

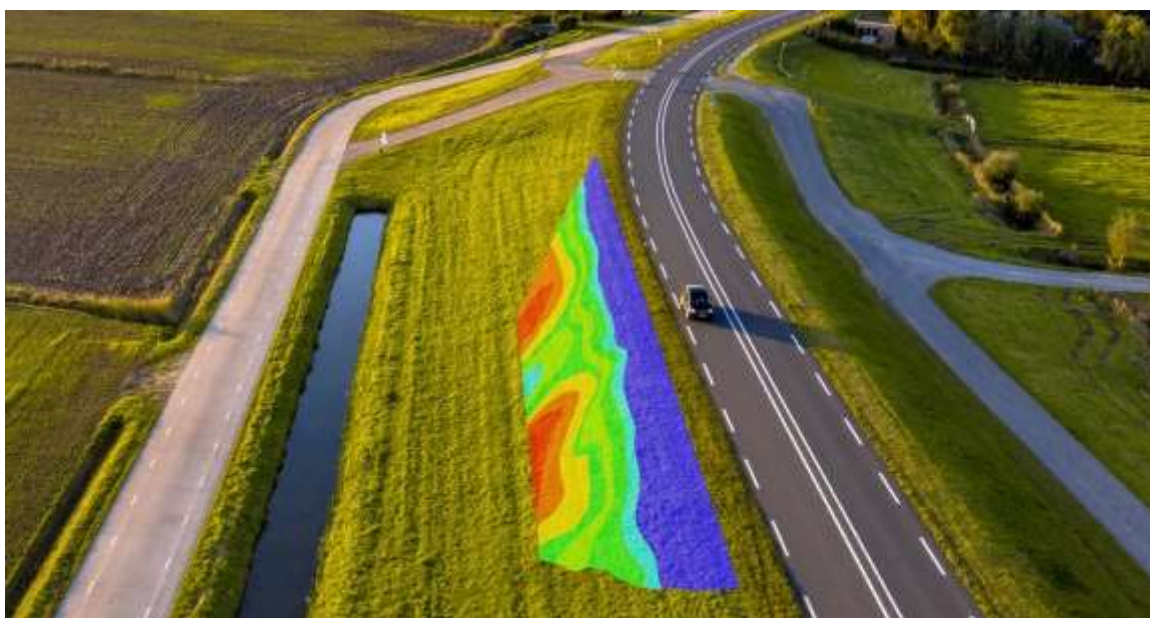


**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
UNIVERSITY OF WEST ATTICA

ΤΜΗΜΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ – ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

## **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗ ΣΕ ΑΓΡΟΤΕΜΑΧΙΟ ΣΤΗΝ ΘΕΣΗ  
"ΚΙΤΕΖΑ - ΚΑΛΜΗ" ΛΑΓΟΝΗΣΙΟΥ - ΔΗΜΟΥ ΣΑΡΩΝΙΚΟΥ**



**ΓΚΡΟΣΙΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

**ΑΜ: 509131120227 - TG13112**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΧΛΟΥΠΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

**Αθήνα, 2024**

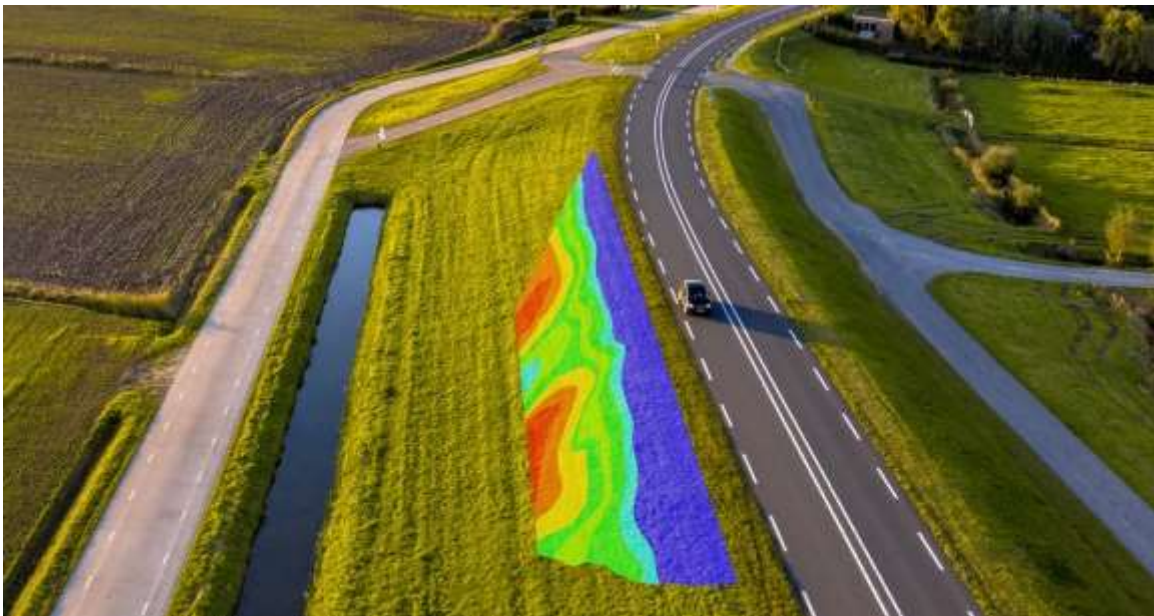


**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
UNIVERSITY OF WEST ATTICA

ΤΜΗΜΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ – ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

## **DIPLOMA THESIS**

### **GEOPHYSICAL SURVEY IN PRIVATE PLOT AT "KITEZA - KALMI" LAGONISIOU - MUNICIPALITY OF SARONIKOS**



**GKROSIOS GEORGIOS**

**AM: 509131120227 - TG13112**

**Supervisor: Hloupis Georgios**

**Athens, 2024**

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

### ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗ ΣΕ ΑΓΡΟΤΕΜΑΧΙΟ ΣΤΗΝ ΘΕΣΗ "ΚΙΤΕΖΑ - ΚΑΛΜΗ" ΛΑΓΟΝΗΣΙΟΥ - ΔΗΜΟΥ ΣΑΡΩΝΙΚΟΥ

**Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του  
Εισηγητή**

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική  
Επιτροπή:

<b>a/a</b>	<b>ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ</b>	<b>ΒΑΘΜΙΔΑ / ΙΔΙΟΤΗΤΑ</b>	<b>ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ</b>
<b>1</b>	Χλούπης Γεώργιος	Αναπληρωτής Καθηγητής ΠΑΔΑ	
<b>2</b>	Παπαντωνίου Παναγιώτης	Επικουρος Καθηγητης ΠΑΔΑ	
<b>3</b>	Παπατζανή Στυλιανή	Διδασκουσα ΠΑΔΑ	



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
UNIVERSITY OF WEST ATTICA

ΤΜΗΜΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ – ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Γκρόσιος Γεώργιος του Θεοδώρου, με αριθμό μητρώου 509131120227, φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι: «Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών

Γκρόσιος Γεώργιος

**ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΑ**

Γιώργος Χλούπης

**ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΑ**

Copyright © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

**Γκρόσιος Γεώργιος, 2024**

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
UNIVERSITY OF WEST ATTICA

ΤΜΗΜΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ – ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής, τον κύριο Γεώργιο Χλούπη για την άμεση ανταπόκριση στην ανάληψη της διπλωματικής, για όλη του βοήθεια και την μετάδοση γνώσεων στο πεδίο, στην επεξεργασία των δεδομένων αλλά και κατά την διάρκεια της συγγραφής της διπλωματικής. Οι συμβουλές του ήταν καθοριστικές και η καθοδήγηση του ήταν καίρια και σίγουρα χωρίς αυτόν η εκπόνηση της διπλωματικής θα ήταν δυσκολότερη.



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση της ύπαρξης ή μη θαμμένων αρχαίων αρχιτεκτονικών λειψάνων και την κατά το δυνατόν απεικόνισή τους κάνοντας γεωφυσικές διασκοπήσεις με τη χρήση της μεθόδου της ηλεκτρικής τομογραφίας. Από τα αποτελέσματα εντοπίστηκαν ανωμαλίες στην κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, οι οποίες δεν παρουσιάζουν χαρακτηριστικά που να δύναται να θεωρηθούν ότι αποτελούν ενδείξεις αρχαιολογικών λειψάνων. Επιπρόσθετα και με βάση τις ενδείξεις της επιφάνειας αλλά και στοιχείων από το απόσπασμα του εγκεκριμένου ρυμοτομικού σχεδίου, όλες οι ενδείξεις συνηγορούν ότι πρόκειται είτε για υπολείμματα πρόσφατων κατασκευών είτε για ίχνη παρελθοντικής βλάστηση.

**Λέξεις κλειδιά:** Ηλεκτρική Τομογραφία, Γεωφυσικές Διασκοπήσεις, Ειδική Ηλεκτρική Αντίσταση, Αρχαία ευρήματα



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
UNIVERSITY OF WEST ATTICA

ΤΜΗΜΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ – ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

## ABSTRACT

The object of this thesis is the investigation of the existence or not of buried ancient architectural remains and their possible visualization by making geophysical surveys using the method of electrical tomography. The results have revealed anomalies in the distribution of the electrical resistivity, which do not exhibit characteristics that can be considered as evidence of archaeological remains. In addition, and based on the surface indications and evidence from the extract from the approved town plan, all indications suggest that these are either remnants of recent construction or traces of past vegetation.

**Key words:** Electrical Tomography, Geophysical Surveys, Special Electrical Resistance, Ancient findings



Πίνακας περιεχομένων

<b>1</b>	<b>ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΡΓΟΥ</b>	<b>10</b>
1.1	Εισαγωγή	10
1.2	Γεωγραφική θέση	10
<b>2</b>	<b>ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ</b>	<b>13</b>
2.1	Τομογραφία ειδικής αντίστασης	14
2.1.1	Πραγματοποίηση και ερμηνεία τομογραφιών	15
2.1.2	Διατάξεις ηλεκτροδίων	19
2.1.3	Μέθοδοι έρευνας	22
<b>3</b>	<b>ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ, ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ</b>	<b>26</b>
3.1	Συλλογή τομογραφικών δεδομένων ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης	26
3.2	Αντιστροφή δεδομένων ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης	30
3.3	Αποτελέσματα των τομογραφιών	32
<b>4</b>	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b>	<b>37</b>
<b>5</b>	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	<b>39</b>
<b>6</b>	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ</b>	<b>46</b>

## 1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΡΓΟΥ

### 1.1 Εισαγωγή

Πραγματοποιήθηκαν γεωφυσικές διασκοπήσεις σε οικόπεδο ιδιοκτησίας Πέτρου Ελένης, στην περιοχή "Κιτέζα» της Δ.Ε. Καλυβίων Θορικού του Δήμου Σαρωνίδος Αττικής, με σκοπό τη διερεύνηση της ύπαρξης ή μη θαμμένων αρχαίων αρχιτεκτονικών λειψάνων και την κατά το δυνατόν απεικόνισή τους. Η έρευνα έγινε με τη χρήση της μεθόδου της ηλεκτρικής τομογραφίας.

Εντοπίστηκαν ανωμαλίες στην κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, οι οποίες δεν παρουσιάζουν χαρακτηριστικά που να δύναται να θεωρηθούν ότι αποτελούν ενδείξεις αρχαιολογικών λειψάνων. Επιπρόσθετα και με βάση τις ενδείξεις της επιφάνειας αλλά και στοιχείων από το απόσπασμα του εγκεκριμένου ρυμοτομικού σχεδίου, όλες οι ενδείξεις συνηγορούν ότι πρόκειται είτε για υπολείμματα πρόσφατων κατασκευών είτε για ίχνη παρελθοντικής βλάστησης.

Οι εργασίες πεδίου πραγματοποιήθηκαν κατά τον Δεκέμβριο του 2023 και τον Ιανουάριο του 2024. Η παρέμβαση αυτή έγινε χωρίς να επηρεαστεί το παραμικρό στον χώρο, δηλαδή με πλήρως μη καταστροφικό τρόπο. Στις επόμενες σελίδες παρουσιάζεται, τόσο ο τρόπος διεξαγωγής των μετρήσεων πεδίου, όσο και η επεξεργασία και ερμηνεία των δεδομένων αλλά και τα συνακόλουθα συμπεράσματα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφονται επιγραμματικά η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για να εξερευνηθεί το υπέδαφος στο συγκεκριμένο χώρο. Στο τρίτο και κεφάλαιο γίνεται αντίστοιχα αναφορά στον τρόπο συλλογής, επεξεργασίας και ερμηνείας των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας. Στη συνέχεια παρουσιάζονται συνδυαστικά τα αποτελέσματα της έρευνας και διατυπώνονται κάποιες ερμηνείες. Σύνοψη των συμπερασμάτων παρουσιάζεται στο τελευταίο κεφάλαιο.

### 1.2 Γεωγραφική θέση

Η περιοχή ενδιαφέροντος βρίσκεται στην Δ.Ε Καλυβίων Θορικού του Δήμου Σαρωνίδος όπως φαίνεται και στη δορυφορική φωτογραφία της εικόνας 1, και στο τοπογραφικό διάγραμμα της εικόνας 2



Εικόνα 1. Δορυφορική φωτογραφία της περιοχής ενδιαφέροντος. Στη φωτογραφία με έγχρωμο πολύγωνο οριοθετείται η ιδιοκτησία εντός της οποίας πραγματοποιήθηκαν οι διασκοπήσεις



Εικόνα 2. απόσπασμα εγκεκριμένου ρυμοτομικού σχεδίου περιοχής έρευνας

## 2 ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ

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 υπεδάφινων αρχιτεκτονικών λειψάνων.

Η εφαρμογή των γεωφυσικών μεθόδων διασκόπησης στην αρχαιολογία στηρίζεται στην ικανότητα αυτών να εντοπίζουν ανομοιογένειες που προκαλούνται στις γεωφυσικές παραμέτρους του εδάφους, όταν μέσα σε αυτό βρίσκονται θαμμένα ερείπια παλαιότερων εποχών. Οι μέθοδοι αυτές, χωρίζονται στις ενεργητικές, όπου κάποιο σήμα εισάγεται στο έδαφος, για παράδειγμα ηλεκτρικό ρεύμα ή ηλεκτρομαγνητικό κύμα, και λαμβάνεται η απόκριση στην επιφάνεια του εδάφους, και στις παθητικές οι οποίες στηρίζονται στην μέτρηση φυσικών υπαρχόντων πεδίων, όπως για παράδειγμα η μέτρηση του μαγνητικού πεδίου που δημιουργεί ένας κλίβανος. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι ηλεκτρομαγνητικές, σεισμικές και ηλεκτρικές μέθοδοι, ενώ στην δεύτερη οι μαγνητικές και βαρυτικές.

Το γεγονός ότι η Αρχαιομετρία είναι μια πολύ σημαντική επιστήμη για τους αρχαιολόγους, οφείλεται κυρίως στο ότι οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται, είναι μη καταστρεπτικές για τον αρχαιολογικό χώρο. Επίσης, είναι πιο οικονομικές στην εφαρμογή τους από τη διεξαγωγή μιας ανασκαφής και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περιοχές όπου λόγω συνθηκών δεν θα μπορούσε να γίνει ανασκαφή. Οι γεωφυσικές μέθοδοι διασκόπησης χρησιμοποιούνται ως το αρχικό εργαλείο στην έρευνα μιας περιοχής, μετρήσεις λίγων ημερών ή εβδομάδων, είναι δυνατόν να καθοδηγούν την μετέπειτα αρχαιολογική έρευνα για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα. Αν και είναι δυνατόν μια γεωφυσική έρευνα να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα και τελικά μια εικόνα που θα μπορεί να ερμηνευθεί και από μη ειδικούς (Wynn 1986a, b, Scollar et al. 1986), δηλαδή μια εικόνα που θα μοιάζει με αυτή που θα βλέπαμε αν είχε διεξαχθεί ανασκαφή, δεν απαλλάσσει τον

αρχαιολόγο από την διαδικασία της ανασκαφής, εκτός από ελάχιστες περιπτώσεις (Aitken 1974).

Συνήθως, από τις μεθόδους αυτές επιλέγονται οι καταλληλότερες ανάλογα με τον χώρο έρευνας και τα χαρακτηριστικά των στόχων. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, χρησιμοποιήθηκαν δύο μέθοδοι, και επιχειρήθηκε επίσης εφαρμογή μεθόδων μίξης εικόνας έτσι ώστε να συνδυαστούν τα αποτελέσματα. Αρχικά, αφού εκτιμήσαμε τις συνθήκες της συγκεκριμένης περιοχής, καθορίστηκαν οι παράμετροι εφαρμογής κάθε συγκεκριμένης μεθόδου. Δηλαδή, ορίστηκαν το βήμα της χωρικής δειγματοληψίας, οι παράμετροι δειγματοληψίας καθώς και ο καθορισμός του κανάβου μετρήσεων

### **2.1 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 X).

### 2.1.1 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 πιο 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).

Ένα 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° 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 εισήχθησαν οι τομογραφικές τεχνικές. Οι τεχνικές αυτές επιδιώκουν την επίλυση του αντίστροφου γεωηλεκτρικού προβλήματος είτε με χρήση

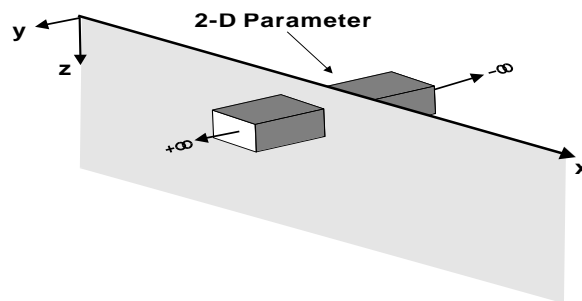


προσεγγιστικών μεθόδων, π.χ. μέθοδος Zhody-Barker, (Barker 1992), μέθοδος οπισθοπροβολής (Tsourlos et al. 1993), είτε με τη χρήση υπαρχόντων μη γραμμικών τεχνικών αντιστροφής (π.χ. Tripp et al. 1984) που προσαρμόζονται στο πρόβλημα της ΗΤ (Shima 1990, Tsourlos et al. 1995).

