ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ARISTOTLE
UNIVERSITY OF THESSALONIKI

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ
541 24, ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

FACULTY OF SCIENCES
SCHOOL OF GEOLOGY
DEPT. OF GEOPHYSICS
LABORATORY OF EXPLORATION GEOPHYSICS
GR 541 24, THESSALONIKI, GREECE

ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗ ΣΤΟ ΘΕΑΤΡΟ ΤΗΣ ΑΡΧΑΙΑΣ ΑΣΚΡΗΣ

Θεσσαλονίκη, Δεκέμβριος 2012

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗ ΣΤΟ ΘΕΑΤΡΟ ΤΗΣ ΑΡΧΑΙΑΣ ΑΣΚΡΗΣ

Ερευνητική Ομάδα

Τσόκας Γρηγόριος, Καθηγητής ΑΠΘ (Επιστημονικά Υπεύθυνος)
Τσούρλος Παναγιώτης, Αν. Καθηγητής. ΑΠΘ
Βαργεμέζης Γεώργιος, Επ. Καθηγητής. ΑΠΘ
Βουβαλίδης Κωνσταντίνος, Επ. Καθηγητής. ΑΠΘ
Σταμπολίδης Αλέξανδρος, Δρ. Γεωφυσικός, ΠΕ Γεωτεχνικός. ΑΠΘ
Φίκος Ηλίας, Δρ. Γεωφυσικός, ΠΕ Γεωτεχνικός. ΑΠΘ
Διαμαντή Νεκταρία, Δρ. Γεωφυσικός, ΠΕ Γεωτεχνικός. ΑΠΘ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ 4

2 ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ 6

2.1 Η ηλεκτρική χαρτογράφηση ως μέσο εντοπισμού και αποτύπωσης θαμμένων αρχαιοτήτων 7

2.2 Πραγματοποίηση ηλεκτρικής διασκόπησης αρχαιολογικών χώρων 8

2.3 Τομογραφία ειδικής αντίστασης 12

2.4 Πραγματοποίηση και ερμηνεία τομογραφιών 13

3 ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ 17

3.1 Πραγματοποίηση και επεξεργασία των ηλεκτρικών μετρήσεων 17

3.2 Αποτελέσματα της έρευνας με την ηλεκτρική μέθοδο διασκόπησης 22

4 ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ, ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ 31

4.1 Συλλογή τομογραφικών δεδομένων ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης 31

4.2 Αντιστροφή δεδομένων ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης 37

4.3 Αποτελέσματα των τομογραφιών 38

4.3.1 Θέση G1 38

4.3.2 Θέση G2 50

4.3.3 Θέση G3 63

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 76

6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 80

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο παρόν τεύχος περιγράφονται οι γεωφυσικές έρευνες, που πραγματοποιήθηκαν στο θέατρο της αρχαίας Άσκρης κατά το Νοέμβριο του 2012. Ο στόχος της γεωφυσικής έρευνας ήταν η ανίχνευση θαμμένων αρχαιοτήτων και η κατά το δυνατόν χαρτογράφησή τους. Επίσης, η έρευνα στόχευε στη απεικόνιση της δομής του υπεδάφους, μέχρι βάθους περίπου 5 m. Στις επόμενες σελίδες παρουσιάζεται τόσο ο τρόπος διεξαγωγής, όσο και η επεξεργασία και ερμηνεία των δεδομένων αλλά και τα συνακόλουθα συμπεράσματα.

Η έρευνα αυτή αποτελεί ερευνητικό έργο του Αριστοτέλειου Πανεπιστήμιου Θεσσαλονίκης (αρ. 89007, Ειδικός Λογαριασμός Κονδυλίων Έρευνας Α.Π.Θ). Η χρηματοδότηση του έργου έγινε από τον Δήμο Αλιάρτου.

Για την πραγματοποίηση της έρευνας χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της ηλεκτρικής χαρτογράφησης και η μέθοδος της ηλεκτρικής τομογραφίας. Η έρευνα κατέγραψε αρκετές διαταραχές των γεωφυσικών πεδίων που προφανώς αντανακλούν την ύπαρξη υπεδάφιων δομών, οι οποίες πιθανά είναι θαμμένα αρχαία αρχιτεκτονικά λείψανα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφονται επιγραμματικά οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για να εξερευνηθεί το υπέδαφος στους συγκεκριμένους χώρους. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στον τρόπο συλλογής, επεξεργασίας και ερμηνείας των δεδομένων της ηλεκτρικής χαρτογράφησης. Επίσης, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της έρευνας και διατυπώνονται κάποια συμπεράσματα. Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφεται αντίστοιχα η όλη διαδικασία εφαρμογής της μεθόδου της ηλεκτρικής τομογραφίας καθώς και τα συνακόλουθα συμπεράσματα.

Σύνοψη των συμπερασμάτων παρουσιάζεται στο τελευταίο κεφάλαιο. Επίσης, στο ίδιο κεφαλαίο διατυπώνονται προτάσεις που αφορούν το σχεδιασμό της μελλοντικής ανασκαφικής έρευνας.

Οι μετρήσεις πεδίου άρχισαν την 11^{η} και διήρκεσαν μέχρι και την 13η Νοεμβρίου 2012. Η παρέμβαση έγινε χωρίς να επηρεαστεί το παραμικρό στον χώρο, δηλαδή με πλήρως μη καταστροφικό τρόπο.

Το έργο εμπνεύστηκε και πρότεινε ο Πρόεδρος του Σωματείου «ΔΙΑΖΩΜΑ», κ. Σταύρος Μπένος, στο πλαίσιο του πυρήνα των δραστηριοτήτων του εν λόγω ιδρύματος. Τον ευχαριστούμε θερμά για τη πρότασή του να εκτελεστεί από έναν καθ' ύλη, αλλά και πράξει αρμόδιο φορέα, το Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής του

Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου. Η μακρά και σε βάθος προσπάθεια του κ. Μπένου για τη διάσωση, διατήρηση και ανάδειξη των αρχαίων θεάτρων έχει διαμορφώσει μια πολύτιμη εμπειρία, η οποία αποκρυσταλλώνεται πλέον σε επί του πρακτέου σοφία.

Η έρευνα δε θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί αν δεν υπήρχε η χρηματοδότηση από το Δήμο Αλιάρτου. Ευχαριστούμε θερμά τον Δήμαρχο κ. Γεώργιο Ντασιώτη και το Δημοτικό Συμβούλιο για τη στήριξη που μας προσέφεραν.

Τον Ασκραίο απόστρατο στρατηγό κ. Ιωάννη Πέππα, ευχαριστούμε θερμά για το αμέριστο ενδιαφέρον που εξ' αρχής έδειξε για την πραγματοποίηση της έρευνας, την πολύτιμη βοήθεια του στις αρχικές επιτόπιες διερευνήσεις των συνθηκών πεδίου αλλά κατά τη διάρκεια διεξαγωγής των γεωφυσικών καταγραφών.

Ευχαριστούμε επίσης την Θ΄ Εφορεία Προϊστορικών και Κλασικών Αρχαιοτήτων (Θ΄ - ΕΠΚΑ) για την άδεια έρευνας του χώρου του θεάτρου της αρχαίας Άσκρης. Ιδιαίτερα ευχαριστούμε τη διευθύντρια της Θ΄ -ΕΠΚΑ, Δρ. Αλεξάνδρα Χαραμή και την αρχαιολόγο κ. Δήμητρα Οικονόμου, για την βοήθεια στην ορθή τοποθέτηση του προβλήματος, τις πολύτιμες συμβουλές τους και την άψογη συνεργασία μας.

2 ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ

Οι μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης εφαρμόζονται στην εξερεύνηση αρχαιολογικών χώρων σε παγκόσμια κλίμακα και αναφέρονται σ' όλα τα βιβλία εισαγωγής στην αρχαιολογική επιστήμη. Στηρίζονται στο γεγονός ότι οι αρχαιότητες αποτελούν διαταράξεις στην ομοιογένεια των ανωτέρων στρωμάτων της Γης και επομένως προκαλούν ανωμαλίες σε φυσικά ή τεχνητά πεδία. Οι ανωμαλίες αυτές καταγράφονται με τη βοήθεια κατάλληλων οργάνων, επεξεργάζονται βάσει διεθνώς παραδεκτών μεθόδων και τελικά παρουσιάζεται μια χαρτογράφηση των υπεδάφιων αρχιτεκτονικών λειψάνων.

Η χρησιμότητα των χαρτών αυτών στην αρχαιολογική έρευνα είναι προφανής. Ο ανασκαφέας αρχαιολόγος μπορεί να κατευθύνει επιλεκτικά τη έρευνά του, να εξάγει συμπεράσματα και στη συνέχεια να τα προεκτείνει για όλη την περιοχή που μελετά στηριζόμενος στο γεωφυσικό χάρτη. Η εφαρμογή των μεθόδων αυτών γίνεται σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα και με μικρό κόστος. Καλύπτονται δε με τον τρόπο αυτό μεγάλες σχετικά εκτάσεις.

Συνήθως, από τις μεθόδους αυτές επιλέγονται οι καταλληλότερες ανάλογα με τον χώρο έρευνας και τα χαρακτηριστικά των στόχων. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, χρησιμοποιήθηκαν δύο μέθοδοι. Στην προσέγγιση αυτή είχαμε ήδη καταλήξει όσον αφορά την έρευνα, μετά από πολλές τηλεφωνικές επικοινωνίες με τις κ. Χαραμή και Οικονόμου, τους κ. Πέππα και Μπένο, αλλά και τις διερευνητικές επισκέψεις στο χώρο από τον Αν. Καθηγητή Π. Τσούρλο και τον καθηγητή Γρ. Τσόκα. Από τις ενέργειες αυτές κατέστη δυνατή η αποτίμηση των συνθηκών της συγκεκριμένης περιοχής. Τα παραπάνω συνέτειναν στην εκτίμηση ότι, η ηλεκτρική χαρτογράφηση είναι η ενδεδειγμένη μέθοδος για την περιοχή και επίσης καθόρισαν τις παραμέτρους της εφαρμογής της. Έτσι καθαρίστηκαν το βήμα της χωρικής δειγματοληψίας, η διάταξη ηλεκτροδίων που έπρεπε να χρησιμοποιηθεί, η απόσταση των ηλεκτροδίων μεταξύ τους κ.λ.π. Σημαντικό ρόλο στον καθορισμό των παραμέτρων αυτών έπαιξε και η συζήτηση σχετικά με τις αναμενόμενες υπεδάφιες δομές.

Η χρήση της μεθόδου της ηλεκτρικής τομογραφίας ήταν η μόνη επιλογή για να συμπληρωθούν οι μετρήσεις της ηλεκτρικής χαρτογράφησης. Η συγκεκριμένη μέθοδος έχει κατά πολύ μεγαλύτερη διεισδυτικότητα από την ηλεκτρική χαρτογράφηση και επιπλέον είναι ικανή να απεικονίσει τρισδιάστατα το υπέδαφος.

Παρά το γεγονός ότι, η διαδικασία λήψης των τομογραφικών δεδομένων είναι πιο χρονοβόρα και πιο επίπονη από την ηλεκτρική χαρτογράφηση, τα αποτελέσματά της πλεονεκτούν για τους λόγους που αναφέρθηκαν.

2.1 Η ηλεκτρική χαρτογράφηση ως μέσο εντοπισμού και αποτύπωσης θαμμένων αρχαιοτήτων

Η ηλεκτρική μέθοδος ονομάζεται επίσης και *"μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης" ή "μέθοδος συνεχούς ρεύματος"*. Συνίσταται στην εισαγωγή ρεύματος στη Γη με τη βοήθεια δύο ηλεκτροδίων και στην μέτρηση της διαφοράς δυναμικού σε δύο άλλα. Μπορούμε έτσι να έχουμε μια μέτρηση της αντίστασης η οποία μπορεί να αναχθεί σε τιμή ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του χώρου που δειγματοληπτείται μέσω μιας μαθηματικής σχέσης. Η ποσότητα την οποία μετρούμε ονομάζεται φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση γιατί αλλάζει όταν αλλάζει η γεωμετρία της διάταξης μέτρησης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η Γη είναι ανομοιογενής και ανισότροπη.

Με πιο αυστηρό τρόπο η φαινόμενη ειδική αντίσταση ορίζεται ως εξής:

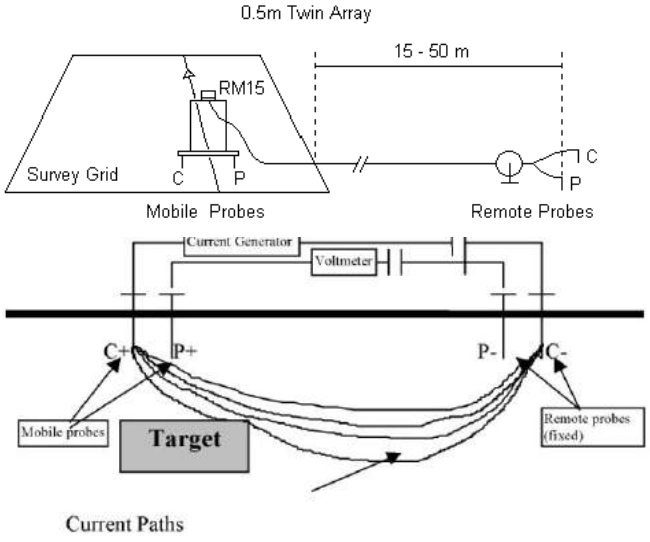
" Για συγκεκριμένη διάταξη ηλεκτροδίων, τοποθετημένη στην επιφάνεια του εδάφους, η οποία μας δίνει μέτρηση ηλεκτρικής αντίστασης του εδάφους $\boldsymbol{R}$, η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση $\boldsymbol{\rho_a}$ είναι η πραγματική ειδική αντίσταση εκείνου του ομοιόμορφου και ομογενούς ημιχώρου που θα μας έδινε την ίδια τιμή, $\boldsymbol{R}$, χρησιμοποιώντας την συγκεκριμένη διάταξη ηλεκτροδίων " (Tsokas 1980).

Η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση του εδάφους είναι κατά κάποιο τρόπο μία τεχνητή έννοια που αποτελεί δείκτη των πραγματικών ειδικών αντιστάσεων των σχηματισμών και δομών που βρίσκονται στον χώρο δειγματοληψίας. Οι ειδικές αυτές αντιστάσεις εξαρτώνται άμεσα από την τιμή της υγρασίας που υπάρχει στους πόρους και τα διάκενα των σχηματισμών και των δομών. Επομένως, εξαρτώνται άμεσα από το πορώδες των υλικών αυτών, δηλαδή έμμεσα από την ποιότητά τους. Αυτό αποτελεί και την αρχή λειτουργίας της μεθόδου, εφ' όσον μπορούμε να ανιχνεύσουμε στο υπέδαφος δομές που παρουσιάζουν διαφορετικές ειδικές αντιστάσεις.

Υπάρχουν πολλές τεχνικές τοποθέτησης των τεσσάρων ηλεκτροδίων στην επιφάνεια του εδάφους (Parasnis 1997) αλλά στην παρούσα έρευνα χρησιμοποιήθηκε αποκλειστικά η διάταξη διδύμου ηλεκτροδίου. Στην διάταξη αυτή χρησιμοποιούνται

δύο ζεύγη ηλεκτροδίων από τα οποία το ένα είναι σταθερό σε μία συγκεκριμένη απόσταση από την κάνναβο και το άλλο ζεύγος είναι κινητό (Aspinall and Lynam 1973). Τα δίπολα δεν απαρτίζονται από ομόλογα ηλεκτρόδια αλλά από ένα ηλεκτρόδιο ρεύματος και ένα δυναμικού όπως φαίνονται στο σχήμα (2.1.1).

Είναι φανερό, ότι μετακινώντας το κινητό ζεύγος ηλεκτροδίων διαδοχικά σε νέες θέσεις, επιτυγχάνουμε την δειγματοληψία της ηλεκτρικής αντίστασης στις θέσεις αυτές. Μπορούμε, στη συνέχεια, να χαρτογραφήσουμε τις τιμές που έχουμε μετρήσει και να προκύψει έτσι η κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε όλο το χώρο έρευνας. Οι τεχνικές της ηλεκτρικής αντίστασης χρησιμοποιούνται εδώ και πολλά χρόνια σε ευρεία κλίμακα για να επιλύσουν μια σειρά προβλημάτων υπεδάφιας διασκόπησης που αφορούν σε γεωλογικές, αρχαιολογικές, γεωτεχνικές και περιβαλλοντολογικές μελέτες.



Σχ.2.1.1. Σχηματική παράσταση της διάταξης διδύμου ηλεκτροδίου (Tsokas et al. 1993).

2.2 *Πραγματοποίηση ηλεκτρικής διασκόπησης αρχαιολογικών χώρων*

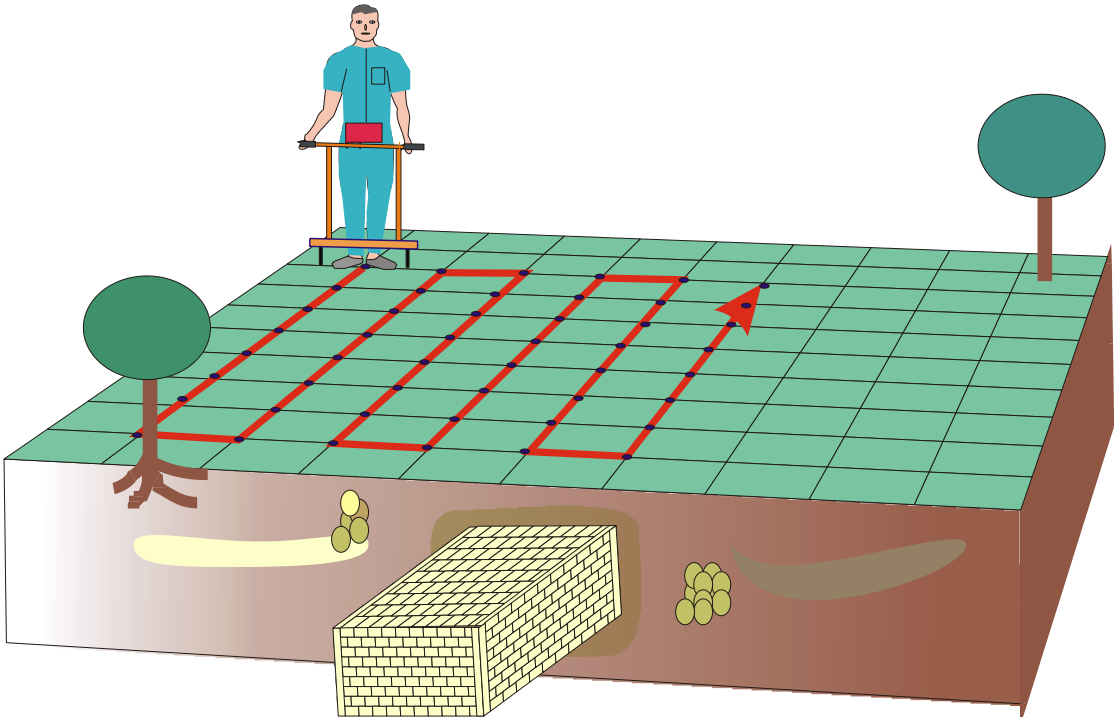
Κατά την πραγματοποίηση της ηλεκτρικής χαρτογράφησης υλοποιείται αρχικά ένας κάνναβος το έδαφος, οποίος έχει συνήθως τετραγωνικά κελιά διαστάσεων 20X20 m^2. Η κατάτμηση αυτή προσφέρει ευελιξία στη δυνατότητα κάλυψης του προς έρευνα χώρου. Στη συνέχεια υλοποιείται λεπτομερής κάνναβος σε κάθε τετράγωνο χωριστά, ο οποίος έχει συνήθως ισοδιάσταση 1 ή 0.5 m. Τα ηλεκτρόδια του ενός ζεύγους ευρίσκονται στερεά τοποθετημένα στο πλαίσιο για το οποίο έγινε λόγος προηγούμενα.

Σε ίση απόσταση μεταξύ τους, αλλά όχι σταθερή, τοποθετούνται τα ακίνητα ηλεκτρόδια. Αυτά όμως πρέπει να είναι αρκετά μακριά από τον εκάστοτε κάνναβο (τετράγωνο) μετρήσεων έτσι, ώστε η απόσταση αυτή να θεωρείται άπειρη.

Ο χειριστής κινείται κατά μήκος παράλληλων οδεύσεων βουστροφηδόν (zig-zag) όπως φαίνεται στο σχήμα (2.2.1). Μετά το πέρας των μετρήσεων σ' ένα κελί, οι μετρήσεις συνεχίζονται σε κάποιο διπλανό του εφόσον το μήκος του καλωδίου, το οποίο συνδέει το όργανο με τα ακίνητα ηλεκτρόδια, το επιτρέπει. Αν αυτό δεν είναι δυνατό, τότε αλλάζει η θέση των απομακρυσμένων ηλεκτροδίων. Κατά την αλλαγή αυτή πιθανόν να αλλάξει η στάθμη των μετρήσεων (DC). Αυτό συμβαίνει γιατί οι μετρήσεις επηρεάζονται σημαντικά τόσο από την περιοχή γύρω από τα κινητά ηλεκτρόδια όσο και από την περιοχή γύρω από τα ακίνητα. Έχουμε αναφερθεί σε αυτό το πρόβλημα, το οποίο θεωρείται ως η αιτία της δυσκολίας στον υπολογισμό της ειδικής αντίστασης στη διάταξη διδύμου ηλεκτροδίου. Για να ισοσταθμίσουμε τις μετρήσεις μας τοποθετούμε το όργανο σε μια τυχαία θέση των κελιών που έχουμε μετρήσει και σημειώνουμε την ένδειξη της αντίστασης που αναγράφεται. Κρατάμε το πλαίσιο με το όργανο στην συγκεκριμένη θέση και αλλάζουμε τη θέση των σταθερών έτσι, ώστε να είναι δυνατή η συνέχεια της διασκόπησης σε άλλα κελιά. Στη συνέχεια, αυξομειώνουμε την απόσταση μεταξύ των ακινήτων, έως ότου πάρουμε ίδια μέτρηση αντίστασης με αυτή που σημειώσαμε, η οποία αντιστοιχούσε στην παλιά θέση των ακίνητων ηλεκτροδίων. Όταν το πετύχουμε αυτό, έχουμε καταφέρει να έχουμε την ίδια DC στάθμη για τα κελιά που έχουμε ήδη μετρήσει και αυτά που πρόκειται να μετρήσουμε.

Τα αρχαία λείψανα που είναι θαμμένα στο υπέδαφος, όπως φαίνονται στα σχήματα (2.1.1) και (2.2.1), εφόσον έχουν μεγαλύτερη ειδική αντίσταση από τον περιβάλλοντα εδαφικό σχηματισμό, θα αναγκάσουν το μεγαλύτερο τμήμα του ρεύματος να κινηθεί γύρω τους. Οι διαδρομές αυτές ροής του ρεύματος (σχ. 2.1.1) είναι μεν μακρύτερες αλλά είναι πιο «εύκολες». Επομένως, η παρουσία των αρχαιοτήτων θα διαταράξει την κανονική μορφή της ακτινικής ροής του ρεύματος από το ηλεκτρόδιο υψηλότερου δυναμικού (Α) προς αυτό με το χαμηλότερο (Β). Αυτό σημαίνει ότι στην περιοχή του αρχαίων λειψάνων θα έχουμε μειωμένη πυκνότητα ρεύματος και κατά συνέπεια αυξημένη βαθμίδα δυναμικού. Η βαθμίδα δυναμικού θα είναι αυξημένη και στην επιφάνεια επάνω από τις αρχαιότητες και τη μετράμε με τα ηλεκτρόδια δυναμικού (Μ και Ν). Με άλλα λόγια, στην επιφάνεια θα

καταγράψουμε μεγαλύτερη αντίσταση αφού μετράμε διαφορές δυναμικού και τις διαιρούμε με το ρεύμα που βάλλαμε στη γη.



Σχ.2.2.1. Διεξαγωγή γεωηλεκτρικής χαρτογράφησης χρησιμοποιώντας τη διάταξη διδύμου ηλεκτροδίου. Οι μετρήσεις λαμβάνονται στους κόμβους του καννάβου ο οποίος έχει προηγούμενα υλοποιηθεί στο έδαφος. Τα σταθερά ηλεκτρόδια είναι μακριά από τον κάνναβο των μετρήσεων και δεν απεικονίζονται στο σχήμα. Η κίνηση του χειριστή γίνεται βουστροφηδόν κατά μήκος παράλληλων οδεύσεων (Τσόκας και συνεργάτες 2006, Tsokas et al. 2007 .

Από την άλλη μεριά, αν οι αρχαιότητες είναι περισσότερο αγώγιμες από το περιβάλλον που φιλοξενούνται, τότε το ρεύμα ρέει πιο εύκολα μέσα από αυτές. Έτσι, όπου υπάρχουν οι αγώγιμες αυτές δομές στο υπέδαφος, η πυκνότητα του ρεύματος αυξάνει και μειώνεται η βαθμίδα του δυναμικού. Τότε δημιουργούνται αρνητικές «ανωμαλίες» στην επιφάνεια του εδάφους.

Λείψανα αρχαίων κατασκευών είναι και τα αρχαία λαξεύματα στο τότε φυσικό έδαφος (τάφροι, αποθέτες). Αυτές οι δομές εμφανίζονται συνήθως περισσότερο αγώγιμες από τους εδαφικούς σχηματισμούς που τις περιβάλλουν και ως εκ τούτου προκαλούν αρνητικά ηλεκτρικά σήματα.

Αν χρησιμοποιείται άλλη διάταξη εκτός της διδύμου ηλεκτροδίου, η έρευνα πραγματοποιείται με τρόπο παρόμοιο με αυτόν που περιγράφηκε παραπάνω. Πάντοτε

στερεώνουμε τα κινούμενα ηλεκτρόδια σε μια δοκό έτσι, ώστε οι αποστάσεις μεταξύ τους να παραμένουν σταθερές. Οι μετρήσεις γίνονται πάντοτε σε ισαπέχουσες παράλληλες οδεύσεις, με απόσταση μεταξύ τους και βήμα μέτρησης που καθορίζονται από την επιθυμητή οριζόντια διακριτική ικανότητα. Στη διάταξη πόλου – πόλου το πλαίσιο είναι ακριβώς ίδιο με αυτό που φαίνεται στο σχήμα (2.1.1).

Είναι φανερό ότι η διεξαγωγή μιας ηλεκτρικής διασκόπησης για να χαρτογραφηθούν οι μεταβολές της αντίστασης του υπεδάφους συνεπάγεται τη λήψη ενός πολύ μεγάλου αριθμού μετρήσεων. Κατά συνέπεια απαιτείται σημαντική χειρωνακτική προσπάθεια, η οποία μετριάστηκε αρκετά με την εισαγωγή πλαισίων. Στοχεύοντας στη περαιτέρω μείωση της χειρωνακτικής δουλειάς, αλλά ταυτόχρονα και στη συντόμευση του χρόνου πραγματοποίησης των μετρήσεων, αναπτύχθηκαν αυτοματοποιημένα συστήματα όπου το πλαίσιο ρυμουλκείται με κάποιο τρόπο και τα ηλεκτρόδια έχουν τη μορφή μεταλλικών τροχών ή τροχών με στερεωμένα επάνω τους μεταλλικά καρφιά. Τα συστήματα αυτά είναι ικανά να πετύχουν πολύ πυκνή δειγματοληψία και επομένως να μας παρέχουν πάρα πολλή καλή οριζόντια διακριτική ικανότητα. Μειονεκτούν ως προς το ότι δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε όλους τους τύπους εδαφών.

Στη συγκεκριμένη έρευνα χρησιμοποιήθηκε το όργανο RM15 της εταιρείας *Geoscan Research Ltd.*, το οποίο φαίνεται στη φωτογραφία (2.2.I).

Φωτ.2.2.I. Το όργανο RM15 της εταιρείας Geoscan Research Ltd. Που χρησιμοποιήθηκε για τις έρευνες που περιγράφει η παρούσα έκθεση.

2.3 Τομογραφία ειδικής αντίστασης

Σύμφωνα με την μέθοδο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, πρέπει να χρησιμοποιηθούν δύο ηλεκτρόδια ρεύματος (θετικός και αρνητικός πόλος) για τη διοχέτευση ρεύματος στο υπέδαφος, ενώ ταυτόχρονα χρησιμοποιούνται δύο διαφορετικά ηλεκτρόδια (probes) για τη μέτρηση της πτώσης του δυναμικού, δηλαδή κάθε μέτρηση απαιτεί συνολικά τέσσερα ηλεκτρόδια. Το βάθος στο οποίο η κάθε μέτρηση μπορεί να «φθάσει» εντός του εδάφους μπορεί να ελέγχεται με τη ρύθμιση της απόστασης μεταξύ των ηλεκτροδίων. Γενικά το βάθος διείσδυσης αυξάνεται όσο μεγαλώνει η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων.

Βάσει αυτών των αρχών, είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί μια σειρά μετρήσεων (όδευση), αυξάνοντας την απόσταση των ηλεκτροδίων, προκειμένου να ληφθεί μια ένδειξη της διακύμανσης της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του εδάφους της υπό μελέτη περιοχής, τόσο προς την εγκάρσια, όσο και προς την κατακόρυφη κατεύθυνση. Όπως συμβαίνει σε κάθε γεωφυσική τεχνική, οι μετρήσεις αυτές (επονομαζόμενες φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης) δεν παρέχουν μια άμεσα αναγνώσιμη «εικόνα» της υπεδάφιας κατάστασης, αλλά απλώς το ολοκληρωμένο αποτέλεσμα των ιδιοτήτων του υπεδάφους. Επομένως, η εικόνα των φαινόμενων ειδικών αντιστάσεων μπορεί να απέχει πολύ από την κατανομή των πραγματικών ειδικών αντιστάσεων (σε περιπτώσεις πολυσύνθετης κατανομής ιδιοτήτων του υπεδάφους).

Παραδοσιακά, η ερμηνεία των δεδομένων των μετρήσεων αυτών γίνεται με τη χρήση της μεθόδου της «ψευδοτομής». Βασίζεται δε στο γεγονός ότι όσο μεγαλύτερη η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων, τόσο περισσότερο η ειδική ηλεκτρική αντίσταση σχετίζεται με μεγαλύτερα βάθη. Ως εκ τούτου, κάθε μετρηθείσα τιμή φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης τοποθετείται αυθαίρετα κάτω από το κέντρο της συγκεκριμένης διάταξης ηλεκτροδίων που χρησιμοποιείται, σε βάθος ανάλογο της απόστασης μεταξύ των ηλεκτροδίων. Αν αυτό γίνει σε κάθε μέτρηση, τότε μπορεί να εξαχθεί μια «ψευδο-εικόνα» του υπεδάφους σε τραπεζοειδές πλαίσιο.

Η ερμηνεία των εικόνων «ψευδοτομής» απαιτεί μεγάλο βαθμό εξειδικευμένων γνώσεων. Παρ' όλα αυτά, σε περιπτώσεις πολύπλοκης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης δεν είναι δυνατόν να υπάρξει ακριβής ερμηνεία. Τη δεκαετία του 1990, η έλευση ταχύτατων υπολογιστών επέτρεψε την ανάπτυξη πλήρως αυτοματοποιημένων αλγορίθμων, γνωστοί ως αλγόριθμοι αναστροφής, οι οποίοι είναι σε θέση να δημιουργήσουν «ακριβείς» εικόνες της ειδικής αντίστασης του υπεδάφους. Ο όρος

«αναστροφή» στη μέθοδο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης περιγράφει τη (συνήθως πλήρως αυτοματοποιημένη) διαδικασία δημιουργίας μιας εικόνας της «πραγματικής» κατανομής της ειδικής αντίστασης του υπεδάφους με βάση τα δεδομένα των μετρήσεων.

