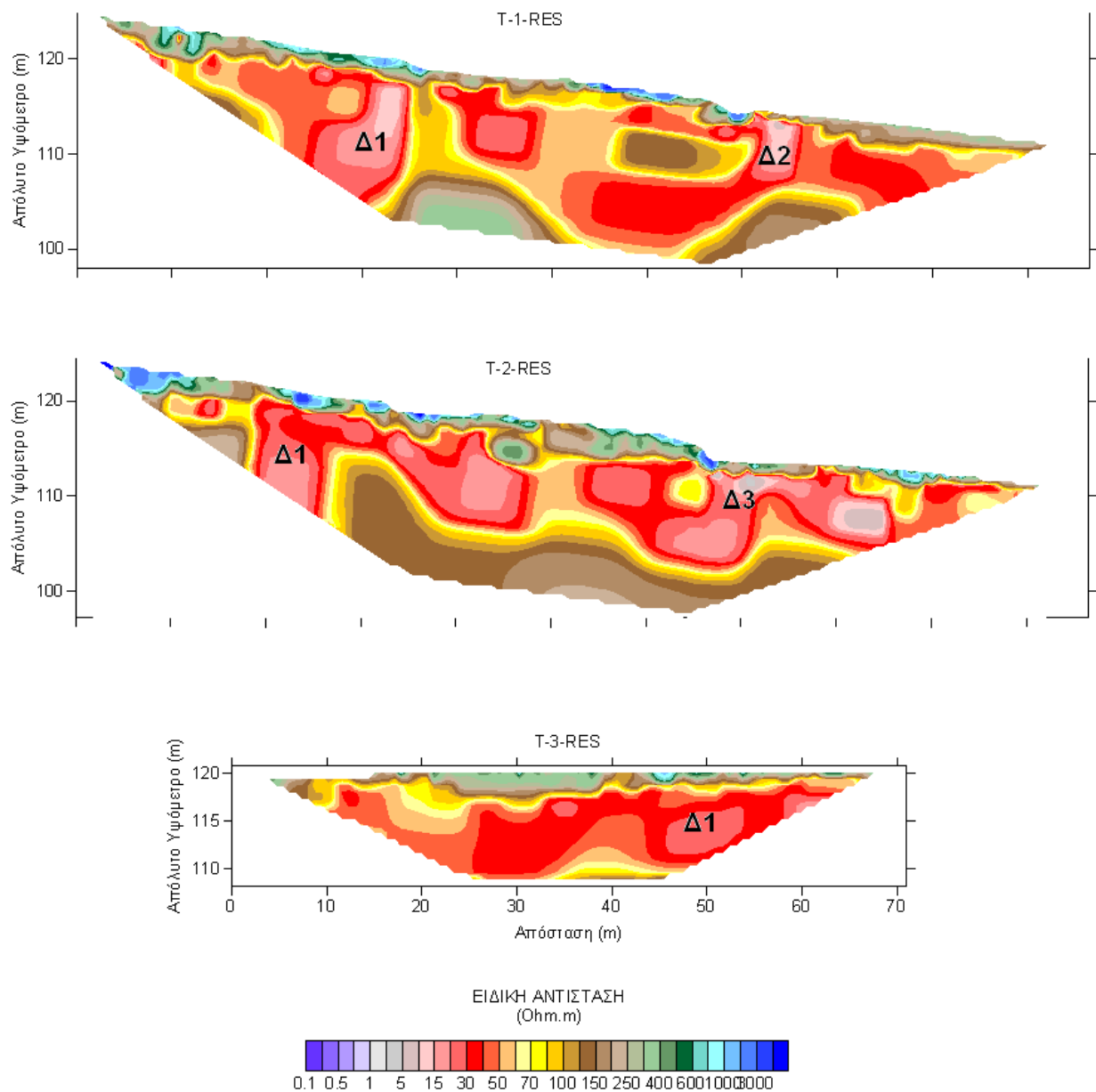
Στις τομές PET3 και PET4 (εικόνες 6.13 έως 6.16) στο δεξί μέρος τους οι δύο επιμήκης πράσινοι δακτύλιοι δείχνουν πολλαπλές ανακλάσεις που μάλλον αντιστοιχούν στα τοιχία της δεξαμενής, επάνω από τα αποκαλυμμένα αρχαία, που εντοπίστηκε και τις ηλεκτρομαγνητικές μετρήσεις. Στην περιοχή αυτή φαίνεται και η αλλαγή της στρωματογραφίας.