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.

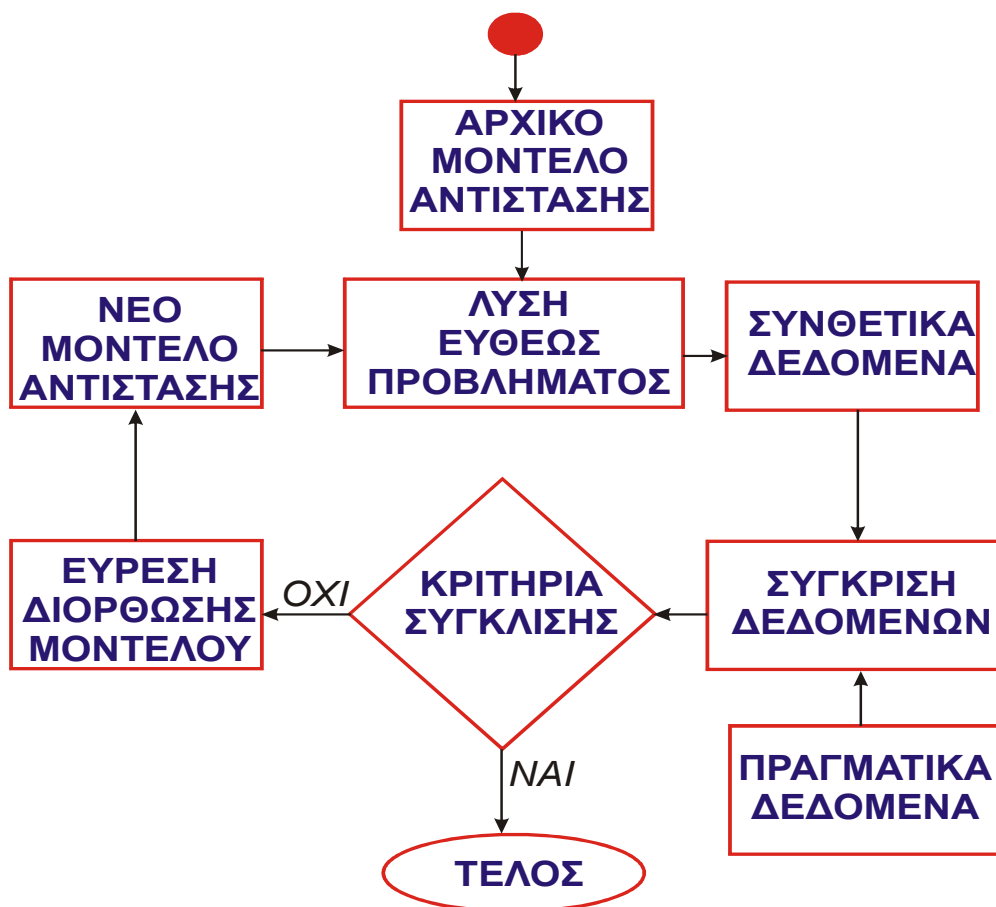
Η αντιστροφή μπορεί να γίνει δε δυο (δισδιάστατη) ή τρεις (τριδιάστατη) διαστάσεις (Εικόνα 7).



Εικόνα 3. Γεωηλεκτρική παράμετρος δυο διαστάσεων.

Στην γεωηλεκτρική μέθοδος λόγω της μη-γραμμικής φύσης του αντιστρόφου προβλήματος, οι αλγόριθμοι αντιστροφής είναι μια αυτοματοποιημένη επαναληπτική διαδικασία (Εικόνα 8). 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  $dy = (\text{πραγματικά δεδομένα} - \text{συνθετικά δεδομένα})$ . 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.

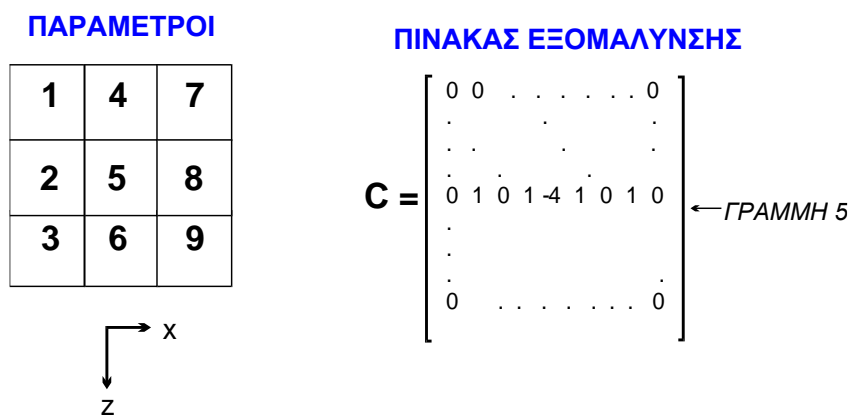


Εικόνα 4. Σχηματοποιημένη διαδικασία μη γραμμικής αντιστροφής.

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 (Εικόνα 9) και ζητείται η ελαχιστοποίηση του λάθους  $dy$  σε συνδυασμό με μέγιστη εξομάλυνση:

$$S = dy^T dy \rightarrow 0 \text{ \& } R = (Cdx)^T (Cdx) \rightarrow \max$$



Εικόνα 5. Σχηματισμός του πίνακα εξομάλυνσης

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

$$\mathbf{x}^{k+1} = \mathbf{x}^k + d\mathbf{x}^k = \mathbf{x}^k + (\mathbf{J}_k^T \mathbf{J}_k + \mu \mathbf{C}^T \mathbf{C}) \mathbf{J}_k^T dy^k$$

$d\mathbf{x}$ = η διόρθωση της αντίστασης .

$\mathbf{C}$ = ο πίνακας εξομάλυνσης.

$\mathbf{J}$ = ο Ιακωβιανός πίνακας των πρώτων παραγώγων .

$\mu$ = πολλαπλασιαστής Lagrange (υπολογίζεται εμπειρικά)

### 2.1.2 Διατάξεις ηλεκτροδίων

Υπάρχουν πολλοί τρόποι με τους οποίους τοποθετούνται τα ηλεκτρόδια του ρεύματος και του δυναμικού κατά την χρήση της μεθόδου της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Σε αυτό το σημείο θα περιγραφούν οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες διατάξεις.

✓ **Διάταξη Πόλου-πόλου.** Η απλούστερη διάταξη είναι αυτή όπου ένα από τα ηλεκτρόδια του ρεύματος, B, και ένα από τα ηλεκτρόδια του δυναμικού, N, είναι τοποθετημένα σε πολύ μεγάλη απόσταση από τα άλλα δύο (A, M), έτσι ώστε να μπορέσει να θεωρηθεί ότι βρίσκονται στο άπειρο (εικόνα 10). Επομένως η φαινόμενη ειδική αντίσταση θα είναι

$$\rho_a = 2\pi \frac{\Delta V}{I}$$

Εάν τα δύο απομακρυσμένα ηλεκτρόδια τα τοποθετήσουμε κοντά μεταξύ τους, τότε προκύπτει η διάταξη διδύμου ηλεκτροδίου (twin probe) (εικόνα 10στ), και η φαινόμενη ειδική αντίσταση είναι

$$\rho_a = 2\pi \frac{ab}{a+b} \frac{\Delta V}{I},$$

όπου, a και b είναι οι αποστάσεις μεταξύ των A, M και B, N ηλεκτροδίων αντίστοιχα. Στην περίπτωση όπου AM = BN = a, η σχέση γίνεται

$$\rho_a = \pi a \frac{\Delta V}{I}$$

✓ **Διάταξη Πόλου-διπόλου.** Τα ηλεκτρόδια του δυναμικού M και N, βρίσκονται ανάμεσα στα ηλεκτρόδια του ρεύματος, A, B, ένα από τα οποία τοποθετείται στο άπειρο (εικόνα 10δ). Η φαινόμενη αντίσταση δίνεται από τη σχέση

$$\rho_a = 2\pi \frac{ab}{b-a} \frac{\Delta V}{I}$$

Όταν η απόσταση b είναι πολλαπλάσια της απόστασης a (b = na), τότε η σχέση γίνεται

$$\rho_a = 2\pi n(n+1) a \frac{\Delta V}{I}$$

- ✓ **Διάταξη Wenner**. Σε αυτή τη διάταξη τα ηλεκτρόδια του δυναμικού Μ και Ν, τοποθετούνται ανάμεσα από τα ηλεκτρόδια του ρεύματος Α, Β (εικόνα 10α). Οι αποστάσεις των τεσσάρων ηλεκτροδίων είναι ίσες (α), επομένως προκύπτει ότι

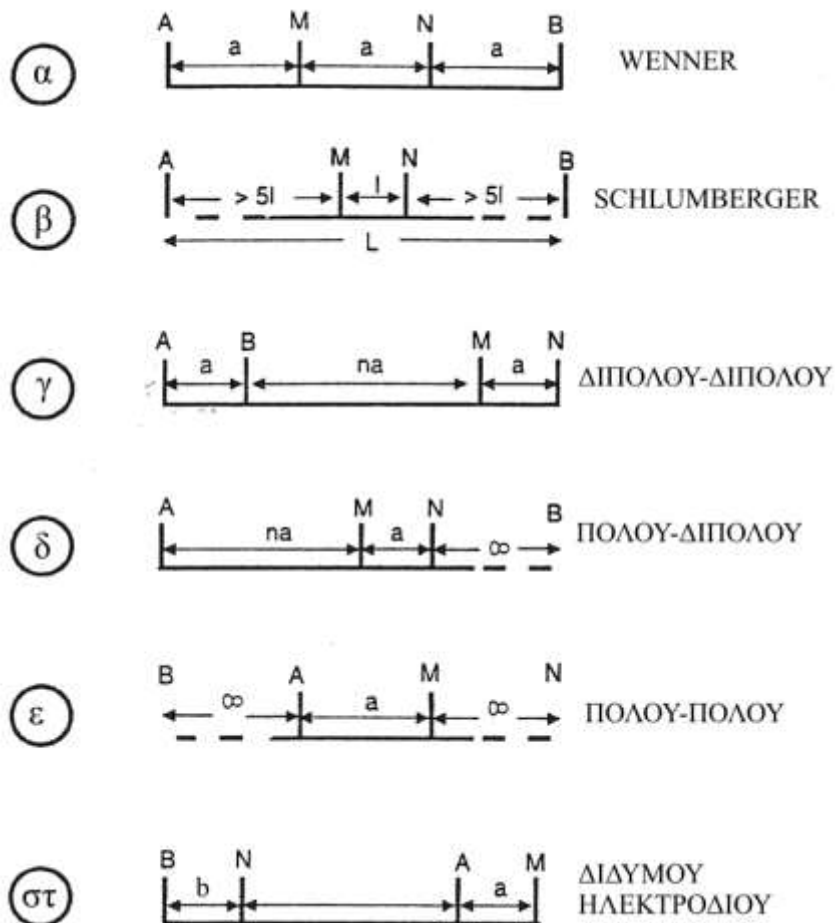
$$\rho_a = 2\pi a \frac{\Delta V}{I}$$

- ✓ **Διάταξη Schlumberger**. Τα Μ και Ν ηλεκτρόδια βρίσκονται πάλι ανάμεσα στα Α, Β με τη διαφορά ότι τοποθετούνται συμμετρικά ως προς ένα κέντρο Ο. Η απόσταση μεταξύ των Α, Β είναι L και η απόσταση μεταξύ των Μ, Ν είναι l. Ισχύει ότι  $L \gg l$  (εικόνα 10β). Σε αυτή την περίπτωση η φαινόμενη ειδική αντίσταση είναι

$$\rho_a = \frac{\pi L^2}{2l} \frac{\Delta V}{I}$$

- ✓ **Διάταξη Διπόλου-διπόλου**. Στη διάταξη αυτή, το δίπολο του ρεύματος (ηλεκτρόδια Α, Β) βρίσκεται σε απόσταση na από το δίπολο του δυναμικού (ηλεκτρόδια Μ, Ν), ενώ η απόσταση των Α, Β και Μ, Ν είναι ίση με α, όπως φαίνεται στην εικόνα 10γ. Η φαινόμενη ειδική αντίσταση είναι

$$\rho_a = -\pi na (n+1)(n+2) \frac{\Delta V}{I}$$

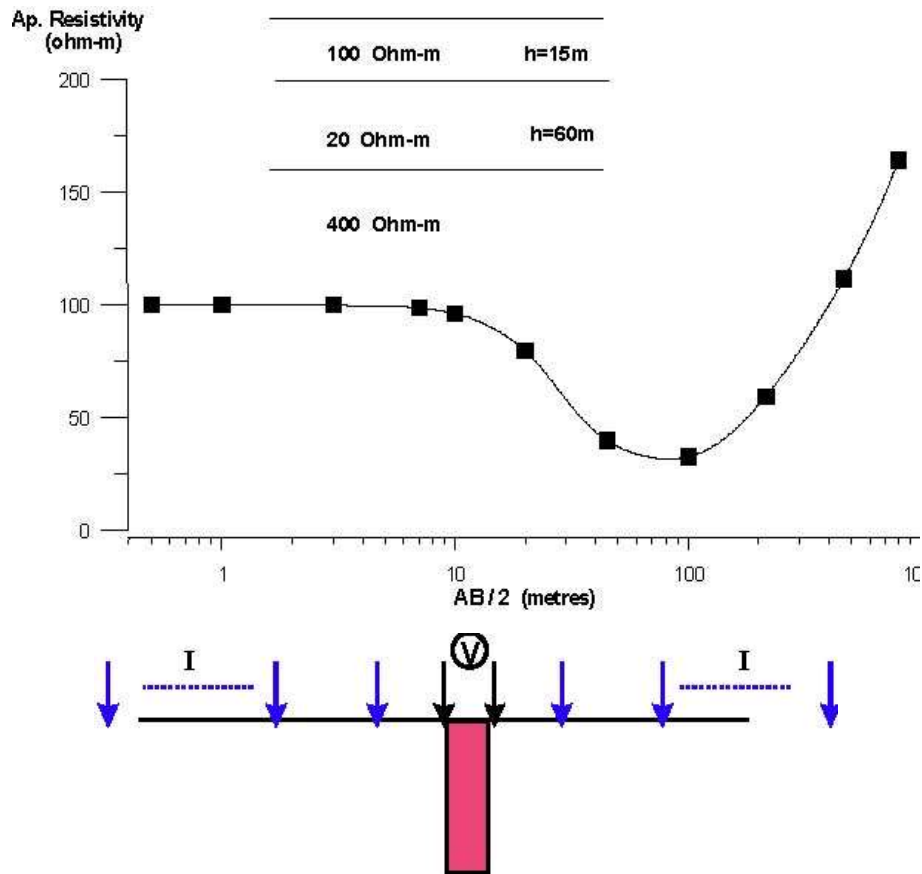


Εικόνα 6. Διάφορες διατάξεις: (α) Wenner (β) Schlumberger (γ) διπόλου-διπόλου (δ) πόλου-διπόλου (ε) πόλου-πόλου (στ) διδύμου ηλεκτροδίου.

### 2.1.3 Μέθοδοι έρευνας

- ✓ **Βυθοσκόπηση (Sounding)**. Σκοπός αυτής της μεθόδου είναι να καθοριστεί η ειδική ηλεκτρική αντίσταση σε συνάρτηση με το βάθος. Το κέντρο της διάταξης παραμένει σταθερό και με την συνεχή αύξηση της απόστασης των ηλεκτροδίων ρεύματος, αυξάνεται και το βάθος διείσδυσης του ρεύματος και διαρρέονται βαθύτεροι σχηματισμοί. Στην περίπτωση των βυθοσκοπήσεων χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά η διάταξη Schlumberger. Έτσι, μετράται η κατακόρυφη κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο κέντρο της διάταξης των

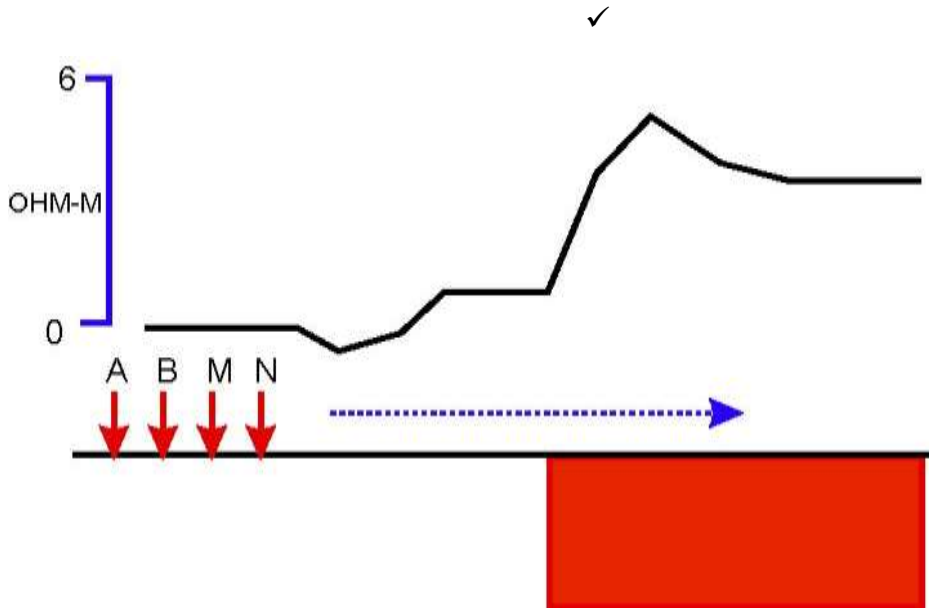
ηλεκτροδίων. Η ερμηνεία των βυθοσκοπήσεων γίνεται θεωρώντας ύπαρξη οριζόντιων στρωμάτων για αυτό και εφαρμόζεται κυρίως σε ιζηματογενείς λεκάνες (μονοδιάστατη γεωηλεκτρική δομή) (εικόνα 11). Κλασικό παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου αυτής αποτελεί η έρευνα για τον εντοπισμό υδροφόρων σχηματισμών.