Οι αλγόριθμοι αυτοί είναι, από μαθηματικής πλευράς, πολύπλοκοι και επιτρέπουν την ανακατασκευή οποιωνδήποτε ομάδων δεδομένων που έχουν μετρηθεί, ανεξάρτητα από τη διάταξη των ηλεκτροδίων. Επιπλέον, η έλευση κατά τα τελευταία έτη οργάνων μέτρησης ειδικής αντίστασης νέας γενιάς, επέτρεψε την αυτοματοποίηση της διαδικασίας μέτρησης και, υπό την έννοια αυτή, κάθε συνδυασμός μετρήσεων μπορεί να ληφθεί εύκολα. Μπορούν να τοποθετηθούν ηλεκτρόδια ακόμη και εντός γεωτρήσεων, και η τομογραφία να αφορά το μεταξύ τους χώρο.

Ο συνδυασμός των αυτοματοποιημένων συστημάτων μέτρησης με τις νέες μεθόδους ερμηνείας (αντιστροφή) περιγράφεται με τον όρο «τομογραφία ειδικής αντίστασης». Ο όρος οφείλεται στην ομοιότητα της ανωτέρω διαδικασίας προς τις ιατρικές τεχνικές δημιουργίας εικόνας (π.χ. τομογραφία με ακτίνες Χ).

2.4 Πραγματοποίηση και ερμηνεία τομογραφιών

Η ηλεκτρική τομογραφία (ΗΤ) μπορεί να θεωρηθεί ως συνδυασμός δύο "παραδοσιακών" τεχνικών μέτρησης: της όδευσης και της βυθοσκόπησης. Ειδικότερα, η ηλεκτρική τομογραφία μπορεί να περιγραφεί ως μία σειρά από συνεχόμενες ηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις κατά μήκος της γραμμής έρευνας ή ως μία σειρά από οδεύσεις πάνω από την ίδια περιοχή με διαδοχικά αυξανόμενες αποστάσεις ηλεκτροδίων. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η λήψη πληροφορίας τόσο για την κατακόρυφη όσο και για την οριζόντια μεταβολή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στην περιοχή μελέτης και έτσι λαμβάνεται μία πληρέστερη "εικόνα" του υπεδάφους.

Η μέθοδος της "ψευδοτομής", η οποία ήταν πρόδρομος της τομογραφίας, έχει χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα στην χαρτογράφηση μεταλλευμάτων (Edwards 1977) αλλά και σε διάφορες άλλες εφαρμογές (π.χ. υδρογεωλογικές, Griffiths et al. 1990). Στην διαδικασία της "ψευδοτομής" μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες διατάξεις ηλεκτροδίων (π.χ. διπόλου-διπόλου, Wenner, πόλου-διπόλου). Η ΗΤ όμως είναι πιό γενικευμένος όρος που, όπως αναφέρθηκε, περιλαμβάνει και μετρήσεις με μη συμβατικές διατάξεις καθώς επίσης και μετρήσεις που λαμβάνονται με ηλεκτρόδια σε γεωτρήσεις (π.χ. Shima 1992).

Ενα από τα κύρια χαρακτηριστικά της ΗΤ είναι ότι σε σύγκριση με τις άλλες τεχνικές λαμβάνεται ένας αρκετά μεγάλος αριθμός μετρήσεων (άρα και χρήσιμης

πληροφορίας). Με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται η διακριτική ικανότητα και ανάλυση της γεωηλεκτρικής μεθόδου. Παράλληλα όμως, λόγω του μεγάλου αριθμού τους, οι μετρήσεις δεν μπορούν να ληφθούν με χειροκίνητη αλλαγή των ηλεκτροδίων αλλά μόνο με συστήματα αυτοματοποιημένων πολυπλεκτών. Πολλά τέτοια εμπορικά συστήματα (τουλάχιστον έξι) έχουν αναπτυχθεί και κυκλοφορούν στην αγορά από το 1990 και μετά, γεγονός ενδεικτικό της ανάπτυξης της ΗΤ. Βέβαια πρέπει να τονιστεί ότι χρήση αυτών των οργάνων αυξάνει αναπόφευκτα το κόστος εφαρμογής της μεθόδου.

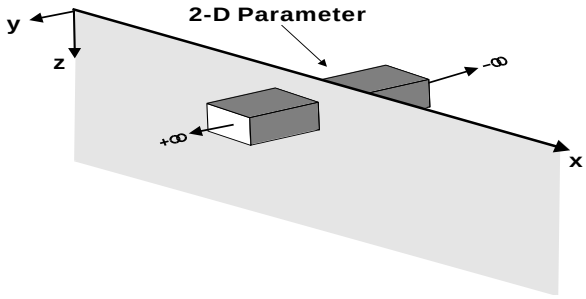
Η ερμηνεία των μετρήσεων σε πρώτο στάδιο γίνεται με τη μέθοδο της ψευδοτομής. Στην περίπτωση της διάταξης πόλου-διπόλου, η οποία χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη, κάθε μέτρηση της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης αποδίδεται, κατά προσέγγιση, στο σημείο τομής των δύο ευθειών που ξεκινούν με γωνία 45^{o} από το σημείο Α και το μέσο της απόστασης ΜΝ. Όμως, η συνακόλουθη ερμηνεία είναι ιδιαίτερα δύσκολη και επισφαλής γιατί η εικόνα της κατανομής της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι μια παραμορφωμένη εικόνα της πραγματικής κατανομής της ηλεκτρικής αντίστασης στην περιοχή έρευνας.

Για αυτόν τον λόγο εισήχθηκαν οι τομογραφικές τεχνικές. Οι τεχνικές αυτές επιδιώκουν την επίλυση του αντίστροφου γεωηλεκτρικού προβλήματος είτε με χρήση προσεγγιστικών μεθόδων, π.χ. μέθοδος Zhody-Barker, (Barker 1992), μέθοδος οπισθοπροβολής (Tsourlos et al. 1993), είτε με τη χρήση υπαρχόντων μη γραμμικών τεχνικών αντιστροφής (π.χ. Tripp et al. 1984) που προσαρμόζονται στο πρόβλημα της ΗΤ (Shima 1990, Tsourlos et al. 1995).

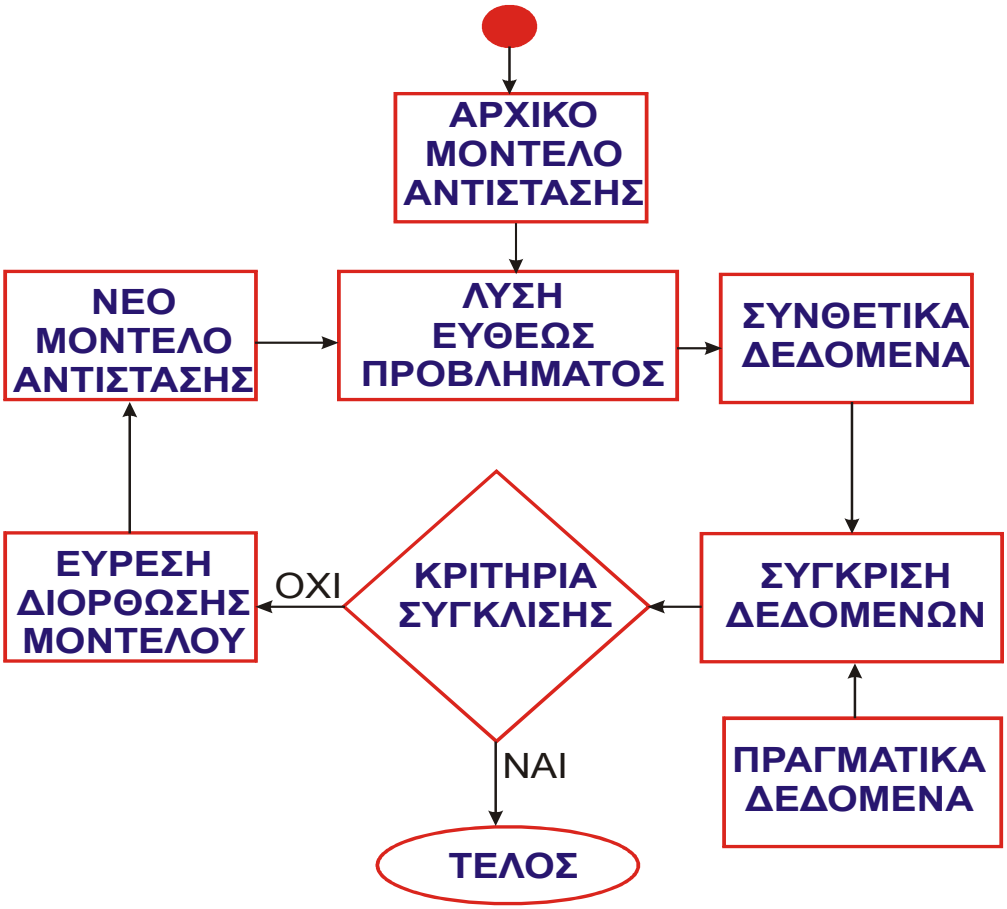
Η πλέον δημοφιλής τεχνική για την αποκατάσταση της πραγματικής εικόνας της γεωηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους είναι αυτή της αντιστροφής. Σκοπός της αντιστροφής είναι να βρεθεί ένα μοντέλο αντίστασης που να δίνει μετρήσεις που είναι όσο το δυνατό πιο κοντά στις πραγματικές.

Προϋπόθεση αποτελεί η ύπαρξη μεθόδου επίλυσης του ευθέως προβλήματος, δηλαδή, να βρεθούν οι μετρήσεις, δοθείσης της κατανομής της αντίστασης. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για το σκοπό αυτό, στην παρούσα μελέτη, είναι ένας αλγόριθμος πεπερασμένων στοιχείων ο οποίος λύνει τις διαφορικές εξισώσεις που περιγράφουν τη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος σε ανομοιογενή γη.

Η αντιστροφή μπορεί να γίνει δε δυο (δισδιάστατη) ή τρεις (τρισδιάστατη) διαστάσεις (σχ. 2.4.1).



Σχ.2.4.1. Γεωηλεκτρική παράμετρος δυο διαστάσεων.



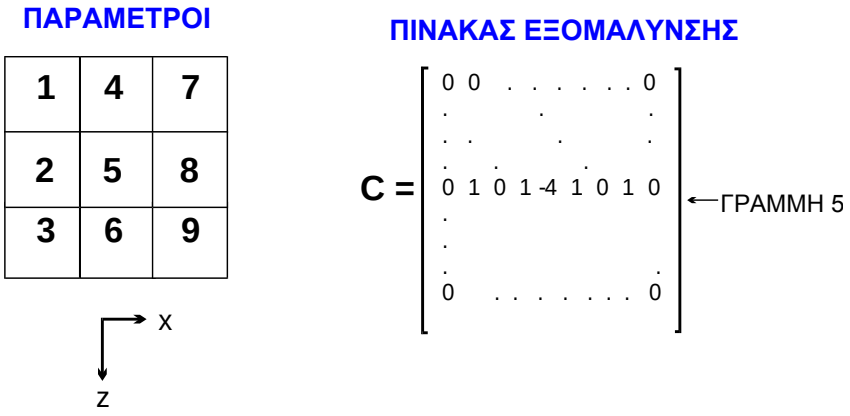
Σχ.2.4.2. Σχηματοποιημένη διαδικασία μη γραμμικής αντιστροφής.

Στην γεωηλεκτρική μέθοδος λόγω της μη-γραμμικής φύσης του αντιστρόφου προβλήματος, οι αλγόριθμοι αντιστροφής είναι μια αυτοματοποιημένη επαναληπτική διαδικασία (σχ. 2.4.2). Αρχικά, η περιοχή ενδιαφέροντος διακριτοποιείται σε ένα δίκτυο από παραμέτρους στις οποίες και αποδίδεται μια αρχική τιμή ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

Βάσει αυτού του μοντέλου υπολογίζονται τα αντίστοιχα συνθετικά δεδομένα, τα οποία και συγκρίνονται με τα πραγματικά δεδομένα. Λαμβάνεται έτσι μια εκτίμηση του λάθους dy=(πραγματικά δεδομένα – συνθετικά δεδομένα). Στη συνέχεια με μια διαδικασία αντιστροφής πινάκων γίνεται διόρθωση του αρχικού μοντέλου αντίστασης και η όλη διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου το λάθος dy μεταξύ των πραγματικών και συνθετικών δεδομένων ελαχιστοποιηθεί. Το τελικό μοντέλο αντίστασης θεωρείται ότι προσεγγίζει ικανοποιητικά την πραγματική κατανομή των γεωηλεκτρικών αντιστάσεων.

Η αντιστροφή είναι ένα δύσκολο μη γραμμικό πρόβλημα. Χρησιμοποιούνται ειδικές τεχνικές για την αποφυγή ασταθών λύσεων. Μια από τις πιο σύγχρονες τεχνικές είναι η εξομαλυσμένη αντιστροφή (Occam's). Ορίζεται πίνακας εξομάλυνσης **C** μεταξύ των παραμέτρων (σχ. 2.4.3) και ζητείται η ελαχιστοποίηση του λάθους d**y** σε συνδυασμό με μέγιστη εξομάλυνση:

$$S = d\mathbf{y}^T d\mathbf{y} \rightarrow 0 \;\&\; R = (\mathbf{C}d\mathbf{x})^T(\mathbf{C}d\mathbf{x}) \rightarrow \max$$



Σχ. 2.4.3. Σχηματισμός του πίνακα εξομάλυνσης

Το μοντέλο αντίστασης $\mathbf{x}^{\kappa+1}$ στην επανάληψη κ+1 δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\mathbf{x}^{\kappa+1} = \mathbf{x}^{\kappa} + d\mathbf{x}^{\kappa} = \mathbf{x}^{\kappa} + (\mathbf{J}_{\kappa}^T \mathbf{J}_{\kappa} + \mu\, \mathbf{C}^T \mathbf{C})\, \mathbf{J}_{\kappa}^T\, d\mathbf{y}^{\kappa}$$

dx= η διόρθωση της αντίστασης .

C= ο πίνακας εξομάλυνσης.

J= ο Ιακωβιανός πίνακας των πρώτων παραγώγων .

μ= πολλαπλασιαστής Lagrange (υπολογίζεται εμπειρικά)

3 ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ

3.1 Πραγματοποίηση και επεξεργασία των ηλεκτρικών μετρήσεων

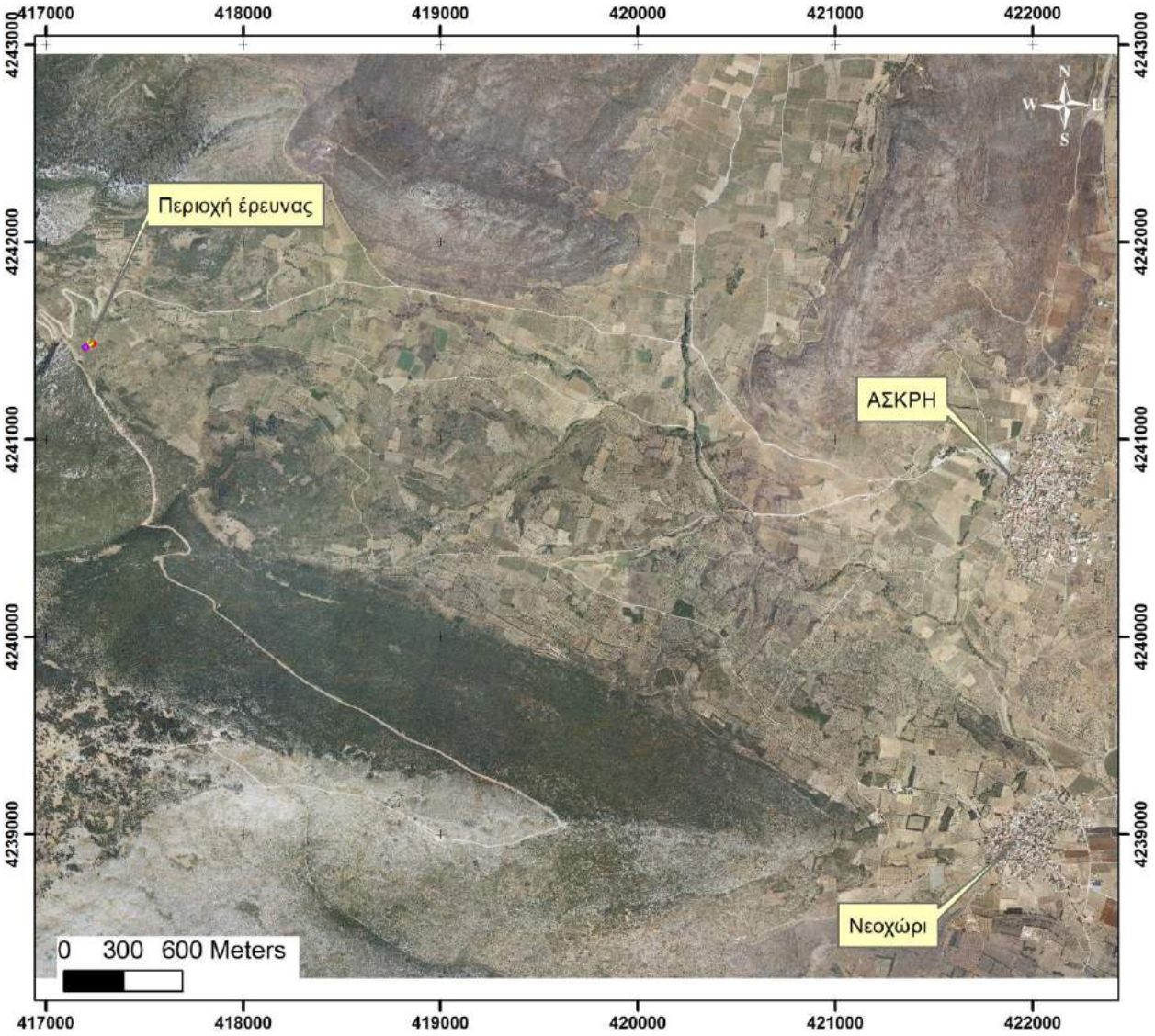
Η περιοχή που πραγματοποιήθηκε η έρευνα φαίνεται στο σχήμα (3.1.1). Βρίσκεται στο δυτικό άκρο της κοιλάδας των Μουσών, στις παρυφές του Ελικώνα. Η ακρόπολη της αρχαίας Άσκρης βρίσκεται στο ύψωμα βορειοανατολικά της περιοχής των ερευνών.

Ο χώρος κατατμήθηκε σε μικρά τετράγωνα (κελιά) διατάσεων 20m x 20m και οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε κάνναβο με ισοδιάσταση 1 m, ο οποίος υλοποιήθηκε στο έδαφος για κάθε κελί χωριστά. Η διαδικασία αυτή διευκολύνει γενικά τη λήψη των μετρήσεων βοηθώντας στο να αντιμετωπιστούν οι τοπογραφικές ανωμαλίες. Δηλαδή, να αποφευχθούν χώροι με πυκνή βλάστηση ή άλλου είδους εμπόδια και να υπάρξει σχετική ευελιξία στην κάλυψη του χώρου.

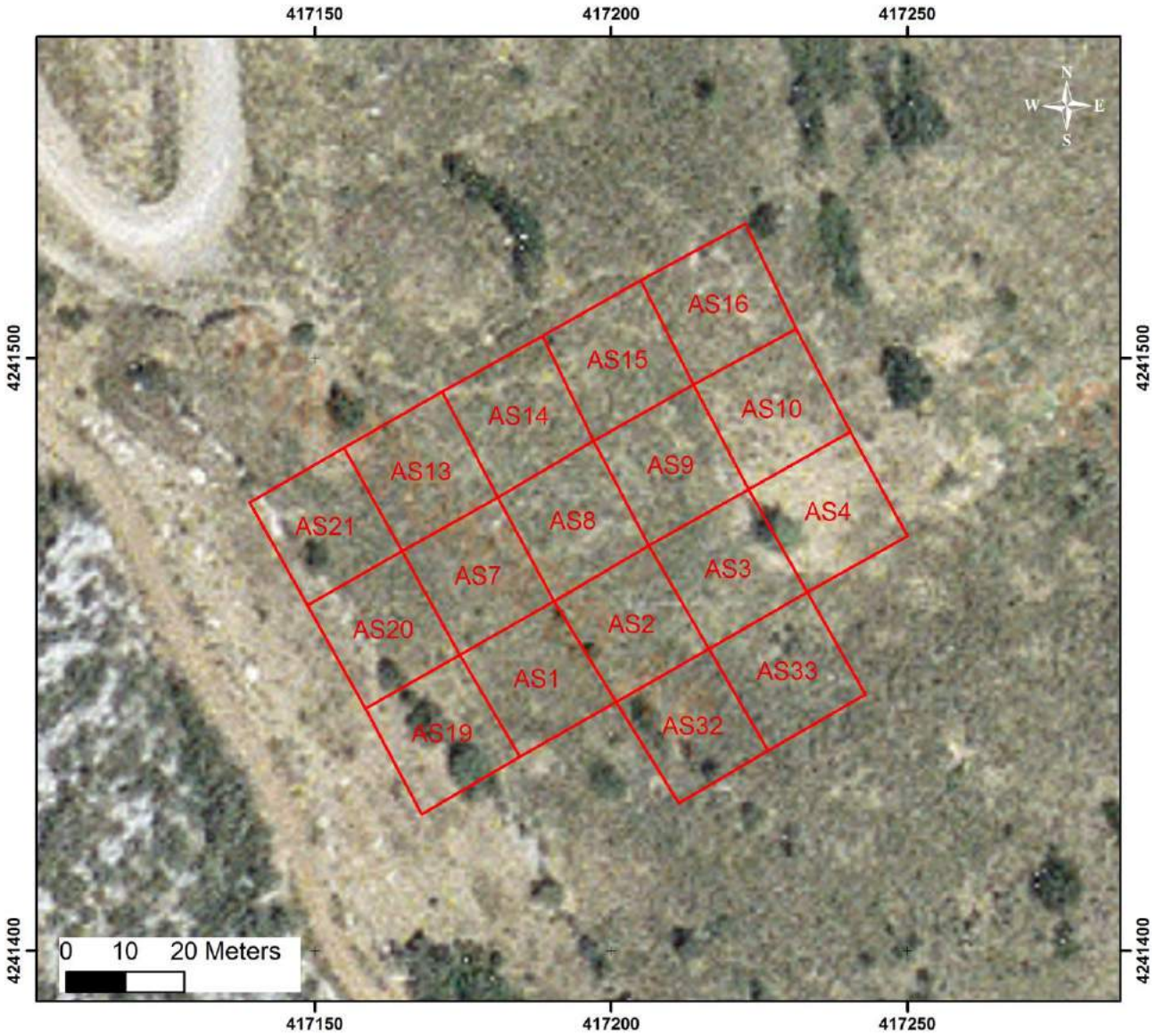
Τα κελιά, στα οποία κατατμήθηκε ο χώρος έρευνας φαίνονται στο σχήμα (3.1.1.). Η απόσταση μεταξύ των κινουμένων ηλεκτροδίων ήταν σταθερή και ίση με 0.5 m, ενώ τα σταθερά ηλεκτρόδια ήταν τοποθετημένα σε απόσταση μεγαλύτερη των 15 m από τον εκάστοτε κάνναβο μετρήσεων. Τα σταθερά ηλεκτρόδια (αναφοράς) τοποθετήθηκαν σε απόσταση περίπου 0.5 m μεταξύ τους.

Στις φωτογραφίες (3.1.I) και (3.1.II) φαίνονται μέλη της ερευνητικής ομάδας κατά τη διάρκεια των μετρήσεων στο πεδίο.

Τμήμα της επεξεργασίας των μετρήσεων έγινε στο πεδίο με σκοπό των έλεγχο της ποιότητας των δεδομένων και της πορείας της διασκόπησης. Η τελική επεξεργασία πραγματοποιήθηκε στις εγκαταστάσεις του Εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.



Σχ.3.1.1. Η συγκεκριμένη θέση που πραγματοποιήθηκαν οι έρευνες ευρίσκεται στο δυτικό άκρο της κοιλάδας των Μουσών, στις παρυφές του Ελικώνα. Το υπόβαθρο της εικόνας είναι η δορυφορική φωτογραφία του Ελληνικού Κτηματολογίου.



Σχ.3.1.2. Τα κελιά (τετράγωνα) διαστάσεων 20mX20m που υλοποιήθηκαν στο έδαφος στο χώρο που φιλοξενεί τα λείψανα του θεάτρου της αρχαίας Άσκρης. Ως υπόβαθρο χρησιμοποιείται η δορυφορική φωτογραφία του Ελληνικού Κτηματολογίου.

Φωτ.3.1.Ι. Μέλη της ερευνητικής ομάδας κατά τη διαδικασία λήψης των μετρήσεων της ηλεκτρικής χαρτογράφησης στο θέατρο της αρχαίας Άσκρης.

Φωτ.3.1.ΙΙ. Ηλεκτρικές μετρήσεις στις παρυφές του Ελικώνα, στο κοίλο του αρχαίου θεάτρου.

Στα δεδομένα εφαρμόστηκε η ακολουθία επεξεργασιών που αναφέρεται παρακάτω:

- Μετατροπή των πρωταρχικών δεδομένων έτσι, ώστε να πάρουν τη μορφή F(x,y), και δημιουργία τοπικού συστήματος συντεταγμένων.
- Οπτικός έλεγχος της συμβατότητας των διαφόρων ομάδων των δεδομένων. Ως ομάδα δεδομένων θεωρούνται αυτά που προέρχονται από μια ομάδα κελιών, στα οποία οι μετρήσεις έγιναν χωρίς να αλλάξουν θέση τα σταθερά ηλεκτρόδια. Εντοπισμός των ασυμβατοτήτων και διόρθωσή τους. Η διόρθωση αυτή επιτυγχάνεται αλλάζοντας τις στάθμες των δεδομένων που προέρχονται από τα κελιά εκατέρωθεν κάποιας ασυμβατότητας.
- Συμπίεση του δυναμικού εύρους των μετρήσεων με χρήσης λογαριθμικής συνάρτησης.
- Μεγέθυνση του πίνακα των τιμών με παρεμβολή και στις δύο οριζόντιες διευθύνσεις (συνάρτηση παρεμβολής sinX/X).
- Εφαρμογή φίλτρου Wallis (Schollar et al., 1986).
- Δημιουργία ασπρόμαυρων χαρτών. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ως σχήματα τόνων του τεφρού χρώματος (Schollar et al., 1986) έτσι, ώστε να δίδεται μια εικόνα η οποία προσομοιάζει την κάτοψη των δομών που προκαλούν την ανώμαλη κατανομή των αντιστάσεων.
- Στο τέλος, έγινε εξάρτηση των κελιών της γεωφυσικής έρευνας στο προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ 1987.

3.2 Αποτελέσματα της έρευνας με την ηλεκτρική μέθοδο διασκόπησης

Στο σχήμα (3.2.1) δίνεται απεικόνιση της κατανομής της ηλεκτρικής αντίστασης στο χώρο έρευνας. Η παρουσίαση γίνεται σε διαβαθμίσεις του τεφρού χρώματος με την εξής τάξη: Όλες οι τιμές αντιστάσεων που είναι υψηλότερες από 1.3 φορές την τυπική απόκλιση (SD) από το μέσο όρο, απεικονίζονται με μαύρο χρώμα. Αντίστοιχα, οι τιμές που είναι χαμηλότερες του ορίου των 2 τυπικών αποκλίσεων από το μέσο όρο, απεικονίζονται με λευκό χρώμα. Οι υπόλοιπες τιμές, δηλαδή αυτές που ευρίσκονται στο

διάστημα [-2.0 SD, 1.3 SD] με κέντρο το μέσο όρο, απεικονίζονται με τόνους του τεφρού χρώματος, σκουρότερους καθώς μεταβαίνουμε προς τις υψηλότερες τιμές.

Ως υπόβαθρο όλων των εικόνων των ερευνών στην περιοχή του αρχαίου θεάτρου χρησιμοποιείται η δορυφορική φωτογραφία του Ελληνικού Κτηματολογίου.

Η ακολουθία επεξεργασιών που εφαρμόστηκε για να παραχθεί η εικόνα του σχήματος (3.2.1) είναι αυτή που περιγράφεται στην προηγούμενη παράγραφο πλην της εφαρμογής του Wallis. Εφαρμόζοντας και το φίλτρο Wallis έχουμε την εικόνα του σχήματος (3.2.2). Οι παράμετροι παρουσίασης της είναι ίδιες με αυτές του σχήματος (3.2.1). Δηλαδή έχουμε διαβάθμιση των τόνων του τεφρού χρώματος για τη ζώνη τιμών [-2.0 SD, 1.3 SD], λευκές τις τιμές που είναι έξω από τη ζώνη στο χαμηλό άκρο της κατανομής, ενώ οι τιμές του υψηλού άκρου απεικονίζονται μαύρες.

Εύκολα παρατηρείται ότι, ο χάρτης των αντιστάσεων παρουσιάζει πολλές ανωμαλίες υψηλών τιμών πράγμα που σημαίνει ότι, στις αντίστοιχες θέσεις υπάρχουν αντιστατικές δομές στο υπέδαφος. Δηλαδή, υπάρχουν δομές στο υπέδαφος, οι οποίες έχουν υψηλότερη ειδική ηλεκτρική αντίσταση από το περιβάλλον στο οποίο φιλοξενούνται. Με δεδομένο ότι τα εδάφη στο χώρο που ερευνήθηκε είναι αργιλικά και παρουσιάζουν γενικά χαμηλή ειδική ηλεκτρική αντίσταση, οι δομές που προκαλούν τις υψηλές ανωμαλίες είναι πιθανά λείψανα της παρελθούσης χρήσης του χώρου.

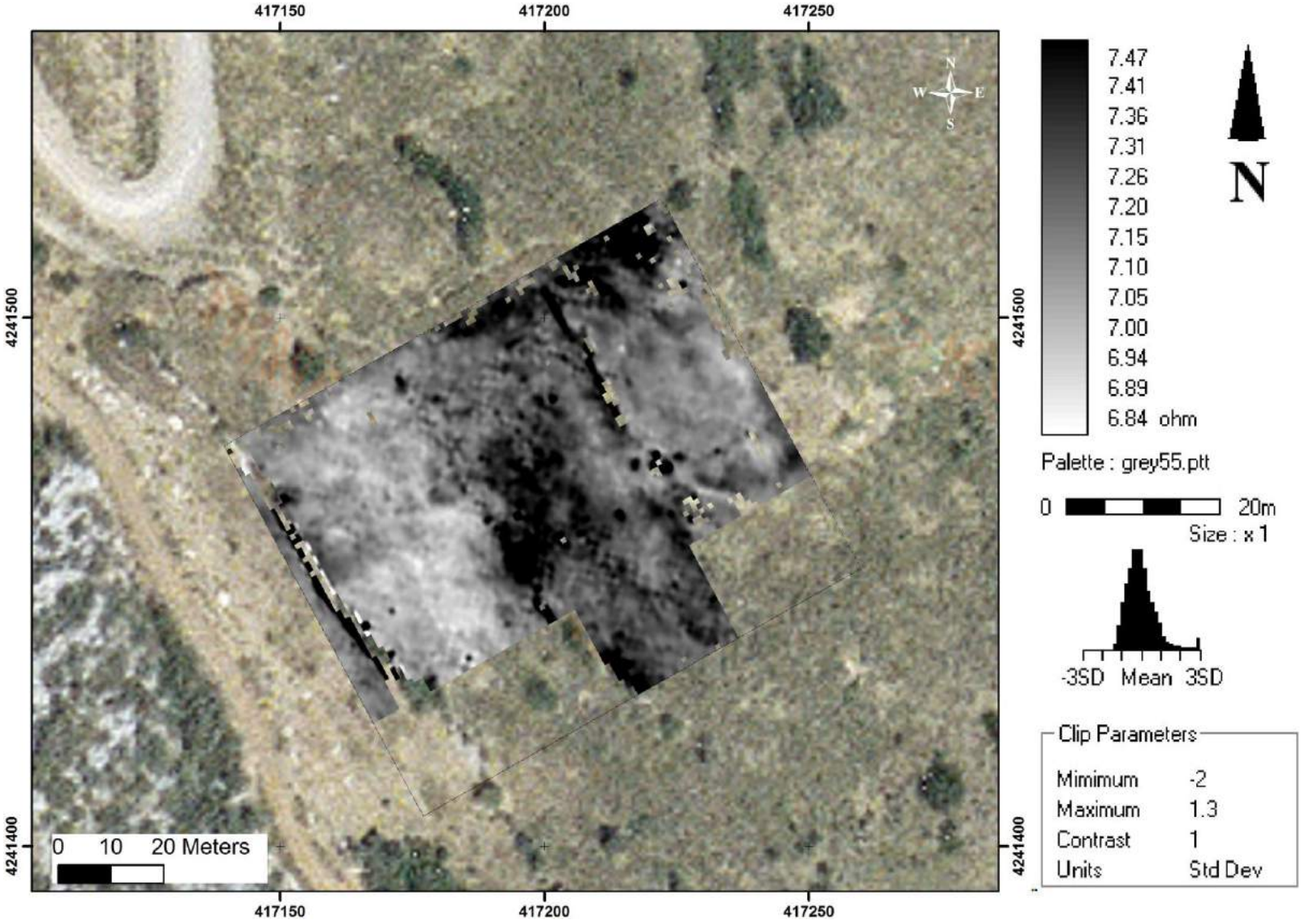
Παρουσιάζονται γενικά, σχετικά μεγάλου μήκους γραμμικές θετικές ανωμαλίες με διεύθυνση B-N, οι οποίες σημειώνονται με τα γράμματα Α, Β και Γ στο σχήμα (3.2.3). Οι ανωμαλίες αυτές στην κατανομή της υπεδάφιας ηλεκτρικής αντίστασης συνοδεύονται από ορατούς λιθοσωρούς. Το γεγονός αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι και οι υπεδάφιες αντιστατικές δομές που προκαλούν τις θετικές αυτές ανωμαλίες είναι αντίστοιχης φύσης. Στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγουμε και για τις ευθυγραμμίσεις των υψηλών τιμών αντίστασης που χαρακτηρίζονται από τα γράμματα Δ, Ε, Ζ, Η και Θ, όμως, στις θέσεις που αυτές παρατηρούνται δεν υπάρχουν επιφανειακές λιθοστοιβάξεις.

