

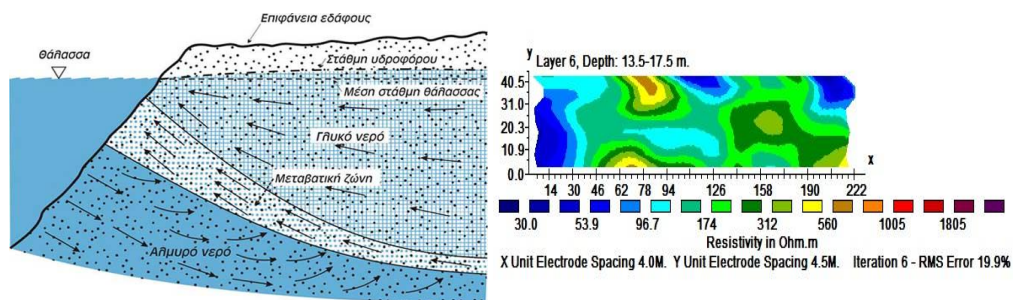


ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



**«ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗ ΣΤΑ ΦΑΛΑΣΑΡΝΑ ΜΕ ΤΗ
ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ
ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ»**

ΠΛΙΑΜΠΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Εξεταστική επιτροπή:

Βαφείδης Αντώνιος, Καθηγητής Π.Κ.(επιβλέπων)

Μανούτσογλου Εμμανουήλ, Καθηγητής Π.Κ.

Παρτσινέβελος Παναγιώτης, Επίκουρος Καθηγητής Π.Κ.

ΧΑΝΙΑ

ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ 2014

Αφιερώνεται στους γονείς μου,
Θωμά και Μαρία,
για την υπομονή και επιμονή τους..

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ο σκοπός της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας είναι να εντοπιστεί το φαινόμενο της υφαλμύρωσης και βγουν χρήσιμα συμπεράσματα που θα οδηγήσουν στις απαραίτητες κινήσεις έτσι ώστε να διατηρηθεί η ποιότητα ζωής στην τουριστική και γεωργο-κτηνοτροφική περιοχή των Φαλάσαρνων του Νομού Χανίων. Η γεωφυσική έρευνα και συγκεκριμένα η ηλεκτρική τομογραφία είναι το μέσο που θα μας οδηγήσει σε αυτά τα συμπεράσματα.

Μετά την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Βαφείδη Αντώνιο για την άψογη συνεργασία η οποία έγινε κάτω από ιδιαίτερες συνθήκες. Επίσης θέλω να ευχαριστήσω όλους τους συντελεστές του εργαστηρίου της Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής αλλά ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον υποψήφιο διδάκτορα Ανδρονικίδη Νικόλαο για την καταλυτική και πολύτιμη βοήθεια του.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Μανούτσογλου Εμμανουήλ και τον επίκουρο καθηγητή Παρτσινέβελο Παναγιώτη οι οποίοι συμμετέχουν ως μέλη της εξεταστικής επιτροπής.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το φαινόμενο της υφαλμύρωσης αποτελεί ίσως τον μεγαλύτερο κίνδυνο ρύπανσης των υπόγειων υδροφόρων στρωμάτων στην Ελλάδα. Η κύρια αιτία αυτής είναι η ανεξέλεγκτη άντληση νερού από υπόγειες υδροφόρες ζώνες ύδατος. Οι γεωφυσικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται στην ανίχνευση του μετώπου υφαλμύρωσης. Η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι η πιο κατάλληλη για τον εντοπισμό των υφάλμυρων υπόγειων νερών.

Στην περιοχή των Φαλάσαρνων στο δυτικό τμήμα του Νομού Χανίων πραγματοποιήθηκε γεωφυσική έρευνα με την μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας. Πιο συγκεκριμένα συλλέχθηκαν δεδομένα από συνολικά δέκα γραμμές μελέτης μήκους 216 μέτρων. Τα δεδομένα αυτά επεξεργάστηκαν με τα προγράμματα RES2DINV και RES3DINV και προέκυψαν τα γεωλογικά στρώματα της περιοχής.

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που εμφανίζονται είναι παλαιότερες ποτάμιες αναβαθμίδες, πλευρικά κορήματα, μάργες, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι και κροκαλοπαγές βάσης. Ως φορείς υφαλμύρωσης θεωρούνται οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι και το κροκαλοπαγές βάσεις.

Σύμφωνα με την τρισδιάστατη απεικόνιση του υπεδάφους δεν εμφανίστηκε το φαινόμενο της υφαλμύρωσης στην περιοχή μελέτης, μέχρι το βάθος διασκόπησης (53 μέτρα). Προτείνεται ηλεκτρική διασκόπηση στην ευρύτερη περιοχή για τη συλλογή δεδομένων σε κάνναβο (ισαπόσταση γραμμών 20 μέτρα και μήκος κάθε γραμμής 540 μέτρα), συνδυασμό διάταξης ηλεκτροδίων (Wenner –Schlumberger και διπόλου-διπόλου) και βάθος διασκόπησης 100 μέτρων.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	ii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	iii
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΜΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	4
2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	5
2.1 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	5
2.2 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	8
3. ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ - ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΕΙΔΙΚΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ.....	9
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
3.2 ΡΟΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΣΕ ΟΜΟΙΟΓΕΝΗ ΚΑΙ ΙΣΟΤΡΟΠΗ ΓΗ.....	10
3.3 ΤΡΟΠΟΙ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ.....	14
3.3.1 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ.....	17
3.4 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ.....	18
4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	21
4.1 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	21
4.2 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΙΣ ΔΥΟ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ -ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ RES2DINV.....	21
4.3 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΙΣ ΤΡΕΙΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ -ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ RES3DINV.....	24
5. ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗ ΣΤΑ ΦΑΛΑΣΑΡΝΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ Η ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΟΥΣ.....	26

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	26
5.2 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ.....	27
5.2.1 ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ FAL12_ERT02.....	28
5.2.2 ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ FAL12_ERT03.....	29
5.2.3 ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ FAL12_ERT04.....	31
5.2.4 ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ FAL12_ERT05.....	33
5.2.5 ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ FAL12_ERT06.....	34
5.2.6 ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ FAL12_ERT07.....	36
5.2.7 ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ FAL12_ERT08.....	37
5.2.8 ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ FAL12_ERT09.....	39
5.2.9 ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ FAL12_ERT10.....	41
5.2.9 ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ FAL12_ERT11.....	42
5.3 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ.....	44
5.3.1 ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΤΟΜΕΣ	
ΣΤΟΥΣ ΑΞΟΝΕΣ YZ (Α-Δ).....	45
5.3.2 ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΤΟΜΕΣ	
ΣΤΟΥΣ ΑΞΟΝΕΣ XY(N-B).....	50
5.3.3 ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΤΟΜΕΣ XZ (N-B).....	54
5.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΙ	
ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	55
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	60
6.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	60
6.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	60
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	61

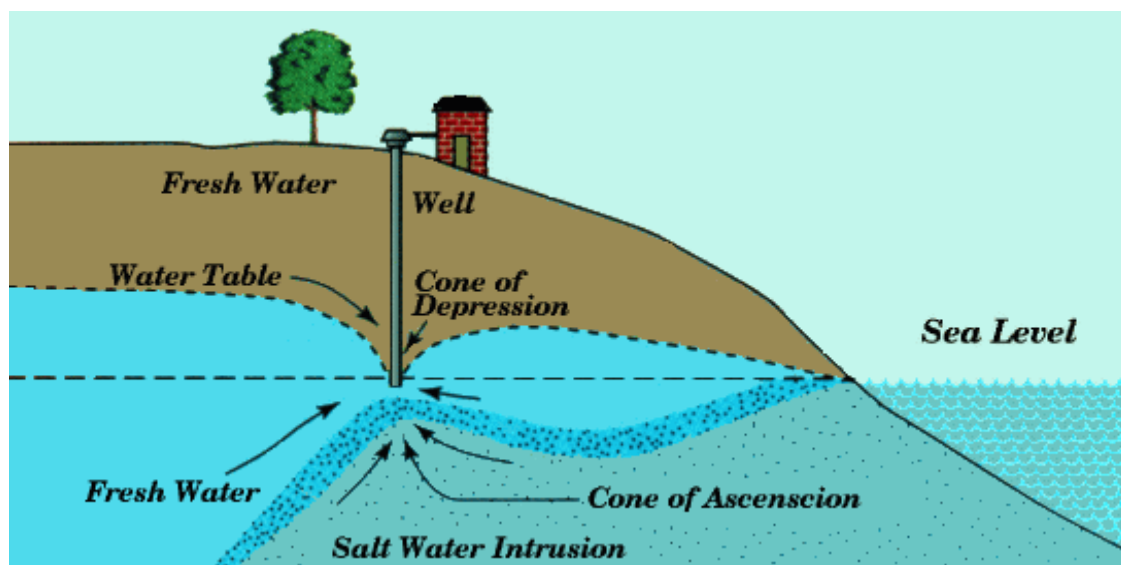
Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σ' αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις των εξεταστών.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Υφαλμύρωση ονομάζεται η παρείσφρηση (διείσδυση) του θαλασσινού νερού στους υδροφορείς του γλυκού νερού. Η διείσδυση αυτή προκαλείται είτε από τη μείωση της στάθμης των υπόγειων υδάτων, είτε από την αύξηση της στάθμης του θαλασσινού νερού. Αποτέλεσμα είναι τα υπόγεια νερά να γίνονται υφάλμυρα και να είναι πια ακατάλληλα για ύδρευση ή και άρδευση. Επιπλέον, η υφαλμύρωση αποτελεί αιτία για την υποβάθμιση της ποιότητας των εδαφών, όπου σε ακραίες περιπτώσεις η φυτική γη καθίσταται εντελώς άγονη. Είναι ένα πρόβλημα που απασχολεί τις εύφορες παραθαλάσσιες πεδινές περιοχές και εκτιμάται ότι η κατάσταση επιδεινώνεται συνεχώς. Το πρόβλημα είναι ιδιαίτερα έντονο στις περισσότερες ακτές της Ελλάδας, ηπειρωτικές και νησιωτικές, μιας και πρόκειται για μία χώρα με συνολικό μήκος ακτογραμμής που ξεπερνά τα 15.000 km.

Τα αίτια της υφαλμύρωσης μπορεί να είναι φυσικά (όπως το γεωλογικό υπόστρωμα, η ανύψωση της στάθμης της θάλασσας, η ξηρασία κ.τ.λ.) ή ανθρωπογενή (υπεράντληση υπογείων νερών, λειψυδρία) ή και συνδυασμός των δύο παραπάνω.

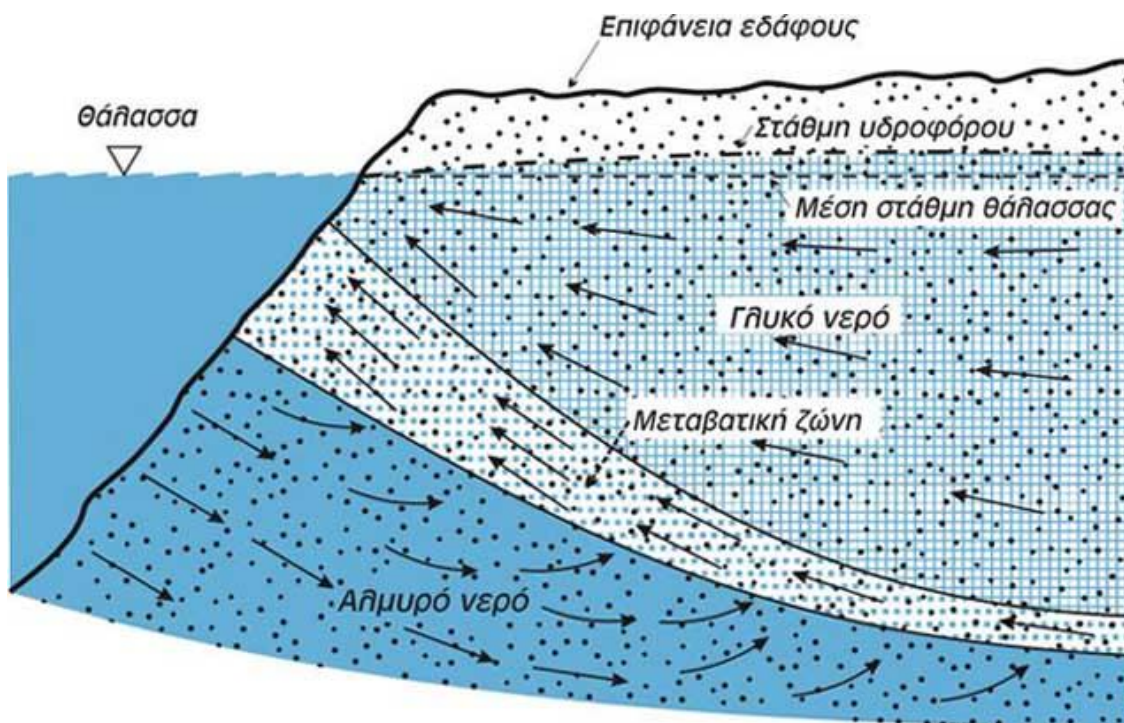
Η άντληση του γλυκού νερού με πολύ γρήγορους ρυθμούς έχει ως αποτέλεσμα την ταπείνωση του υδροφόρου ορίζοντα. Το επίπεδό του σχηματίζει, λοιπόν, έναν ανεστραμμένο κώνο, το λεγόμενο κώνο πτώσης στάθμης (σχήμα 1.1).



Σχήμα 1.1: Σχηματιζόμενος κώνος πτώσης στάθμης με την άντληση του νερού. (www.lenntech.com)

Η ανύψωση της στάθμης του θαλασσινού νερού προκαλείται από το γεγονός ότι αυτό έχει υψηλότερη πυκνότητα από το γλυκό νερό καθώς περιέχει περισσότερες διαλυμένες ουσίες. Η διαφορά αυτή στην πυκνότητα είναι και η αιτία όπου η πίεση σε μία στήλη θαλασσινού νερού είναι μεγαλύτερη από μια ανάλογη στήλη με γλυκό νερό. Αν λοιπόν αυτές οι δύο στήλες ενωθούν στο κάτω μέρος, οι δύο διαφορετικές πιέσεις τείνουν να εξισωθούν μέσω ροής της στήλης του νερού με τη μεγαλύτερη πυκνότητα (θαλασσινό) σε αυτό με τη μικρότερη (γλυκό).

Η ροή του αλμυρού νερού περιορίζεται στην παράκτια περιοχή. Όσο μεγαλώνει η απόσταση από τη θάλασσα, η στήλη γλυκού νερού γίνεται ψηλότερη καθώς αυξάνεται το υψόμετρο της γης, επομένως ικανή να εξισωθεί με τη στήλη θαλασσινού νερού σταματώντας τη διείσδυσή του. Γι' αυτό το λόγο και η διείσδυση του θαλασσινού νερού γίνεται με σφηνοειδή τρόπο (σχήμα 1.2). Όσο όμως το υπόγειο νερό αντλείται, τόσο επιτρέπει στο θαλασσινό να διεισδύσει προς την ενδοχώρα. Αυτός είναι και ο λόγος που σε πολλά νησιά της Μεσογείου, η επαρκής αναπλήρωση των υπόγειων υδάτων αποτελεί ένα θεμελιώδες πρόβλημα.



Σχήμα 1.2: Διείσδυση του θαλασσινού νερού στον υδροφόρο ορίζοντα με σφηνοειδή τρόπο.
(www.geo.auth.gr)

Κατά το φαινόμενο της υφαλμύρωσης, οι υψηλές συγκεντρώσεις ιόντων χλωρίου στο νερό, το καθιστούν ακατάλληλο για ύδρευση, άρδευση, άλλα και για πολλές άλλες βιομηχανικές χρήσεις. Ακόμα, υψηλές συγκεντρώσεις ιόντων νατρίου επιδρούν αρνητικά στην υγεία ατόμων που ανήκουν σε ευπαθείς ομάδες και υποφέρουν από καρδιακές νόσους ή υψηλή αρτηριακή πίεση. Συγκεντρώσεις χλωρίου μεγαλύτερες από τα επιτρεπτά επίπεδα στο νερό μπορούν επίσης να καταστρέψουν την βλάστηση προκαλώντας φυλλόπτωση ή ακόμα και κάψιμο των φυτών. Σε λιμναία ή ποτάμια ύδατα, η παρουσία των μεταλλικών στοιχείων αυξάνεται εμποδίζοντας τη διανομή του οξυγόνου και των θρεπτικών συστατικών, οπότε βλάπτεται και η υδρόβια ζωή (www.Chania-info.gr, Κουσουρή, 2007).

Στην περίπτωση καρστικοποιημένου υπεδάφους, το πρόβλημα ρύπανσης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα εντείνεται, καθώς καθίσταται δυνατή η παρείσφρηση του θαλασσινού νερού ή ακόμα και η απορροή του γλυκού νερού προς τη θάλασσα μέσω προνομιακών διόδων μετακίνησης του νερού. Ο βαθμός καρστικοποίησης έχει μεγάλη σημασία για τη γεωλογική μελέτη μιας περιοχής.

Το πρόβλημα της υφαλμύρωσης στις περισσότερες περιπτώσεις αναγνωρίζεται εκ του αποτελέσματός του (υποβάθμιση της ποιότητας των υπογείων υδάτων). Συνήθως, όμως είναι άγνωστη η έκτασή του, λόγω έλλειψης στοιχείων. Δεν είναι δηλαδή εύκολη η ποσοτικοποίηση του προβλήματος. Επιπλέον, τις περισσότερες φορές το πρόβλημα φτάνει σε ανεπίτρεπτα όρια, λόγω του ότι τα κατάλληλα μέτρα δεν λαμβάνονται εγκαίρως. Η εφαρμογή των μέτρων αυτών είναι συνήθως συνδεδεμένη με οικονομικούς, κοινωνικούς και πολιτικούς παράγοντες και αυτό δυσχεραίνει ιδιαίτερα το πρόβλημα.

Με τις μεθόδους της γεωφυσικής είναι δυνατός ο καθορισμός κάποιων φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους. Μερικές από τις παραμέτρους που μπορούν να μετρηθούν άμεσα είναι οι διακυμάνσεις της πυκνότητας, η ηλεκτρική αντίσταση, το μαγνητικό πεδίο, καθώς και η ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών ή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Μετά από διερεύνηση του εξεταζόμενου προβλήματος καθώς και άλλων παραμέτρων όπως είναι η γεωλογία της περιοχής, επιλέγονται οι πλέον κατάλληλες μέθοδοι που θα δώσουν τα πιο αξιόπιστα αποτελέσματα προς επεξεργασία.

Η ενδοσκόπηση του προβλήματος και η ανάλυσή του θα οδηγήσουν τελικά στην προτεινόμενη λύση. Το πρόβλημα της υφαλμύρωσης συγκεκριμένα, έχει απασχολήσει αρκετές φορές την επιστήμη της γεωφυσικής και στο παρελθόν σε διάφορες χώρες, καθώς πρόκειται για ένα φαινόμενο με μεγάλη συχνότητα εμφάνισης σε παραθαλάσσιες κατοικημένες περιοχές.

Οι γεωφυσικές μέθοδοι της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, κυρίως η ηλεκτρική βυθοσκόπηση και η ηλεκτρική τομογραφία, έχουν χρησιμοποιηθεί από πολλούς ερευνητές για τον εντοπισμό και τη χαρτογράφηση των ζωνών ανάμειξης του θαλασσινού με το γλυκό νερό, καθώς οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης των διαφόρων πετρωμάτων επηρεάζονται από την αλατότητα του νερού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, χρησιμοποιώντας τις μεθόδους αυτές να είναι δυνατός ο διαχωρισμός των υδροφορέων που περιέχουν υφάλμυρο, από αυτούς με γλυκό νερό.

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την εφαρμογή της μεθόδου ηλεκτρικής τομογραφίας (δισδιάστατη και τρισδιάστατη), στο Δυτικό τμήμα των Φαλασάρνων, Νομού Χανίων. Η επεξεργασία των δεδομένων ηλεκτρικής τομογραφίας και τρισδιάστατης ηλεκτρικής τομογραφίας έγινε με το πρόγραμμα RES2DINV και RES3DINV αντίστοιχα.

1.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΜΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα εργασία αποτελείται από 6 κεφάλαια. Αρχικά γίνεται μία αναφορά στο φαινόμενο της υφαλμύρωσης και τη σχέση της Γεωφυσικής με αυτή. Στη συνέχεια γίνεται περιγραφή της περιοχής μελέτης. Στο 3ό κεφάλαιο παρουσιάζεται η Μέθοδος της Ηλεκτρικής Αντίστασης, η λειτουργία της και ο τρόπος που παίρνονται οι μετρήσεις. Στο 4ό κεφάλαιο παρουσιάζεται η επεξεργασία των γεωηλεκτρικών δεδομένων με τα προγράμματα Res2dinv και Res3dinv. Το 5ό κεφάλαιο παρουσιάζει τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των γεωηλεκτρικών δεδομένων και την ερμηνεία τους. Στο τελευταίο κεφάλαιο αποτυπώνονται τα συμπεράσματα από την ερμηνεία και προτείνονται μέθοδοι για καλύτερη μελέτη της ευρύτερης περιοχής.

2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ



Εικόνα 2.1: Χάρτης νομού Χανίων, όπου απεικονίζεται η ευρύτερη περιοχή μελέτης.

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί στην ευρύτερη περιοχή μελέτης, σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε. ΦΥΛΛΟ ΚΑΣΤΕΛΛΙ (1:50000 – εικόνα 2.2 και εικόνα 2.3) χωρίζονται σε 5 ενότητες (τεταρτογενές, ζώνη Τρίπολης, μεσοζωικό, μεταμορφωμένο υπόβαθρο κρυσταλλοσχιστώδους Κρήτης και ζώνη Ωλονού Πίνδου).

Ειδικότερα:

ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ

- **Σύγχρονες παράκτιες αποθέσεις και θίνες ($Q_{al} - \theta$).**
- **Αλουβιακές αποθέσεις (Q_{al_2}):** Πηλοί, άργιλοι, άμμοι και χάλικες, χαλαρής συνοχής. Πάχος έως 3 m.
- **Πλευρικά κορήματα (Q_{al_1}):** Σύγχρονα και παλαιά. Από ασβεστολιθικές και χαλαζιακές κυρίως λατύπες, κατά θέσεις χαλαρά συνδεδεμένες με αμμώδη πηλό ή/και ασύνδετες. Πάχος έως 2 m.
- **Νεότερη θαλάσσια αναβαθμίδα (Q_{tm_1}):** Συνάγματα και άμμοι σε υψόμετρο 3 m.
- **Νεότερες ποτάμιες αναβαθμίδες (Q_{t_1}):** Ασύνδετοι χάλικες και άμμοι.

- **Παλαιότερες ποτάμιες αναβαθμίδες (Qt):** Άργιλοι ερυθροκαστανόχρωμες με υψηλό ποσοστό άμμου, ψηφίδων και κροκάλων από ασβεστόλιθους, κερατόλιθους και σπανιότερα από ψαμμίτη του φλύσχη.
- **Παλαιότερες θαλάσσιες αναβαθμίδες (Qt_{nl}):** Συνεκτικό (με λεπτοαμμούχο άργιλο) κροκαλοπαγές.
- **Κροκαλοπαγές (Qdl):** Ποτάμιο, με καλά στρογγυλεμένες κροκάλες και άμμους.
- **Μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι (Mi, mk):** Συμπαγείς, υπόφαιοι έως υποκίτρινοι.
- **Μάργες (Mi, m):** Λευκές υποκίτρινες και στα βαθύτερα στρώματα πρασινόφαιες σε εναλλαγή με μαργαϊκούς ψαμμίτες και τράπεζες μαργαϊκών ασβεστόλιθων.
- **Κροκαλοπαγές (Mic):** Συμπαγείς κροκάλες κυρίως από μεσοζωικούς ασβεστόλιθους, κερατόλιθους και κρυσταλλικά πετρώματα (σχιστόλιθους, χαλαζίτες κλπ) με φαιοκίτρινη μαργαϊκή συνδετική ύλη.

ΖΩΝΗ ΤΡΙΠΟΛΗΣ

- **Φλύσξης (F_T):** Αργιλικοί σχιστόλιθοι και αργιλομιγείς ψαμμίτες σε εναλλασσόμενα στρώματα μικρού πάχους.
- **Ασβεστόλιθοι (e,k):** Μελανόφαιοι, συμπαγείς, λεπτοκρυσταλλικοί, απολιθωματοφόροι με έντονη οσμή βιτουμενίων. (ΗΩΚΑΙΝΟ)
- **Ασβεστόλιθοι (Ks):** Λευκότεφροι έως κυανότεφροι συμπαγείς καρστικοποιημένοι. (ΑΝΩ ΚΡΗΤΙΔΙΚΟ).

ΜΕΣΟΖΩΙΚΟ

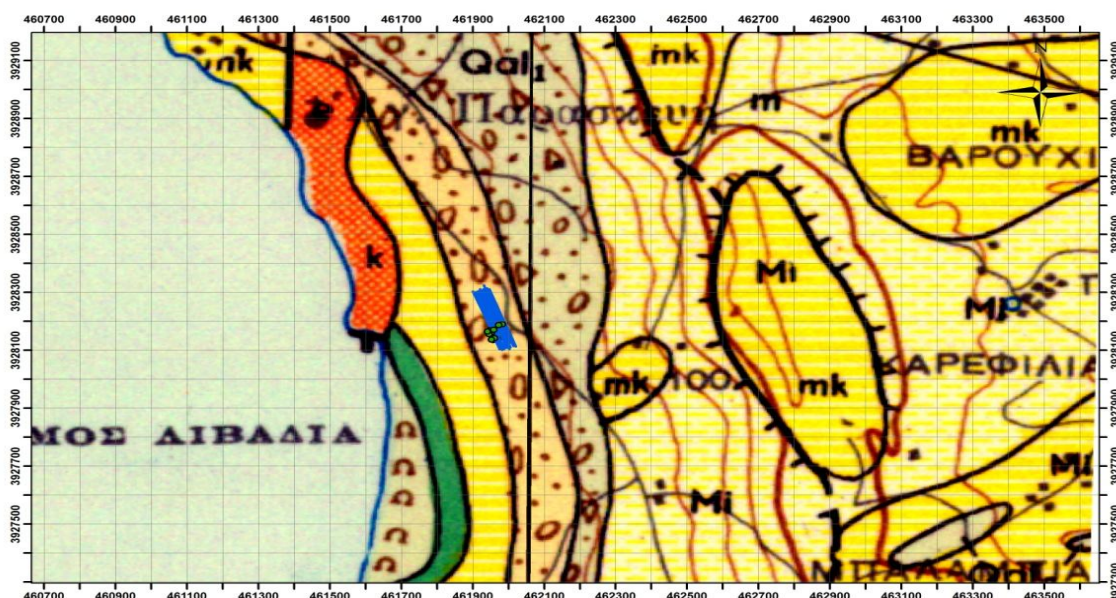
- **Ασβεστόλιθοι (Mu):** Λευκότεφροι έως υποκύανοι μικροκρυσταλλικοί. (ΜΕΣΟΖΩΙΚΟ)

ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΚΡΥΣΤΑΛΛΟΣΧΙΣΤΩΔΟΥΣ ΚΡΗΤΗΣ

- **Ασβεστόλιθοι (PCk):** (Μάρμαρα) ενίοτε δολομιτικοί, λευκότεφροι συμπαγείς σε τράπεζες και ασβεστόλιθοι κυανόφαιοι έως μελανότεφροι. Με εμφανίσεις σιδηρομετελλευμάτων (Fe).
- **Κρυσταλλικοί σχιστόλιθοι (PCsh):** Λαμπυρίζοντες μαρμαρυγικοί ή γραφιτικοί φυλλίτες και χλωριτικοί σχιστόλιθοι. Με εμφανίσεις σιδηρομετελλευμάτων (Fe).