Εικόνα 7. Δεδομένα βυθοσκόπησης με διάταξη Schlumberger για ένα μοντέλο τριών στρωμάτων.

- ✓ **Όδευση (Profiling).** Χρησιμοποιείται για να εντοπίζει πλευρικές μεταβολές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Αντίθετα με τη βυθοσκόπηση, οι αποστάσεις των ηλεκτροδίων παραμένουν σταθερές και λαμβάνεται μια σειρά μετρήσεων με πλευρική μετακίνηση της διάταξης των ηλεκτροδίων ως συνόλου με σταθερό βήμα. Έτσι, χαρτογραφούνται οι μεταβολές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε σταθερό βάθος κατά μήκος μιας όδευσης και εντοπίζονται δομές που παρουσιάζουν διαφορετική αντίσταση με το περιβάλλον τους. Στη γεωλογία χρησιμοποιείται στον εντοπισμό ρηγμάτων, φακών άμμου ή χαλκικών, επαφών,

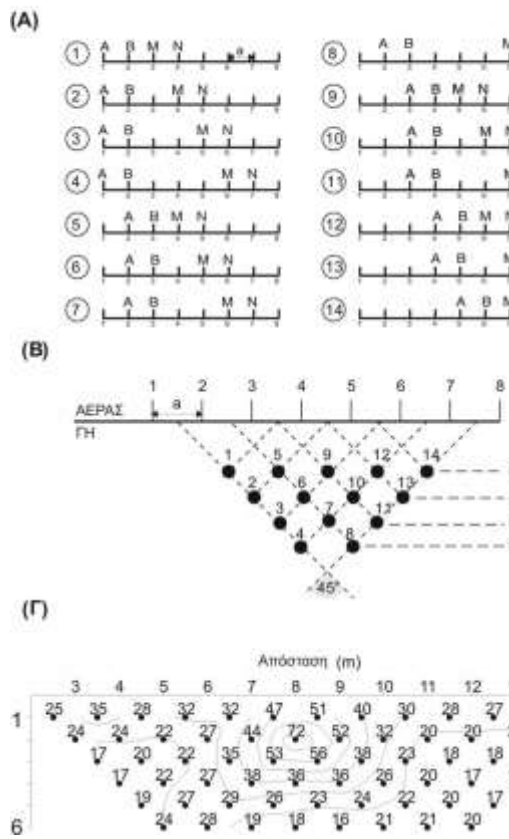
κενών κ.α. (εικόνα 12), ενώ η χρήση της είναι ιδιαίτερα εκτεταμένη στην αρχαιομετρία.



Εικόνα 8. Οριζοντιογραφία στον εντοπισμό ρήγματος.

- ✓ **Δισδιάστατη διασκόπηση** (Συνδυασμός sounding και profiling). Με την ηλεκτρική τομογραφία, (συνδυασμός όδευσης και βυθοσκόπησης), είναι δυνατό να πάρουμε πληροφορίες τόσο για την πλευρική όσο και για την σε βάθος μεταβολή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Αυτό γίνεται για παράδειγμα, με διαδοχικές οδεύσεις πάνω από την περιοχή μελέτης, με συνεχή αύξηση της απόστασης των ηλεκτροδίων. Με τον τρόπο αυτό παίρνουμε μια δισδιάστατη εικόνα της ερευνηθείσας περιοχής. Σε σύγκριση με τις υπόλοιπες τεχνικές, η ηλεκτρική τομογραφία απαιτεί έναν μεγάλο αριθμό μετρήσεων, επομένως αυξάνεται η διακριτική ικανότητα και η ανάλυση της ηλεκτρικής μεθόδου. Παράδειγμα εφαρμογής της δισδιάστατης διασκόπησης με τη μέθοδο διπόλου-διπόλου, φαίνεται στην Εικόνα 13 (Tsourlos 1995).





Εικόνα 9. Δισδιάστατη διασκόπηση με τη μέθοδο διπόλου-διπόλου (α) Τρόπος διάταξης ηλεκτροδίων κατά τη συλλογή των δεδομένων με 8 ηλεκτρόδια και μέγιστο  $n=4$  (β) Τρόπος τοποθέτηση των μετρήσεων κατά την απεικόνιση με τη μέθοδο της ψευδοτομής (γ) Ψευδοτομή δεδομένων από τον αχαιολογικό χώρο της Ευρωπού (Tsourlos 1995)

### 3 ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ, ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

#### 3.1 Συλλογή τομογραφικών δεδομένων ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης

Ηλεκτρικές τομογραφίες πραγματοποιήθηκαν στις τοποθεσίες που σημειώνονται στην εικόνα 14.

Η διασκόπηση πραγματοποιήθηκε λαμβάνοντας υπ' όψη τους εξής παράγοντες:

- Αναμενόταν ότι, η ειδική αντίσταση θα παρουσιάσει σχετικά υψηλή πλευρική διαφοροποίηση, εφ' όσον αναμένονται θαμμένα αρχαία οικοδομικά λείψανα στην περιοχή που έγινε η έρευνα.
- 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, θέλοντας να έχουμε ένα μικρό βάθος διείσδυσης της τάξης των 3-4 m και να μπορέσουμε να απεικονίσουμε καλά οικοδομικά λείψανα, ορίσαμε την απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων σε 0.75 m. Με πρακτικούς όρους, αυτό σημαίνει ότι επιτύχαμε ικανοποιητικό βάθος διείσδυσης χωρίς να θυσιάσουμε την διακριτική ικανότητα.

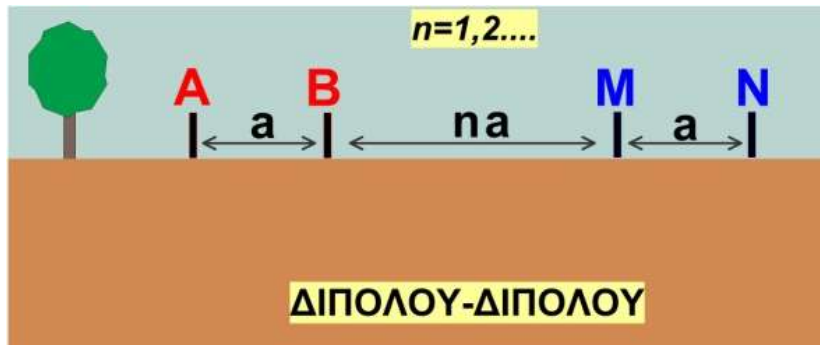
Για να εξασφαλιστεί η καλύτερη δυνατή ποιότητα στις μετρήσεις επιλέχθηκε η διάταξη μέτρησης «διπόλου-διπόλου» (εικόνα 15), η οποία χαρακτηρίζεται από καλή σχέση σήματος προς θόρυβο και επαρκή διακριτική ικανότητα τόσο στις πλευρικές όσο και στις κατακόρυφες μεταβολές της υπεδάφιας αντίστασης (Ward 1990). Χρησιμοποιήθηκε επίσης η διάταξη «πολλαπλής βαθμίδας- multiple gradient» (Εικόνα 16). Για την ακρίβεια, κάθε τομογραφική όδευση μετρήθηκε και με τις δύο προαναφερθείσες διατάξεις ηλεκτροδίων, με σκοπό να εκμεταλλευτούμε τα σχετικά πλεονεκτήματα κάθε μιας.



*Εικόνα 14. Δορυφορική φωτογραφία της πλατφόρμας Google Earth όπου σημειώνονται οι περιοχές που πραγματοποιήθηκαν οι ηλεκτρικές τομογραφίες: Περιοχή A1 (πορτοκαλι), περιοχή A2 (μωβ), Περιοχή B (καφε), περιοχή C (μπλε)*

Για τη διάταξη «διπόλου – διπόλου», κατά την λήψη των μετρήσεων η απόσταση,  $a$ , μεταξύ του διπόλου δυναμικού MN παραμένει σταθερή και η ίδια όδευση επαναλαμβάνεται αυξάνοντας κάθε φορά την απόσταση  $a$  μεταξύ του ηλεκτροδίου ρεύματος A και του ηλεκτροδίου δυναμικού M (ο n είναι ακέραιος). Η μέγιστη απόσταση  $a_{max}$   $x$   $a$  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.

Αντίστοιχα μεταβάλλονται και οι αποστάσεις  $a$  και  $ma$  για τη διάταξη «πολλαπλής βαθμίδας- multiple gradient».



Εικόνα 15. Η διάταξη μέτρησης διπόλου διπόλου



Εικόνα 16. Η διάταξη μέτρησης πολλαπλής βαθμίδας (multiple gradient).

Με βάση τον υπάρχοντα (τελευταίας τεχνολογίας) εξοπλισμό ηλεκτρικής τομογραφίας που χρησιμοποιήθηκε, υπήρχε η δυνατότητα πολυπλεξίας μεταξύ 42 ανεξάρτητων καναλιών (άρα και ηλεκτροδίων) κατά την υλοποίηση μιας σταθερής γραμμής μέτρησης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν όμως δυο διαφορετικές τοπολογίες ως εξής:

- Περιοχή Α1 & Α2: 32 τομογραφικές οδεύσεις, 42 ηλεκτροδίων
- Περιοχή Β: 16 τομογραφικές οδεύσεις 21 ηλεκτροδίων
- Περιοχή Γ: 3 τομογραφικές οδεύσεις 21 ηλεκτροδίων

Όλα τα κανάλια ήταν με απόσταση μεταξύ τους ίση με 0,75μ. Η απόσταση μεταξύ των τομογραφικών οδεύσεων στις δύο περιοχές που ερευνήθηκαν ήταν επίσης 0,75 m.

Χρησιμοποιήθηκε σύστημα απεικόνισης ειδικής αντίστασης υπεδάφους τύπου ABEM SAS 1000. Η αυτόματη πολυπλεξία πραγματοποιήθηκε από ειδική ενσωματωμένη στο όργανο συσκευή.

Η εικόνα 17 δείχνει τμήματα γραμμής των ηλεκτροδίων κατά την πραγματοποίηση των τομογραφιών. Όπως αναφέρθηκε, τα ηλεκτρόδια συνδέονται μέσω ενός πολυπύρηνου καλωδίου με τον πολυπλέκτη του οργάνου, όπως φαίνεται στην εικόνα 18



*Εικόνα 17. Γραμμή ηλεκτροδίων κατά την πραγματοποίηση των τομογραφιών. Φαίνεται επίσης το πολυπύρηνο καλώδιο συνδεδεμένο με το όργανο μέτρησης και αποθήκευσης των μετρήσεων.*



*Εικόνα 18. Μέλη της ερευνητικής ομάδας στο πεδίο (αριστερα) και η οργανολογία που χρησιμοποιήθηκε (δεξια)*

### **3.2 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., 1987). Η διαδικασία αντιστροφής επιταχύνεται από τη χρήση της τεχνικής Newton για την αναβάθμιση του Ιακωβιανού πίνακα. Για την αντιστροφή χρησιμοποιήθηκε επίσης το λογισμικό RESIPY με χρήση των αλγορίθμων R2t και R3t του A.Binley.

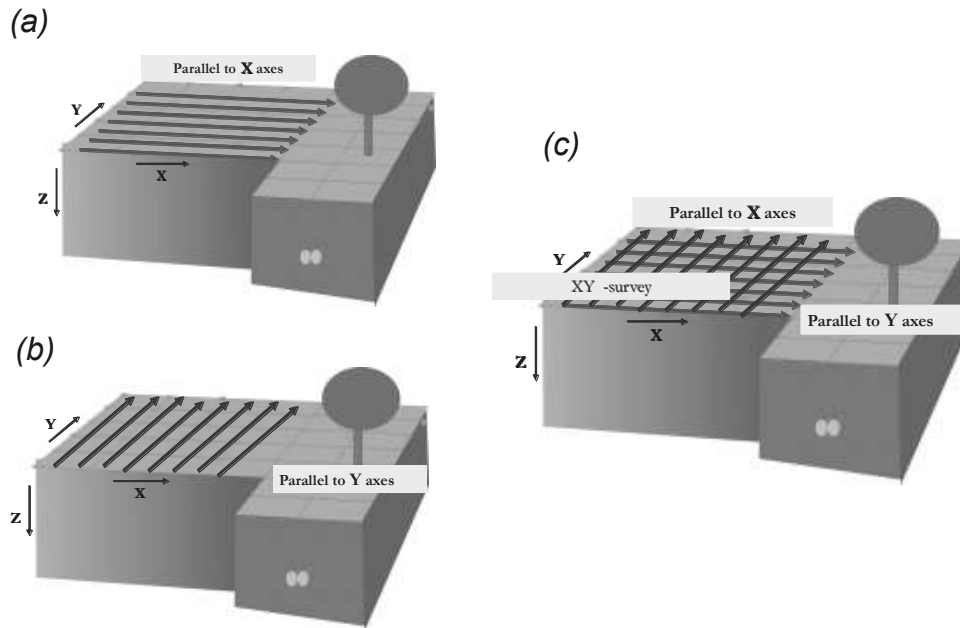
Όλες οι αντιστροφές είχαν μικρό λάθος RMS (1.5-3%) παρά το γεγονός ότι η υπεδάφια κατάσταση της περιοχής είναι σχετικά περίπλοκη. Τα αποτελέσματα της αντιστροφής (που παρουσιάζονται στις επόμενες σελίδες της έκθεσης αυτής απεικονίζουν

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 περίπτωση μας (εικόνα 19). 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 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 τρισδιάστατων πεπερασμένων στοιχείων ο οποίος λύνει τις διαφορικές εξισώσεις που περιγράφουν τη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος σε ανομοιογενή γη.

Ο τρόπος που πραγματοποιήθηκαν οι τομογραφίες έκανε δυνατή την πλήρη τρισδιάστατη επεξεργασία των μετρήσεων. Αυτό έγινε γιατί οι τομογραφίες ήταν παράλληλες μεταξύ τους και η απόσταση μεταξύ των γραμμών είναι ίση με αυτή την βασική απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων. Έχει αποδειχθεί ότι, ενώ αυτός ο τρόπος συλλογής των δεδομένων δεν είναι αυτός που απαιτείται για πλήρη τρισδιάστατη συλλογή και συνακόλουθη επεξεργασία, δίνει όμως εξαιρετική προσέγγιση της τρισδιάστατης διαδικασίας. Αυτό βέβαια με την προϋπόθεση ότι η συλλογή γίνεται με τον τρόπο που αναφέρθηκε, δηλαδή σε παράλληλες ισαπέχουσες τομές (εικόνα 19), ενώ η επεξεργασία γίνεται με τρισδιάστατο αλγόριθμο (Papadopoulos et al 2006, 2007).



Εικόνα 19. Διάφοροι τύποι τρισδιάστατης γεωηλεκτρικής διασκόπησης.