Τα ανωτέρω συμπεράσματα φαίνονται συγκεντρωμένα στις τριδιάστατες αποτυπώσεις των τομών γεωραντάρ στις εικόνες 6.21 και 6.22.

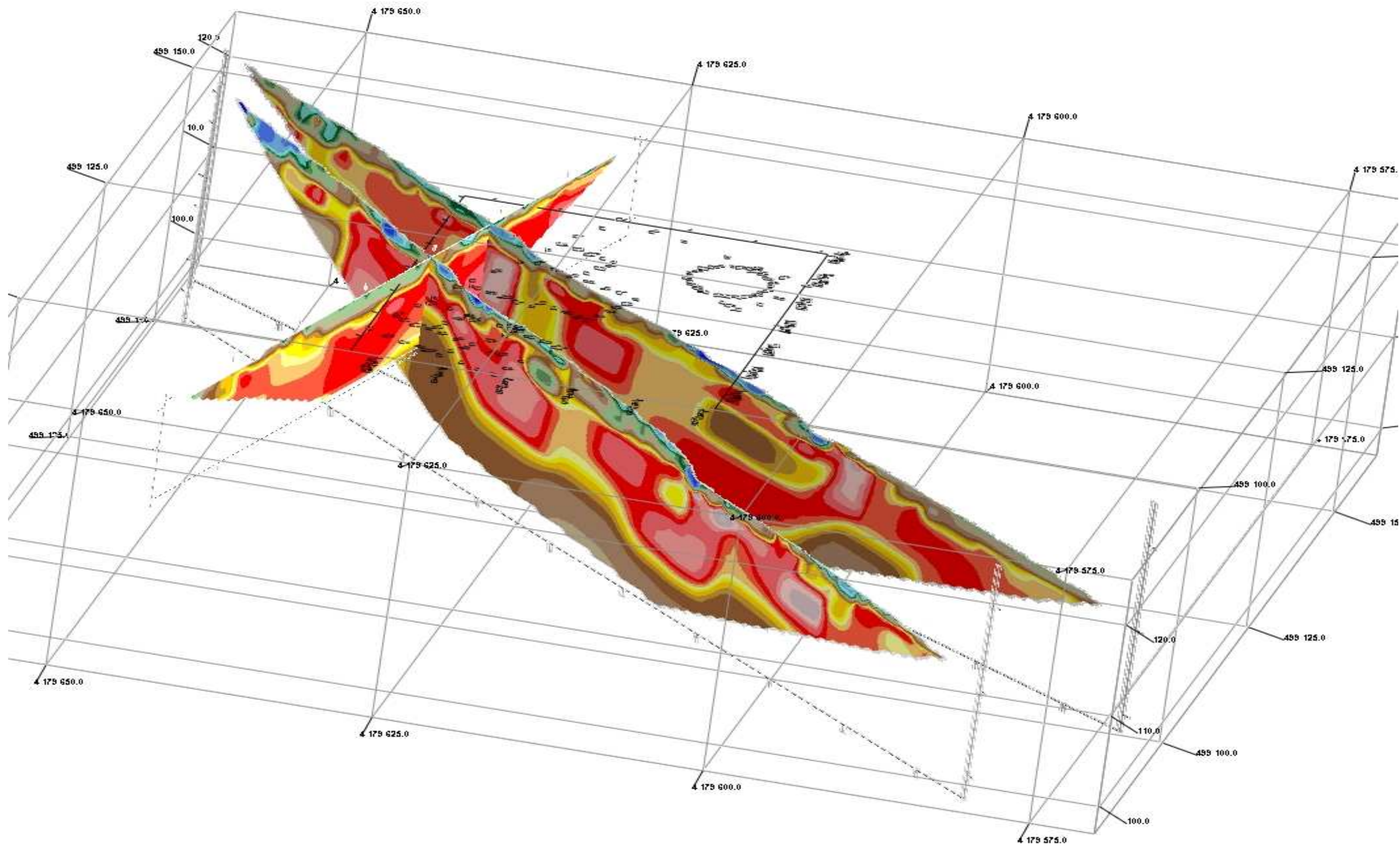


Εικόνα 6.23:Μετρήσεις γεωραντάρ.