Επιμήκεις ανωμαλίες, κάθετες σε αυτές που σχολιάστηκαν παραπάνω, παρατηρούνται στις θέσεις που σημειώνονται με τα γράμματα Ι και Κ. Όσον αφορά μάλιστα την ανωμαλία Κ στο νότιο ανατολικό άκρο της περιοχής που μελετήθηκε, αυτή φαίνεται να συναρθρώνεται με την Η στο σχηματισμό ορθογώνιου γεωμετρικού σχήματος που θυμίζει κάτοψη θεμελιώσεων. Το γεγονός αυτό μας οδηγεί στο

συμπέρασμα ότι οι ανωμαλίες αυτές οφείλονται πιθανά σε υπεδάφια λείψανα αρχαίας κατασκευής.

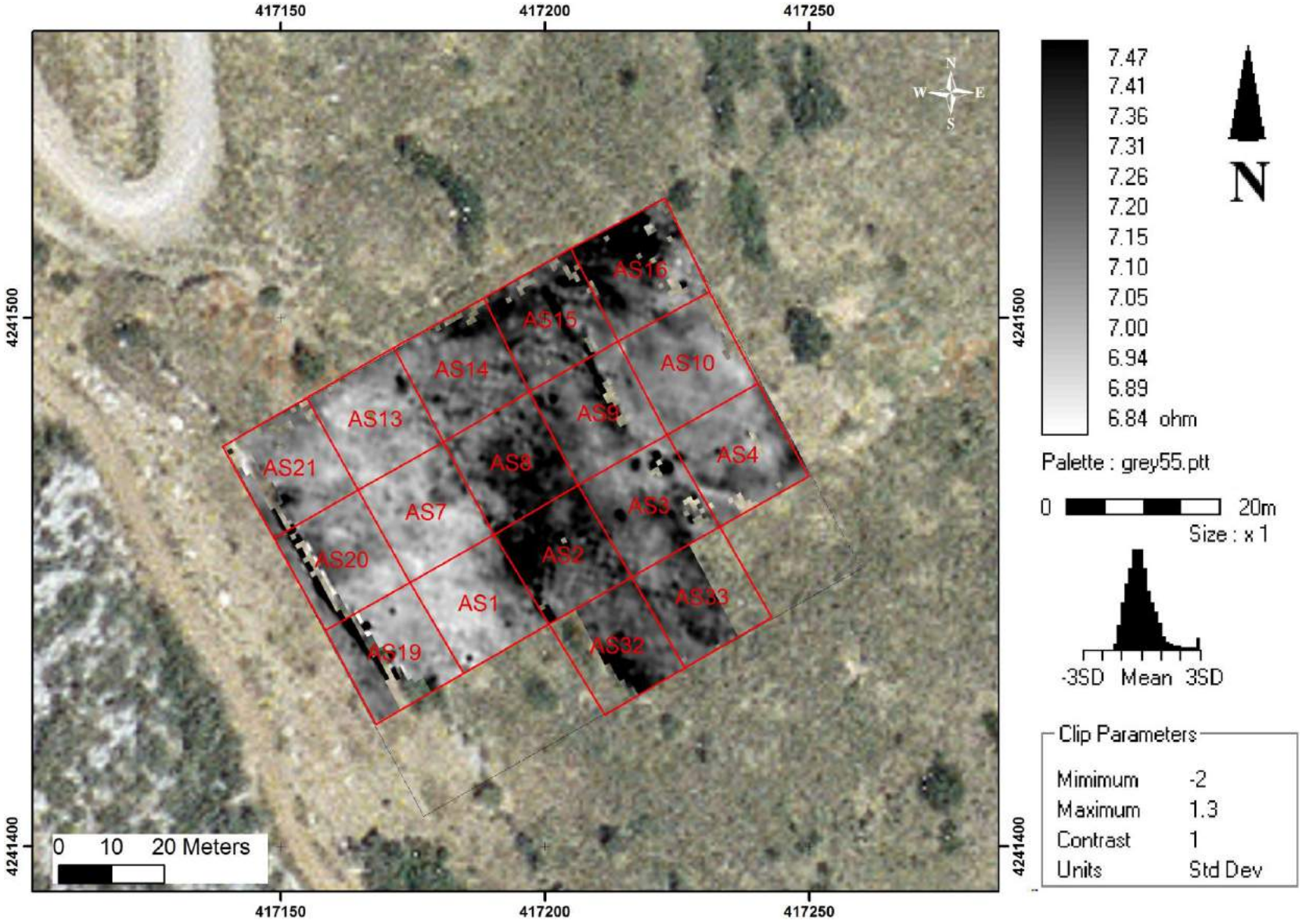
Παρουσιάζονται επίσης πολλές ανωμαλίες υψηλών αντιστάσεων αλλά ακαθόριστου σχήματος, πράγμα που δυσκολεύει την ερμηνεία τους. Το σίγουρο είναι ότι στις εν λόγω θέσεις κρύβονται αντιστατικές δομές στο υπέδαφος, αλλά δε μπορεί να γίνει καμία εικασία σχετικά με τη φύση των δομών αυτών. Επιπλέον, εμφανίζονται γραμμικές θετικές ανωμαλίες στο νότιο άκρο της περιοχής που μελετήθηκε, με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, όπως αυτές που σημειώνονται με τα γράμματα Λ και Μ. Ούτε γι' αυτές τις ανωμαλίες μπορεί να γίνει κάποιο ερμηνευτικό σχόλιο.

Στο σχήμα (3.2.4) φαίνεται η κατανομή των αντιστάσεων στο χώρο που ερευνήθηκε μετά την πλήρη σειρά των διεργασιών που αναφέρονται στην παράγραφο (3.1). Δηλαδή, εκτός των υπολοίπων διεργασιών που εφαρμόστηκαν για την παραγωγή των εικόνων (3.2.1) έως (3.2.3), τα δεδομένα υπέστησαν επιπλέον την εφαρμογή του φίλτρου Wallis (Scollar et al. 1986). Είναι φανερό ότι έχουν τονιστεί οι ανωμαλίες που χαρακτηρίζονται από τα συγκεκριμένα γράμματα και οι οποίες σχολιάστηκαν προηγούμενα. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι ανωμαλίες Β, Κ, Η και Θ, των οποίων ο γραμμικός χαρακτήρας είναι τώρα πρόδηλος. Επιπλέον οι ανωμαλίες αυτές τείνουν να συναρθρωθούν σε ορθογώνιο σχήμα. Το γεγονός αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι ανωμαλίες προκαλούνται μάλλον από θαμμένα αρχιτεκτονικά λείψανα.


417150
417200
417250
4241500
4241400
N
W
E
S
0 10 20 Meters
7.47
7.41
7.36
7.31
7.26
7.20
7.15
7.10
7.05
7.00
6.94
6.89
6.84 ohm
N
Palette : grey55.ptt
0 20m
Size : x 1
-3SD Mean 3SD
Clip Parameters
Mimimum -2
Maximum 1.3
Contrast 1
Units Std Dev

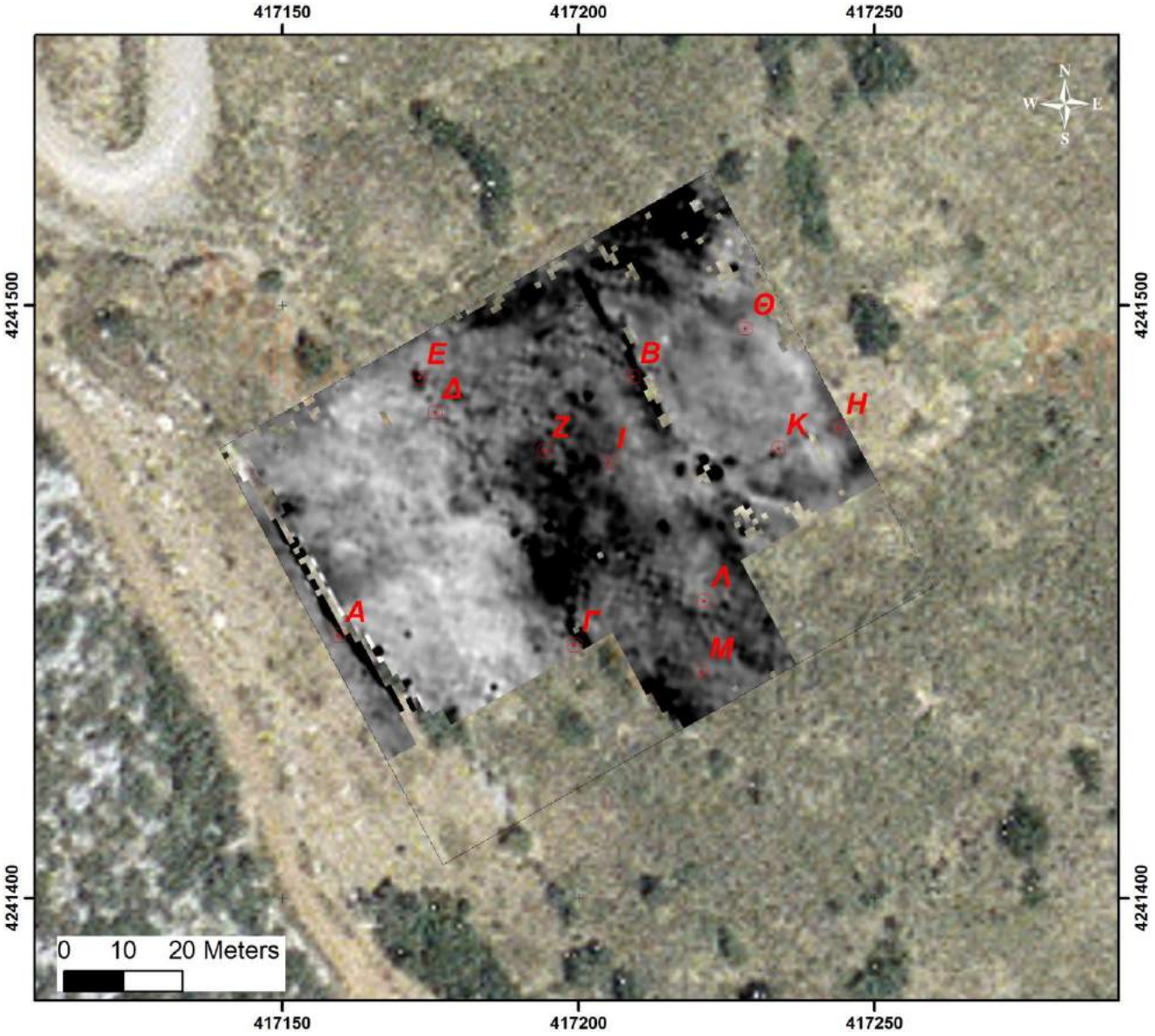
ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΗ ΣΕΛΙΔΑ

Σχ.3.2.1. Η κατανομή των αντιστάσεων για όλο το χώρο που ερευνήθηκε με τη μέθοδο της ηλεκτρικής χαρτογράφησης στο θέατρο της αρχαίας Άσκρης. Οι τόνοι του τεφρού χρώματος διαβαθμίζονται στην ζώνη [-2.0SD –1.3SD] γύρω από το μέσο όρο των τιμών των αντιστάσεων. Τα δεδομένα έχουν υποστεί τις επεξεργασίες που αναφέρονται στην παράγραφο (3.1) εκτός της εφαρμογής φίλτρου Wallis.


417150
417200
417250
4241500
4241400
N
W
E
S
AS16
AS15
AS14
AS10
AS13
AS9
AS21
AS8
AS4
AS7
AS3
AS20
AS2
AS1
AS33
AS19
AS32
0 10 20 Meters
7.47
7.41
7.36
7.31
7.26
7.20
7.15
7.10
7.05
7.00
6.94
6.89
6.84 ohm
N
Palette : grey55.ptt
0 20m
Size : x 1
-3SD Mean 3SD
Clip Parameters
Mimimum -2
Maximum 1.3
Contrast 1
Units Std Dev

ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΗ ΣΕΛΙΔΑ

Σχ.3.2.2. Η κατανομή των αντιστάσεων όπως στο σχήμα (3.2.1). Οι τόνοι του τεφρού χρώματος διαβαθμίζονται στην ζώνη [-2.0SD –1.3SD] γύρω από το μέσο όρο του. Τα δεδομένα έχουν υποστεί όλες τις επεξεργασίες που αναφέρονται στην παράγραφο (3.1) .



Σχ.3.2.3. Η κατανομή των αντιστάσεων όπως στο σχήμα (3.2.1) με γράμματα που σημειώνουν τις ανωμαλίες που σχολιάζονται στο κείμενο.

Σχ.3.2.4. Η κατανομή των αντιστάσεων στο χώρο που ερευνήθηκε. Τα δεδομένα έχουν υποστεί τις επεξεργασίες (παράγραφος 3.1) που οδήγησαν στην κατασκευή των εικόνων (3.2.1) έως (3.2.3) και επίσης εφαρμόστηκε φίλτρο Wallis.

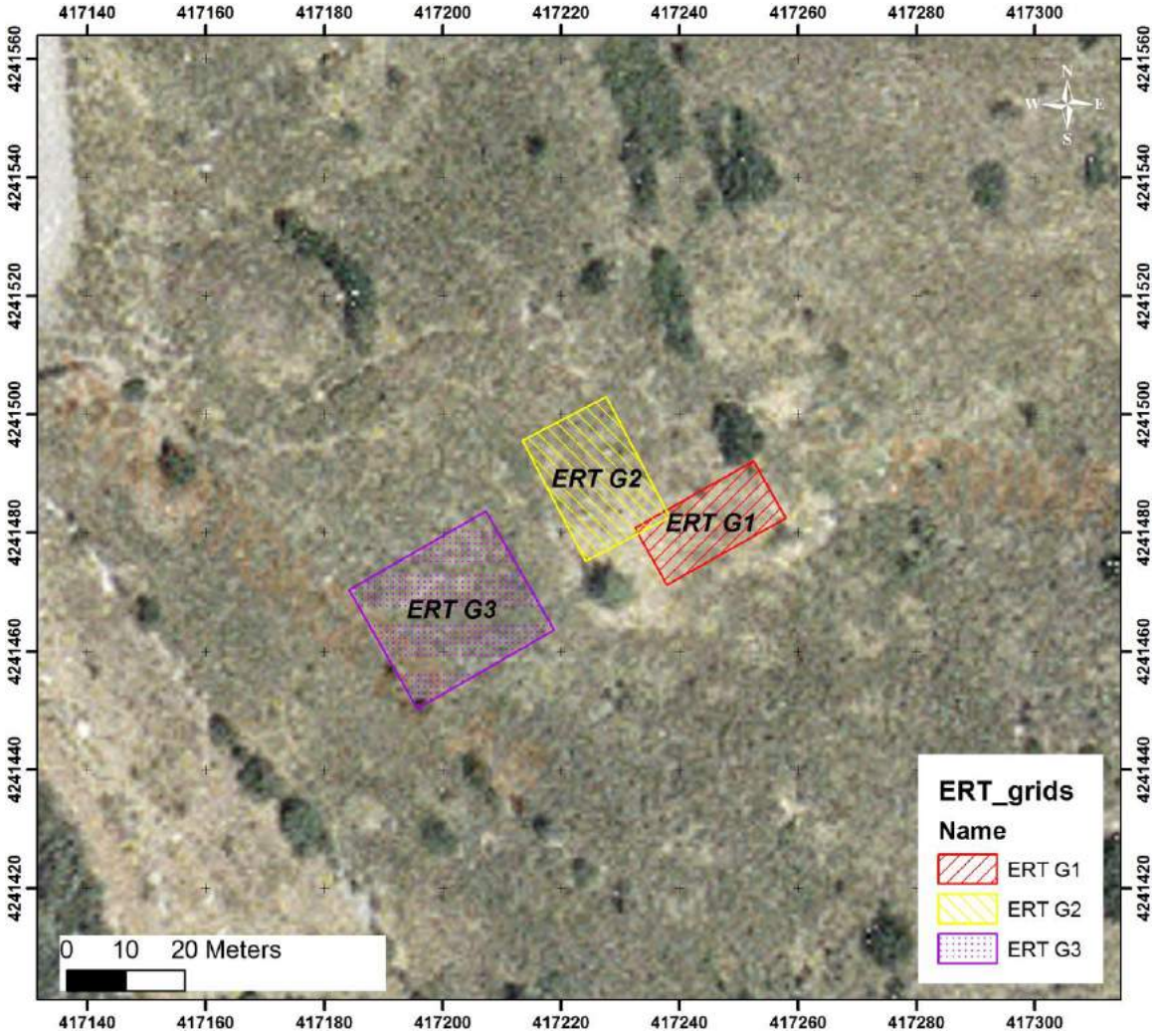
4 ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ, ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

4.1 Συλλογή τομογραφικών δεδομένων ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης

Ηλεκτρικές τομογραφίες πραγματοποιήθηκαν στις θέσεις που φαίνονται στο σχήμα (4.1.1), όπου προηγούμενα είχαν ερευνηθεί με τη μέθοδο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Πρωταρχικός σκοπός της διεξαγωγής αυτού του τμήματος της έρευνας ήταν η διαλεύκανση της φύσης συγκεκριμένων στόχων, που είχαν ήδη εντοπιστεί με την εφαρμογή της ηλεκτρικής χαρτογράφησης. Επίσης, οι τομογραφίες στόχευαν στη μελέτη της γεωλογικής δομής σε βάθη μεγαλύτερα αυτών που αναμένεται να βρίσκονται θαμμένες οι αρχαιότητες.

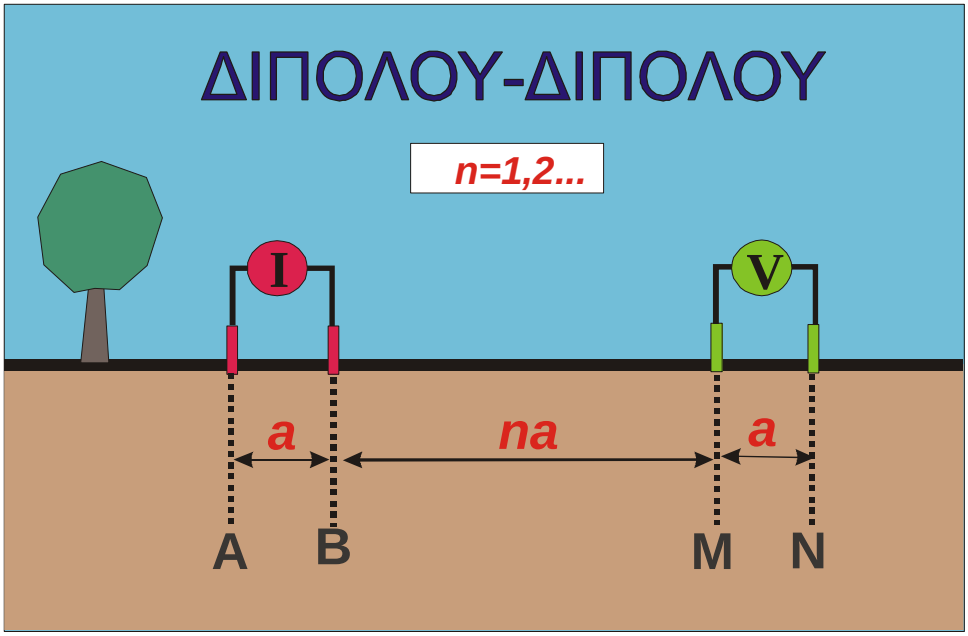
Η διασκόπηση πραγματοποιήθηκε λαμβάνοντας υπ' όψη τους εξής παράγοντες:

- Αναμενόταν ότι, η ειδική αντίσταση θα παρουσιάσει σχετικά υψηλή πλευρική διαφοροποίηση. Η υπόθεση αυτή στηρίχθηκε στο γεγονός ότι, στη συγκεκριμένη θέση έρευνας υπάρχουν ενδείξεις για θαμμένα αρχαία λείψανα, τα οποία θεωρούνται ως διαταράξεις της ομοιογένειας του εδαφικού καλύμματος.
- Οποιαδήποτε τεχνολογία γεωφυσικής έρευνας υπακούει στον βασικό κανόνα, ότι η διακριτική ικανότητα μειώνεται με το βάθος. Δηλαδή, για να δημιουργήσει κάποια δομή στο υπέδαφος μετρήσιμο σήμα στην επιφάνεια, θα πρέπει να έχει διαστάσεις συγκρίσιμες με το βάθος στο οποίο βρίσκεται. Όμως, η διακριτική ικανότητα καθορίζεται από την τοποθέτηση των ηλεκτροδίων στην επιφάνεια, δηλαδή από την απόσταση μεταξύ τους. Όταν η απόσταση αυτή είναι σχετικά μεγάλη, αυξάνοντας έτσι το βάθος διασκόπησης, η μέθοδος είναι ουσιαστικά «τυφλή» ως προς σχετικά μικρές δομές. Εν προκειμένω, και με πρακτικούς όρους, αυτό σημαίνει ότι η διασκόπηση σχεδιάστηκε έτσι, ώστε να αποκρίνεται σε σχετικά μικρές δομές, μέχρι του βάθους των 3-4 m.



Σχ.4.1.1.Δορυφορική φωτογραφία του Ελληνικού Κτηματολογίου της περιοχής που του αρχαίου θεάτρου της Άσκρης. Στη φωτογραφία έχει υπερτεθεί σκαρίφημα που δείχνει τις θέσεις που πραγματοποιήθηκε έρευνα με μέθοδο των ηλεκτρικών τομογραφιών. Πρόκειται για τρεις θέσεις που συμβατικά ονομάσαμε ως G1, G2 και G3.

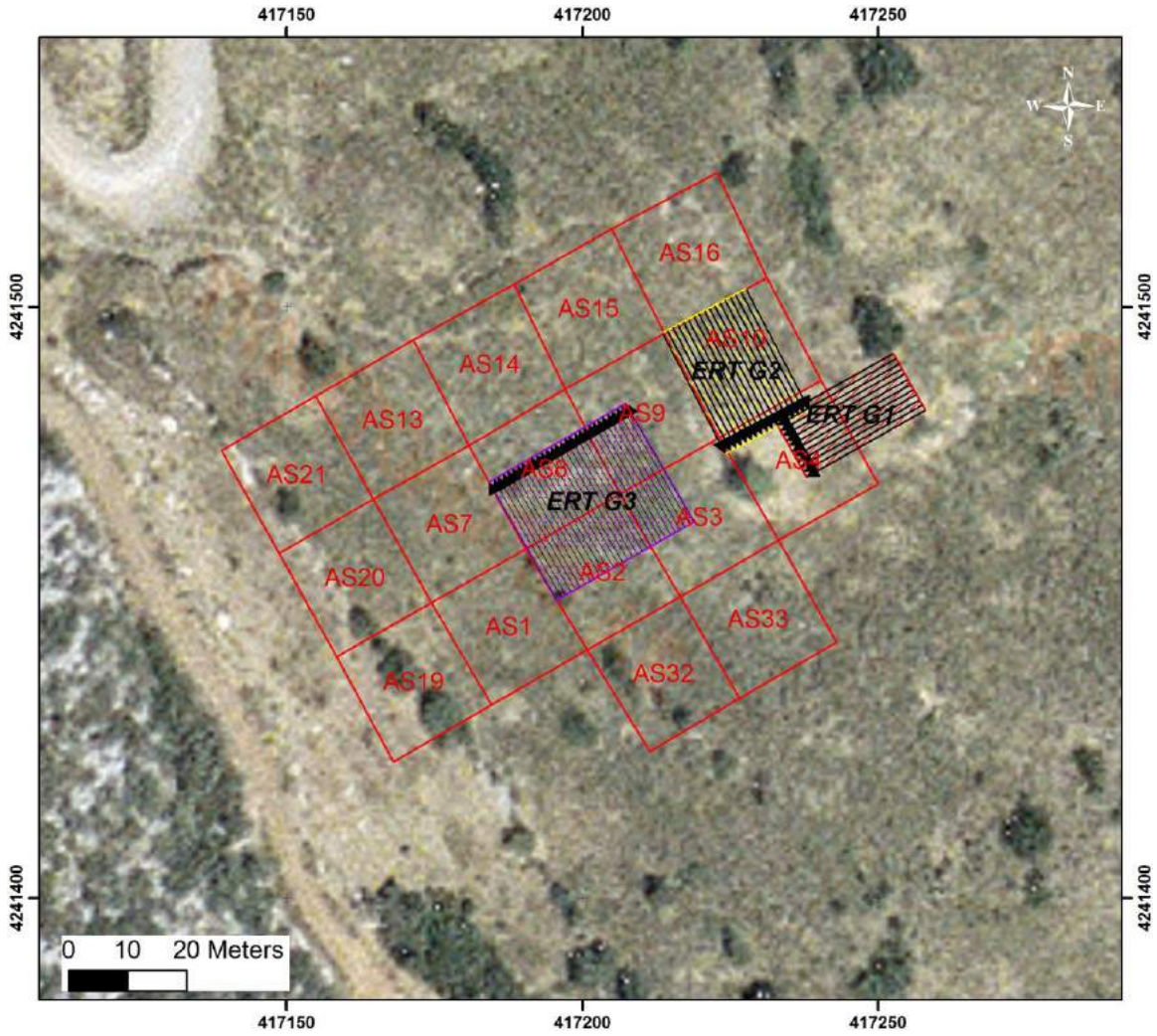
Για να εξασφαλιστεί η καλύτερη δυνατή ποιότητα στις μετρήσεις επιλέχθηκε η διάταξη μέτρησης διπόλου-διπόλου (σχ. 4.1.2), η οποία χαρακτηρίζεται από καλή σχέση σήματος προς θόρυβο και επαρκή διακριτική ικανότητα τόσο στις πλευρικές όσο και στις κατακόρυφες μεταβολές της υπεδάφιας αντίστασης (Ward 1989).



Σχ. 4.1.2. Η διάταξη μέτρησης διπόλου διπόλου

Κατά την λήψη των μετρήσεων η απόσταση, α, μεταξύ του διπόλου δυναμικού ΜΝ παραμένει σταθερή και η ίδια όδευση επαναλαμβάνεται αυξάνοντας κάθε φορά την απόσταση να μεταξύ του ηλεκτροδίου ρεύματος Α και του ηλεκτροδίου δυναμικού Μ (ο n είναι ακέραιος). Η μέγιστη απόσταση nmax x α εξαρτάται από τη μέγιστη ένταση που μπορεί να δώσει η πηγή μας και από τη γεωλογία (γεωηλεκτρικές αντιστάσεις) της περιοχής σε συνάρτηση με το επιθυμητό βάθος έρευνας.

Ένα συνολικό σχέδιο της διάταξης στο χώρο των τομογραφιών δίνεται στο σχήμα (4.1.3). Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 59 τομογραφίες εκ των οποίων οι 12 ευρίσκονται στη θέση G1, 17 στην G2 και οι υπόλοιπες 30 στην G3



Σχ.4.1.3. Όλες οι τομογραφικές τομές που πραγματοποιήθηκαν στο θέατρο της αρχαίας Άσκρης, σε υπέρθεση επί της Δορυφορικής φωτογραφίας του Ελληνικού Κτηματολογίου. Στο σχήμα φαίνονται επίσης τα κελιά που πραγματοποιήθηκε ηλεκτρική έρευνα έτσι ώστε να μπορεί να γίνει συσχέτιση των ευρημάτων των δύο μεθόδων.

<u>Επιλογή Παραμέτρων Μέτρησης</u>

Βάσει του αρχικού σχεδιασμού οι παράμετροι μέτρησης που επιλέχθηκαν είναι:

1. Απόσταση ηλεκτροδίων (a) ίση με 1.0 m.
2. Απόσταση ηλετροδίου ρεύματος – δίπολου μέτρησης δυναμικού (nxa) με μέγιστο n ίσο με 10 που αντιστοιχεί σε μέγιστο βάθος έρευνας περίπου 4 με 5 m.
3. Διπλασιασμός και τριπλασιασμός του δίπολου δυναμικού (nx2a, , nx3a).

Με βάση τον υπάρχοντα (τελευταίας τεχνολογίας) εξοπλισμό ηλεκτρικής τομογραφίας που χρησιμοποιήθηκε, υπήρχε η δυνατότητα πολυπλεξίας μεταξύ 48 ανεξάρτητων καναλιών (άρα και ηλεκτροδίων) κατά την υλοποίηση μιας σταθερής γραμμής μέτρησης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν 24 κανάλια με απόσταση μεταξύ τους ίση με 1.0 m. Το μήκος των τομογραφιών ήταν επομένως 23.0 m.

Χρησιμοποιήθηκε σύστημα απεικόνισης ειδικής αντίστασης υπεδάφους τύπου IRIS SYSCAL. Η αυτόματη πολυπλεξία πραγματοποιήθηκε από ειδική ενσωματωμένη στο όργανο συσκευή.

Η φωτογραφία (4.1.I) δείχνει τμήματα γραμμής των ηλεκτροδίων κατά την πραγματοποίηση των τομογραφίων. Όπως αναφέρθηκε, τα ηλεκτρόδια συνδέονται μέσω ενός πολυπύρηνου καλωδίου με τον πολυπλέκτη του οργάνου, όπως φαίνεται στη φωτογραφία (4.1.II).

.

Φωτ. 4.1.Ι. Τμήμα της γραμμής των ηλεκτροδίων κατά την πραγματοποίηση των τομογραφιών.

Φωτ. 4.1.ΙΙ. Τα πολυπύρηνα καλώδια συνδεδεμένα με το όργανο μέτρησης και αποθήκευσης των μετρήσεων.