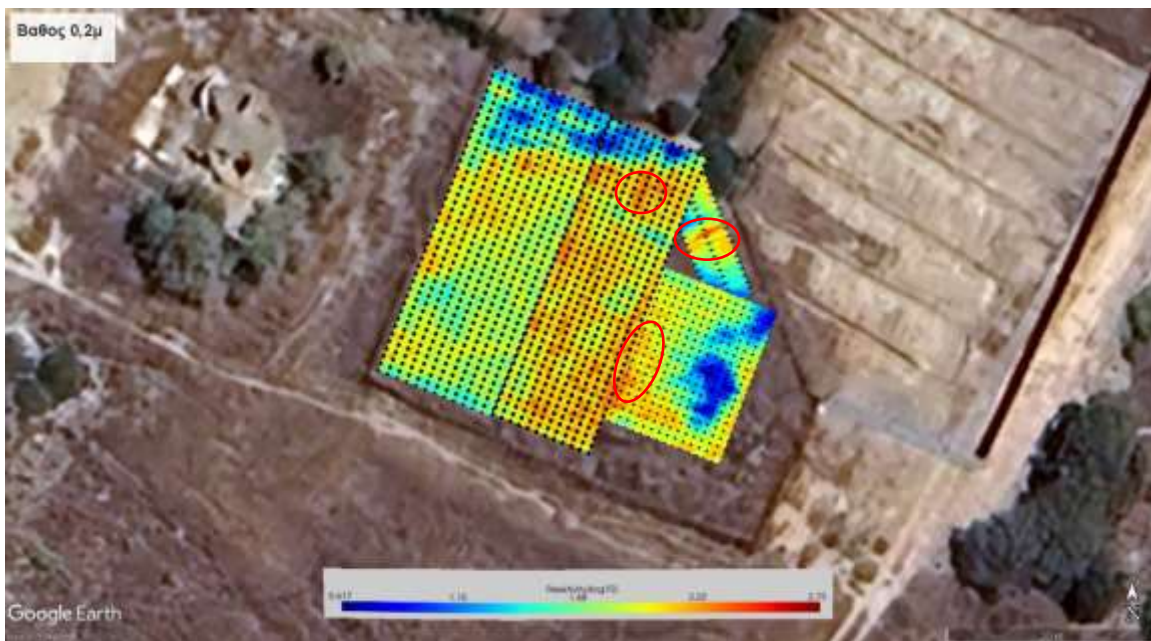
### 3.3 Αποτελέσματα των τομογραφιών

Στο Παραρτημα Α φαίνονται τα αποτελέσματα της δισδιάστατης αντιστροφής των ηλεκτρικών δεδομένων (τομογραφίες) για όλες τις τομογραφίες που πραγματοποιήθηκαν κατά μήκος των οδεύσεων που φαίνονται στην εικόνα 14. Οι μετρήσεις έγιναν με τη διάταξη «διπόλου-διπόλου»

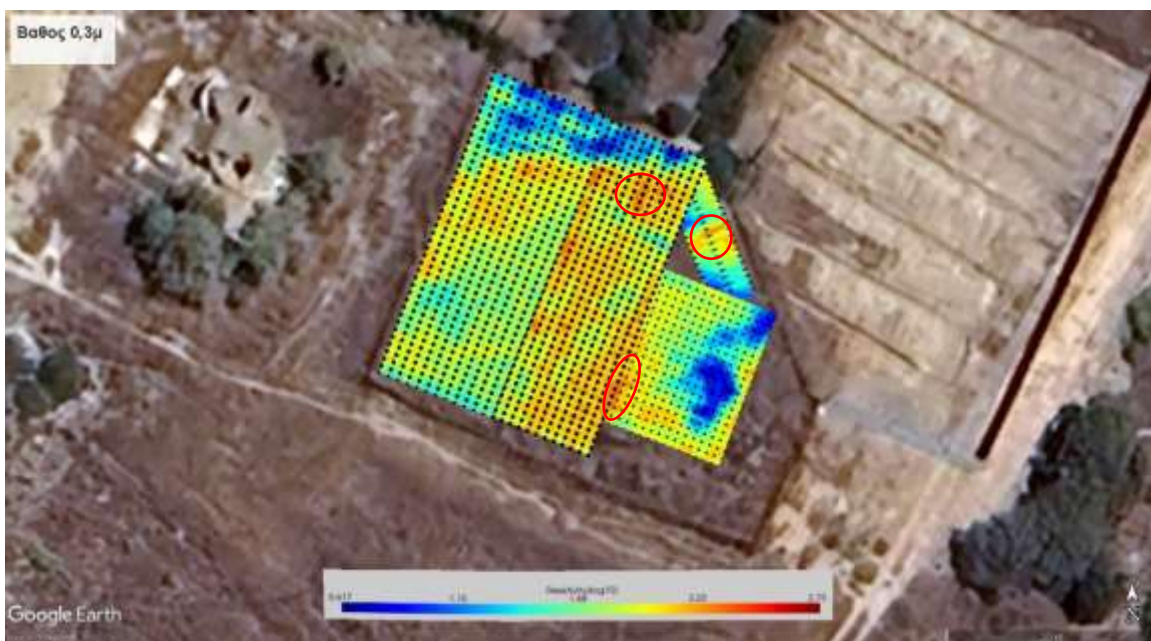
Οι αντιστάσεις διαβαθμίζονται σε κλίμακα που αποδίδεται με τα χρώματα του ουράνιου τόξου. Επομένως, οι αρχαίες κατασκευές ή τα λείψανά τους, αν υπάρχουν στο υπέδαφος, εμφανίζονται με τα θερμά χρώματα, ως αντιστατικές δομές σε σχέση με το αγωγίμο περιβάλλον που τις φιλοξενεί.

Στις εικόνες 20 έως 25 παρουσιάζονται οι κατανομές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για την περιοχή που ερευνήθηκε σε οριζόντιες τομές του υπεδάφους για διάφορα βάθη από την κυμαινόμενη επιφάνεια του εδάφους.

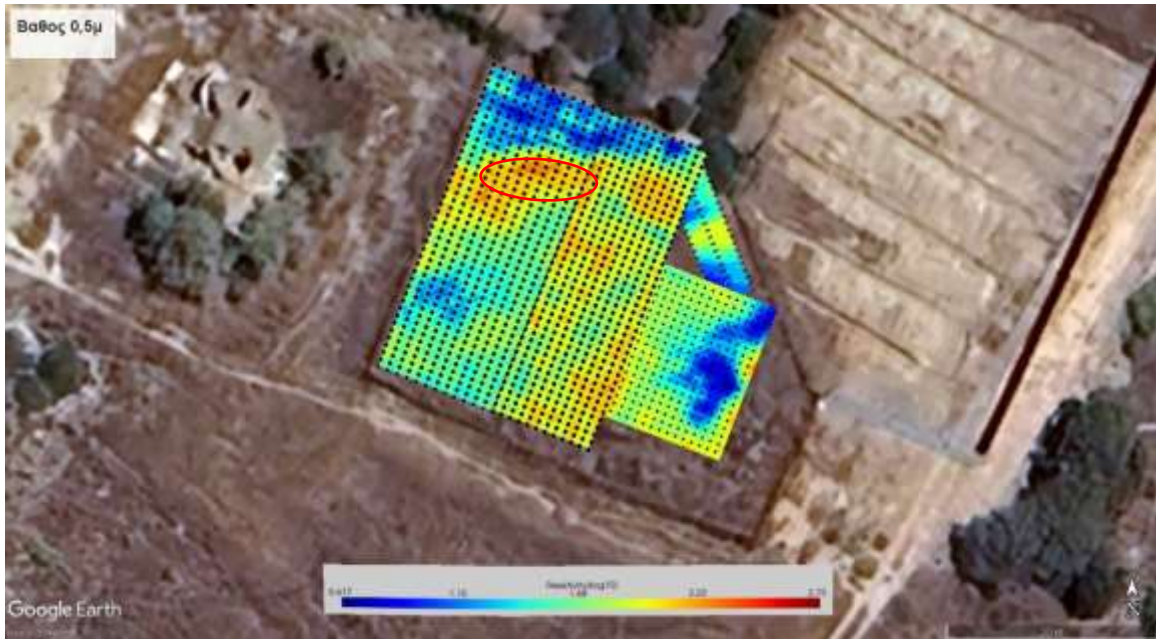




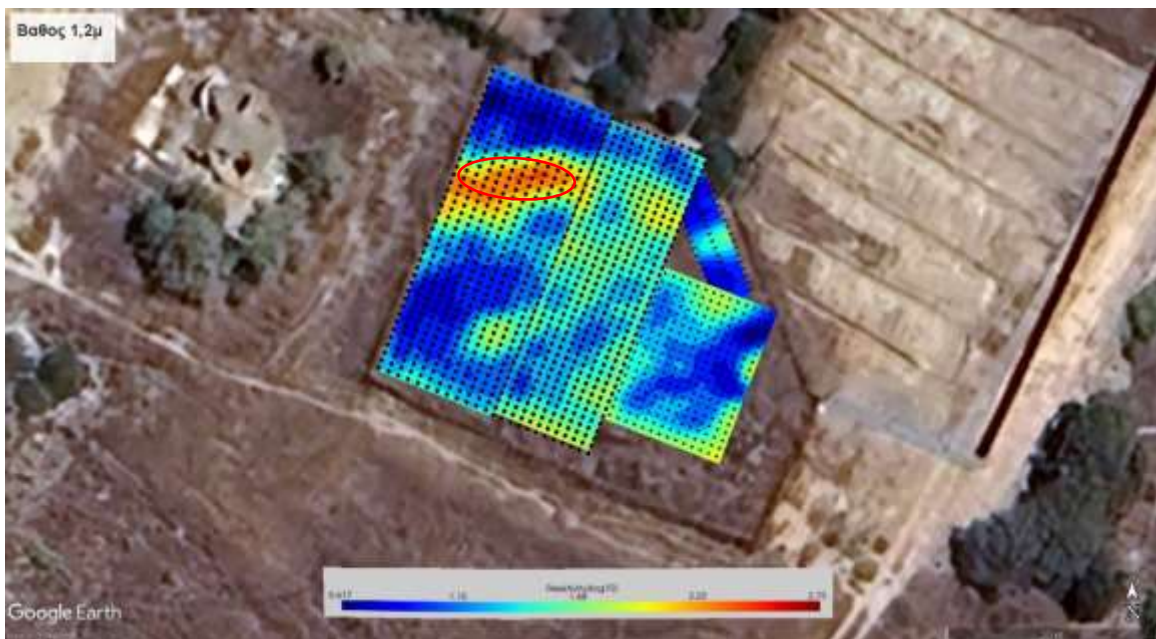
Εικόνα 20. Κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε επίπεδο σε βάθος 0,2 m από την επιφάνεια του εδάφους.



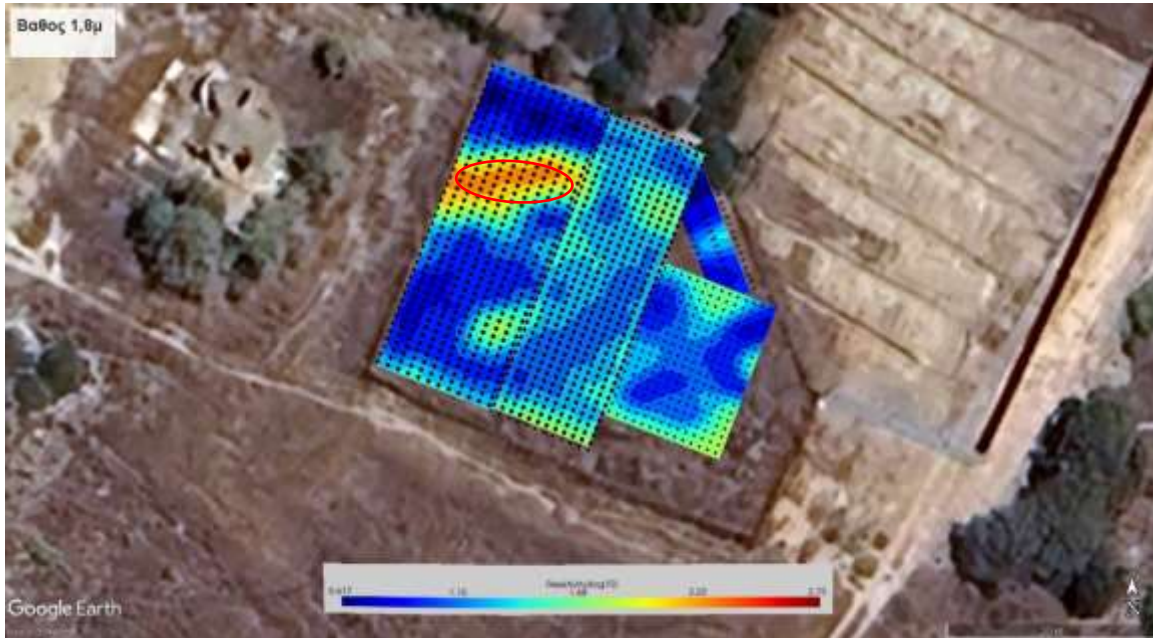
Εικόνα 21. Κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε επίπεδο σε βάθος 0,3 m από την επιφάνεια του εδάφους.



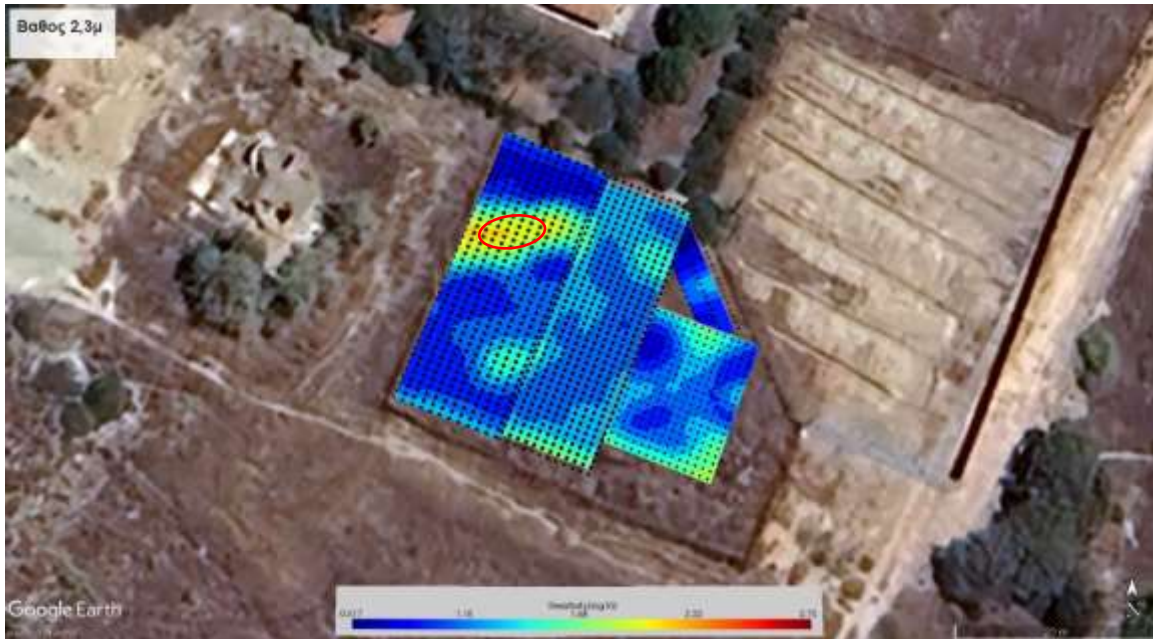
Εικόνα 22. Κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε επίπεδο σε βάθος 0,5 m από την επιφάνεια του εδάφους.



Εικόνα 23. Κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε επίπεδο σε βάθος 1,2 m από την επιφάνεια του εδάφους.



Εικόνα 24. Κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε επίπεδο σε βάθος 1,8 m από την επιφάνεια του εδάφους.



Εικόνα 20. Κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε επίπεδο σε βάθος 2,3 m από την επιφάνεια του εδάφους.

Από τα ανωτέρω αποτελέσματα εξάγουμε τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Για βάθος 0,2 – 0,3μ εντοπίζονται τρία ίχνη (θέση II, III και IV) (κόκκινοι κύκλοι) : ένα στην περιοχή A1, ένα στην περιοχή B και ένα στην περιοχή C. Τα ίχνη αυτά αποδίδονται σε ανθρωπογενείς παρεμβάσεις και έχουν προβολή στην επιφάνεια του εδάφους.
- Για βάθος μεταξύ 0,5 εως 1,2 υπάρχει εναρξη ισχυρού ίχνους (θέση I) με ολοκλήρωση στο βάθος των 1,8μ. στην περιοχή A2. Το ίχνος αυτό αποδίδεται σε πρόσφατες ανθρωπογενείς κατασκευές όπως τεκμηριώνεται στα συμπεράσματα.

## 4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο πλαίσιο της έρευνας που περιεγράφηκε στα προηγούμενα κεφάλαια εφαρμόστηκε η μέθοδος της ηλεκτρικής τομογραφίας . Ο στόχος στην περίπτωση αυτή ήταν η ανίχνευση και η κατά το δυνατόν χαρτογράφηση θαμμένων αρχιτεκτονικών καταλοίπων και η χωροταξική συσχέτισή τους.

Εντοπίστηκαν ανωμαλίες στην κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος, όμως με βάση τόσο τις ορατές κατασκευές όσο και στοιχεία που αντλήθηκαν από προϋπάρχουσες αποτυπώσεις, δεν συνιστούν στόχους αρχαιολογικού ενδιαφέροντος. Εκ του σχήματός τους λοιπόν, οι ανωμαλίες αυτές αποδίδονται σε θαμμένα οικοδομικά λείψανα και υπόγεια άκρα κατασκευών. Ειδικότερα , εντοπίστηκαν οι παρακάτω περιοχές ενδιαφέροντος.

- Θέση I: Εντοπίστηκε συνεχής αντιστατική διάταξη, σχεδόν παραλληλόγραμμης μορφής , μήκους 4,5μ ύψους περίπου 0.5μ σε βάθος έναρξης 0.8μ. Το ίχνος αυτό αποδίδεται σε υπολείμματα πρόσφατης ανθρωπογενούς κατασκευής δεδομένου ότι εμφανίζεται στο απόσπασμα του εγκεκριμένου ρυμοτομικού σχεδίου του 1996 που αφορά στο εν λόγω οικοδομικό τετράγωνο (Ο.Τ. 5 Π.Ε. Λαγονήσι, θέση «Κιτέζα -Κάλμη», Δήμου Σαρωνικού). Στο απόσπασμα αυτό διακρίνονται δύο παράλληλες μικρού μήκους (περίπου 5μ) γραμμές εντός του οικοπέδου στην περιοχή που εμφανίζεται αντιστατική συμπεριφορά. Με αναλυτικότερη εξέταση των γραμμών αυτών υπό κλίμακα, διαπιστώνεται ότι απέχουν μεταξύ τους 1 μέτρο, χαρακτηριστικό πλάτος μονοπατιού οριοθετημένου κατά το σύνηθες από ξερολιθιές. Η κάθε γραμμή, επομένως θεωρείται ότι αποτελεί ίχνος μονοπατιού και αντιπροσωπεύει μία ξερολιθιά η οποία μάλιστα με το πέρασμα των δεκαετιών έχει καταπέσει, και καλυφθεί με γαιώδη υλικά, αφού δεν διακρίνεται κανένα ίχνος σε μεταγενέστερα έγγραφα (τοπογραφικά που έχουν κατατεθεί σε δημόσιες υπηρεσίες). Μάλιστα, πιθανότατα, οι δύο ξερολιθιές έχουν καταπέσει προς τα μέσα.
- Θέση II: Εντοπίστηκε αντιστατική διάταξη διαστάσεων 1.5μ X 2.5μ σε βάθος έναρξης 0.2μ. Το ίχνος αυτό αποδίδεται στην θεμελίωση της αγκύρωσης του

στύλου ΔΕΗ , ο οποίος αν και βρίσκεται εκτός της παρούσας ιδιοκτησίας, η στήριξη του πραγματοποιείται με εδραση εντός της παρούσας ιδιοκτησίας.