6.3. Γεωηλεκτρική τομογραφία



Εικόνα 6.24: Διακρίνονται καθαρά στις τομογραφίες T-1-RES και T-2-RES η ύπαρξη περιοχών με πολύ μικρή αντίσταση σε σχέση με την γύρω περιοχή Δ1, Δ2 και Δ3. Αυτές οι περιοχές αντιστοιχούν θα μπορούσαν να αντιστοιχούν σε δεξαμενές. Από την ηλεκτρική τομογραφία T-3-RES φαίνεται επίσης ένας χώρος μικρής αντίστασης και όπως φαίνεται από την παρακάτω εικόνα (εικόνα 6.25) τρισδιάστατης απεικόνισης, ο χώρος αυτός βρίσκεται στη θέση που εντοπίσαμε με την πρώτη τομογραφία την δεξαμενή Δ1.



Εικόνα 6.25: Τρισδιάστατη απεικόνιση τομών ηλεκτρικής τομογραφίας. Η τομή T-3-RES είναι κάθετη με τις τομές T-1-RES και T-2-RES.

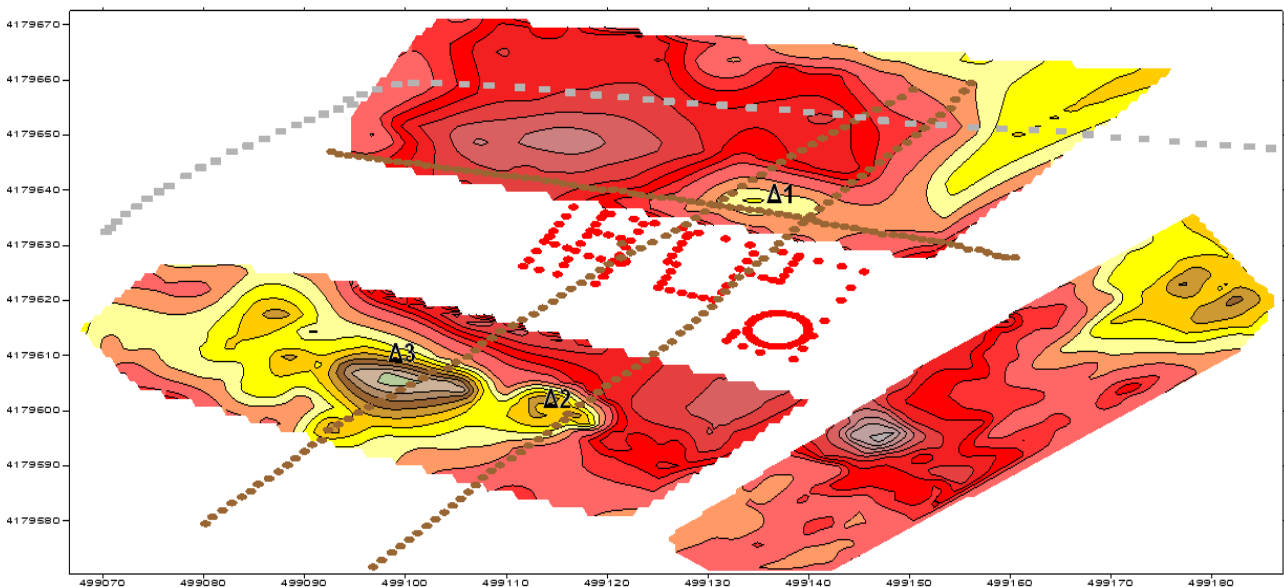
Συμπεράσματα:

Όπως φαίνεται στην εικόνα 6.26 με τον χάρτη ηλεκτρικής αγωγιμότητας κατανομή high των ηλεκτρομαγνητικών μετρήσεων έγιναν τρεις τομές γεωηλεκτρικής τομογραφίας που φαίνονται στην εικόνα 6.24.

Διακρίνονται καθαρά στις τομές γεωηλεκτρικής τομογραφίας T-1-RES και T-2-RES και T-3-RES περιοχές Δ1, Δ2 και Δ3 με πολύ μικρή ειδική αντίσταση σε σχέση με τον περιβάλλοντα χώρο που πιθανά αντιστοιχούν στους χώρους των δεξαμενών με το αγωγιμο υλικό που εντοπίσαμε και με τις ηλεκτρομαγνητικές μετρήσεις.