4.2 Αντιστροφή δεδομένων ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης

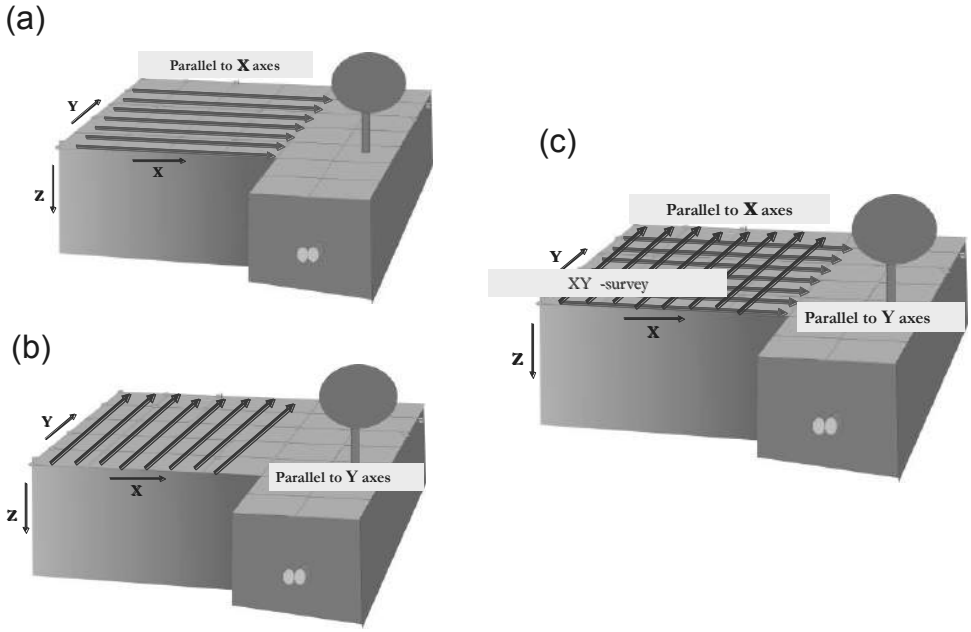
Όλες οι μετρηθείσες τομές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης αντιστράφηκαν με τη χρήση ενός προγράμματος που αναπτύχθηκε από τον Tsourlos (1995). Το δισδιάστατο πρόγραμμα αναστροφής πραγματοποιεί μια επαναληπτική βελτιστοποίηση του μοντέλου που προκύπτει από μια διαδικασία πεπερασμένων στοιχείων 2,5 διαστάσεων. Ο αλγόριθμος είναι πλήρως αυτοματοποιημένος και αυτοδιορθούμενος, πραγματοποιεί δε αντιστροφή με περιορισμούς ομαλότητας (Constable et al., 1991). Η διαδικασία αντιστροφής επιταχύνεται από τη χρήση της τεχνικής Newton για την αναβάθμιση του Ιακωβιανού πίνακα.

Όλες οι αντιστροφές είχαν μικρό λάθος RMS (1.5-3%) παρά το γεγονός ότι η υπεδάφια κατάσταση της περιοχής είναι σχετικά περίπλοκη. Τα αποτελέσματα της αντιστροφής (που παρουσιάζονται στις επόμενες σελίδες της έκθεσης αυτής απεικονίζουν αποτελεσματικά την «πραγματική» ειδική αντίσταση του υπεδάφους. Ένα μικρό ποσοστό των μετρήσεων απορρίφθηκε στο στάδιο της αρχικής επεξεργασίας λόγω του μεγάλου θορύβου που εμφάνιζαν.

Τα τελευταία χρόνια, με την κατασκευή ειδικών οργάνων μέτρησης της αντίστασης σε συνδυασμό με την ανάπτυξη προγραμμάτων τρισδιάστατης ερμηνείας των ηλεκτρικών δεδομένων είναι δυνατή η πλήρης τρισδιάστατη καταγραφή των αντιστάσεων του υπεδάφους. Η τρισδιάστατη διασκόπηση προϋποθέτει την ανάπτυξη των ηλεκτροδίων σε όλη την περιοχή μελέτης και συνήθως πραγματοποιείται με την εκτέλεση μετρήσεων σε ένα πυκνό δίκτυο παράλληλων γραμμών όπως και στην περίπτωσή μας (σχ. 4.2.1). Συνήθως η απόσταση μεταξύ των γραμμών είναι ίση με αυτή την βασική απόσταση των ηλεκτροδίων σε κάθε τομή.

Μετά τη λήψη στο ύπαιθρο τα δεδομένα των τομών ενοποιούνται σε ένα πακέτο δεδομένων που υποβάλλεται σε τρισδιάστατη αντιστροφή (Tsourlos and Ogilvy, 1999). Σκοπός της αντιστροφής είναι να βρεθεί ένα μοντέλο τρισδιάστατης αντίστασης που να δίνει μετρήσεις που είναι όσο το δυνατό πιο κοντά στις πραγματικές. Προϋπόθεση η ύπαρξη μεθόδου επίλυσης του ευθέος προβλήματος, δηλαδή, να βρεθούν οι μετρήσεις δοθείσης της κατανομής της αντίστασης. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για το σκοπό αυτό, στην παρούσα μελέτη, είναι ένας αλγόριθμος τρισδιάστατων πεπερασμένων

στοιχείων ο οποίος λύνει τις διαφορικές εξισώσεις που περιγράφουν τη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος σε ανομοιογενή γη.



Σχ. 4.2.1. Διάφοροι τύποι τρισδίαστατης γεωηλεκτρικής διασκόπησης.

4.3 Αποτελέσματα των τομογραφιών

4.3.1 Θέση G1

Στα σχήματα (4.3.1.1) έως (4.3.1.9) φαίνονται τα αποτελέσματα της αντιστροφής των ηλεκτρικών δεδομένων (τομογραφίες) σε μορφή τομών για ίσο βάθος από την επιφάνεια του εδάφους. Δηλαδή, οι επιφάνειες πάνω στις οποίες απεικονίζεται η κατανομή της ηλεκτρικής αντίστασης είναι ακαθορίστου μορφής αλλά παράλληλες με την επιφάνεια του εδάφους. Η τελευταία παρουσιάζει έντονο ανάγλυφο στη συγκεκριμένη θέση και αρκετή υψομετρική διαφορά από τα κατάντι στα ανάντι της πλαγιά του Ελικώνα.

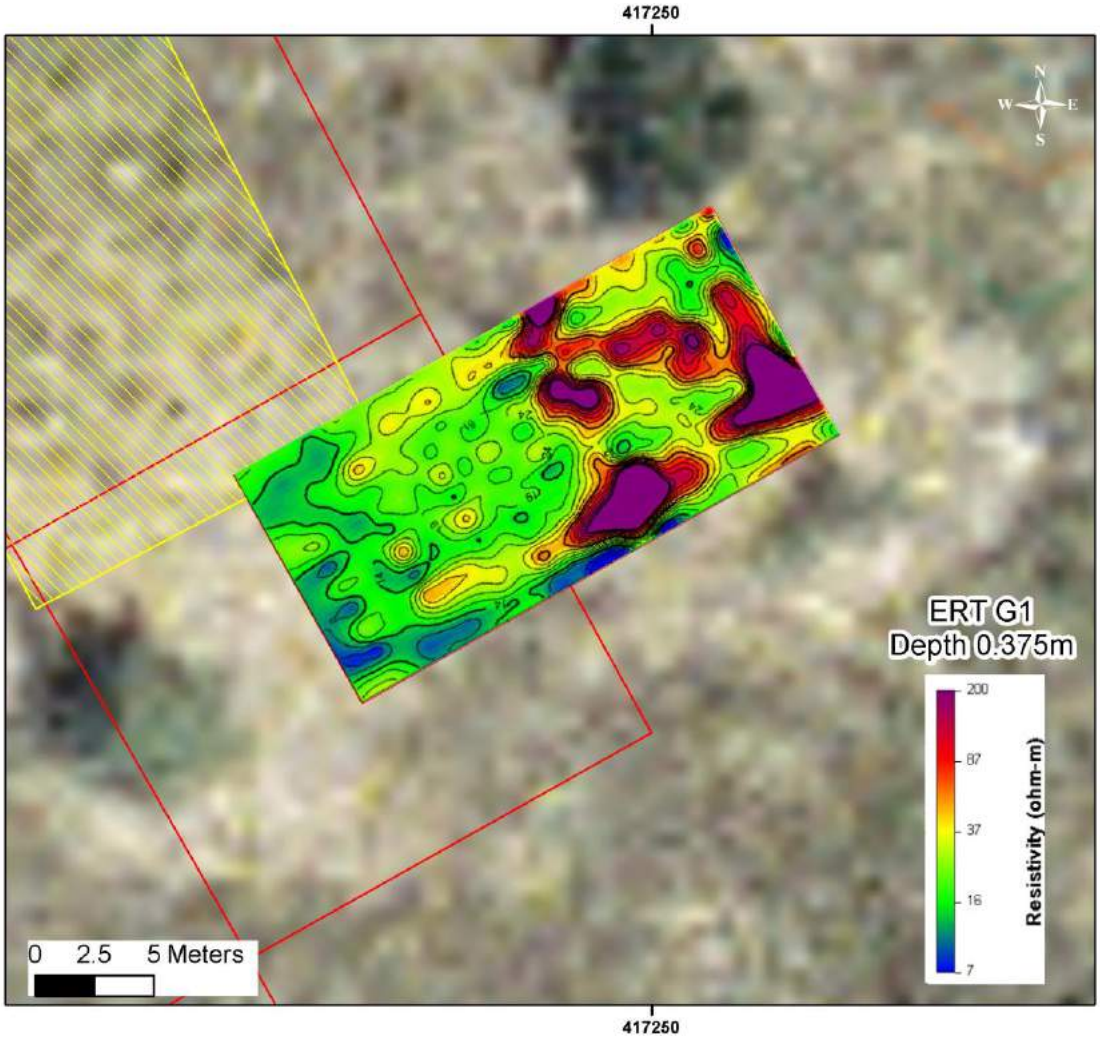
Οι αντιστάσεις διαβαθμίζονται σε κλίμακα που αποδίδεται με τα χρώματα του ουράνιου τόξου. Επομένως, οι αρχαίες υπεδάφιες κατασκευές, αν υπάρχουν στο

υπέδαφος, εμφανίζονται με τα θερμά χρώματα, ως αντιστατικές δομές σε σχέση με το περιβάλλον που τις φιλοξενεί,.

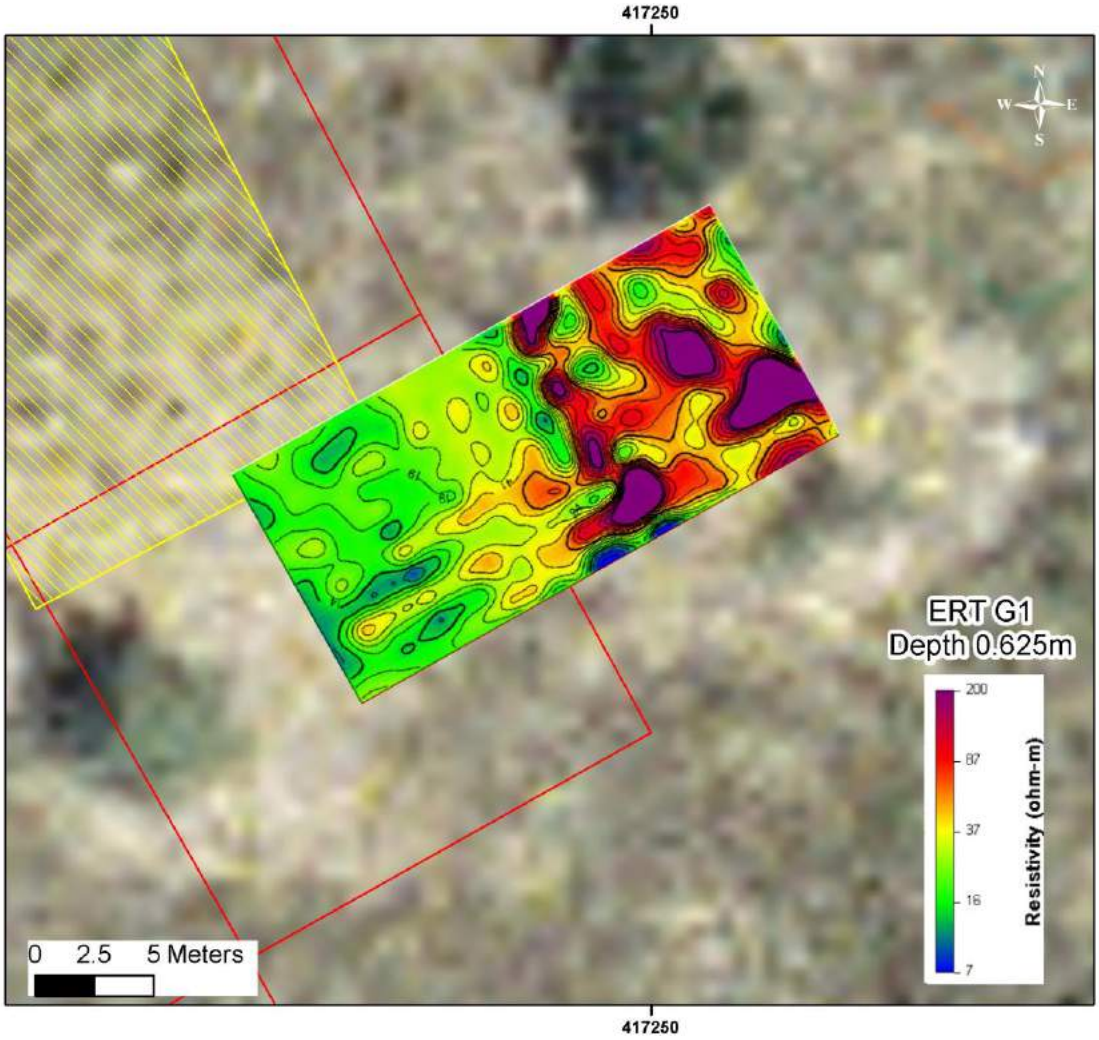
Από τις κατανομές που παρουσιάζονται, αυτές που αναφέρονται στα επιφανειακότερα στρώματα, δηλαδή μέχρι του βάθους του 1 m, παρουσιάζουν πολλές μικρού μήκους κύματος (δηλαδή μικρής έκτασης) θετικές ανωμαλίες. Αυτό ήταν αναμενόμενο λόγω της ισχυρή ανομοιογένειας του εδαφικού καλύμματος το οποίο περιέχει κυλιόλιθους διαφόρων μεγεθών. Όμως, από το βάθος του 1 m και κάτω, εμφανίζονται γραμμικές ανωμαλίες υψηλών, οι οποίες συνδυάζονται και σχηματίζουν καλά ορισμένα ορθογώνια γεωμετρικά σχήματα. Η μορφή των σχημάτων αυτών παραπέμπει σε κάτοψη αρχιτεκτονικών στοιχείων και ακριβώς αυτό το γεγονός μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι ανωμαλίες αντανακλούν την ύπαρξη τέτοιων στο υπέδαφος. Επειδή δε, ο κάνναβος των τομογραφιών εκτείνεται κατά το ήμισυ σε σχετικά επίπεδο τμήμα και κατά το ήμισυ σε κεκλιμένο έδαφος, πιστεύουμε ότι από τις υπεδάφιες αντιστατικές δομές που απεικονίζονται στα σχήματα, μερικές σχετίζονται πιθανά με την αρχαία σκηνή και άλλες με αναλλληματικά στοιχεία.

Μία από τις ανωμαλίες αυτές καλύπτει όλο σχεδόν το πλάτος του το βορειοανατολικό άκρο καννάβου των τομογραφιών. Προεξάρχει δε όλων των άλλων ανωμαλιών για βάθη μεγαλύτερα των 2.5. Η όποια δομή προκαλεί αυτή ανωμαλία δεν παρουσιάζει καμιά ένδειξη στην επιφάνεια του εδάφους.

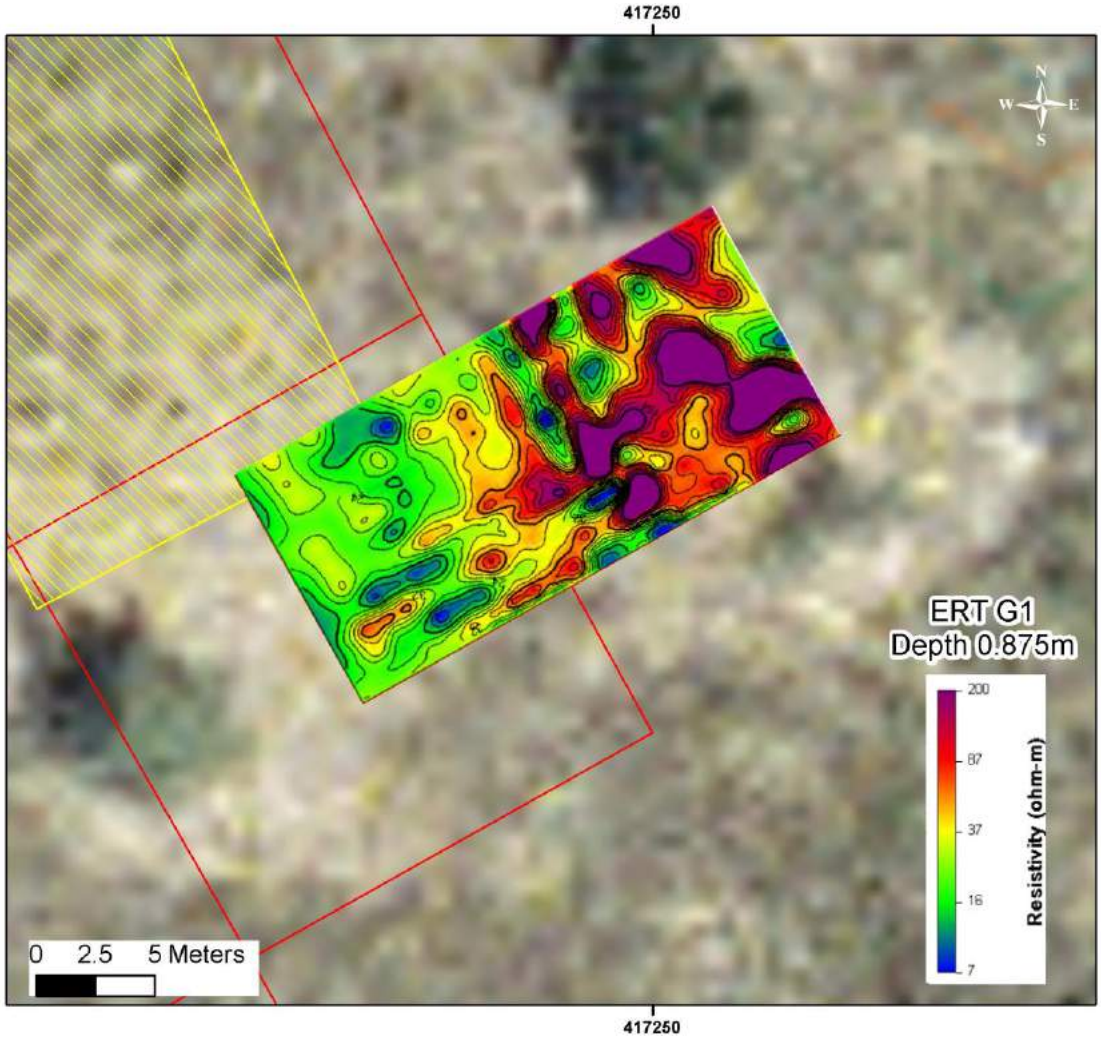
Οι κύριες επιμήκεις ανωμαλίες ευθυγραμμίζονται ΒΒΔ-ΝΝΑ και προφανώς κατά την κάθετο στη διεύθυνση αυτή, εφ' όσον σχηματίζονται ορθές γωνίες. Γενικά, οι κατευθύνσεις αυτές συμφωνούν με την εικαζόμενη χωροταξία του αρχαίου θεάτρου, με την κατεύθυνση των ορατών σπαραγμάτων τοιχοποιίας (Πέππας, 2007), αλλά και με τις φωτογραφίες και τα περιορισμένα σχέδια από την ανασκαφή που διεξήγαγε τον 19^{ο} αιώνα η Γαλλική Αρχαιολογική Σχολής των Αθηνών (www.hsiodos.gr).



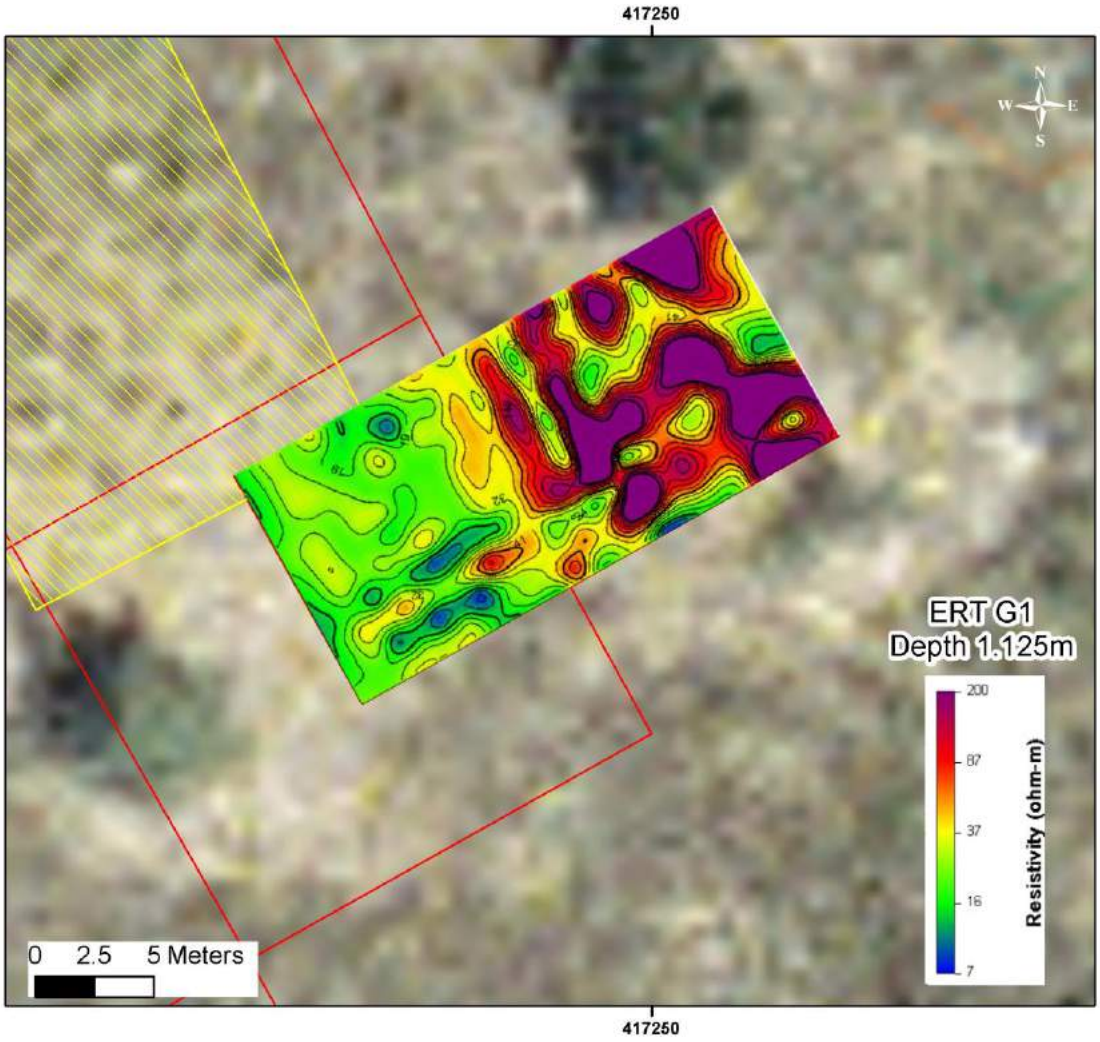
Σχ. 4.3.1.1. Κατανομή της ηλεκτρικής αντίστασης σε επιφάνεια παράλληλη με το έδαφος σε απόσταση από αυτό περίπου 0.38 m στη θέση G1. Οι υψηλές τιμές της ηλεκτρικής αντίστασης απεικονίζονται με θερμά χρώματα.



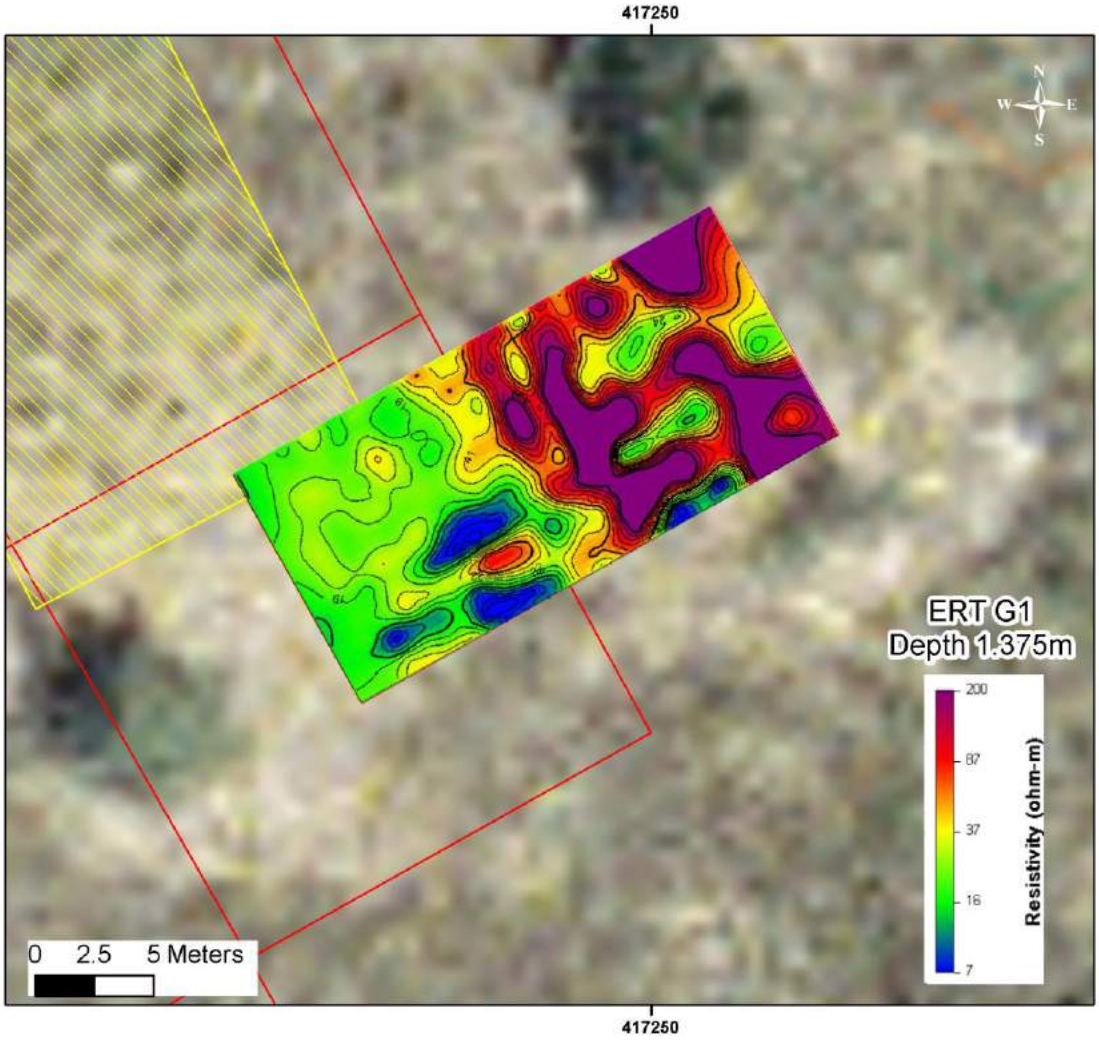
Σχ. 4.3.1.2. Κατανομή της ηλεκτρικής αντίστασης σε επιφάνεια παράλληλη με το έδαφος σε απόσταση από αυτό περίπου 0.63 m στη θέση G1.



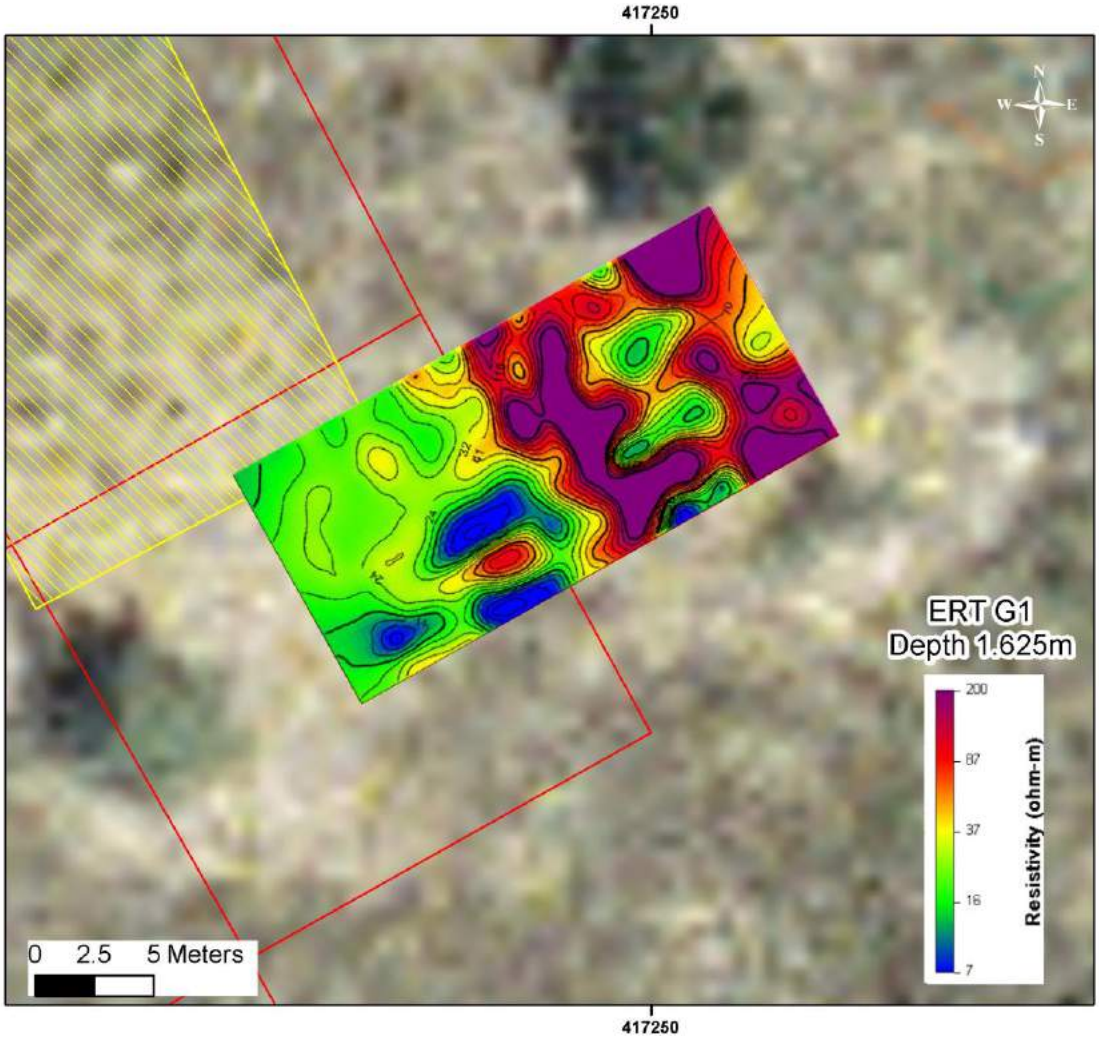
Σχ. 4.3.1.3. Κατανομή της ηλεκτρικής αντίστασης σε επιφάνεια παράλληλη με το έδαφος σε απόσταση από αυτό περίπου 0.88 m στη θέση G1.