ΖΩΝΗ ΩΛΟΝΟΥ ΠΙΝΔΟΥ

- **Φλύσχης (fo):** Αργιλικοί σχιστόλιθοι και αργιλικόι ψαμμίτες σε εναλλασσόμενα στρώματα .
- **Ασβεστόλιθοι (j-k):** Λευκοί έως φαιοί, συμπαγείς συνήθως στιφροί ή/και μικροκρυσταλλικοί, κατά τόπους λιθογραφικοί και λεπτοπλακώδεις, σε τράπεζες με έντονη καρστική διάβρωση. (ΚΡΗΤΙΔΙΚΟ)
- **Σχιστοκερατόλιθοι (jo):** Ερυθροκαστανόχρωι, σπανιότερα μελανόφαιοι, συνιστάμενοι από εναλλασσόμενα στρώματα αργιλικών σχιστολίθων, κερατολίθων και κυανόφαιων λεπτοπλακωδών ασβεστολίθων. (ΙΟΥΡΑΣΙΚΟ)



Εικόνα 2.2: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης (Ι.Γ.Μ.Ε. ΦΥΛΛΟ ΚΑΣΤΕΛΛΙ σε κλίμακα 1:50000) όπου φαίνεται (με μπλε χρώμα) η περιοχή μελέτης.

2.2 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η ευρύτερη περιοχή των Φαλασάρνων έχει χαρακτηριστεί ως περιοχή με ιδιαίτερο φυσικό κάλλος, με πλήθος από τύπους οικοτόπων, με αρχαιολογικό ενδιαφέρον και έχει καταχωρηθεί στα δίκτυα Natura 2000 και Corine. Στα βόρεια της λεκάνης του κάμπου, ανάμεσα στο νοτιότερο τμήμα της χερσονήσου και στο ακρωτήριο Κουτρί, βρίσκονται τα ερείπια της αρχαίας πόλης των Φαλασάρνων, που αποτελούσε και ένα από τα σημαντικότερα λιμάνια της δυτικής Κρήτης.

Δυστυχώς, μερικά από τα ερευνητικά προγράμματα της Ευρωπαϊκής Ένωσης που εκτελούνται στην περιοχή, διολίσθησαν σε ελλιπείς δράσεις προστασίας του περιβάλλοντος και της Φύσης, καθώς η κοινωνική αποδοχή-συναίνεση και η περιβαλλοντική εκπαίδευση για την αειφορία, σκιαγραφήθηκαν μόνο στα χαρτιά.

Η Φαλάσαρνα είναι μια περιοχή του νομού Χανίων, ιδιαίτερα γνωστή για τον τουρισμό της, αλλά και για τον λόγο ότι είναι από τους παραγωγικότερους παράκτιους κάμπους.

Το 48% του συνολικού κάμπου καλύπτεται από υπαίθριες καλλιέργειες και ελαιώνες και το 4% από θερμοκηπιακές μονάδες (περίπου 600 στρέμματα, με τα 40 εξ' αυτών να αποτελούν υδροπονικές καλλιέργειες). Το υπόλοιπο 47% της έκτασης καταλαμβάνεται από φυσικές περιοχές, κυρίως με φρυγανολιβαδική βλάστηση στην οποία βόσκουν περίπου 1500 αιγοπρόβατα. (www.Chania-info.gr, Κουσούρης, 2007).

Εδώ και μερικά χρόνια και στο πλαίσιο περιορισμού της έντονης υφαλμύρωσης που αναπτύχθηκε στην περιοχή, εξαιτίας της υπεράντλησης και των εντατικών δραστηριοτήτων των ανθρώπων, η περιοχή υπάγεται στα μέτρα προστασίας υδάτινου δυναμικού με απαγόρευση ανόρυξης νέων γεωτρήσεων και πηγαδιών. Άλλωστε, το σύστημα των πολυάριθμων υγροτοπικών εκτάσεων που χαρακτήριζε κάποτε τη Φαλάσαρνα, έχει περιοριστεί σημαντικά, ενώ η ολοένα μεγαλύτερη ανάγκη εξασφάλισης νερού για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών της ευρύτερης περιοχής αυξάνει την απειλή για παραπέρα ποιοτική υποβάθμιση των υπογείων νερών.

Σύμφωνα με στοιχεία των αρμόδιων αρχών τα τελευταία 30 χρόνια η καλλιεργούμενη γη αυξήθηκε κατά 52%, και οι θερμοκηπιακές μονάδες από 13 το 1970, σήμερα είναι πάνω από 270 μονάδες σήμερα, χωρίς εν τω μεταξύ να γίνει το παραμικρό για την προστασία του εδάφους, του αέρα, των ανθρώπων που εργάζονται εκεί, των προϊόντων και του νερού (υπόγειου, επιφανειακού, θαλασσινού) (Χανιώτικα Νέα).

3 ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ - ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΕΙΔΙΚΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εμφάνιση των ηλεκτρικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης χρονολογείται από τις αρχές του εικοστού αιώνα. Η συστηματική εφαρμογή τους ξεκίνησε τη δεκαετία του '70 και αυτό λόγω της ανάπτυξης της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών υπολογιστών, γεγονός που βοήθησε τόσο στη συλλογή των δεδομένων όσο και στην επεξεργασία τους.

Οι μέθοδοι της ηλεκτρικής διασκόπησης βασίζονται στη μελέτη του τρόπου διάδοσης ηλεκτρικών ρευμάτων στο υπέδαφος με μετρήσεις που γίνονται στην επιφάνεια. Χρησιμοποιούν μετρήσεις διαφόρων μεγεθών σε ηλεκτρικά ή ηλεκτρομαγνητικά πεδία τα οποία είτε υπάρχουν στη φύση είτε δημιουργούνται τεχνητά τη στιγμή που γίνεται η διασκόπηση. Στο γεγονός αυτό οφείλεται και η μεγάλη ποικιλία των μεθόδων ηλεκτρικής διασκόπησης. Γενικά οι ηλεκτρικές μέθοδοι μπορούν να καταταγούν σε δυο κατηγορίες : στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι μέθοδοι που χρησιμοποιούν φυσικά πεδία και στη δεύτερη εκείνες που προϋποθέτουν τη δημιουργία τεχνητών πεδίων.

Στην πρώτη κατηγορία υπάγονται:

- η μέθοδος του φυσικού δυναμικού
- η μέθοδος των γήινων ηλεκτρικών ρευμάτων.

Στη δεύτερη κατηγορία υπάγονται:

- η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης
- η μέθοδος της επαγόμενης πόλωσης.

Για τη συλλογή δεδομένων στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και συγκεκριμένα η ηλεκτρική τομογραφία.

Βασική επιδίωξη των ηλεκτρικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης είναι ο καθορισμός των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της Γης.

Πιο συγκεκριμένα πραγματοποιούνται τα ακόλουθα βήματα, α) διοχετεύεται ρεύμα (I) και μετράται το ΔV , β) πραγματοποιείται αναγωγή της μετρούμενης αντίστασης ($\Delta V/I$) σε φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση ανάλογα με την διάταξη ηλεκτροδίων και γ) υπολογίζεται η κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος με μεθόδους αντιστροφής. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ο καθορισμός της τιμής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, καθώς και η μελέτη της κατακόρυφης ή και πλευρικής μεταβολής αυτής στα επιφανειακά στρώματα.

Για την εφαρμογή των ηλεκτρικών γεωφυσικών μεθόδων απαιτείται αντίθεση στις ηλεκτρικές ιδιότητες μεταξύ του υπό μελέτη γεωλογικού σχηματισμού και του ευρύτερου γεωλογικού περιβάλλοντος.

3.2 ΡΟΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΣΕ ΟΜΟΙΟΓΕΝΗ ΚΑΙ ΙΣΟΤΡΟΠΗ ΓΗ

Η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης βασίζεται στον νόμο που διατύπωσε το 1827 ο George Simon Ohm (Robinson, 1988), σύμφωνα με τον οποίο αντίσταση R (σε Ohm) ενός αγωγού ονομάζεται ο σταθερός λόγος της διαφοράς δυναμικού ΔV (σε Volt) που παρουσιάζεται στα άκρα του αγωγού, προς την ένταση I (σε Ampere) του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό.

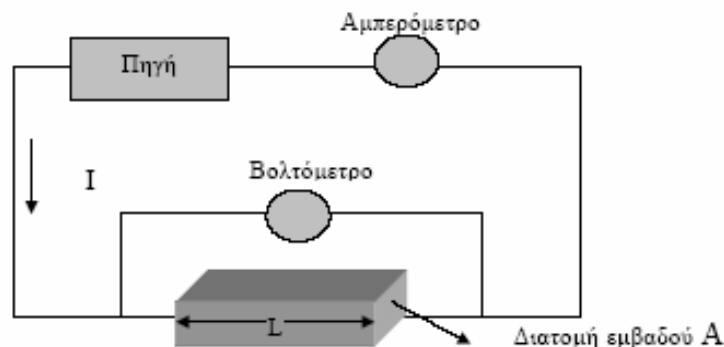
$$R = \Delta V / I \quad (3.1)$$

Ωστόσο, η έννοια της ηλεκτρικής αντίστασης περιγράφει την ιδιότητα του υλικού χωρίς να λαμβάνει υπόψη τις διαστάσεις του.

Γι' αυτό το λόγο εισάγεται ο όρος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης κι έτσι ο νόμος παίρνει την παρακάτω μορφή, από την οποία διαπιστώνεται ότι η αντίσταση ενός ομογενούς αγωγού είναι ανάλογη με το μήκος L του αγωγού, αντιστρόφως ανάλογη με το εμβαδόν A της τομής του αγωγού και εξαρτάται από το υλικό και τη θερμοκρασία του.

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (3.2)$$

Όπου ρ είναι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση του υλικού του αγωγού.



Σχήμα 3.1: Ηλεκτρικό κύκλωμα αποτελούμενο από πηγή και αγωγό σχήματος ορθογωνίου παραλληλεπίπεδου.

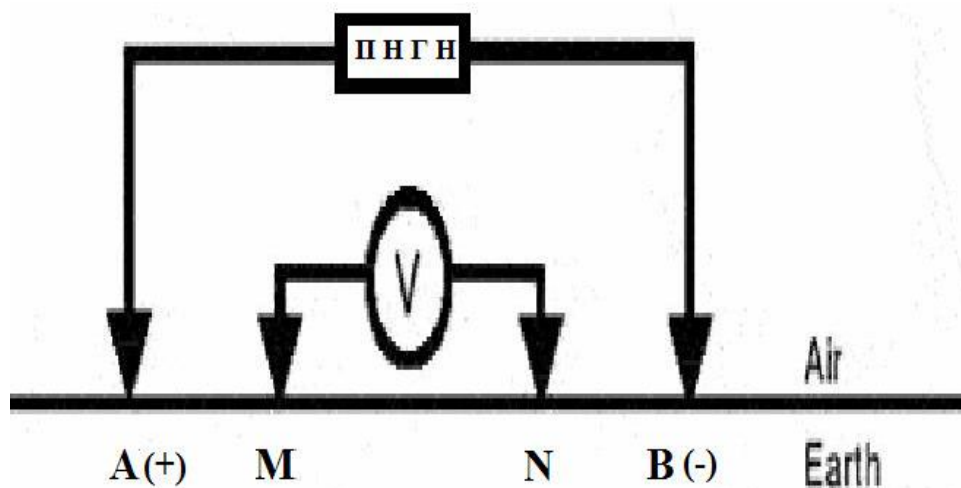
Στο διεθνές σύστημα μονάδων (SI) μονάδα ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι το $1 \Omega m$. Πολλές φορές όμως χρησιμοποιείται και η μονάδα $1 \Omega cm$ και είναι $1 \Omega m = 100 \Omega cm$.

Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την ειδική ηλεκτρική αντίσταση είναι: α) το πορώδες των πετρωμάτων και η περιεκτικότητα σε διαλυμένα άλατα. Συγκεκριμένα, όταν ελαττώνεται το πορώδες του πετρώματος, η ειδική αντίσταση αυξάνει. β) η λιθολογία των πετρωμάτων και η γεωλογική ηλικία των πετρωμάτων. Τα μεγαλύτερης ηλικίας υποκείμενα στρώματα παρουσιάζουν συνήθως μεγάλη ειδική ηλεκτρική αντίσταση. γ) η θερμοκρασία των πετρωμάτων. Συνήθως με αύξησή της, η ειδική αντίσταση ελαττώνεται, καθώς αυξάνεται η ευκινησία των ιόντων.

Επιπλέον, η ειδική ηλεκτρική αντίσταση των υδροφόρων και μη σχηματισμών ελαττώνεται με την αύξηση:

- του όγκου του νερού στο πέτρωμα
- της περιεκτικότητας σε χλωριόντα ή ελεύθερα ιόντα του υπόγειου ύδατος
- της περιεκτικότητας σε αργίλους
- του βαθμού κορεσμού του διαλύματος στους πόρους του πετρώματος
- της καρστικοποίησης
- της εξαλλοίωσης. (Βαφείδης, 2001).

Τοποθετώντας δύο ηλεκτρόδια στην επιφάνεια του εδάφους συνδεδεμένα με τους πόλους ηλεκτρικής πηγής συνεχούς ρεύματος δημιουργείται κλειστό κύκλωμα, στο οποίο η γη αποτελεί τον αγωγό του ηλεκτρικού ρεύματος. Επειδή ο αέρας της ατμόσφαιρας είναι κακός αγωγός του ηλεκτρισμού, όλο το ρεύμα από το ηλεκτρόδιο διαρρέεται στη γη.



Σχήμα 3.2: Διάταξη των ηλεκτροδίων ρεύματος (AB) και δυναμικού (MN)

Παρακάτω, για την κατανόηση της ροής του ηλεκτρικού ρεύματος στο υπέδαφος θα θεωρηθεί ότι η γη είναι ομοιογενής και ισότροπη ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ρ . Επιπλέον τα ηλεκτρόδια θεωρούνται σημειακά, δηλαδή οι εξισώσεις που προκύπτουν, ισχύουν για σημειακή πηγή.

Αρχικά η απόσταση μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων θεωρείται πολύ μεγάλη, ώστε να μπορεί να μελετηθεί το κάθε ηλεκτρόδιο ξεχωριστά. Στο θετικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο η κίνηση των θετικών φορτίων είναι από το ηλεκτρόδιο προς τη γη.

Επειδή η γη θεωρείται ομοιογενής το ρεύμα ρέει ομοιόμορφα προς όλες τις κατευθύνσεις και οι γραμμές που απεικονίζουν τη ροή (γραμμές ρεύματος) μπορούν να θεωρηθούν ως ακτίνες ημισφαιρικών επιφανειών που έχουν κέντρο την πηγή (Σχήμα 3.3). Η αντίσταση R στη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος που παρουσιάζει μία ημισφαιρική δομή ακτίνας d , δίνεται σύμφωνα με τη σχέση:

$$R = \rho \frac{d}{2\pi d^2} = \frac{\rho}{2\pi d} \quad (3.3)$$

Από το γινόμενο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ρ με τον λόγο της ακτίνας d προς το εμβαδόν $2\pi d^2$ της ημισφαιρικής επιφάνειας.

Η διαφορά ΔV_d του δυναμικού V_0 της πηγής από το δυναμικό V_d όλων των σημείων που απέχουν απόσταση d από την πηγή που προκαλείται από τη ροή ρεύματος, έντασης I , μέσα από την ημισφαιρική δομή είναι:

$$\Delta V_d = V_d - V_0 = IR = \frac{I\rho}{2\pi d} \quad (3.4)$$

Η επιφάνεια που περιλαμβάνει όλα τα σημεία με το ίδιο δυναμικό ονομάζεται ισοδυναμική επιφάνεια.

Το δυναμικό στο απομακρυσμένο ηλεκτρόδιο που συνδέεται με τον αρνητικό πόλο της ηλεκτρικής πηγής είναι $-V_0$. Το αρνητικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο έλκει τα θετικά ηλεκτρικά φορτία, με αποτέλεσμα οι γραμμές ρεύματος να συγκλίνουν προς αυτό από όλες τις διευθύνσεις. Μία ημισφαιρική δομή ακτίνας d με κέντρο αυτό το ηλεκτρόδιο θα παρουσιάζει αντίσταση R στη ροή του ρεύματος σύμφωνα με τη σχέση (3.3). Η διαφορά μεταξύ του δυναμικού $-V_d$ όλων των σημείων που απέχουν απόσταση d από το αρνητικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο και του δυναμικού του V_0 θα είναι:

$$-\Delta V_d = -V_d - (V_0) = V_0 - V_d = -IR = -\frac{I\rho}{2\pi d} \quad (3.5)$$

Στην περίπτωση λοιπόν που το ηλεκτρόδιο είναι θετικά φορτισμένο, το ηλεκτρικό ρεύμα απομακρύνεται από αυτό, ενώ όταν το ηλεκτρόδιο είναι αρνητικά φορτισμένο, το ρεύμα συγκλίνει προς αυτό. Και στις δύο περιπτώσεις οι γραμμές ρεύματος αρχίζουν ακτινικά από το ηλεκτρόδιο, ενώ οι ισοδυναμικές επιφάνειες είναι ημισφαιρικές επιφάνειες με κέντρο το ηλεκτρόδιο (Σχήμα 3.3). Οι γραμμές ρεύματος είναι κάθετες στις ισοδυναμικές επιφάνειες.



Σχήμα 3.3: Ροή ηλεκτρικού ρεύματος σε ομοιογενή και ισότροπη γη στην περίπτωση που δεν υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων (Γκανιάτσος, 2000, Σούρλας, 2000).

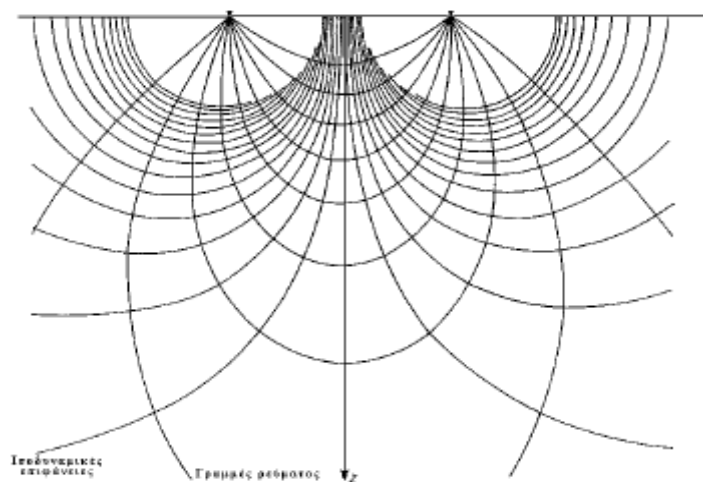
Όταν η απόσταση των δύο ηλεκτροδίων θεωρηθεί μικρή, το ηλεκτρικό πεδίο του ενός ηλεκτροδίου αλληλεπιδρά με το ηλεκτρικό πεδίο του άλλου ηλεκτροδίου, με αποτέλεσμα το δυναμικό σε ένα σημείο του υπεδάφους να ισούται με το αλγεβρικό άθροισμα των δυναμικών των ηλεκτρικών πεδίων των δύο ηλεκτροδίων. Το συνολικό δυναμικό V σε ένα σημείο του υπεδάφους που απέχει αποστάσεις d_1 και d_2 από την πηγή και τη γείωση αντίστοιχα, ισούται με το άθροισμα του δυναμικού V_{d1} που οφείλεται στην πηγή, με το δυναμικό V_{d2} που οφείλεται στη γείωση:

$$V = V_{d1} + V_{d2} = V_{d1} - V_0 + V_0 + V_{d2} = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2} \right) \quad (3.6)$$

Και επομένως η μετρούμενη αντίσταση θα δίνεται από την σχέση:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2} \right) \quad (3.7)$$

Με βάση τη σχέση (3.6) υπολογίζεται το δυναμικό σε όλα τα σημεία του υπεδάφους και γίνεται η σχεδίαση των ισοδυναμικών επιφανειών.



Σχήμα 3.4: Ροή ηλεκτρικού ρεύματος στην περίπτωση που δύο ηλεκτρόδια εισάγονται σε ομοιογενές και ισότροπο έδαφος.

3.3 ΤΡΟΠΟΙ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι διάταξης των ηλεκτροδίων ρεύματος και δυναμικού. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα ηλεκτρόδια ρεύματος και τα ηλεκτρόδια δυναμικού τοποθετούνται στην ίδια ευθεία γραμμή.

Στην πράξη, συχνότερα, χρησιμοποιούνται οι παρακάτω διατάξεις:

α) Διάταξη Wenner

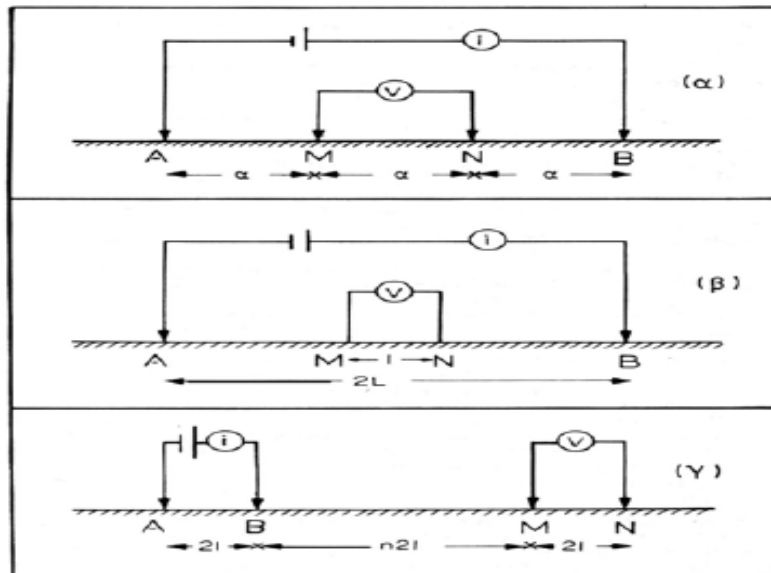
Στη διάταξη Wenner τα ηλεκτρόδια ρεύματος και δυναμικού διατάσσονται σε ίσες μεταξύ τους αποστάσεις, δηλαδή, $AM = MN = NB = \alpha$, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.5α. Έτσι η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ_α υπολογίζεται από την σχέση:

$$\rho_\alpha = 2\pi \frac{V_{MN}}{I} \left(\frac{1}{\alpha} - \frac{1}{2\alpha} - \frac{1}{2\alpha} + \frac{1}{\alpha} \right)^{-1} = 2\pi\alpha \frac{V_{MN}}{I} \quad (3.8)$$

Η ποσότητα

$$2\pi \left(\frac{1}{\alpha} - \frac{1}{2\alpha} - \frac{1}{2\alpha} + \frac{1}{\alpha} \right) = 2\pi\alpha \quad (3.9)$$

ονομάζεται γεωμετρικός συντελεστής και συμβολίζεται με K . Η τιμή του μπορεί να υπολογιστεί αν οι αποστάσεις των ηλεκτροδίων είναι γνωστές.



Σχήμα 3.5: Διατάξεις Wenner (α), Schlumberger (β), διπόλου-διπόλου (γ).

β) Διάταξη Schlumberger

Στη διάταξη Schlumberger, τα ηλεκτρόδια ρεύματος A και B βρίσκονται σε απόσταση L και σε συμμετρικές θέσεις ως προς το κέντρο της διάταξης.

Τα ηλεκτρόδια του δυναμικού M και N είναι ανάμεσα στα A και B και σε απόσταση b από το κέντρο της διάταξης.

Έτσι είναι $AB = 2L$ και $MN = 2b$ (Σχήμα 3.5β), η απόσταση $2b$ μεταξύ των ηλεκτροδίων δυναμικού είναι πολύ μικρότερη από την απόσταση $2L$ μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος. Έτσι ο γεωμετρικός συντελεστής K θα υπολογίζεται από την σχέση:

$$K = 2\pi \left(\frac{1}{L-b} - \frac{1}{L+b} - \frac{1}{L+b} - \frac{1}{L-b} \right)^{-1} = (L^2 - b^2) \frac{\pi}{2b} \quad (3.10)$$

Επειδή όμως $(L \gg b)$ τότε $(L^2 - b^2) \sim L^2$, και έτσι η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση θα υπολογίζεται από την σχέση

$$\rho_a = \frac{\pi L^2 \Delta V}{2b I} \quad (3.11)$$

Κατά την εφαρμογή της διάταξης Schlumberger για ηλεκτρική βυθοσκόπηση, τα ηλεκτρόδια δυναμικού παραμένουν σταθερά. Αντίθετα η απόσταση για τα ηλεκτρόδια ρεύματος αυξάνεται σταδιακά και συμμετρικά ως προς το κέντρο της διάταξης. Η διάταξη Schlumberger είναι η πιο διαδεδομένη διάταξη για την διεξαγωγή ηλεκτρικής βυθοσκόπησης. Αυτό οφείλεται κυρίως στο μικρό χρόνο πραγματοποίησης των μετρήσεων, επειδή αντίθετα με τις άλλες διατάξεις απαιτεί μετακίνηση μόνο των δύο ηλεκτροδίων ρεύματος κατά την γεωηλεκτρική βυθοσκόπηση.

γ) Διάταξη Διπόλου-Διπόλου

Σε αυτή τη διάταξη η απόσταση ανάμεσα στα ηλεκτρόδια του ρεύματος είναι ίση με a . Ομοίως a είναι και το διάστημα μεταξύ των ηλεκτροδίων δυναμικού. Η απόσταση μεταξύ των ζευγαριών των ηλεκτροδίων είναι μεγάλη και ίση με na ($n \gg 1$), όπως φαίνεται στο Σχήμα (3.5γ).

Ο γεωμετρικός συντελεστής K για την διάταξη διπόλου–διπόλου και για $n \gg 1$, υπολογίζεται από τη σχέση:

$$K = n\pi a(n+1)(n+2) \quad (3.12)$$

και η φαινόμενη ειδική αντίσταση από την σχέση

$$\rho_a = n\pi a(n+1)(n+2) \frac{\Delta V}{I} \quad (3.13)$$

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της διάταξης αποτελεί η απόσταση $2na$, ανάμεσα στα δίπολα ρεύματος και δυναμικού, που μπορεί να αυξηθεί αρκετά χωρίς να χρειάζονται μεγάλα μήκη καλωδίων. Η διάταξη περιορίζεται μόνο από τη δυνατότητα των καταγραφικών οργάνων και από τον εδαφικό θόρυβο.

3.3.1 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ.

Η επιλογή του τρόπου διάταξης των ηλεκτροδίων κατά την πραγματοποίηση μετρήσεων αποτελεί πολύ σημαντικό βήμα για τις γεωηλεκτρικές διασκοπήσεις. Η διάταξη των ηλεκτροδίων επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό την ακρίβεια των μετρήσεων.