Όσον αφορά την στρωματογραφία στις γεωηλεκτρικές τομές παρατηρούμε ένα στρώμα υψηλών επιφανειακών αντιστάσεων που αντιστοιχεί σε ανθρωπογενείς αποθέσεις (μπάζα, αρχαία στοιχεία, κλπ.) που επικάθεται σε στρώμα χαμηλότερων ειδικών αντιστάσεων σχετιζόμενο με τον φυλλίτη ή τον αποσαθρωμένο μανδύα. Σε απόλυτο υψόμετρο 110 μέτρων και βαθύτερα παρατηρείται στρώμα υψηλότερων ειδικών αντιστάσεων που σχετίζεται με ποιο συνεκτικό ή αδρομερή σχηματισμό.

Τα ανωτέρω συμπεράσματα φαίνονται και στην τριδιάστατη αποτύπωση των γεωηλεκτρικών τομών σε σχέση με τα υπάρχοντα αποκαλυμμένα αρχαία στοιχεία (Εικόνα 6.25).



Εικόνα 6.26: Χάρτης ηλεκτρικής αγωγιμότητας κατανομή high.



Εικόνα 6.27: Αποτύπωση αρχαιολογικού χώρου με διαφορικό GPS και μετρήσεις ηλεκτρικής αντίστασης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Συμπεράσματα