- Θέση III. Εντοπίστηκε αντιστατική διάταξη διαστάσεων 1μ X 1μ με επιφανειακή έναρξη. Το ίχνος αυτό αποδίδεται στη θεμελίωση της κατασκευής που θα φιλοξενήσει τον μετρητή της ηλεκτρικής παροχής.
- Θέση IV Εντοπίστηκε αντιστατική διάταξη διαστάσεων 1.6μ X 0.6μ, επιφανειακής έναρξης και πολυγωνικού σχήματος. Το ίχνος αυτό αποδίδεται με βάση τα ορατά επιφανειακά ίχνη σε υπολείμματα εκτεταμένου ριζικού συστήματος

Συμπερασματικά, με βάση τα αποτελέσματα επεξεργασίας των ληφθέντων μετρήσεων και την ερμηνεία αυτών καταλήγουμε ότι τα ανιχνευθέντα ίχνη δεν δύναται να τεκμηριώσουν αρχαιολογικού ενδιαφέροντος ευρήματα και αποτελούν πολύ πρόσφατες ανθρωπογενείς παρεμβάσεις και δραστηριότητες.

## 5 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abbas, A. M., H. Kamei, A. Helal, M. A. Atya, and F. A. Shaaban, 2005a Contribution of Geophysics to Outlining the Foundation Structure of the Islamic Museum, Cairo, Egypt. *Archaeological Prospection* 12:167-176.
- Abbas, Abbas Mohamed, Tareq Fahmy Abdallatif, Fathy A. Shaaban, Ahmed Salem, and Mancheol Suh 2005b Archaeological Investigation of the Eastern Extensions of the Karnak Temple Using Ground-Penetrating Radar and Magnetic Tools. *Geoarchaeology* 20(5):537-554.
- Annan, A.P. 2009 Electromagnetic Principles of Ground Penetrating Radar. In *Ground Penetrating Radar: Theory and Applications*, edited by Harry M. Jol, pp. 3-40. Elsevier, Amsterdam. 1999 Practical Processing of GPR Data. Proceedings of the Second Government Workshop on Ground Penetrating Radar.
- Appell, Erwin, Jörg Wilhelm, and Martin Waldhör 1997 Archaeological Prospection of Wall Remains using Geoelectrical methods and GPR. *Archaeological Prospection* 4:219-229.
- Arciniega-Ceballos, A., E. Hernandez-Quintero, E. Cabral-Cano, L. Morett-Alatorre, O. Diaz-Molina, A. Soler-Arechalde, and R. Chavez-Segura 2009 Shallow geophysical survey at the archaeological site of San Miguel Tocuila, Basin of Mexico. *Journal of Archaeological Science* 36:1199-1205.
- Atya, M. A., H. Kamei, A. M. Abbas, F. A. Shaaban, A. Gh. Hassaneen, M. A. Abd Alla, M. N. Soliman, Y. Marukawa, T. Ako, and Y. Kobayashi 2005 Complementary Integrated Geophysical Investigations around Al-Zayyan Temple, Kharga Oasis, Al-Wadi Al-Jadeed (New Valley), Egypt. *Archaeological Prospection* 12:177-189.
- 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 features. *Prospezioni Archeologiche*, **5**, 67-75, 1973.
- Barker R.D. ,1992. A simple algorithm for electrical imaging of the subsurface. *First Break*, **10**, 53-63.
- Barone, P.M., F. Graziano, E. Pettinelli, and R. Ginanni Corradini 2007 Ground-penetrating Radar Investigations into the Construction Techniques of the

- Cconcordia Temple (Agrigento, Sicily, Italy). *Archaeological Prospection* 14:47-59.
- Barone, P.M., T. Bellomo, E. Mattei, S.E. Lauro, and E. Pettinelli 2011 Ground-penetrating Radar in the Regio III (Pompeii, Italy): Archaeological Evidence. *Archaeological Prospection* 18:187-194.
- Berard, Brooke A., and J.M. Maillol 2008 Common- and Multi-Offset Ground-Penetrating Radar Study of a Roman Villa, Tourega, Portugal. *Archaeological Prospection* 15:32-46.
- Bini, Monica, Antonio Fornaciari, Adriano Ribolini, Alessandro Bianchi, Simone Sartini, and Francesco Coschino 2010 Medieval phases of settlement at Benabbio castle, Apennine mountains, Italy: evidence from Ground Penetrating Radar survey. *Journal of Archaeological Science* 37:3059-3067.
- Bongiovanni, María Victoria, Matías de la Vega, and Néstor Bonomo 2011 Contribution of the resistivity method to characterize mud walls in a very dry region and comparison with GPR. *Journal of Archaeological Science* 38:2243- 2250.
- Böniger, U., and J. Tronicke 2010 Improving the interpretability of 3D GPR data using target-specific attributes: application to tomb detection. *Journal of Archaeological Science* 37:672-679.
- Bonomo, Néstor, Ana Osella, and Norma Ratto 2010 Detecting and mapping buried buildings with Ground-Penetrating Radar at an ancient village in northwestern Argentina. *Journal of Archaeological Science* 37:3247-3255.
- Booth, Adam D., Neil T. Linford, Roger A. Clark, and Tavi Murray 2008 Three-dimensional, Multi-offset Ground-penetrating Radar Imaging of Archaeological Targets. *Archaeological Prospection* 15:93-112.
- Boschi, Federica 2011 Geophysical Survey of the Burnum Archaeological Site, Croatia. *Archaeological Prospection* 18:117-126.
- Campana, S., M. Dabas, L. Marasco, S. Piro, and D. Zamuner 2009 Integration of Remote Sensing, Geophysical Surveys and Archaeological Excavation for the Study Of A Medieval Mound (Tuscany, Italy). *Archaeological Prospection* 16:167-176.
- Carey, Chris J., Tony G. Brown, Keith C. Challis, Andy J. Howard, and Lynden Cooper 2006 Predictive Modelling of Multiperiod Geoarchaeological Resources at a River



- Confluence: a Case Study from the Trent-Soar, UK. *Archaeological Prospection* 13:241-250.
- Carrozzo, M. T., G. Leucci, S. Negri, and L. Nuzzo 2003 GPR Survey to Understand the Stratigraphy of the Roman Ships Archaeological Site (Pisa, Italy). *Archaeological Prospection* 10:57-72.
- Casana, Jesse, Jason T. Herrmann, and Aaron Fogel 2008 Deep Subsurface Geophysical Prospection at Tell Qarqur, Syria. *Archaeological Prospection* 15:207-225.
- Cassidy, Nigel J. 2009a Ground Penetrating Radar Data Processing, Modelling and Analysis. In *Ground Penetrating Radar: Theory and Applications*, edited by Harry M. Jol, pp. 141- 176. Elsevier, Amsterdam.
- Cassidy, Nigel J. , 2009b Electrical and Magnetic Properties of Rocks, Soils and Fluids. In *Ground Penetrating Radar: Theory and Applications*, edited by Harry M. Jol, pp. 41-72. Elsevier, Amsterdam.
- Castaldo, R., L. Crocco, M. Fedi, B. Garofalo, R. Persico, A. Rossi, and F. Soldovieri 2009 GPR Microwave Tomography for Diagnostic Analysis of Archaeological Sites: the Case of a Highway Construction in Pontecagnano (Southern Italy). *Archaeological Prospection* 16:203-217.
- Chadwick, William J., and John A. Madsen 2000 The Application of Ground-penetrating Radar to a Coastal Prehistoric Archaeological Site, Cape Henlopen, Delaware, USA. *Geoarchaeology* 15(8):765-781.
- Chapman, Henry, Jimmy Adcock, and John Gater 2009 An approach to mapping buried prehistoric palaeosols of the Atlantic seaboard in Northwest Europe using GPR, geoarchaeology and GIS and the implications for heritage management. *Journal of Archaeological Science* 36:2308-2313.
- Chávez, R. E., M. E. Cámara, A. Tejero, L. Barba, and L. Manzanilla 2001 Site Characterization by Geophysical Methods in The Archaeological Zone of Teotihuacan, Mexico. *Journal of Archaeological Science* 28:1265-1276.
- Chávez, René Efrain, Maria Encarnación Cámara, Rocio Ponce, and Denisse Argote 2005 Use of Geophysical Methods in Urban Archaeological Prospection: The Basilica de Neustra Señora de La Salud, Patzcuaro, Mexico. *Geoarchaeology* 20(5):505-519.

- Chávez, R. E., A. Tejero, D. L. Argote, and M. E. Cámara 2009 Geophysical Study of a Pre-Hispanic Lakeshore Settlement, Chiconahuapan Lake, Mexico. *Archaeological Prospection* 17:1-13.
- Chianese, D., V. Lapenna, S. Di Salvia, A. Perrone, and E. Rizzo 2010 Joint geophysical measurements to investigate the Rossano of Vaglio archaeological site (Basilicata Region, Southern Italy). *Journal of Archaeological Science* 37:2237-2244.
- Chianese, Domenico, Mariagrazia D'Emilio, Saverio Di Salvia, Vincenzo Lapenna, Maria Ragosta, and Enzo Rizzo 2004 Magnetic mapping, ground penetrating radar surveys and magnetic susceptibility measurements for the study of the archaeological site of Serra di Vaglio (southern Italy). *Journal of Archaeological Science* 31:633-643.
- Clarke, Ciara M., Erica Utsi, and Vincent Utsi 1999 Ground Penetrating Radar Investigations at North Ballachulish Moss, Highland, Scotland. *Archaeological Prospection* 6:107-121
- Conyers, Lawrence B. , 2011 Discovery, mapping and interpretation of buried cultural resources non-invasively with ground-penetrating radar. *Journal of Geophysics and Engineering* 8:S13- S22.
- Conyers, Lawrence B. 2010 Ground-penetrating radar for anthropological research. *Antiquity* 84:175-184.
- Conyers, Lawrence B. , 2009 Ground-penetrating radar for landscape archaeology: Method and applications. In *Seeing the Unseen*, edited by Stefano Campana and Salvatore Piro, pp. 245-255. Taylor and Francis Group, London.
- Conyers, Lawrence B. , 2007 Ground-penetrating Radar for Archaeological Mapping. In *Remote Sensing in Archaeology*, edited by James Wiseman and Farouk El-Baz, pp. 329-344. Springer, New York.
- Conyers, Lawrence B. . 2006a Innovative Ground-penetrating Radar Methods for Archaeological Mapping. *Archaeological Prospection* 13:139-141.
- Conyers, Lawrence B., 2006b Ground-Penetrating Radar Techniques to Discover and Map Historic Graves. *Historical Archaeology* 40(3):64-73.
- Conyers, Lawrence B., 2004 *Ground-Penetrating Radar for Archaeology*. AltaMira Press, Lanham.

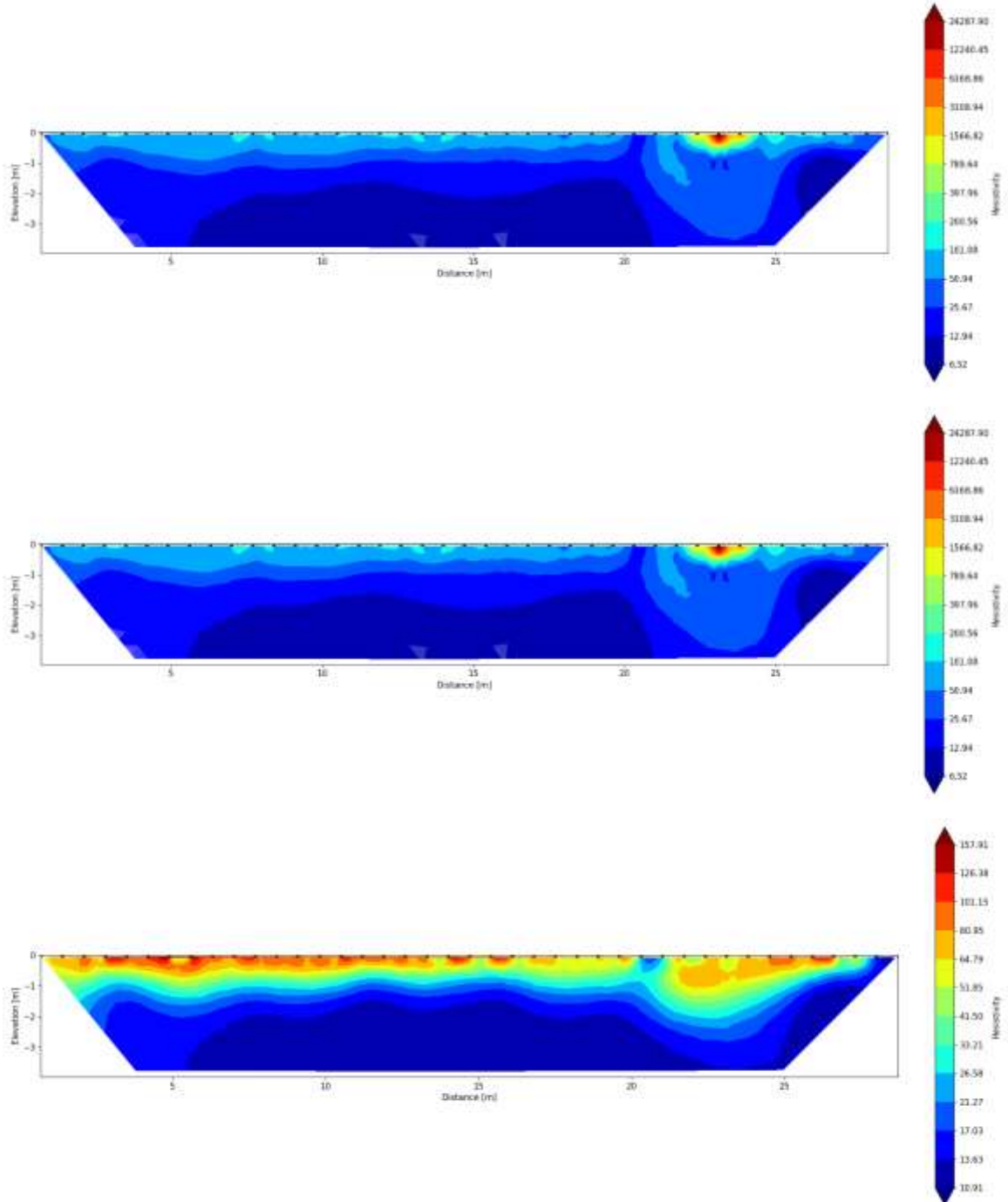
- Conyers, Lawrence B., 1998 Acquisition, Processing and Interpretation Techniques for Ground-Penetrating Radar Mapping of Buried Pit-Structures in the American Southwest. In Proceedings of the 5th International Conference on Ground-penetrating Radar, pp. 89-94. Tohoku University Faculty of Engineering, Sendai, Japan.
- Conyers, Lawrence B. and Catherine M. Cameron , 1998 Ground-Penetrating Radar Techniques and Three-Dimensional Computer Mapping in the American Southwest. *Journal of Field Archaeology* 25(4):417- 430.
- Conyers, Lawrence B., and Samuel Connell, 2007 An Analysis of Ground-Penetrating Radar's Ability to Discover and Map Buried Archaeological Sites in Hawai'i. *Hawaiian Archaeology Journal* 11:62-77.
- Conyers, Lawrence B., and Juerg Leckebusch. 2010 Geophysical Archaeology Research Agendas for the Future: Some Ground penetrating Radar Examples. *Archaeological Prospection* 17(2):117-123.
- Constable, S., Parker, R., and Constable, C. Ocam's Inversion: Apractical algorithm for generating smooth models from electromagnetic sounding data. *Geophysics*, 52, 289-300, 1987.
- Edwards L.S., A modified pseudosection for resistivity and IP. *Geophysics*, **42**, 1020-1036, 1977.
- Griffiths D., Turnbull, J., and Olyianka A. 2-dimentional resistivity mapping with a computer controlled array. *First Break*, 8, 121-129, 1990.
- Kim, J.H. DC\_2DPRO. User's guide, KIGAM, S. Korea, 2007.
- Mauring, E., Beard, L.P., Kihle, O., Smethurst, M.A. A comparison of aeromagnetic levelling techniques with an introduction to median levelling. *Geophysical Prospecting*, 50, 43-54, 2002.
- Parasnis, D.S. Principles of Applied Geophysics. Third Edition, Chapman and Hall, London, 1997.
- 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.
- Scollar, I. Weidner, B. and Segeth, K. Display of archaeological magnetic data. *Geophysics*, 51, 3, 623-633, 1986.
- Shima H. 2-D automatic resistivity inversion technique using alpha centers. *Geophysics*, **55**, 682-694, 1990.
- Tripp A., Hohm-mann, G. and Swift, C. 2-D resistivity inversion. *Geophysics*, **57**, 1004-1013, 1984.
- 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 Savoroulou, 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. Modelling, interpretation and inversion of multielectrode resistivity survey data. Thesis, University of York, U.K., 1995.
- Tsourlos P., Szymanski J., Dittmer J. and Tsokas G.N. 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, 1993.*