Οι παράγοντες-κριτήρια που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη είναι οι παρακάτω:

- Λόγος σήματος προς θόρυβο

Ως προς τον παράγοντα αυτό κατά σειρά προτεραιότητας οι διατάξεις είναι: Wenner, Schlumberger, διπόλου-διπόλου.

- Ευαισθησία σε οριζόντιες ανομοιογένειες

Οι οριζόντιες ανομοιογένειες φαίνεται να προκαλούν μεγαλύτερη ευαισθησία στην διάταξη διπόλου-διπόλου και λιγότερη σε Wenner και Schlumberger.

- Ευαισθησία σε βάθος και διεισδυτικότητα δια μέσου επιφανειακού αγωγίμου στρώματος.

Οι διατάξεις Schlumberger και Wenner έχουν σχεδιαστεί για να χρησιμοποιούνται σε βυθοσκοπήσεις και η συνεχώς αυξανόμενη απόσταση των ηλεκτροδίων ρεύματος δίνει λεπτομερή ανάλυση της ειδικής αντίστασης σε βάθος, σε αντίθεση με τη διάταξη διπόλου-διπόλου.

- Διεισδυτικότητα δια μέσου επιφανειακού αγωγίμου στρώματος (Επίδραση του επιδερμικού φαινομένου).

Το επιδερμικό φαινόμενο επηρεάζει την ικανότητα διείσδυσης σε μεγάλα βάθη. Η δυνατότητα μεγάλου ανοίγματος ηλεκτροδίων ρεύματος της διάταξης Schlumberger μαζί με την ευαισθησία σε βάθος που έχει, της παρέχουν ένα σαφές προβάδισμα.

- Βάθος διασκόπησης

Το βάθος διασκόπησης εξαρτάται κυρίως από το οριζόντιο ανάπτυγμα (απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων), που σημαίνει ότι η διάταξη Schlumberger πλεονεκτεί.

- Ευαισθησία στην μορφολογία του υπόβαθρου

Η διάταξη διπόλου-διπόλου υπερτερεί των άλλων διατάξεων στην περίπτωση των γεωλογικών ανωμαλιών.

- Ευαισθησία στο τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής έρευνας.

Το έντονο τοπογραφικό ανάγλυφο δημιουργεί πύκνωση και αραίωση των ρευματικών γραμμών. Άρα οι διατάξεις των ηλεκτροδίων πρέπει να έχουν διεύθυνση παράλληλη με το τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής. (Μποτωνάκης-Αντωνοπούλου 2006).

3.4 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ

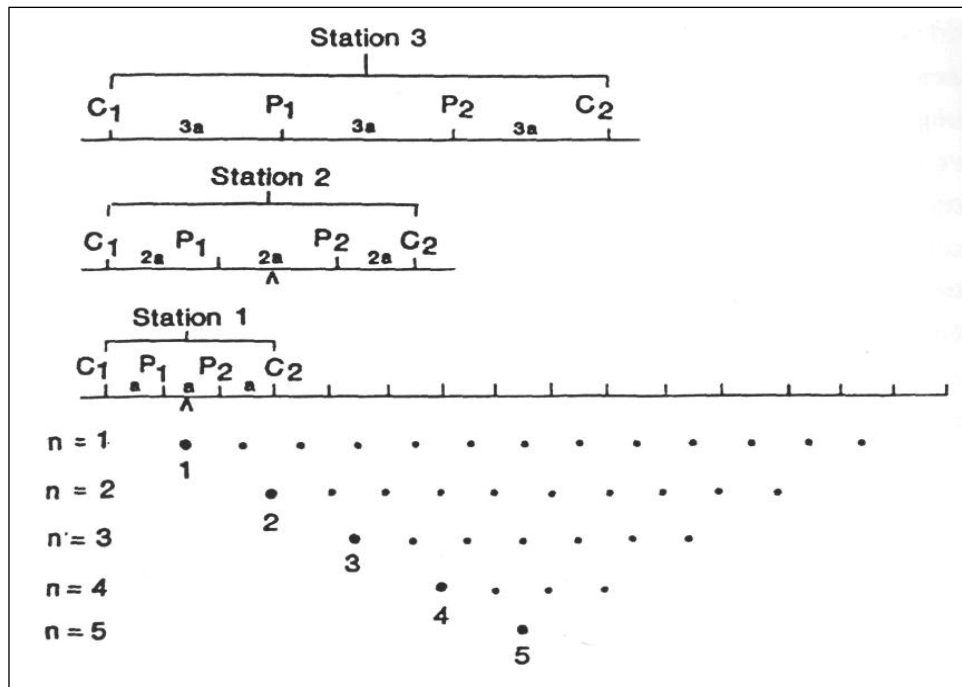
Με τη μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας επιτυγχάνεται η λεπτομερής απεικόνιση του υπεδάφους καθώς είναι μέθοδος υψηλής διακριτικής ικανότητας. Ο όρος τομογραφία παράγεται από τη λέξη «τομή» και σημαίνει απεικόνιση τομής των γεωλογικών ιδιοτήτων του υπεδάφους. Στην ηλεκτρική τομογραφία απεικονίζεται η κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος (συνήθως) σε οριζόντια και κατακόρυφη διάσταση.

Ευθύ πρόβλημα στη μέθοδο μέτρησης της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ονομάζουμε τον υπολογισμό της διαφοράς δυναμικού και εν συνεχεία της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης από ήδη γνωστές ηλεκτρικές αντιστάσεις. Αντίστροφο πρόβλημα, ονομάζουμε τον υπολογισμό των πραγματικών ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων από τις μετρούμενες φαινόμενες (Γκανιάτσος, 2000).

Η εύρεση των τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης από τις τιμές της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι δυνατή με τους αλγόριθμους αντιστροφής.

Αν και η αντιστροφή είναι ένα δύσκολο μη γραμμικό πρόβλημα, η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων του Gauss – Newton με εξομάλυνση αποφεύγει τις ασταθείς λύσεις και συγκλίνει γρήγορα, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται περισσότερο από οποιαδήποτε άλλη μέθοδο.

Παραδοσιακά τα δισδιάστατα γεωηλεκτρικά δεδομένα που συλλέγονται με αυτό τον τρόπο παρουσιάζονται και ειρηνεύονται με τη μέθοδο της ψευδοτομής. Αυτή βασίζεται στο γεγονός ότι όσο μεγαλύτερο είναι το άνοιγμα των ηλεκτροδίων τόσο περισσότερο οι μετρούμενες αντιστάσεις αντιστοιχούν σε μεγαλύτερα βάθη. Έτσι κάθε μέτρηση προβάλλεται κάτω από το κέντρο της ηλεκτροδιακής διάταξης κάθε μέτρησης σε βάθος ανάλογο με το άνοιγμα των ηλεκτροδίων. Με αυτόν τον τρόπο λαμβάνεται μια δισδιάστατη ψευδοτομή των ηλεκτρικών ιδιοτήτων του υπεδάφους.



Σχήμα 3.6: Δημιουργία ψευδοτομής (pseudosection) φαινόμενων ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων.

Με την δημιουργία της ψευδοτομής προσδιορίζεται προσεγγιστικά η κατανομή των ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων στο υπέδαφος. Το επόμενο βήμα είναι η αντιστροφή των δεδομένων, κατά το οποίο προσδιορίζονται οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης των σχηματισμών.

Ξεκινώντας από ένα αρχικό μοντέλο το επόμενο βήμα είναι η επίλυση του ευθέως προβλήματος, στο οποίο υπολογίζονται οι φαινόμενες αντιστάσεις που αντιστοιχούν στο μοντέλο αυτό (υπολογισμένη ψευδοτομή). Οι θεωρητικές αυτές τιμές, μαζί με τις πραγματικές μετρήσεις και τις παραμέτρους του μοντέλου καθορίζουν ένα σύστημα εξισώσεων. Ακολουθεί η διαδικασία της αντιστροφής, όπου επιλύεται το σύστημα των εξισώσεων με αγνώστους τις παραμέτρους του μοντέλου. Υπολογίζεται με τη διαδικασία αυτή ένα νέο βελτιωμένο μοντέλο.

Η διαδικασία συνεχίζεται υπολογίζοντας για το βελτιωμένο μοντέλο τις φαινόμενες αντιστάσεις, οι οποίες συγκρίνονται με τη σειρά τους με τις πραγματικές μετρήσεις. Σκοπός της αντιστροφής είναι να βρεθεί ένα μοντέλο που να δίνει φαινόμενες αντιστάσεις όσο το δυνατό πιο κοντά στις μετρήσεις.

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά της HT είναι ότι σε σύγκριση με τις άλλες τεχνικές λαμβάνεται ένας αρκετά μεγάλος αριθμός μετρήσεων (άρα και χρήσιμης πληροφορίας).

Στη συγκεκριμένη εργασία, χρησιμοποιείται ο συνδυασμός των διατάξεων Wenner – Schlumberger. Η απόσταση MN των ηλεκτροδίων δυναμικού είναι σταθερή και ίση με a . Η απόσταση των ηλεκτροδίων ρεύματος AB αρχικά είναι $3a$ και αυξάνεται κατά $2a$ κάθε φορά που γίνεται η μέτρηση. Αφού γίνονται οι μετρήσεις κατά μήκος της γραμμής μελέτης, το κέντρο μετακινείται κατά a και επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία.

4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

4.1 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Στη γεωφυσική αντιστροφή, επιδιώκεται η εύρεση ενός μοντέλου το οποίο να ανταποκρίνεται στις πραγματικές μετρημένες τιμές. Το πρότυπο είναι μια εξιδανικευμένη μαθηματική αντιπροσώπευση τμήματος της γης. Το πρότυπο έχει ένα σύνολο παραμέτρων οι οποίες είναι οι φυσικές ποσότητες που χρειάζεται να υπολογιστούν από τα παρατηρηθέντα στοιχεία. Η πρότυπη ανταπόκριση είναι τα δεδομένα τα οποία μπορούν να υπολογιστούν από μαθηματικές σχέσεις καθορίζοντας το σύνολο των παραμέτρων. Όλες οι μέθοδοι αντιστροφής προσπαθούν ουσιαστικά να καθορίσουν ένα πρότυπο για το υπέδαφος η ανταπόκριση του οποίου συμφωνεί με τα μετρημένα στοιχεία που υπόκεινται σε ορισμένους περιορισμούς. Στην μέθοδο που χρησιμοποιείται από τα RES2DINV και RES3DINV προγράμματα, οι πρότυπες παράμετροι είναι οι τιμές ειδικής αντίστασης, ενώ τα δεδομένα είναι οι μετρημένες τιμές της φαινόμενης ειδικής αντίστασης.

Με την αντιστροφή γίνεται ο υπολογισμός των πραγματικών ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων από τις φαινόμενες αντιστάσεις. Στα περισσότερα γεωφυσικά προβλήματα που χρησιμοποιείται η αντιστροφή, τα δεδομένα συνδέονται με μη γραμμικές σχέσεις με τις παραμέτρους του μοντέλου. Επιπλέον το πρόβλημα είναι υπερπροσδιορισμένο, δηλαδή ο αριθμός των δεδομένων υπερβαίνει τον αριθμό των παραμέτρων του μοντέλου.

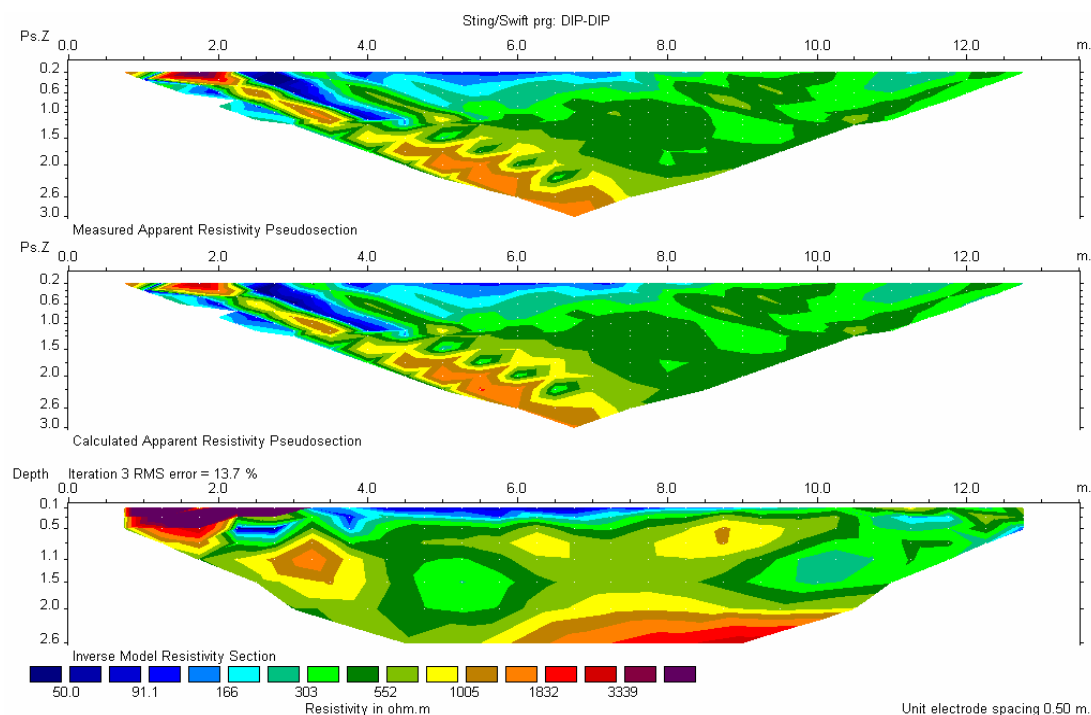
Για την επίλυση του προβλήματος εφαρμόζονται επαναληπτικές τεχνικές που χρησιμοποιούν τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Αρχικά όμως γίνεται προσέγγιση του μη γραμμικού προβλήματος με γραμμικό με τη βοήθεια της σειράς Taylor. Η ίδια ακριβώς μέθοδος χρησιμοποιείται και για την τρισδιάστατη αντιστροφή των δεδομένων.

4.2 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΙΣ ΔΥΟ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ -ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ RES2DINV

Ο σκοπός αυτού του προγράμματος είναι να καθοριστεί η ειδική ηλεκτρική αντίσταση σε ορθογώνια παραλληλόγραμμο του δισδιάστατου μοντέλου.

Σύμφωνα, λοιπόν, με το πρόγραμμα εισάγονται τα δεδομένα από το αρχείο dat. Αφού πραγματοποιηθεί η αντιστροφή των δεδομένων παρουσιάζονται στην οθόνη τρεις τομές.

Η πρώτη τομή είναι η ψευδοτομή των δεδομένων της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, η δεύτερη τομή είναι η ψευδοτομή των υπολογισμένων τιμών της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και η τρίτη είναι η γεωηλεκτρική τομή που προκύπτει από την αντιστροφή. Υπάρχει η δυνατότητα να μην ληφθούν υπόψη μετρήσεις οι οποίες έχουν μεγάλο σφάλμα. Επίσης, ρυθμίζεται ο αριθμός των επαναλήψεων της διαδικασίας της αντιστροφής. Χρησιμοποιείται η τεχνική ελαχίστων τετραγώνων για την αντιστροφή των δεδομένων.



Σχήμα 4.1: Παράδειγμα αντιστροφής δεδομένων γραμμής ηλεκτρικής τομογραφίας . Η 1ή εικόνα αποτελεί την ψευδοτομή των δεδομένων της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης , η 2ή αποτελεί ψευδοτομή των υπολογισμένων τιμών της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και η 3ή είναι η γεωηλεκτρική τομή που προκύπτει από την αντιστροφή.

Το πρόγραμμα RES2DINV έχει ως σκοπό να λειτουργήσει, όσο το δυνατόν περισσότερο, με αυτόματο τρόπο. Έχει ένα σύνολο παραμέτρων προεπιλογής που καθοδηγεί τη διαδικασία αντιστροφής.

Αυτό το τμήμα περιγράφει μερικές από τις παραμέτρους που ο χρήστης μπορεί να τροποποιήσει για να καθορίσει με ακρίβεια την διαδικασία αντιστροφής.

Σχεδόν σε όλες τις έρευνες, κάποια δεδομένα είναι γνωστά για τη γεωλογία του υπεδάφους. Σε μερικές περιπτώσεις είναι γνωστό εάν τα όρια της περιοχής που μας ενδιαφέρουν είναι κλιμακωτά, όπως τα όρια ρύπανσης ή πέτρωμα με παχύ μεταβατικό οριακό στρώμα.

Τέτοιες περιπτώσεις, η συμβατική μέθοδος εξομαλυσμένης αντιστροφής δίνει πρότυπο που αντιστοιχεί περισσότερο στην πραγματικότητα. Αυτή είναι η προεπιλεγμένη μέθοδος στο πρόγραμμα RES2DINV.

Σε άλλες περιπτώσεις, το υπέδαφος αποτελείται από γεωλογικούς σχηματισμούς που είναι εσωτερικά σχεδόν ομοιογενείς με ασαφή όρια μεταξύ διαφορετικών σχηματισμών. Για τέτοιες περιπτώσεις, μια περιορισμένη πρότυπη αντιστροφή είναι καταλληλότερη.

Μερικοί γεωλογικοί σχηματισμοί επεκτείνονται κυρίως κατά την οριζόντια διάσταση (παραδείγματος χάριν ιζηματογενή στρώματα και στρωματοειδείς φλέβες). Αυτές οι πληροφορίες μπορούν να ενσωματωθούν στη διαδικασία αντιστροφής.

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας είναι η ποιότητα των δεδομένων. Με το πρόγραμμα RES2DINV, μπορεί να σχεδιαστούν τα δεδομένα με μορφή σχεδιαγράμματος το οποίο να δίνει έμφαση στα δεδομένα με μεγάλο σφάλμα έτσι ώστε να μπορούν να αφαιρεθούν άμεσα.

Τέλος το πάχος των στρωμάτων μπορεί επίσης να τροποποιηθεί από το χρήστη. Αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε το μέγιστο βάθος του πρότυπου να υπερβαίνει το βάθος της έρευνας. Αυτό είναι χρήσιμο σε περιπτώσεις όπου μια σημαντική δομή βρίσκεται ακριβώς κάτω από το μέγιστο βάθος έρευνας.

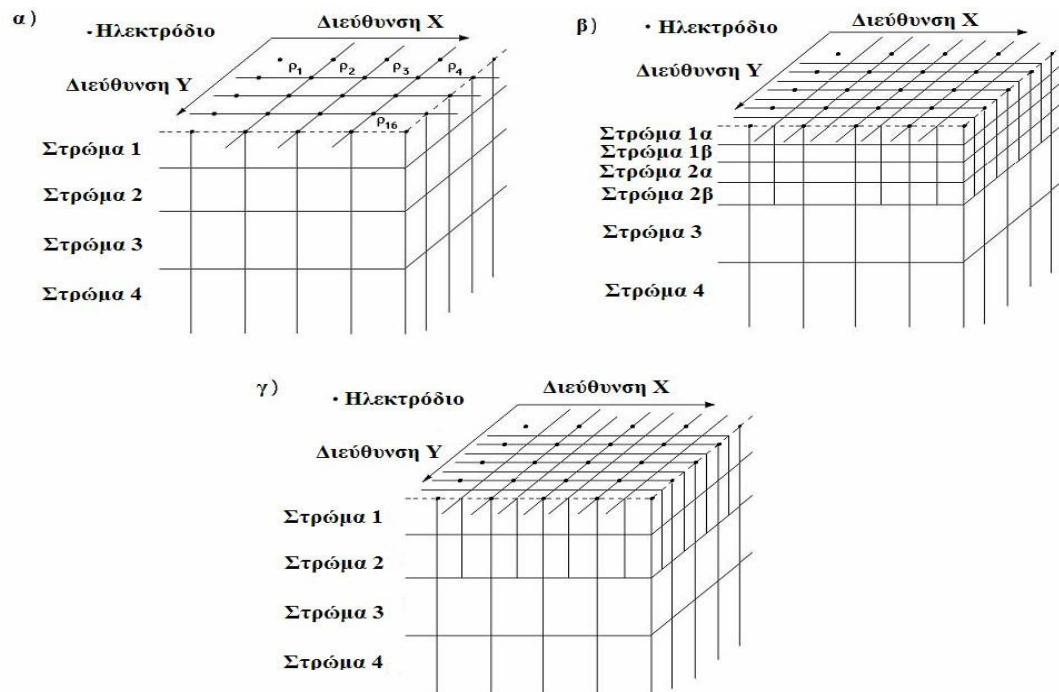
4.3 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΙΣ ΤΡΕΙΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ -ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ RES3DINV

Δεδομένου ότι όλες οι γεωλογικές δομές είναι τρισδιάστατης φύσης, μια πλήρως τρισδιάστατη έρευνα ειδικής αντίστασης που χρησιμοποιεί το τρισδιάστατο πρότυπο ερμηνείας πρέπει θεωρητικά να δώσει ακριβέστερα αποτελέσματα. Οι τρισδιάστατες έρευνες δεν έχουν φθάσει στο επίπεδο να χρησιμοποιούνται τόσο συχνά όσο οι δισδιάστατες έρευνες. Ο κύριος λόγος είναι ότι το κόστος ερευνών είναι συγκριτικά υψηλότερο για τρισδιάστατη έρευνα σε αρκετά μεγάλη περιοχή. Η ανάπτυξη των πολυδιαυλικών μετρητών ειδικής αντίστασης που επιτρέπει περισσότερες από μια αναγνώσεις ταυτόχρονα και οι γρηγορότεροι μικροϋπολογιστές ευνοούν την πιο συχνή χρήση της τρισδιάστατης έρευνας.

Για τις τρισδιάστατες έρευνες τα ηλεκτρόδια τοποθετούνται σε ορθογώνιο κάναβο με συγκεκριμένο διάστημα μεταξύ των ηλεκτροδίων. Ωστόσο, το πρόγραμμα αντιστροφής RES3DINV μπορεί να χειριστεί ακόμα και καννάβους με ανομοιόμορφο διάστημα μεταξύ των ηλεκτροδίων. Τρισδιάστατη αντιστροφή ενός συνόλου δεδομένων μπορεί να γίνει με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων που χρησιμοποιήθηκε στην δισδιάστατη μέθοδο αντιστροφής. Ένα πρότυπο που χρησιμοποιείται για να ερμηνευθεί το τρισδιάστατο σύνολο δεδομένων παρουσιάζεται στο σχήμα 4.2α.

Το υπέδαφος διαιρείται σε διάφορα στρώματα και κάθε στρώμα υποδιαιρείται περαιτέρω σε ορθογώνια κελιά. Το τρισδιάστατο πρόγραμμα αντιστροφής ειδικής αντίστασης RES3DINV χρησιμοποιείται για να ερμηνεύσει τα δεδομένα στις τρισδιάστατες έρευνες. Στα πλαίσια του προγράμματος RES3DINV, το πάχος των στρωμάτων μπορεί να τροποποιηθεί από τον χρήστη. Δύο άλλα εναλλακτικά πρότυπα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν με το πρόγραμμα RES3DINV παρουσιάζονται στα σχήματα 4.2β και 4.2γ. Το δεύτερο πρότυπο αντιστροφής υποδιαιρεί μερικά από τα ρηχά στρώματα στο μισό και στις δύο διευθύνσεις. Μια άλλη εναλλακτική λύση είναι να υποδιαιρεθούν τα ρηχά στρώματα στο μισό μόνο στην οριζόντια κατεύθυνση (σχήμα 4.2γ).

Αφού η ανάλυση της μεθόδου της ειδικής αντίστασης μειώνεται με το βάθος, έχει διαπιστωθεί ότι η υποδιαίρεση αυτή είναι ευεργετική μόνο για τα πρώτα δύο στρώματα. Σε πολλές περιπτώσεις, η υποδιαίρεση μόνο του πρώτου στρώματος είναι αρκετή. Με την υποδιαίρεση των κελιών, ο αριθμός των παραμέτρων κι επομένως ο χρόνος που απαιτείται για την αντιστροφή δεδομένων αυξάνονται εντυπωσιακά.



Σχήμα 4.2: Τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται στην τρισδιάστατη αντιστροφή .α)μοντέλο όπου τα άκρα των ορθογωνίων παραλληλεπιδέδων συμπίπτουν με τις θέσεις των ηλεκτροδίων; αποστάσεις ηλεκτρονίων στην x και y διάσταση, β)μοντέλο στο οποίο τα πρώτα στρώματα είναι υποδιαιρεμένα στο μισό σε κατακόρυφη και οριζόντια διεύθυνση, γ)μοντέλο στο οποίο τα πρώτα στρώματα είναι υποδιαιρεμένα στο μισό σε οριζόντια διεύθυνση.

5. ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗ ΣΤΑ ΦΑΛΑΣΑΡΝΑ

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ Η ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΟΥΣ.

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διεξαγωγή της γεωηλεκτρικής διασκόπησης πραγματοποιήθηκε τα τέλη Σεπτεμβρίου του 2012 από τους φοιτητές του τμήματος Μηχ.Ο.Π., στα πλαίσια του προπτυχιακού μαθήματος “Ασκήσεις υπαίθρου ΙV”.

Η γεωλογική ερμηνεία των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε: α) με την βοήθεια του γεωλογικού χάρτη, β) του πίνακα 5.1 και γ) από υπάρχοντα στοιχεία γεωτρήσεων της περιοχής μελέτης.

ΕΙΔΟΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ (Ωm)
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΠΡΟΣΧΩΣΕΙΣ	80-250
ΝΕΟΓΕΝΗ ΙΖΗΜΑΤΑ	
Αργίλοι	2-20
Μάργες	20-60
Αμμοί και Χαλίκια κορεσμένα	50-500
Εβαπορίτες (Γύψοι)	200
Μαργαϊκοί Ασβεστόλιθοι	150-500
Κροκαλοπαγή βάσεως	200-300
Ψαμμίτες	50-70
Συμπαγής δολομίτης	>104
Πορώδης δολομίτης	100-1000
ΑΛΠΙΚΑ ΙΖΗΜΑΤΑ	
Φλύσχης	70-80
Σχιστόλιθοι-Οφιόλιθοι	100-300
Ασβεστόλιθοι	>500

Πίνακας 5.1: Τιμές ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων πετρωμάτων.



Σχήμα 5.1: 10 γραμμές μελέτης 216 μέτρα μήκος γραμμών, 5 μέτρα ισαπόσταση μεταξύ των γραμμών, 55 ηλεκτρόδια σε κάθε γραμμή

5.2 ΔΙΣΔΙΑΤΑΤΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ

Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της ηλεκτρικής τομογραφίας και πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή 10 γραμμές μελέτης με διεύθυνση Νότος - Βορράς. Η απόσταση μεταξύ των γραμμών ήταν 5 μέτρα. Για την απόκτηση των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας χρησιμοποιήθηκε ο συνδυασμός των διατάξεων Wenner και Schlumberger. Κάθε γραμμή αποτελούνταν από 55 ηλεκτρόδια και η απόσταση μεταξύ τους ήταν 4 μέτρα. Το συνολικό μήκος της κάθε γραμμής ήταν 216 μέτρα.