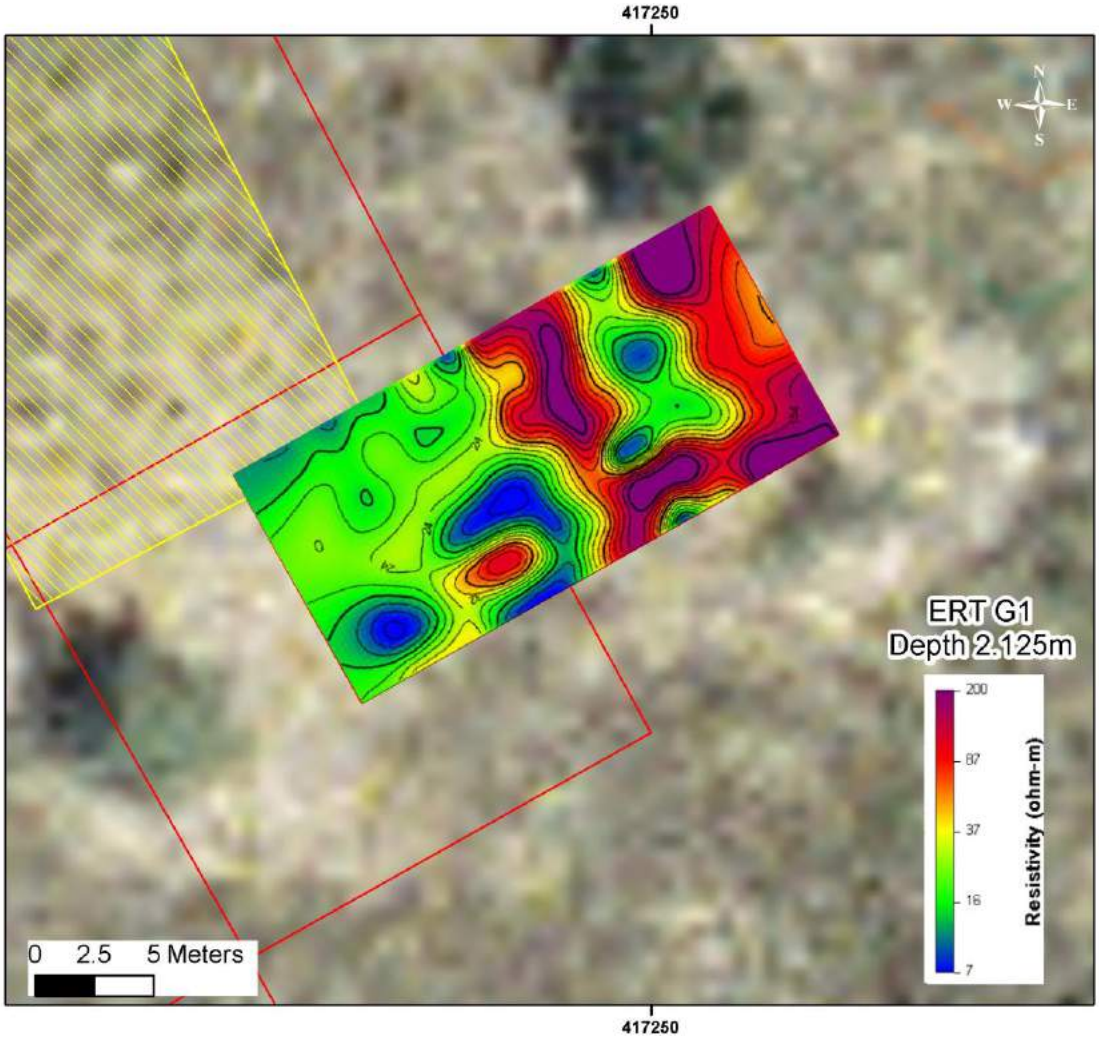
Σχ. 4.3.1.4. Κατανομή της ηλεκτρικής αντίστασης σε επιφάνεια παράλληλη με το έδαφος σε απόσταση από αυτό περίπου 1.13 m στη θέση G1.



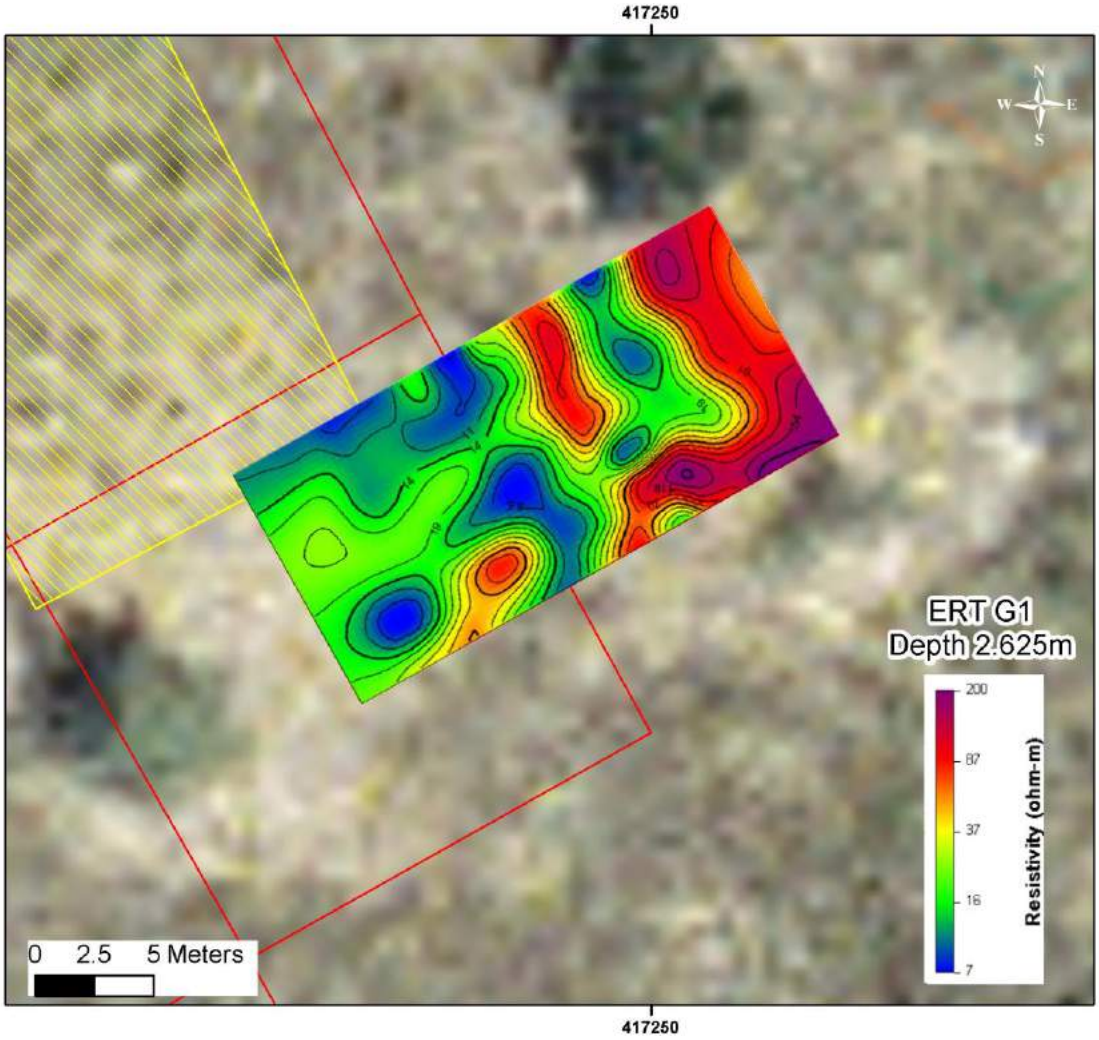
Σχ. 4.3.1.5. Κατανομή της ηλεκτρικής αντίστασης σε επιφάνεια παράλληλη με το έδαφος σε απόσταση από αυτό περίπου 1.38 m στη θέση G1.



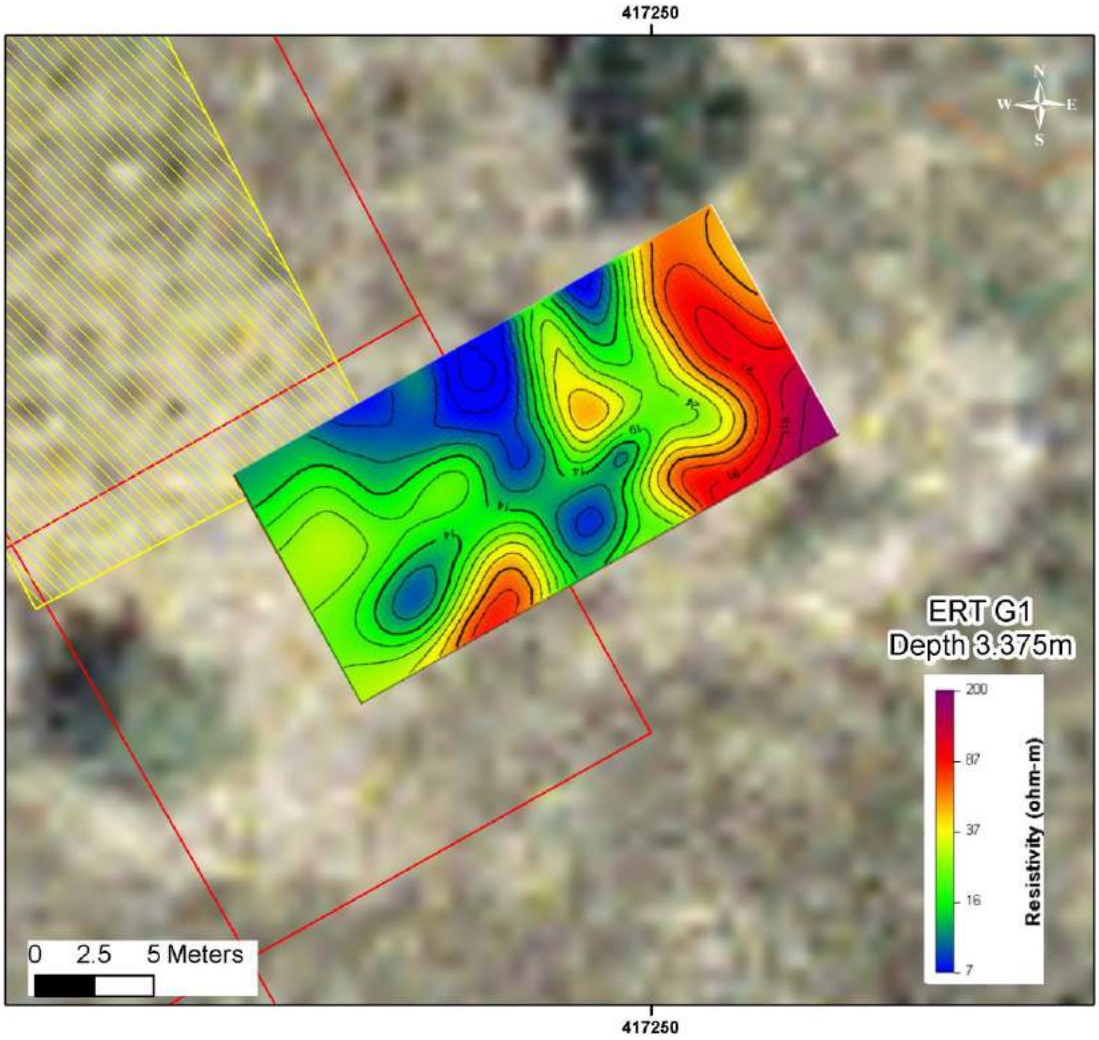
Σχ. 4.3.1.6. Κατανομή της ηλεκτρικής αντίστασης σε επιφάνεια παράλληλη με το έδαφος σε απόσταση από αυτό περίπου 1.63 m στη θέση G1.



Σχ. 4.3.1.7. Κατανομή της ηλεκτρικής αντίστασης σε επιφάνεια παράλληλη με το έδαφος σε απόσταση από αυτό περίπου 2.13 m στη θέση G1.

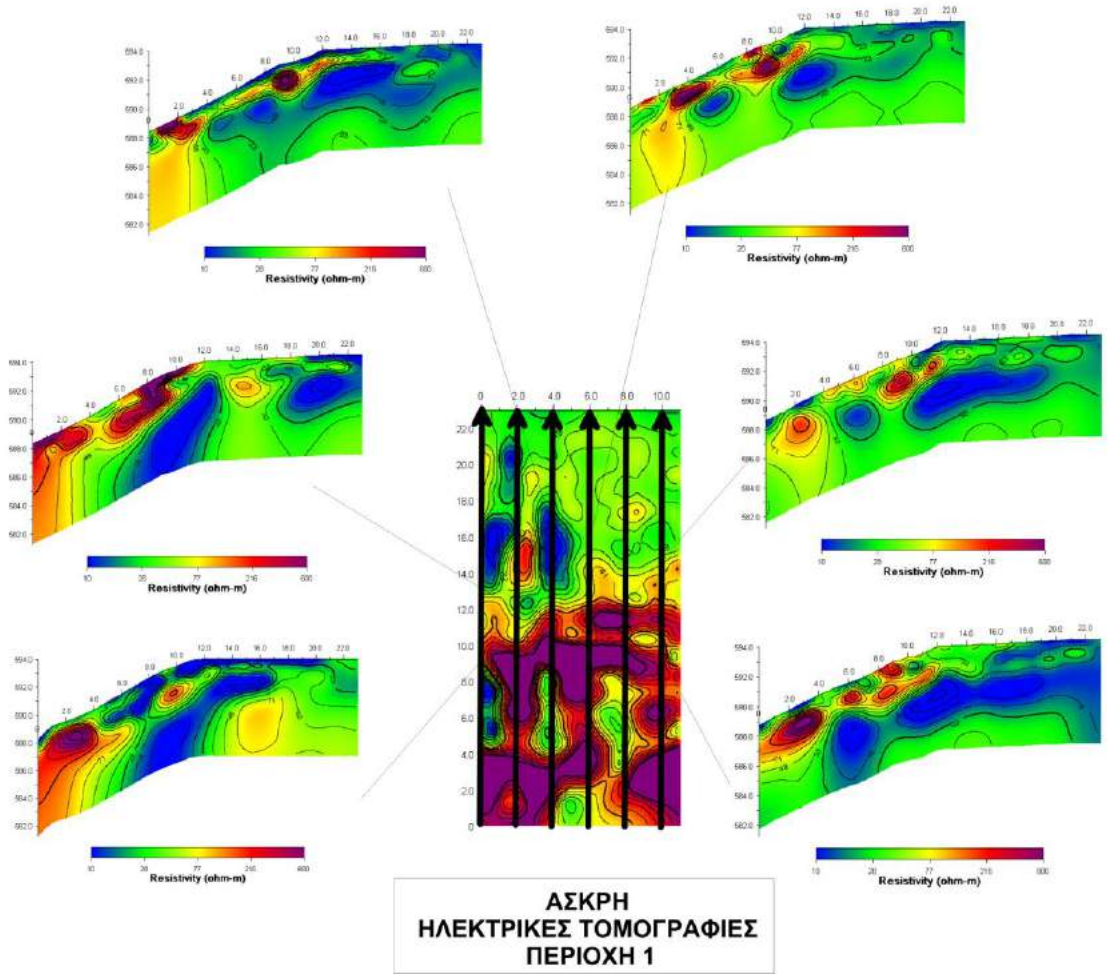


Σχ. 4.3.1.8. Κατανομή της ηλεκτρικής αντίστασης σε επιφάνεια παράλληλη με το έδαφος σε απόσταση από αυτό περίπου 2.63 m στη θέση G1.



Σχ. 4.3.1.9. Κατανομή της ηλεκτρικής αντίστασης σε επιφάνεια παράλληλη με το έδαφος σε απόσταση από αυτό περίπου 3.38 m στη θέση G1.

Τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από τη μελέτη των τομών σε σταθερό βάθος από την επικλινή επιφάνεια του εδάφους ενισχύονται και από την μελέτη των κατακόρυφων απεικονίσεων της κατανομής των αντιστάσεων. Το σχήμα (4.3.1.10) δείχνει κάποιες από τις κατακόρυφες τομογραφίες. Η θέση τους σημειώνεται με πεπλατυσμένη μαύρη γραμμή πάνω στην τομή την παράλληλη με το έδαφος σε βάθος 1.13 m.



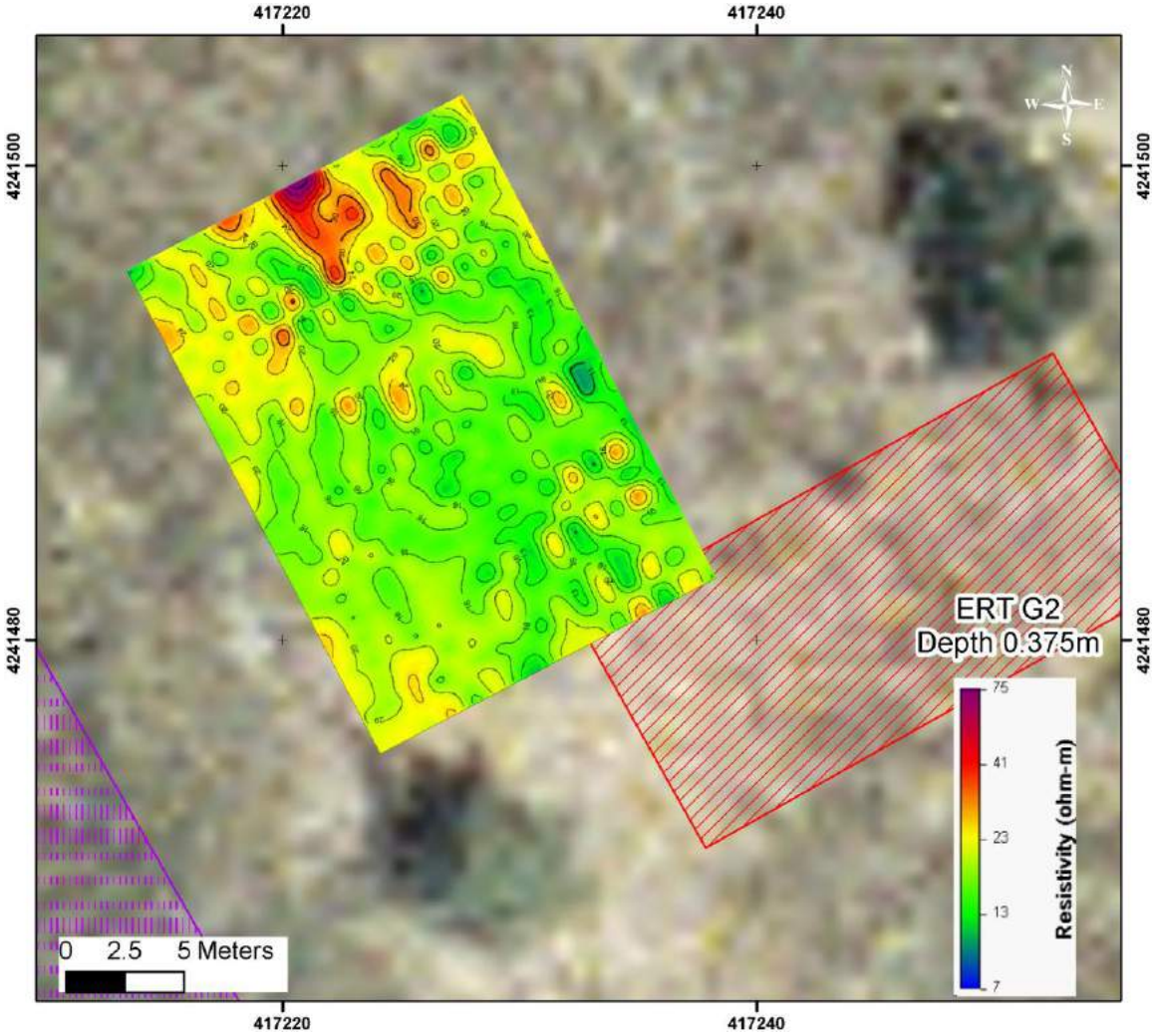
Σχ. 4.3.1.10. Κατανομή της ηλεκτρικής αντίστασης σε κατακόρυφες τομές που ταυτίζονται με τις γραμμές, κατά μήκος των οποίων μετρήθηκαν οι τομογραφίες. Ως υπόβαθρο και αναφορά χρησιμοποιείται η οριζόντια κατανομή των αντιστάσεων σε επιφάνεια παράλληλη της επιφάνειας του εδάφους σε απόσταση 1.13 m από αυτό.

4.3.2 Θέση G2

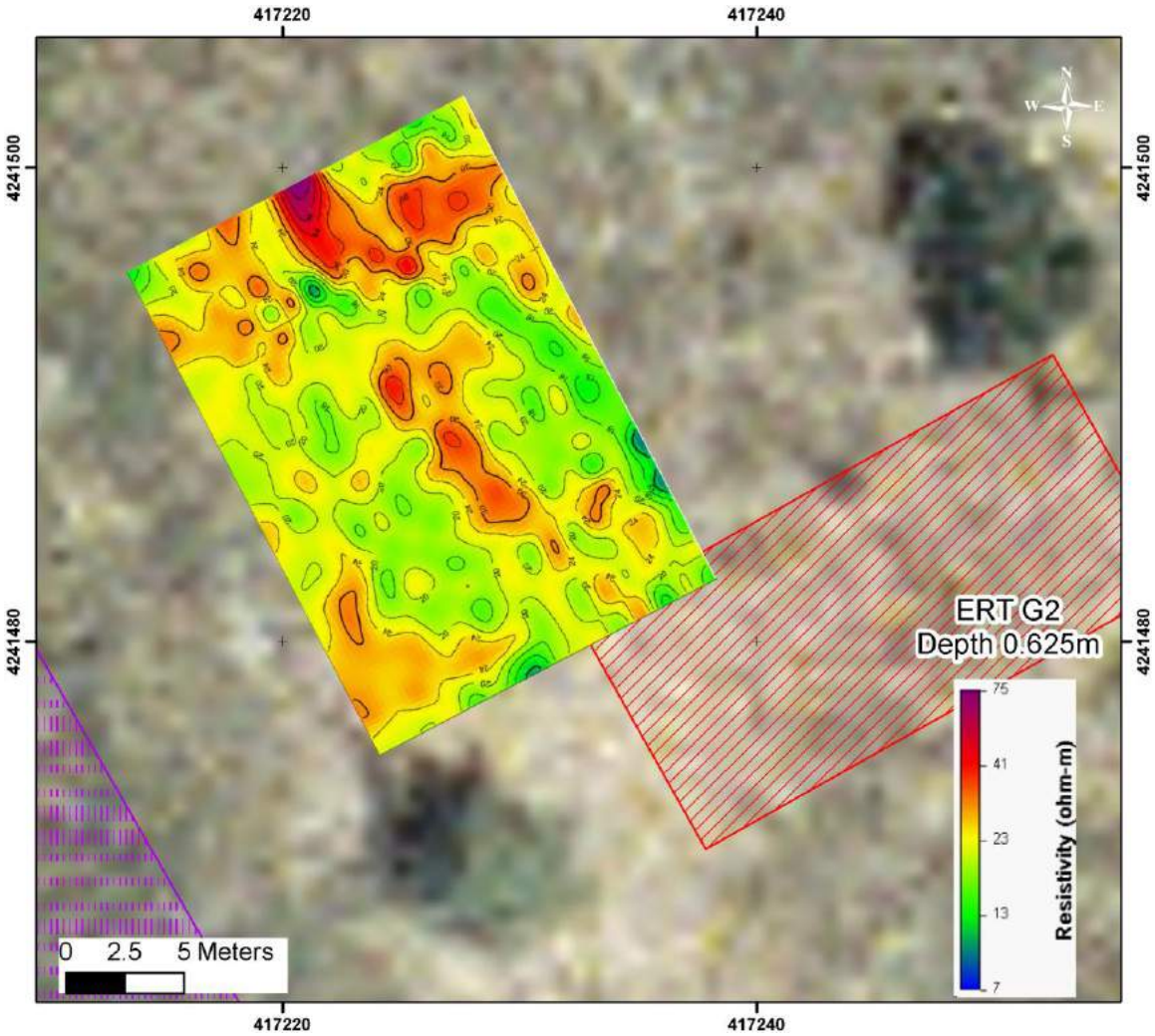
Στο σχήμα (4.3.2.1) έως (4.3.2.10) φαίνονται τα αποτελέσματα της αντιστροφής των τομογραφικών δεδομένων σε μορφή οριζόντιων τομών βάθους. Δηλαδή, οι τομές αυτές δείχνουν την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για βάθος περίπου 0.38, 0.63, 0.88, 1.13, 1.38, 1.63, 1.88, 2.13, 2.63 και 3.13 m αντίστοιχα.

Είναι φανερό ότι, από το βάθος του 1.0 m εμφανίζονται ανωμαλίες υψηλών αντιστάσεων. Η προεξάρχουσα παρουσιάζει ευθυγράμμιση κατά τη διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ και συνοδεύεται από άλλες μικρότερης έκτασης αλλά με την ίδια κατεύθυνση. Φαίνεται μάλιστα ότι αυτή η μεγάλου μήκους ανωμαλία συνεχίζεται για βάθος μεγαλύτερο των 2 m. Η υπεδάφια αντιστατική δομή που προκαλεί αυτό το φαινόμενο μπορεί να είναι κάποια αρχαία κατασκευή που πιθανά να σχετίζεται με το θέατρο. Βέβαια, τέτοιου είδους ανωμαλία θα περίμενε κανείς και από κάποιο θαμμένο λιθοσωρό ή θαμμένη ξερολιθιά. Επιπλέον, μπορεί και φυσικά φαινόμενα να έχουν δημιουργήσει μια υπεδάφια επιμήκη αντιστατική δομή ή οποία να προκαλέσει την ανωμαλία που παρατηρούμε.

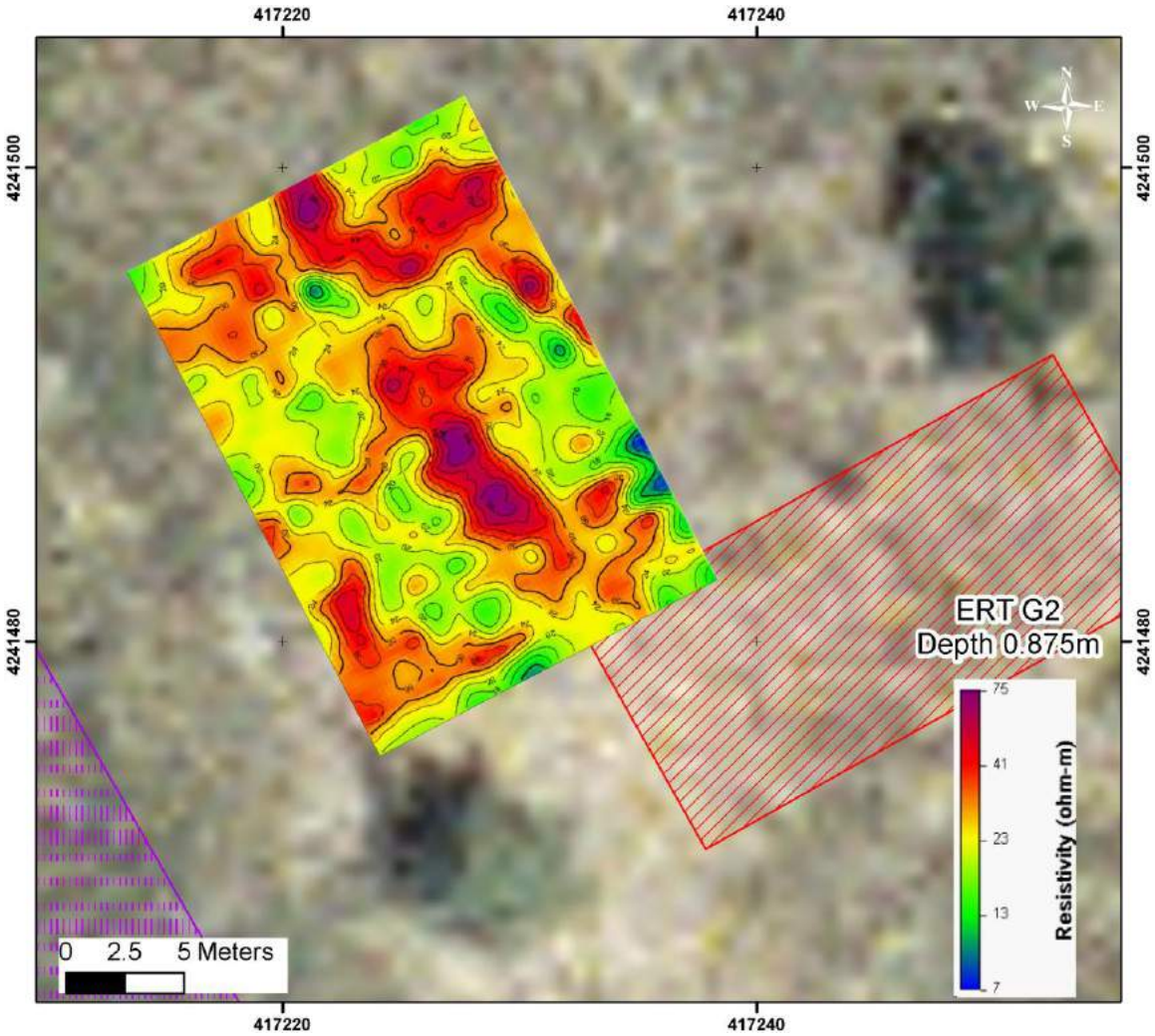
Τα ίδια συμπεράσματα εξάγονται και από την πλήρη τρισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής των αντιστάσεων που παρουσιάζεται στα σχήματα (4.3.2.11) και (4.3.2.12).



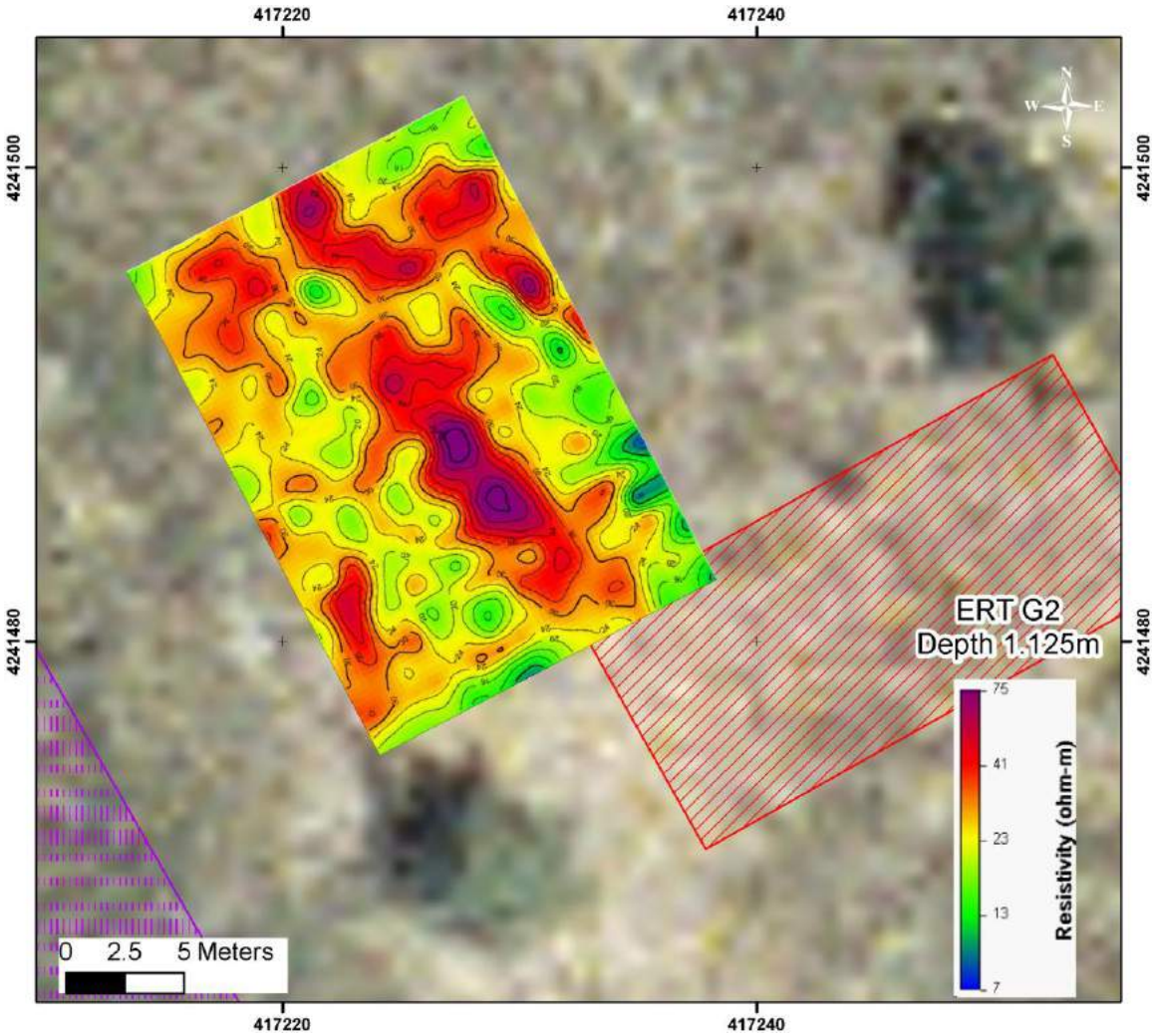
Σχ. 4.3.2.1. Κατανομή της ηλεκτρικής αντίστασης σε οριζόντια τομή (φέτα) του εδάφους για βάθος περίπου 0.38 m στη θέση G2. Οι υψηλές τιμές της ηλεκτρικής αντίστασης απεικονίζονται με θερμά χρώματα.