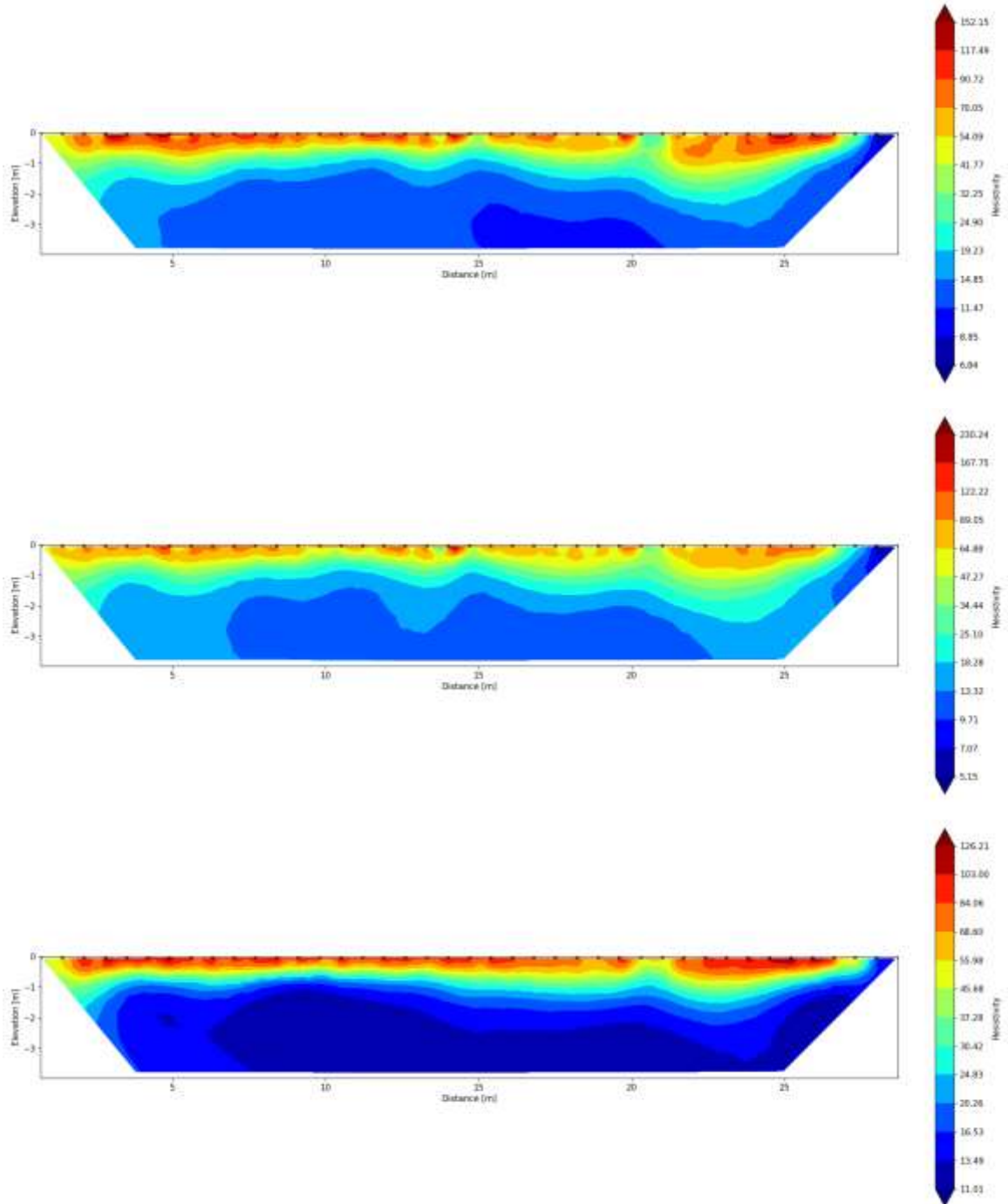
- Tsourlos, P. and Ogilvy, R.D. An algorithm for the 3-D Inversion of Tomographic Resistivity and Induced Polarisation data: Preliminary Results. *Journal of the Balkan Geophysical Society*, 2, 2, 30-45, 1999.
- Ward, S. H. Resistivity and Induced Polarization Methods, in *Geotechnical and Environmental Geophysics 1: Review and Tutorial (Investigations in Geophysics 5)*, SEG, ed. S. H. Ward, Tulsa, pp. 147– 189, 1990.
- Wynn, J.C. (1986a). Archaeological prospection: an introduction to the special issue. *Geophysics*, 51, 533- 537.

## 6 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

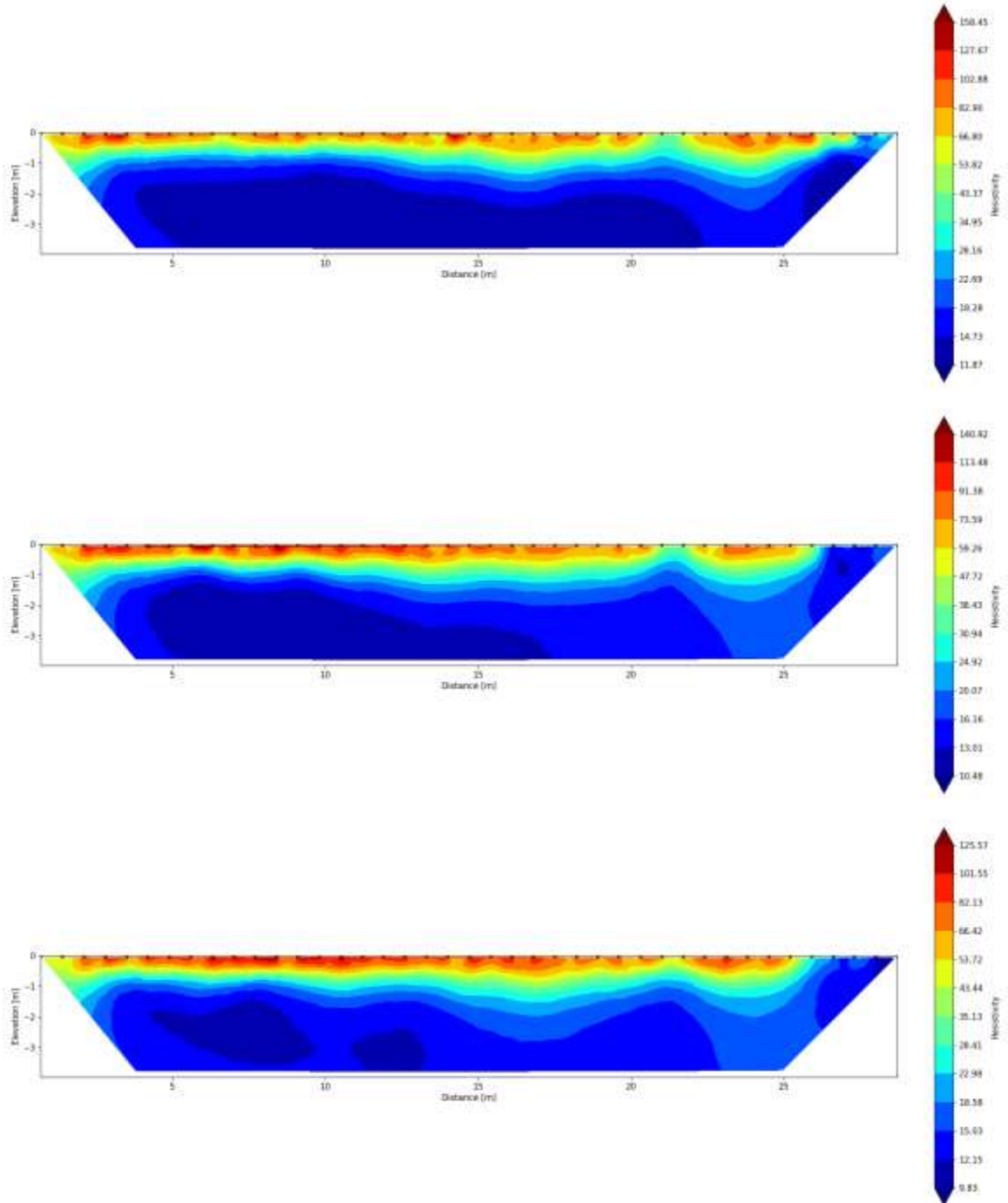
### Κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για την Περιοχή Α1



ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΟΙΚΟΠΕΔΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ «ΚΙΤΕΖΑ» ΚΑΛΥΒΙΩΝ ΘΟΡΙΚΟΥ

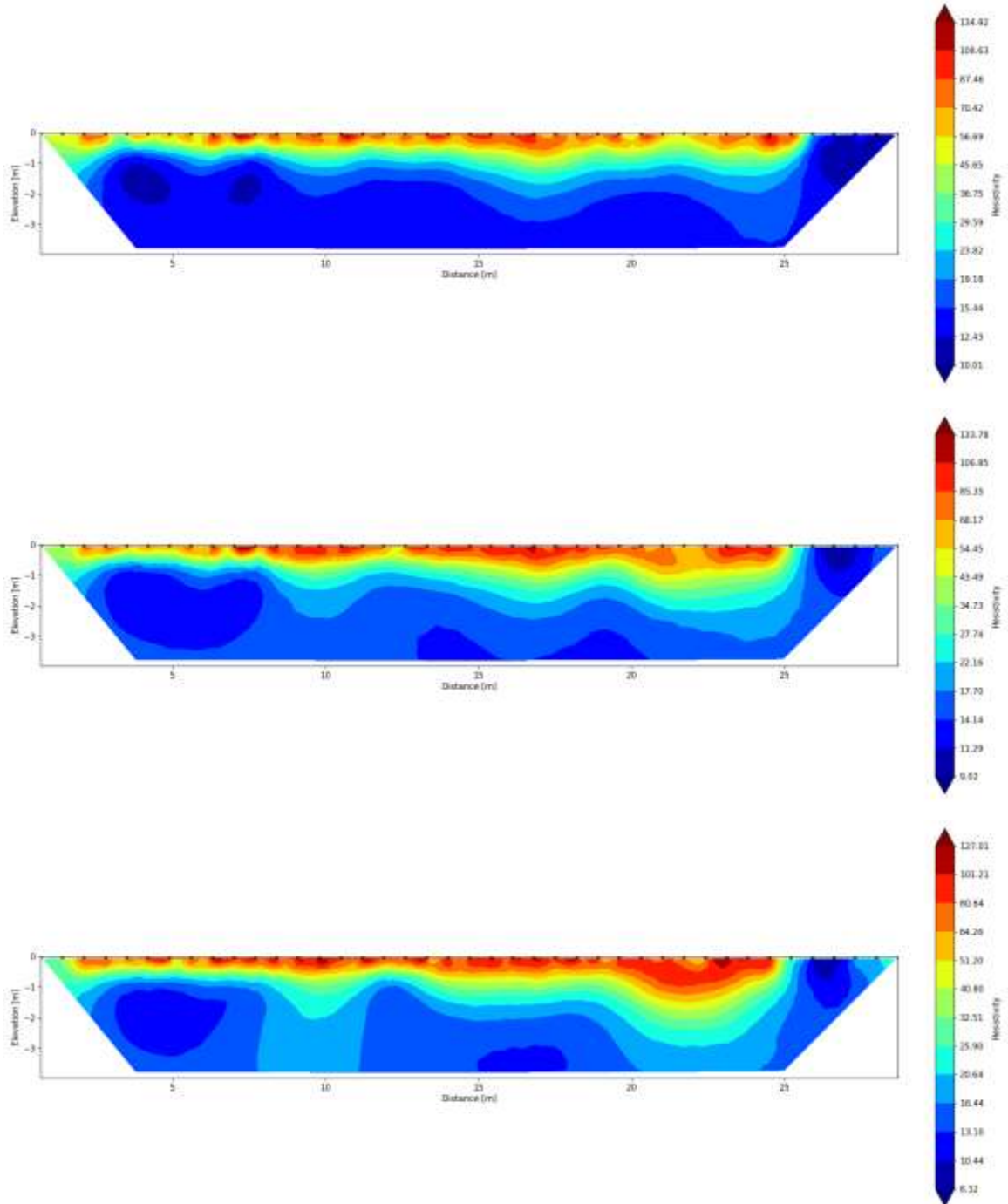


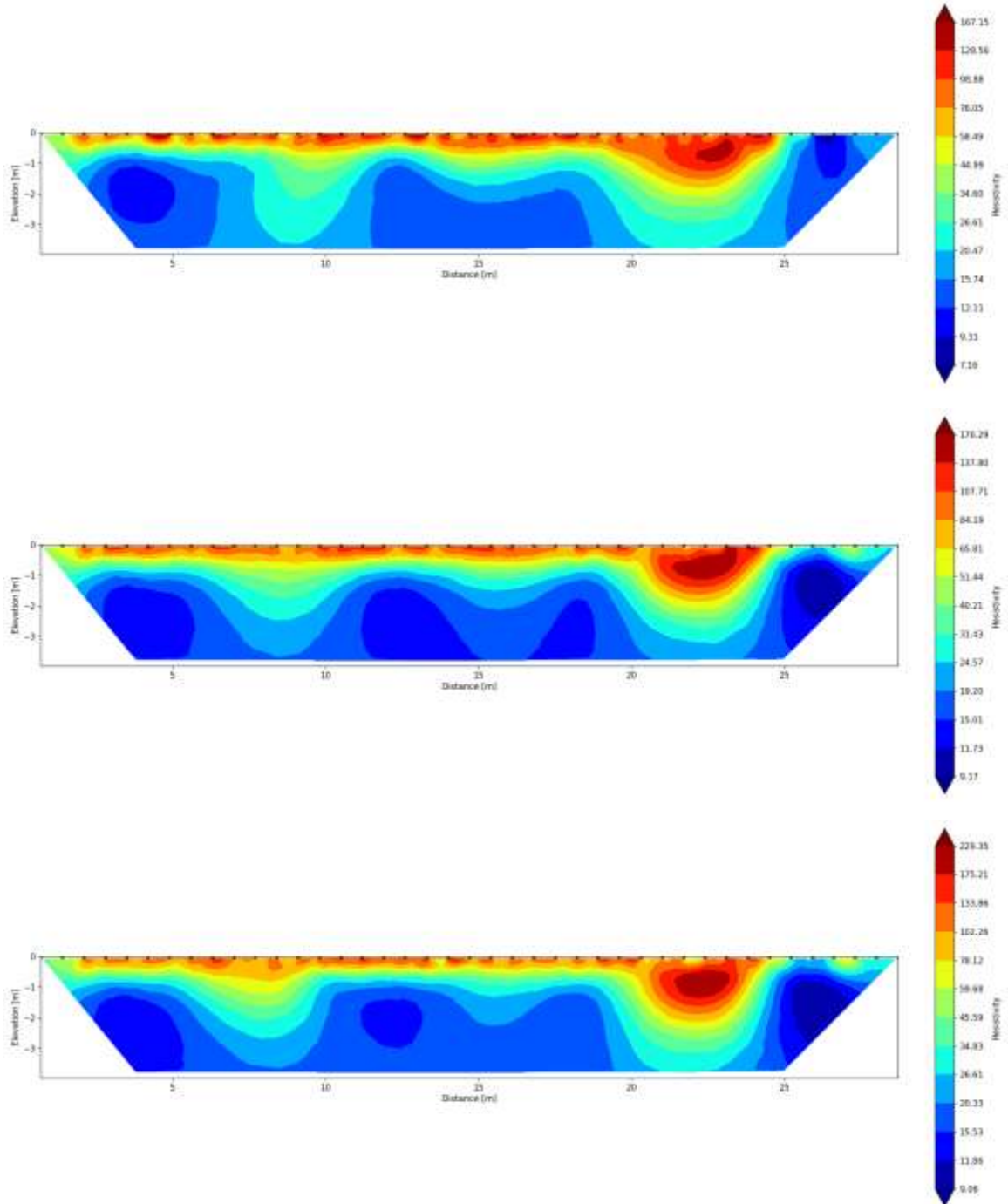
ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΟΙΚΟΠΕΔΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ «ΚΙΤΕΖΑ» ΚΑΛΥΒΙΩΝ ΘΩΡΙΚΟΥ



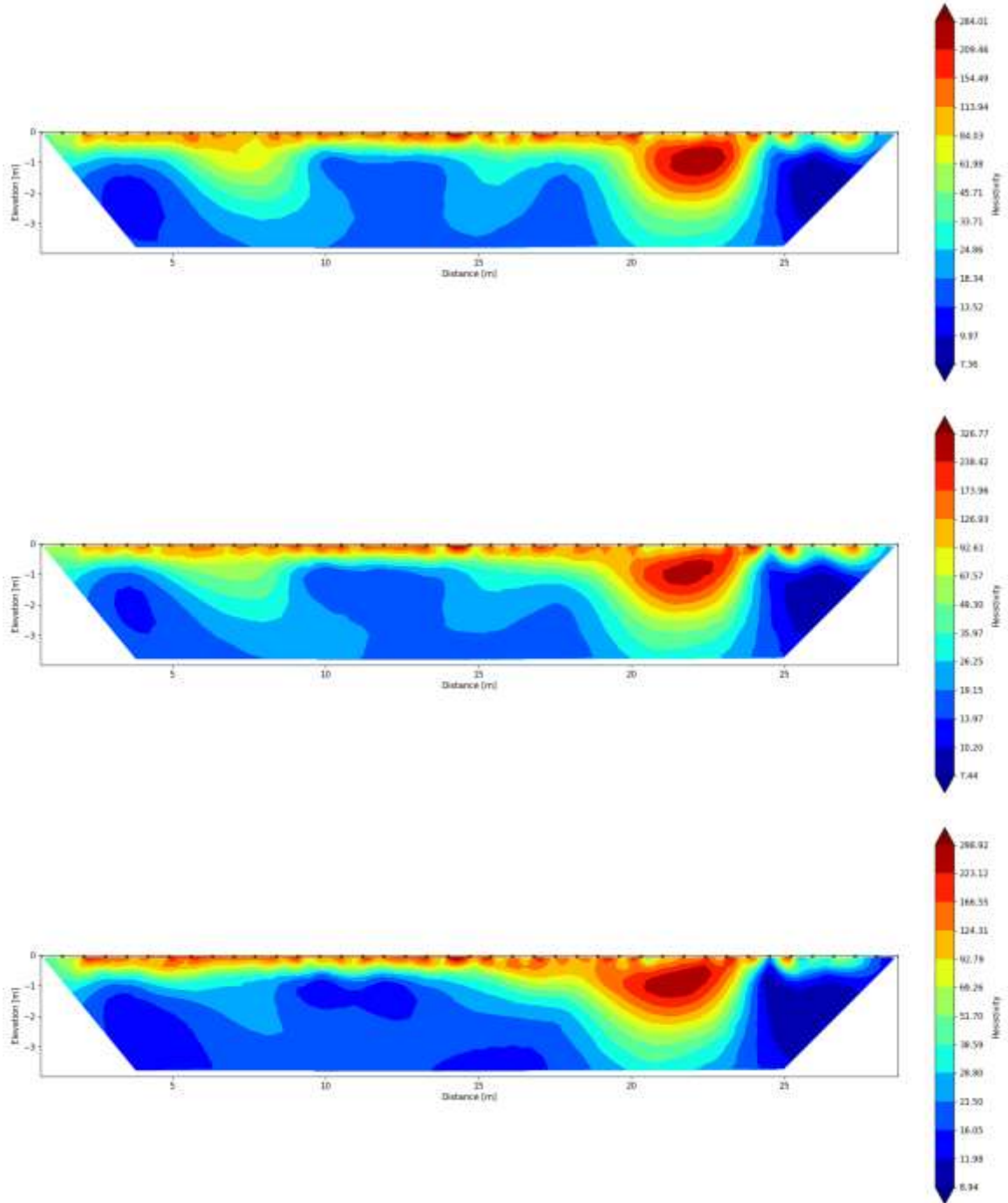


ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΟΙΚΟΠΕΔΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ «ΚΙΤΕΖΑ» ΚΑΛΥΒΙΩΝ ΘΩΡΙΚΟΥ