Για την αντιστροφή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Res2Dinv το οποίο περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

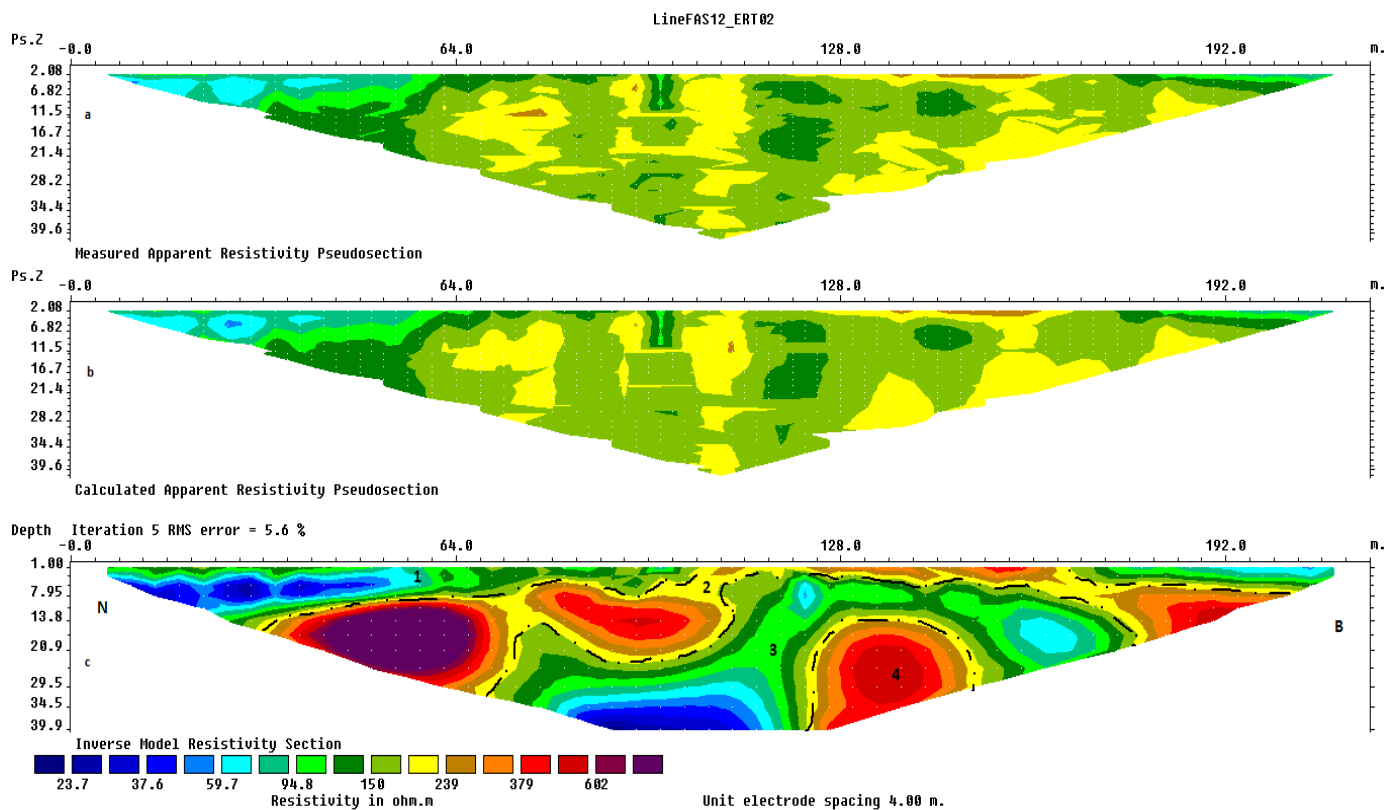
5.2.1 ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ FAL12_ERT02

Οι μετρήσεις στην γραμμή της ηλεκτρικής τομογραφίας FAL12_ERT02 πραγματοποιήθηκαν στις 26-9-2012. Οι συντεταγμένες του Νοτίου και Βορείου άκρου της είναι (ΕΓΣΑ '87) $(x,y)=(461975.556, 3928102.875)$ και $(x,y)=(461908.597, 3928282.461)$, αντίστοιχα. Το μέσο ύψος της γραμμής μελέτης είναι 29,369 μέτρα.

Στο Σχήμα 5.2 συνοψίζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων της εν λόγω τομογραφίας. Στο σχήμα αυτό απεικονίζεται η μετρούμενη (Measured) και η υπολογισμένη ψευδοτομή (Calculated Apparent Resistivity Pseudosection), η οποία έχει προκύψει από την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος (Inverse Model Resistivity Section). Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μεταξύ της μετρούμενης και υπολογισμένης ψευδοτομής είναι 5.6 % το οποίο θεωρείται αποδεκτό.

Εμφανίζονται συνολικά τέσσερα γεωηλεκτρικά στρώματα:

1. Το πρώτο στρώμα έχει αρκετό βάθος στην αρχή της γραμμής μελέτης (σχεδόν 15 μέτρα) αλλά σταθεροποιείται στα 5 μέτρα περίπου όσο φτάνει στο τέλος της. Οι αντιστάσεις κυμαίνονται από περίπου 20 Ωm μέχρι 150 Ωm .
2. Το δεύτερο στρώμα εκτείνεται σχεδόν σε όλη τη γραμμή μελέτη και ξεκινά σχεδόν από την επιφάνεια φτάνοντας μέχρι τα 25 μέτρα στην αρχή της γραμμής. Χαρακτηρίζεται από μεγάλες αντιστάσεις που ξεκινούν από 200 Ωm και φτάνουν μέχρι τα 800 Ωm .
3. Το τρίτο στρώμα ξεκινά περίπου από το 70ό μέτρο της γραμμής μελέτης σε βάθος 40 μέτρων και εκτείνεται μέχρι το 180 μέτρο της γραμμής μελέτης. Το εύρος των αντιστάσεων είναι παρόμοιο με αυτό του πρώτου στρώματος μόνο εκτείνεται σε μεγαλύτερο βάθος.
4. Το τέταρτο στρώμα από το 120ό μέτρο μέχρι το 150ό μέτρο της γραμμής μελέτης και εκτείνεται σε βάθος 13 – 40 μέτρων. Οι αντιστάσεις που εμφανίζονται σε αυτό το στρώμα κυμαίνονται από 200 – 500 Ωm .



Σχήμα 5.2: Μετρούμενη (a) και υπολογιζόμενη (b) ψευδοτομή και γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδ. ηλ. αντίστασης (c) της γραμμής μελέτης Line 4. Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μετά το τέλος της αντιστροφής είναι 5,6 %. Με διακεκομμένες μαύρες γραμμές χωρίζονται τα γεωηλεκτρικά στρώματα στον άξονα XZ.

5.2.2 ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ FAL12_ERT03

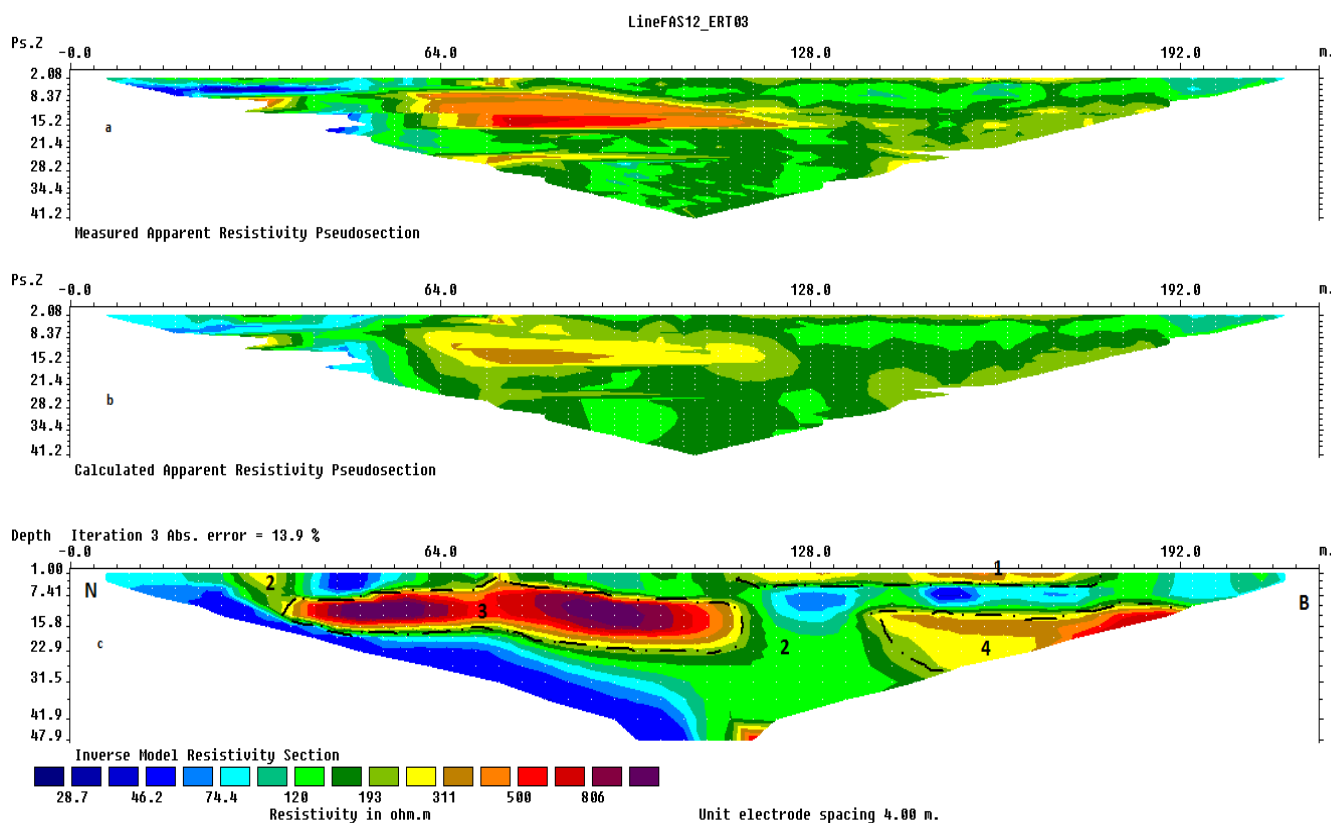
Οι μετρήσεις στην γραμμή της ηλεκτρικής τομογραφίας FAL12_ERT03 πραγματοποιήθηκαν στις 24-9-2012. Οι συντεταγμένες του Νοτίου και Βορείου άκρου της είναι (ΕΓΣΑ '87) $(x,y)=(461982.048, 3928100.999)$ και $(x,y)=(461908.222, 3928300.948)$, αντίστοιχα. Το μέσο ύψος της γραμμής μελέτης είναι 30,619 μέτρα.

Στο Σχήμα 5.3 συνοψίζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων της εν λόγω τομογραφίας. Στο σχήμα αυτό απεικονίζεται η μετρούμενη (Measured) και η υπολογισμένη ψευδοτομή (Calculated Apparent Resistivity Pseudosection), η οποία έχει προκύψει από την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος (Inverse Model Resistivity Section).

Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μεταξύ της μετρούμενης και υπολογισμένης ψευδοτομής είναι 13,9 % το οποίο θεωρείται μεγάλο σε σχέση με το 5% που ήταν ο στόχος μας. Το αρχικό σφάλμα στην πρώτη αντιστροφή ήταν 120,3%. Μετά από επεξεργασία και απομάκρυνση περίπου 125 μετρήσεων επιτεύχθηκε σφάλμα 13,9% το οποίο δεν μπορούσε να βελτιωθεί περισσότερο. Τα μεγάλα σφάλματα μπορεί να οφείλονται σε διάφορους παράγοντες όπως, η τοποθέτηση των ηλεκτροδίων, σφάλματα στις μετρήσεις του δυναμικού, η ηλεκτρομαγνητική σύζευξη, η επίδραση της τοπογραφίας ή η πόλωση των ηλεκτροδίων.

Εμφανίζονται συνολικά τέσσερα γεωηλεκτρικά στρώματα:

1. Το πρώτο στρώμα εκτείνεται από το 100ό περίπου μέτρο της γραμμής μελέτης μέχρι του 170ό και σε μικρό βάθος περίπου 5 μέτρων. Εμφανίζονται τιμές αντίστασης της τάξης των 200-300 Ωm .
2. Το δεύτερο στρώμα καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος της γραμμής μελέτης. Εμφανίζεται από την επιφάνεια μέχρι τα μεγαλύτερα βάθη της τομής μας (50 μέτρα). Το εύρος των αντιστάσεων κυμαίνεται από 40 μέχρι 120 Ωm .
3. Το τρίτο στρώμα εκτείνεται από το 30ό μέτρο της γραμμής μελέτης μέχρι το 100ό περίπου και σε βάθος από 5 -15 μέτρα. Χαρακτηρίζεται από υψηλές τιμές αντίστασης που κυμαίνονται από 300 Ωm και ξεπερνούν τα 800 Ωm .
4. Το τέταρτο στρώμα εκτείνεται από το 140ό μέτρο της γραμμής μελέτης μέχρι το 200ό και σε βάθος από 10 έως 25 μέτρα. Το εύρος τιμών των αντιστάσεων κυμαίνεται μεταξύ 300 – 500 Ωm .



Σχήμα 5.3: Μετρούμενη (a) και υπολογιζόμενη (b) ψευδοτομή και γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδ. ηλ. αντίστασης (c) της γραμμής μελέτης Line 4. Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μετά το τέλος της αντιστροφής είναι 13,9 %. Με διακεκομμένες μαύρες γραμμές χωρίζονται τα γεωηλεκτρικά στρώματα στον άξονα XZ.

5.2.3 ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ FAL12_ERT04

Οι μετρήσεις στην γραμμή της ηλεκτρικής τομογραφίας FAL12_ERT04 πραγματοποιήθηκαν στις 24-9-2012.

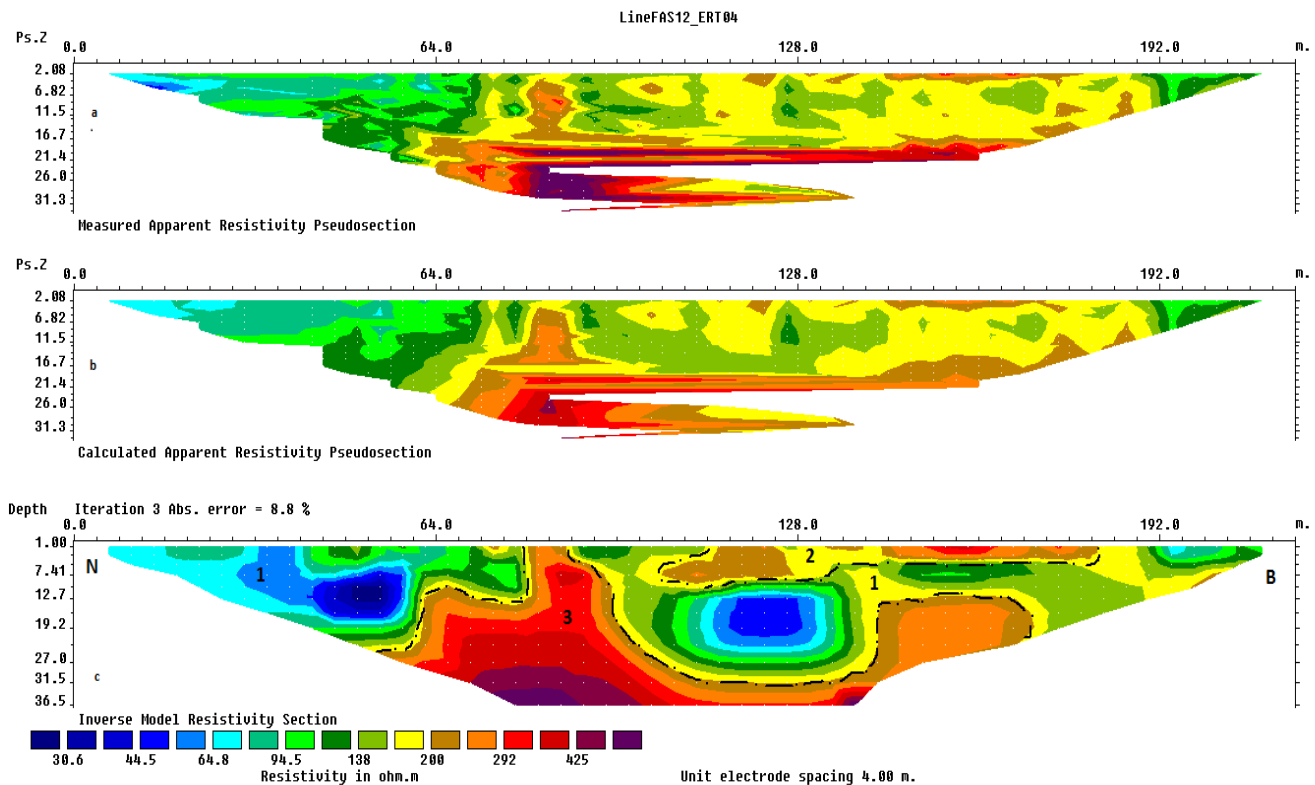
Οι συντεταγμένες του Βόρειου και Νότιου άκρου της είναι (ΕΓΣΑ '87) (x,y)=(461986.897, 3928103.752) και (x,y)=(461912.914, 3928302.407), αντίστοιχα. Το μέσο ύψος της γραμμής μελέτης είναι 30,719 μέτρα.

Στο Σχήμα 5.4 συνοψίζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων της εν λόγω τομογραφίας.

Στο σχήμα αυτό απεικονίζεται η μετρούμενη (Measured) και η υπολογισμένη ψευδοτομή (Calculated Apparent Resistivity Pseudosection), η οποία έχει προκύψει από την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος (Inverse Model Resistivity Section). Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μεταξύ της μετρούμενης και υπολογισμένης ψευδοτομής είναι 8.8 % το οποίο θεωρείται σχετικά μεγάλο σε σχέση με το 5% που ήταν ο στόχος.

Εμφανίζονται συνολικά τρία γεωηλεκτρικά στρώματα:

1. Το πρώτο στρώμα καταλαμβάνει μεγάλη έκταση στην γραμμή μελέτης. Εμφανίζεται επιφανειακά αλλά καταφέρνει να διατηρηθεί μέχρι τα 25 μέτρα βάθος. Χαρακτηρίζεται από μικρές αντιστάσεις εύρους 40 – 180 Ωm.
2. Το δεύτερο στρώμα εμφανίζεται κι αυτό επιφανειακά. Ξεκινά από το 90ό μέτρο της γραμμής μελέτης μέχρι το 170ό και σε μικρό βάθος. Εδώ έχουμε την εμφάνιση μεγαλύτερων τιμών αντιστάσεων σε σχέση με το πρώτο στρώμα. Έχουμε λοιπόν εύρος αντιστάσεων 180 – 300 Ωm.
3. Το τρίτο στρώμα εκτείνεται από το 50ό μέτρο της γραμμής μελέτης μέχρι το 150ό. Το βάθος του κυμαίνεται από την επιφάνεια μέχρι τα 40 μέτρα.



Σχήμα 5.4: Μετρούμενη (a) και υπολογιζόμενη (b) ψευδοτομή και γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδ. ηλ. αντίστασης (c) της γραμμής μελέτης Line 4. Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μετά το τέλος της αντιστροφής είναι 8,8 %. Με διακεκομμένες μαύρες γραμμές χωρίζονται τα γεωηλεκτρικά στρώματα στον άξονα XZ.

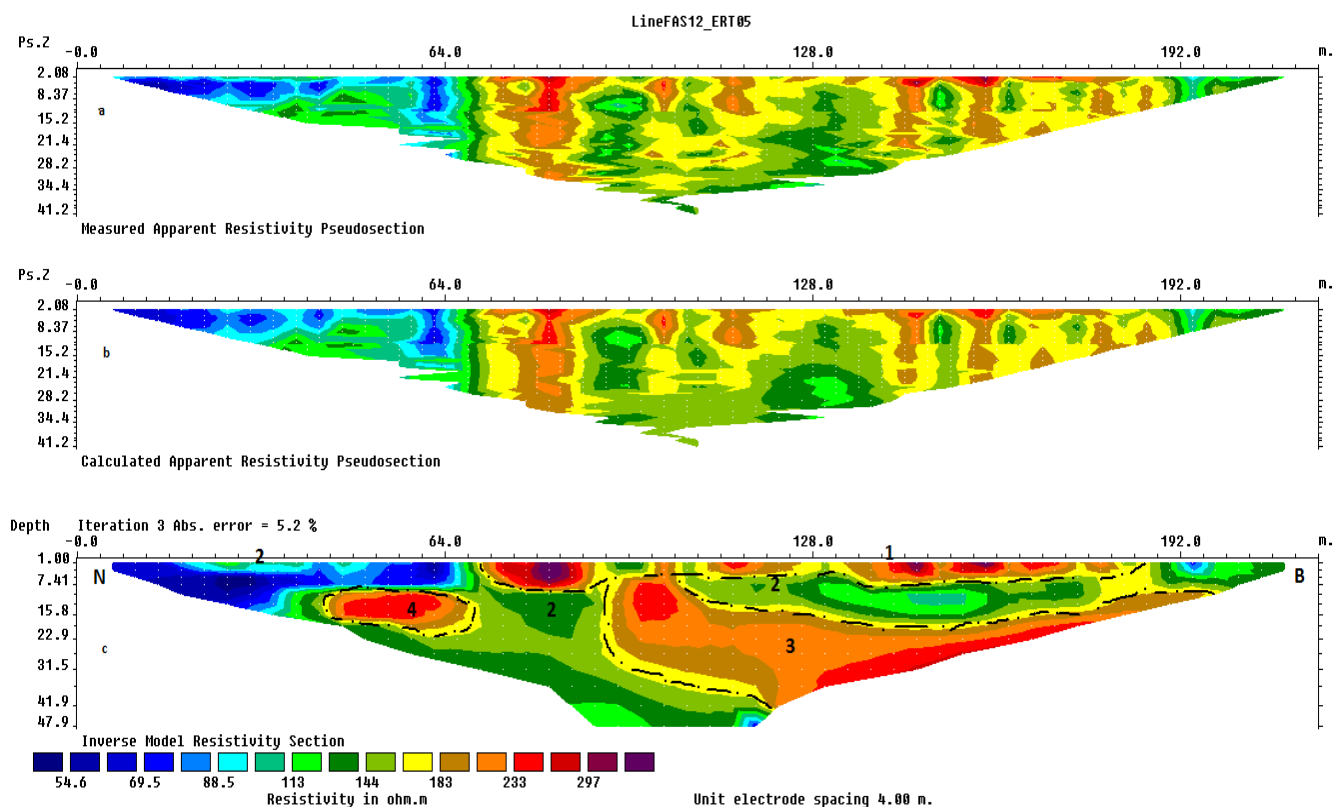
5.2.4 ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ FAL12_ERT05

Οι μετρήσεις στην γραμμή της ηλεκτρικής τομογραφίας FAL12_ERT04 πραγματοποιήθηκαν στις 25-9-2012. Οι συντεταγμένες του Νότιου και Βόριου άκρου της είναι (ΕΓΣΑ '87) $(x,y)=(461988.270, 3928106.703)$ και $(x,y)=(461914.887, 3928304.247)$, αντίστοιχα. Το μέσο ύψος της γραμμής μελέτης είναι 30,569 μέτρα.

Στο Σχήμα 5.5 συνοψίζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων της εν λόγω τομογραφίας. Στο σχήμα αυτό απεικονίζεται η μετρούμενη (Measured) και η υπολογισμένη ψευδοτομή (Calculated Apparent Resistivity Pseudosection), η οποία έχει προκύψει από την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος (Inverse Model Resistivity Section). Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μεταξύ της μετρούμενης και υπολογισμένης ψευδοτομής είναι 5.2 %.

Εμφανίζονται συνολικά τέσσερα γεωηλεκτρικά στρώματα:

1. Το πρώτο εκτείνεται από το 90ό μέτρο της γραμμής μελέτης μέχρι το 190ό. Εμφανίζεται σε χαμηλά βάθη περίπου μέχρι τα 7 μέτρα. Αποτελείται από μεγάλες τιμές αντίστασης που ξεκινούν από 180 και φτάνουν τα 300 Ωm.
2. Το δεύτερο στρώμα καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος της τομής μας. Εμφανίζεται από την αρχή της γραμμής μελέτης και φτάνει μέχρι το τέλος. Μπορούμε να το βρούμε σε βάθη, από την επιφάνεια μέχρι τα 48 μέτρα. Χαρακτηρίζεται από μικρές τιμές αντίστασης που ξεκινούν από 50 και φτάνουν τα 140 Ωm.
3. Το τρίτο στρώμα είναι κι αυτό αρκετά μεγάλο σε έκταση. Το εντοπίζουμε στο 80ό περίπου μέτρο της γραμμής μελέτης και εκτείνεται μέχρι το 200ό. Αποτελείται από αντιστάσεις εύρους 180 – 250 Ωm.
4. Το τέταρτο και τελευταίο στρώμα έχει τα ίδια χαρακτηριστικά με το τρίτο στρώμα αλλά το βρίσκουμε σε μικρότερη έκταση. Ξεκινά από το 50ό μέτρο της γραμμής μελέτης και φτάνει μέχρι το 65ό.



Σχήμα 5.5: Μετρούμενη (a) και υπολογιζόμενη (b) ψευδοτομή και γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδ. ηλ. αντίστασης (c) της γραμμής μελέτης Line 4. Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μετά το τέλος της αντιστροφής είναι 5,2 %. Με διακεκομμένες μαύρες γραμμές χωρίζονται τα γεωηλεκτρικά στρώματα στους άξονες ΧΖ.