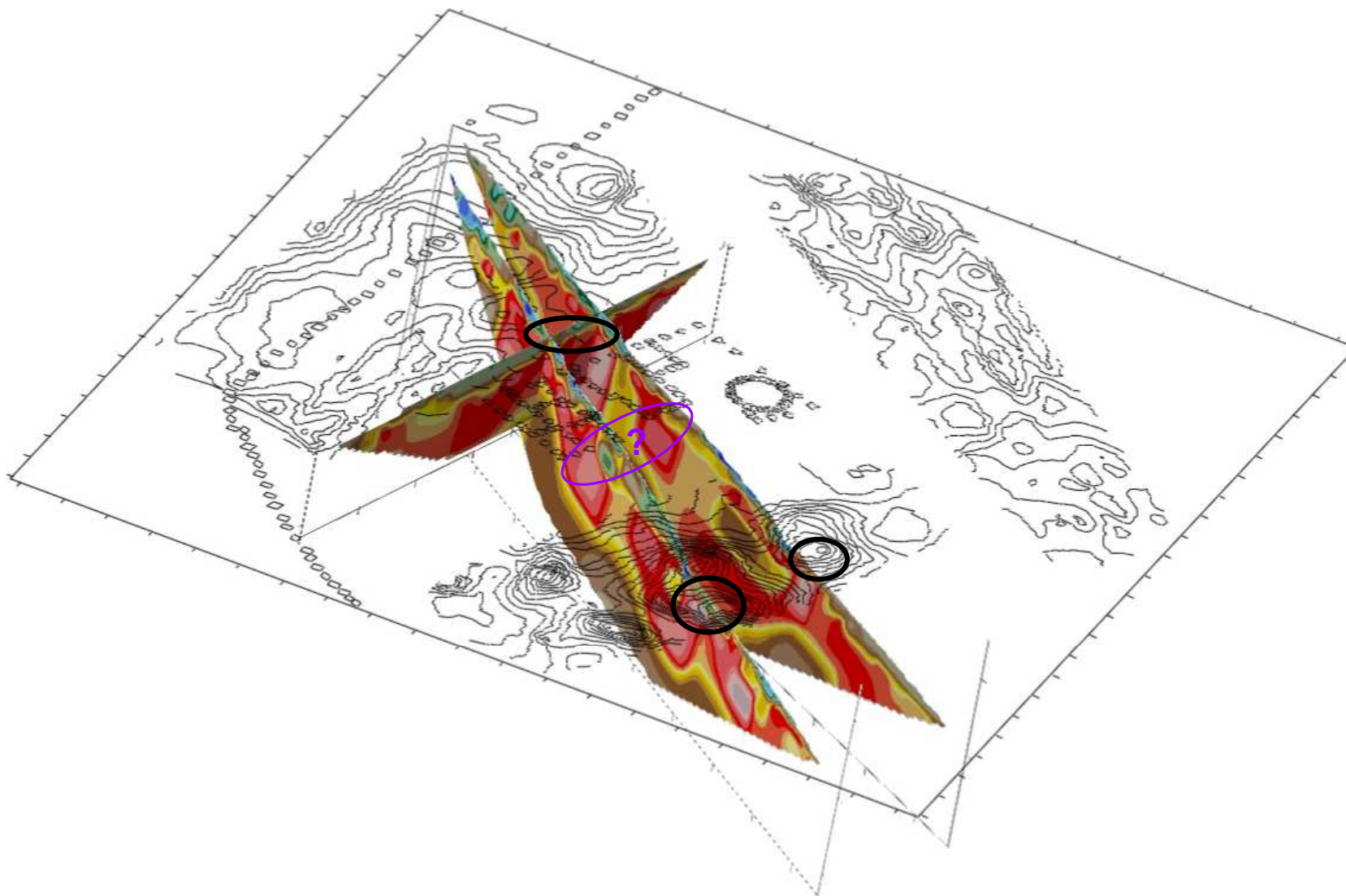
7. Συμπεράσματα

Από την εφαρμογή των τριών γεωφυσικών μεθόδων και την επεξεργασία των αποτελεσμάτων τους προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- ✓ Κάθε μια από τις γεωφυσικές μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή την έρευνα, δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα στην προσπάθεια εντοπισμού αρχαιοτήτων.
- ✓ Η γεωηλεκτρική τομογραφία αποδείχτηκε πως είναι χρήσιμη στις αρχαιολογικές έρευνες επειδή τα στοιχεία προς μελέτη παρουσιάζουν τοπικές διαφορές με την φυσική στρώση του εδάφους. Αυτές οι διαφοροποιήσεις ως προς το έδαφος σχετίζονται με μια τοπική αντίθεση στην ηλεκτρική αντίσταση. Ένας τοίχος φτιαγμένος από πέτρα ή τούβλο, για παράδειγμα, έχει συνήθως μεγαλύτερη αντίσταση από την γύρο περιοχή. Έτσι με την γεωηλεκτρική τομογραφία μπορέσαμε να εντοπίσουμε τις δεξαμενές από το κυρίως το αγώγιμο υλικό που βρίσκεται μέσα σ' αυτές. Επίσης το μεγάλης ειδικής αντίστασης επιφανειακό στρώμα σχετίζεται με μπάζα ή θαμμένα τοιχεία κυρίως εκεί που φαίνονται κάποιες πεπερασμένες δομές πολύ υψηλής ειδικής αντίστασης.
- ✓ Με τις ηλεκτρομαγνητικές μεθόδους, ηλεκτρική αγωγιμότητα και in-phase συνιστώσα (μαγνητική επιδεκτικότητα), μπορέσαμε να εντοπίσουμε τοιχεία τα οποία σε σχέση με τους εδαφικούς σχηματισμούς είναι μη αγώγιμα και μη μαγνητικά επιδεκτικά. Επίσης, εντοπίσαμε υλικό , μέχρι τα έξι μέτρα, που σε σχέση με τον περιβάλλοντα χώρο είναι αγώγιμο και πιστεύουμε ότι αυτός είναι ο χώρος των δεξαμενών. Είναι λογικό το υλικό μέσα στις δεξαμενές να είναι πιο μαγνητικό είτε λόγω της υγρασίας που περιέχετε μέσα στη δεξαμενή, είτε λόγω της φύσης του υλικού που επεξεργαζόταν εκεί.
- ✓ Αναλυτικότερα για τις ηλεκτρομαγνητικές μεθόδους, οι αρχικοί χάρτες ηλεκτρικής αγωγιμότητας μας δίνουν πολύ καλά αποτελέσματα για την ακριβή θέση των τοιχείων και των δεξαμενών. Οι χάρτες "in phase" τιμών δείχνουν επίσης ικανοποιητικά την θέση των τοιχείων. Από τους χάρτες των φίλτρων «Distance weighting», "Inverse Distance", "Moving Average" δεν εξάγουμε κάποιο νέο συμπέρασμα, απλά διαπιστώνεται ποιος είναι ο ευρύτερος χώρος ενδιαφέροντος.
- ✓ Κατά την εφαρμογή των παραγώγων διευθύνσεων στους χάρτες ηλεκτρικής αγωγιμότητας, υπάρχει ο κίνδυνος να δημιουργηθούν ανωμαλίες οι οποίες στην πραγματικότητα δεν υπάρχουν και έτσι να εξαχθούν εσφαλμένα αποτελέσματα. Ωστόσο

στη συγκεκριμένη έρευνα εξήχθησαν πολύ καλά και χρήσιμα συμπεράσματα από συνδυασμένους χάρτες παραγώγων 60 και -30 μοιρών μαζί.