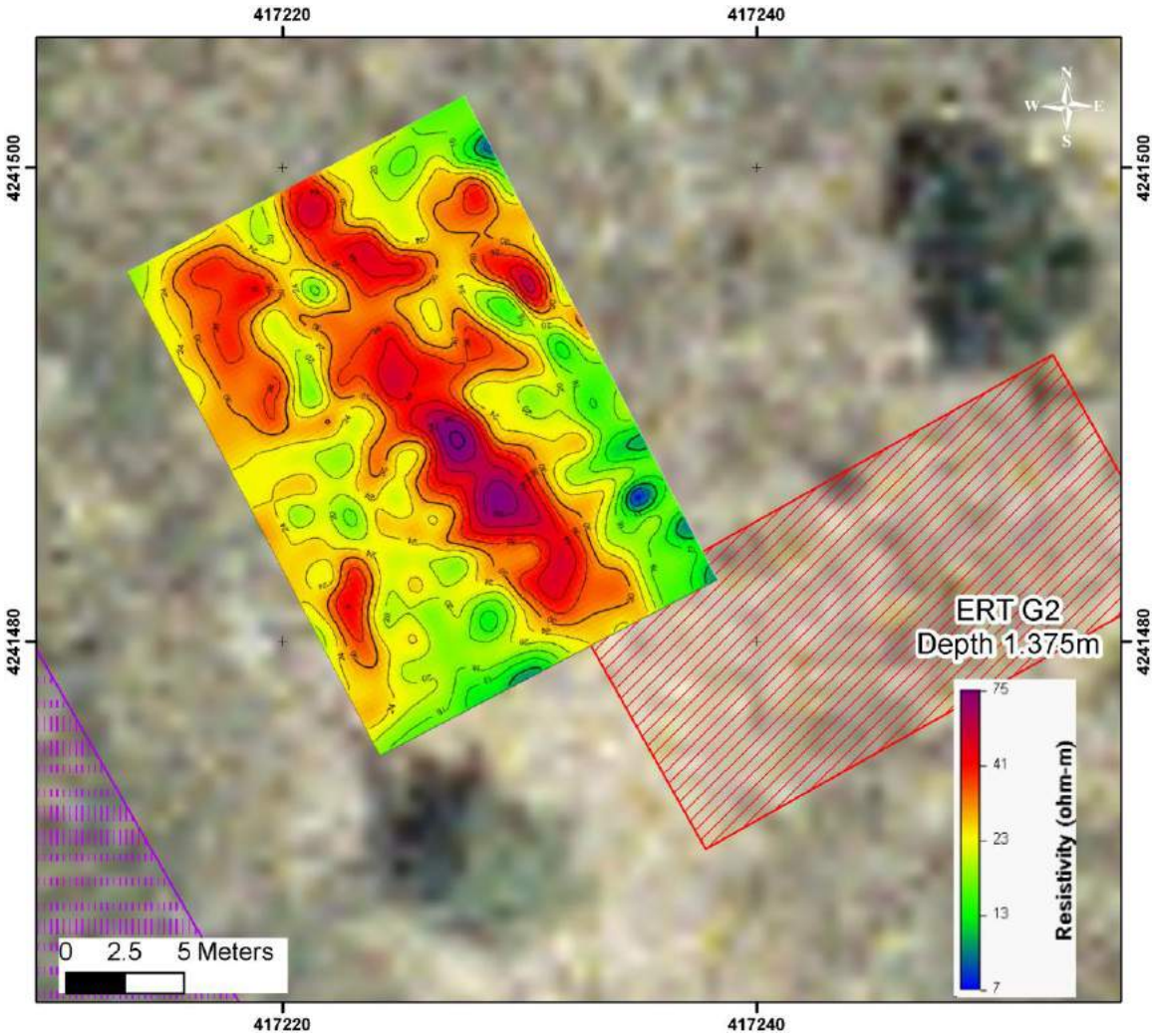
Σχ. 4.3.2.2. Κατανομή της ηλεκτρικής αντίστασης σε οριζόντια τομή (φέτα) του εδάφους για βάθος περίπου 0.63 m στη θέση G2.



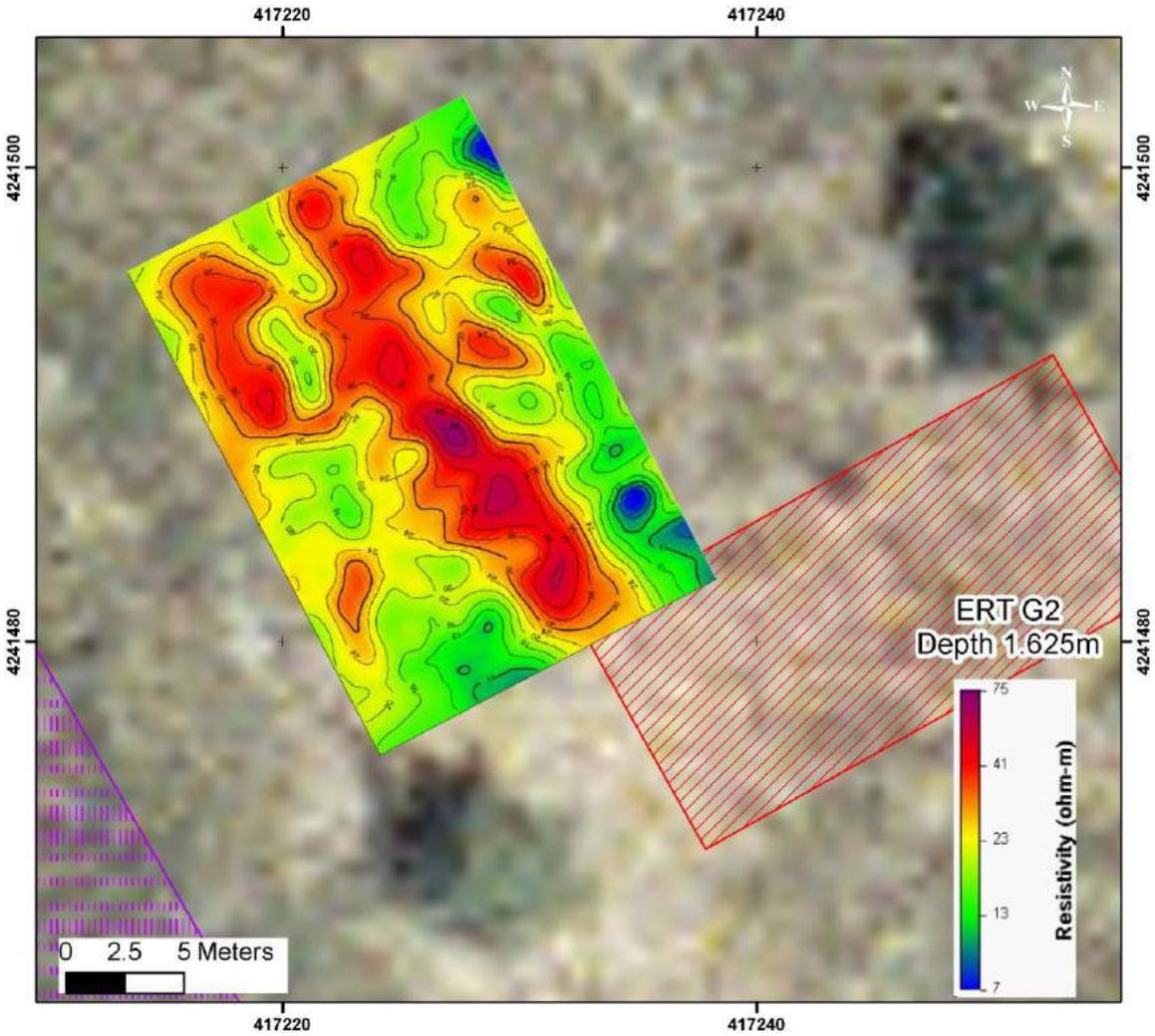
Σχ. 4.3.2.3. Κατανομή της ηλεκτρικής αντίστασης σε οριζόντια τομή (φέτα) του εδάφους για βάθος περίπου 0.88 m στη θέση G2.



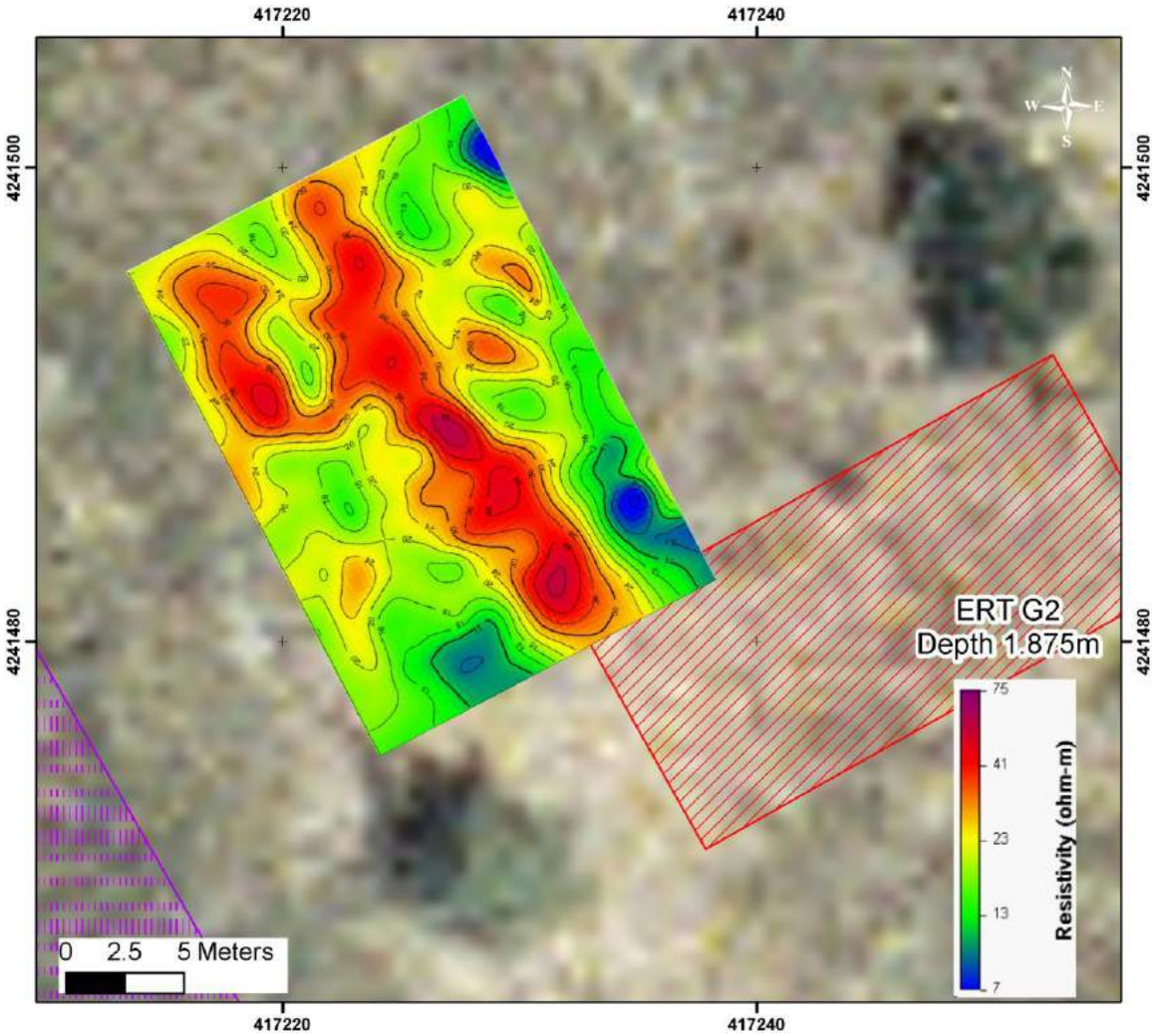
Σχ. 4.3.2.4. Κατανομή της ηλεκτρικής αντίστασης σε οριζόντια τομή (φέτα) του εδάφους για βάθος περίπου 1.13 m στη θέση G2.



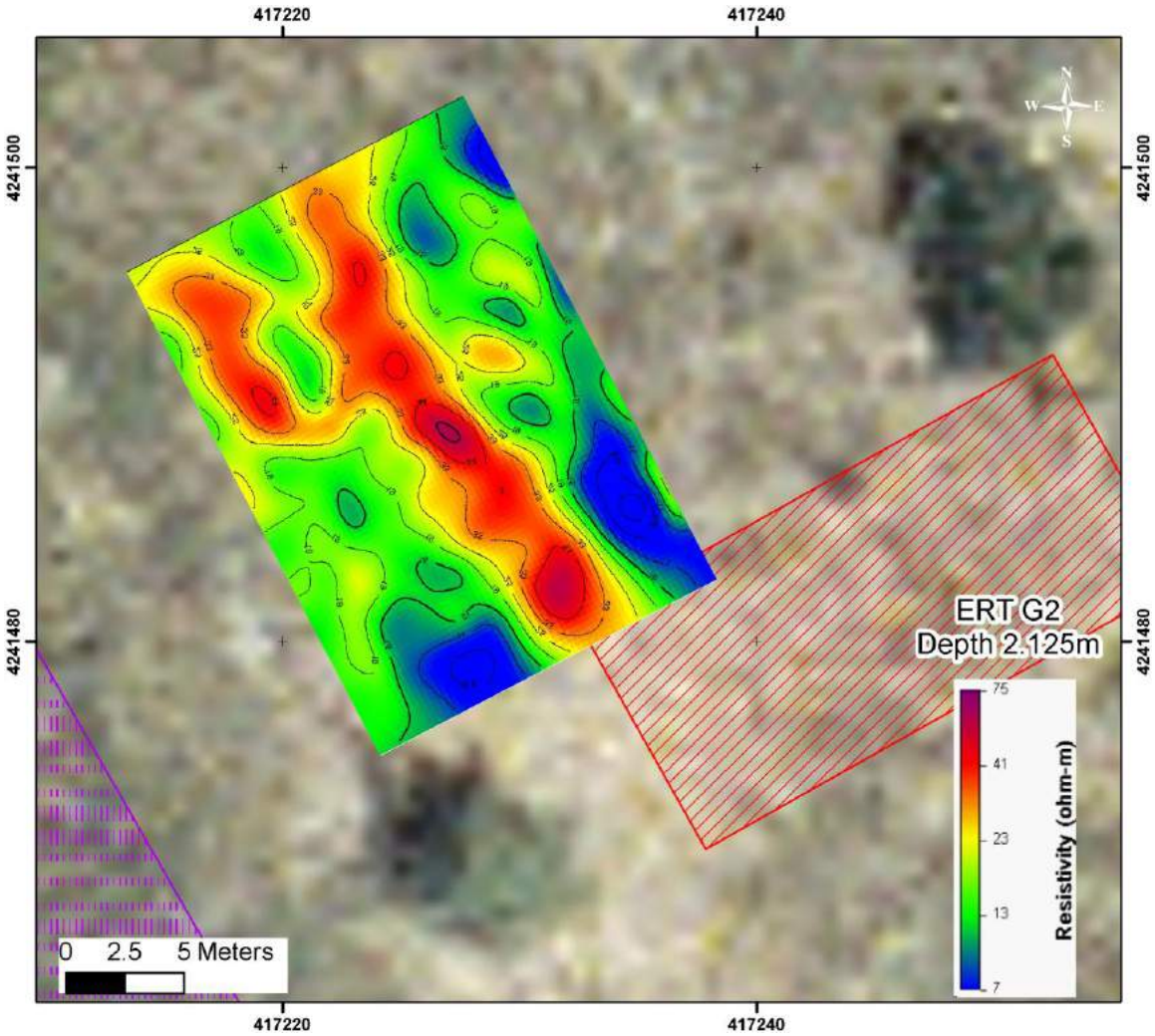
Σχ. 4.3.2.5. Κατανομή της ηλεκτρικής αντίστασης σε οριζόντια τομή (φέτα) του εδάφους για βάθος περίπου 1.38 m στη θέση G2.



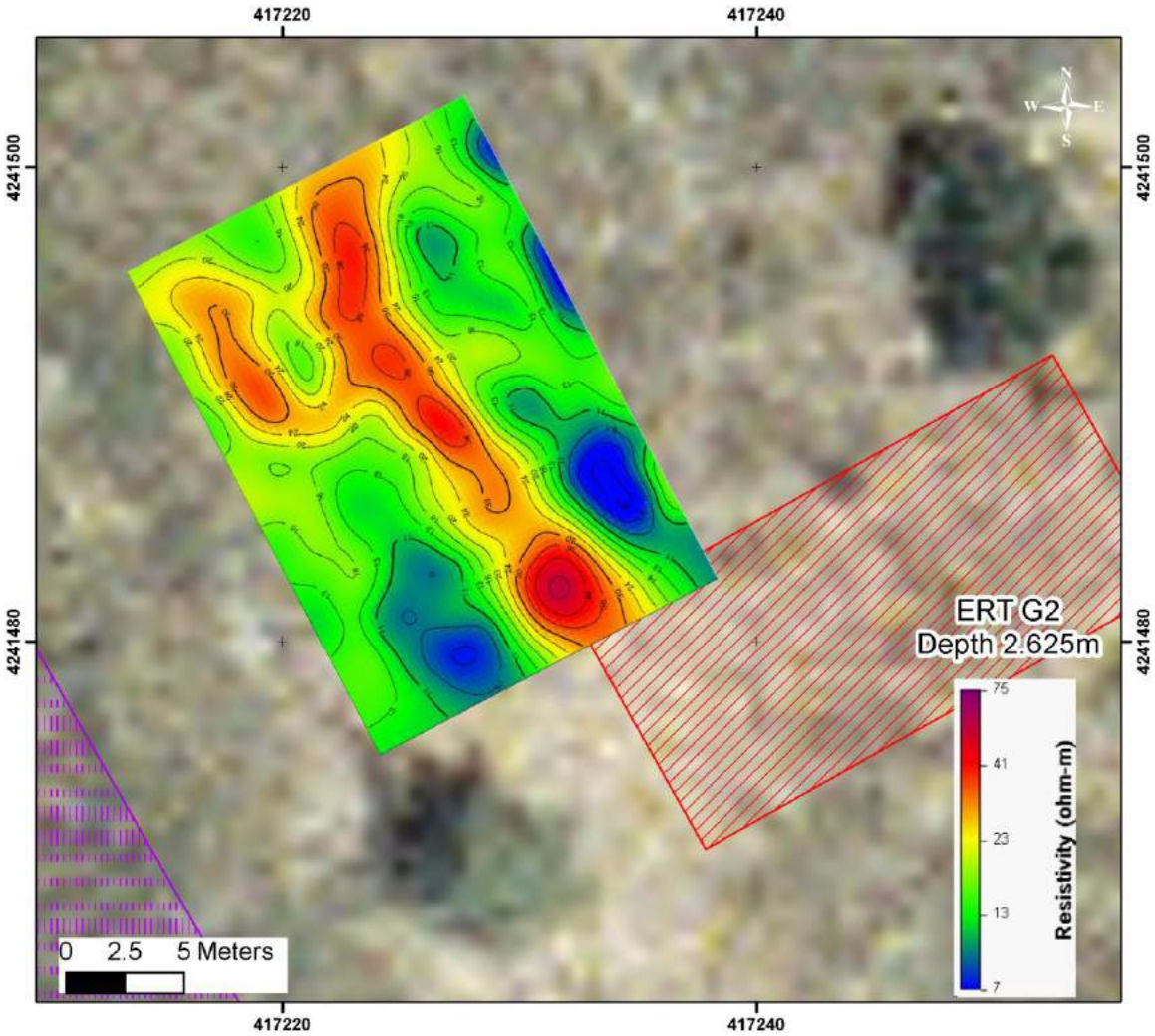
Σχ. 4.3.2.6. Κατανομή της ηλεκτρικής αντίστασης σε οριζόντια τομή (φέτα) του εδάφους για βάθος περίπου 1.63 m στη θέση G2.



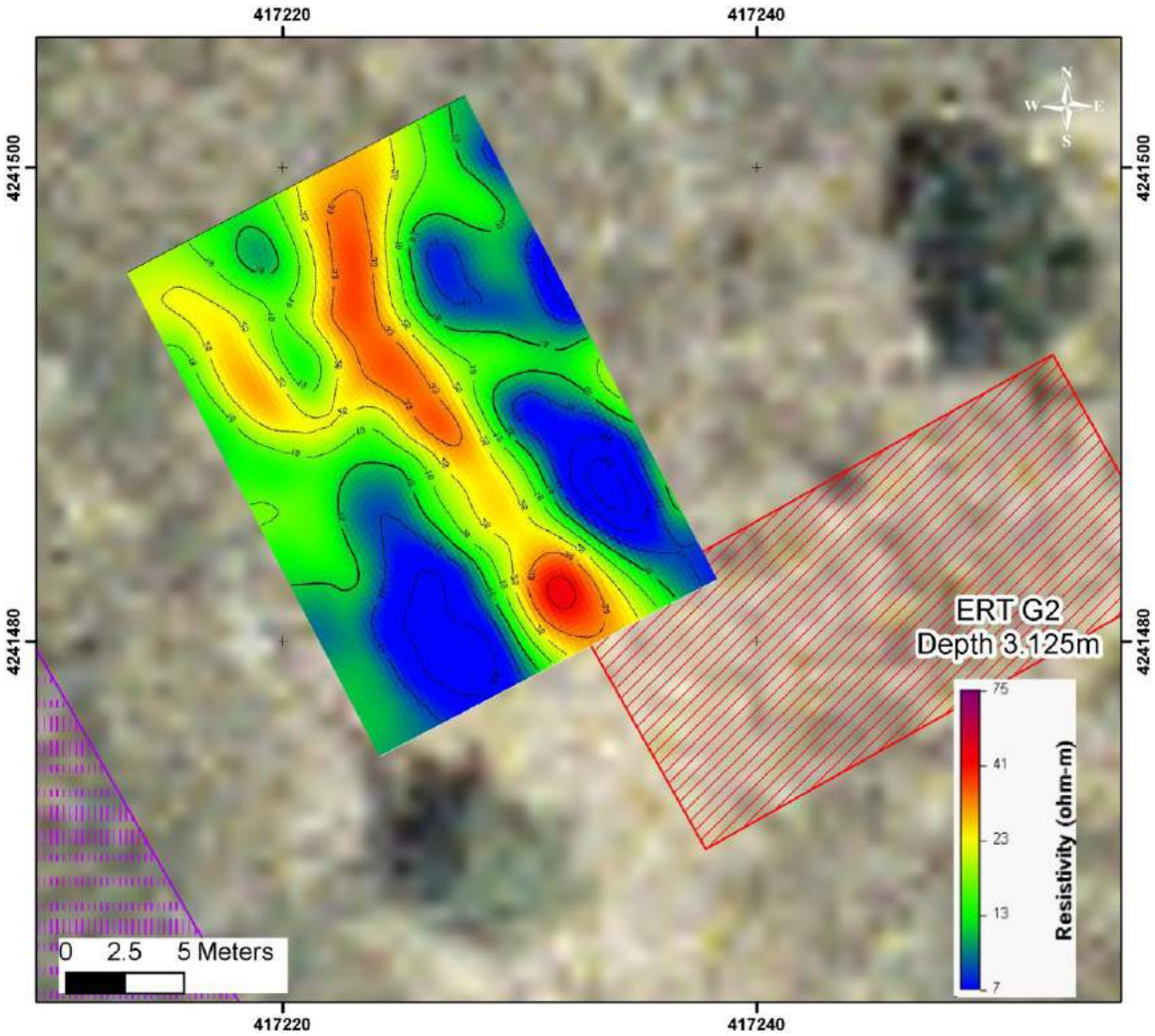
Σχ. 4.3.2.7. Κατανομή της ηλεκτρικής αντίστασης σε οριζόντια τομή (φέτα) του εδάφους για βάθος περίπου 1.88 m στη θέση G2.



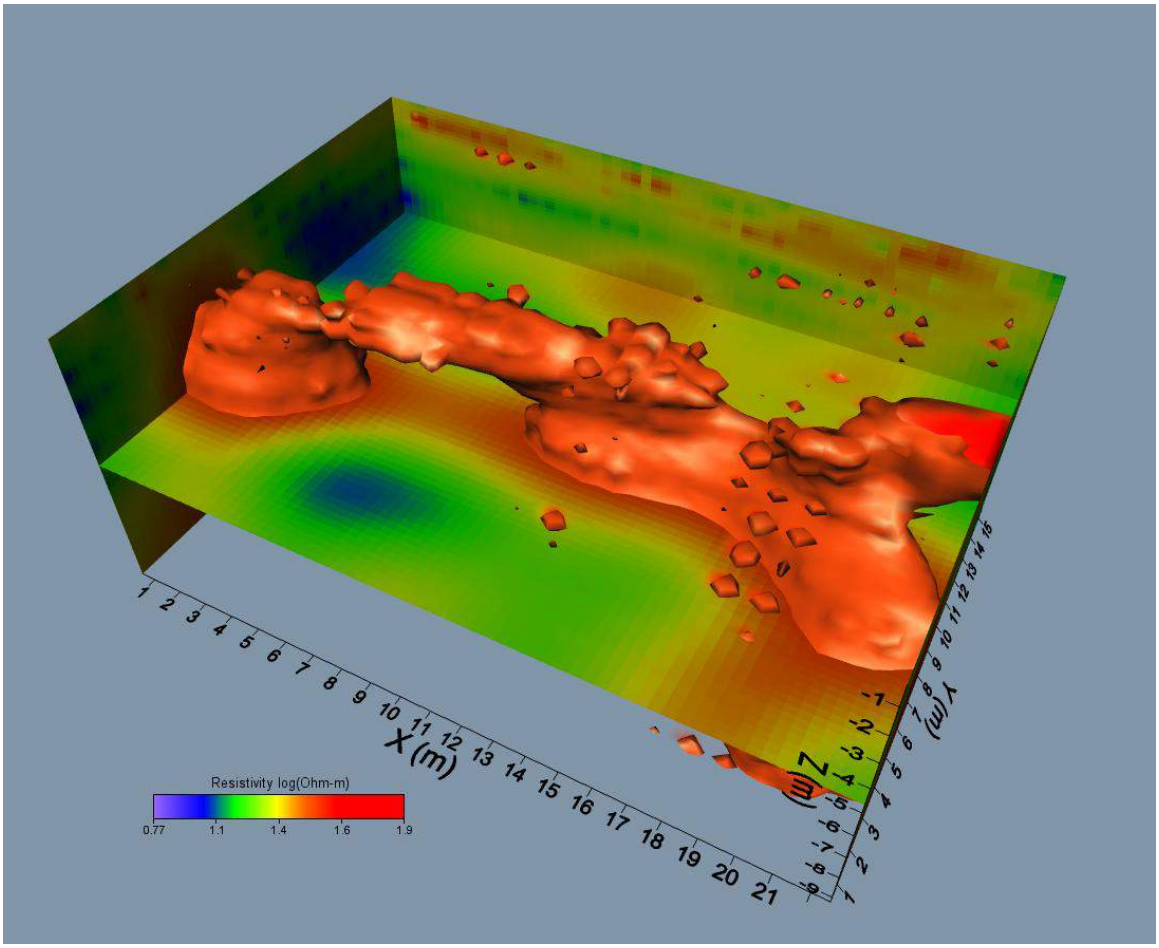
Σχ. 4.3.2.8. Κατανομή της ηλεκτρικής αντίστασης σε οριζόντια τομή (φέτα) του εδάφους για βάθος περίπου 2.13 m στη θέση G2.



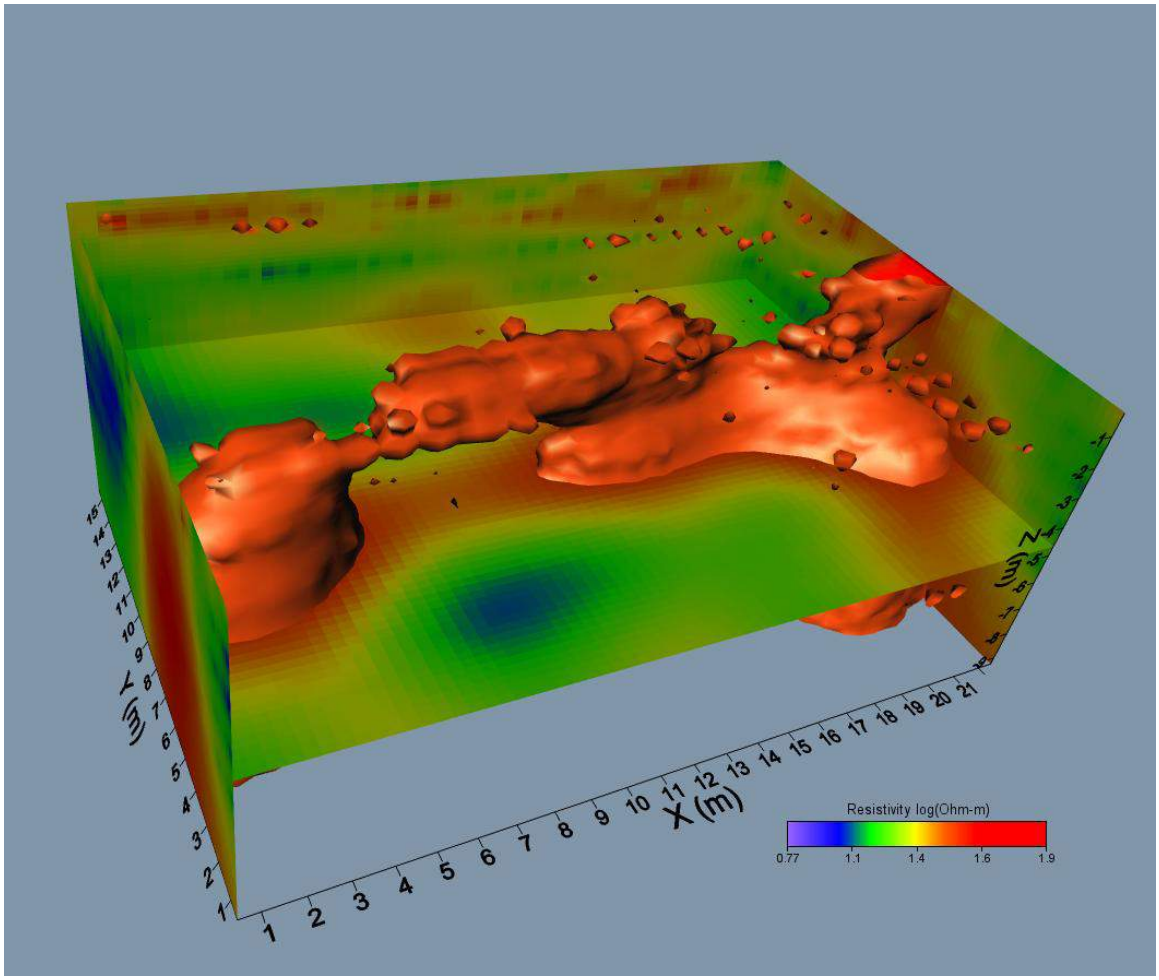
Σχ. 4.3.2.9. Κατανομή της ηλεκτρικής αντίστασης σε οριζόντια τομή (φέτα) του εδάφους για βάθος περίπου 2.63 m στη θέση G2.



Σχ. 4.3.2.10. Κατανομή της ηλεκτρικής αντίστασης σε οριζόντια τομή (φέτα) του εδάφους για βάθος περίπου 3.13 m στη θέση G2.



Σχ. 4.3.2.11. Τρισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής των ειδικών αντιστάσεων στη θέση Β.



Σχ. 4.3.2.12. Τρισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής των ειδικών αντιστάσεων στη θέση Β από διαφορετική γωνία απ' ότι στο προηγούμενο σχήμα.

4.3.3 Θέση G3

Σε αντιστοιχία με την παρουσίαση των αποτελεσμάτων των προηγουμένων περιοχών, οι οριζόντιες τομές που δείχνουν την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για διάφορα βάθη δίνονται στα σχήματα (4.3.3.1) έως (4.3.3.9).