5.2.5 ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ FAL12_ERT06

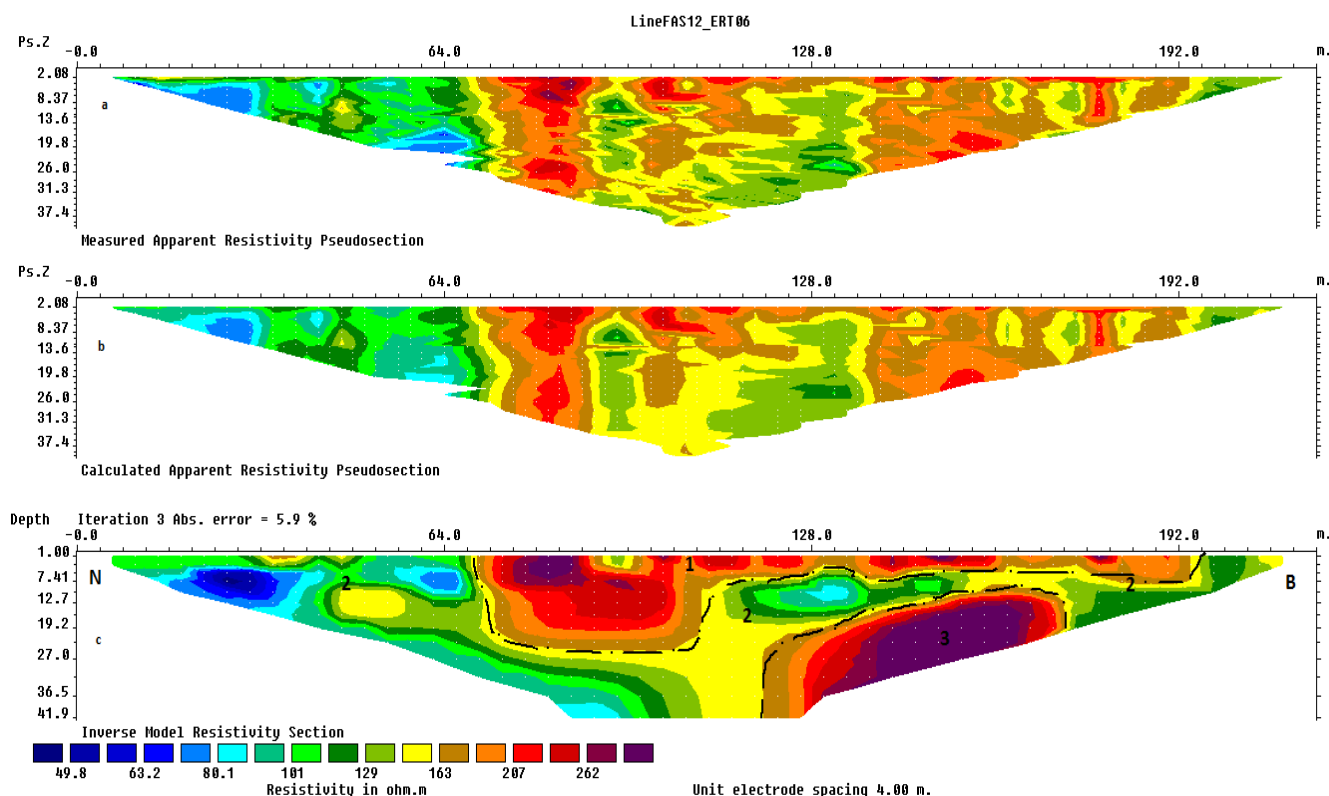
Οι μετρήσεις στην γραμμή της ηλεκτρικής τομογραφίας FAL12_ERT06 πραγματοποιήθηκαν στις 25-9-2012. Οι συντεταγμένες του Νοτίου και Βορείου άκρου της είναι (ΕΓΣΑ '87) $(x,y)=(461994.776, 3928108.155)$ και $(x,y)=(461920.054, 3928310.879)$, αντίστοιχα. Το μέσο ύψος της γραμμής μελέτης είναι 32,819 μέτρα.

Στο Σχήμα 5.6 συνοψίζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων της εν λόγω τομογραφίας. Στο σχήμα αυτό απεικονίζεται η μετρούμενη (Measured) και η υπολογισμένη ψευδοτομή (Calculated Apparent Resistivity Pseudosection), η οποία έχει προκύψει από την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος (Inverse Model Resistivity Section).

Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μεταξύ της μετρούμενης και υπολογισμένης ψευδοτομής είναι 5.9 %.

Εμφανίζονται συνολικά τρία γεωηλεκτρικά στρώματα:

1. Το πρώτο στρώμα εκτείνεται από το 65ό μέτρο της γραμμής μελέτης μέχρι το 200ό περίπου. Είναι κατά βάση επιφανειακό, μόνο το αρχικό του κομμάτι φτάνει μέχρι τα 20 μέτρα βάθος ενώ καθώς εκτείνεται σταθεροποιείται σε βάθος περίπου 7-8 μέτρων. Χαρακτηρίζεται από αντιστάσεις μεγάλου εύρους τιμών. Οι τιμές των αντιστάσεων κυμαίνονται από 160 μέχρι 300 Ωm .
2. Το δεύτερο στρώμα καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος της τομής. Είναι επιφανειακό στην αρχή της γραμμής μελέτης και στη συνέχεια εκτείνεται ανάμεσα στο πρώτο και τρίτο στρώμα. Εντοπίζεται σε βάθη από την επιφάνεια έως τα 42 μέτρα
3. Το τρίτο στρώμα εντοπίζεται στο 100ό μέτρο της γραμμής μελέτης μέχρι του 170ό και σε βάθη από 13 έως 42 μέτρα. Οι αντιστάσεις εδώ, όπως και στο πρώτο στρώμα έχουν τιμές από 150 Ωm έως 300 Ωm .



Σχήμα 5.6: Μετρούμενη (a) και υπολογιζόμενη (b) ψευδοτομή και γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδ. ηλ. αντίστασης (c) της γραμμής μελέτης Line 4. Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μετά το τέλος της αντιστροφής είναι 5,9 %. Με διακεκομμένες μαύρες γραμμές χωρίζονται τα γεωηλεκτρικά στρώματα στους άξονες ΧΖ

5.2.6 ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ FAL12_ERT07

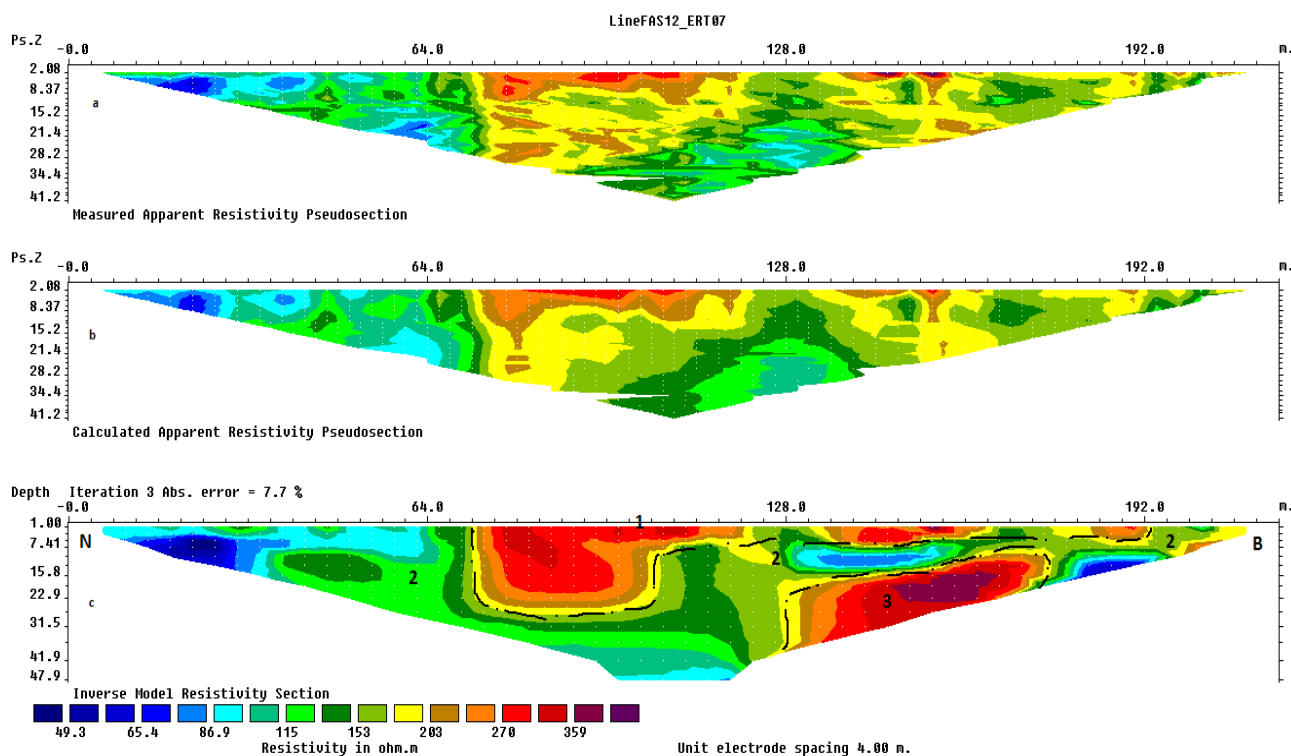
Οι μετρήσεις στην γραμμή της ηλεκτρικής τομογραφίας FAL12_ERT07 πραγματοποιήθηκαν στις 27-9-2012. Οι συντεταγμένες του Νοτίου και Βορείου άκρου της είναι (ΕΓΣΑ '87) $(x,y)=(462000.669, 3928107.575)$ και $(x,y)=(461925.183, 3928308.455)$, αντίστοιχα. Το μέσο ύψος της γραμμής μελέτης είναι 30,918 μέτρα.

Στο Σχήμα 5.7 συνοψίζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων της εν λόγω τομογραφίας. Στο σχήμα αυτό απεικονίζεται η μετρούμενη (Measured) και η υπολογισμένη ψευδοτομή (Calculated Apparent Resistivity Pseudosection), η οποία έχει προκύψει από την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος (Inverse Model Resistivity Section).

Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μεταξύ της μετρούμενης και υπολογισμένης ψευδοτομής είναι 7,7 %.

Εμφανίζονται συνολικά τρία γεωηλεκτρικά στρώματα:

1. Το πρώτο στρώμα εκτείνεται από το 65ό μέτρο της γραμμής μελέτης μέχρι το 192ό περίπου. Είναι κατά βάση επιφανειακό, μόνο το αρχικό του κομμάτι φτάνει μέχρι τα 23 μέτρα βάθος ενώ καθώς εκτείνεται σταθεροποιείται σε βάθος περίπου 7 μέτρων. Χαρακτηρίζεται από αντιστάσεις μεγάλου εύρους τιμών. Οι τιμές των αντιστάσεων κυμαίνονται από 200 μέχρι 350 Ωm .
2. Το δεύτερο στρώμα καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος της τομής. Είναι επιφανειακό στην αρχή της γραμμής μελέτης και στη συνέχεια εκτείνεται ανάμεσα στο πρώτο και τρίτο στρώμα. Εντοπίζεται σε βάθη από την επιφάνεια έως τα 48 μέτρα. Χαρακτηρίζεται από τιμές αντίστασης εύρους 48 έως 200 Ωm .
3. Το τρίτο στρώμα εντοπίζεται στο 128ό μέτρο της γραμμής μελέτης μέχρι του 170ό και σε βάθη από 8 έως 32 μέτρα. Οι αντιστάσεις εδώ έχουν τιμές από 200 Ωm έως 400 Ωm .



Σχήμα 5.7: Μετρούμενη (a) και υπολογιζόμενη (b) ψευδοτομή και γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδ. ηλ. αντίστασης (c) της γραμμής μελέτης Line 4. Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μετά το τέλος της αντιστροφής είναι 7,7 %. Με διακεκομμένες μαύρες γραμμές χωρίζονται τα γεωηλεκτρικά στρώματα στους άξονες ΧΖ.

5.2.7 ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ FAL12_ERT08

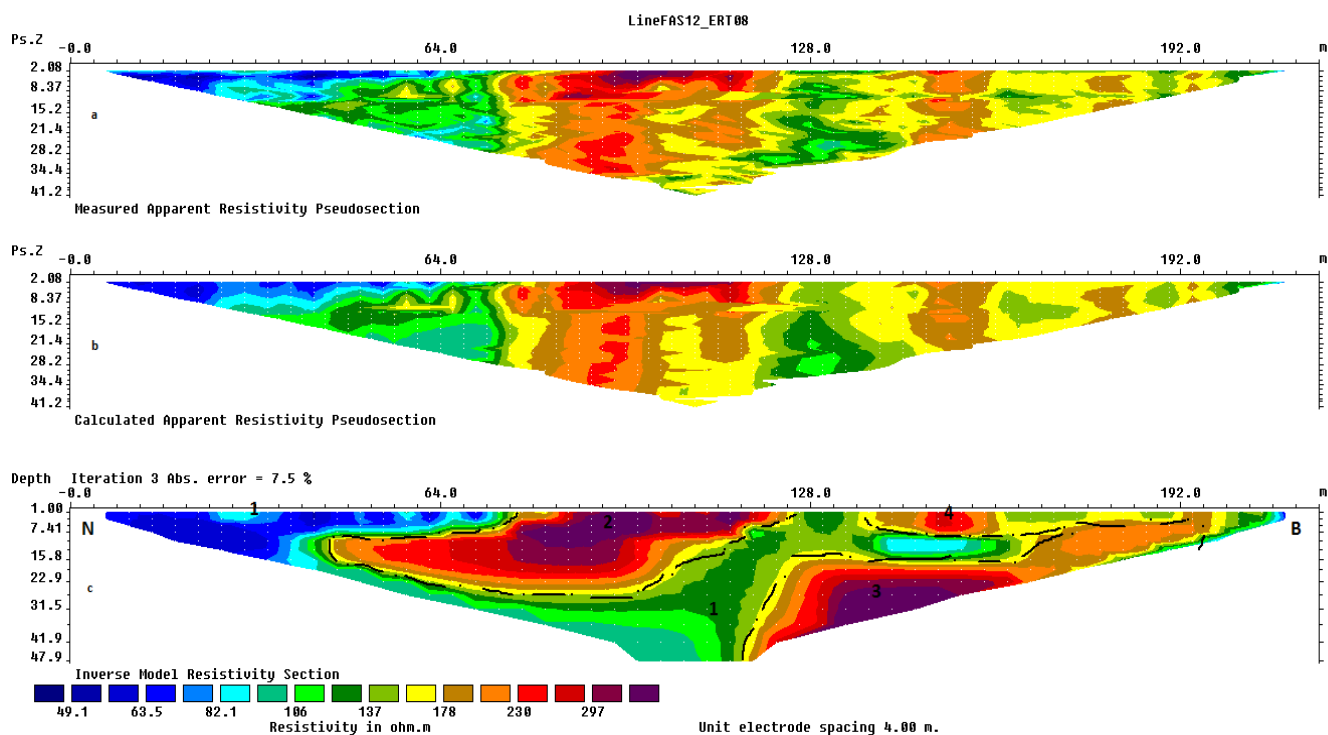
Οι μετρήσεις στην γραμμή της ηλεκτρικής τομογραφίας FAL12_ERT08 πραγματοποιήθηκαν στις 27-9-2012. Οι συντεταγμένες του Νοτίου και Βορείου άκρου της είναι (ΕΓΣΑ '87) $(x,y)=(462005.065, 3928110.514)$ και $(x,y)=(461929.277, 3928311.395)$, αντίστοιχα. Το μέσο ύψος της γραμμής μελέτης είναι 33,168 μέτρα.

Στο Σχήμα 5.8 συνοψίζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων της εν λόγω τομογραφίας. Στο σχήμα αυτό απεικονίζεται η μετρούμενη (Measured) και η υπολογισμένη ψευδοτομή (Calculated Apparent Resistivity Pseudosection), η οποία έχει προκύψει από την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος (Inverse Model Resistivity Section).

Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μεταξύ της μετρούμενης και υπολογισμένης ψευδοτομής είναι 7,7 %.

Εμφανίζονται συνολικά τέσσερα γεωηλεκτρικά στρώματα:

1. Το πρώτο στρώμα καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος της τομής. Είναι επιφανειακό στην αρχή της γραμμής μελέτης και στη συνέχεια εκτείνεται ανάμεσα στο πρώτο, τρίτο στρώμα και τέταρτο στρώμα. Το εντοπίζουμε σε βάθη από την επιφάνεια έως τα 48 μέτρα. Χαρακτηρίζεται από τιμές αντίστασης εύρους 48 έως 140 Ωm .
2. Το δεύτερο στρώμα εκτείνεται από το 40ό μέτρο της γραμμής μελέτης μέχρι το 120ό και σε βάθος από την επιφάνεια έως τα 23 μέτρα. Το χαρακτηρίζουν υψηλές τιμές αντίστασης από 170 – 310 Ωm .
3. Το τρίτο στρώμα από το 100ό μέτρο της γραμμής μελέτης μέχρι το 190ό και σε βάθος από 15 – 48 μέτρα. Χαρακτηρίζεται κι αυτό, όπως και το δεύτερο από υψηλές τιμές εύρους 170 – 310 Ωm .
4. Ένα τέταρτο στρώμα θα μπορούσε να διακρίνεται στο 140ό μέτρο της γραμμής μελέτης μέχρι το 160ό. Είναι επιφανειακό και φτάνει μέχρι τα 7 μέτρα βάθος. Χαρακτηρίζεται από αντιστάσεις εύρους 160 – 250 Ωm .



Σχήμα 5.8: Μετρούμενη (a) και υπολογιζόμενη (b) ψευδοτομή και γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδ. ηλ. αντίστασης (c) της γραμμής μελέτης Line 4. Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μετά το τέλος της αντιστροφής είναι 7,7 %. Με διακεκομμένες μαύρες γραμμές χωρίζονται τα γεωηλεκτρικά στρώματα στους άξονες XZ.

5.2.8 ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ FAL12_ERT09

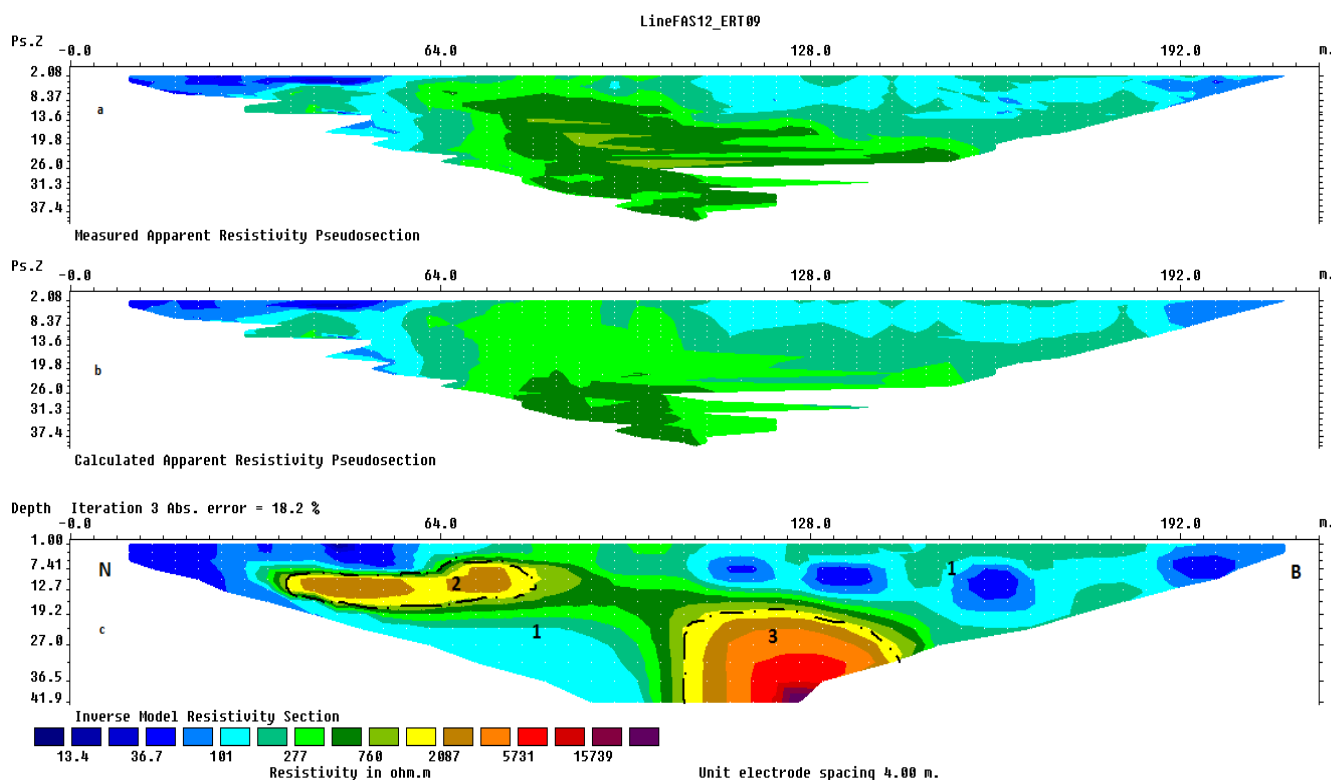
Οι μετρήσεις στην γραμμή της ηλεκτρικής τομογραφίας FAL12_ERT09 πραγματοποιήθηκαν στις 28-9-2012. Οι συντεταγμένες του Νοτίου και Βορείου άκρου της είναι (ΕΓΣΑ '87) $(x,y)=(462005.571, 3928122.897)$ και $(x,y)=(461932.791, 3928320.068)$, αντίστοιχα. Το μέσο ύψος της γραμμής μελέτης είναι 33,318 μέτρα.

Στο Σχήμα 5.9 συνοψίζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων της εν λόγω τομογραφίας. Στο σχήμα αυτό απεικονίζεται η μετρούμενη (Measured) και η υπολογισμένη ψευδοτομή (Calculated Apparent Resistivity Pseudosection), η οποία έχει προκύψει από την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος (Inverse Model Resistivity Section).

Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μεταξύ της μετρούμενης και υπολογισμένης ψευδοτομής είναι 18,2 % το οποίο απέχει αρκετά από τον λογικό σφάλμα του 5%. Το αρχικό σφάλμα στην πρώτη αντιστροφή ήταν 78,%. Μετά από επεξεργασία και απομάκρυνση περίπου 236 μετρήσεων πετύχαμε το σφάλμα του 18,2% το οποίο δεν μπορούσε να βελτιωθεί περισσότερο.

Μπορούμε να πούμε ότι διακρίνουμε 3 γεωηλεκτρικά στρώματα:

1. Το πρώτο καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος της τομής. Εκτείνεται σε όλη τη γραμμή μελέτης και είναι κυρίως επιφανειακό φτάνοντας όμως και σε μεγάλα βάθη (42 μέτρα).
2. Το δεύτερο στρώμα είναι μικρής έκτασης και εκτείνεται από το 30ό περίπου μέτρο της γραμμής μελέτης μέχρι το 80ό. Το βρίσκουμε σε βάθος από 8 – 13 μέτρα. Παρατηρούνται μεγάλες τιμές αντίστασης που κυμαίνονται από τα 1000 μέχρι τα 2100 Ωm .
3. Το τρίτο στρώμα εμφανίζεται στο 90ό μέτρο της γραμμής μελέτης έως το 140ό και σε μεγάλα βάθη από 19 – 42 μέτρα. Εδώ παρατηρούνται ακόμα μεγαλύτερες τιμές αντίστασης που φτάνουν από τα 1000 – 15000 Ωm .



Σχήμα 5.9: Μετρούμενη (a) και υπολογιζόμενη (b) ψευδοτομή και γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδ. ηλ. αντίστασης (c) της γραμμής μελέτης Line 4. Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μετά το τέλος της αντιστροφής είναι 18,2 %. Με διακεκομμένες μαύρες γραμμές χωρίζονται τα γεωηλεκτρικά στρώματα στους άξονες ΧΖ.

5.2.9 ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ FAL12_ERT10

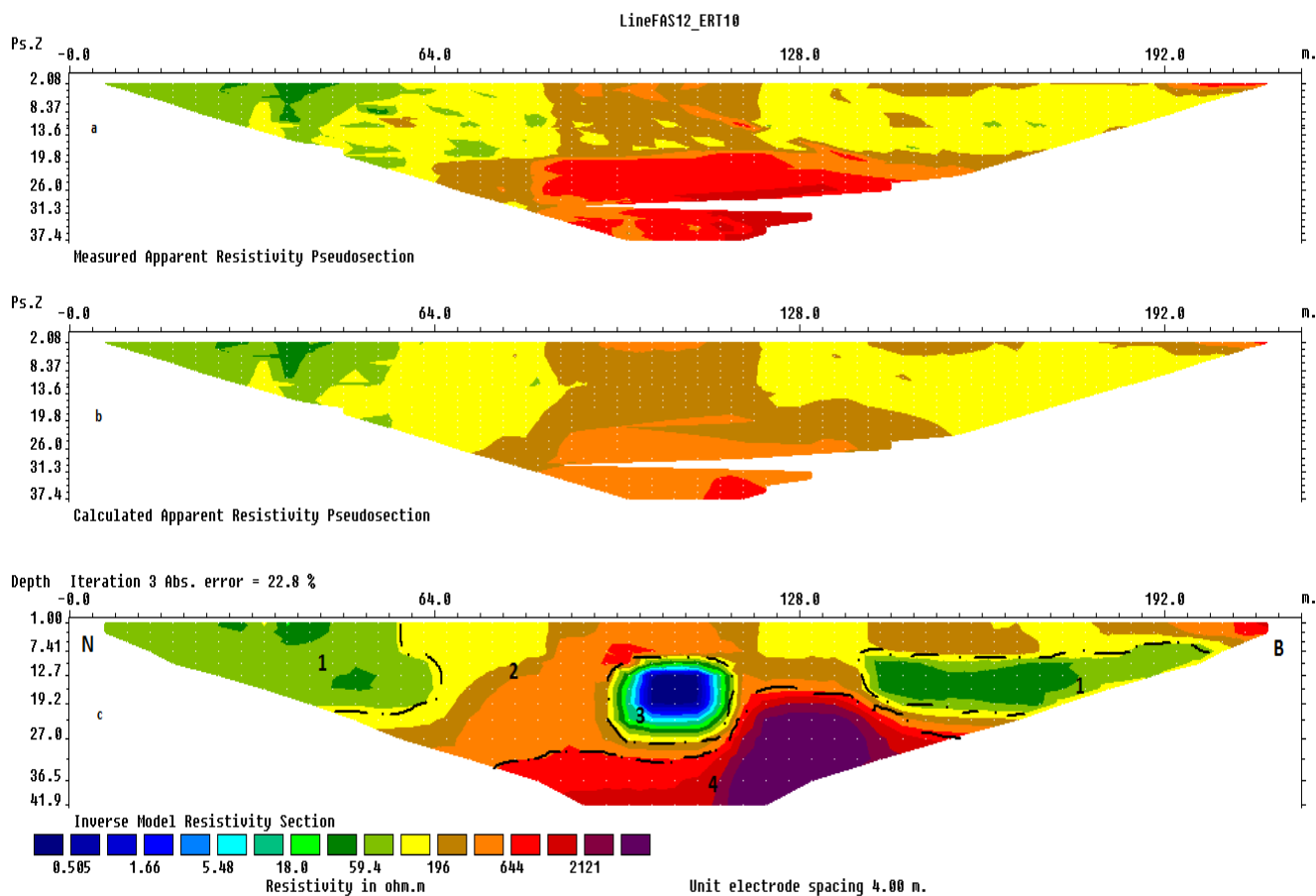
Οι μετρήσεις στην γραμμή της ηλεκτρικής τομογραφίας FAL12_ERT09 πραγματοποιήθηκαν στις 28-9-2012. Οι συντεταγμένες του Νοτίου και Βορείου άκρου της είναι (ΕΓΣΑ '87) $(x,y)=(462014.603, 3928113.801)$ και $(x,y)=(461939.567, 3928313.939)$, αντίστοιχα. Το μέσο ύψος της γραμμής μελέτης είναι 32,818 μέτρα.

Στο Σχήμα 5.10 συνοψίζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων της εν λόγω τομογραφίας. Στο σχήμα αυτό απεικονίζεται η μετρούμενη (Measured) και η υπολογισμένη ψευδοτομή (Calculated Apparent Resistivity Pseudosection), η οποία έχει προκύψει από την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος (Inverse Model Resistivity Section).

Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μεταξύ της μετρούμενης και υπολογισμένης ψευδοτομής είναι 22,8 % το οποίο απέχει αρκετά από τον λογικό σφάλμα του 5%. Το αρχικό σφάλμα στην πρώτη αντιστροφή ήταν 97,8%.