- ✓ Με τη μέθοδο του γεωραντάρ που στηρίζεται στη μετάδοση της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας στο έδαφος, τη μέτρηση του ποσού ενέργειας που ανακλάται πίσω και του χρόνου που παίρνει για να φθάσει στην επιφάνεια, ανιχνεύσαμε ανακλάσεις που πιθανά αντιστοιχούν σε τοιχία τα οποία πιθανά είναι από δωμάτια που κατοικούσαν οι εργάτες, ή μέρος των επεξεργαστικών μονάδων του μεταλλεύματος.
- ✓ Τα αποτελέσματα των τριών μεθόδων είναι σε σημαντική συμφωνία μεταξύ τους όσον αφορά την ύπαρξη και την θέση των τοιχίων και των δεξαμενών. Όσον αφορά τις δεξαμενές εντοπίζονται κυρίως από την σύγκριση των αποτελεσμάτων της γεωηλεκτρικής τομογραφίας και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (εικόνα 7.1), ενώ τα τοιχία από την σύγκριση των αποτελεσμάτων της μαγνητικής επιδεκτικότητας, ηλεκτρικής αγωγιμότητας και γεωραντάρ (στην εικόνα 7.1 η περιοχή των τοιχίων στην γεωηλεκτρική τομή που τα διαπερνάει φαίνεται μία υψηλής ειδικής αντίστασης επιφανειακή δομή που έχουμε ορίσει ως ανθρωπογενείς αποθέσεις).
- ✓ Θεωρούμε ότι οι γεωφυσικές μέθοδοι μπόρεσαν να απαντήσουν στο κύριο ερώτημα, που βρίσκονται οι δεξαμενές που βοηθούν στην επεξεργασία του μεταλλεύματος και κάποια τοιχία που βρίσκονται κυρίως γύρω από τις δεξαμενές.
- ✓ Τέλος, θεωρούμε ότι ο τρόπος ροής των γεωφυσικών μετρήσεων που ακολουθήσαμε στην περιοχή είναι ο ενδεδειγμένος, ώστε να καλύψουμε γρήγορα και αποτελεσματικά την περιοχή. Με την ηλεκτρομαγνητική μέθοδο εντοπίσαμε τα τοιχία και την πιθανή ύπαρξη δεξαμενών, με το γεωραντάρ επιβεβαιώσαμε την ύπαρξη των τοιχίων και τέλος με την γεωηλεκτρική τομογραφία, που μπορεί να αποτυπώσει με μεγάλη ακρίβεια δομές και στρωματογραφία, σαρώσαμε την περιοχή υψίστου ενδιαφέροντος.