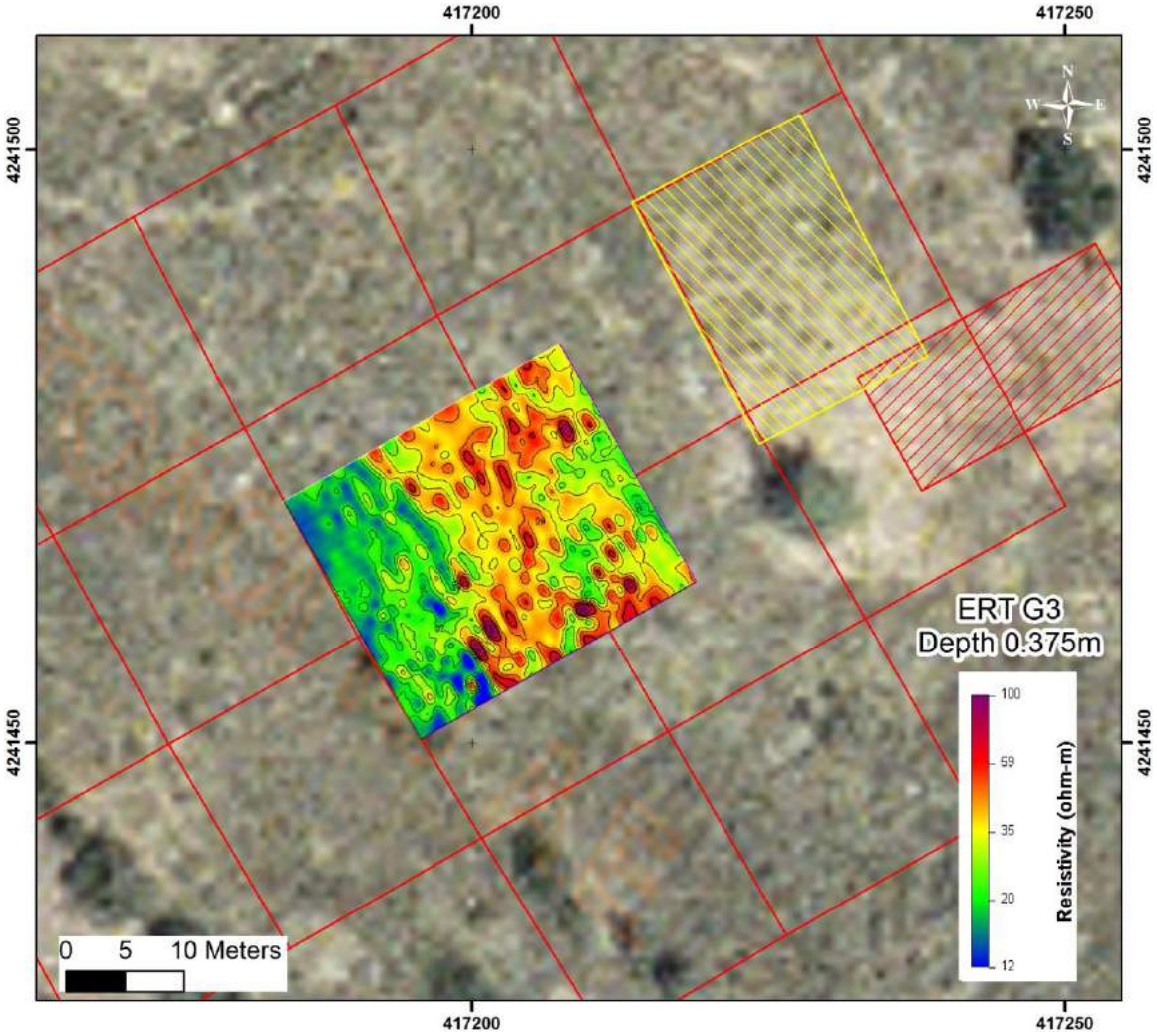
Η επιφανειακότερη οριζόντια τομή, δηλαδή αυτή για βάθος περίπου) 0.4 m (για την ακρίβεια 0.375 m) δείχνει διάσπαρτες ανωμαλίες υψηλών αντιστάσεων οι οποίες προφανώς αντανακλούν την ύπαρξη ατάκτως εριμμένων λίθων μέσα στο αργιλλικό εδαφικό κάλυμμα. Πρόκειται μάλλον για την ηλεκτρική υπογραφή κυλιόλιθων που βρίσκονται θαμμένοι ρηχά, αφού το φαινόμενο παρατηρείται εκτεταμένα και στην επιφάνεια του εδάφους.

Όμως, από τα 0.625 m και βαθύτερα, εμφανίζεται μια γραμμική ανωμαλία που προεξάρχει των άλλων και η οποία έχει διεύθυνση περίπου ΒΒΑ-ΝΝΔ. Στις αμέσως βαθύτερες οριζόντιες τομές, η εν λόγω ανωμαλία αποκτά μεγαλύτερη έκταση και εντονότερα θετικές τιμές. Από το βάθος των 1.625 m και εντεύθεν δεν εμφανίζεται καθόλου. Επομένως, η ηλεκτρική δομή που την προκαλεί δεν υπάρχει βαθύτερα από το σημείο αυτό. Λόγω της γραμμικότητάς της, αλλά και γιατί ευρίσκεται σε συγκεκριμένη θέση, η ανωμαλία αυτή έχει πιθανότητες να οφείλεται αρχαία δομή. Σημειωτέον ότι, στην συγκεκριμένη θέση υπάρχουν ανωμαλίες και στην εικόνα που απέδωσε η ηλεκτρική χαρτογράφηση (σχ. 3.2.1 έως 3.2.4).

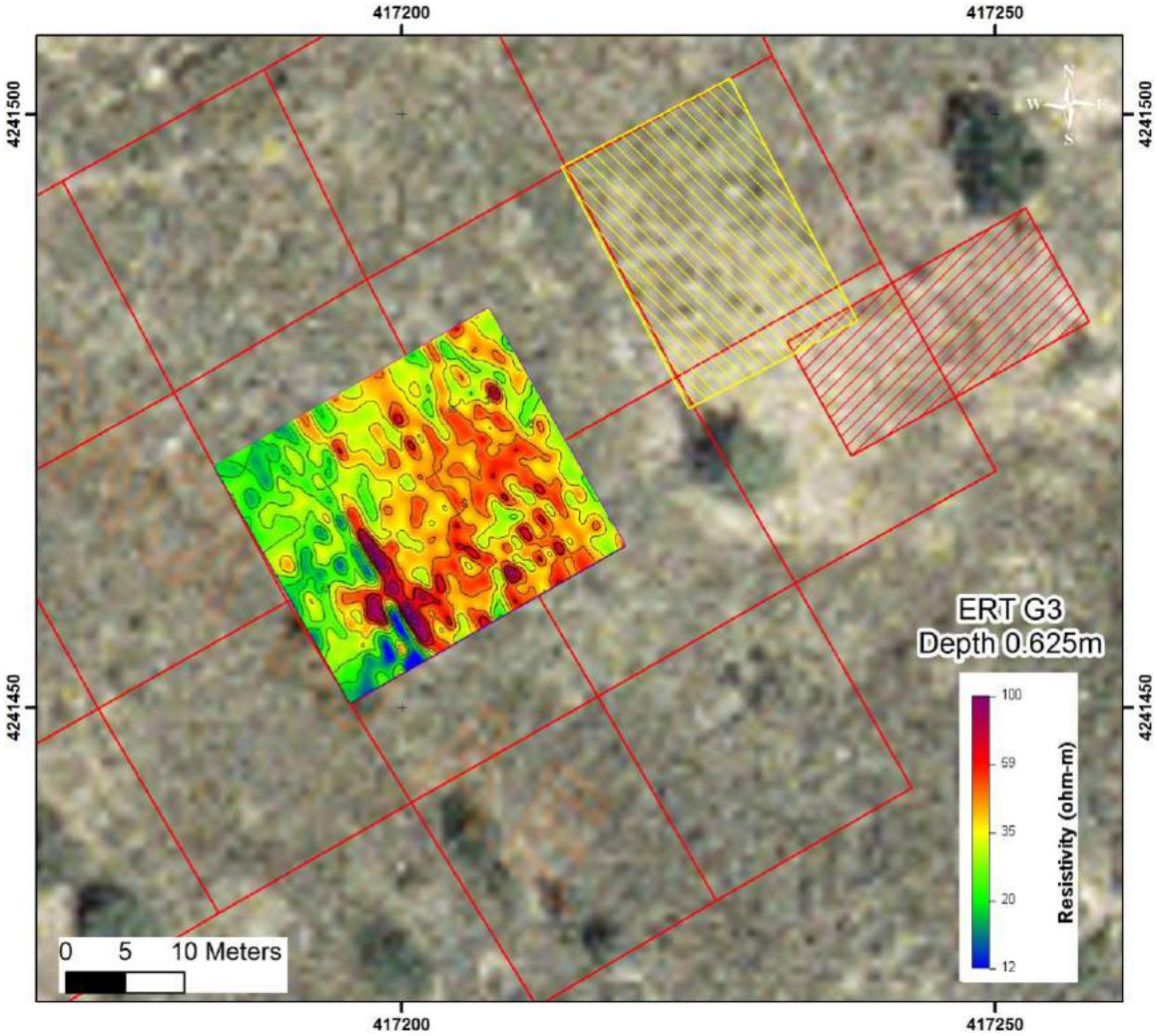
Ανατολικά της ανωμαλία που σχολιάστηκε προηγούμενα, στο βάθος περίπου του 1.0 m (οριζόντιες τομές για 0.625 m και 1.125 m) φαίνεται πλήθος θετικών ανωμαλιών οι οποίες έχουν ακαθόριστο σχήμα. Το γεγονός αυτό αλλά και το ότι η θέση τους δε φαίνεται να παρουσιάζει κάποια συστηματικότητα, μας οδηγεί στην υπόθεση ότι πιο πιθανό είναι να οφείλονται σε κυλιόλιθους, απ' ότι σε σπαράγματα αρχαίων κατασκευών. Εμφατικά δηλώνεται όμως ότι η παραπάνω εικασία μπορεί να αποδειχθεί λάθος από την ανασκαφική έρευνα.

Στην τομή για βάθος 1.625 m, αλλά και σε αυτή που είναι αμέσως ρηχότερη καθώς και στην αμέσως βαθύτερη, προεξάρχουν δύο ανωμαλίες στο ανατολικό άκρο του σχήματος. Οι ανωμαλίες αυτές είναι μικρότερες σε έκταση της μεγάλης γραμμικής που εμφανίζεται ρηχότερα. Οι αντιστατικές δομές που τις προκαλούν μπορεί να είναι αρχαία αρχιτεκτονικά λείψανα.

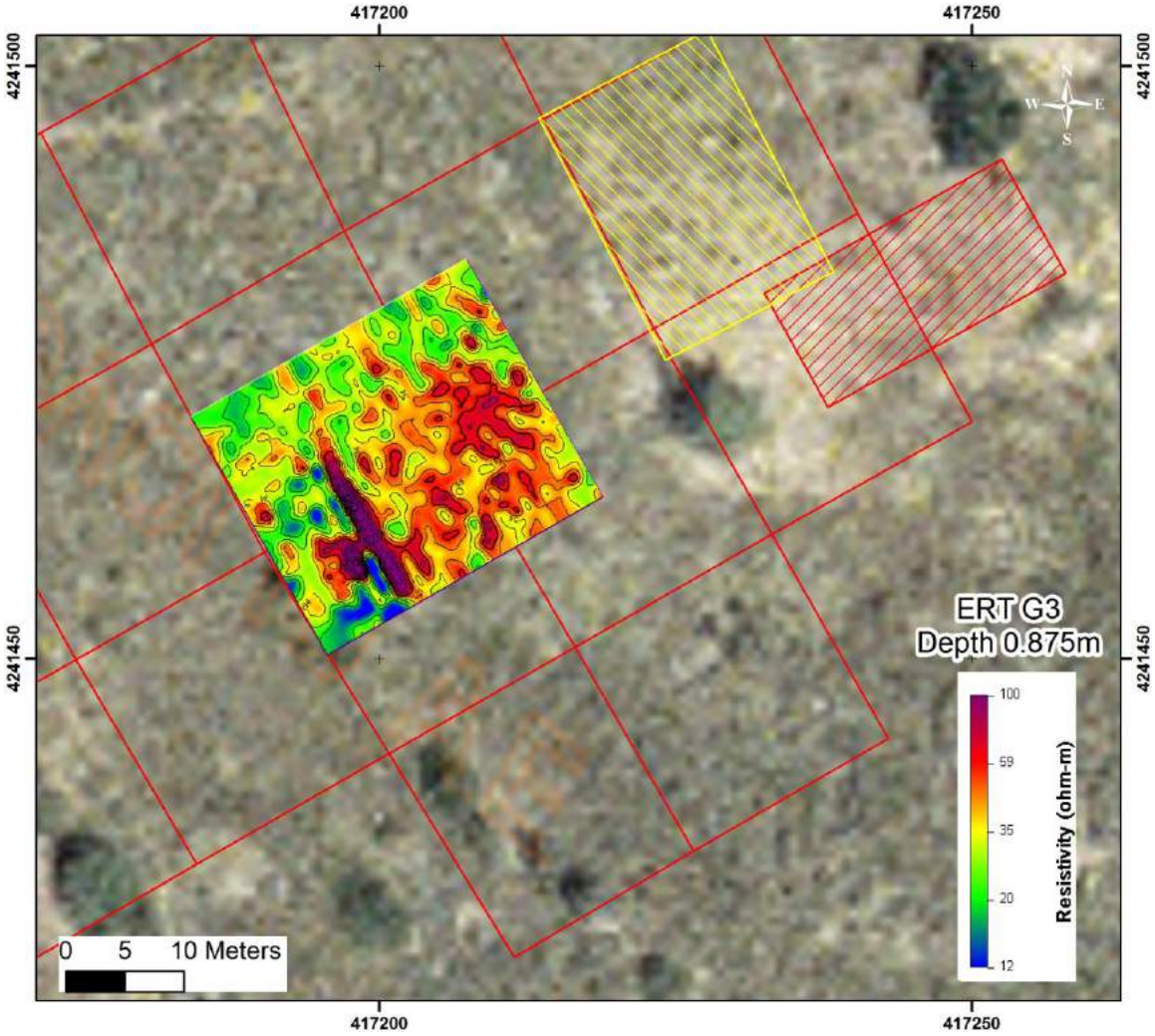
Τα ίδια συμπεράσματα εξάγονται και από την πλήρη τρισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής των αντιστάσεων που παρουσιάζεται στα σχήματα (4.3.3.10) και (4.3.3.11).



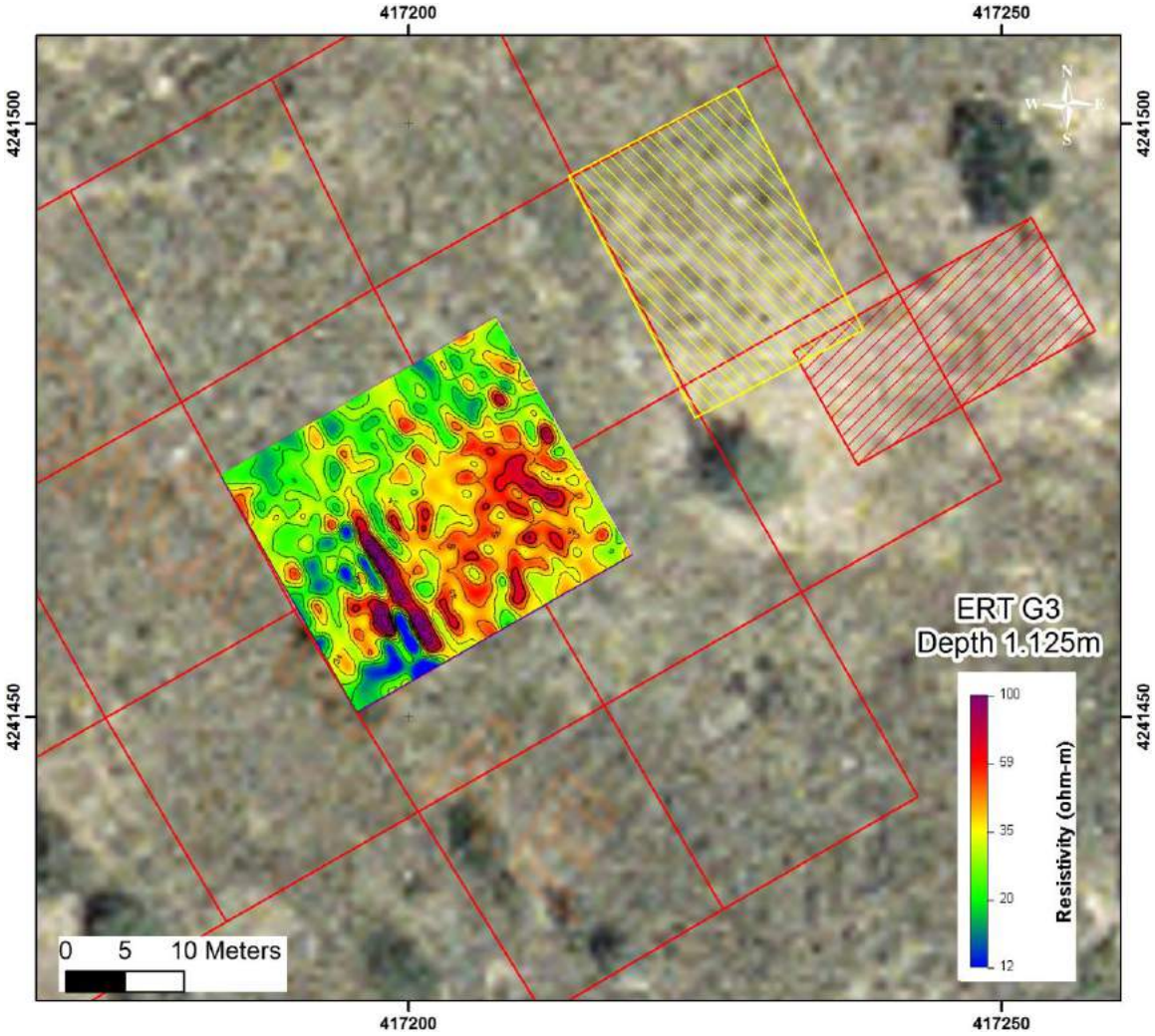
Σχ. 4.3.3.1. Κατανομή της ηλεκτρικής αντίστασης σε οριζόντια τομή (φέτα) του εδάφους για βάθος περίπου 0.38 m . Οι υψηλές τιμές της ηλεκτρικής αντίστασης απεικονίζονται με θερμά χρώματα.



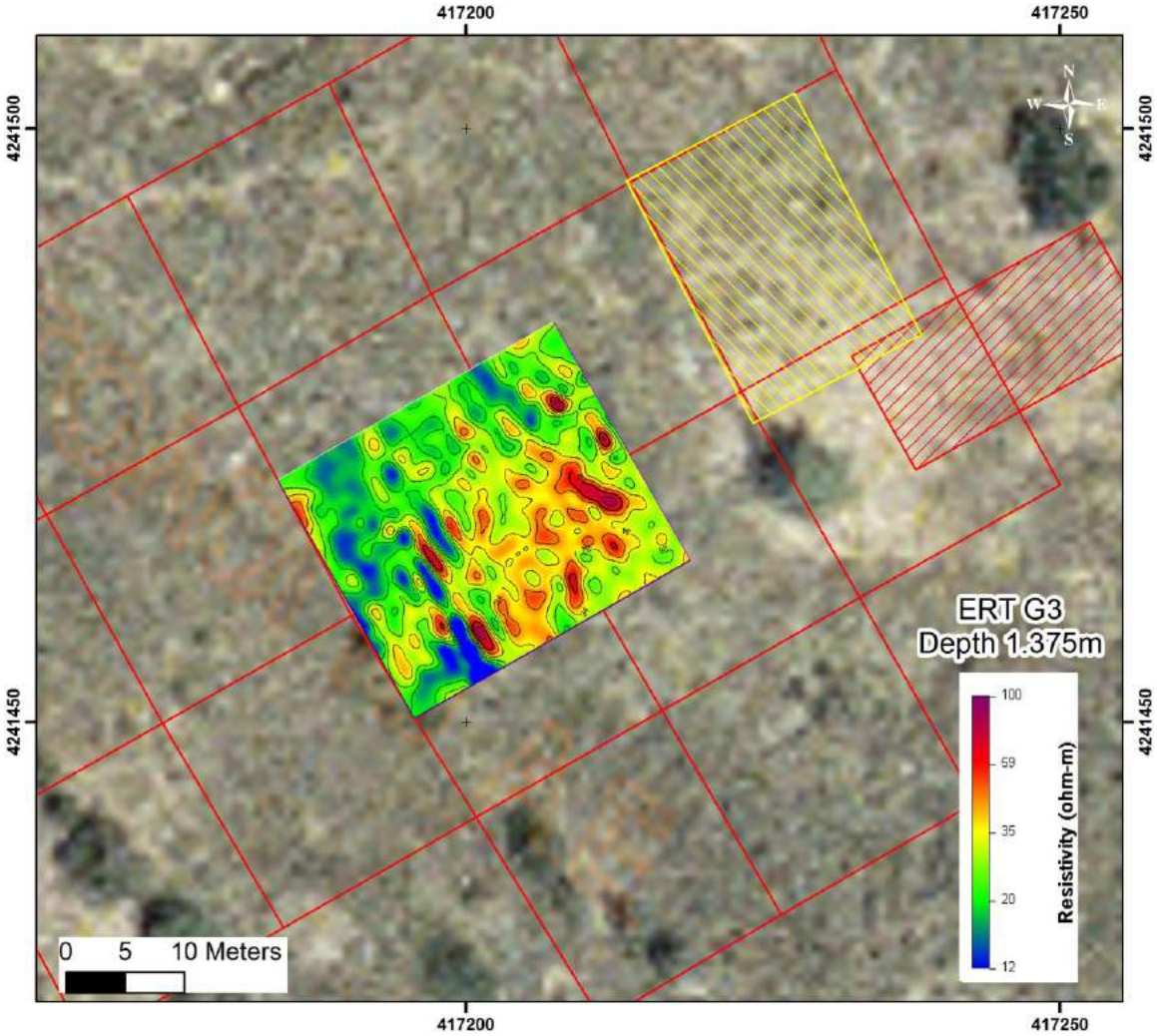
Σχ. 4.3.3.2. Κατανομή της ηλεκτρικής αντίστασης σε οριζόντια τομή (φέτα) του εδάφους για βάθος περίπου 0.63 m .



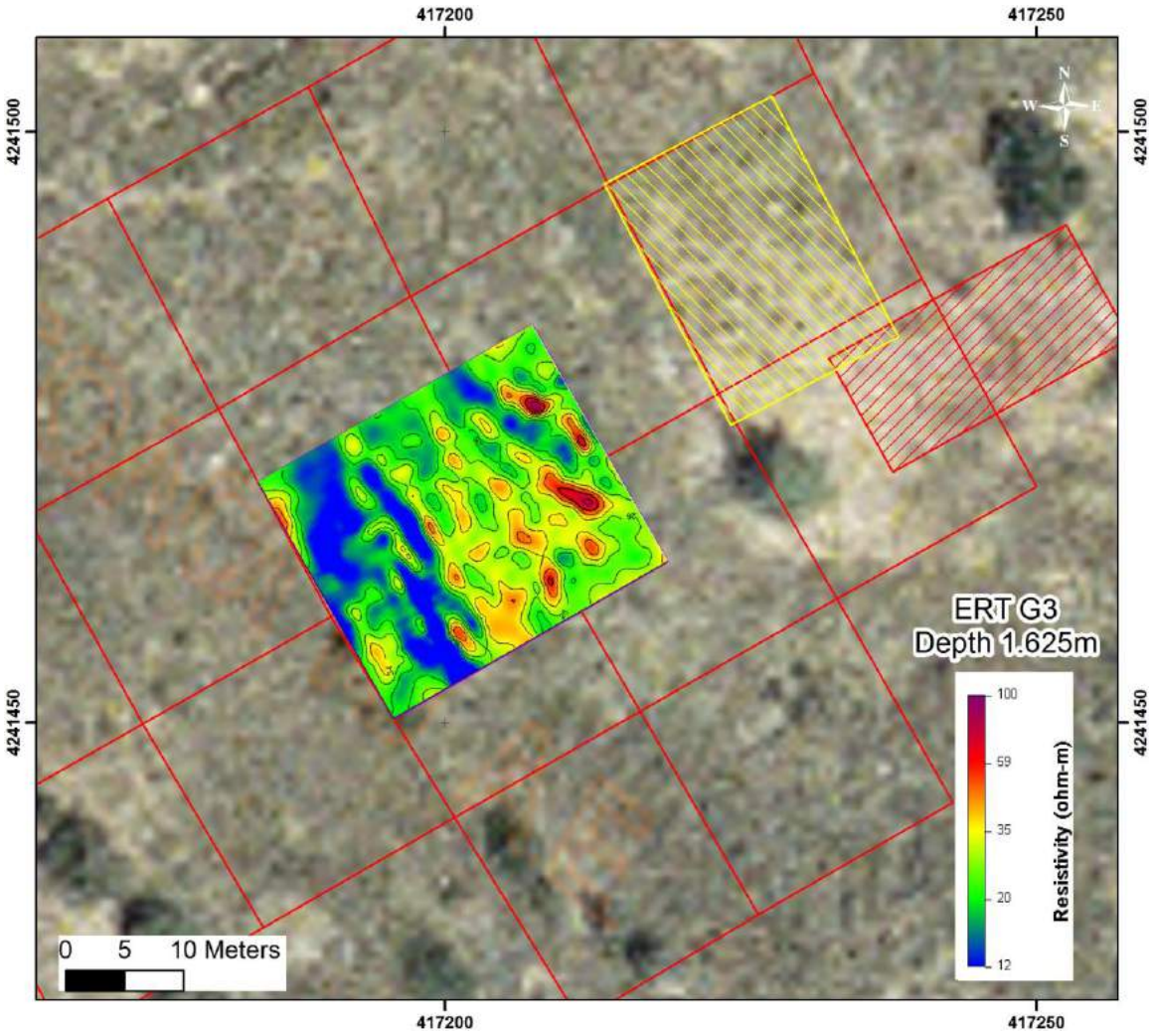
Σχ. 4.3.3.3. Κατανομή της ηλεκτρικής αντίστασης σε οριζόντια τομή (φέτα) του εδάφους για βάθος περίπου 0.88 m .



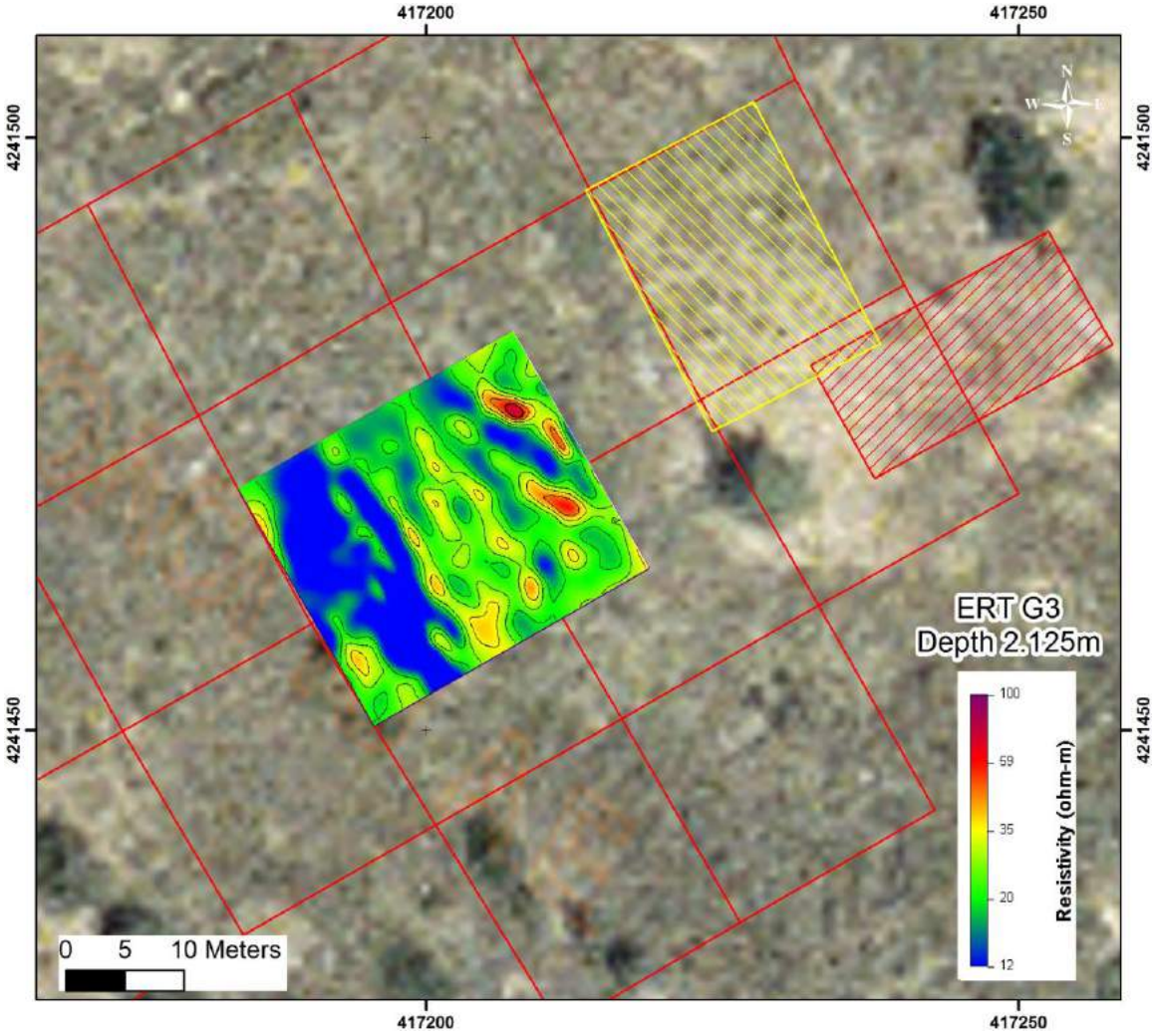
Σχ. 4.3.3.4. Κατανομή της ηλεκτρικής αντίστασης σε οριζόντια τομή (φέτα) του εδάφους για βάθος περίπου 1.13 m .