Μετά από επεξεργασία και απομάκρυνση περίπου 116 μετρήσεων πετύχαμε το σφάλμα του 18,2% το οποίο δεν μπορούσε να βελτιωθεί περισσότερο. Διακρίνονται 4 γεωηλεκτρικά στρώματα:

1. Το πρώτο στρώμα εμφανίζεται στην αρχή και στο τέλος της τομής. Αρχικά εμφανίζεται στην αρχή της γραμμής μελέτης μέχρι το 65ό μέτρο της και σε βάθος μέχρι 19 μέτρα. Στη συνέχεια εμφανίζεται στο 135ό μέτρο μέχρι το 200ό και σε βάθος από 10 – 20 μέτρα. Το εύρος των αντιστάσεων που το χαρακτηρίζουν είναι μεταξύ 30 – 60 Ωm .
2. Το δεύτερο στρώμα είναι κατά κύριο λόγο επιφανειακό και λαμβάνει μεγάλη έκταση στην τομή. Εκτείνεται από το 50ό μέτρο της γραμμής μελέτης μέχρι και το τέλος της. Παρατηρούμε τιμές αντίστασης από 150 – 500 Ωm .
3. Το τρίτο στρώμα είναι μικρής έκτασης και το συναντούμε στο μέσο της τομής και σε βάθος από 8 – 23 μέτρα. Χαρακτηρίζεται από πολύ μικρές τιμές αντίστασης από 0,5 – 60 Ωm .
4. Το τέταρτο στρώμα εμφανίζεται στο 70ό μέτρο της γραμμής μελέτης μέχρι το 140ό και σε βάθος από 15 – 42 μέτρα. Χαρακτηριστικό αυτού του στρώματος οι πολύ μεγάλες τιμές αντίστασης που ξεκινούν από 650 Ωm και ξεπερνούν τα 2100 Ωm .



Σχήμα 5.10: Μετρούμενη (a) και υπολογιζόμενη (b) ψευδοτομή και γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδ. ηλ. αντίστασης (c) της γραμμής μελέτης Line 4. Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μετά το τέλος της αντιστροφής είναι 22,8 %. Με διακεκομμένες μαύρες γραμμές χωρίζονται τα γεωηλεκτρικά στρώματα στους άξονες ΧΖ.

5.2.10 ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ FAL12_ERT11

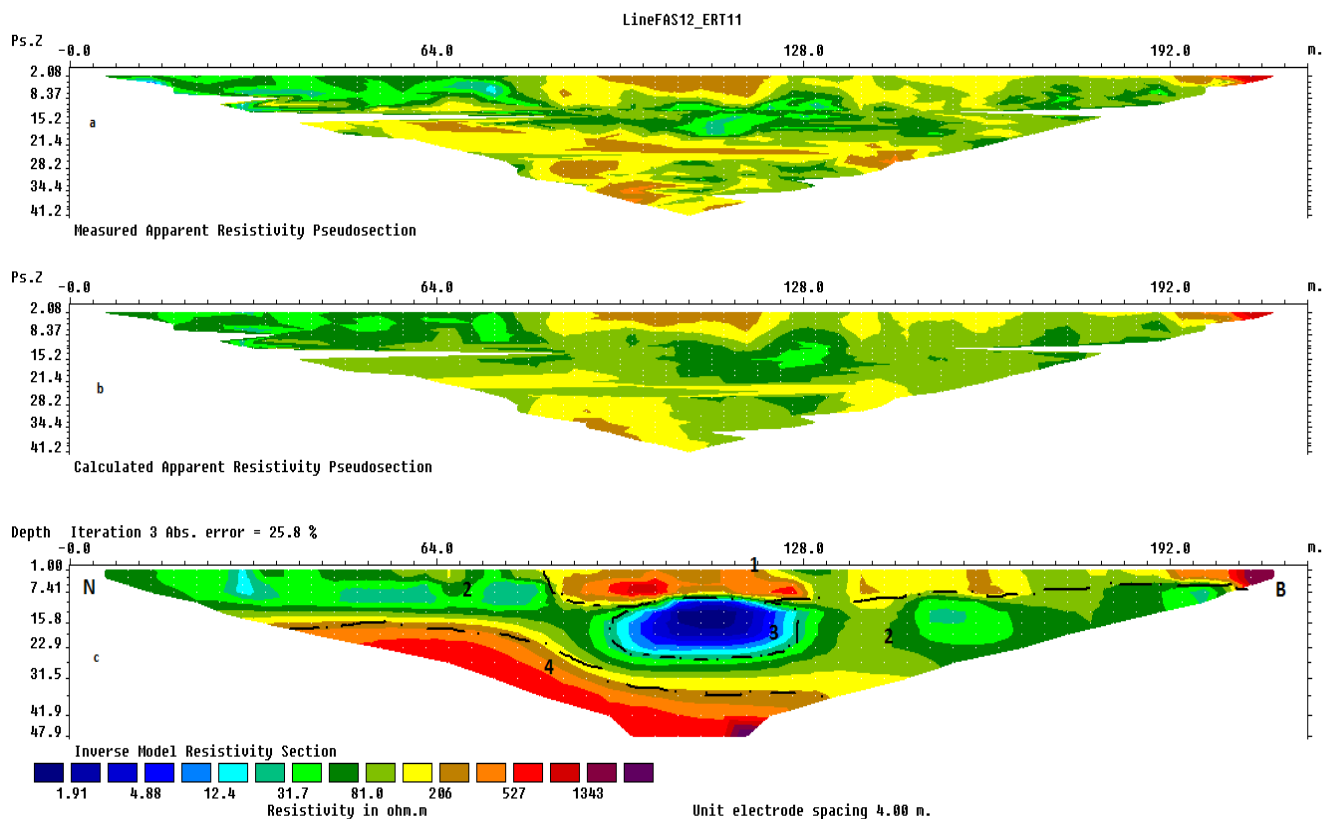
Οι μετρήσεις στην γραμμή της ηλεκτρικής τομογραφίας FAL12_ERT09 πραγματοποιήθηκαν στις 29-9-2012. Οι συντεταγμένες του Νοτίου και Βορείου άκρου της είναι (ΕΓΣΑ '87) $(x,y)=(462019.890, 3928113.039)$ και $(x,y)=(461945.903, 3928310.955)$, αντίστοιχα. Το μέσο ύψος της γραμμής μελέτης είναι 34,318 μέτρα.

Στο Σχήμα 5.11 συνοψίζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων της εν λόγω τομογραφίας. Στο σχήμα αυτό απεικονίζεται η μετρούμενη (Measured) και η υπολογισμένη ψευδοτομή (Calculated Apparent Resistivity Pseudosection), η οποία έχει προκύψει από την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος (Inverse Model Resistivity Section).

Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μεταξύ της μετρούμενης και υπολογισμένης ψευδοτομής είναι 22,8 % το οποίο απέχει αρκετά από τον λογικό σφάλμα του 5%. Το αρχικό σφάλμα στην πρώτη αντιστροφή ήταν 97,8%.

Μετά από επεξεργασία και απομάκρυνση περίπου 116 μετρήσεων πετύχαμε το σφάλμα του 18,2% το οποίο δεν μπορούσε να βελτιωθεί περισσότερο. Διακρίνονται 4 γεωηλεκτρικά στρώματα:

1. Το πρώτο στρώμα είναι επιφανειακό φτάνοντας μέχρι τα 9 μέτρα βάθος. Εκτείνεται από το 75ό μέτρο της γραμμής μελέτης μέχρι το τέλος της. Χαρακτηρίζεται από μεγάλες τιμές αντίστασης που ξεκινούν από 200 Ωm και φτάνουν τα 1000 Ωm .
2. Το δεύτερο στρώμα εκτείνεται σε όλο σχεδόν το μήκος της γραμμής μελέτης και εμφανίζεται επιφανειακά και φτάνει μέχρι τα 30 μέτρα βάθος. Οι τιμές αντίστασης που παρατηρούνται είναι από 30 Ωm – 200 Ωm .
3. Το τρίτο στρώμα διακρίνεται στη μέση της τομής και έχει μικρή έκταση. Το βρίσκουμε σε βάθος 10 – 20 μέτρα. Χαρακτηριστικό του είναι οι μικρές αντιστάσεις από 1,5 – 30 Ωm .
4. Το τέταρτο στρώματα διακρίνεται από το 30ό μέτρο της γραμμής μελέτης μέχρι το 130ό και σε βάθη από 15 – 60 μέτρα. Χαρακτηρίζεται από μεγάλες τιμές αντίστασης που ξεκινούν από 200 Ωm και φτάνουν τα 1300 Ωm .



Σχήμα 5.11: Μετρούμενη (a) και υπολογιζόμενη (b) ψευδοτομή και γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδ. ηλ. αντίστασης (c) της γραμμής μελέτης Line 4. Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μετά το τέλος της αντιστροφής είναι 25,8 %. Με διακεκομμένες μαύρες γραμμές χωρίζονται τα γεωηλεκτρικά στρώματα στους άξονες XZ.

5.3 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ

Τα γεωηλεκτρικά δεδομένα που συλλέχθηκαν με την μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας ενώθηκαν για την δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου της περιοχής. Χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 6588 μετρήσεις της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, που συλλέχθηκαν με την διάταξη Wenner-Schlumberger.

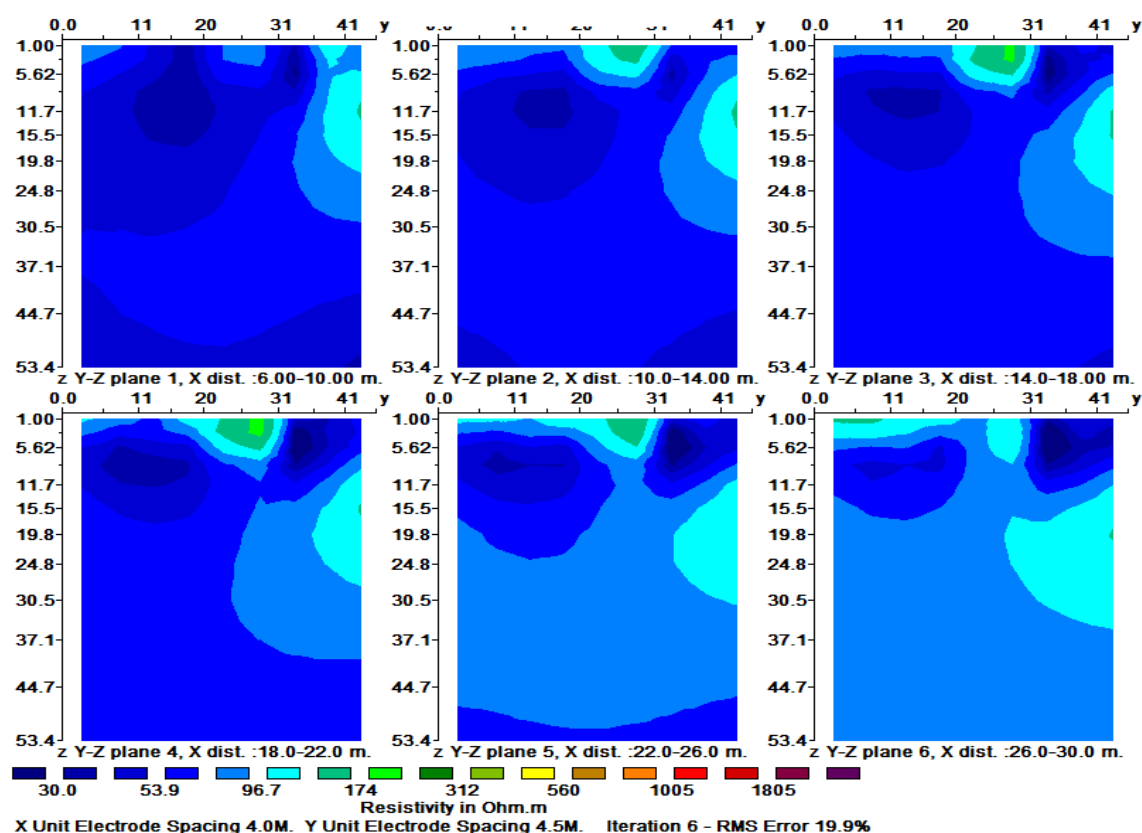
Η επεξεργασία των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας έγινε με τη χρήση του λογισμικού πακέτου RES3DINV. Το πρόγραμμα RES3DINV πραγματοποιεί τρισδιάστατη αντιστροφή, για την εκτίμηση της κατανομής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο χώρο.

Έπειτα από την τρισδιάστατη αντιστροφή των δεδομένων (RMS 19.9%), δημιουργήθηκαν κατακόρυφες και οριζόντιες γεωηλεκτρικές τομές για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

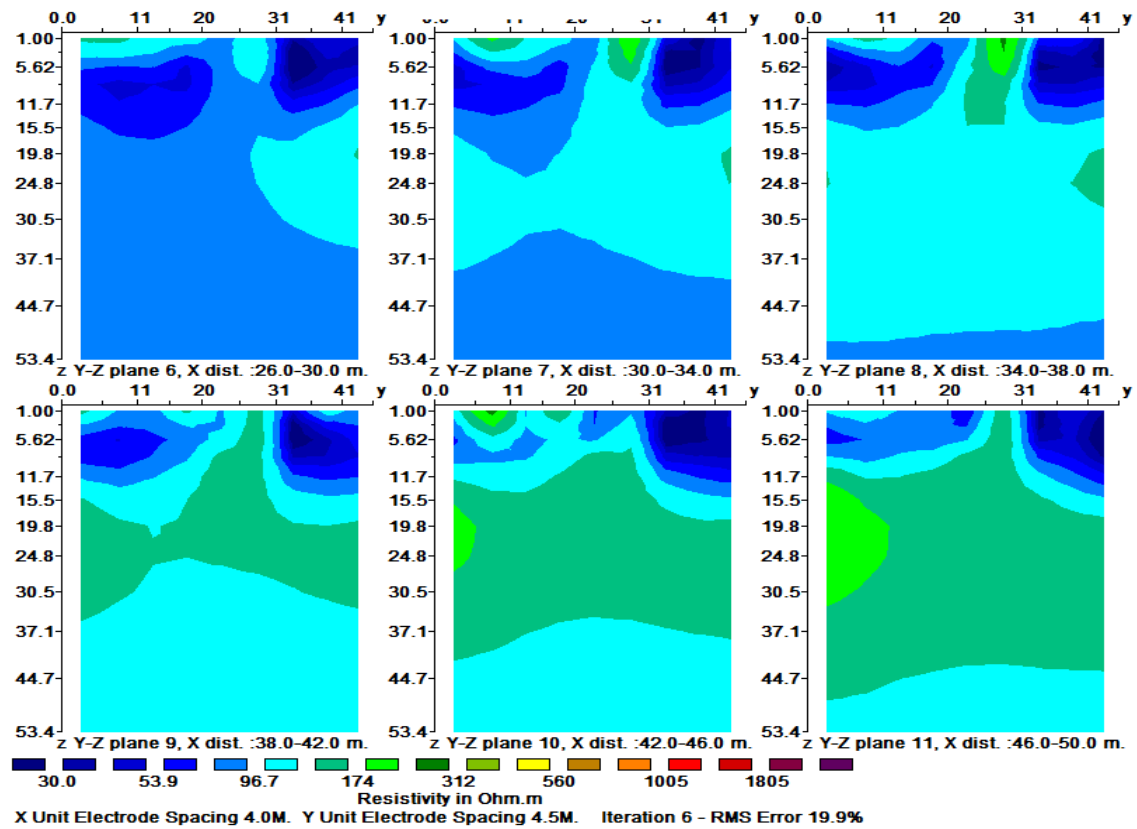
Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζονται οι γεωηλεκτρικές τομές ίδια χρωματική κλίμακα (30Ωm – 1800Ωm), σε αντίθεση με τη δισδιάστατη αντιστροφή.

5.3.1 ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΤΟΜΕΣ ΣΤΟΥΣ ΑΞΟΝΕΣ YZ (Α-Δ).

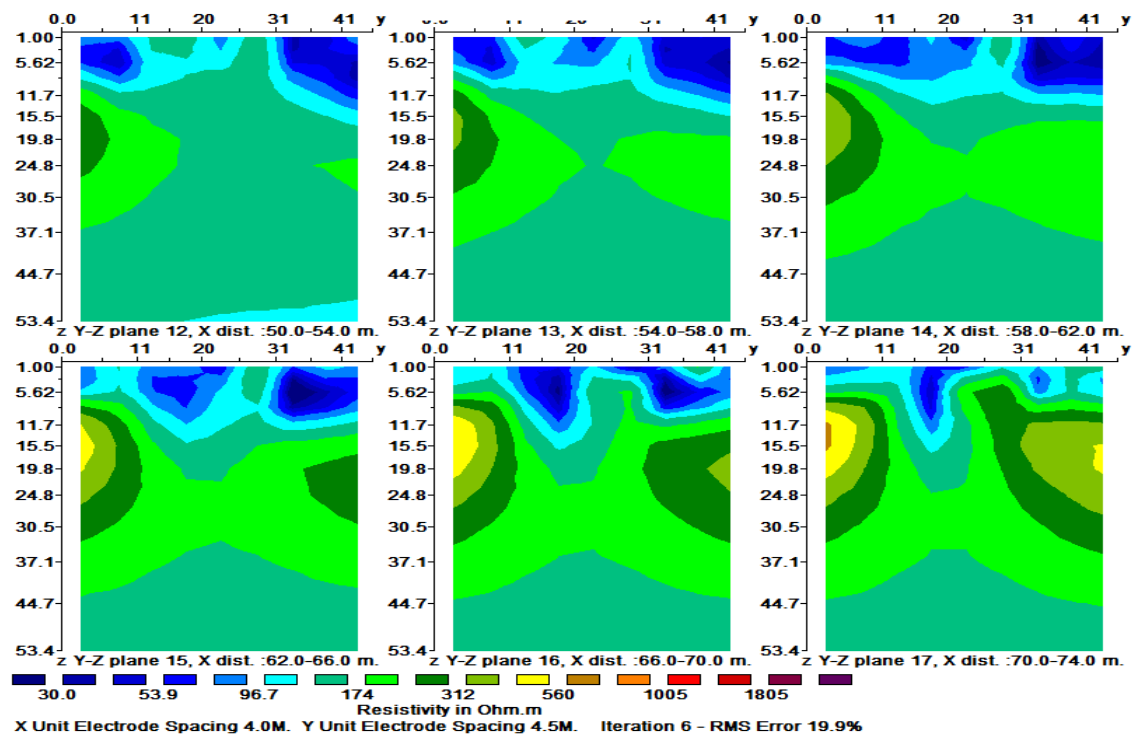
Οι συγκεκριμένες κάθετες τομές παρουσιάζουν τα αποτελέσματα στο πλάτος των γραμμών μελέτης (άξονας Y, Ανατολή-Δύση) συναρτήσει του βάθους. 53.4 μέτρων. Παρουσίαση γίνεται τμηματικά για τα 222 μέτρα της γραμμής μελέτης και κάθε εικόνα δείχνει 6 τομές.



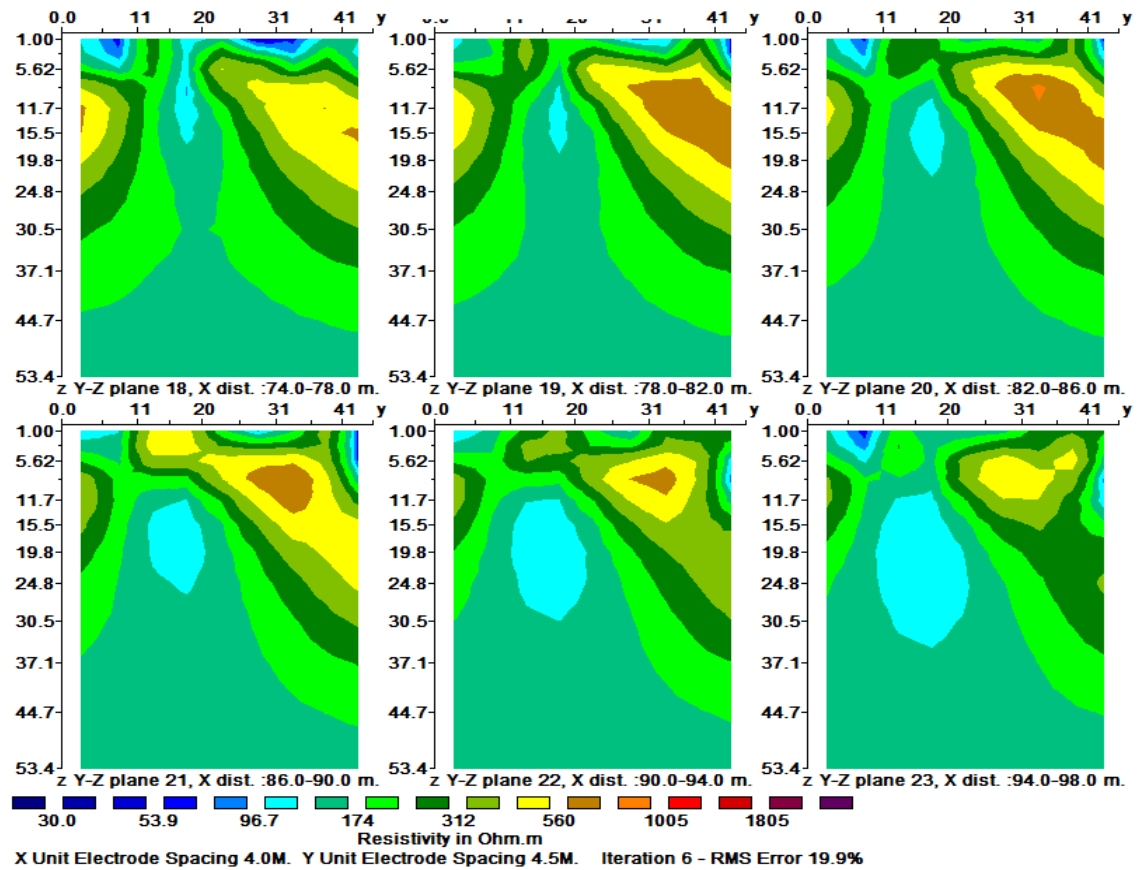
Σχήμα 5.12: Γεωηλεκτρικές τομές στους άξονες YZ (Α-Δ) στα 6-30 μέτρα της τρισδιάστατης αντιστροφής.



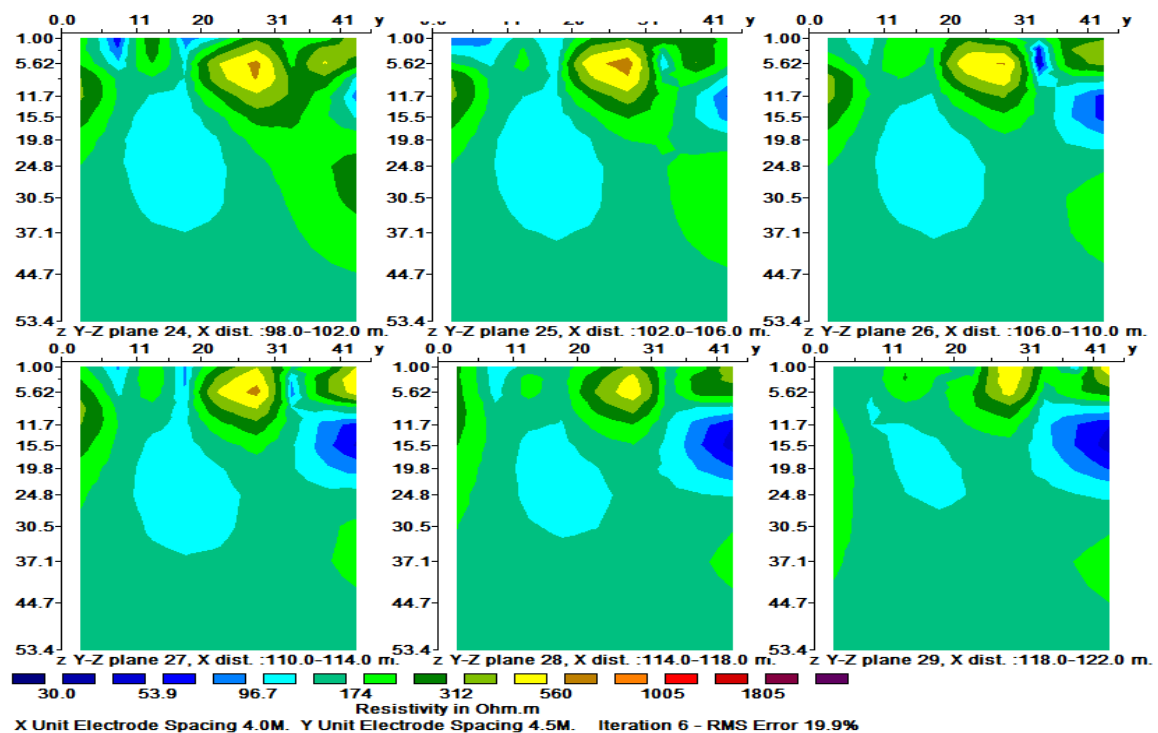
Σχήμα 5.13: Γεωηλεκτρικές τομές στους άξονες YZ (Α-Δ) στα 26-50 μέτρα της τρισδιάστατης αντιστροφής.



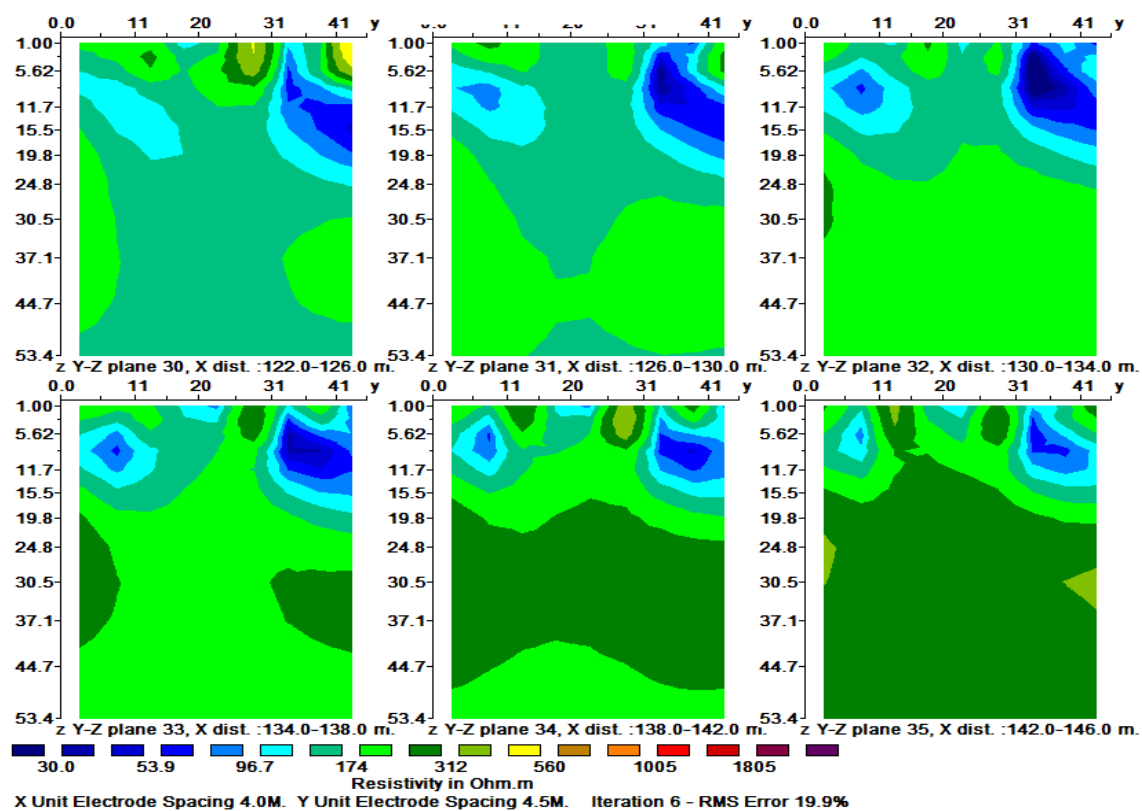
Σχήμα 5.14: Γεωηλεκτρικές τομές στους άξονες YZ (Α-Δ) 50-74 μέτρα της τρισδιάστατης αντιστροφής.