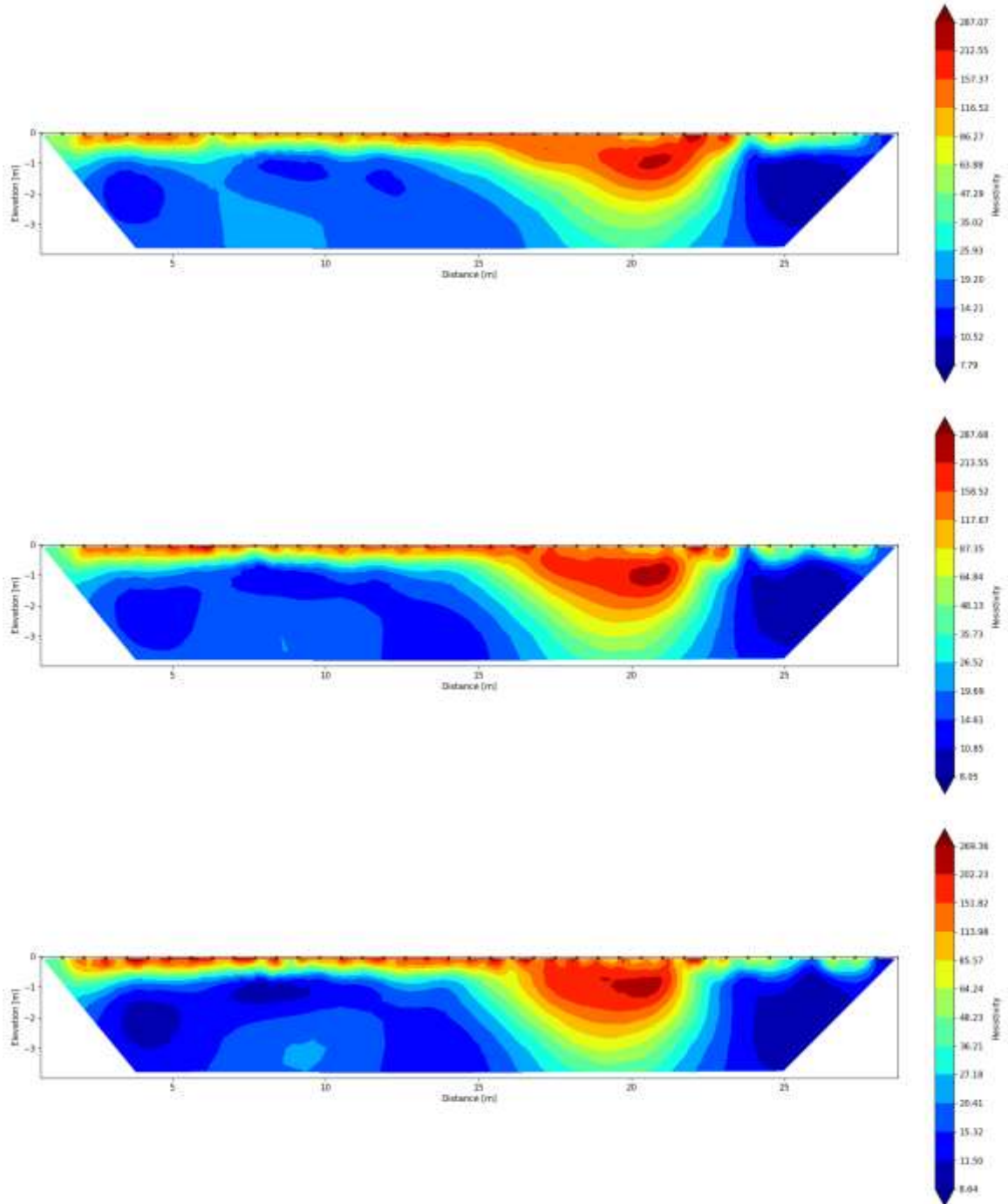




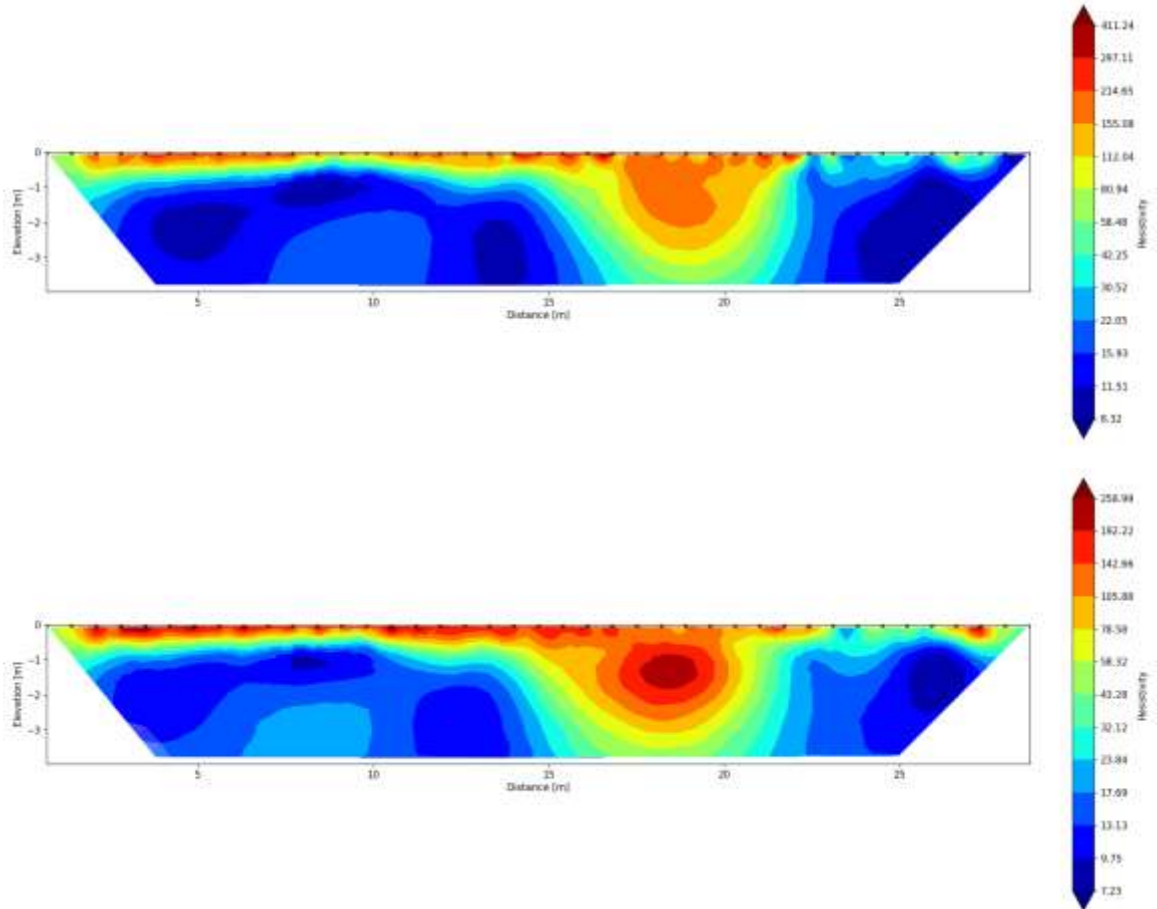
### Κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για την Περιοχή Α2



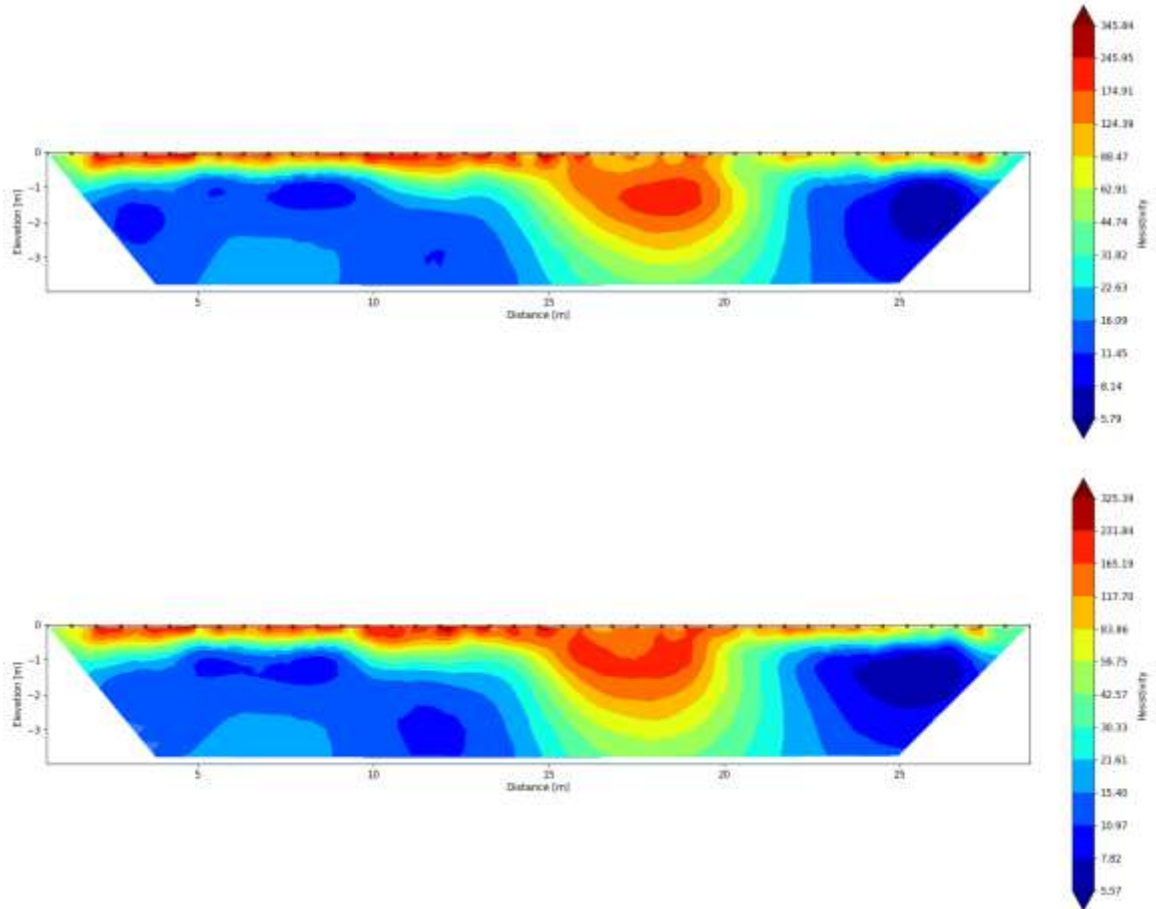
ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΟΙΚΟΠΕΔΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ «ΚΙΤΕΖΑ» ΚΑΛΥΒΙΩΝ ΘΩΡΙΚΟΥ



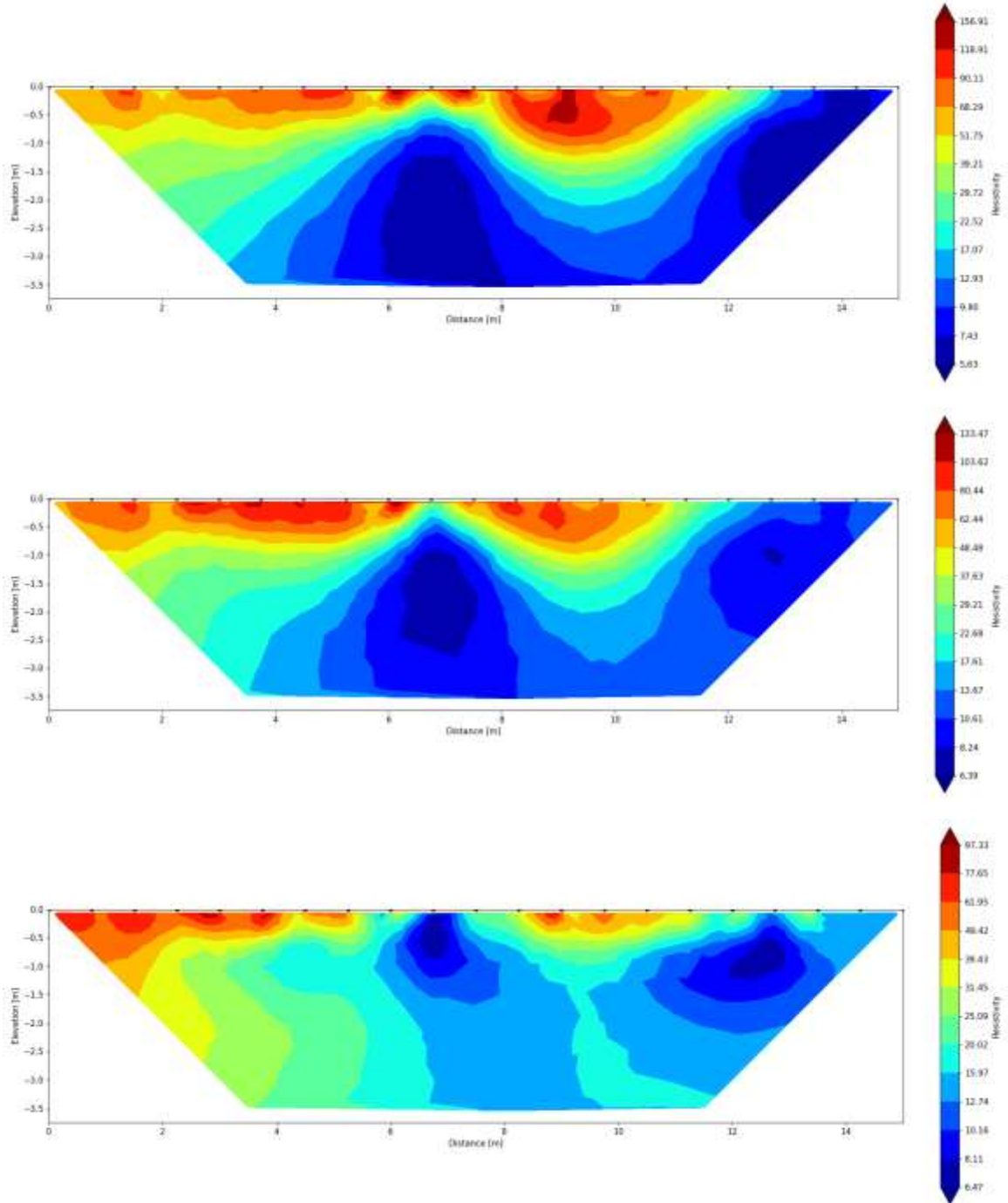
ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΟΙΚΟΠΕΔΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ «ΚΙΤΕΖΑ» ΚΑΛΥΒΙΩΝ ΘΩΡΙΚΟΥ