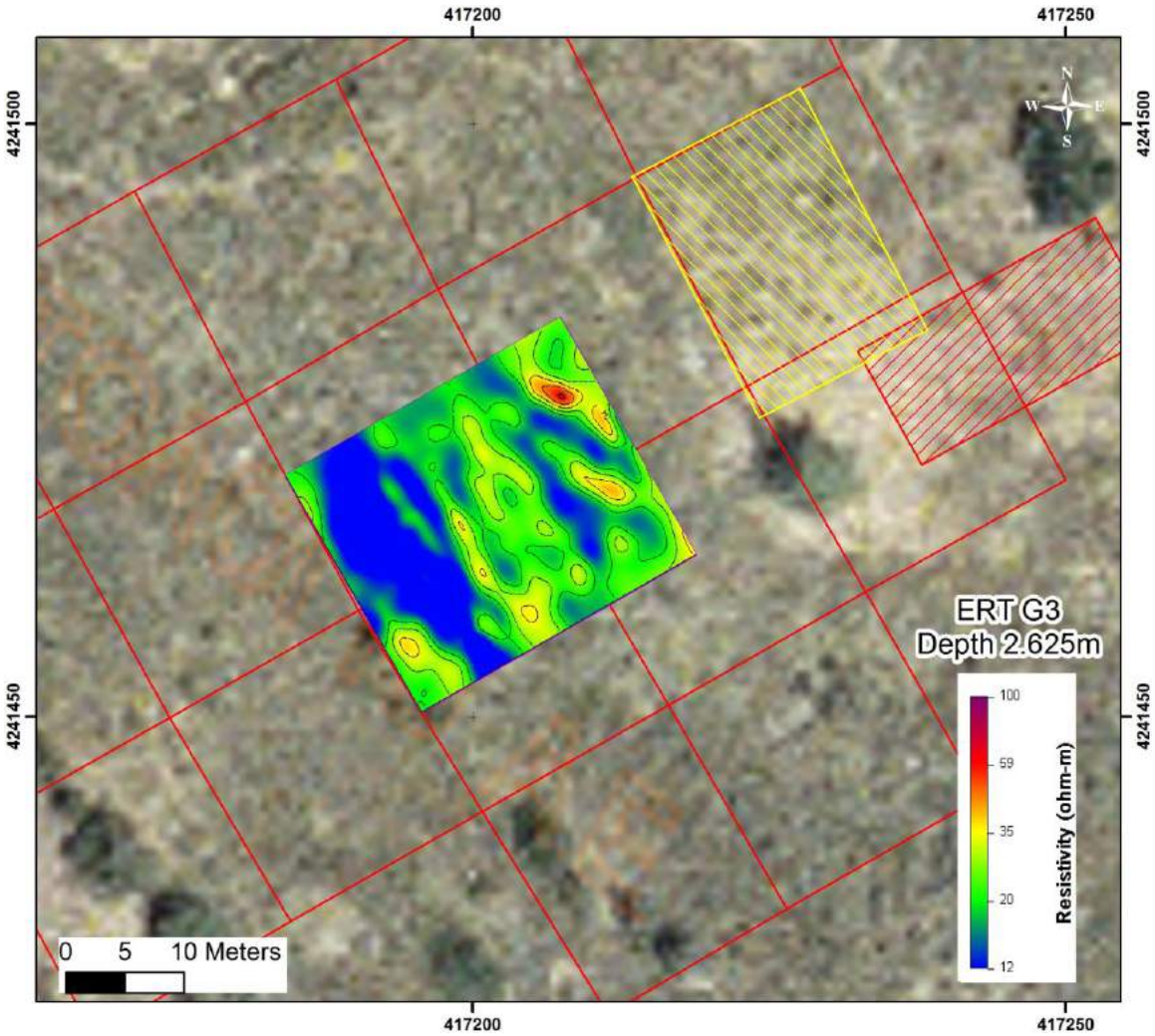
Σχ. 4.3.3.5. Κατανομή της ηλεκτρικής αντίστασης σε οριζόντια τομή (φέτα) του εδάφους για βάθος περίπου 1.38 m .



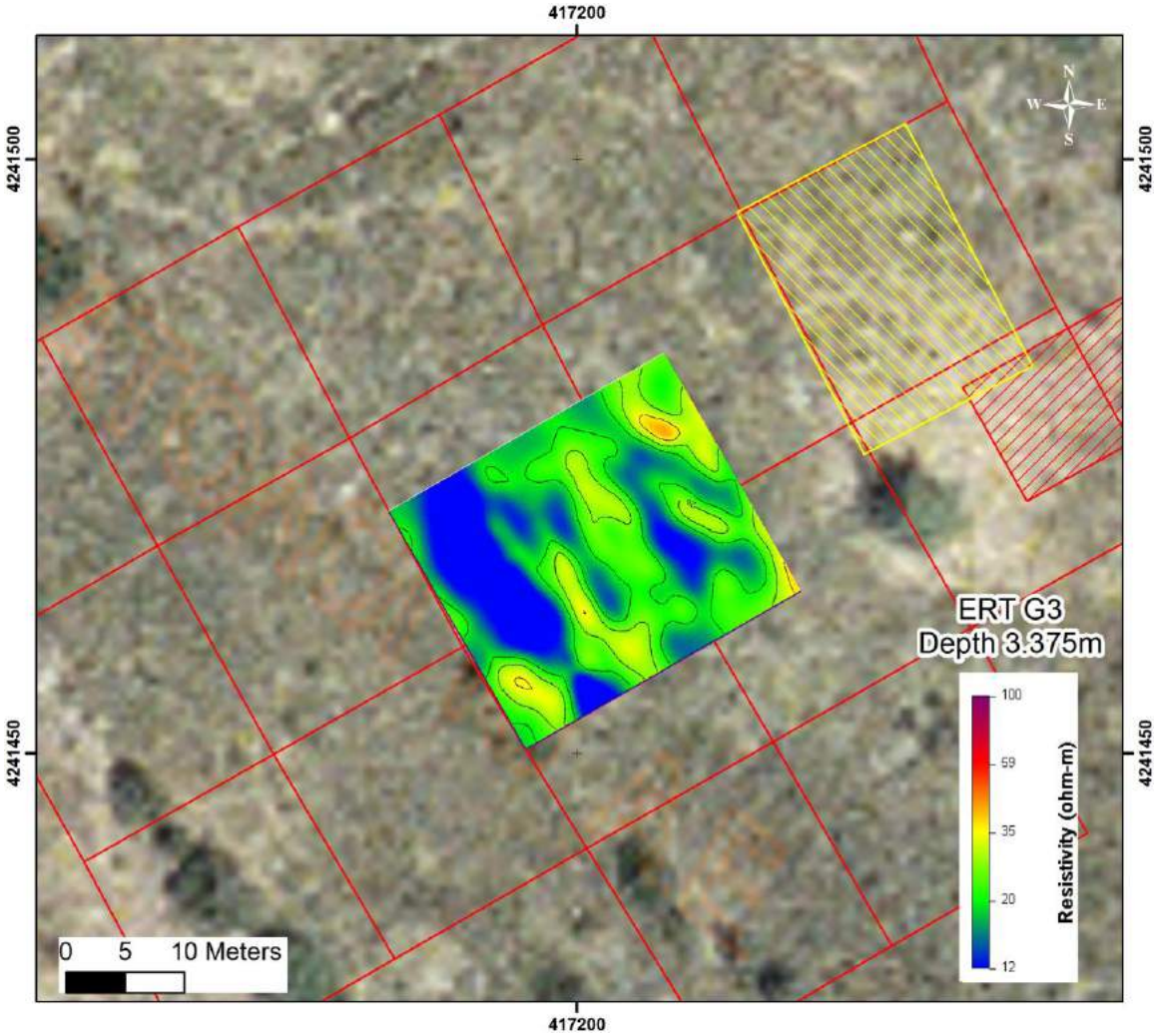
Σχ. 4.3.3.6. Κατανομή της ηλεκτρικής αντίστασης σε οριζόντια τομή (φέτα) του εδάφους για βάθος περίπου 1.63 m .



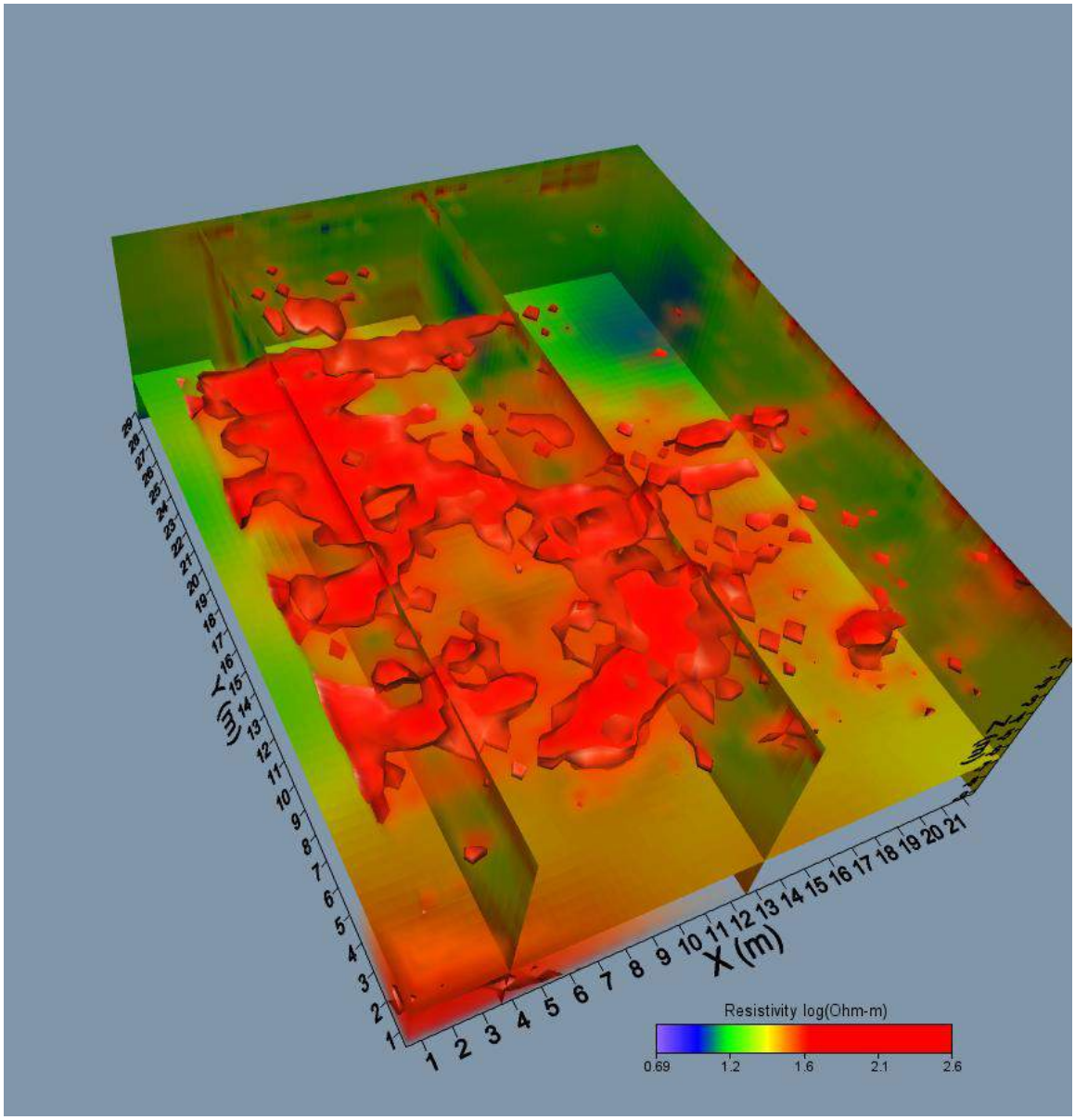
Σχ. 4.3.3.7. Κατανομή της ηλεκτρικής αντίστασης σε οριζόντια τομή (φέτα) του εδάφους για βάθος περίπου 2.13 m .



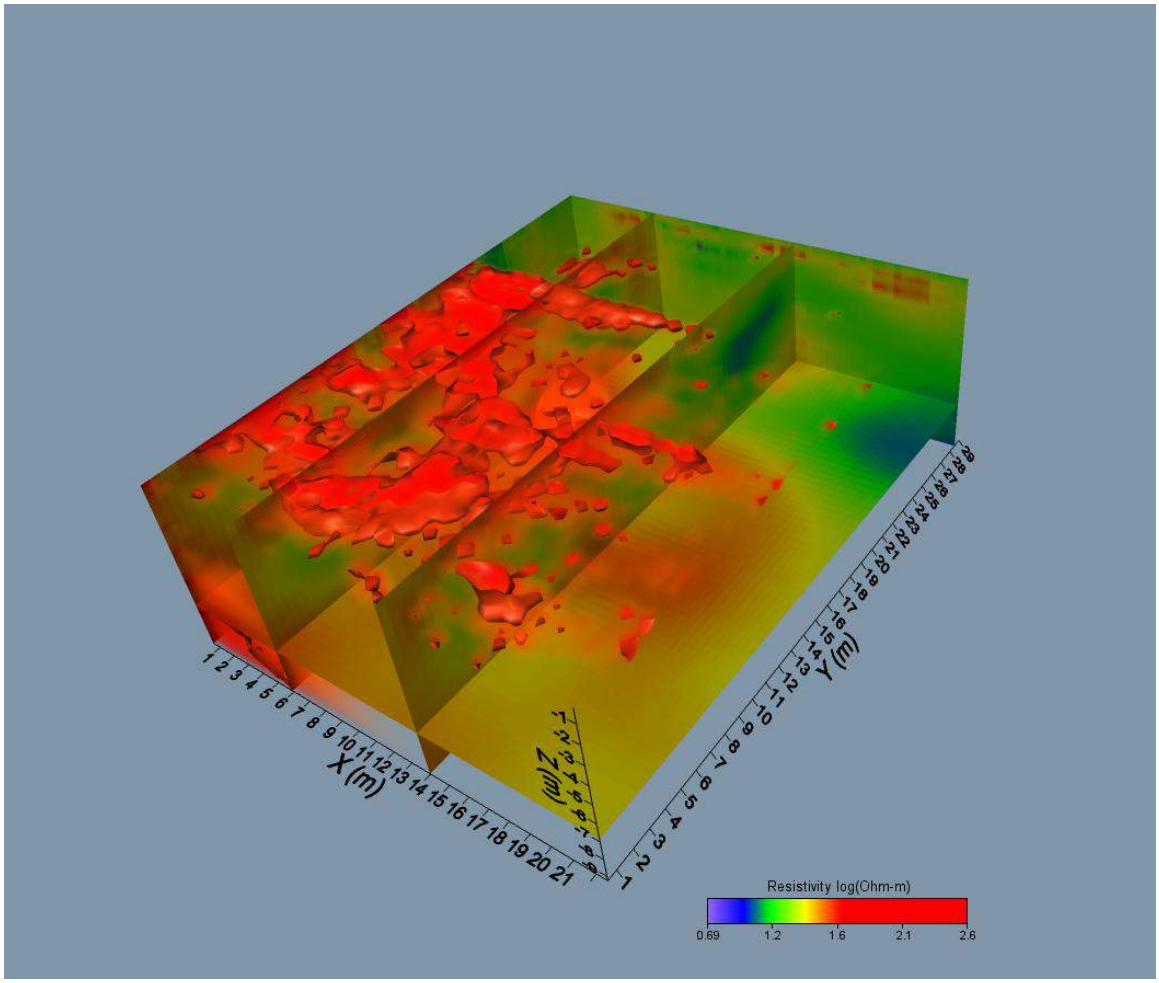
Σχ. 4.3.3.8. Κατανομή της ηλεκτρικής αντίστασης σε οριζόντια τομή (φέτα) του εδάφους για βάθος περίπου 2.63 m .



Σχ. 4.3.3.9. Κατανομή της ηλεκτρικής αντίστασης σε οριζόντια τομή (φέτα) του εδάφους για βάθος περίπου 3.38 m .



Σχ. 4.3.3.10. Τρισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής των ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων στη θέση G3..



Σχ. 4.3.3.11. Τρισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής των ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων στη θέση G3. Ο όγκος των αντεστραμμένων δεδομένων έχει περιστραφεί σε σχέση με την απεικόνισή του στο προηγούμενο σχήμα (4.3.3.10).

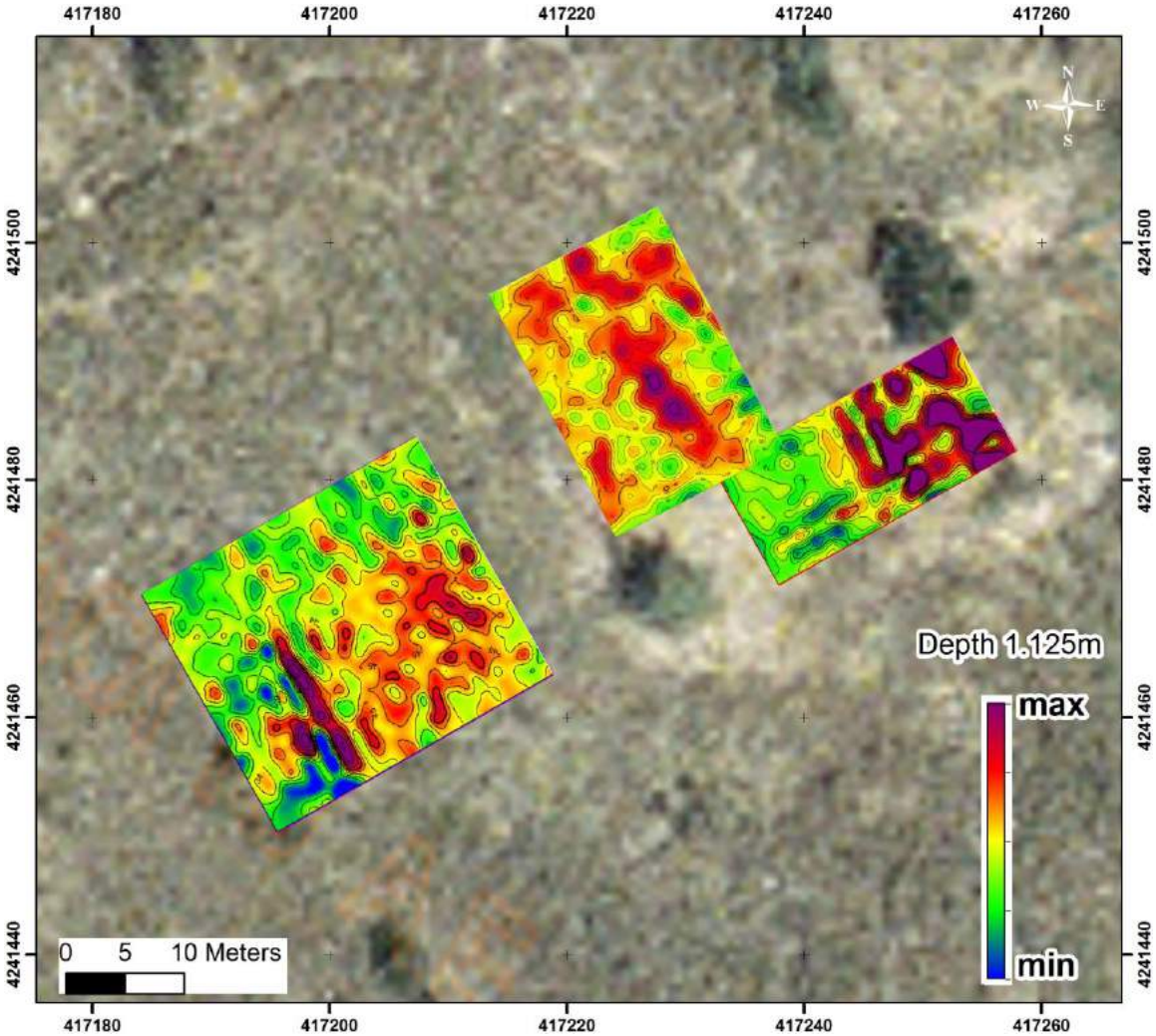
5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο πλαίσιο της έρευνας που περιγράφηκε στα προηγούμενα κεφάλαια εφαρμόστηκε η μέθοδος της ηλεκτρικής χαρτογράφησης και η μέθοδος της ηλεκτρικής τομογραφίας, στο χώρο που κάποτε ορθωνόταν το θέατρο της αρχαίας Άσκρης. Σκοπός ήταν η ανίχνευση και η κατά το δυνατόν χαρτογράφηση θαμμένων αρχιεκτονικών καταλοίπων και η χωροταξική συσχέτισή τους με τα ευρήματα της ανασκαφής του τέλους του 19^{ου} αιώνα, την οποία πραγματοποίησε η Γαλλική Σχολή των Αθηνών.

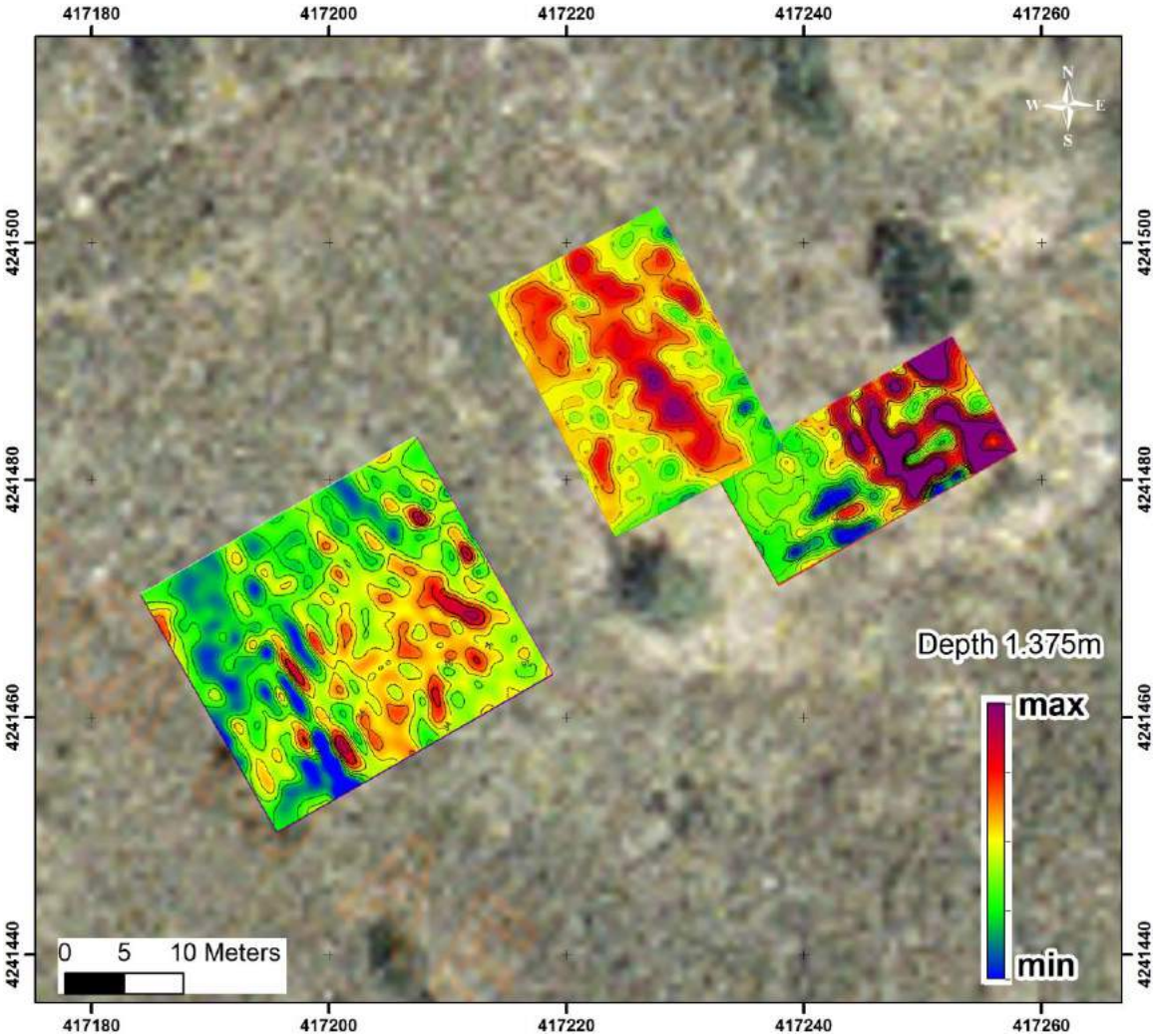
Εντοπίστηκαν ανωμαλίες στην κατανομή της αντίστασης στο υπέδαφος, πολλές από τις οποίες έχουν γραμμική μορφή. Μερικές από αυτές μάλιστα σχηματίζουν ορθογώνια γεωμετρικά σχήματα. Η διεύθυνση των υπεδάφιων δομών που προκαλούν τις εν λόγω ανωμαλίες συμφωνεί με τη διεύθυνση των ορατών δομικών καταλοίπων. Το γεγονός αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι πρόκειται για πιθανά θαμμένα αρχαία λείψανα

Στα σχήματα (5.1) έως (5.3) δίνεται συγκεντρωτικά το αποτέλεσμα των ηλεκτρικών τομογραφιών, έτσι ώστε να προκύπτει συνολική εικόνα. Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι οι περισσότερες και καλά διαμορφωμένες ανωμαλίες παρατηρούνται στο χώρο που πιθανά κάποτε ορθωνόταν το σκηνικό οικοδόμημα.

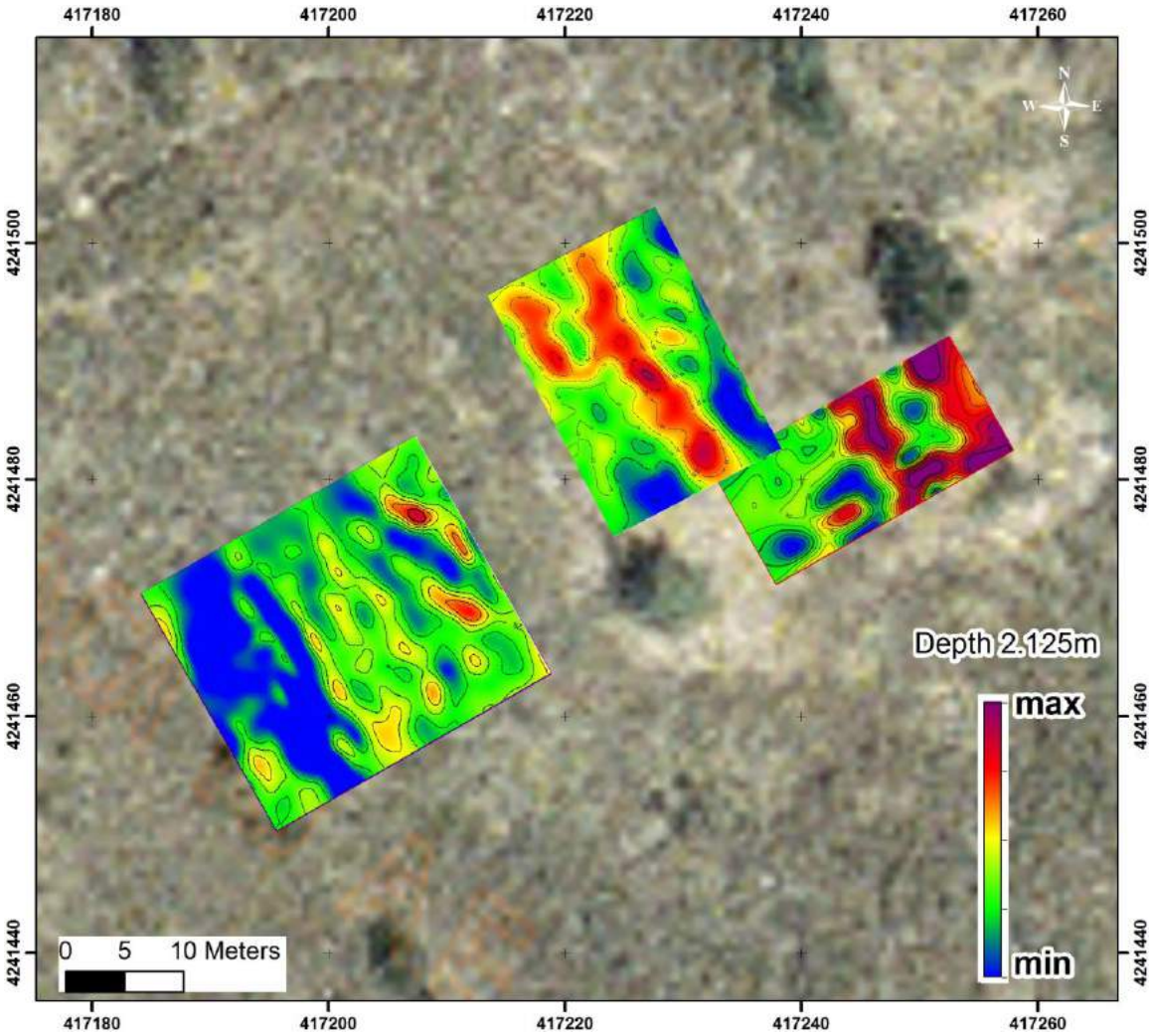
Οποιαδήποτε μελλοντικά ανασκαφικά δεδομένα, ιδιαίτερα αυτά που θα προκύψουν από δοκιμαστικά σκάμματα στη θέση των ανωμαλιών που εντοπίστηκαν στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας, θα οδηγήσουν σε πλήρη ερμηνεία των γεωφυσικών δεδομένων. Το προφανές αυτό γεγονός, υπενθυμίζει ότι οι χάρτες που προέκυψαν από την παρούσα μελέτη πρέπει να θεωρούνται ως δυναμικό δεδομένο μέχρι την ολοκλήρωση της ανασκαφικής έρευνας.



Σχ. 5.1. Κατανομή της ηλεκτρικής αντίστασης και στις τρεις θέσεις που ερευνήθηκαν για βάθος περίπου 1.13 m .



Σχ. 5.2. Κατανομή της ηλεκτρικής αντίστασης και στις τρεις θέσεις που ερευνήθηκαν για βάθος περίπου 1.38 m .



Σχ. 5.3. Κατανομή της ηλεκτρικής αντίστασης και στις τρεις θέσεις που ερευνήθηκαν για βάθος περίπου 2.13 m .

6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Aitken, M.J. Physics and Archaeology. Clarendon Press, Oxford, 1974.

Aspinall, A. and Lynam, J.T. An Induced polarization instrument for the detection of near surface peatures. Prospezioni Archaeologiche, **5**, 67-75, 1973.

Barker R.D. ,1992. A simple algorithm for electrical imaging of the subsurface. First Break, **10**, 53-63.

Edwards L.S., 1977. A modified pseudosection for resistivity and IP. Geophysics, **42**, 1020-1036.

Griffiths D., Turnbull, J., and Olyianka A. , 1990. 2-dimentional resistivity mapping with a computer controlled array. First Break, **8**, 121-129.

Papadopoulos, N.G., Tsourlos, P.I., Tsokas, G.N. and Sarris, A. 2D and 3D Resistivity Imaging in Archaeological Site Investigation. Archaeological Prospection,**13**,3,163-181, 2006.

Papadopoulos, N.G., Tsourlos, P.I., Tsokas, G.N. and Sarris, A. Efficient ERT Measuring and Inversion Strategies for 3D Imaging of Buried Near Surface Geophysics, 5,6,349-362, 2007.

Parasnis, D.S. Principles of Applied Geophysics. Third Edition, Chapman and Hall, London, 1997.

Πέππας. Ι. 3650 χρόνια στην κοιλάδα των Μουσών. Από την κτήση της Άσκρης (1650 π.Χ.) στη σημερινή εποχή. Εκδόσεις «Ιδεοθέατρον», ISBN978-960-7921-91-8, σ. 494, 2007.

Shima H., 1990. 2-D automatic resistivity inversion technique using alpha centers. Geophysics, **55**, 682-694.

Scollar, I. Weidner, B. and Segeth, K. Display of archaeological magnetic data. Geophysics, **51**, 3, 623-633, 1986.

Tripp A., Hohm-mann, G. and Swift, c. (1984). 2-D resistivity inversion. Geophysics, **57**, 1004-1013.

Tsokas, G.N. A deep electrical sounding 10.5 km West of Duns in Scotland. M. Sc. Thesis, University of Leeds, U.K., 1980.

Τσόκας, Γ.Ν. Εισαγωγή στις μεθόδους ανάλυσης και ερμηνείας γεωλογικών παρατηρήσεων, Παν. Θεσ/νίκης, 1990.

Tsokas, G.N., Giannopoulos, A., Tsourlos, P., Vargemezis, G., Tealby, J.M., Sarris, A., Papazachos, C.B. and Savopoulou, T. A large scale geophysical survey in the archaeological site of Europos (N. Greece) Journal of Exploration Geophysics, **32**,85-98,1993.

Τσόκας Γ.Ν., Βαργεμέζης Γ., Τσούρλος Π.Ι, Δρούγου Σ. και Σαατσόγλου-Παλιαδέλη, Χρ. Αρχαιολογία και Γεωφυσική: Εξερευνώντας τον Αρχαιολογικό χώρο της Βεργίνας (1984-2004). University Studio Press, σ. 107, 2006.

Tsokas, G. N., Tsourlos, P. I. and Papadopoulos, N. Electrical resistivity tomography: a flexible technique in solving problems of archaeological research. Paper presented in the XV International School on Archaeological Prospection, Siena 2006, Volume of Proceedings, 2007.

Tsourlos, P., 1995. Modelling, interpretation and inversion of multielectrode resistivity survey data. Thesis, University of York, U.K.

Tsourlos P., Szymanski J., Dittmer J. and Tsokas G.N., 1993. The use of back-projection for fast inversion of 2-D resistivity data. Proceedings of the 2nd congress of the Greek Geophysical Union, Florina Greece, 5-7 May, Vol. 1, 71-81.