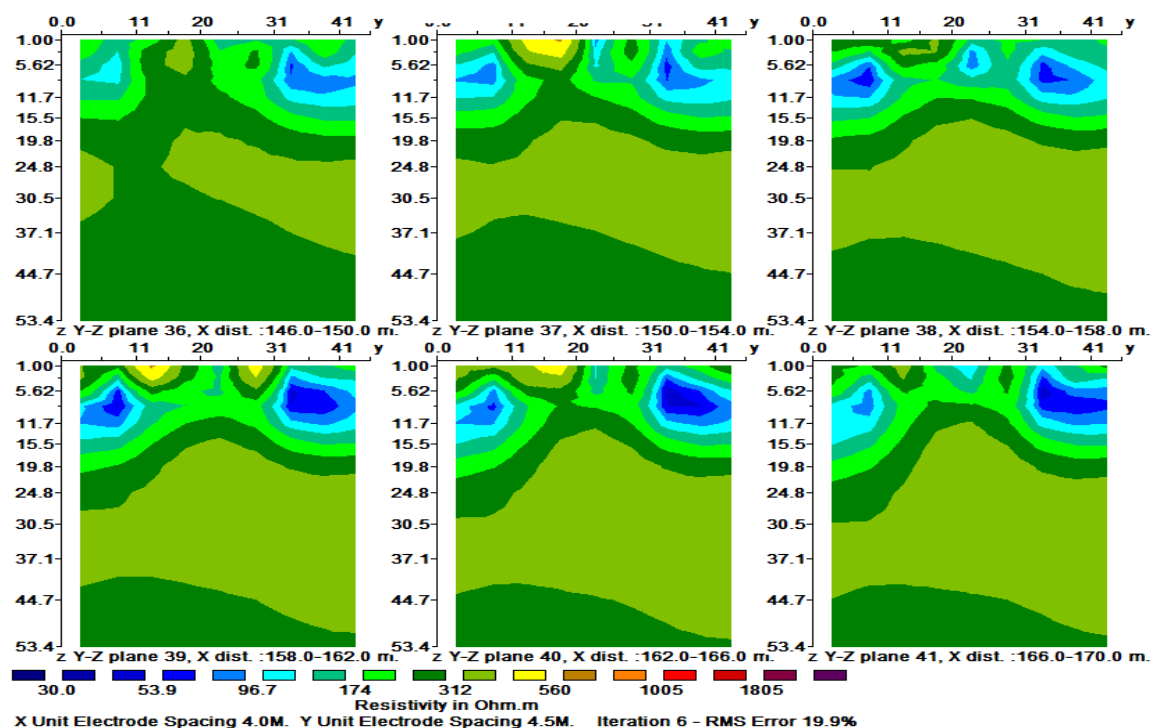
Σχήμα 5.15: Γεωηλεκτρικές τομές στους άξονες YZ (Α-Δ) στα 74-98 μέτρα της τρισδιάστατης αντιστροφής.



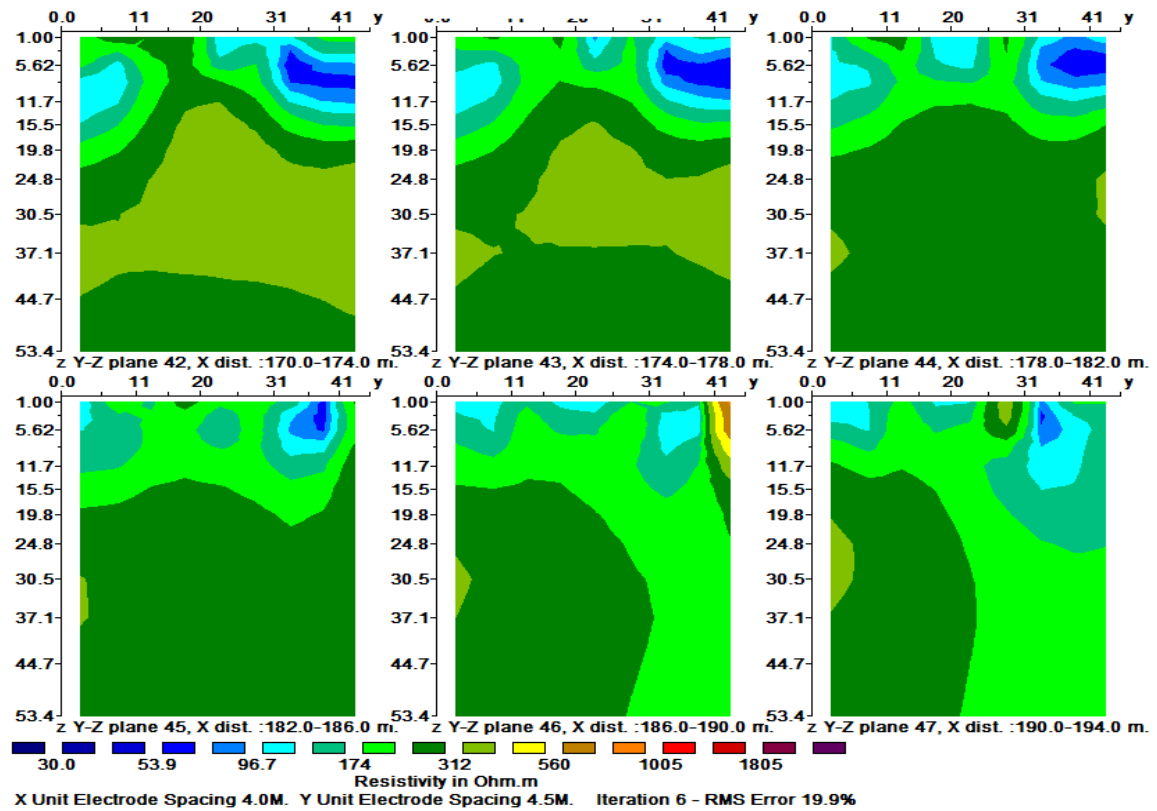
Σχήμα 5.16: Γεωηλεκτρικές τομές στους άξονες YZ (Α-Δ) στα 98-122 μέτρα της τρισδιάστατης αντιστροφής.



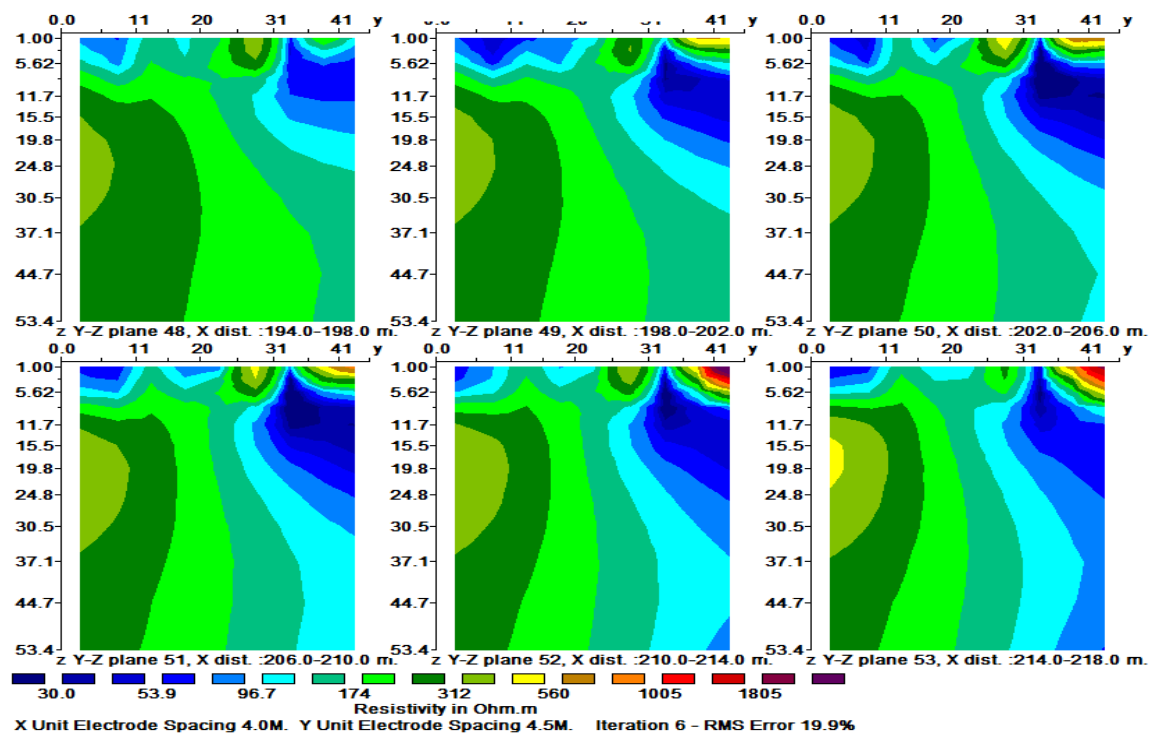
Σχήμα 5.17: Γεωηλεκτρικές τομές στους άξονες YZ (Α-Δ) 122-146 μέτρα της τρισδιάστατης αντιστροφής.



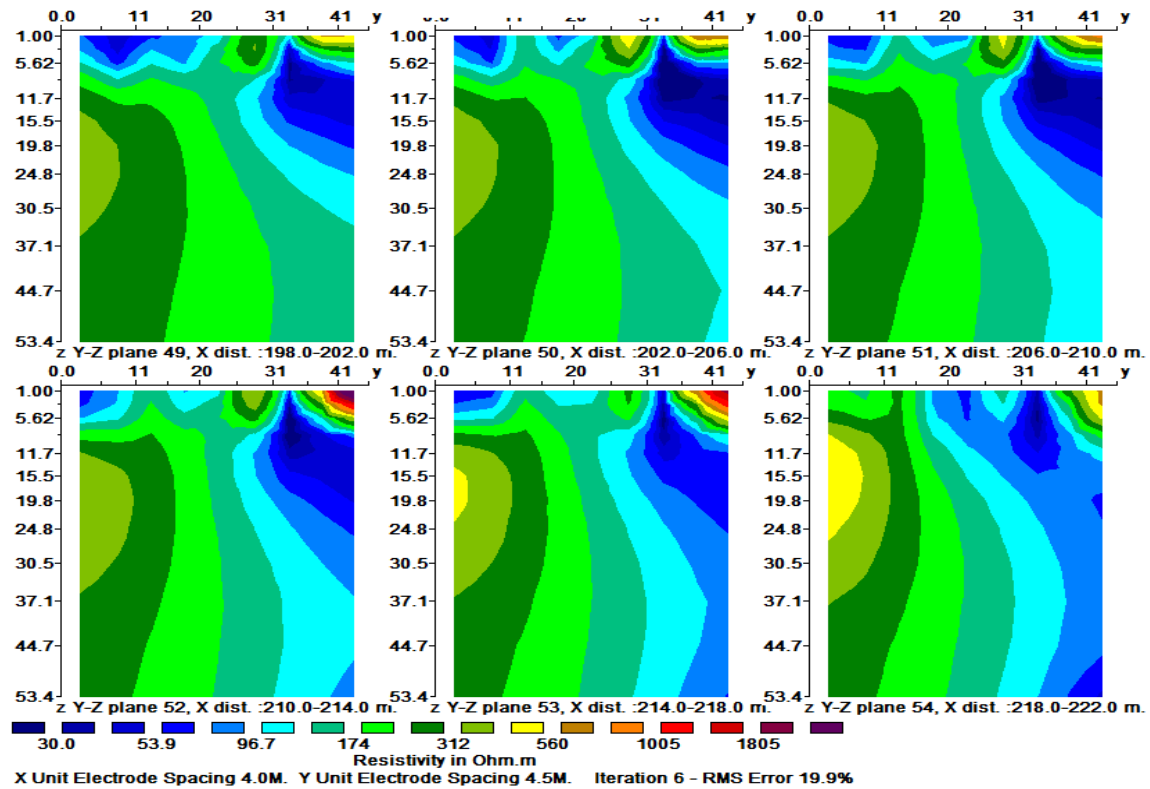
Σχήμα 5.18: Γεωηλεκτρικές τομές στους άξονες YZ (Α-Δ) στα 146-170 μέτρα της τρισδιάστατης αντιστροφής.



Σχήμα 5.19: Γεωηλεκτρικές τομές στους άξονες YZ (Α-Δ) 170-194 μέτρα της τρισδιάστατης αντιστροφής.



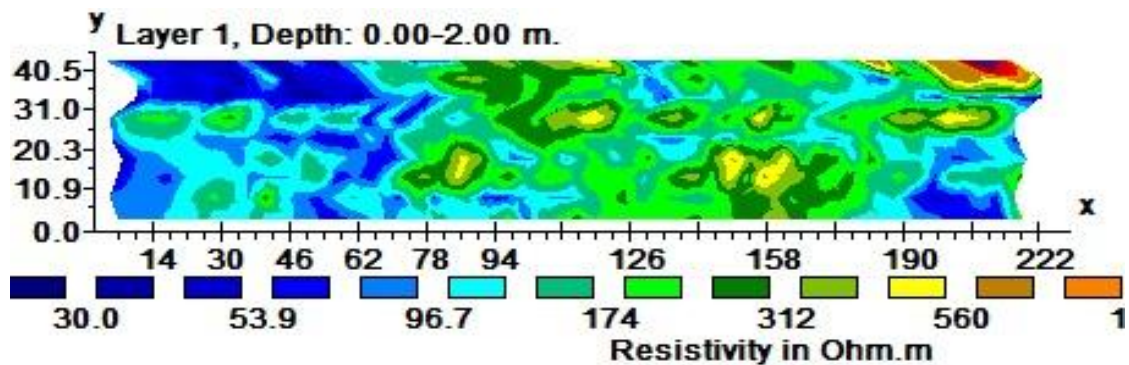
Σχήμα 5.20: Γεωηλεκτρικές τομές στους άξονες YZ (Α-Δ) στα 194-218 μέτρα της τρισδιάστατης αντιστροφής.



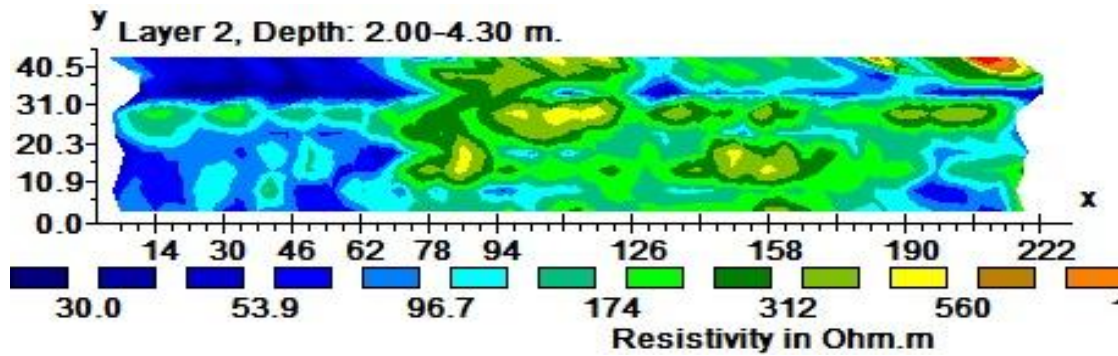
Σχήμα 5.21: Γεωηλεκτρικές τομές στους άξονες YZ (Α-Δ) στα 198-222 μέτρα της τρισδιάστατης αντιστροφής.

5.3.2 ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΤΟΜΕΣ.

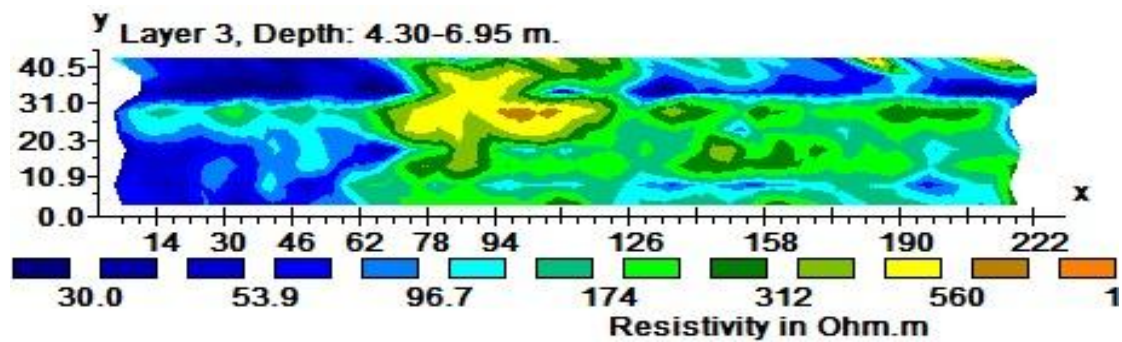
Οι οριζόντιες γεωηλεκτρικές τομές παρουσιάζουν τα αποτελέσματα στο μήκος των 222 μέτρων των γραμμών μελέτης (άξονας X, N-B) συναρτήσει του πλάτους των γραμμών μελέτης. Στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζονται τμηματικά ανά τομή τα αποτελέσματα από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι βάθος 58 μέτρων.



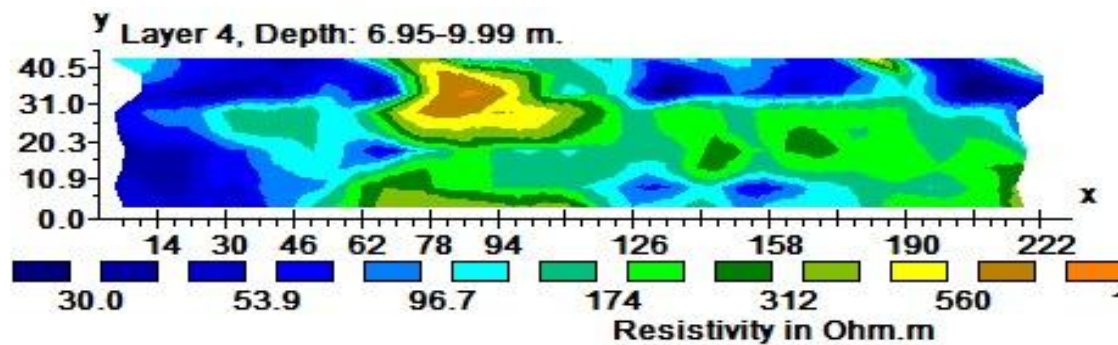
Σχήμα 5.22: Οριζόντια γεωηλεκτρική τομή σε βάθος 0-2 μέτρων.



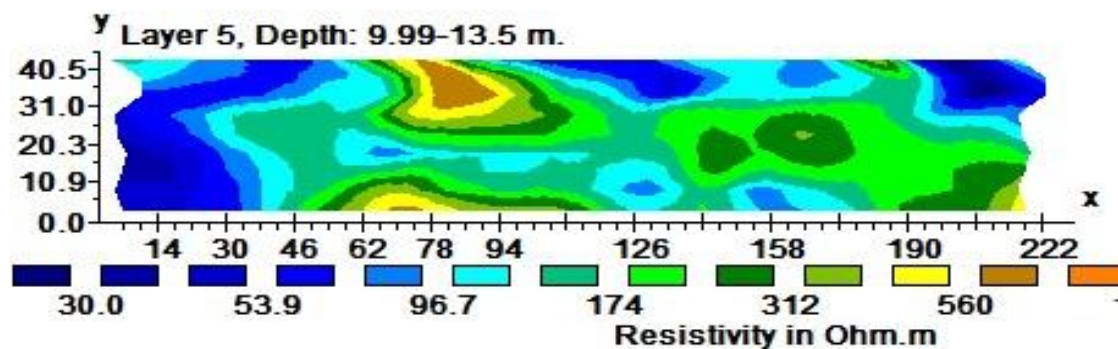
Σχήμα 5.23: Οριζόντια γεωηλεκτρική τομή σε βάθος 2-4 μέτρων.



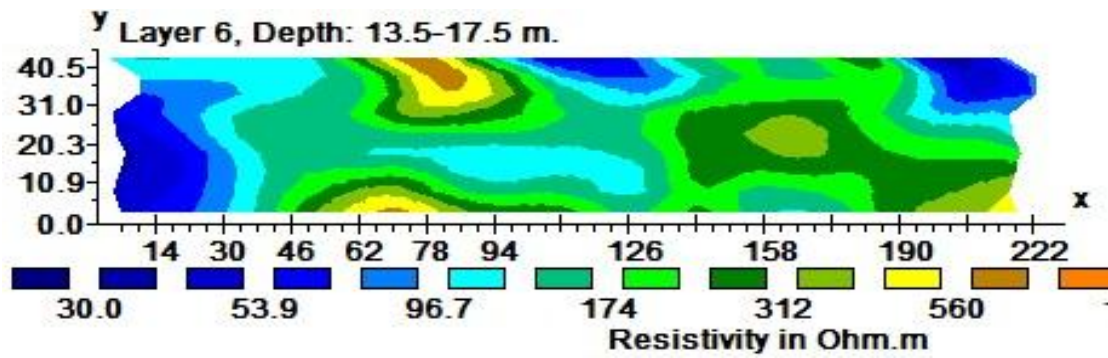
Σχήμα 5.24 Οριζόντια γεωηλεκτρική τομή σε βάθος 4.30-6.95 μέτρων.



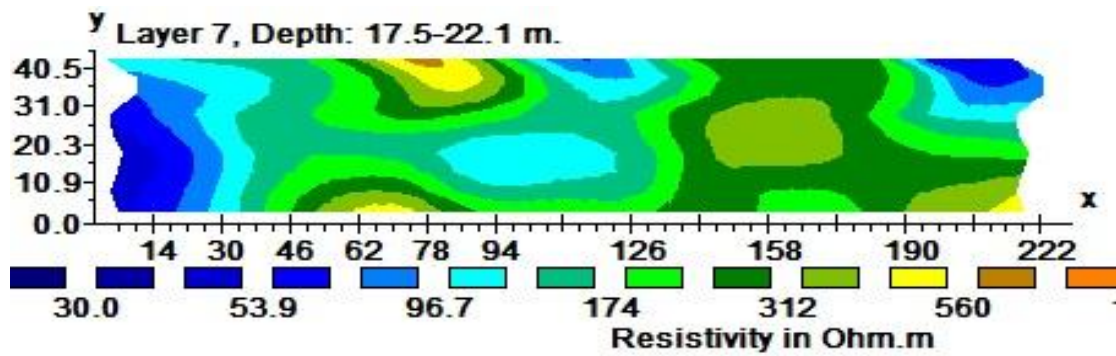
Σχήμα 5.25: Οριζόντια γεωηλεκτρική τομή σε βάθος σε βάθος 6.95-9.99 μέτρων.



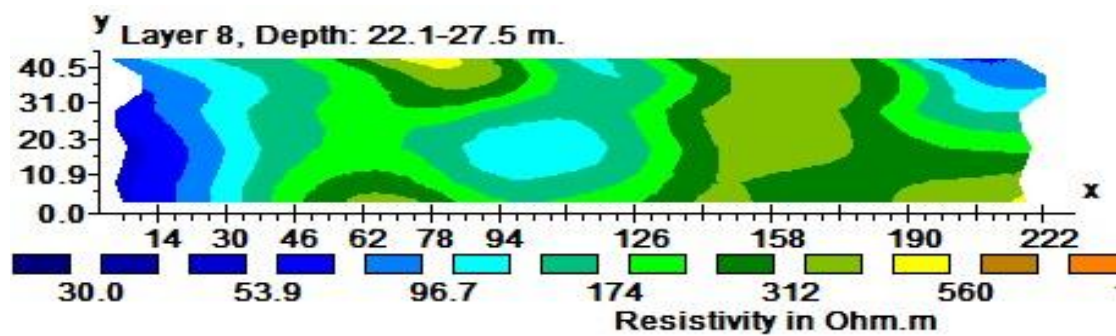
Σχήμα 5.26: Οριζόντια γεωηλεκτρική τομή σε βάθος 9.99-13.5 μέτρων.



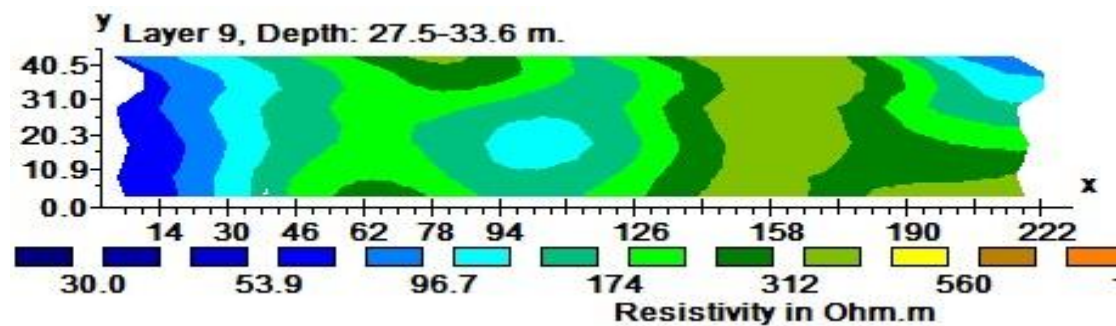
Σχήμα 5.27: Οριζόντια γεωηλεκτρική τομή σε βάθος 13.5-17.5 μέτρων.



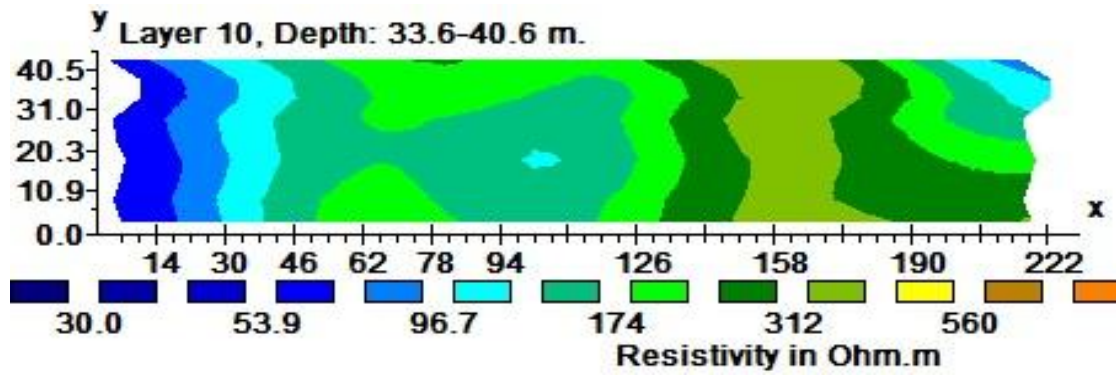
Σχήμα 5.28: Οριζόντια γεωηλεκτρική τομή σε βάθος 17.5-22.1 μέτρων.