Εικόνα 7.1:Χάρτης με την κατανομή ηλεκτρικής αγωγιμότητας (Low)σε ισοκαμπύλες, τις γεωηλεκτρικές τομές και τα αποκαλυφθέντα αρχαία. Στους μαύρους κύκλους έχουμε εντοπίσει τις δεξαμενές κάτω το οποίο φαίνεται και από τους χάρτες ηλεκτρικής αγωγιμότητας και τις γεωηλεκτρικές τομές. Με μωβ κύκλο περιγράφεται μία άγνωστη πεπερασμένη μεγάλη δομή χαμηλής ειδικής αντίστασης που εντοπίζεται και στις δύο γεωηλεκτρικές τομές.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Bevan, B. W. 1998 "Geophysical Exploration for Archaeology: An Introduction to Geophysical Exploration. Midwest Archaeological Center Report No. 1. U.S. Department of the Interior, National Park Service, Midwest Archaeological Center, Lincoln, Nebraska."
2. Burger, H. R., A. F. Sheehan and C. H. Jones 2006 "Introduction to Applied Geophysics: Exploring the Shallow Subsurface. W. W. Norton & Company, New York."
3. Clark, A. 1996 "Seeing Beneath the Soil: Prospection Methods in Archaeology. Routledge, London."
4. Clay, R. B. 2006 "Conductivity survey: a survival manual. In Remote Sensing in Archaeology: An Explicitly North American Perspective, edited by J. K. Johnson. University of Alabama Press, Tuscaloosa."
5. Conyers, L. B. 2004 "Ground-penetrating Radar for Archaeology. AltaMira Press, Walnut Creek, California."
6. Conyers, L. B. 2006a "Ground-penetrating radar. In Remote Sensing in Archaeology: An Explicitly North American Perspective, edited by J. K. Johnson, pp. 131-160. University of Alabama Press, Tuscaloosa."
7. Conyers, L. B. and D. Goodman 1997 "Ground-Penetrating Radar: An Introduction for Archaeologists. AltaMira Press, Walnut Creek, California."
8. Casana, J., J. T. Herrmann and A. Fogel 2008 "Deep Subsurface Geophysical Prospection at Tell Qarqur, Syria. Archaeological Prospection 15:207-225."
9. Dalan, R. A. 2006 "Magnetic Susceptibility. In Remote Sensing in Archaeology: An Explicitly North American Perspective, edited by J. K. Johnson, pp. 161-203. University of Alabama Press, Tuscaloosa."
10. Eileen G. Ernenwein., Michael L. Hargrave 2009 "Archaeological Geophysics for DoD Field Use: A Guide for New and Novice Users"

11. Ernenwein, E. G. 2008 "A Geophysical View of Pueblo Escondido: Implications for the Pithouse to Pueblo Transition in the Jornada Mogollon. *Bulletin of the Texas Archeological Society* 79:125-145."
12. Gaffney, C. and J. Gater 2003 "Revealing the Buried Past, Geophysics for Archaeologists. Tempus Publishing, Ltd., Gloucestershire."
13. Hargrave, M. L., L. E. Somers, T. K. Larson, R. Shields and J. Dendy 2002 "The role of resistivity survey in historic site assessment and management: an example from Fort Riley, Kansas. *Historical Archaeology* 36(4):89-101."
14. Heckman, E. 2005 "Geophysical methodologies and test site for battlefield archaeology. Unpublished Master's thesis, University of Arkansas."
15. Kvamme, K. L. 2001 "Current Practices in Archaeogeophysics: Magnetism, Resistivity, Conductivity, and Ground Penetrating Radar. In *Earth Sciences and Archaeology*, edited by P. Goldberg, V. T. Holliday and C. R. Ferring, pp. 353-384. Kluwer Academic / Plenum Publishers, New York."
16. Leckebusch, J. 2003 "Ground-penetrating radar: a modern three-dimensional prospection method. *Archaeological Prospection* 10:213-240."
17. McNeill, J. D. 1996 "Why doesn't Geonics Limited build a multi-frequency EM31 or EM38 Technical Note TN-30. Geonics, Ltd., Mississauga, Ontario."
18. Mussett, A., E. and M. A. Khan 2000 "Looking Into the Earth: An Introduction to Geological Geophysics. Cambridge University Press, Cambridge."
19. Παυλόπουλος Κοσμάς 1997 «Γεωμορφολογική εξέλιξη της νότιας Αττικής» Γαία No 2 σελ. 197, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο
20. Somers, L. E., M. L. Hargrave and contributions from Janet E. Simms 2003 "Geophysical Surveys in Archaeology: Guidance for Surveyors and Sponsors SR- 03-21. Construction Engineering Research Laboratory ERDC/CERL."
21. Τσαΐμου Κ.Γ. Αθήνα 1991 "Αρχαιογνωσία των μετάλλων: Τεχνολογία των μετάλλων κατά την αρχαιότητα."

22. van Dam, R. I. and W. Schlager 2000 "Identifying causes of ground-penetrating radar reflections using time-domain reflectometry and sedimentological analysis. *Sedimentology* 47:435-449."
23. Witten, A. J. 2006 "Handbook of Geophysics and Archaeology. Equinox Publishing, London."
24. Won, J. J., D. A. Keiswetter, G. R. A. Fields and L. C. Sutton 1996 "Gem-2: a new multi-frequency electromagnetic sensor. *Journal of Environmental Geophysics* 1:129-137."