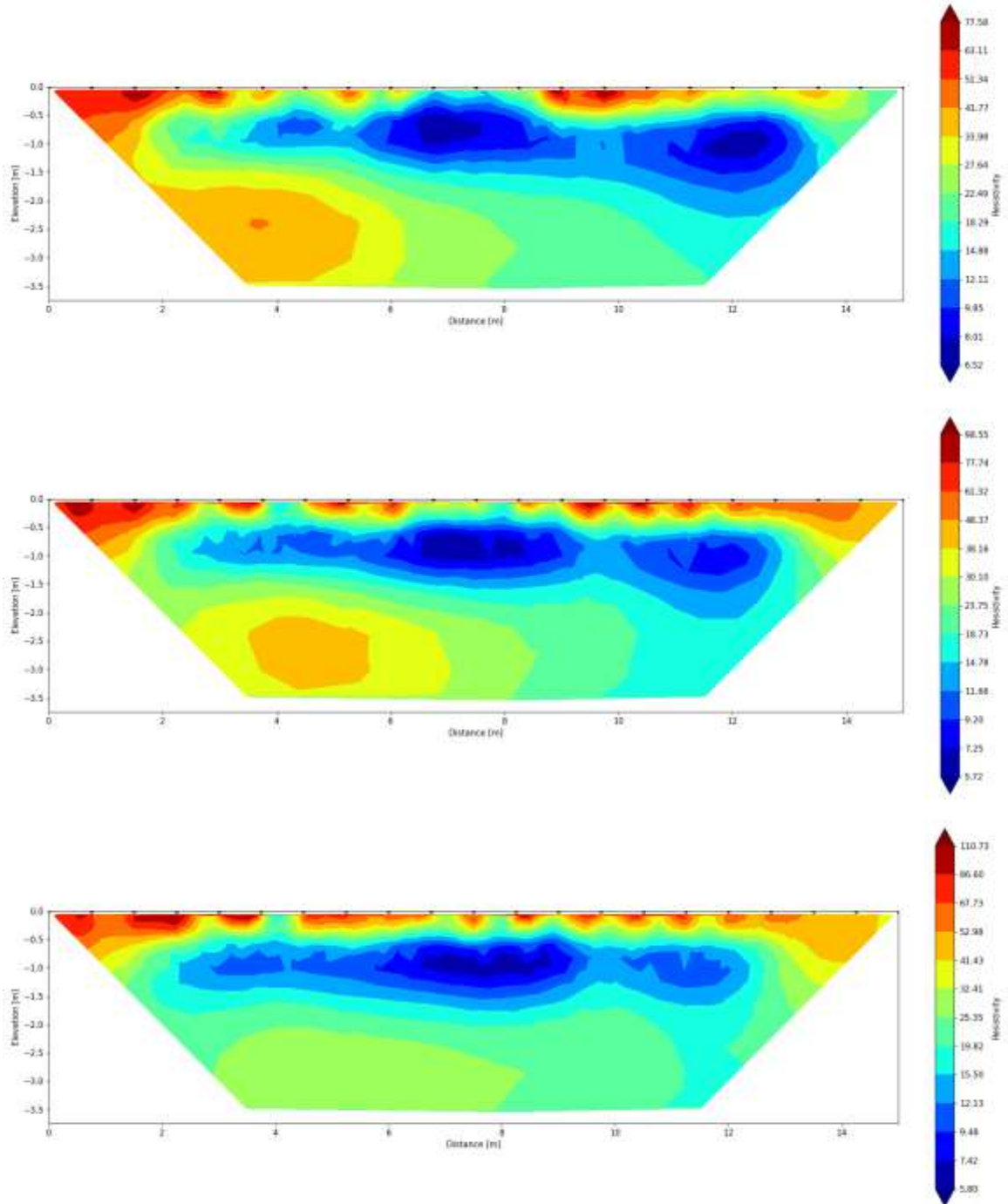
ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΟΙΚΟΠΕΔΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ «ΚΙΤΕΖΑ» ΚΑΛΥΒΙΩΝ ΘΟΡΙΚΟΥ



### Κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για την Περιοχή Β

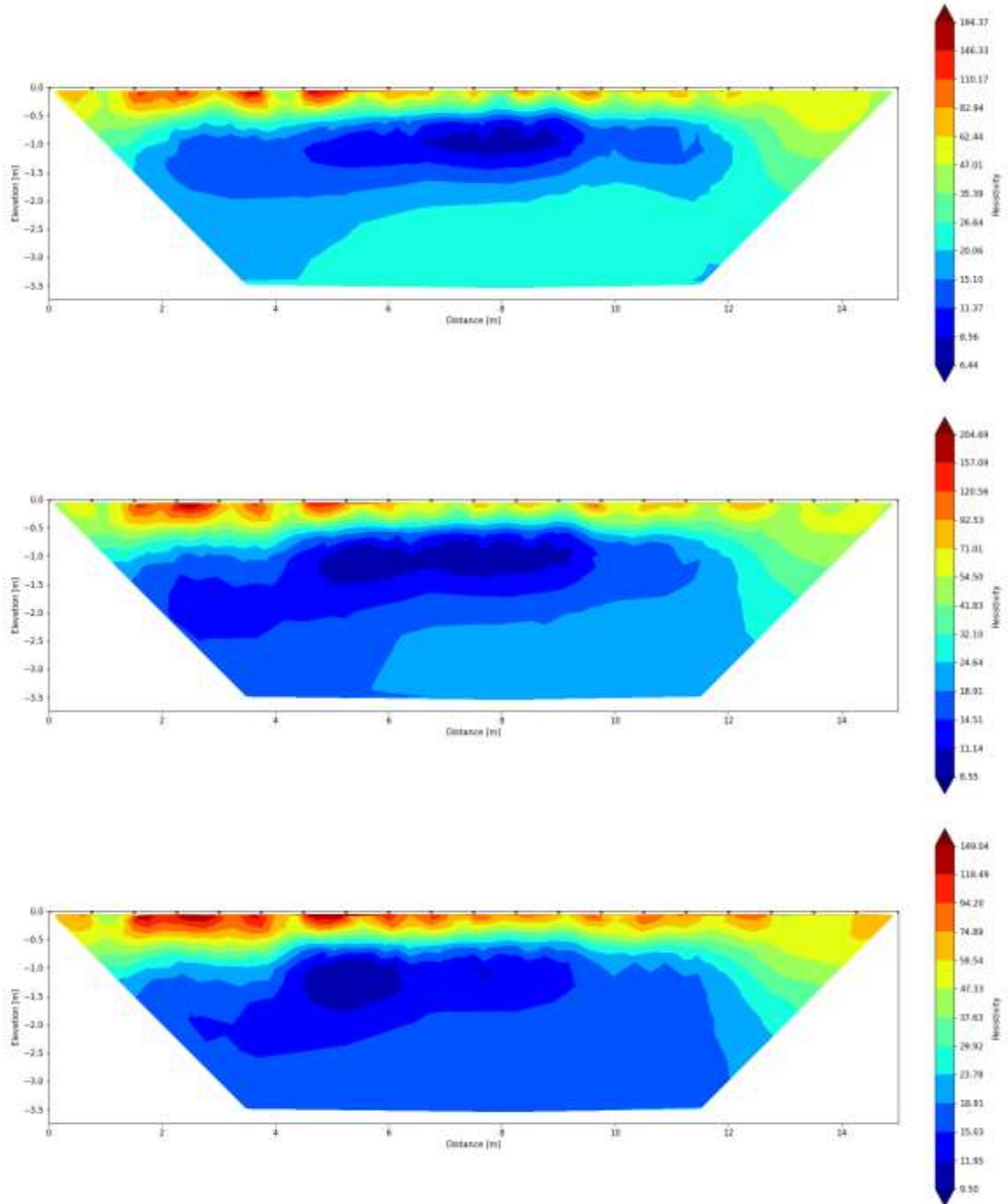


ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΟΙΚΟΠΕΔΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ «ΚΙΤΕΖΑ» ΚΑΛΥΒΙΩΝ ΘΩΡΙΚΟΥ

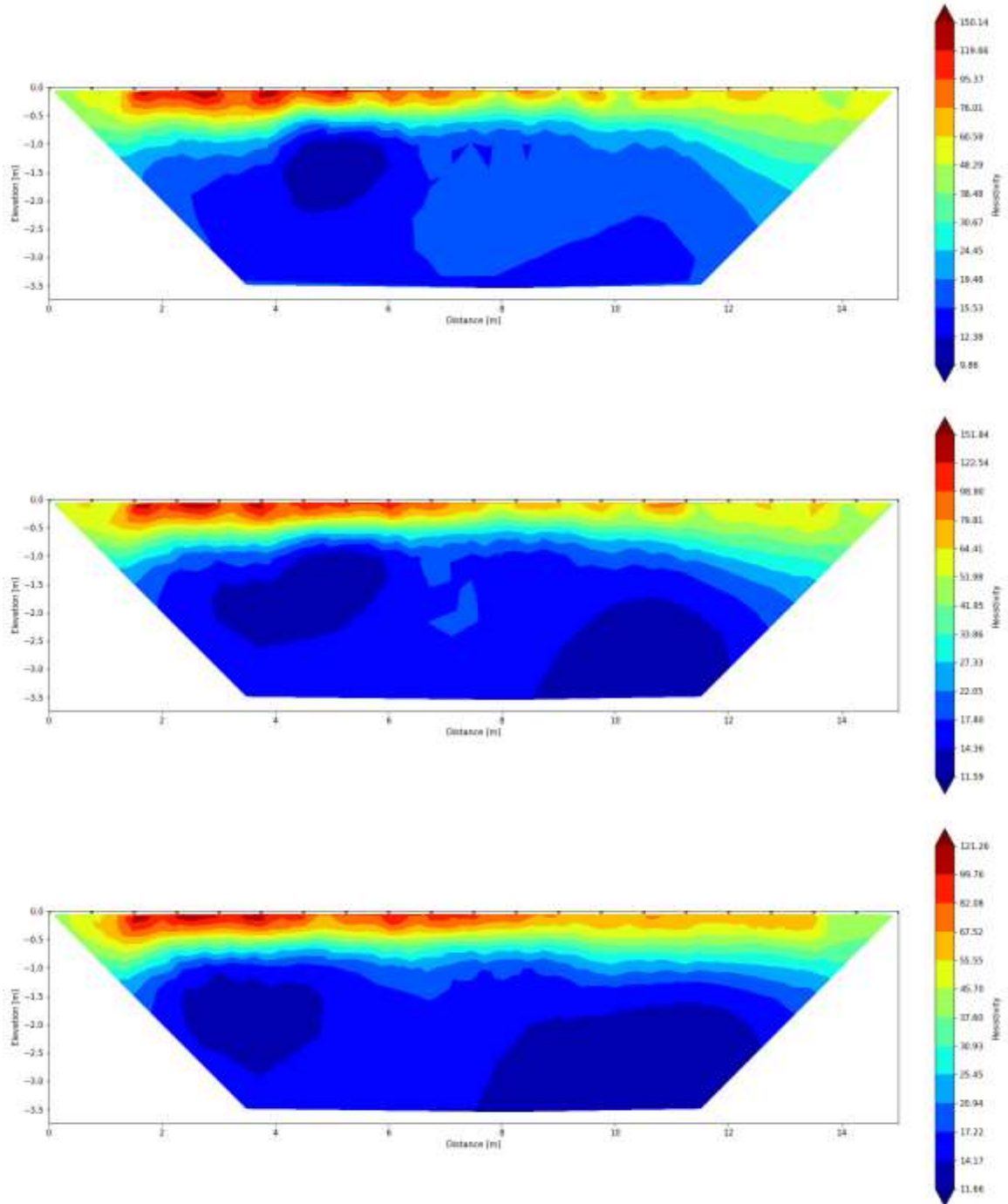




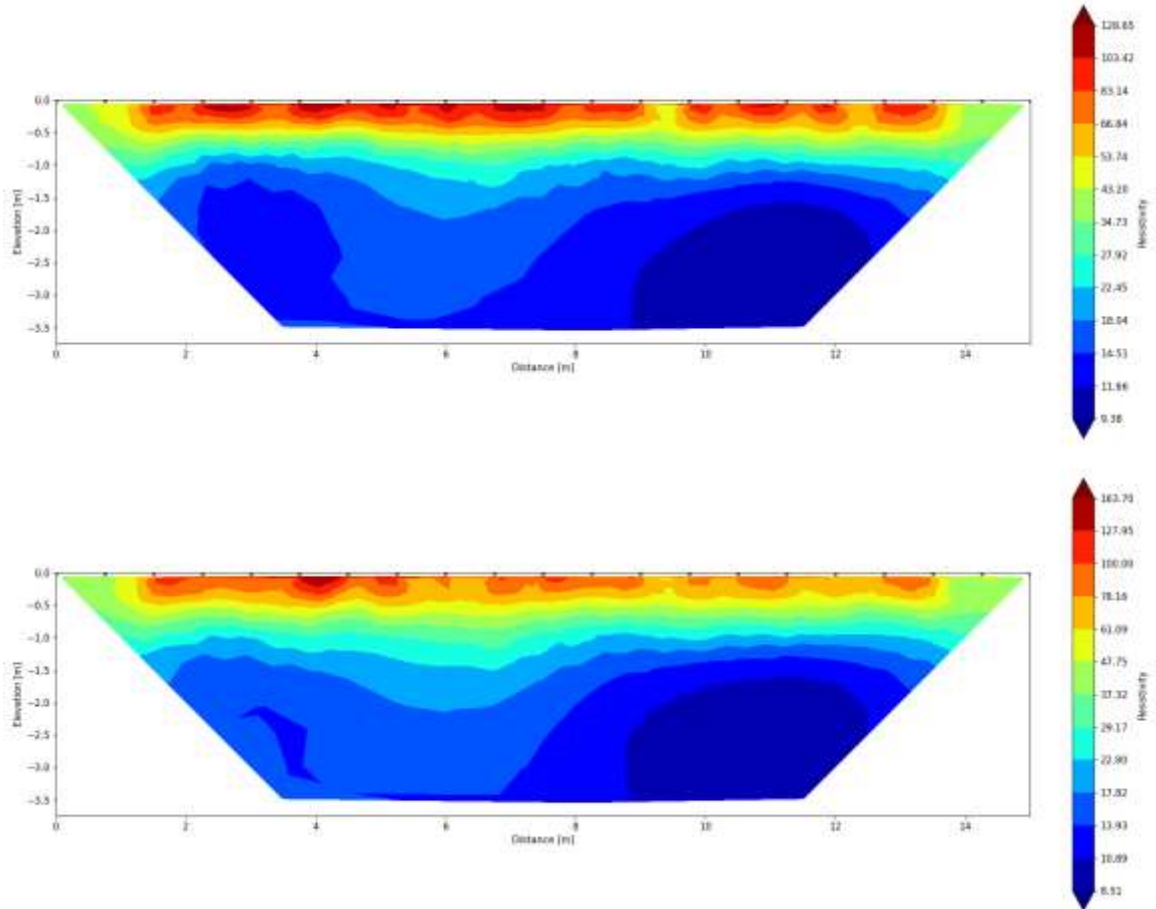
ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΟΙΚΟΠΕΔΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ «ΚΙΤΕΖΑ» ΚΑΛΥΒΙΩΝ ΘΩΡΙΚΟΥ



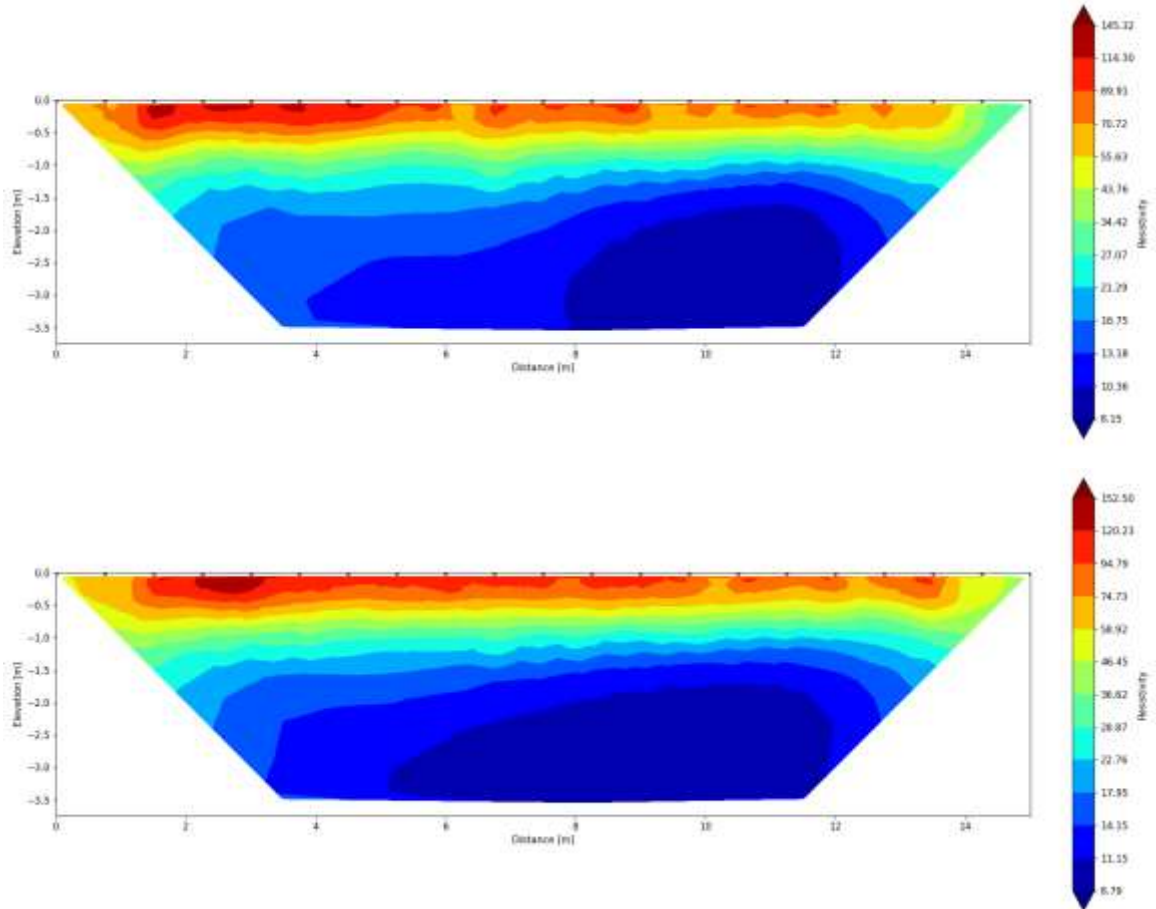
ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΟΙΚΟΠΕΔΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ «ΚΙΤΕΖΑ» ΚΑΛΥΒΙΩΝ ΘΩΡΙΚΟΥ



ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΟΙΚΟΠΕΔΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ «ΚΙΤΕΖΑ» ΚΑΛΥΒΙΩΝ ΘΟΡΙΚΟΥ



ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΟΙΚΟΠΕΔΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ «ΚΙΤΕΖΑ» ΚΑΛΥΒΙΩΝ ΘΟΡΙΚΟΥ



### Κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για την Περιοχή C