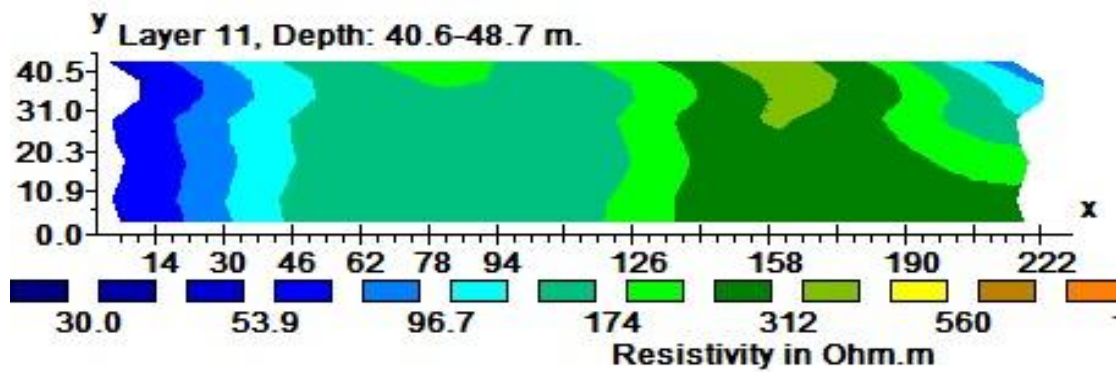
Σχήμα 5.29: Οριζόντια γεωηλεκτρική τομή σε βάθος 22.1-27.5 μέτρων.



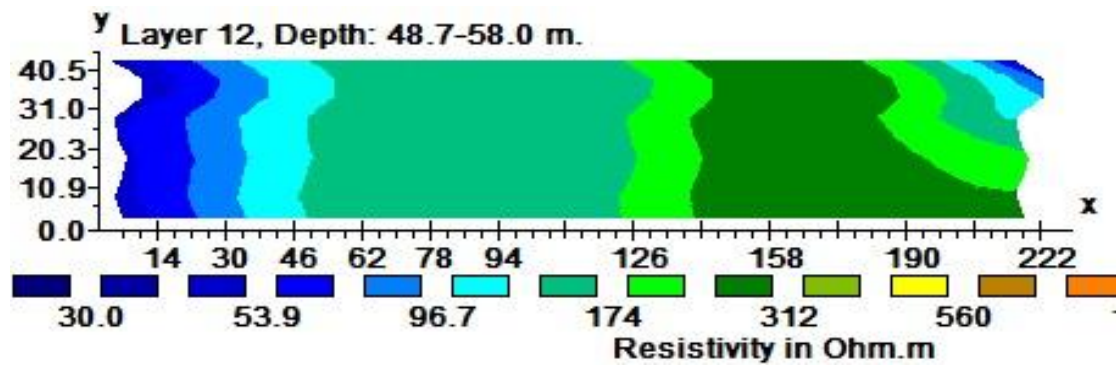
Σχήμα 5.30 Οριζόντια γεωηλεκτρική τομή σε βάθος 27.5-33.6 μέτρων.



Σχήμα 5.31: Οριζόντια γεωηλεκτρική τομή σε βάθος 33.6-40.6 μέτρων.



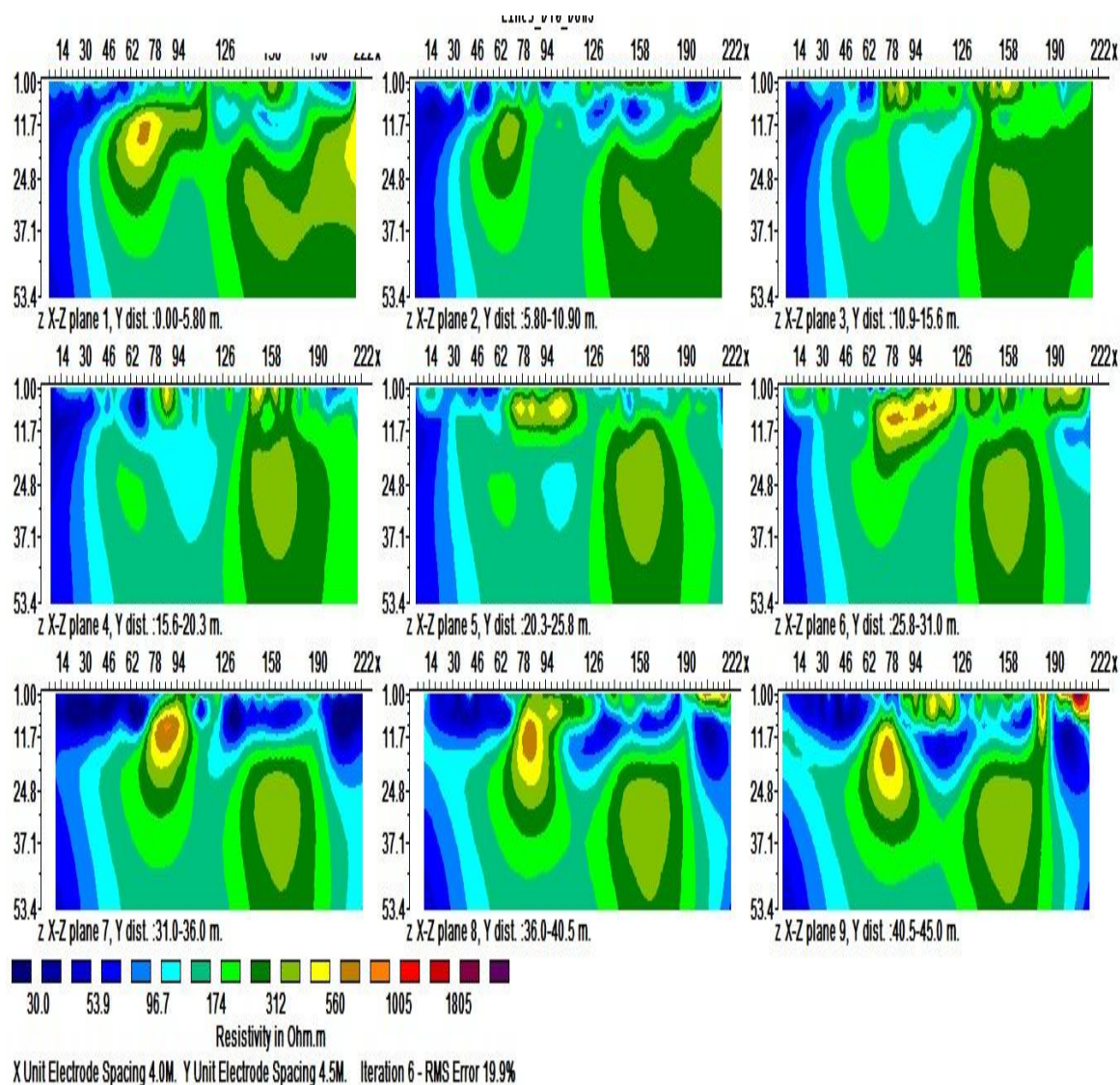
Σχήμα 5.32: Οριζόντια γεωηλεκτρική τομή σε βάθος 40.6-48.7 μέτρων.



Σχήμα 5.33: Οριζόντια γεωηλεκτρική τομή σε βάθος 48.7-58 μέτρων.

5.3.3 ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΤΟΜΕΣ ΧΖ (N-B)

Οι γεωηλεκτρικές τομές ΧΖ παρουσιάζουν αποτελέσματα κατά μήκος των γραμμών μελέτης 222 μέτρων (άξονας Χ, N-B) και συναρτήσει του βάθους 53,4 μέτρων. Μοιάζουν δηλαδή με τις τομές της δισδιάστατης τομογραφίας.



Σχήμα 5.34: Γεωηλεκτρικές τομές της τρισδιάστατης αντιστροφής σε άξονες ΧΖ (N-B) που παρουσιάζουν αποτελέσματα σε όλο το πλάτος των γραμμών μελέτης.

5.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Για την ακριβέστερη ερμηνεία των αποτελεσμάτων θα γίνει σύγκριση με τα αποτελέσματα της διπλωματικής εργασίας της Σαγκιώτη Κυριακή με τίτλο ‘ Συμβολή της Ηλεκτρικής και Σεισμικής τομογραφίας στη μελέτη του φαινομένου της υφαλμύρωσης στα Φαλάσαρνα Χανίων’ Ιούνιος 2010. Πιο συγκεκριμένα η σύγκριση θα γίνει με την γεωηλεκτρική τομή Line 1 και την συνδυαστική αναπαράσταση των γραμμών μελέτης FAS1 και Line 1. Οι συγκεκριμένες γραμμές βρίσκονται στην ίδια περιοχή με τις γραμμές μελέτης της παρούσας εργασίας.

Η γεωηλεκτρική τομή που εμφανίζεται στο σχήμα 5.35 φτάνει σε βάθος 77 μέτρων. Η σύγκριση με τα αποτελέσματα των γεωηλεκτρικών τομών της παρούσας εργασίας θα πρέπει να γίνει μέχρι τα 50 μέτρα που είναι και το βάθος το 10 τομών. Οι ηλεκτρικές αντιστάσεις κυμαίνονται από 20 μέχρι 700 Ωm . Παρατηρείται η ύπαρξη τριών στρώματων. Το επιφανειακό εκτείνεται σε μικρό βάθος (έως 10 περίπου μέτρα από την επιφάνεια) και παρουσιάζει αντιστάσεις από 100 έως 150 Ωm . Το δεύτερο στρώμα βρίσκεται σε μέσο βάθος 30 περίπου μέτρα και παρουσιάζει αντιστάσεις από 100 έως 300 Ωm . Το τρίτο στρώμα αρχίζει περίπου 45 μέτρα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Μέσα στο στρώμα αυτό υπάρχει μία περιοχή που παρουσιάζει χαμηλές αντιστάσεις, μικρότερες των 100 Ωm .

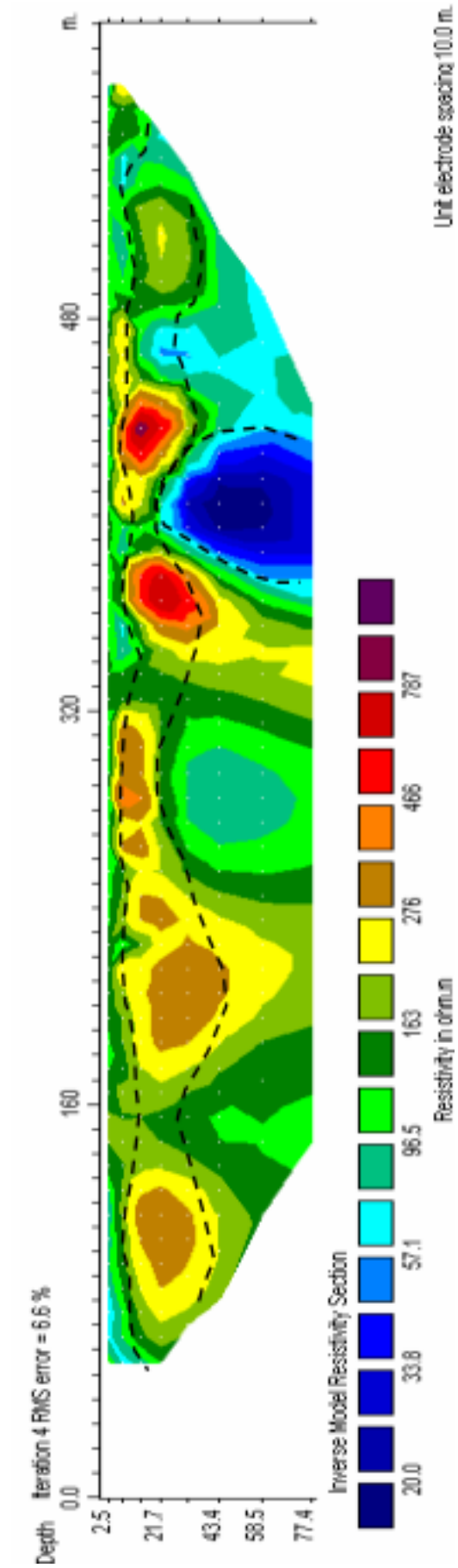
Στο σχήμα 5.36 παρουσιάζεται η συνδυαστική αναπαράσταση των γραμμών μελέτης FAS1 και Line 1. Με λευκές διακεκομμένες διαχωρίζονται τα στρώματα της σεισμικής διάθλασης και με μαύρες αυτά της ηλεκτρικής τομογραφίας. Φαίνεται το μέσο απόλυτο υψόμετρο και οι χρωματικές κλίμακες των διασκοπήσεων.

Από τα σεισμικά δεδομένα παρατηρείται ένα επιφανειακό στρώμα με μέσο πάχος τα 15 m, το οποίο φθίνει κατά μήκος της Line1 FAS1. Το στρώμα αυτό έχει χαμηλές ταχύτητες, που φτάνουν μέχρι τα 1200 m/s και αποδίδεται σε τεταρτογενείς αποθέσεις.

Αυτές συνίστανται από εναλλαγές άμμων και παλαιότερων ποταμο -χειμάρριων αποθέσεων. Το ανώτερο στρώμα αποτελείται από πρόσφατες άμμους. Οι τεταρτογενείς αποθέσεις οριοθετούνται προς τα κάτω από την αύξηση της τιμής της σεισμικής ταχύτητας στα 2200 m/s κατά θέσεις. Η οριοθέτηση αυτή γίνεται αντιληπτή και από τα ηλεκτρικά δεδομένα, τα οποία παρουσιάζουν τιμές ηλεκτρικής αντίστασης που φτάνουν μέχρι και τα 400 Ωm. Το δεύτερο στρώμα με σεισμικές ταχύτητες μεγαλύτερες των 2200 m/s, αποδίδεται στις νεογενείς αποθέσεις, οι οποίες στα παράπλευρα νεογενή πρηνή αποτελούνται από εναλλαγές μαργαϊκών ασβεστόλιθων, μαργών και ψαμμούχων μαργών.

N

B

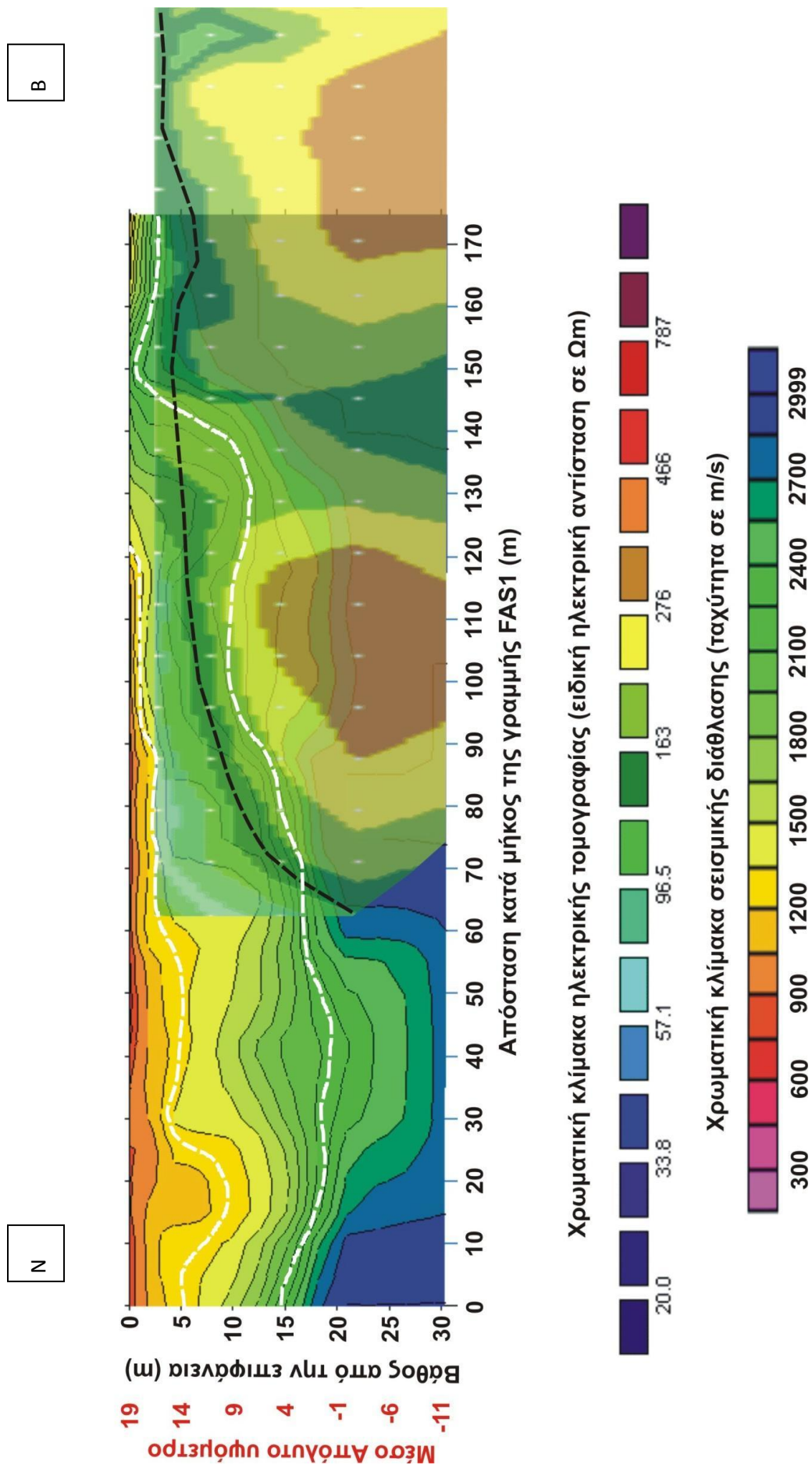


Σχήμα 5.35: Γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για την Line 1. Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μετά το τέλος της αντιστροφής είναι 6.6%. Ο κάθετος άξονας απεικονίζει την απόσταση από την επιφάνεια του εδάφους (σε m), ο οριζόντιος το μήκος της γραμμής μελέτης (σε m) και η χρωματική κλίμακα την ειδική ηλεκτρική αντίσταση (σε Ωm) **Να προστεθεί χάρτης με την γραμμή μελέτης.**

Τα αποτελέσματα των δύο διπλωματικών εργασιών συμφωνούν στη διαδοχή και το είδος των στρωμάτων.

Μία πρώτη ερμηνεία των αποτελεσμάτων έγινε στο εδάφιο 5.2 και συγκεκριμένα στη δισδιάστατη ηλεκτρική τομογραφία όπου τα αποτελέσματα κάθε μίας τομής από τις δέκα γραμμές μελέτης (5.2.1-5.2.11) αναλύθηκε και παρουσιάστηκαν τα στρώματα που εμφανίζονται. Εμφανίζεται ένα μεγάλος εύρος αντιστάσεων από μερικά Ωm , που πιθανολογούν την ύπαρξη του φαινομένου της υφαλμύρωσης, μέχρι αρκετά μεγάλο αριθμό Ωm .

Αρχικά θα πρέπει να γίνει μία σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων της δισδιάστατης ηλεκτρικής τομογραφίας με την τρισδιάστατη. Μπορεί να ειπωθεί ότι υπάρχει μία ταύτιση των αποτελεσμάτων δισδιάστατης και τρισδιάστατης αντιστροφής. Στις γεωηλεκτρικές τομές από τη τρισδιάστατη αντιστροφή (σχήμα 5.34) εμφανίζεται ένα ανομοιογενές στρώμα (ειδική ηλεκτρική αντίσταση 50-500 Ωm) πάχους 10 -15m το οποίο αποδίδεται σε τεταρτογενείς αποθέσεις. Στο υποκείμενο στρώμα η ειδική ηλεκτρική αντίσταση κυμαίνεται από 100-350 Ωm . Αυτές οι τιμές είναι χαρακτηριστικές του μαργαϊκού ασβεστολίθου. Τα συγκεκριμένα στρώματα είναι εμφανή και στην δισδιάστατη ηλεκτρική τομογραφία στις ίδιες ακριβώς θέσεις (σχήματα 5.2-5.11).



Σχήμα 5.36: Συνδυαστική αναπαράσταση των γραμμών μελέτης Line FAS 1 και Line 1. Με λευκές διακεκομμένες διαχωρίζονται τα στρώματα της σεισμικής διάθλασης και με μαύρες αυτά της ηλεκτρικής τομογραφίας. Φαίνεται το μέσο απόλυτο υψόμετρο και οι χρωματικές κλίμακες των διασκοπήσεων. Η τομή της ηλεκτρικής διασκόπησης ορίστηκε με 30% διαφάνεια για καλύτερη απεικόνιση του συνδυασμού

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

6.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ερμηνεία των γεωηλεκτρικών τομών που έγινε στο προηγούμενο κεφάλαιο χρησιμοποιώντας γεωλογικές πληροφορίες, έδειξαν την ύπαρξη στρωμάτων γεωλογικών σχηματισμών όπως νεότερες και παλαιότερες ποτάμιες αναβαθμίδες του Τεταρτογενούς, καθώς και μαργαϊκό ασβεστόλιθο του Νεογενούς.

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί με υδρογεωλογικό ενδιαφέρον είναι οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, τα κροκαλοπαγή και οι αμμώδεις σχηματισμοί (ψαμμίτες). Οι σχηματισμοί αυτοί θεωρούνται υδροπερατοί.

Για να υπάρχουν ενδείξεις του φαινομένου υφαλμύρωσης θα πρέπει να υπάρχουν και μικρές τιμές της ηλεκτρικής αντίστασης. Στη συγκεκριμένη μελέτη δεν υπήρξαν πολύ χαμηλές τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης μέχρι το βάθος των 50 m (απόλυτο υψόμετρο -40m). Το τελικό συμπέρασμα μετά την μελέτη της συγκεκριμένης περιοχής είναι ότι δεν φαίνεται να παρουσιάζει το φαινόμενο της υφαλμύρωσης.

6.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Για τον καλύτερο στρωματογραφικό χαρακτηρισμό μιας περιοχής στην οποία εντοπίζεται το πρόβλημα της υφαλμύρωσης, θα πρέπει, να εφαρμοσθεί η ηλεκτρική μέθοδος και η τρισδιάστατη αντιστροφή στην ευρύτερη περιοχή. Ειδικότερα προτείνεται η συλλογή δεδομένων σε κάνναβο με ισαπόσταση γραμμών 20m και μήκος κάθε γραμμής 540 m. Αυτό το μήκος της ηλεκτρικής γραμμής μελέτης σε συνδυασμό με τη χρήση δύο διατάξεων ηλεκτροδίων (Wenner –Schlumberger και διπόλου-διπόλου) θα εξασφαλίσει το μέγιστο βάθος διασκόπησης των 100 m.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική βιβλιογραφία:

1. **Βαφείδης Α. (2001).** ‘Εφαρμοσμένη Γεωφυσική ΙΙ’. Πανεπιστημιακές σημειώσεις , Πολυτεχνείο Κρήτης Χανιά.
2. ‘Οριοθέτηση ζώνης υφαλμύρωσης υπόγειων νερών μετώπου Μοσχάτου – Γλυφάδας Νομού Αττικής’ **(2010).**
3. **Μαρία Π. Παπαδοπούλου, Γεώργιος Π. Καρατζάς, Ιωάννης Τριχάκης (2005).** ‘Προσομοίωση υπόγειας ροής παράκτιου υδροφορέα στη βιομηχανική περιοχή Ηρακλείου Κρήτης.
4. **Γκανιάτσος Ι. (2000).** ‘Γεωηλεκτρική τομογραφία σε τρεις διαστάσεις’, Μεταπτυχιακή διατριβή, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.
5. **Παπαδόπουλος Ν. (2007),** ‘Ανάπτυξη Αλγορίθμων για την Τρισδιάστατη Αντιστροφή Γεωηλεκτρικών Δεδομένων που προέρχονται από Αρχαιολογικούς Χώρους’, Διδακτορική Διατριβή, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.
6. **Hamdan H. Ζήσης, Κ., Μανούτσουλου, Ε., Βαφείδης, Α., Σοφός, Φ. (2002).** ‘Τρισδιάστατη χαρτογραφική απεικόνιση πιθανών υδροφόρων σχηματισμών στην περιοχή Κισσάμου, Ν. Χανίων’.
7. **Ι.Γ.Μ.Ε.** ‘Φύλλο Καστέλι’
8. **Σαγκιώτη Κυριακή. (2010).** ‘Συμβολή της Ηλεκτρικής και Σεισμικής τομογραφίας στη μελέτη του φαινομένου της υφαλμύρωσης στα Φαλάσαρνα Χανίων’. Διπλωματική Εργασία.
9. **Παπαδόπουλος Δευκαλίων (2009).** ‘ Συμβολή των Γεωηλεκτρικών μεθόδων στη μελέτη του φαινομένου της υφαλμύρωσης στα Φαλάσαρνα Χανίων’ Διπλωματική εργασία.
10. **Χανιώτικα Νέα.** Εφημερίδα.
11. **Αντωνοπούλου Κ. , Μποτωνάκης Δ., 2006.** ‘Γεωφυσική διασκόπηση με τις μεθόδους της ηλεκτρικής τομογραφίας και του γεωραντάρ σε περιοχή ρυπασμένη από χλωριωμένους υδρογονάνθρακες’ Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης , Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων , Χανιά .

Διεθνής Βιβλιογραφία:

1. **Crane-Goldman-Kuliev, (2002-2005)**, “Integration of Geophysical Methods for Groundwater Exploration in Turmenistan”, Final Report, The Geophysical Institute of Israel, ProjectDuration: May 1, 2002-June 30, 2005.
2. **Hamdan H., Kritikakis G. ,Vafidis A. , and Manoutsoglou E., (2007)**, “The role of geophysical methods in salt-water intrusion mapping for strongly karst formations, a case study at Stylos, Chania, Greece”
3. **Abdul Nassir S.S., Loke M.H., Nawawi M.N., (2004)**, “Salt-water intrusion mapping by geoelectrical imaging surveys”, *Geophysical Prospecting*, 48, pp 647-661.
4. **Casas, A., Himi, M., Tapias, J. C., Ranieri, G., Mota, R., (2004)**, “Mapping Saltwater Intrusion in Coastal Aquifers by Electrical Imaging Using Different Arrays: A Comparative Study”, 18th SWIM, Cantagena, Spain, 31 May-3 June.
5. **Corute J.C., (2000)** ‘Cross validation of geo-electrical and hydrogeological models to evaluate seawater intrusion in coastal aquifers,’ Laboratoire d’ Hydrogeologie, Universite d’ Avignon, France.
6. **Aspinall A, Gaffney CF. (2001)**. ‘The Schlumberger array-potential and pitfalls in archaeological prospection.’ *Archaeological Prospection* 8: 199–209.
7. **Dahlin, T., Wisén R. , Zhang D. (2007)**. ‘3D Effects on 2D Resistivity Imaging – Modelling and Field Surveying Results.’ *Near Surface Geophysic* . 13th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics , Istanbul, Turkey, 3–5 September.
8. **Res2dinv, (2001)**. Εγχειρίδιο Χρήσης Λογισμικού, Manual, Version 3.4, Geotomo Software.
9. **Res3dinv, (2010)**. Εγχειρίδιο Χρήσης Λογισμικού, Manual, Version 2.22, Geotomo Software.

Διαδίκτυο:

1. www.solist.com
2. www.chania-info.com
3. www.geotomosoft.com
4. www.haniotika-neo.gr
5. www.lennotech.com
6. www.eage.org
7. www.geo.auth.gr